

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD
SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ
Služba za klimatologiju
Služba za agrometeorologiju

***Klimatološka i agrometeorološka podloga za
Izvešće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj,
2017. – 2020.***



Zagreb, veljača 2022.

Studija "Klimatološka i agrometeorološka podloga za Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj, 2017. – 2020." izrađena je prema zahtjevu Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (KLASA: 351-02/21-56/03) u Državnom hidrometeorološkom zavodu, Službi za klimatologiju i Službi za agrometeorologiju.

Voditeljica izrade studije: dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin

Izradili su je:

dr.sc. Mislav Anić

dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin

Ivana Marinović, mag.phys. – geophys.

Leonardo Patalen, dipl.inž. geod.

Voditeljica Službe za klimatologiju

mr. sc. Melita Perčec Tadić

Načelnik Sektora za meteorološka
istraživanja i razvoj

dr. sc. Kristian Horvath

Glavna ravnateljica
dr. sc. Branka Ivančan-Picek

SADRŽAJ

1. KLIMATSKE PROMJENE	1
1.1. Trend godišnje količine oborine	1
1.2. Trend srednje godišnje temperature zraka.....	2
1.3. Trend broja vrućih i hladnih dana.....	3
1.4. Učestalost ekstrema.....	5
2. TLO I ZEMLJIŠTE.....	7
2.1. Trend maksimalne temperature tla	7
2.2. Trend sušnih i kišnih razdoblja	9
2.3. Pojavnost i učestalost ekstremno sušnih kišnih događaja.....	11
2.4. Toplinski stres u poljoprivredi na području Hrvatske	18
2.5. Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju.....	19
Literatura.....	22

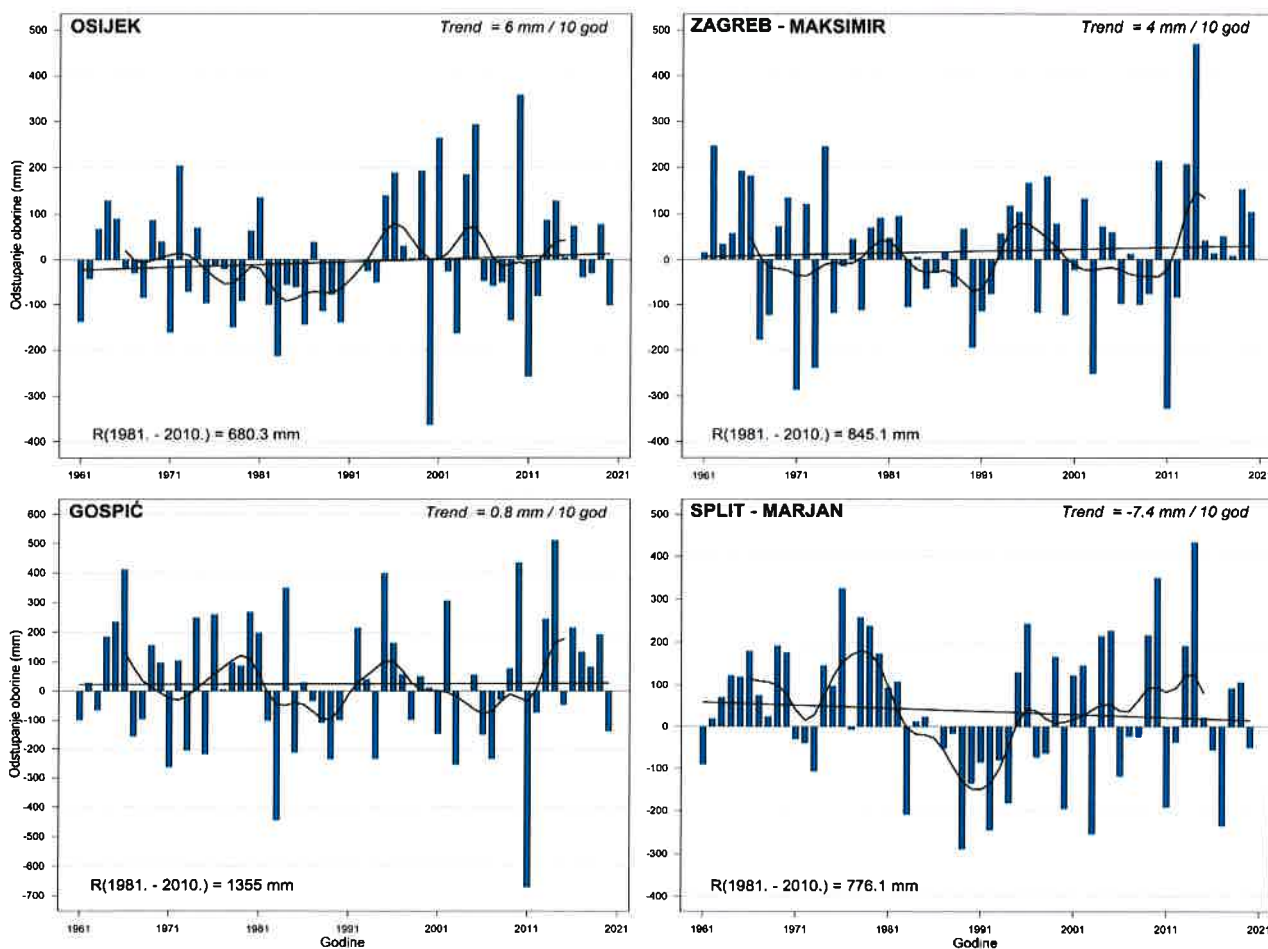
1. KLIMATSKE PROMJENE

U ovom poglavlju analizirani su trendovi nizova količine oborine i srednje temperature zraka te broja vrućih i hladnih dana u Hrvatskoj za razdoblje 1961. – 2020. Analiza je provedena prema podacima srednjih dnevnih i ekstremnih temperatura zraka na 37 postaja te prema podacima dnevnih količina oborine na 164 meteorološke postaje iz mreže Državnog hidrometeorološkog zavoda. Rezultati su prikazani grafički za četiri meteorološke postaje reprezentativne za pojedina klimatska područja Hrvatske: Osijek, Zagreb – Maksimir, Gospić i Split – Marjan. Trendovi su izračunati pomoću linearne regresije i izraženi su po dekadi, a njihova statistička značajnost (na 95%-tnoj razini) testirana je pomoću Mann-Kendallovog rang testa (Gilbert 1987.).

1.1. Trend godišnje količine oborine

Trend godišnje količine oborine tijekom 60-godišnjeg razdoblja na području Hrvatske nije prostorno jednoznačan po iznosu i predznaku te uglavnom nije statistički značajan (Slika 1.1.1). U istočnoj Hrvatskoj uočen je slabi porast godišnje količine oborine (do 5 % / 10 god) kao rezultat slabog povećanja proljetne i jesenske količine oborine, odnosno smanjenja u zimskim i ljetnim mjesecima. U središnjoj Hrvatskoj, porast zimske količine oborine i značajan porast u jesen (5 % / 10 god – 10 % / 10 god) te značajno smanjenje količine oborine (5 % / 10 god – 10 % / 10 god) u toplom dijelu godine (proljeće, ljeto) rezultirali su sveukupno slabo izraženim promjenama u godišnjoj količini oborine (do 5 % / 10 god). Na području sjevernog Hrvatskog primorja i gorske Hrvatske predznak trenda na godišnjoj skali nije jednoznačan, izuzev sjevernog gorskog područja gdje je uočen značajan porast godišnje količine oborine (do 5 % / 10 god). Sve to rezultat je porasta količine oborine u jesen i zimi (5 % / 10 god – 10 % / 10 god) te značajnog smanjenja oborine u proljeće i ljeti (5 % / 10 god – 15 % / 10 god). Na području Dalmacije uočeno je smanjenje godišnje količine oborine (do 5 % / 10 god), što je izravna posljedica smanjenja oborine zimi (5 % / 10 god – 10 % / 10 god) te značajnog smanjenja oborine ljeti (5 % / 10 god – 15 % / 10 god), dok predznak trenda u prijelaznim sezonama (proljeće, jesen) nije jasno izražen.

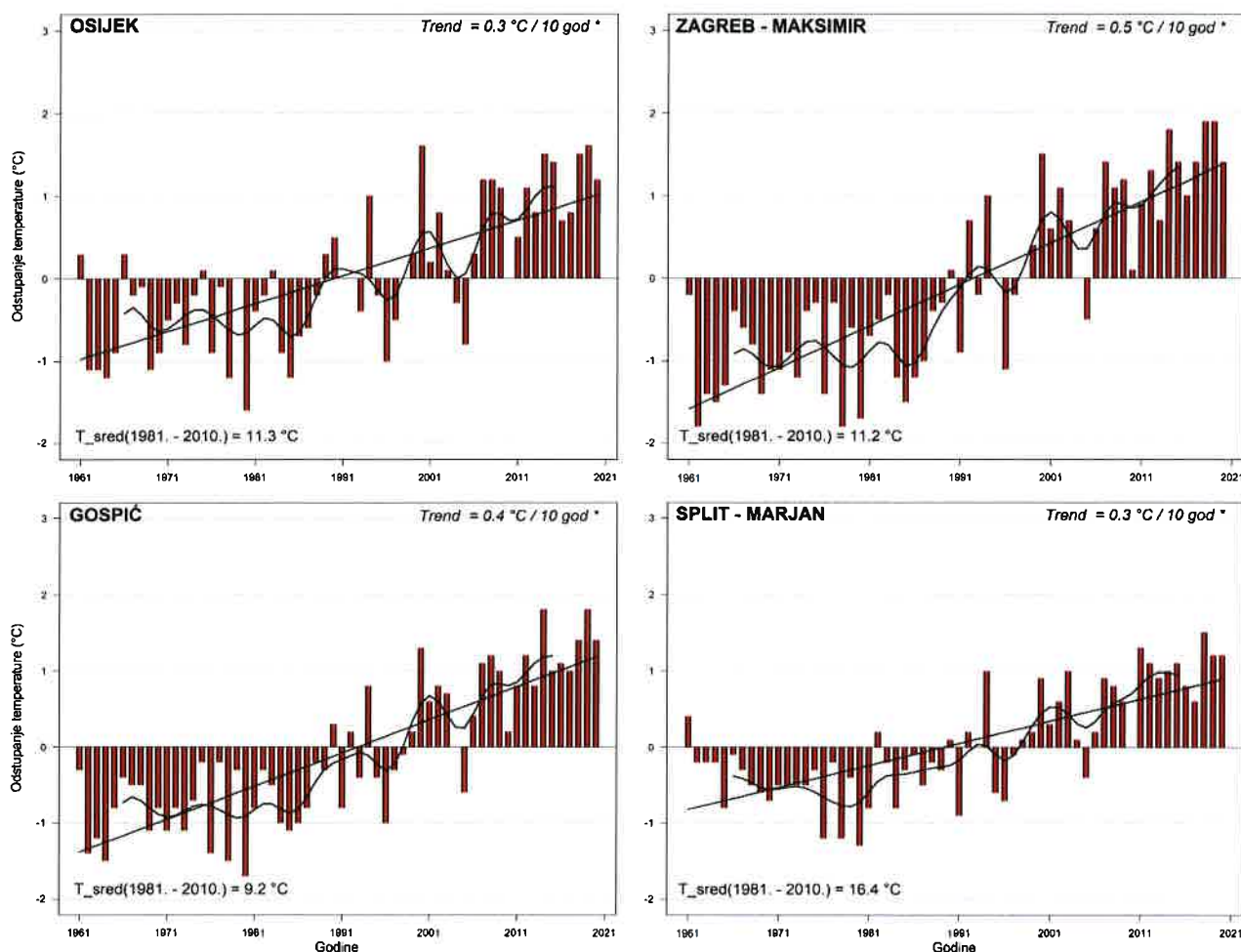
Izuzev ljeta kad je smanjenje količine oborine zabilježeno u cijeloj Hrvatskoj, osobito duž Jadrana, same vrijednosti trenda godišnjih i sezonskih količina oborine ne pokazuju izraženije promjene. Stoga je, osim količine oborine, važno analizirati i druge oborinske pokazatelje koji ukazuju na promjene u veličini i učestalosti oborinskih ekstrema, poput maksimalnih trajanja sušnih i kišnih razdoblja (*Poglavlje 2*).



Slika 1.1.1. Vremenski nizovi odstupanja godišnje količine oborine (R) od pripadnih srednjaka iz razdoblja 1981. – 2010. za četiri postaje u Hrvatskoj te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Iznosi trenda za navedene postaje nisu statistički značajni.

1.2. Trend srednje godišnje temperature zraka

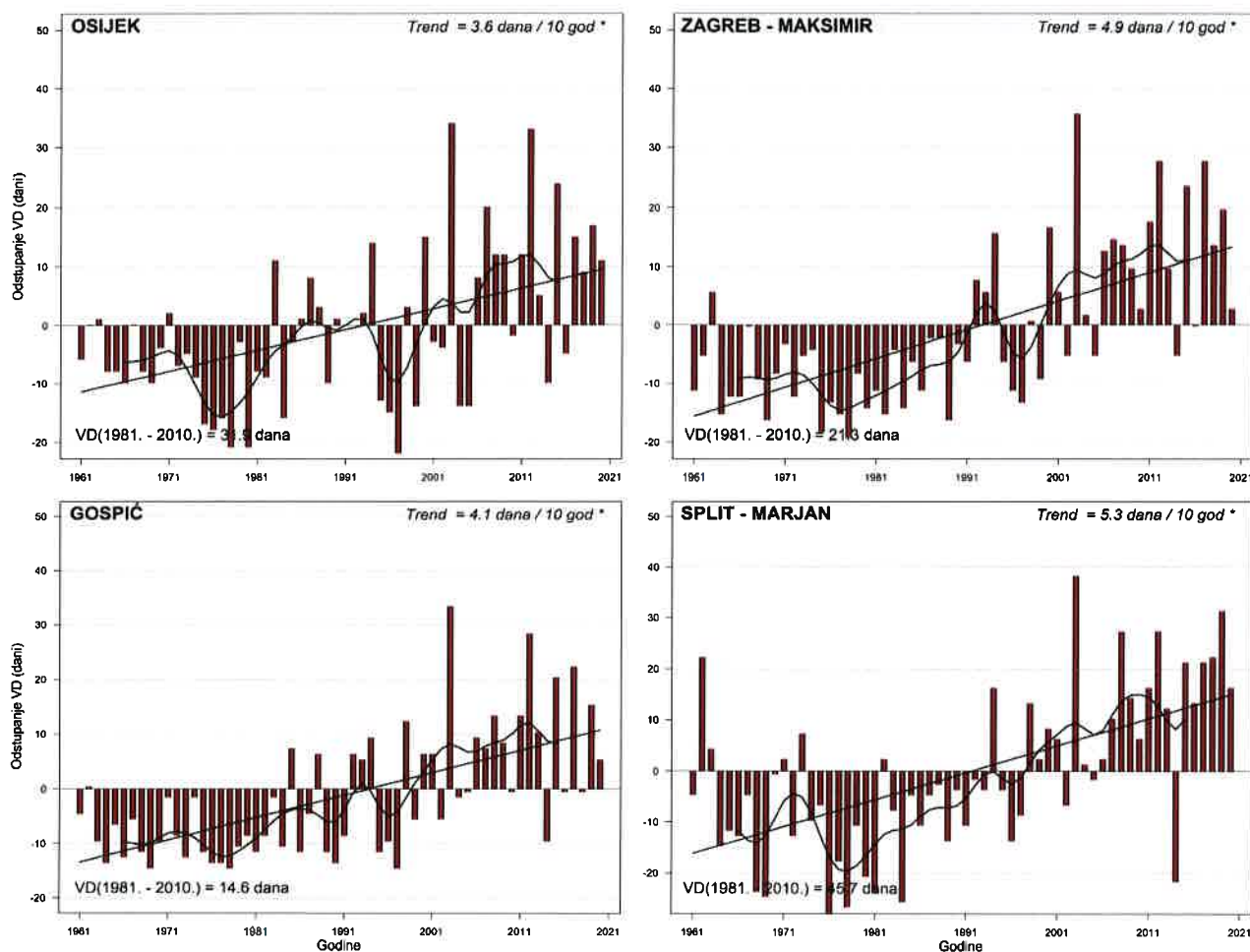
Trend srednje godišnje temperature zraka tijekom 60-godišnjeg razdoblja je pozitivan i statistički značajan na području cijele Hrvatske (Slika 1.2.1). Osobito je izražen porast srednje temperature zraka u razdoblju nakon 1991. godine. Najveće povećanje srednje temperature zraka, do $0.5 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$, utvrđeno je u središnjoj Hrvatskoj, nešto manje povećanje, do $0.45 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$, dobiveno je za područje istočne i gorske Hrvatske te sjevernog Hrvatskog primorja, dok je najmanji porast uočen na području Dalmacije, do $0.35 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$. Dobiveni rezultati posljedica su značajnog porasta u svim sezonama, najviše ljeti, od $0.31 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$ do $0.67 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$, a u ostalim sezonama između $0.02 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$ (jesen) odnosno $0.11 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$ (proljeće, zima) do $0.6 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ god}$.



Slika 1.2.1. Vremenski nizovi odstupanja srednje godišnje temperature zraka (T_{sred}) od pripadnih srednjaka iz razdoblja 1981. – 2010. te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Zvezdicom su označeni statistički značajni trendovi.

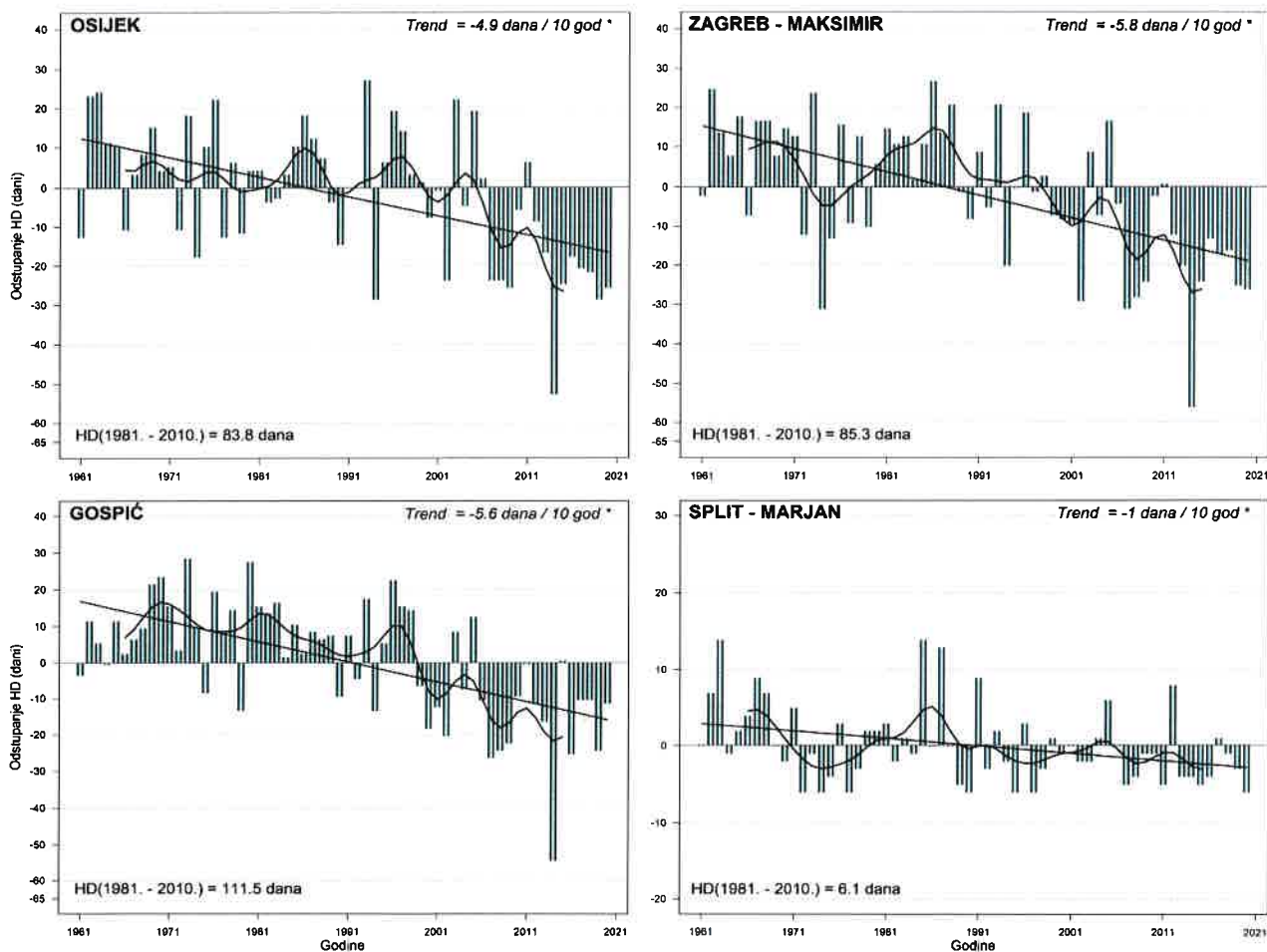
1.3. Trend broja vrućih i hladnih dana

Vrući dani definirani su kao dani s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka višom ili jednakom 30 °C. Na godišnjoj razini uočen je značajan porast broja vrućih dana koji u gorju i na sjeveru Hrvatske iznose do 5 dana po dekadi (Slika 1.3.1), a na južnom Jadranu i do 8 dana / 10 god. Tomu najviše doprinosi značajan porast broja vrućih dana u ljetnim mjesecima (3 – 7 dana / 10 god), a značajan porast uočen je i u proljeće i jesen (1 dan / 10 god).



Slika 1.3.1 Vremenski nizovi odstupanja broja vrućih dana (VD) od pripadnih srednjaka iz razdoblja 1981. – 2010. te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Zvezdicom su označeni statistički značajni trendovi.

Hladni dani definirani su kao dani s minimalnom dnevnom temperaturom zraka manjom od 0 °C. Uočeno zagrijavanje u Hrvatskoj popraćeno je statistički značajnim smanjenjem broja hladnih dana (Slika 1.3.2) u rasponu od 3 dana / 10 god na području Dalmacije do 8 dana / 10 god u središnjoj Hrvatskoj. Rezultat je to statistički značajnog smanjenja broja hladnih dana zimi na području cijele Hrvatske te u proljeće i jesen na području središnje i gorske Hrvatske (do 4 dana / 10 god).



Slika 1.3.2. Vremenski nizovi odstupanja broja hladnih dana (HD) od pripadnih srednjaka iz razdoblja 1981. – 2010. te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Zvezdicom su označeni statistički značajni trendovi.

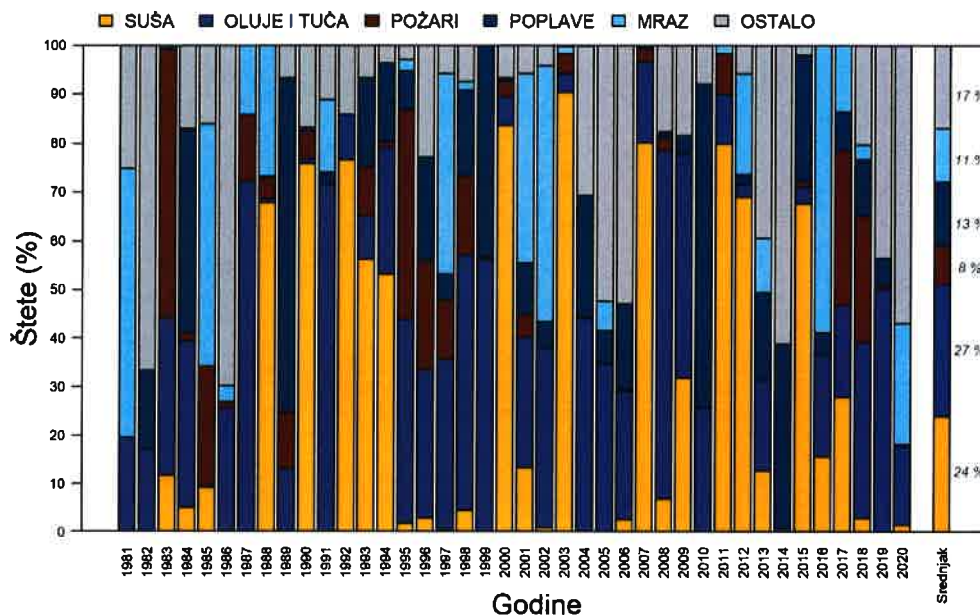
1.4. Učestalost ekstrema

Prema dostupnim podacima o prijavljenim štetama od elementarnih nepogoda u Republici Hrvatskoj za razdoblje 1981. – 2020. (MF 2013, 2022), najveće štete uzrokovane su olujama i tučama (27 %) te sušama (24 %), a zatim poplavama (13 %). U ovom poglavlju, podaci o štetama uspoređeni su s podacima o učincima suša i poplava u Hrvatskoj prema raspoloživim novinskim izvješćima od 2000. godine (DHMZ, 2022).

Na Slici 1.4.1 prikazan je udio šteta od svih prirodnih nepogoda u Hrvatskoj, izražen u postocima od ukupnih šteta po pojedinim godinama. Zadnja kolona predstavlja prosječne vrijednosti udjela pojedine kategorije prirodne nepogode za cijelo analizirano razdoblje.

Iz podataka je vidljivo da su gotovo svake godine prijavljene štete od tuče i/ili oluje što doprinosi velikom udjelu u ukupnom broju šteta. Štete od suše u pojedinim godinama bile su izrazito velike (preko 70 %). U ranijem razdoblju prijavljen je velik broj šteta u 1983. i 1988. godini te tijekom sušnog razdoblja u trajanju od 1992. do 1994. U 21. stoljeću velike štete uzrokovane su sušama u 2000., 2003., 2007., 2009., 2011. – 2012., 2015. te 2017. godini. Prema podacima o učincima suše iz novinskih izvješća (slika 2 u Marinović i Cindrić Kalin, 2020) prijavljene štete u ranijem razdoblju odnosile su se nešto više na jadransko područje dok su u novijem razdoblju

izraženije štete i u kontinentalnoj Hrvatskoj. Najdugotrajnija suša koja je zahvatila 70 % teritorija Republike Hrvatske bila je 2011. godine (DHMZ, 2022; Cindrić i sur. 2015), a najviše novinskih izvješća o učincima suše prikupljeno je 2007. godine. Sve istaknute sušne godine u 21. stoljeću bile su i ekstremno tople što je dodatno doprinijelo negativnim učincima suše.



Slika 1.4.1. Udio šteta (u %) od pojedine kategorije prirodne nepogode u ukupnom iznosu prijavljenih šteta po pojedinoj godini iz razdoblja 1981. – 2020. Zadnja kolona predstavlja srednju vrijednost pojedine kategorije iz cijelog razdoblja.

Prema udjelu šteta od poplava, značajnije štete prijavljene su 1984., 1989. i 1999., a u novijem razdoblju zamjetne su štete tijekom 2004., 2010., 2014. i 2015. godine. Među njima, najistaknutija je 2010. kada su poplave uslijed velike oborine i izlivanja rijeka uzrokovale ogromne štete u Zagrebu i Zagrebačkoj županiji, u Metkoviću i dolini Neretve, u Slavoniji te Dubrovniku (DHMZ, 2022). Slijedi je 2014. godina poznata po nezapamćenoj poplavi na području županijske Posavine. Tijekom 2004. i 2015. zabilježene su štete od poplava diljem Hrvatske, no bile su daleko manjih razmjera nego u prije spomenutim godinama. Iako se 2017. godina financijski ne ističe po štetama od poplava jer nisu zahvatile velika područja Hrvatske, a istodobno je velik udio šteta prijavljen od suše, vrijedi spomenuti i nezapamćenu rujansku oborinu i poplavu u Zadru i Zadarskoj županiji koja je na tom području uzrokovala velike štete. Naime, nakon ekstremno toplog i ekstremno sušnog ljeta obilježenog i vrlo izraženim toplinskim valom s apsolutnim temperaturnim rekordima, u rujnu je u kratkom vremenskom razdoblju zabilježena ekstremna količina oborine (305 mm) koja je prouzročila bujice i porast vodostaja, a rujanska količina oborine bila je četverostruko veća od prosjeka (Cvitan i sur. 2017).

Treba napomenuti kako je za detaljnu ocjenu učestalosti ekstremnih događaja i njihovog povezivanja s klimatskih promjenama nužno kombinirati sve dostupne podatke, od hidrometeoroloških do onih o učincima pojedine prirodne nepogode, što potvrđuju ovdje provedene analize.

2. TLO I ZEMLJIŠTE

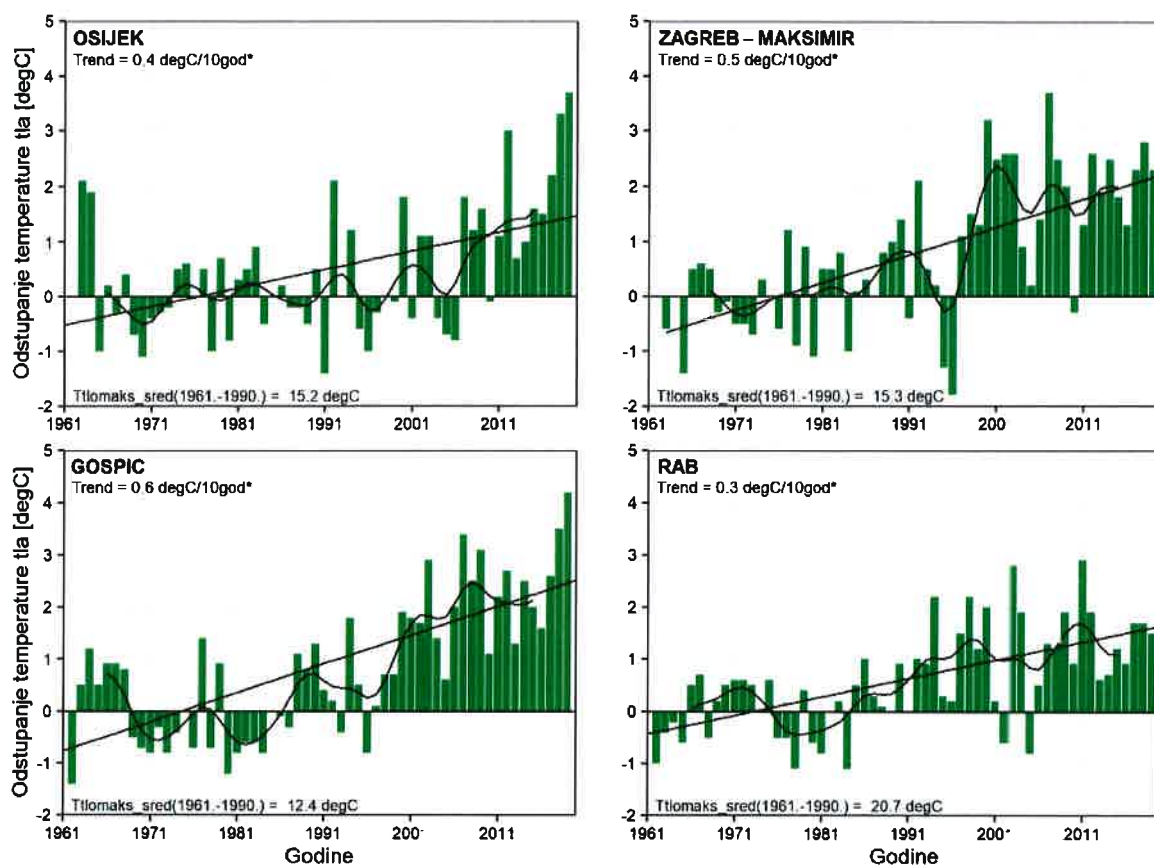
U ovom poglavlju analizirani su trendovi nizova maksimalne temperature tla na dubini od 5 cm na četiri meteorološke postaje Državnog hidrometeorološkog zavoda te nizova sušnih (SR) i kišnih razdoblja (KR) na 164 postaje. Nizovi svih parametara dostupni su za razdoblje 1961. – 2020. Rezultati su prikazani grafički za četiri postaje reprezentativne za različita klimatska područja Hrvatske: Osijek, Zagreb – Maksimir i Gospić te Rab za temperaturu tla odnosno Split-Marjan za sušna i kišna razdoblja. Trendovi su izračunati pomoću linearne regresije i izraženi su po dekadi, a njihova statistička značajnost (na 95%-tnoj razini) testirana je pomoću Mann-Kendallovog rang testa (Gilbert 1987.).

Osim trenda, analizirani su i nizovi standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) te standardiziranog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) za različite vremenske skale reprezentativne za klimatološke sezone (SPI-3), za toplo i hladno razdoblje (SPI-6) te za godinu (SPI-12) u različitim 30-godišnjim razdobljima.

2.1. Trend maksimalne temperature tla

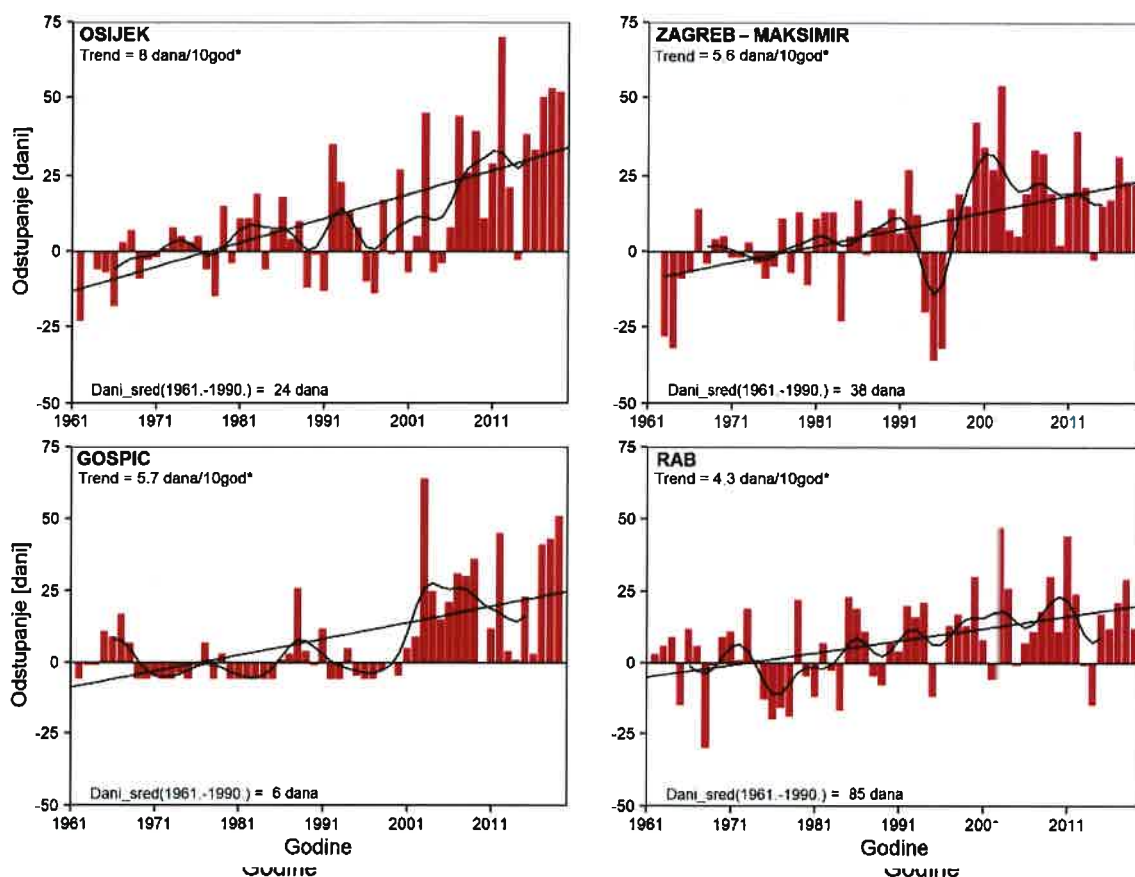
Temperatura tla je vrlo važan čimbenik koji utječe na sve fizikalno-kemijske, biokemijske i biološke procese u tlu. Toplina utječe na klijanje, nicanje, zrenje, urod te na vlagu u tlu koja je također važan čimbenik o kojem ovisi rast i razvoj biljaka (Otošec, 1980). Tijekom toplog dijela godine plići slojevi tla topliji su od dubljih pa se toplina prenosi s površine tla u dubinu. Situacija je drugačija u hladnom dijelu godine kada su dublji slojevi topliji pa se toplina dovodi iz dubine na površinu.

Trend maksimalne temperature tla na 5 cm dubine promatran je u razdoblju 1961. – 2020. Analiza je pokazala izražen porast maksimalne temperature tla nakon 1991. godine. U istočnoj Hrvatskoj (postaja Osijek) taj porast iznosi $0.4\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$, dok je u središnjoj Hrvatskoj (postaja Zagreb – Maksimir) porast nešto veći i iznosi $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$. Najveći porast u iznosu od $0.6\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$ uočen je u Lici (postaja Gospić) dok je najmanji u iznosu od $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$ uočen na Jadranu (postaja Rab) (slika 2.1.1). Analiza trenda maksimalne temperature na 5 cm dubine po sezonama pokazala je da je porast najveći ljeti (od $0.7\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$ do $1.0\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$). Trend rasta maksimalne temperature tla uočen je i na većim dubinama od 5 cm ali je nešto manji.



Slika 2.1.1. Vremenski nizovi odstupanja maksimalnih godišnjih temperatura tla na dubini od 5 cm te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Zvezdicom su označeni statistički značajni trendovi.

Analiza trenda broja dana s maksimalnom temperaturom tla na dubini od 5 cm jednakom ili višom od 30 °C pokazala je značajan porast broja takvih dana u posljednje dvije dekade. Najmanji porast u iznosu od 4 dana / 10 god zabilježen je na jadranskoj postaji (Rab), a najveći od 8 dana/10 god u istočnoj Hrvatskoj (Osijek) (slika 2.1.2). Uočeni rast broja dana u Lici (Gospić) i središnjem dijelu zemlje (Zagreb – Maksimir) bio je približno jednak (gotovo 6 dana / 10 god). Dulja trajanja visoke zagrijanosti površinskog sloja tla mogla bi ugroziti poljoprivrednu proizvodnju.

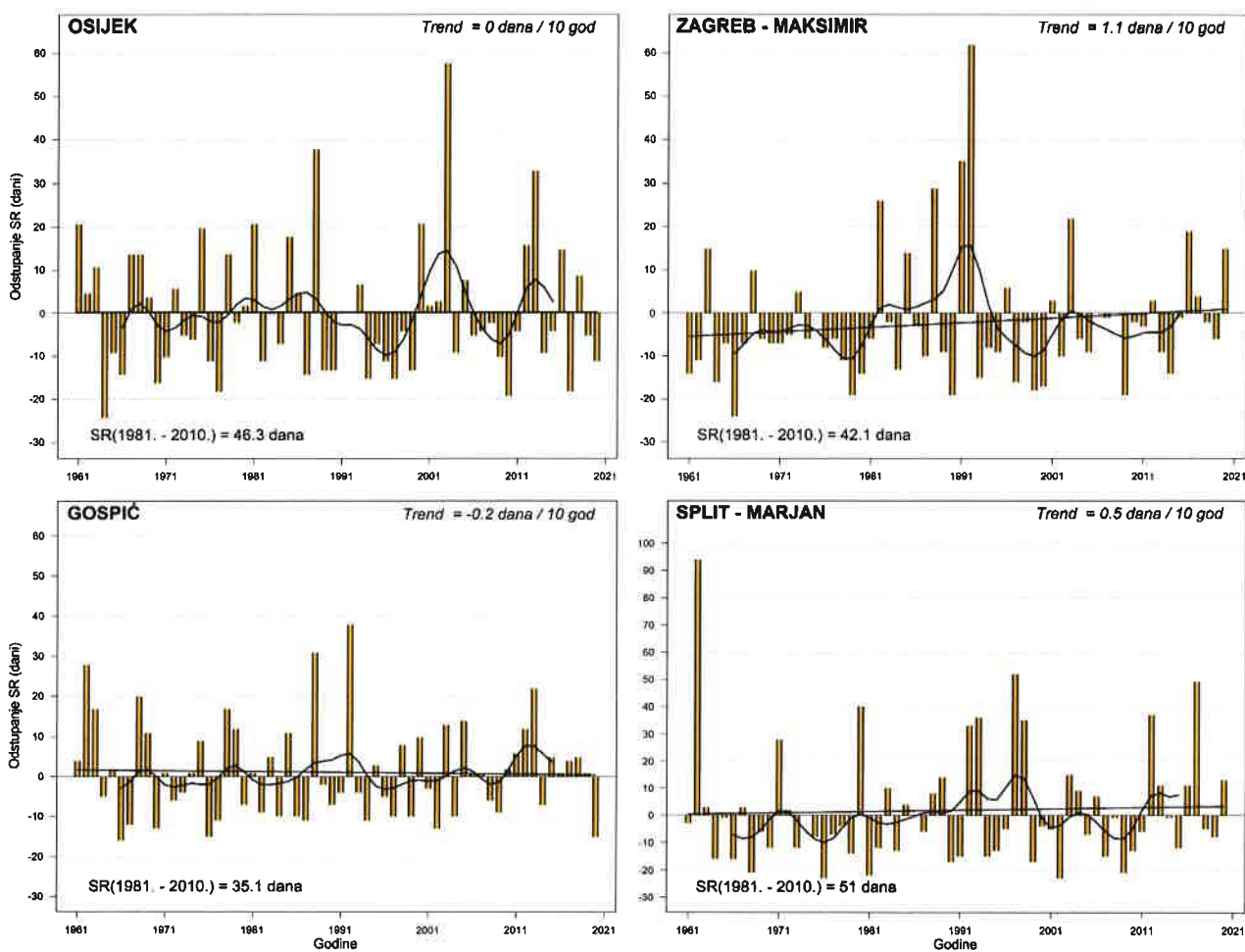


Slika 2.1.2. Vremenski nizovi odstupanja broja dana s maksimalnom temperaturom tla na dubini od 5 cm višom ili jednakom 30 °C te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Zvezdicom su označeni statistički značajni trendovi.

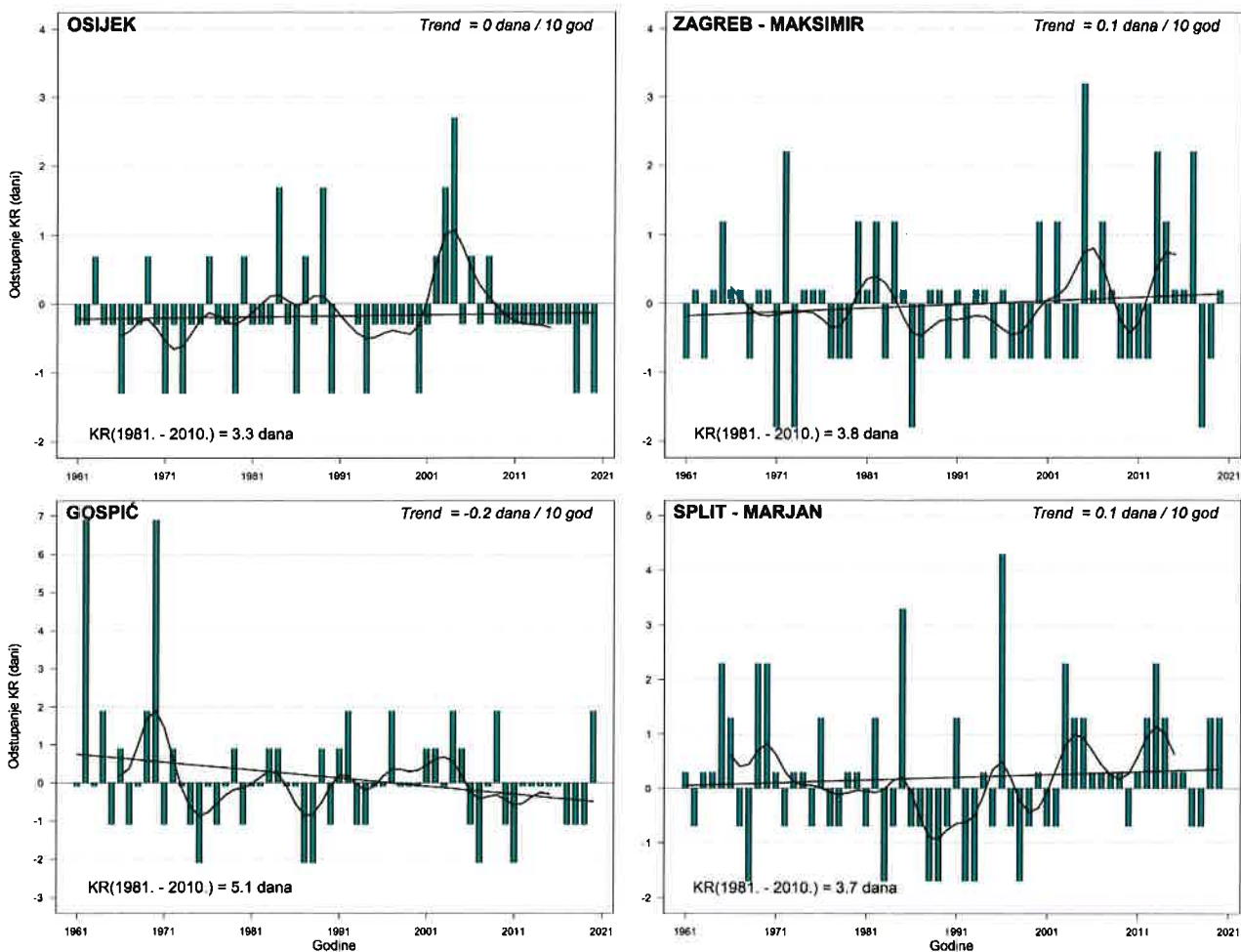
2.2. Trend sušnih i kišnih razdoblja

Sušna (kišna) razdoblja definirana su kao neprekidni nizovi dana s dnevnom količinom oborine manjom (većom) ili jednakom od 5 mm. Rezultati trenda maksimalnih trajanja sušnih razdoblja na godišnjoj razini ne pokazuju statistički značajne promjene niti je predznak trenda jednoznačan na području Hrvatske (Slika 2.2.1). Ipak, uočeno je konzistentno smanjenje duljine trajanja sušnih razdoblja u jesen, koje je značajno u Hrvatskom primorju i u Gorskom kotaru (5 – 10 % / 10 god). U ljetnim mjesecima prevladava trend produljenja sušnih razdoblja duž Jadrana i u sjeverozapadnim predjelima Hrvatske (do 10% / 10 god) dok je u istočnoj Hrvatskoj uočen negativan trend duljine sušnih razdoblja (5 – 10 % / 10 god).

Maksimalna godišnja trajanja kišnih razdoblja također ne pokazuju jednoznačan predznak promjena tijekom dugogodišnjeg razdoblja (Slika 2.2.2). U zimskim mjesecima prevladava trend produljenja kišnih razdoblja (do 5 % / 10 god) na sjevernom Jadranu i u SZ predjelima Hrvatske dok je u istočnoj Hrvatskoj trend negativan (do 5 % / 10 god). U proljetnim mjesecima trend produljenja kišnih razdoblja uočen je u cijeloj Hrvatskoj (do 10 % / 10 god) osim u sjevernom Hrvatskom primorju i gorju gdje prevladava negativan trend trajanja kišnih razdoblja.



Slika 2.2.1. Vremenski nizovi odstupanja sušnih razdoblja od pripadnih srednjaka iz razdoblja 1981. – 2010. te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Iznosi trenda za navedene postaje nisu statistički značajni.



Slika 2.2.2 Vremenski nizovi odstupanja kišnih razdoblja od pripadnih srednjaka iz razdoblja 1981. –2010. te 11-godišnji binomni klizni srednjaci i pravci linearne regresije za razdoblje 1961. – 2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a. Iznosi trenda za navedene postaje nisu statistički značajni.

2.3. Pojavnost i učestalost ekstremno sušnih kišnih događaja

Za ocjenu ekstremnih oborinskih (sušnih i kišnih) prilika mogu se koristiti različiti pokazatelji. Prema preporuci Svjetske meteorološke organizacije (WMO 2012.), za praćenje meteorološke suše preporučuje se standardizirani oborinski indeks (eng. *Standardized Precipitation Index*, SPI). U novije vrijeme sve se više u praksi i istraživanjima suše koristi i standardizirani oborinski evapotranspiracijski indeks (engl. *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*, SPEI) (Vicente-Serrano i sur. 2010) koji osim podataka o količini oborine uključuje i proračun potencijalne evapotranspiracije iz podataka o temperaturi zraka. Time indeks SPEI ukazuje i na anomalije vodne ravnoteže. Prednost ovih indeksa je što se mogu izračunati za različite vremenske skale omogućujući time praćenje meteorološke (do 3 mjeseca), agronomske (do 6 mjeseci) i hidrološke (dulje od 9 mjeseci) suše. Osim toga, ti indeksi pokazuju i suficit oborine, čime omogućuju i ocjenu kišnih događaja.

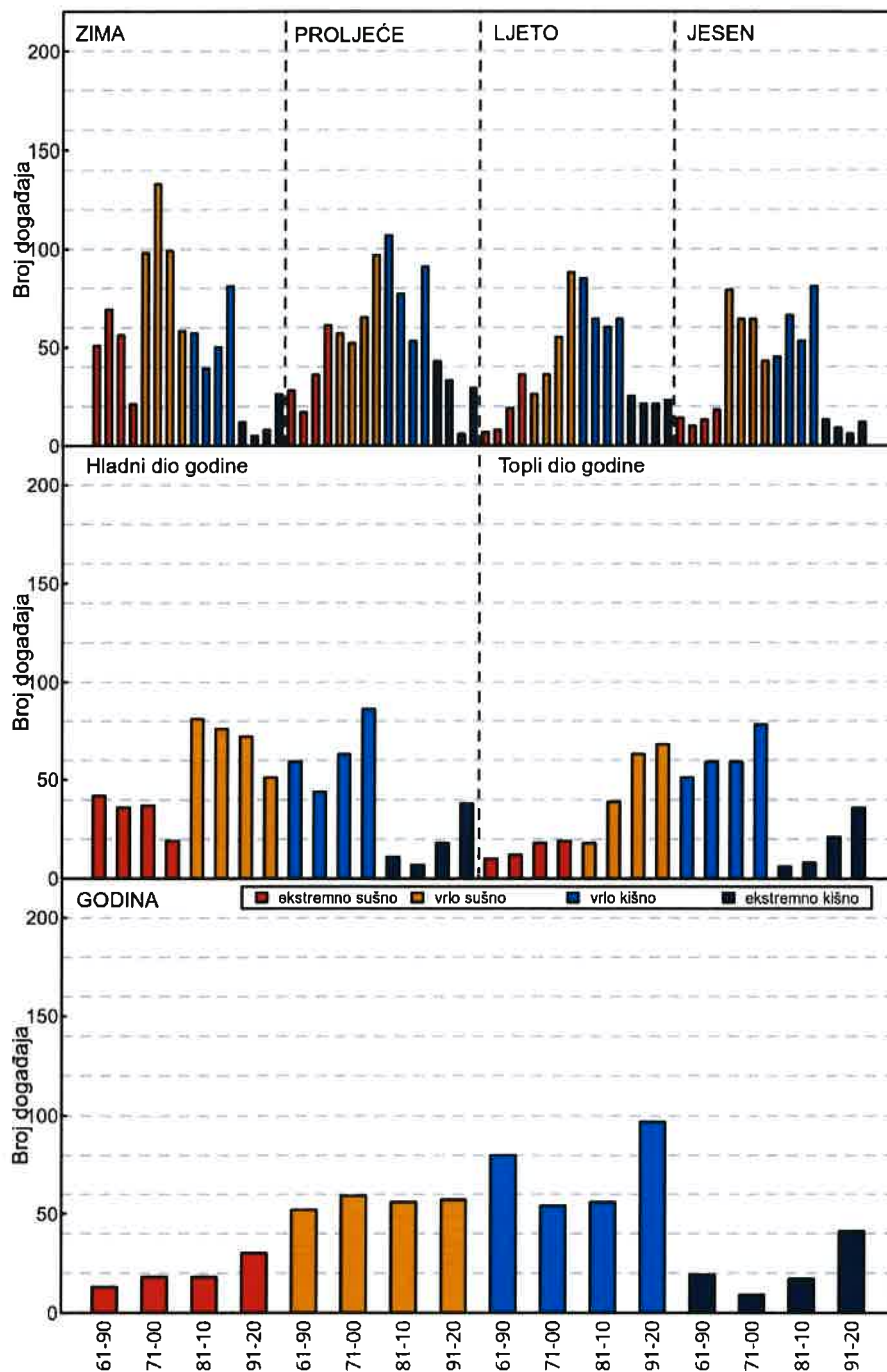
U tablici 2.3.1. nalazi se klasifikacijska skala za ocjenu oborinskih prilika prema vrijednostima SPI i SPEI (prema McKee i sur. 1993.). U narednom tekstu će SPI i SPEI i pripadna vremenska skala (M, trajanje u broju mjeseci) biti označeni sa SPI-M, odnosno SPEI-M.

Tablica 2.3.1. Klasifikacija oborinskih prilika prema vrijednostima SPI i SPEI.

Vrijednost indeksa	Klase
≥ 2	ekstremno kišno
1.5 do 1.99	vrlo kišno
1.0 do 1.49	umjereno kišno
-0.99 do 0.99	u granicama normale
-1.0 do -1.49	umjereno suho
-1.5 do -1.99	vrlo suho
≤ -2	ekstremno suho

Za potrebe ovog izvješća analizirani su vrlo sušni i ekstremno sušni događaji te vrlo kišni i ekstremno kišni (SPI > 2) događaji na 30 meteoroloških postaja za pojedinu sezonu (zima: XII – II, proljeće: III – V, ljeto: VI – VIII, jesen: IX – XI i godina) te za hladni (X – III) i topli (IV – IX) dio godine. Potonje razdoblje uključuje vegetacijski period.

Rezultati usporedbe učestalosti pojedine kategorije suše prema vrijednosti SPI za četiri 30-godišnja razdoblja (1961. – 1990., 1971. – 2000., 1981. – 2010. i 1991. – 2020.) prikazani su na slici 2.3.1. U tablici 2.3.1 navedene su učestalosti po razdobljima izražene u postocima od ukupnog broja pojedine kategorije iz cijelog raspoloživog razdoblja. Rezultati pokazuju znatno manju učestalost sušnih događaja zimi u razdoblju 1991. – 2020. u odnosu na prethodna razdoblja te vrlo sušnih događaja u jesen. Tako na primjer razlika zimskih događaja u novijem razdoblju u odnosu na 1961. – 1990. iznosi 10 % za vrlo sušne i 15 % za ekstremno sušne događaje, dok je jesenskih vrlo sušnih događaja 14 % manje. U proljeće i ljeto je, pak, povećana učestalost sušnih događaja u novijem razdoblju (15 % – 23 % u proljeće i 30 % – 41 % ljeti). S druge strane, u zimskim mjesecima je uočen porast broja obje kategorije kišnih događaja (11 % vrlo kišnih i 30 % ekstremno kišnih događaja) te vrlo kišnih događaja u jesen (15 %). Slično je u hladnom dijelu godine (X – III) kad je opaženo smanjenje broja sušnih (11 % – 17 %), a porast broja vrlo kišnih (za 11 %) i ekstremno kišnih događaja (za 37 %). U toplom dijelu godine vidljiv je porast broja događaja u svim analiziranim kategorijama, a osobito je izražen porast ekstremno kišnih događaja (za 42 %). Na godišnjoj skali vidljiv je porast ekstremnih događaja, kako sušnih tako i kišnih (22 % – 26 %).



Slika 2.3.1 Ukupan broj pojavljivanja ekstremno sušnih/kišnih i vrlo sušnih/kišnih događaja prema vrijednosti SPI u četiri 30-godišnja razdoblja (61-90: 1961. – 1990., 71-00: 1971. – 2000., 81-10: 1981. – 2010. i 91-20: 1991. – 2020.) po sezonama (gornji red), za topli i hladni dio godine (sredina) i za godinu (donji red) za cijelu Hrvatsku.

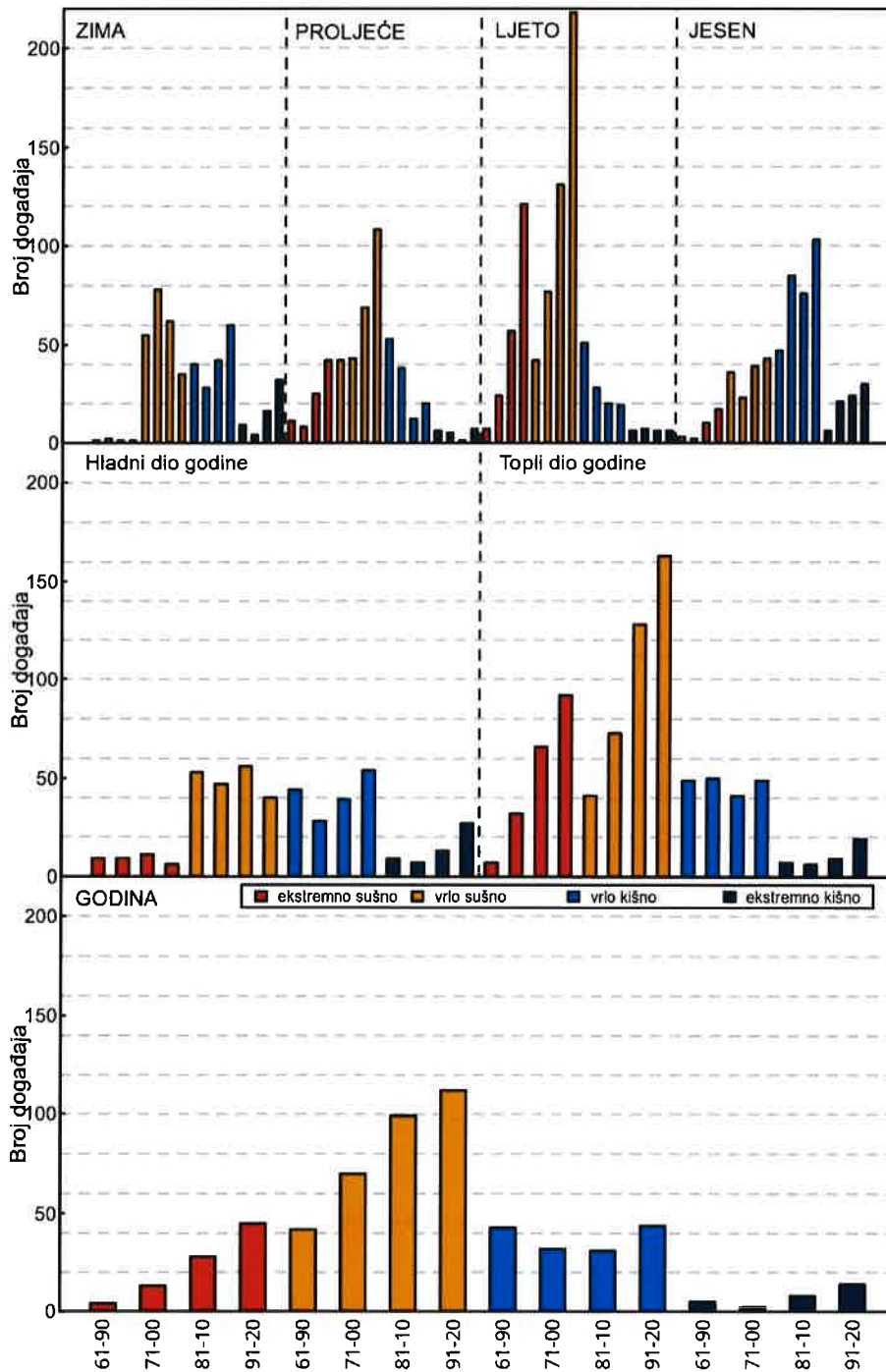
Tablica 2.3.1. Učestalost (u %) pojedine kategorije (KATEG) sušnih i kišnih događaja prema vrijednosti SPI i SPEI za četiri 30-godišnja razdoblja (RAZD): 1961. – 1990., 1971. – 2000., 1981. – 2010. i 1991. – 2020., po sezonama (zima, proljeće, ljeto i jesen), za topli (TG) i hladni (HG) dio godine te za godinu (GOD) na području Hrvatske.

KATEG	RAZD	ZIMA	PRO	LJETO	JESEN	HG	TG	GOD
SPI								
Ekstremno sušno	61-90	25.9	19.7	10	25.4	31.3	16.9	16.5
Ekstremno sušno	71-00	35.0	12.0	11.4	18.2	26.9	20.3	22.8
Ekstremno sušno	81-10	28.4	25.4	27.1	23.6	27.6	30.5	22.8
Ekstremno sušno	91-20	10.7	43.0	51.4	32.7	14.2	32.2	38
Vrlo sušno	61-90	25.3	21.0	12.7	31.6	28.9	9.6	23.2
Vrlo sušno	71-00	34.3	19.2	17.6	25.6	27.1	20.7	26.3
Vrlo sušno	81-10	25.5	24.0	26.8	25.6	25.7	33.5	25.0
Vrlo sušno	91-20	14.9	35.8	42.9	17.2	18.2	36.2	25.4
Vrlo kišno	61-90	25.1	32.6	31.1	18.4	23.4	20.6	27.9
Vrlo kišno	71-00	17.2	23.5	23.4	26.9	17.5	23.9	18.8
Vrlo kišno	81-10	22	16.2	22	21.6	25	23.9	19.5
Vrlo kišno	91-20	35.7	27.7	23.4	33.1	34.1	31.6	33.8
Ekstremno kišno	61-90	23.5	38.7	27.8	32.5	14.9	8.4	22.1
Ekstremno kišno	71-00	9.8	29.7	23.3	22.5	9.5	11.3	10.5
Ekstremno kišno	81-10	15.7	5.4	23.3	15.0	24.3	29.6	19.8
Ekstremno kišno	91-20	51	26.1	25.6	30.0	51.4	50.7	47.7
SPEI								
Ekstremno sušno	61-90	20.0	12.8	3.4	9.4	25.7	3.5	4.4
Ekstremno sušno	71-00	40.0	9.3	11.5	6.2	25.7	16.2	14.4
Ekstremno sušno	81-10	20.0	29.1	27.3	31.2	31.4	33.5	31.1
Ekstremno sušno	91-20	20.0	48.8	57.9	53.1	17.1	46.7	50
Vrlo sušno	61-90	23.9	16.0	9.0	25.5	27.0	10.1	13.0
Vrlo sušno	71-00	33.9	16.4	16.4	16.3	24.0	18.0	21.7
Vrlo sušno	81-10	27.0	26.3	28.0	27.7	28.6	31.6	30.6
Vrlo sušno	91-20	15.2	41.2	46.6	30.5	20.4	40.2	34.7
Vrlo kišno	61-90	23.5	43.1	43.2	15.1	26.7	25.9	28.7
Vrlo kišno	71-00	16.5	30.9	23.7	27.3	17	26.5	21.3
Vrlo kišno	81-10	24.7	9.8	16.9	24.4	23.6	21.7	20.7
Vrlo kišno	91-20	35.3	16.3	16.1	33.1	32.7	25.9	29.3
Ekstremno kišno	61-90	14.8	31.6	24	7.4	16.1	17.1	17.2
Ekstremno kišno	71-00	6.6	26.3	28	25.9	12.5	14.6	6.9
Ekstremno kišno	81-10	26.2	5.3	24	29.6	23.2	21.9	27.6
Ekstremno kišno	91-20	52.5	36.8	24	37	48.2	46.3	48.3

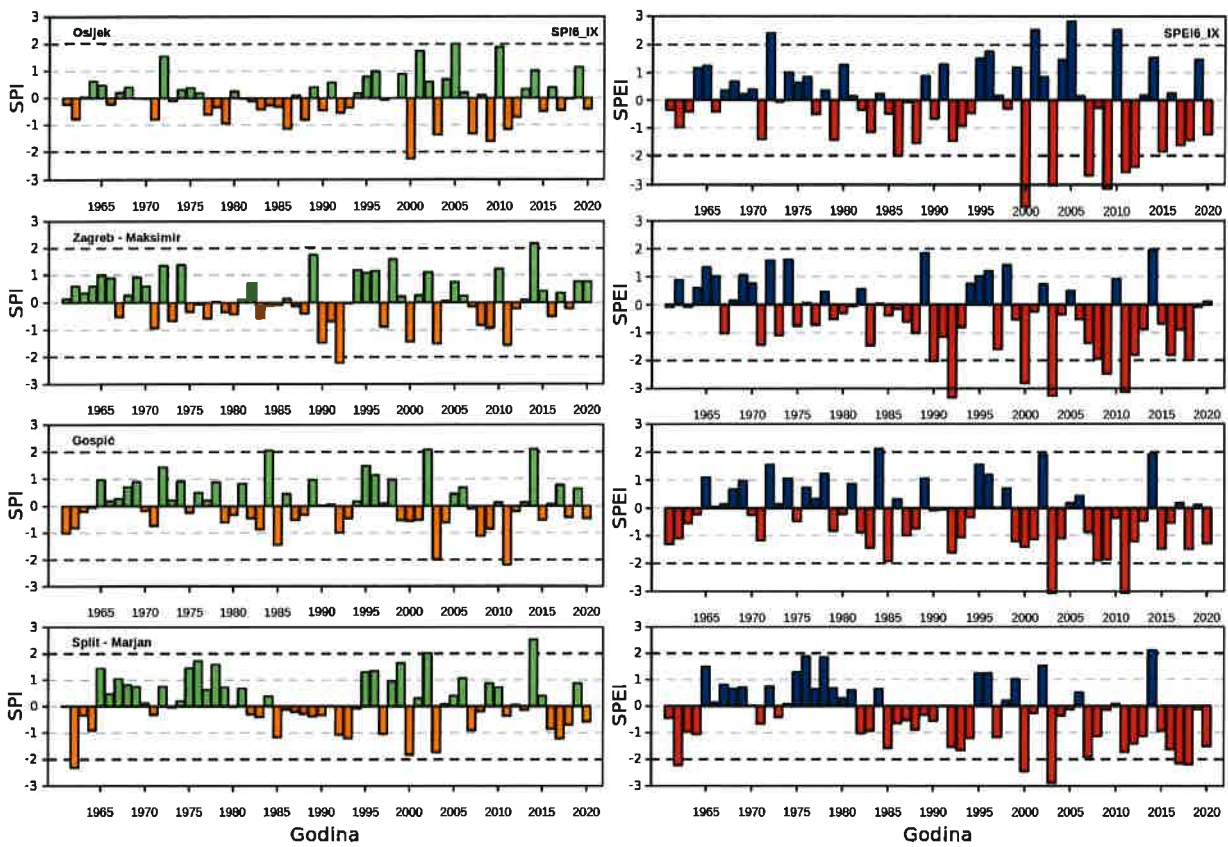
Slična analiza provedena je i za SPEI. Rezultati usporedbe učestalosti pojedine kategorije suše prema vrijednosti SPEI za četiri 30-godišnja razdoblja prikazani su na slici 2.3.2., a vrijednosti za pojedinu kategoriju sušnih i kišnih događaja, izražene u postocima od ukupnog broja događaja iz cijelog razdoblja, navedeni su u tablici 2.3.1. Vidljiv je utjecaj temperature zraka odnosno potencijalne evapotranspiracije koja je uključena u izračun tog indeksa u odnosu na SPI koji uzima u obzir samo podatke o količini oborine. Tako je u hladnom dijelu godine (osobito zimi), ali i u proljeće, znatno manji broj ekstremno sušnih događaja prema SPEI u odnosu na broj istih prema SPI. S druge strane, znatno je veći broj ekstremno sušnih događaja prema SPEI u ljetnim mjesecima kada je jasan utjecaj visokih temperatura na evapotranspiraciju.

Rezultati usporedbe učestalosti pojedinih kategorija sušnih i kišnih događaja pokazuju izrazit porast (38 % – 55 %) ljetnih sušnih događaja u novijem razdoblju (1991. – 2020.) u odnosu na ranije (1961. – 1990.). Slično je povećanje uočeno i u proljeće što sve skupa rezultira jasnim porastom sušnih događaja u vegetacijskom razdoblju (30 % – 43 %). U proljeće i ljeto uočeno je smanjenje vrlo kišnih događaja (27 %) dok je u zimskim i jesenskim mjesecima njihov broj nešto veći (12 % – 18 %) u odnosu na ranije razdoblje. Konačno, tijekom cijele godine izraženiji je porast broja sušnih događaja u razdoblju 1991. – 2020. prema SPEI nego prema SPI, uslijed značajnog porasta temperature zraka u tom razdoblju.

Na slici 2.3.3 prikazani su vremenski nizovi indeksa SPI i SPEI za topli dio godine (IV – IX) u razdoblju 1961. – 2020. za četiri odabrane postaje. Vidljiv je utjecaj zatopljenja u 21. stoljeću što je rezultiralo znatno većim brojem ekstremno sušnih događaja prema indeksu SPEI.



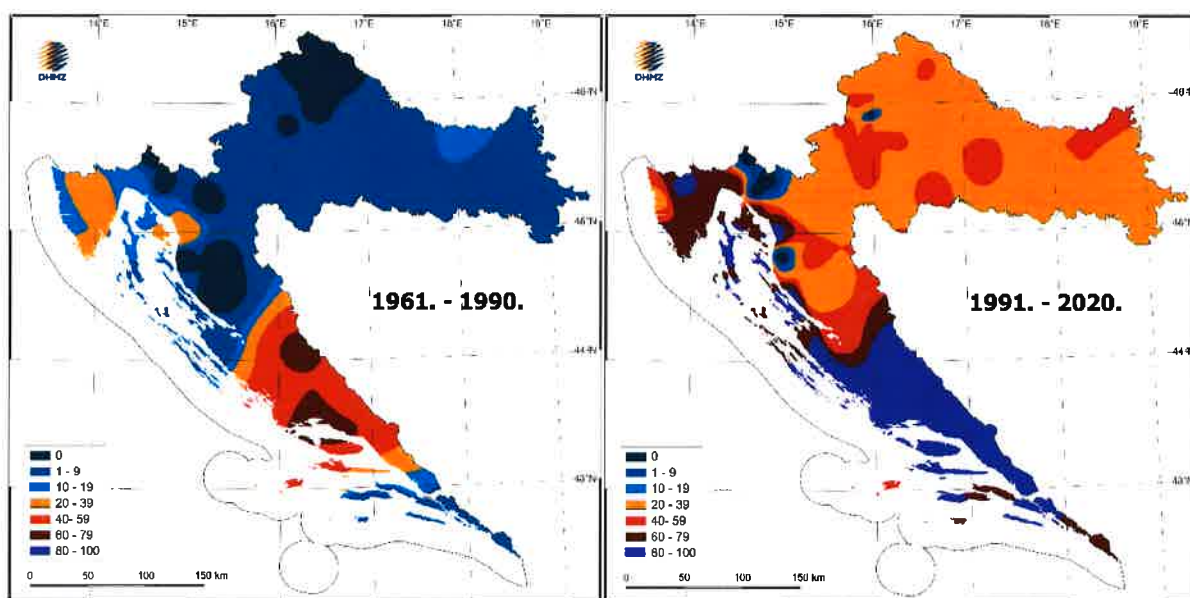
Slika 2.3.2 Ukupan broj ekstremno sušnih/kišnih i vrlo sušnih/kišnih događaja prema vrijednosti SPEI u četiri 30-godišnja razdoblja (61-90: 1961. – 1990., 71-00: 1971. – 2000., 81-10: 1981. – 2010. i 91-20: 1991. – 2020.) po sezonama (gornji red), za topli i hladni dio godine (sredina) i za godinu (donji red) za cijelu Hrvatsku.



Slika 2.3.3. Vremenski nizovi standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) na četiri postaje u Hrvatskoj u razdoblju 1961. – 2020.

2.4. Toplinski stres u poljoprivredi na području Hrvatske

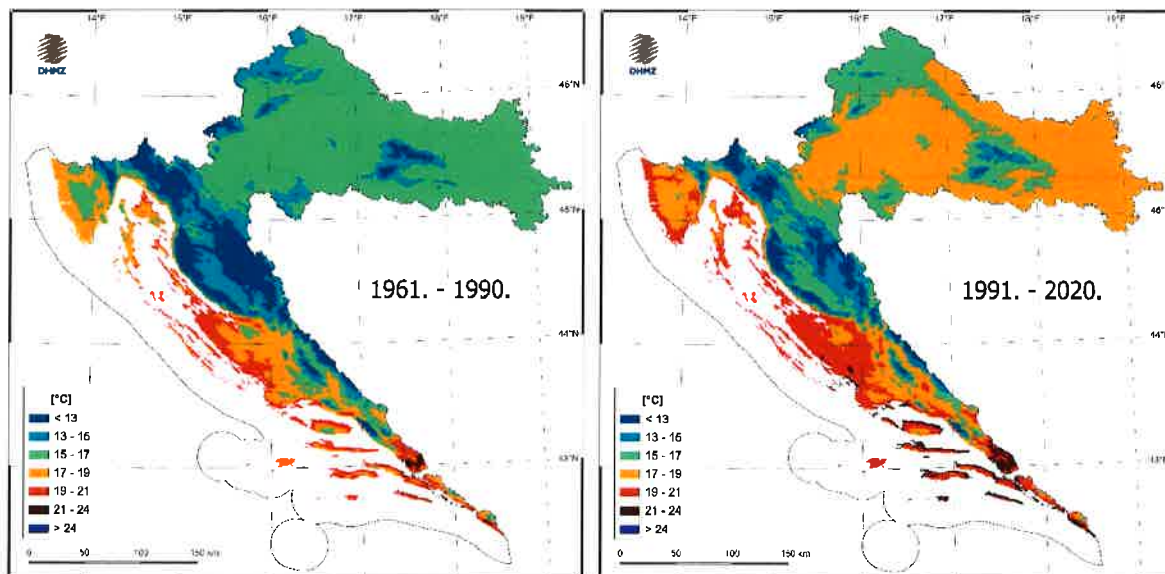
Suša i toplinski stres negativno utječu na razvoj i produktivnost usjeva te uzrokuju velike gospodarske štete u poljoprivredi u Republici Hrvatskoj. Visoke temperature zraka mogu usporiti razvoj i uzrokovati promjene u boji ploda i lista, oštetiti lišće i uzrokovati opekline na njemu te ubrzati starenje lišća (Fahad i sur. 2017). Apsolutni maksimumi temperature zraka iznad 35 °C izmjereni su u svim područjima Republike Hrvatske izuzev viših predjela. Ipak, razdoblja s maksimalnom temperaturom zraka iznad 35 °C uglavnom ne traju duže od nekoliko dana. Toplinski stres se definira kao razdoblje od najmanje 10 uzastopnih dana s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka jednakom ili većom od 30 °C. Ugroženost poljoprivredne proizvodnje uslijed toplinskog stresa smatra se ispunjavanjem tog kriterija s vjerojatnošću većom od 20% (barem jednom u 6 godina od 30 promatranih godina). Iz usporedbe dvaju klimatoloških razdoblja, 1961. – 1990. i 1991. – 2020., vidljivo je značajno povećanje ugroženosti toplinskim stresom na teritoriju Republike Hrvatske. U ranijem klimatološkom razdoblju, 1961. – 1990., područje najugroženije toplinskim stresom bila je središnja Dalmacija (slika 2.4.1 lijevo). U novijem klimatološkom razdoblju, 1991. – 2020., ta ugroženost u središnjoj Dalmaciji postala je još izraženija, a kriterij toplinskog stresa uz maksimalnu dnevnu temperaturu zraka $\geq 30^{\circ}\text{C}$ u novijem klimatološkom razdoblju (slika 2.4.1 desno) pokriva gotovo cijelu Republiku Hrvatsku izuzev gorskih predjela iznad 700 m nadmorske visine. Nastavkom trenda rasta temperature zraka očekuje se i nastavak povećanja ugroženosti toplinskim stresom u budućnosti.



Slika 2.4.1 Vjerojatnost ugroženosti od 10 i više uzastopnih dana s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka $\geq 30^{\circ}\text{C}$ u razdobljima 1961. – 1990. (lijevo) i 1991. – 2020. (desno)

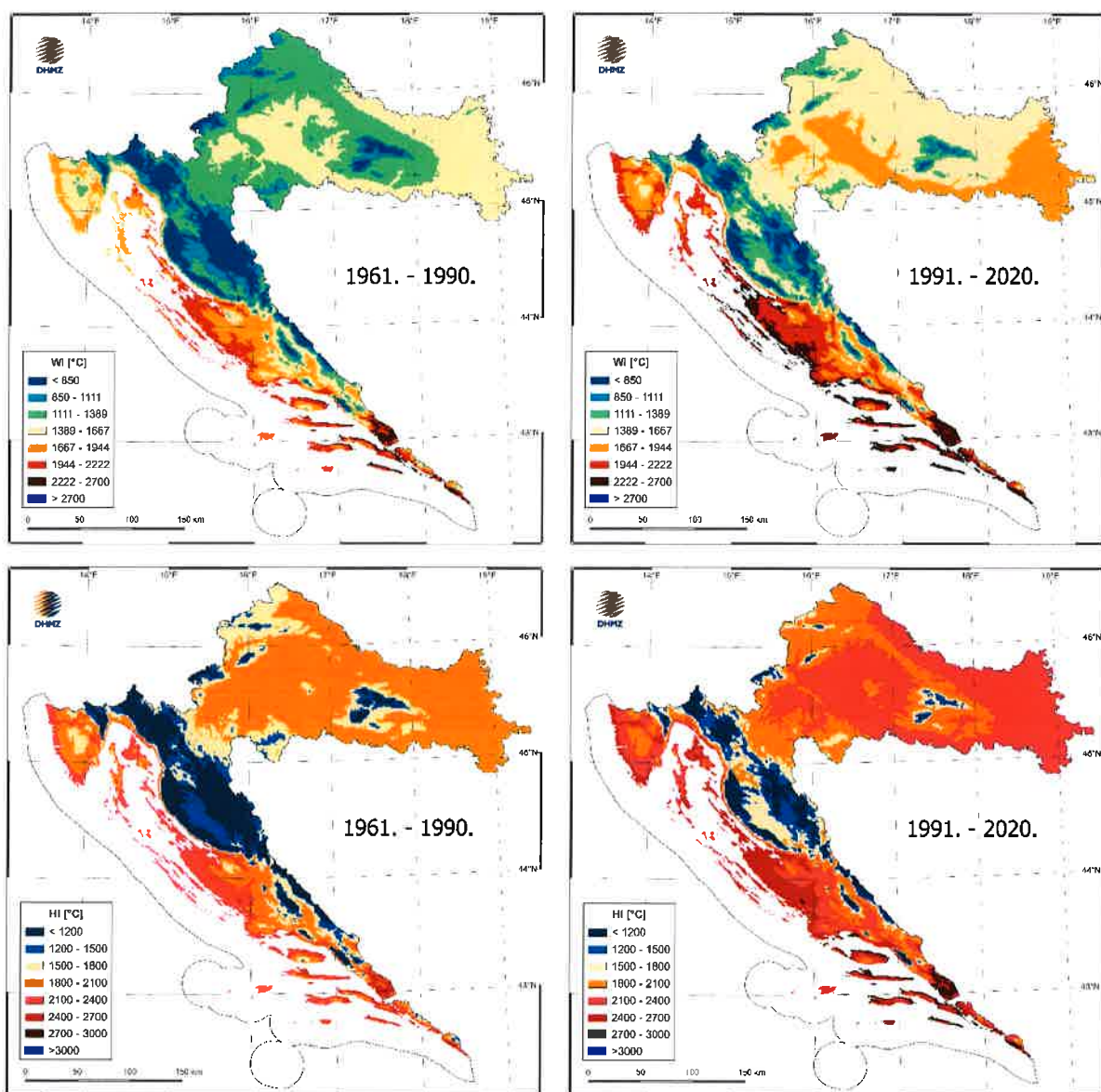
2.5. Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju

Vinova loza uzgaja se već stoljećima na području Republike Hrvatske, a vinogradarstvo i proizvodnja vina predstavljaju vrlo važnu ekonomsku djelatnost. Stoga praćenje i utvrđivanje utjecaja klimatskih promjena na razvoj i urod vinove loze imaju veliku važnost. Usporedbom dvaju klimatoloških razdoblja 1961. – 1990. i 1991. – 2020. uočen je značajan porast prosječne temperature zraka tijekom vegetacijskog razdoblja (engl. *Growing Season Temperature, GST*) u novijem klimatološkom razdoblju te je u velikom dijelu zemlje GST prešla u višu temperaturnu klasu (slika 2.5.1).



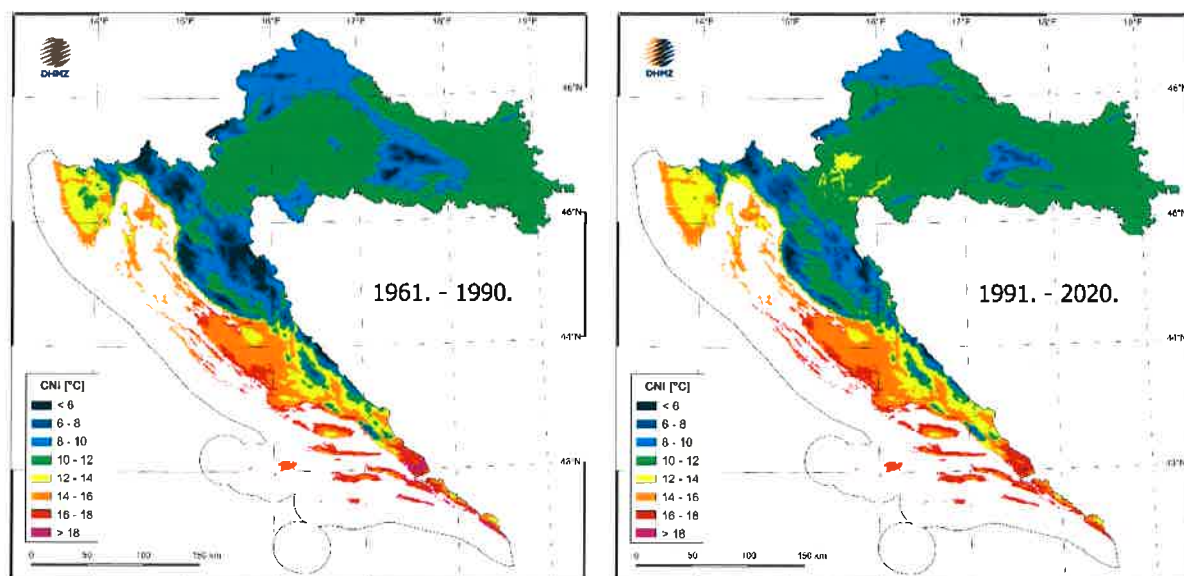
Slika 2.5.1 Prosječna temperatura zraka tijekom vegetacijskog razdoblja u dva klimatološka razdoblja (1961. – 1990. i 1991. – 2020.).

Porastom temperature zraka akumulira se više topline, što se očituje u temperaturnim sumama. Jedan od prvih indeksa koji je razvijen za potrebe poljoprivrede je Winklerov indeks (Amerine i Winkler 1944.) koji predstavlja temperaturne sume iznad temperaturnog praga od 10 °C. Uzima se granica od 10 °C jer temperatura zraka iznad tog praga omogućuje vegetativni razvoj vinove loze. Osim Winklerovog indeksa, u vinogradarstvu je vrlo važan i Huglin-ov heliotermalni indeks. Radi se o nešto kompleksnijem indeksu koji pored srednje dnevne i maksimalne dnevne temperature zraka uvažava i srednju duljinu trajanja svijetlog dijela dana, odnosno geografsku širinu (Huglin 1978). Vrijednosti oba indeksa značajno su porasle u novijem klimatološkom razdoblju 1991. – 2020. (slika 2.5.2), a porastom akumulirane topline u područjima na višim nadmorskim visinama koja prije nisu bila pogodna za uzgoj vinove loze polako raste vinorodni potencijal. Naime, donja granica heliotermalnog indeksa oko koje je moguć uzgoj vinove loze na nekom području iznosi 1500 °C.



Slika 2.5.2. Prostorna razdioba Winklerovog indeksa: razdoblje 1961. – 1990. (gore lijevo), razdoblje 1991. – 2020. (gore desno); Huglinovog indeksa: razdoblje 1961. – 1990. (dolje lijevo), razdoblje 1991. – 2020. (dolje desno).

Tijekom dozrijevanja grožđa radi postizanja određene boje i arome bitna je noćna temperatura zraka pa se za određivanje klimatskih uvjeta za dozrijevanje grožđa na nekom području koristi indeks hladnih noći (engl. *Cool Night Index*, CNI). Usporedba prostorne razdiobe CNI pokazala je porast noćnih temperatura zraka na kontinentu u novijem klimatološkom razdoblju 1991. – 2020. dok duž obale nije došlo do znatnijih promjena (slika 2.5.3). Što se tiče samog zrenja grožđa, u novijem klimatološkom razdoblju uočeno je skraćenje prosječnog trajanja zrenja grožđa (tablica 2.5.1). U unutrašnjosti zemlje prosječno trajanje zrenja grožđa skratilo se za 21 dan (postaja Daruvar, sorta graševina), a duž obale za 12 dana (postaja Hvar, sorta plavac mali). Kraće zrenje grožđa utječe na odnos šećera i kiseline, a samim time i na kvalitetu vina (Čiček 2011).



Slika 2.5.3. Prostorna razdioba CNI za dva klimatološka razdoblja: 1961. – 1990. (lijevo) i 1991. – 2020. (desno).

Tablica 2.5.1. Srednja duljina trajanja (dani) zrenja graševine i plavca malog od početka do punog zrenja na postajama Daruvar i Hvar za dva klimatološka razdoblja, 1961. – 1990. i 1991. – 2020. (Daruvar) odnosno 1991. – 2016. (Hvar).

Sorta	Postaja	Duljina trajanja zrenja grožđa (dani)	
		1961. – 1990.	1991. – 2020.
Graševina	Daruvar	35	14
Plavac mali	Hvar	32	20

Literatura

- Amerine M.A., Winkler A.J. (1944). Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15:493-675.
- Cindrić K., Telišman-Petrunjak 2015, Herceg-Bulić I., Mihajlović D., Pasarić Z. (2015) Analysis of the extraordinary 2011/2012 drought in Croatia. *Theoretical and Applied Climatolgy*, 123, 3; doi: 503-522 doi:10.1007/s00704-014-1368-8
- Cvitan L., Renko T., Cindrić Kalin K., Kozarić T., Mikuš Jurković P. (2017) Obilna oborina u Hrvatskoj u rujnu 2017. *Hrvatska vodoprivreda*, 221.
- Čiček P. (2011) Utjecaj klimatskih promjena na fenološke faze vinove loze i Huglinov indeks u Hrvatskoj, Diplomski rad, Geofizički odsjek PMF-a, Sveučilište u Zagrebu, 64 str.
- DHMZ (2022) Mjesečni meteorološki i hidrološki bilten. Državni hidrometeorološki zavod. <http://meteo.hr> (preuzeto 17. siječnja 2022.)
- Fahad S., Bajwa A. A., Nazir U., Anjum S. A., Farooq A., Zohaib A., Sadia S., Nasim W., Adkins S., Saud S., Ihsan M. Z., Alharby H., Wu C., Wang D. and Huang J. (2017) Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Front. Plant Sci.* 8:1147. doi: 10.3389/fpls.2017.01147
- Gilbert R.O. (1987) *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons, Inc., New York
- Huglin P, 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole, *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 1117-1126.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993): The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- Otorepec S, 1980: *Agrometeorologija*, Nolit, Beograd, 236 str.
- MF (2013): Štete od elementarnih nepogoda u Republici Hrvatskoj u razdoblju 1981.– 2012. Ministarstvo financija
- MF (2022): Prijavljene štete po vrstama prirodnih nepogoda po županijama. Ministarstvo financija. <https://mfin.gov.hr> (preuzeto 3. veljače 2022.)
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. (2010): A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696, DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- WMO (2012) *Standardized Precipitation Index User Guide* (Svoboda M, Hayes M , Wood D). WMO-No. 1090, Geneva.