

# Klimatološka analiza satnih indeksa oborinskih ekstrema

---

Starčević, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:076154>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

Ana Starčević

KLIMATOLOŠKA ANALIZA SATNIH  
INDEKSA OBORINSKIH EKSTREMA

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ FIZIKA-GEOFIZIKA  
SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOLOGRAFIJA

Ana Starčević

Diplomski rad

**Klimatološka analiza satnih indeksa  
oborinskih ekstrema**

Voditeljica diplomskog rada: dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin

Suvoditelj diplomskog rada: prof. dr. sc. Zoran Pasarić

Zagreb, 2024.

*Zahvaljujem voditeljici dr. sc. Kseniji Cindrić Kalin na prihvaćanju mentorstva, posvećenom vremenu, podršci i svom prenesenom znanju tijekom vođenja rada. Hvala i kolegi mag. phys.–geophys. Ivanu Lončaru-Petrinjaku na pomoći s obradom podataka. Također zahvaljujem suvoditelju prof. dr. sc. Zoranu Pasariću na prenesenom znanju tijekom studija i vrijednim savjetima oko izrade rada.*

*Hvala mojoj obitelji i prijateljima na beskrajnoj podršci tijekom studiranja.*

## Sažetak

U ovom radu analizirani su intenziteti i učestalosti kratkotrajne jake oborine s pomoću indeksa ekstrema temeljenih na satnim vrijednostima oborine u trajanju od 1, 3 i 6 sati. Analiza je provedena prema satnim podacima ombrografskih postaja iz mreže DHMZ-a na cijelom području Hrvatske u razdoblju od 1961. do 2020., te uključuje osnovnu klimatologiju mjesečnih, sezonskih i godišnjih satnih maksimuma oborine. Rezultati pokazuju da se najviši intenziteti i učestalosti satnih oborinskih ekstrema u Hrvatskoj javljaju na sjevernom i južnom Jadranu te u Gorskom kotaru. Maksimalne vrijednosti indeksa intenziteta i učestalosti za svaku regiju zapažene su u isto doba godine, što sugerira zajednički uzrok povezan s vrhuncem konvektivne i grmljavinske aktivnosti. Na kontinentu su maksimalne satne oborine opažene tijekom ljeta, dok su u gorskim predjelima i duž Jadrana primijećene nešto kasnije, krajem ljeta i početkom jeseni. Također, uočeni su značajni udjeli satnih ekstrema u dnevnoj oborini na kontinentu, što upućuje na to da ove pojave mogu biti rezultat izoliranih događaja kratkog trajanja ili dijelom dužih oluja s izraženim vrhuncem. Analiza pokazuje da se satni maksimumi oborine najčešće pojavljuju oko ponoći, dok se tijekom toplijeg dijela godine zapažaju i u popodnevnim satima na kontinentu te u noćnim satima na jadranskoj obali i otocima. Preliminarna analiza trendova godišnjih maksimuma satne oborine uputila je na nedostatak dugih i potpunih nizova ombrografskih mjerenja, onemogućujući izračun trenda za sve postaje tijekom cijelog analiziranog razdoblja. Većina postaja pokazuje trend intenzifikacije kratkotrajne jake oborine u razdoblju od 1981. do 2020., statistički značajan samo na nekoliko postaja. Dodatno su uspoređeni srednjaci indeksa intenziteta i trajanja u dva klimatološka razdoblja, te je u posljednjem 30-godišnjem razdoblju primijećen porast u broju kišnih sati, intenzitetu satne oborine i prosječnom trajanju kišnih epizoda. Ovaj rad predstavlja prvu klimatološku analizu kratkotrajne oborine u Hrvatskoj, a rezultati mogu poslužiti kao korisna podloga za procjenu rizika od bujičnih poplava, kao i za klimatsko modeliranje i prilagodbu na klimatske promjene. Također, rezultati mogu biti osnova za izradu kriterija upozorenja na jake kiše, koji bi se zbog klimatskih promjena trebali redovito pratiti i revidirati.

**Ključne riječi:** kratkotrajne jake oborine, indeksi ekstrema, klimatske promjene, trend

# Climatological analysis of sub-daily indices of precipitation extremes

## Abstract

In this study, we analyzed the intensities and frequencies of short-term heavy rainfall using extreme indices based on sub-daily rainfall values with durations of 1, 3, and 6 hours. The analysis was conducted using hourly data from rain gauges in the DHMZ network across Croatia for the period from 1961 to 2020. It includes basic climatology of monthly, seasonal, and annual sub-daily rainfall maxima. The results indicate that the highest intensities and frequencies of sub-daily rainfall extremes in Croatia occur in the northern and southern Adriatic regions and Gorski kotar. The timing of peak intensity and frequency of extreme events both occur in the same season for each region, suggesting that these aspects are influenced by similar processes linked to the peak of convective and thunderstorm activity. On the mainland, maximum sub-daily rainfall is observed during the summer, while in mountainous areas and along the Adriatic coast, it is noticed somewhat later, towards the end of summer and the beginning of autumn. Significant contributions to daily rainfall from sub-daily extremes were also observed on the mainland, indicating that these events may result from either isolated short-duration events or are part of longer storms with pronounced peaks. The analysis reveals that the timing of the wettest hour predominantly occurs around midnight. However, in the warmer months, the timing of the wettest hour is also observed in the afternoon on the mainland and during the night on the Adriatic coast and islands. Preliminary analysis of trends in annual maximum sub-daily precipitation highlights a limitation arising from the insufficient availability of long and complete ombrographic measurement series. This limitation hinders trend calculation for all stations over the entire analyzed period. The majority of stations exhibit a trend of increased short-term heavy precipitation amounts from 1981 to 2020, with statistical significance observed only at a few stations. Comparing the means of intensity and duration indices in two climatological periods indicates an increase in the number of wet hours, sub-daily precipitation intensity, and average duration of wet spells, particularly in the latter 30-year period. This study represents the first climatological analysis of short-term precipitation in Croatia. The findings offer a valuable foundation for evaluating the risk of flash floods, as well as for climate modeling and adapting to climate change. Additionally, the results can form the basis for developing criteria for heavy rainfall warnings, which should be regularly monitored and revised due to climate changes.

**Keywords:** sub-daily extreme rainfall, extreme indices, climate change, trend

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Teorijska pozadina</i> . . . . .	1
1.2. <i>Motivacija</i> . . . . .	1
1.3. <i>Dosadašnja istraživanja i cilj rada</i> . . . . .	2
<b>2. Podaci i metode</b>	<b>4</b>
2.1. <i>Podaci</i> . . . . .	4
2.2. <i>Satni indeksi oborinskih ekstrema</i> . . . . .	5
2.3. <i>Kružni srednjak</i> . . . . .	7
2.4. <i>Senov nagib i Mann-Kendallov test</i> . . . . .	7
<b>3. Rezultati i diskusija</b>	<b>9</b>
3.1. <i>Opće klimatske prilike u Hrvatskoj</i> . . . . .	9
3.1.1 <i>Intenzitet</i> . . . . .	9
3.1.2 <i>Učestalost</i> . . . . .	20
3.1.3 <i>Dnevni hod</i> . . . . .	22
3.1.4 <i>Trajanje</i> . . . . .	25
3.2. <i>Opažene promjene kratkotrajne oborine u Hrvatskoj</i> . . . . .	28
<b>4. Zaključak</b>	<b>35</b>
<b>Literatura</b>	<b>37</b>
<b>Popis kratica</b>	<b>39</b>
<b>Dodatak A</b>	<b>40</b>
<b>Dodatak B</b>	<b>44</b>

# 1. Uvod

## 1.1. *Teorijska pozadina*

Oborina na području Hrvatske općenito je posljedica prolaska ciklona i povezanih atmosferskih fronti u sklopu opće cirkulacije atmosfere. Dodatno je modificirana lokalnim čimbenicima, poput udaljenosti od Jadranskog mora i razvijene orografije Dinarida, koji posebno utječu na veliku prostornu varijabilnost oborine. Naime, vrlo razvijena orografija Dinarida djeluje kao prepreka za maritimne zračne mase pri prijelazu s Jadrana na kopno, kao i za kontinentalne zračne mase prema Jadranu. Planine općenito prisiljavaju zračne mase na uzdizanje, što dovodi do kondenzacije i intenziviranja kratkotrajnih jakih oborina na navjetrinskoj strani prepreke ili stvaranja oborinske sjene u zavjetrini (Gajić-Čapka, Cindrić i Mihajlović, 2008).

Analiza kratkotrajnih jakih oborina ima ključnu ulogu u procjeni opasnosti od njima uzrokovanih pluvijalnih poplava, odrona i klizišta te u projektiranju sustava odvodnje koji moraju podnijeti intenzivne oborine. Pluvijalne poplave nastaju prilikom otjecanja jakih oborina, a dijele se na urbane i bujične poplave. Urbane poplave posljedica su preopterećenosti sustava za odvodnju oborine te visokog stupnja urbane izgrađenosti, dok bujične poplave nastaju na strmim terenima, a karakterizira ih nagla pojava i velika brzina vode (STREAM, 2022). Prilikom projektiranja sustava odvodnje, značajke kratkotrajnih jakih oborina se izražavaju putem HTP (Količina oborine – Trajanje – Povratni period) i ITP (Intenzitet oborine – Trajanje – Povratni period) krivulja, koje omogućuju procjenu očekivane maksimalne količine oborine koju takav sustav mora podnijeti za različite povratne periode. Nadalje, analiza godišnjih maksimalnih kratkotrajnih količina oborine korištena je za definiranje kriterija za upozoravanje javnosti na obilne kiše koje mogu prouzročiti poplave, a koje provodi Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) preko sustava Meteoalarm. Pragovi razina upozorenja određeni su analizom 6-satnih i 24-satnih oborinskih ekstrema, a kao granice za žuto, narančasto i crveno upozorenje koriste se pripadne 2-godišnje, 5-godišnje i 10-godišnje povratne vrijednosti.

## 1.2. *Motivacija*

Zadnjih godina, sve učestalije poplave u Hrvatskoj i šire povezuju se s klimatskim promjenama i njima uzrokovanim porastom intenziteta i učestalosti kratkotrajne jake oborine. Utjecaj globalnog zagrijavanja na porast intenziteta oborine objašnjava se Clausius-Clapeyronovom jednadžbom koja povezuje promjenu ravnotežnog tlaka vodene pare pri zasićenju s promjenom temperature zraka (Fowler i sur., 2021). Očekuje se da će, s porastom temperature zraka, intenzitet oborine rasti sličnom brzinom kao i ravnotežni tlak vodene pare pri zasićenju. Naime, dostupna količina vodene pare ima bitan utjecaj na mogućnost kondenzacije i formiranja oblačnih sustava koji će rezultirati intenzivnim oborinskim događajima. Dok intenzivne oborine u trajanju od jednog dana i dulje prate skaliranje koje proizlazi iz Clausius-Clapeyronove jednadžbe, satni i minutni intenziteti jakih oborina mogu doseći dvostruko veći porast za isti porast temperature (Fowler i sur., 2021). Pritom, navedeno skaliranje iznosi 6–7 % porasta u intenzitetu s porastom temperature od 1 °C. Prema dosadašnjim analizama klimatskih promjena u Hrvatskoj, trend porasta temperature zraka u povijesnoj klimi je značajan, a projekcije klimatskih modela, neovisno o scenariju promjene udjela stakleničkih



plinova u atmosferi, pokazuju topliju buduću klimu (DHMZ, 2023). Stoga je moguće očekivati i porast učestalosti intenzivnijih oborinskih epizoda. Kako do sada nije bilo sustavne analize kratkotrajne ekstremne oborine na području Hrvatske, glavna motivacija ovog rada je pridonijeti poznavanju osnovne klimatologije kratkotrajnih oborina prema dostupnim dugogodišnjim podacima ombrografskih mjerenja. Napomenimo ovdje da je općenito primijećen nedostatak analize kratkotrajne oborine i na globalnoj i na regionalnoj razini, uključujući i područje Europe (Fowler i sur., 2021). Razlog tomu leži u činjenici da je mreža postaja na kojima postoje mjerenja satne oborine prostorno manje razgranata od mreže kišomjernih postaja. Uzimajući u obzir da je oborina prostorno izrazito varijabilna, a nizovi ombrografskih mjerenja nisu dovoljno dugi ili potpuni te su u određenoj mjeri manje pouzdani, sustavna analiza satne oborine predstavlja i određen izazov (Barbero i sur., 2017). Jedan od prvih koraka u regionalnoj analizi satnih indeksa ekstrema na području zapadne Europe nedavno je proveden u istraživanju Whitford i sur. (2023). Satni indeksi ekstrema definirani su u skladu s dnevnim indeksima ekstrema u kontekstu učestalosti, intenziteta i dnevnog hoda.

Poznavanje osnovne klimatologije satnih oborinskih ekstrema iz mjerenih podataka važno je i za klimatsko modeliranje. Razvojem regionalnih klimatskih modela (engl. *Regional Climate Models*) te modela visoke rezolucije (engl. *Convection-Permitting Climate Models*), novije generacije klimatskih simulacija i projekcija uključuju veći broj korištenih klimatskih modela i dulja trajanja simuliranih razdoblja. Noviji modeli visoke rezolucije (< 5 km) pružaju znatna poboljšanja u odnosu na grublje regionalne modele (rezolucije između 10 i 50 km) jer izravno simuliraju procese vezane za duboku konvekciju, odnosno ne koriste parametrizacije za taj tip procesa (Fowler i sur., 2021).

### ***1.3. Dosadašnja istraživanja i cilj rada***

Zbog znatno rjeđe mreže postaja s ombrografima u usporedbi s kišomjernim postajama manje je sveobuhvatnih studija koje pružaju klimatološki uvid u prostornu i vremensku rasprostranjenost kratkotrajne oborine u trajanju do 24 sata. U Hrvatskoj su do sada obrađivane zasebne lokacije; na DHMZ-u prema zahtjevu korisnika ili pri hidrometeorološkim analizama slučajeva poplave. Analiza trendova za Split i Varaždin, predstavnike maritimnog i kontinentalnog režima oborine, nije pokazala statistički značajno pojačanje kratkotrajnih jakih oborina niti na jednoj postaji te je zaključeno da se uzroci problema s oborinskom odvodnjom pri intenzivnim oborinama moraju tražiti izvan karakteristika samih kratkotrajnih jakih oborina (Cindrić i sur., 2014). S druge strane, urbana poplava u Zagrebu u ljeto 2020. godine, uzrokovana ekstremnim oborinskim događajem u trajanju od dva sata s povratnim periodom duljim od 100 godina, upozorila je na važnost prilagodbe klimatskim promjenama rekonstrukcijom sustava odvodnje oborinskih voda u Zagrebu (Nimac i sur., 2022).

Međunarodni projekt INTENSE (*INTElligent use of climate models for adaptatioN to non-Stationary hydrological Extremes*; Blenkinsop i sur., 2018) prepoznao je važnost povećanja dostupnosti informacija o satnoj oborini na globalnoj razini. To će omogućiti dublje razumijevanje procesa koji dovode do oborinskih ekstrema i njihovih budućih promjena, a time i pridonijeti smanjenju negativnih posljedica tih ekstrema. U tu svrhu stvorena je globalna baza satnih indeksa (GSDR-I) izračunatih iz podataka o satnoj oborini prikupljenih s ombrografskih postaja (engl. *Global Sub-Daily Rainfall*, GSDR), pri čemu su svi prikupljeni podaci podvrgnuti jednakim kontrolama. Otvoren pristup Python kodu za izračun indeksa omogućuje meteorološkim službama u zemljama koje

imaju ograničenja u dijeljenju podataka o satnoj oborini da samostalno izračunaju indekse i tako doprinesu GSDR-I bazi (ograničenja u dijeljenju indeksa obično su manje stroga) (Blenkinsop i sur., 2018; Alexander i sur., 2019; Pritchard i sur., 2023).

Koristeći indekse definirane u sklopu projekta INTENSE, Whitford i sur. (2023) su izradili prvu klimatologiju satnih oborinskih ekstrema za zapadnu Europu. Njihovi rezultati pokazuju da se najveći intenziteti i najveća učestalost pojavljivanja 3-satnih oborinskih ekstrema javljaju u južnom dijelu zapadne Europe, što obuhvaća Portugal, Kataloniju i jug Francuske. U većem dijelu zapadne Europe, najintenzivnije 3-satne oborine se javljaju tijekom ljeta, dok se na sjeverozapadnom Mediteranu i Portugalu bilježe u jesenskim mjesecima, osobito u kasnim popodnevnim i ranovečernjim satima. Primijetili su također da satni indeksi, u usporedbi s dnevnima, pokazuju manji utjecaj orografije i veću sezonsku varijabilnost. U analizu indeksa na godišnjoj razini uključeno je i područje Panonije (koja obuhvaća i kontinentalnu Hrvatsku), za koje se prethodno provodilo detaljno istraživanje (Lakatos i sur., 2021). Uočena je velika prostorna varijabilnost godišnjih maksimuma satne, trosatne i šestosatne oborine, a najveći intenziteti zabilježeni tijekom ljetne sezone povezani su s povećanom konvektivnom aktivnošću. Najveći pozitivni trendovi intenziteta oborine u trajanju od jednog sata opaženi su u ljetnoj i jesenskoj sezoni na sjeveru Panonije, dok su na južnom dijelu uglavnom zamijećeni negativni trendovi. Ova dipolna raspodjela trendova povezana je s pomakom trajektorija oluja prema sjeveru (Lakatos i sur., 2021). Osim utjecaja klimatskih promjena, autori naglašavaju da prirodna varijabilnost također ima ulogu u opaženim trendovima te povezuju dipolnu raspodjelu s negativnim ljetnim indeksom Sjeverno-atlantske oscilacije (engl. *North Atlantic Oscillation*, NAO), koji u posljednjim godinama bilježi silazni trend i podupire sušnije uvjete na jugu Europe i vlažnije uvjete na sjeveru.

Gajić-Čapka i sur. (2014) već su proveli detaljnu analizu trendova godišnjih i sezonskih količina oborine te dnevnih indeksa oborinskih ekstrema u Hrvatskoj za razdoblje od 1961. do 2010. godine. Većinom su primijećene slabe promjene u godišnjim i sezonskim količinama oborine, sa statistički značajnim negativnim trendovima godišnjih količina u planinskom području i ljetnih količina u planinskim dijelovima te na nekoliko postaja duž Jadrana i njegova zaleđa. Smanjenje godišnje količine oborine povezano je s opadanjem broja vrlo kišnih dana, dok smanjenju ljetnih količina pridonose smanjenje učestalosti umjereno kišnih dana te smanjenje 1-dnevnih i 5-dnevnih maksimuma oborine, uz povećanje učestalosti oborine slabijeg intenziteta. Također, primijećen je statistički značajan pozitivan trend u jesenskim količinama oborine na istoku Hrvatske, povezan s povećanim brojem kišnih dana i većim maksimumima oborine u trajanju od 1 i 5 dana. Nedavno ažurirana analiza trendova oborinskih indeksa ekstrema potvrdila je signal ranije uočenih trendova u Hrvatskoj (DHMZ, 2023).

Cilj ovog rada je proširiti klimatologiju oborinskih ekstrema u Hrvatskoj analizom satnih indeksa definiranih u projektu INTENSE. Također, istražuje se prisutnost trenda intenzifikacije kratkotrajne jake oborine te eventualne promjene u njihovoj učestalosti i trajanju usporedbom dvaju klimatoloških razdoblja.

## 2. Podaci i metode

### 2.1. Podaci

Za analizu kratkotrajne oborine koriste se zapisi ombrografa (ili pluviografa), automatskog mjernog uređaja za neprekidno praćenje količine i trajanja oborine. Na temelju njegova zapisa, ombrograma (pluviograma), moguće je odrediti vrijeme početka, završetka i ukupno trajanje te jačinu oborine. U DHMZ-u se često koristi Hellmannov ombrograf koji radi na principu plovka. Oborina ulazi u ombrograf kroz otvor za hvatanje oborine, a voda se slijeva u valjkastu posudu i podiže plovak u njoj. Na plovku je pričvršćena uspravna šipka koja prenosi njegove pomake na pero, a pero na traci bilježi krivulju količine oborine. Valjak sa satnim mehanizmom i trakom stoji na uspravno pričvršćenoj osovini i okrene se za puni krug u 24 sata (Pandžić i sur., 2008). Digitalizacijom ombrografskih zapisa, dobivaju se podaci o količini oborine registriranoj u 5-minutnim vremenskim intervalima, a pritom se radi kontrola usporedbom ukupnih dnevnih količina oborine izmjerenih ombrografom i kišomjerom na istoj lokaciji postaje (razlike ne bi trebale biti veće od 20%) (STREAM, 2022). Ombrografi su sastavni dio mjernih uređaja gotovo svih glavnih meteoroloških postaja te pojedinih klimatoloških postaja u mreži DHMZ-a (DHMZ, 2023). Premda je sve veći broj aktivnih automatskih ombrografa, za klimatološku analizu nužno je raspolagati dugogodišnjim nizovima koji su još uvijek dostupni samo iz mjerenja klasičnim ombrografima.

Za potrebe ovog rada korišteni su podaci satnih količina oborine s ombrografskih postaja iz mreže DHMZ-a na cijelom području Hrvatske, iz razdoblja 1961.–2020. Na slici 2.1 prikazan je geografski položaj 54 meteorološke postaje s kojih su prikupljeni podaci. Popis svih postaja i raspoloživog razdoblja mjerenja naveden je u tablici A1 dodatka A ovom radu.

Treba napomenuti da u ranijim godinama, dio ombrografa nije imao uređaj za grijanje koji održava tekuće stanje oborine u valjkastoj posudi pa kod takvih postaja nedostaje podataka u zimskim mjesecima. Na području Jadrana, maksimum oborine se očekuje upravo u hladnom dijelu godine pa postoji mogućnost da stvarni maksimum na istim postajama nije zabilježen. S druge strane, nedostatak podataka u kontinentalnoj Hrvatskoj ne predstavlja problem u tom kontekstu jer se maksimumi oborine očekuju u toplom dijelu godine.



Slika 2.1. Geografski položaj meteoroloških postaja korištenih u ovoj analizi.

## 2.2. Satni indeksi oborinskih ekstrema

Pri definiranju satnih indeksa oborinskih ekstrema u projektu INTENSE, vodilo se računa o njihovoj usklađenosti s dnevnim indeksima koje je definirao Stručni tim za opažanje klimatskih promjena i indekse (engl. *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, ETCCDI) Svjetske meteorološke organizacije (engl. *World Meteorological Organization*, WMO) (WMO, 2004). Novi indeksi se temelje na satnim vrijednostima oborine u trajanju od 1, 3 i 6 sati te daju informacije o intenzitetu i učestalosti kratkotrajne jake oborine na mjesečnoj, sezonskoj ili godišnjoj skali. Osim toga, pružaju informacije o trajanju i karakteristikama dnevnog hoda oborine. Popis indeksa korištenih u analizi s detaljnim opisom izračuna nalazi se u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Satni indeksi oborinskih ekstrema analizirani u ovom radu (prema Blenkinsop i sur., 2018).

Grupa indeksa	Indeksi	Jedinice	Definicije
Maksimumi	RxXhr (X može biti 1, 3 ili 6)	mm	Maksimum X-satne oborine
	RxXhrP (P – postotak dana)	%	Doprinos X-satnog maksimuma ukupnoj oborini u odgovarajućem danu (RxXhr/ukupna dnevna oborina*100)
Percentili	RYpwXhr (Y označava percentil (95./99.), a w kišne sate (engl. <i>wet hour</i> ))	mm	Percentil kišnih sati
	RYpwXhrP (P – postotak vremenskog intervala)	%	Udio premašaja percentila kišnih sati (suma oborine koja premašuje RYpwXhr u zadanom vremenskom intervalu/ukupna količina oborine u tom intervalu*100)
Intenzitet	SPIIXhr (engl. <i>Simple precipitation intensity index</i> )	mm	Srednja količina oborine u kišnim satima (ili X-satnim intervalima)
Učestalost	RXhrTmm (T može biti 10, 20, 30 ili 50)	broj sati/perioda	Broj sati/perioda s količinom oborine većom od T mm
Trajanje	MeLWS (engl. <i>Mean length of wet spell</i> )	h	Prosječna duljina uzastopnog trajanja oborine
	MxLWS (engl. <i>Maximum length of wet spell</i> )	h	Maksimalna duljina uzastopnog trajanja oborine
	NWH (engl. <i>Total number of wet hours</i> )	broj sati	Ukupni broj kišnih sati
Dnevni hod	MoWH (engl. <i>Mode of wettest hour of each wet day</i> )	sati u danu (1–24 sata)	Mod najkišnijeg sata u kišnom danu (definiran kao dan s $R \geq 1$ mm)
	MeWH (engl. <i>Circular mean of wettest hour of each wet day</i> )	sati u danu (1–24 sata)	Kružni srednjak najkišnijeg sata u kišnom danu
	MoDH (engl. <i>Mode of driest hour of each wet day</i> )	sati u danu (1–24 sata)	Mod najsušnijeg sata u kišnom danu
	MeDH (engl. <i>Circular mean of driest hour of each wet day</i> )	sati u danu (1–24 sata)	Kružni srednjak najsušnijeg sata u kišnom danu
	(a) DiCyc1mm, (b) DiCyc95pw/ DiCyc99pw	mm	Srednja količina oborine za svaki sat u danu za (a) sve kišne dane ( $\geq 1$ mm) i (b) kišne dane koji premašuju 95./99. percentil

Za izračun indeksa korišten je dostupni kod napisan u programskom jeziku Pythonu. Indeksi koji se temelje na 3-satnim i 6-satnim trajanjima oborine, izračunati su iz satnih podataka koristeći klizne prozore za maksimume i fiksne prozore za preostale indekse (Pritchard i sur., 2023). Većina indeksa, izuzev onih iz grupa percentila i dnevnih hodova, izračunata je kao vremenski niz te je za njih dostupna sažeta statistika koja uključuje minimum, srednju vrijednost, medijan, maksimum, standardnu devijaciju i interkvartilni raspon, za raspoloživo razdoblje mjerenja. Statistika se računa dvaput koristeći sve dostupne podatke ( $>0\%$  potpunosti) te samo mjesece, sezone ili godine s potpunosti  $\geq 80\%$ . Za indekse koji se ne izračunavaju kao vremenski nizovi, izračuni se također ponavljaju za ista dva praga potpunosti podataka ( $>0\%$  i  $\geq 80\%$ ). Za potrebe ovog rada, po uzoru na Whitford i sur. (2023), korišten je prag potpunosti  $\geq 80\%$  te su uključene postaje kod kojih barem tri godine, sezone ili mjeseca zadovoljavaju taj uvjet.

Vizualizacija indeksa na grafikonima i kartama izrađena je u programskom jeziku R-u. Za prikaz godišnjih hodova pojedinih indeksa odabrano je šest postaja s potpunim nizovima koje predstavljaju različite regionalne karakteristike oborinskih režima u Hrvatskoj. U kontinentalnom dijelu zemlje to su postaje Zagreb-Maksimir u središtu i Osijek na istoku, zatim gorske krajeve predstavlja Gospić, dok su na obalnom području odabrane postaje Rijeka na sjevernom Jadranu te Split-Marjan i Dubrovnik u Dalmaciji.

### 2.3. *Kružni srednjak*

Za izračun srednje vrijednosti kutova i veličina poput vremena u danu nije prikladno koristiti aritmetičku sredinu, stoga se definira kružni srednjak. U ovome radu se kružni srednjak koristi pri izračunu srednjeg vremena pojavljivanja najkišnijeg (MeWH) ili najsušnijeg sata (MeDH) u danu. Sati se pretvore u kutove množenjem s  $2\pi/24$ , koji se zatim izraze u Kartezijevom koordinatnom sustavu kao odgovarajuće točke na jediničnoj kružnici. Formula za izračun kružnog srednjaka kutova  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  tada glasi:

$$\bar{\alpha} = \operatorname{atan} 2 \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sin \alpha_j, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \cos \alpha_j \right). \quad (2.1)$$

Konačno,  $\bar{\alpha}$  se izrazi kao sat u danu množenjem s  $24/2\pi$ .

### 2.4. *Senov nagib i Mann-Kendallov test*

Trendovi maksimalnih godišnjih količina oborine za pojedina trajanja izračunati su u programskom jeziku R-u, procjenom Senovog ili Kendallovog tau nagiba (Gilbert, 1987). Za procjenu nagiba, iz vremenskog niza godišnjih maksimuma odredi se  $N$  nagiba  $Q$ :

$$Q = \frac{x_{t'} - x_t}{t' - t}, \quad (2.2)$$

gdje su  $x_{t'}$  i  $x_t$  elementi niza u vremenu  $t'$  odnosno  $t$ , za  $t' > t$ .  $N$  je broj parova podataka za koje vrijedi  $t' > t$  i jednak je  $n(n-1)/2$ , gdje je  $n$  duljina niza. Senov nagib je medijan tih  $N$  vrijednosti te je zbog toga statistički otporniji od nagiba dobivenog uobičajenom linearnom regresijom. Ta metoda je najčešće korištena u literaturi za procjenu trenda različitih klimatoloških parametara (vidi Gajić-Čapka, Cindrić i Pasarić, 2014).

S pomoću neparametarskog Mann-Kendallovog testa (Gilbert, 1987) ocijenjena je statistička značajnost trendova na razini 95%. Test koristi rangove, odnosno međusobni odnos podataka, što ga čini statistički otpornim. Dakle, njime se ocjenjuje koliko je značajna monotona promjena vremenskog niza. Statistika Mann-Kendallovog testa definirana je kao:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_S}, S > 0 \\ S = 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma_S}, S < 0, \end{cases} \quad (2.3)$$

pri čemu vrijedi:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_k - x_i),$$

$$\sigma_S = \sqrt{(n/18)(n-1)(n-2)}.$$

Predznak izraza  $\operatorname{sgn}(x_k - x_i)$  može biti jednak 1, 0 ili  $-1$ , ovisno o tome je li razlika  $(x_k - x_i)$  veća, jednaka ili manja od nule. Ako su vrijednosti  $x_t$  međusobno nezavisne te ako je  $n > 10$ , razdioba od  $Z_S$  može se aproksimirati normalnom razdiobom  $N(0, \sigma_S)$ . Ako vrijedi  $-Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq Z_s \leq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , pri čemu je  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}(1 - \frac{\alpha}{2})$  kvantil standardne normalne razdiobe koji odgovara razini značajnosti testa  $\alpha$ , prihvaća se nul hipoteza  $H_0$  o nepostojanju trenda. Odnosno, ako je pripadna vrijednost  $p = P(|z| > |Z_S|) < \alpha$ ,  $H_0$  se odbija u prilog postojanju trenda.

U ovom radu analizirani su trendovi indeksa Rx1hr, Rx3hr i Rx6hr, dok su promjene u učestalosti ekstremne kratkotrajne oborine proučavane usporedbom dvaju 30-godišnjih razdoblja. Kako bi trendovi bili međusobno prostorno usporedivi, nužno je analizirati ih za isto vremensko razdoblje. Malo je poznato o utjecaju praznina u vremenskim nizovima godišnjih maksimuma na detekciju trenda, te se u slučaju znatnih praznina, pogotovo na početku ili kraju niza, izračun trenda ne preporučuje (Slater i Villarini, 2019). Najstroži pristup u detekciji trenda koji zabranjuje bilokakve praznine tipično eliminira puno postaja, stoga se u literaturi najčešće koriste metode koje uključuju određivanje maksimalne dopustive praznine ili minimalne potpunosti niza. S obzirom na to da za velik dio postaja ranije godine ne zadovoljavaju uvjet potpunosti ( $\leq 20$  % nedostajućih podataka), trend je analiziran za kraće razdoblje od 1981. do 2020. Na taj način su u analizu uključene sve regije Hrvatske, odnosno ne gubi se informacija o Slavoniji koja ima kraće potpune nizove. Rezultati su navedeni samo za one postaje koje raspolažu dovoljno dugim i potpunim nizovima, s maksimalnim uzastopnim prekidima od tri godine i barem 20 potpunih godina u nizu. Sveukupno je takvih postaja 41 (vidi tablicu A2 u dodatku A). Za šest reprezentativnih postaja s dugim i potpunim nizovima, usporedno su prikazane linije trenda za dva razdoblja, 1961.–2020. i 1981.–2020.

## 3. Rezultati i diskusija

U ovom poglavlju analizirani su satni indeksi ekstrema definirani u prethodnom poglavlju (tablica 2.1), i to prema intenzitetu, učestalosti, dnevnom hodu i trajanju kroz prikaze na kartama i grafikonima. Potom su analizirane i diskutirane njihove promjene u razdoblju 1981.–2020.

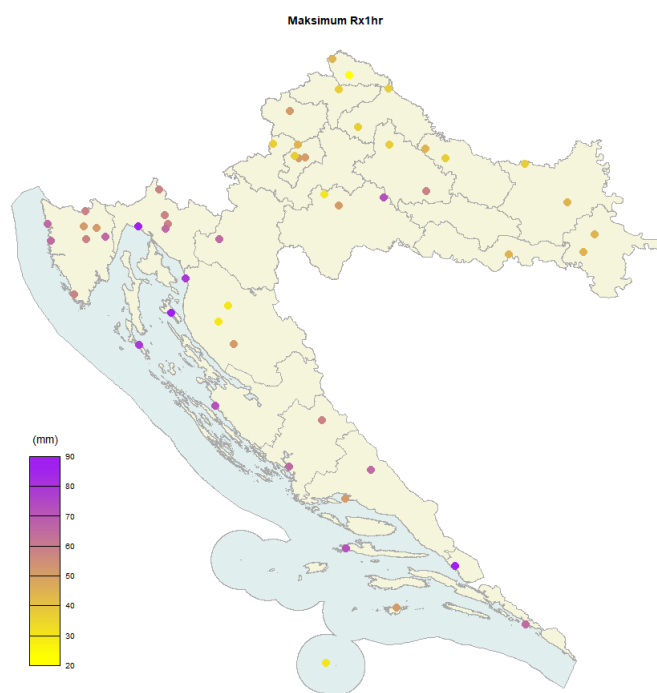
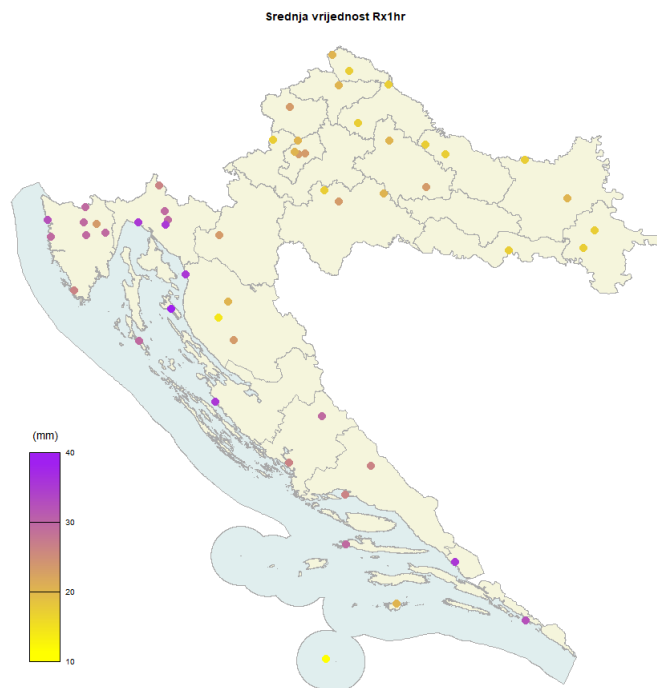
### 3.1. Opće klimatske prilike u Hrvatskoj

#### 3.1.1 Intenzitet

Godišnji srednjak maksimuma i apsolutni maksimum oborine u trajanju od jednog sata (Rx1hr) prikazani su na slici 3.1. Srednje vrijednosti variraju u kontinentalnom dijelu Hrvatske i Lici između 15 i 25 mm, dok su zamjetno veće vrijednosti zabilježene u ostatku zemlje, posebice na sjevernom Jadranu, u Gorskom kotaru te na jugu Dalmacije gdje dosežu 37 mm. Apsolutni maksimumi oborine kreću se u rasponu od 25 do 72 mm u unutrašnjosti te od 29 do 85 mm na Jadranu, pri čemu su najveće vrijednosti dosegnute na području Kvarnera (Rijeka) te na jugu Dalmacije (Ploče). Maksimumi oborine u trajanju od 3 sata (Rx3hr) i 6 sati (Rx6hr), prikazani u dodatku B na slikama B1 i B2, pokazuju sličnu prostornu raspodjelu kao i satni maksimumi, s najvećim srednjim godišnjim vrijednostima na sjevernom Jadranu, gdje dosežu 58 mm za 3-satne i 76 mm za 6-satne maksimume. Apsolutni maksimum oborine u trajanju od 3 sata zabilježen je u Senju (2020.) i iznosi 178 mm, dok je za 6-satnu oborinu apsolutni maksimum zabilježen u Zadru (1986.), gdje je u šest sati palo više od 250 mm oborine.

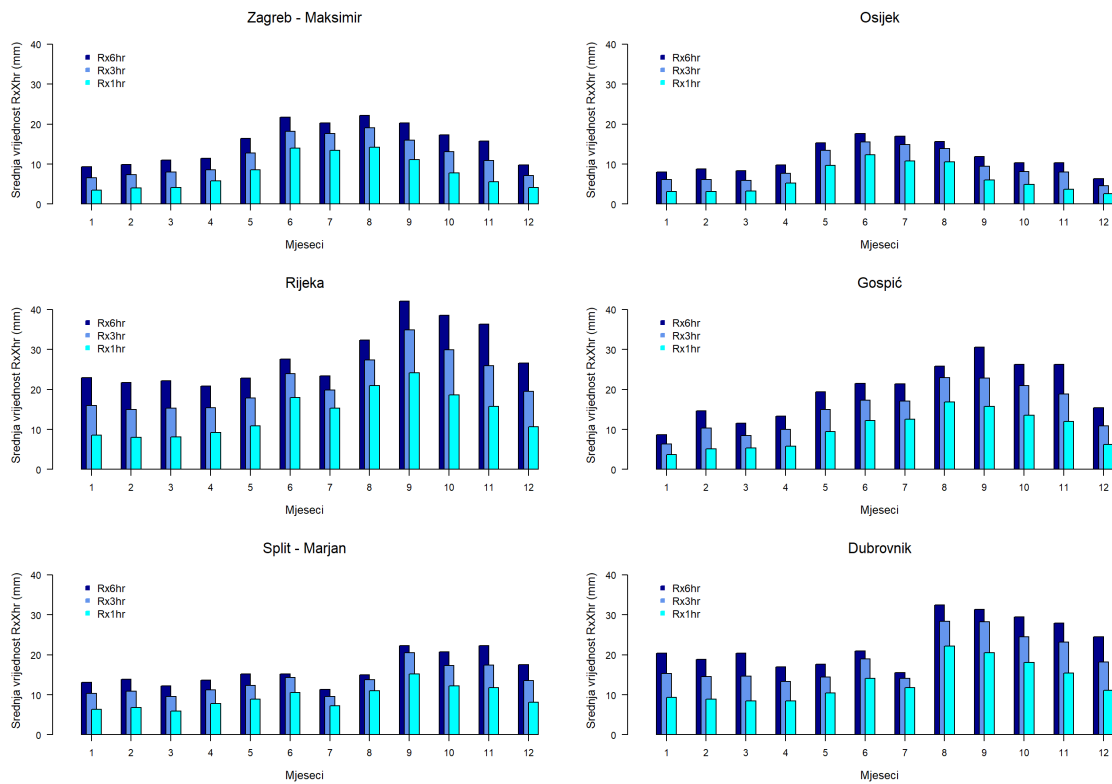
Godišnji hodovi srednjih vrijednosti Rx1hr, Rx3hr i Rx6hr prikazani su na slici 3.2 za šest odabranih postaja. Postaje u kontinentalnom dijelu Hrvatske, Zagreb-Maksimir i Osijek, maksimalne vrijednosti bilježe tijekom ljeta, a minimume u zimskim mjesecima. S druge strane, kod postaja na jadranskoj obali (Rijeka, Split-Marjan i Dubrovnik), maksimumi se pojavljuju početkom jeseni (rujan) ili krajem ljeta (kolovoz), dok se minimumi javljaju tijekom zime i ranog proljeća te također u srpnju na dalmatinskim postajama. Zbog snažnog utjecaja maritimne klime, Gospić također bilježi maksimume godišnjeg hoda krajem ljeta i početkom jeseni, a minimume tijekom zime. Najviši apsolutni maksimumi kratkotrajne oborine u trajanju od 1, 3 i 6 sati (slika 3.3) zabilježeni su tijekom ljeta u Zagrebu (Rx1h, Rx3h – kolovoz, Rx6h – srpanj) i Osijeku (lipanj), tijekom kolovoza i rujna u Rijeci i Gospiću, dok su u Splitu i Dubrovniku dosegnuti u jesen (listopad za Rx1h u Splitu, studeni u Dubrovniku) ili ranu zimu (prosinac za Rx3h i Rx6h u Splitu). U Splitu je sekundarni maksimum zabilježen u lipnju.



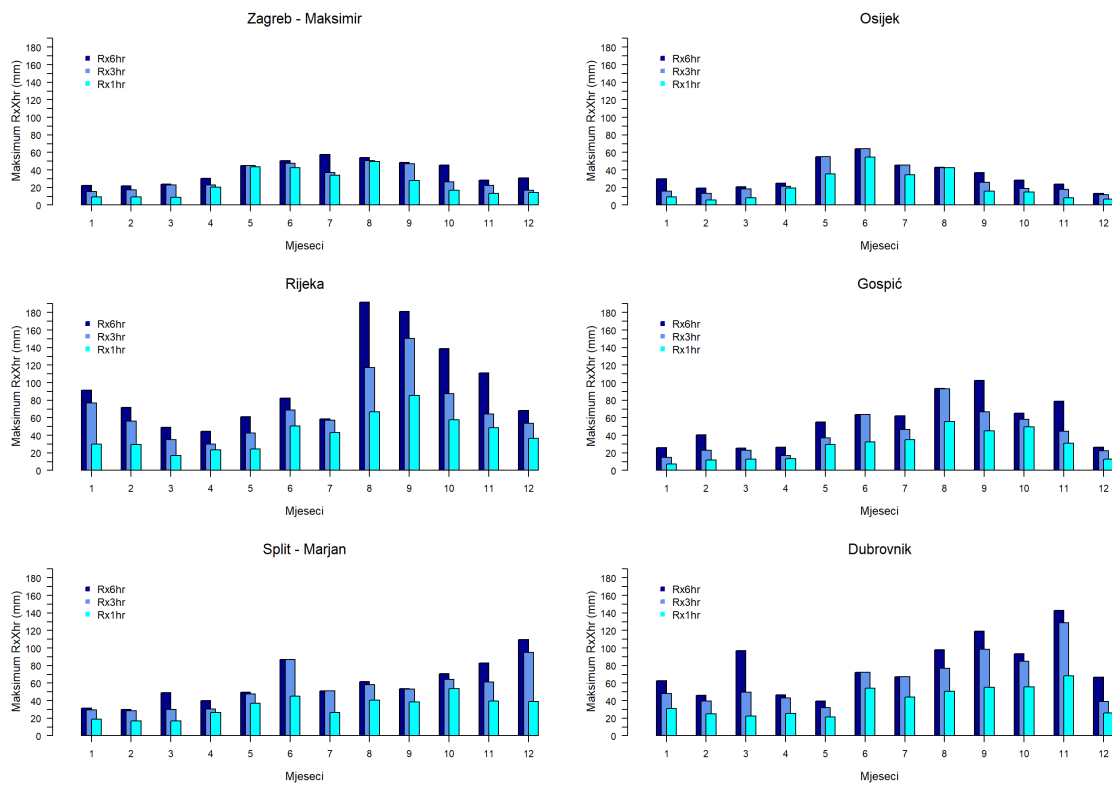


Slika 3.1. Godišnji srednjak satnog maksimuma (Rx1hr) (gore) i maksimum satne oborine u Hrvatskoj (dolje).

Mikuš, Telišman Prtenjak i Strelec Mahović (2012) analizirale su učestalost pojave konvektivnih dana u Hrvatskoj tijekom razdoblja 2006.–2009., definirajući konvektivno aktivan dan kao dan s najmanje 10 udara munje u ciljanoj regiji. Njihova istraživanja pokazuju najveću konvektivnu aktivnost tijekom toplih mjeseci na sjevernom Jadranu, što se podudara s najintenzivnijom satnom oborinom zabilježenom u Rijeci u rujnu. Također, ističu kako se područja istočnije od 16° istočne geografske dužine susreću s vrhuncem konvektivne aktivnosti ranije, u lipnju, u usporedbi sa zapadnijim područjima gdje je maksimum konvektivne aktivnosti u kasnijim ljetnim mjesecima. Analogno tomu, odabrane postaje mogu se grupirati prema pojavi maksimuma u godišnjem hodu srednjih vrijednosti Rx1hr, Rx3hr i Rx6hr, pri čemu Zagreb, Osijek i Dubrovnik pokazuju te maksimume u ljetnim mjesecima, lipnju i kolovozu, dok se u Rijeci, Gospiću i Splitu javljaju kasnije, u rujnu. Godišnje hodove grmljavinske aktivnosti u regijama Europe analizirali su Taszerek i sur. (2019) za razdoblje od 1979. do 2017., a rezultati za središnju i južno-središnju Europu odgovaraju godišnjim hodovima satnih maksimuma oborine u kontinentalnoj, odnosno primorskoj Hrvatskoj. Kontinentalna Hrvatska pokazuje vrhunac grmljavinske aktivnosti tijekom ljeta, dok primorska Hrvatska ima maksimum u rujnu te sekundarni maksimum u lipnju. Utjecaj azorske anticiklone uzrokuje pad grmljavinske aktivnosti između srpnja i kolovoza u južno-središnjoj Europi, što je vidljivo i u hrvatskom primorju. Ipak, grmljavinska aktivnost na jadranskoj obali, potaknuta toplim Jadranskim morem i složenom orografijom, pokazuje manje izražen ljetni minimum u usporedbi s ostatkom europske regije. No, taj minimum i dalje je uočljiv i u godišnjim hodovima grmljavinske aktivnosti i u godišnjim hodovima satnih maksimuma oborine na postajama na jadranskoj obali.

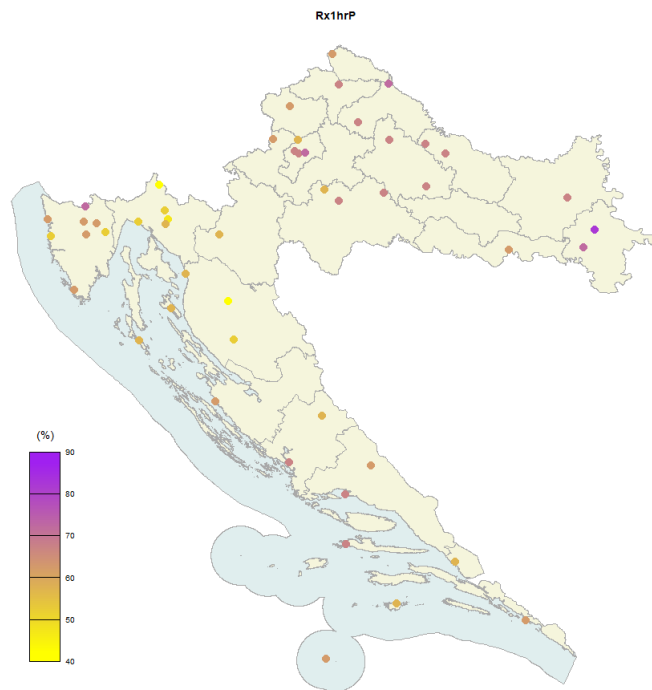


Slika 3.2. Godišnji hodovi srednjaka satnih, trosatnih i šestosatnih maksimuma oborine (RxXhr) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



Slika 3.3. Godišnji hodovi apsolutnih maksimuma oborine u trajanju od 1, 3 i 6 sati (RxXhr) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

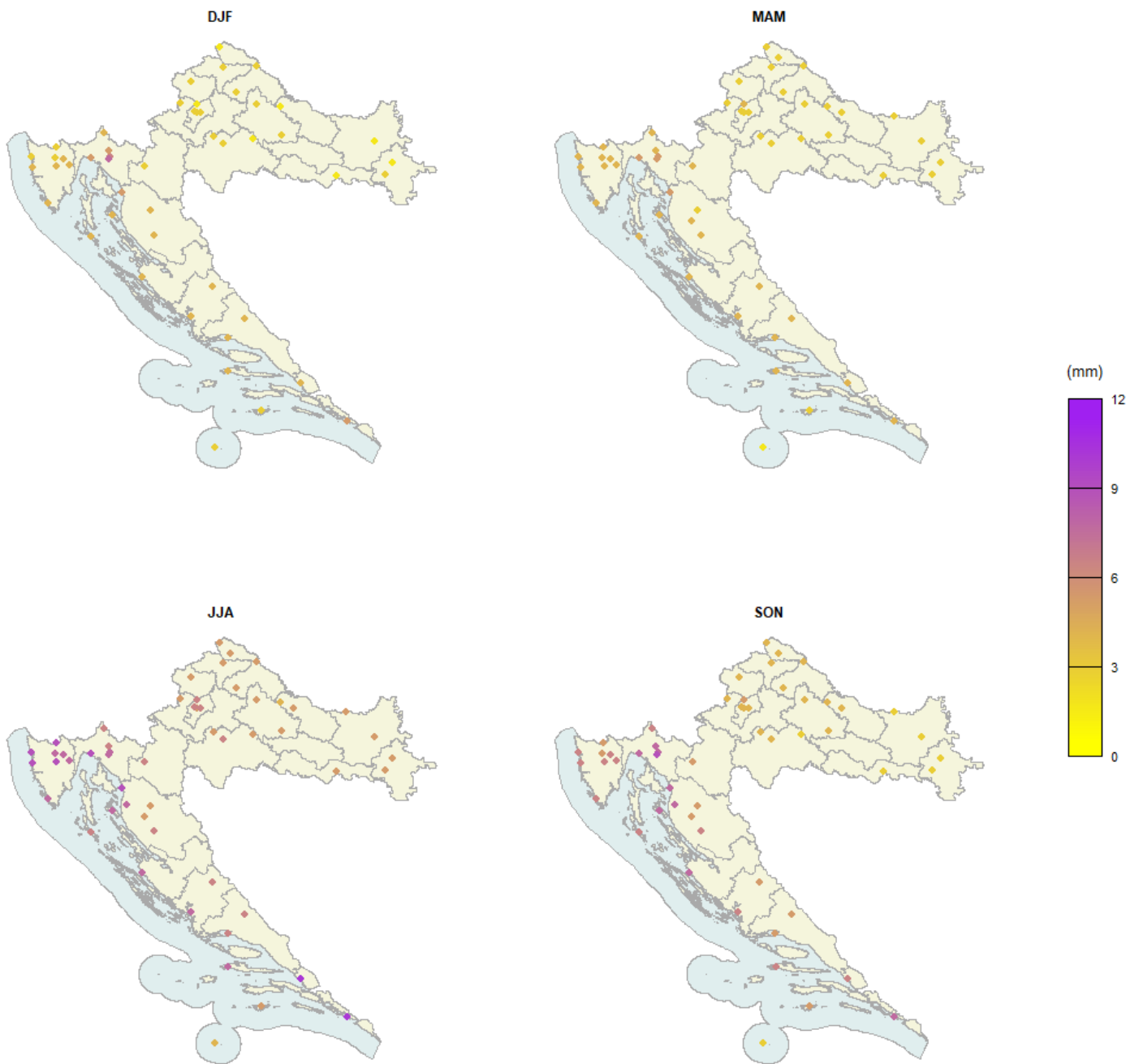
Nadalje, ovdje su analizirani udjeli koje satni maksimumi imaju u ukupnoj dnevnoj količini oborine s pomoću indeksa Rx1hrP. Srednji doprinos godišnjih satnih maksimuma dnevnoj oborini (prikazan na slici 3.4) iznosi oko 60–70% u kontinentalnoj Hrvatskoj, Istri i Dalmaciji, dok je na sjevernom Jadranu i u gorskim predjelima nešto niži te iznosi 50–60%. Postaja Vinkovci na samom istoku Hrvatske bilježi najveću vrijednost Rx1hrP indeksa s 82%. Godišnji maksimumi oborine u trajanju od 3 i 6 sati (slike B3 i B4 u dodatku B) pokazuju sličnu prostornu raspodjelu tog indeksa te očekivano više pridonose dnevnoj količini oborine, dosežući maksimum na istoku Hrvatske od 90% za Rx3hr, odnosno 95% za Rx6hr. Visoki doprinosi satnih ekstrema dnevnoj oborini, posebno izraženi na kontinentu, sugeriraju da su ti ekstremi ili izolirani događaji kratkog trajanja ili su dio dužih oluja s izraženim vrhuncem (Whitford i sur., 2023).



Slika 3.4. Srednji postotak doprinosa godišnjeg maksimuma satne oborine ukupnoj dnevnoj količini oborine (Rx1hrP) u Hrvatskoj.

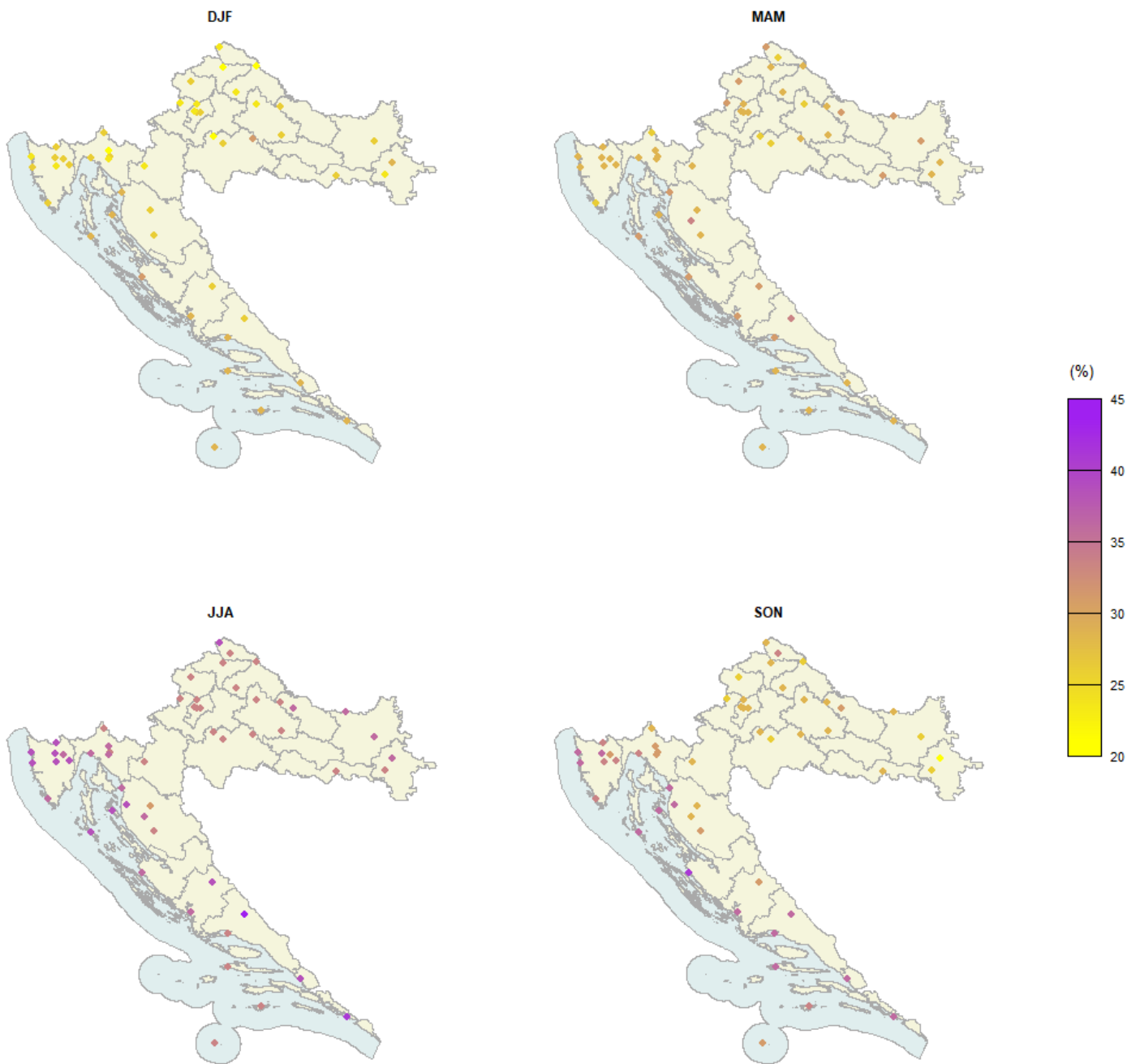
Slika 3.5 prikazuje 95. percentil kišnih sati po sezonama za oborinu u trajanju od jednog sata (R95pw1hr). Kontinentalni dio Hrvatske bilježi manje vrijednosti R95pw1hr u usporedbi s ostatkom zemlje, s najmanjim vrijednostima zimi (2–3 mm) i najvišim tijekom ljeta, kada dosežu između 5 i 6 mm. Gorski krajevi ostvaruju najviše vrijednosti u ljetnoj ili jesenskoj sezoni (do 9 mm), dok se na Jadranu pojavljuju tijekom ljeta. Najveća vrijednost zabilježena je na jugu Jadrana, gdje R95pw1hr iznosi 11 mm. Udio premašaja 95. percentila (R95pw1hrP) najmanji je zimi, iznoseći 20–30%, a najveći ljeti kada vrijednosti indeksa variraju između 32 i 44%, s prosječno većim iznosima duž obale u odnosu na ostatak Hrvatske (slika 3.6). Što se tiče 3-satne i 6-satne oborine, 95. percentili dosežu 21 mm (slika B5), odnosno 34 mm (slika B6) u jesenskoj sezoni u gorskim predjelima, a udjeli premašaja ne mijenjaju se bitno s povećanjem trajanja. Nadalje, prostorna raspodjela slična je za 99. percentil kišnih sati. Za oborinu u trajanju od 1 i 3 sata doseže redom 30 mm i 47 mm tijekom ljeta, dok za 6-satnu oborinu maksimalno iznosi 59 mm u jesenskoj sezoni. Udjeli premašaja 99. percentila najviši su u ljetnim sezonama i tada u prosjeku iznose 12% za satnu oborinu te 10.5 i 9% za 3-satnu i 6-satnu oborinu, dok zimi za sva trajanja iznose oko 8%. Godišnji hodovi 95. i 99. percentila kišnih sati u usporedbi s apsolutnim maksimumima prikazani su na slikama 3.7 do 3.9 za šest odabranih postaja. Najveće vrijednosti oba percentila za satnu oborinu uglavnom se javljaju u kolovozu, dok se za oborinu u trajanju od 3 i 6 sati bilježe u kolovozu ili rujnu. To se ponovno može povezati s povećanom konvektivnom aktivnošću potaknutom zagrijavanjem površine.

R95pw1hr

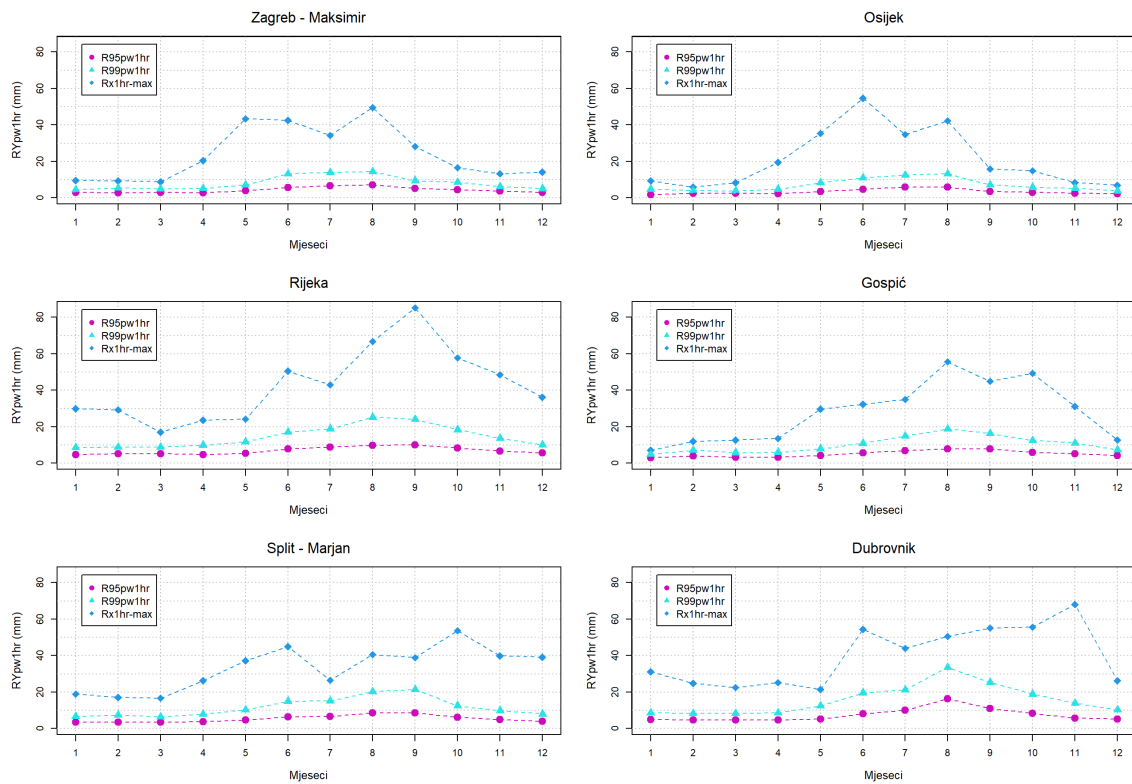


Slika 3.5. Sezonske vrijednosti 95. percentila kišnih sati za oborinu u trajanju od jednog sata (R95pw1hr) u Hrvatskoj.

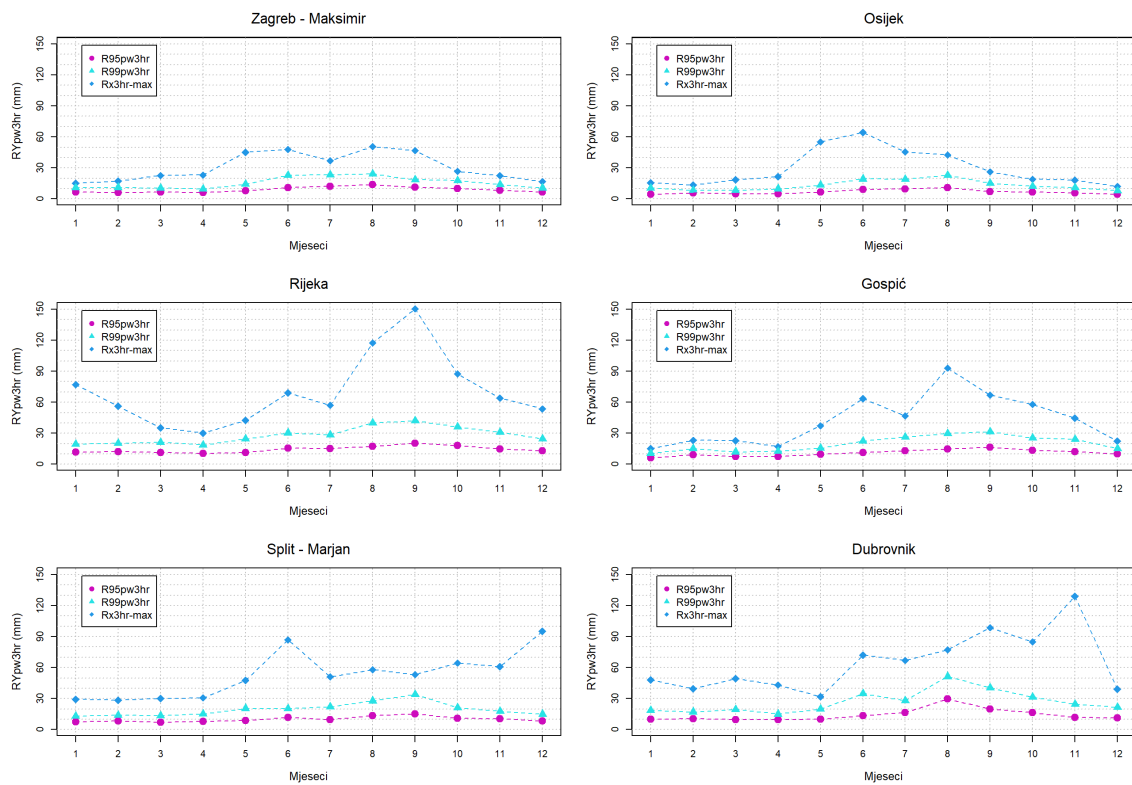
R95pw1hrP



Slika 3.6. Udio premašaja 95. percentila kišnih sati za oborinu u trajanju od jednog sata (R95pw1hr) po sezonama u Hrvatskoj.

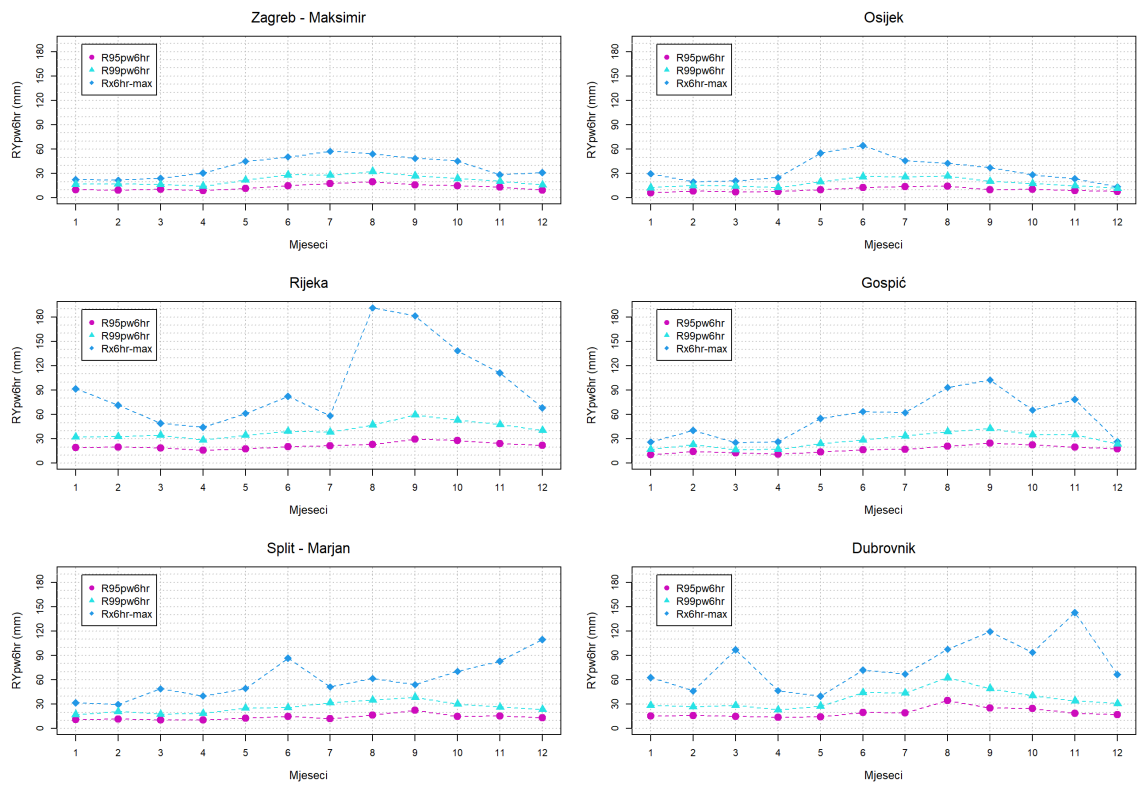


Slika 3.7. Godišnji hod percentila kišnih sati (R95pw1hr/R99pw1hr) i apsolutnog maksimuma satne oborine (Rx1hr) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



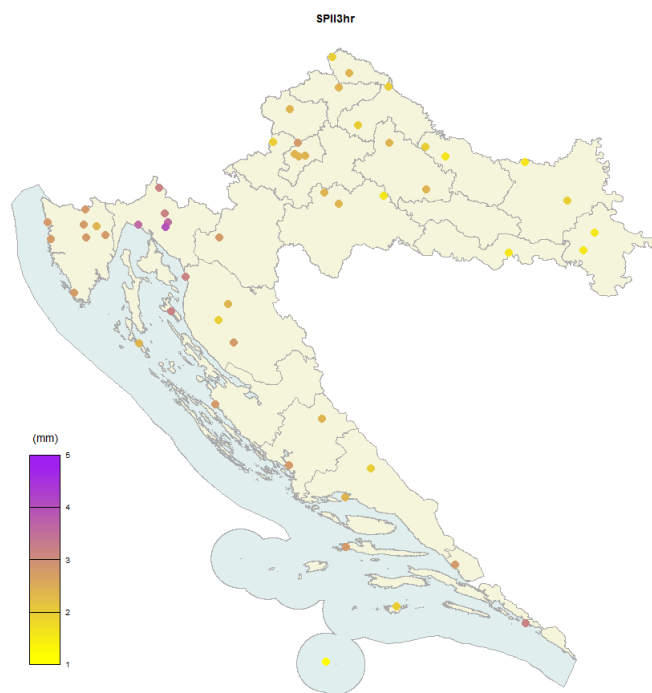
Slika 3.8. Godišnji hod percentila kišnih sati (R95pw3hr/R99pw3hr) i apsolutnog maksimuma trosatne oborine (Rx3hr) na odabranim postajama u Hrvatskoj.





Slika 3.9. Godišnji hod percentila kišnih sati (R95pw6hr/R99pw6hr) i apsolutnog maksimuma šestosatne oborine (Rx6hr) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

Srednji godišnji intenziteti oborine u trajanju od jednog sata (SPII1hr) opadaju s udaljenošću od obale, s najvećim vrijednostima na području Gorskog kotara gdje dosežu 2 mm (slika B7). Slična prostorna raspodjela vrijedi i za SPII3hr i SPII6hr indekse, za koje se ponovno bilježe najveće vrijednosti u Gorskom kotaru: 4 mm za 3-satne (slika 3.10) te 6.5 mm za 6-satne intenzitete oborine (slika B8). Analiza sezonskih SPII indeksa izostavljena je zbog nedostatka podataka u zimskom dijelu godine. Kako je navedeno u uvodu, istraživanje koje su proveli Lakatos i sur. (2021) utvrdilo je da se najveći intenziteti oborine u cijeloj Panoniji pojavljuju ljeti zbog povećane konvektivne aktivnosti. Tijekom zimske i jesenske sezone, primijećene su nešto veće vrijednosti intenziteta oborine u kontinentalnoj Hrvatskoj u odnosu na ostatak panonske regije, što se povezuje s advekcijom vlažnog zraka s Jadranskog mora.

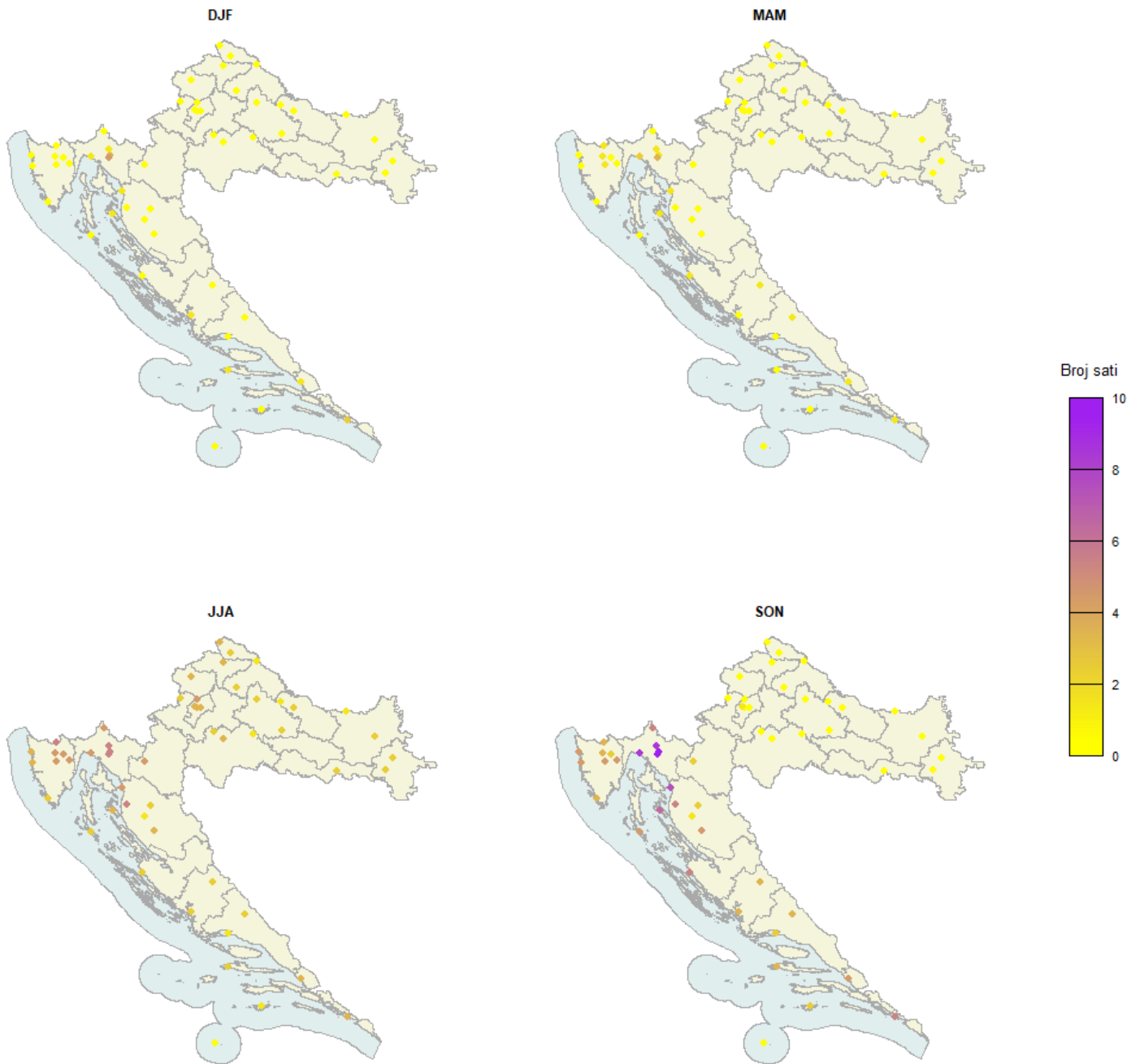


Slika 3.10. Srednji godišnji intenzitet oborine u trajanju od 3 sata (SPII3hr) u Hrvatskoj.

### 3.1.2 Učestalost

Učestalost kratkotrajnih jakih oborina ispitana je kroz sezone, analizirajući broj sati ili vremenske periode s oborinom većom od određenog praga. Srednji broj sati s količinom oborine većom od 10 mm ( $R1hr10mm$ ) prikazan je na slici 3.11. Takvi događaji se u kontinentalnom dijelu Hrvatske pojavljuju samo tijekom ljetnih mjeseci i to prosječno 2 do 3 sata u sezoni, dok se u ostalim sezonama uglavnom ne pojavljuju. Duž jadranske obale, u zimskoj i proljetnoj sezoni očekuje se tek 1–2 sata s oborinom većom od 10 mm, u ljetnim mjesecima 2–5 sati, dok se u jesen pojavljuje 3–5 sati u Istri i Dalmaciji, a najviše 10 sati na riječkom području. U prosjeku se najčešće satne oborine veće od 10 mm bilježe u gorskim predjelima, posebno u Gorskom kotaru. Ondje se tijekom zime i proljeća može očekivati 3–4 takva sata, dok u ljetnoj sezoni  $R1hr10mm$  prelazi 5 sati, a u jesen čak doseže 10 sati. Za količinu oborine veću od 20 mm, broj sati nije veći od dva, a za količinu iznad 30 mm, najviše se bilježi jedan sat (nije prikazano). Trosatni periodi s količinom oborine većom od 20 mm pojavljujuju se tijekom ljeta uglavnom na sjevernom Jadranu, u gorju i SZ predjelima kontinentalne Hrvatske (do 3 sata). Najčešće se takve kišne epizode pojavljuju tijekom jesenskih mjeseci i to duž Jadrana, s maksimumom u Gorskom kotaru, gdje se u prosjeku pojavljuje šest takvih događaja (slika B9). Za količinu oborine veću od 30 mm, broj trosatnih perioda manji je od tri, dok se za količinu veću od 50 mm ne očekuje niti jedan takav događaj (nije prikazano). Najobilnije 6-satne oborine također su najučestalije tijekom jesenske sezone u Gorskom kotaru, gdje  $R6hr30mm$  iznosi najviše pet (slika B10), dok  $R6hr50mm$  u prosjeku ne doseže niti dva perioda (nije prikazano). S obzirom na to da se vrhunac učestalosti ekstremnih satnih oborina u pojedinoj regiji javlja u istom dijelu godine kao i vrhunac intenziteta (SPII), možemo zaključiti da su ovi aspekti pod utjecajem sličnih procesa. Ovo je također primijećeno u radu Whitford i sur. (2023) za zapadnu Europu.

R1hr10mm

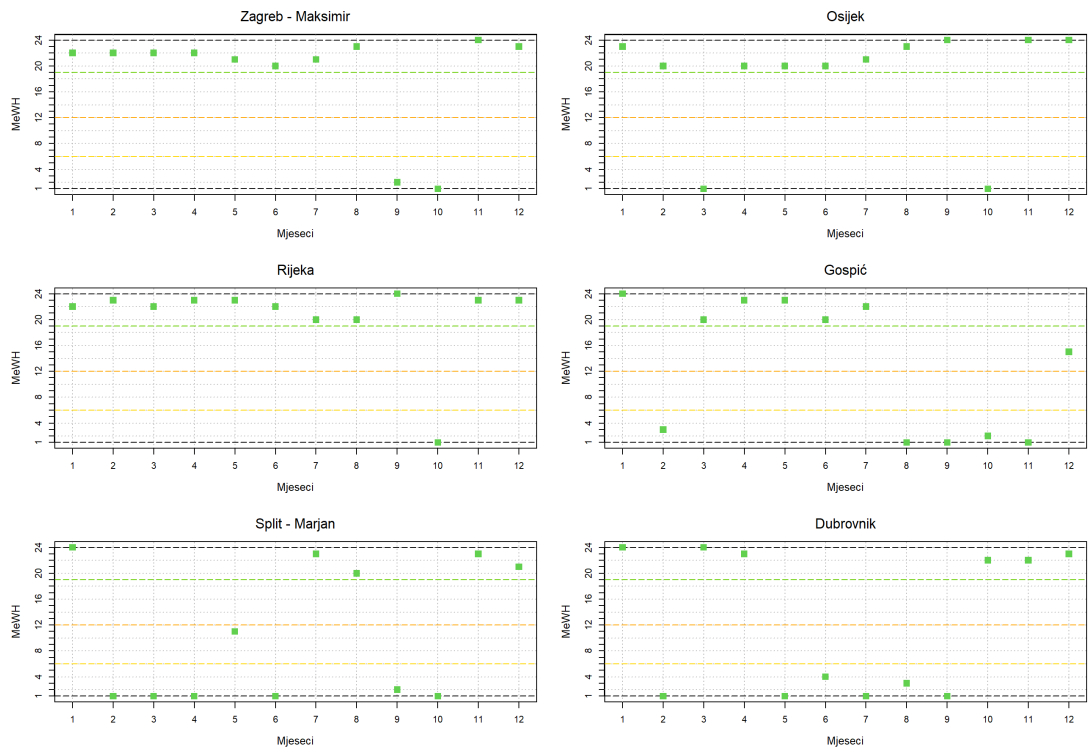


Slika 3.11. Srednji sezonski broj sati s količinom oborine većom od 10 mm (R1hr10mm) u Hrvatskoj.

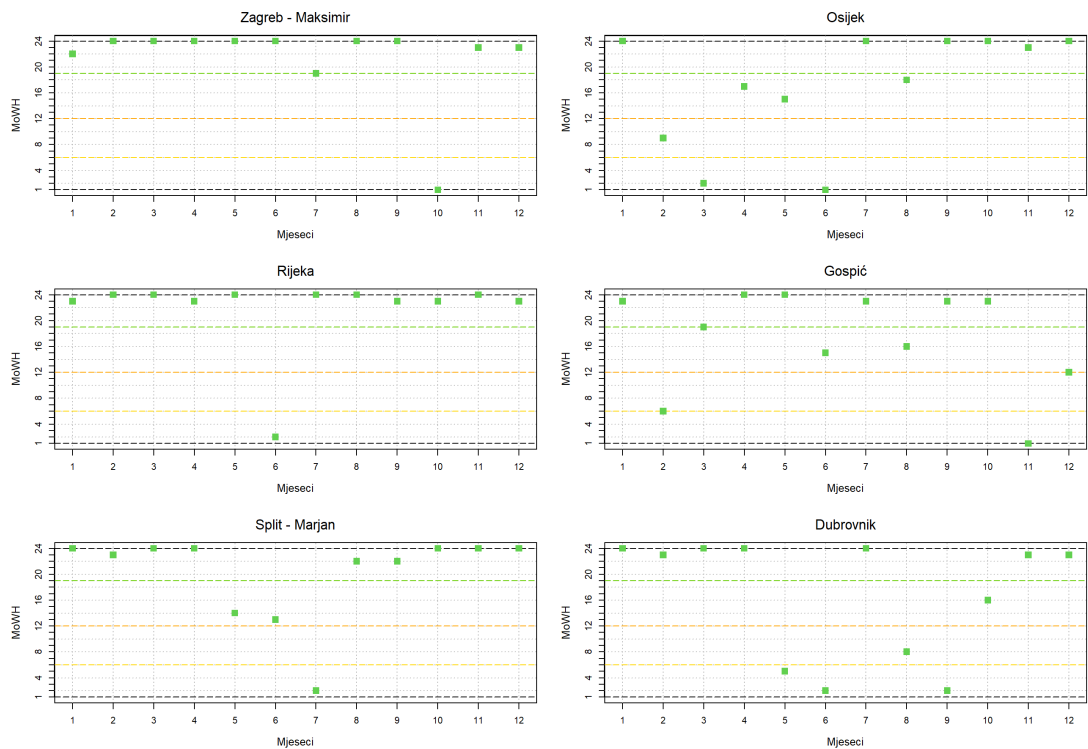
### 3.1.3 Dnevni hod

Dnevni hod oborine za sve kišne dane ( $\geq 1$  mm) nije izražen ni u jednoj sezoni, no primjećuje se kako se najmanje količine oborine u prosjeku javljaju u 7 sati ujutro, posebno tijekom zime (slika 3.15) i jeseni (slike B11–B14). S druge strane, dnevni hod oborine za kišne dane koji premašuju 99. percentil (slike B15–B18) pokazuje veliku varijabilnost među postajama u različitim regijama i sezonama. Ljeti se u kontinentalnom dijelu najintenzivnije oborine javljaju u popodnevnim i večernjim satima (15:00–22:00), dok se na riječkom području javljaju u jutarnjim satima (6:00–9:00). U Gospiću se maksimumi javljaju sredinom dana (13:00–14:00), kao i u Splitu (11:00–12:00). U Dubrovniku se najveće vrijednosti javljanju između 5:00 i 6:00, ali i u 14:00.

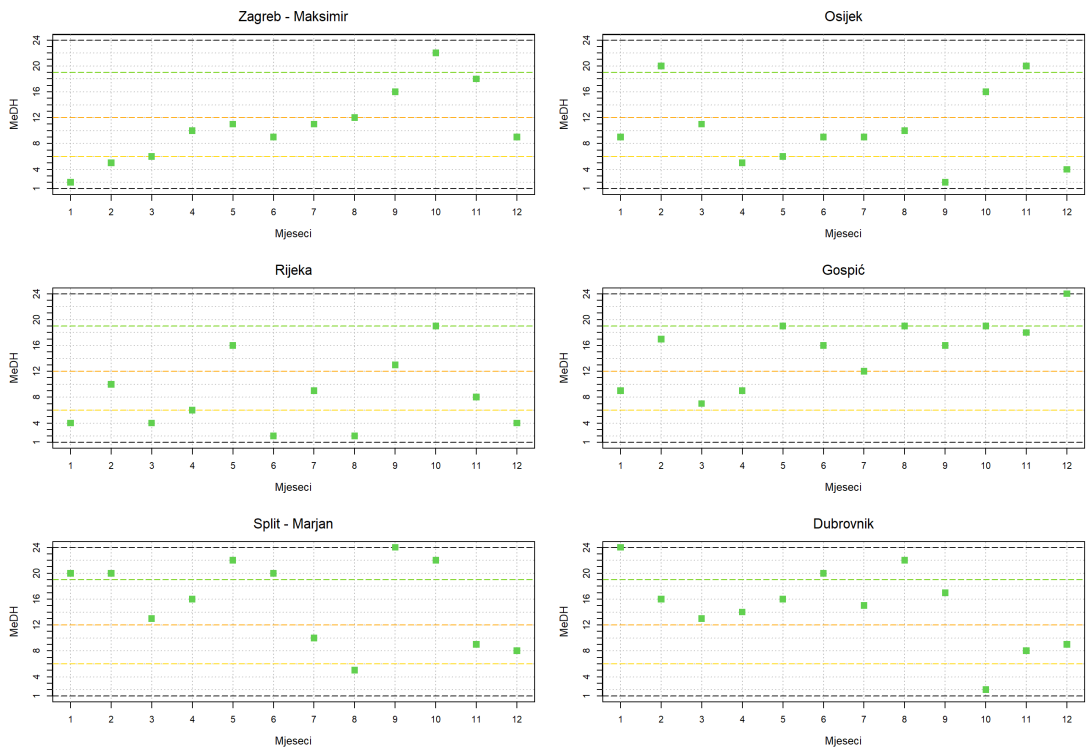
Vrijeme pojavljivanja najkišnijeg i najsušnijeg sata u danu analizirano je korištenjem kružnog srednjaka i moda (slike 3.12–3.15). Doba dana su razdvojena isprekidanim linijama na sljedeći način: 1 do 6 sati označava noć, 6 do 12 sati jutro, 12 do 19 sati popodne, dok večer obuhvaća razdoblje od 19 do 24 sata. Srednje vrijeme pojavljivanja najkišnijeg sata u danu (MeWH) obično je u večernjim ili ranim noćnim satima tijekom cijele godine na svim postajama. Najveća količina oborine najčešće padne oko ponoći (MoWH), što je posebno izraženo u urbanim sredinama gdje se može povezati s efektom urbanih toplinskih otoka. Na kontinentu se u toplom dijelu godine, osim u večernjim satima, MoWH često javljaju popodne kada zagrijavanje površine podržava razvoj konvektivnih oblaka. Noćna konvekcija je u toplom dijelu godine češća duž jadranske obale (Mikuš, Telišman Prtenjak i Strelec Mahović, 2012), što rezultira pojavom MoWH u noćnim satima na dalmatinskoj obali i otocima. Što se tiče najsušnijih sati, pretežno se na svim postajama bilježe ujutro (MoDH), posebno u 7 i 8 sati, a u pojedinim mjesecima oko ponoći (npr. na postaji Zagreb-Maksimir u razdoblju od rujna do studenog) (slika 3.15). U godišnjim hodovima srednjih vrijednosti (MeDH) ne uočavaju se određene regionalne pravilnosti (slika 3.14). Na području Zagreba, od siječnja do listopada se prosječno najsušniji sat postupno pomiče od 2:00 nakon ponoći do kasnih večernjih sati, 22:00. Zadnja dva mjeseca u godini najsušniji sat se javlja popodne (18:00), odnosno ujutro (9:00). Na istoku Hrvatske najsušniji sat uglavnom se javlja prije podneva, a samo u veljači, listopadu i studenom u popodnevnim i rano-večernjim satima.



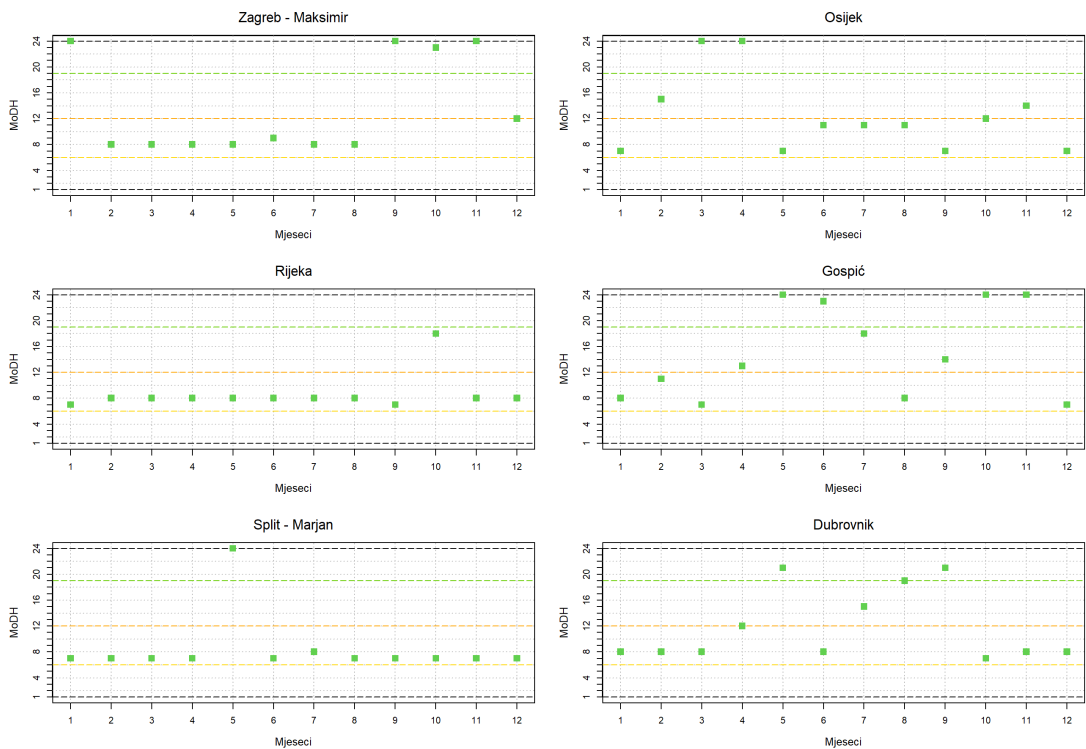
Slika 3.12. Godišnji hod kružnog srednjaka najkišnijeg sata u danu (MeWH) na odabranim postajama u Hrvatskoj. Isprekidane linije razdvajaju četiri doba dana: noć, jutro, popodne i večer.



Slika 3.13. Godišnji hod moda najkišnijeg sata u danu (MoWH) na odabranim postajama u Hrvatskoj. Isprekidane linije razdvajaju četiri doba dana: noć, jutro, popodne i večer.



Slika 3.14. Godišnji hod kružnog srednjaka najsušnijeg sata u danu (MeDH) na odabranim postajama u Hrvatskoj. Isprekidane linije razdvajaju četiri doba dana: noć, jutro, popodne i večer.



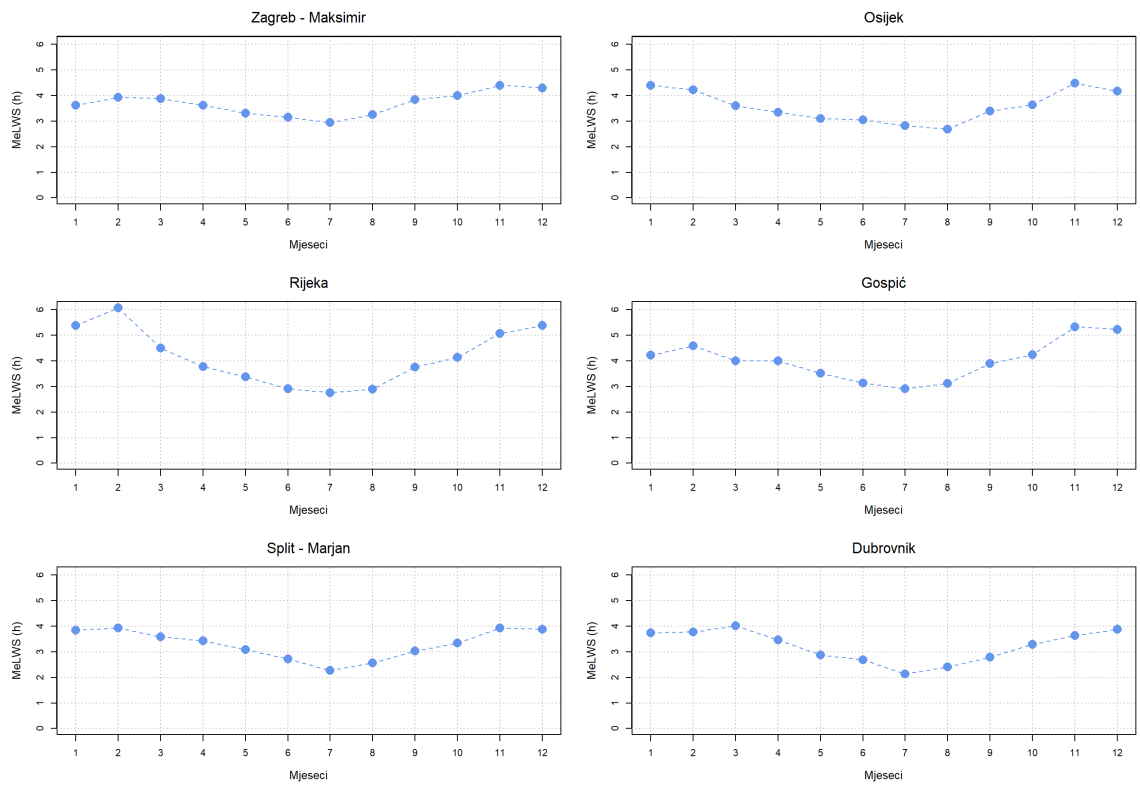
Slika 3.15. Godišnji hod moda najsušnijeg sata u danu (MoDH) na odabranim postajama u Hrvatskoj. Isprekidane linije razdvajaju četiri doba dana: noć, jutro, popodne i večer.

### 3.1.4 Trajanje

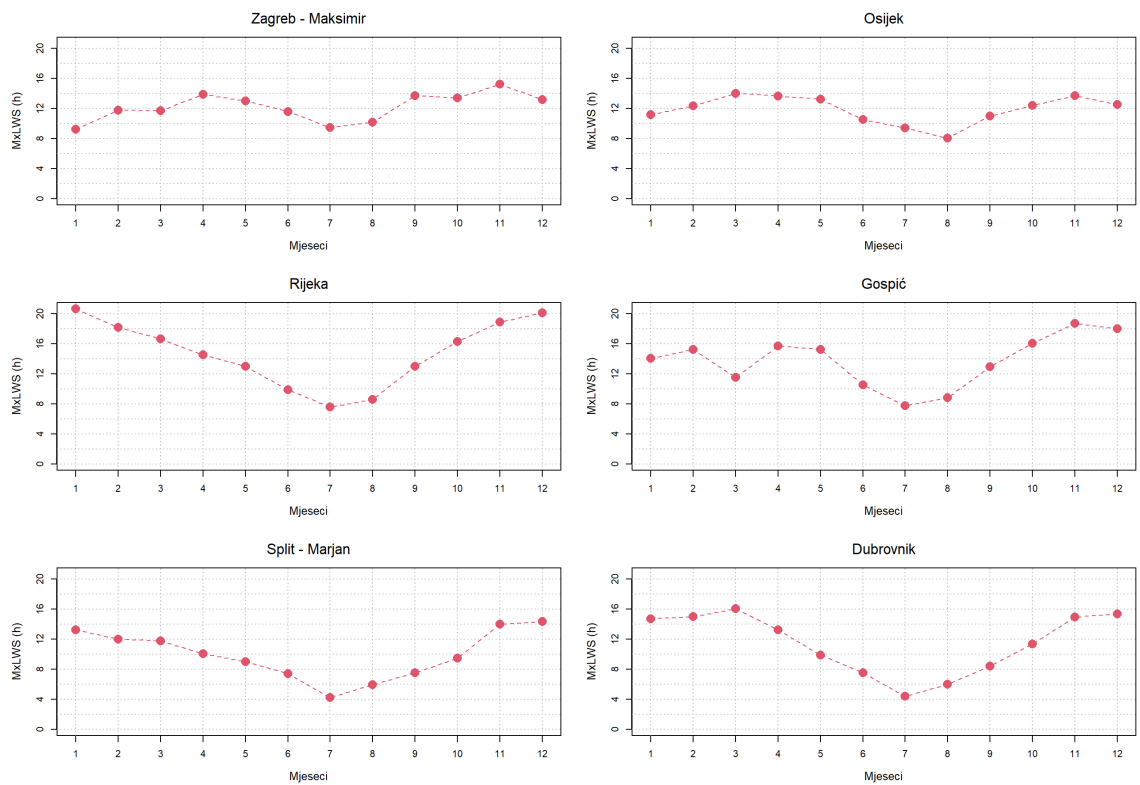
Slike 3.16 i 3.17 prikazuju godišnje hodove prosječnog i maksimalnog trajanja oborine na odabranim postajama. Prosječno trajanje oborine (MeLWS) u kontinentalnom dijelu Hrvatske kreće se između 3 i 4 sata, na sjevernom Jadranu i u gorskim krajevima između 3 i 6 sati, dok oborina u Dalmaciji traje od 2 do 4 sata. Oborine duljeg trajanja karakteristične su za jesen i zimu, dok su one kraćeg trajanja uobičajene tijekom ljeta. Vrijednosti godišnjeg hoda maksimalnog trajanja oborine (MxLWS) kreću se u rasponu od 8 do 16 sati u unutrašnjosti, od 8 do 20 sati na riječkom i gorskom području te od 4 do 16 sati na jugu Jadrana.

Iz srednjeg mjesečnog broja kišnih sati (NWH) na slici 3.18 jasno se uočavaju razlike između kontinentalnog oborinskog režima postaja Zagreb-Maksimir i Osijek te maritimnog režima ostalih postaja. U kontinentalnom dijelu Hrvatske, najveći broj kišnih sati (oko 70) javlja se u proljetnim mjesecima (travanj, svibanj), a također se primjećuje i sporedni maksimum tijekom jeseni koji se smanjuje udaljavanjem od mora. Tijekom proljeća i jeseni, prosječni sezonski broj kišnih sati (slika B19) kreće se između 180 i 200 sati, dok najmanje kišnih sati unutrašnjost bilježi zimi. Postaje pod maritimnim utjecajem najmanje kišnih sati bilježe u srpnju, a najviše u mjesecima studenom (Rijeka, Gospić, Split-Marjan) i prosincu (Dubrovnik). Maksimum godišnjeg hoda NWH iznosi 80 sati u Splitu, oko 90 sati u Gospiću i Dubrovniku, dok premašuje 100 sati u Rijeci. Zimi je jug Dalmacije najkišovitiji dio zemlje s oko 260 kišnih sati u sezoni, dok se u ostalim sezonama Gorski kotar ističe kao najkišovitiji, posebno u jesenskoj sezoni kada NWH doseže čak 370 sati. Usporedbom s rezultatima Whitford i sur. (2023), može se reći da hrvatska unutrašnjost ima sličnu sezonsku raspodjelu broja kišnih sati kao istočni dio središnje Europe (istočna Austrija), dok jug Jadrana pokazuje najveću sličnost s ostatkom zapadne Europe.

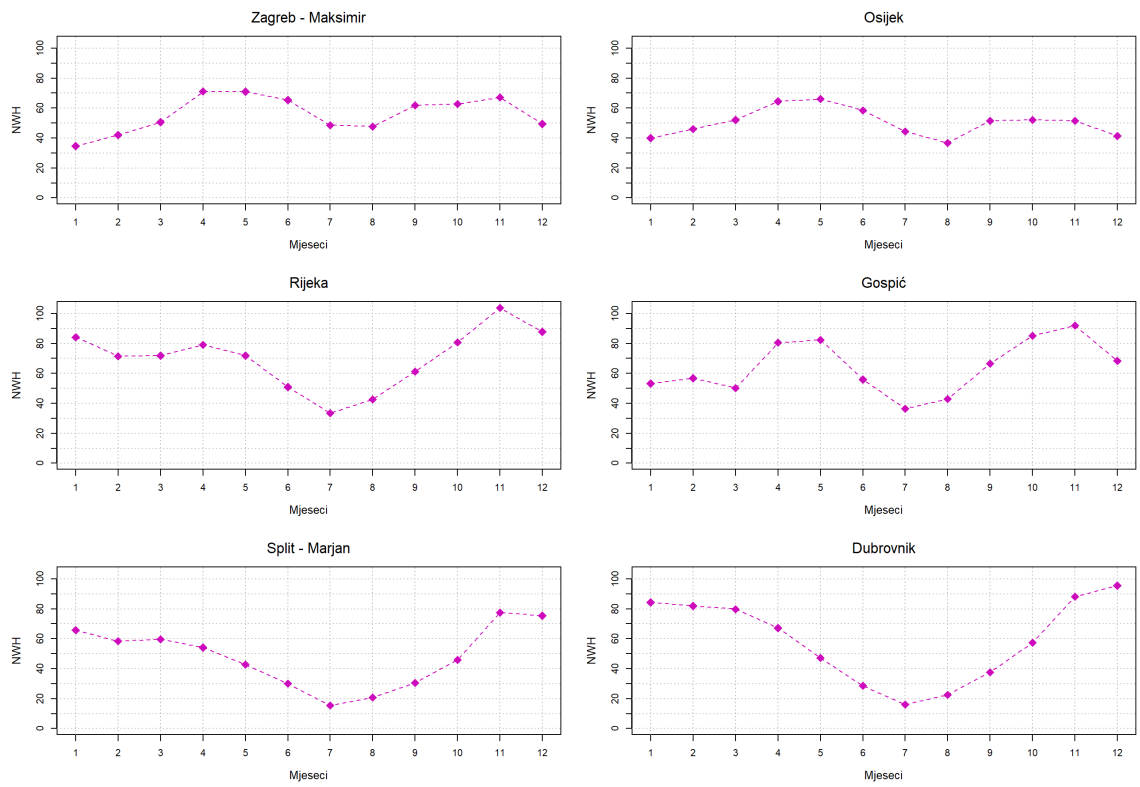




Slika 3.16. Godišnji hod prosječnog trajanja oborine (MeLWS) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



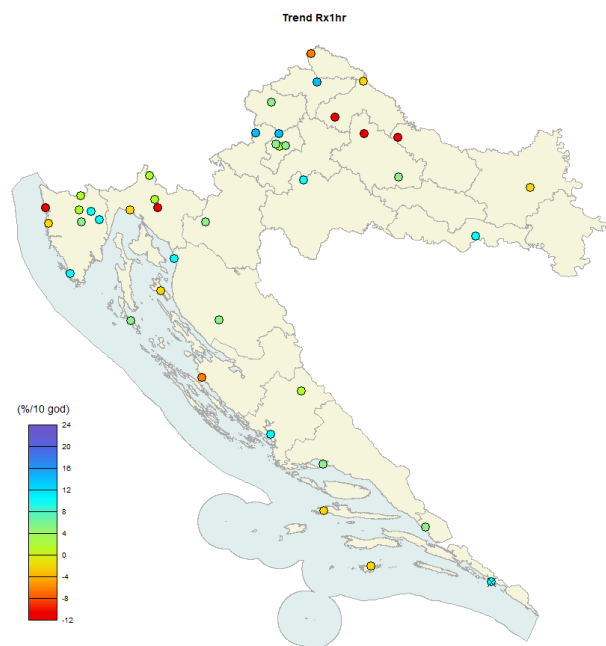
Slika 3.17. Godišnji hod maksimalnog trajanja oborine (MxLWS) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



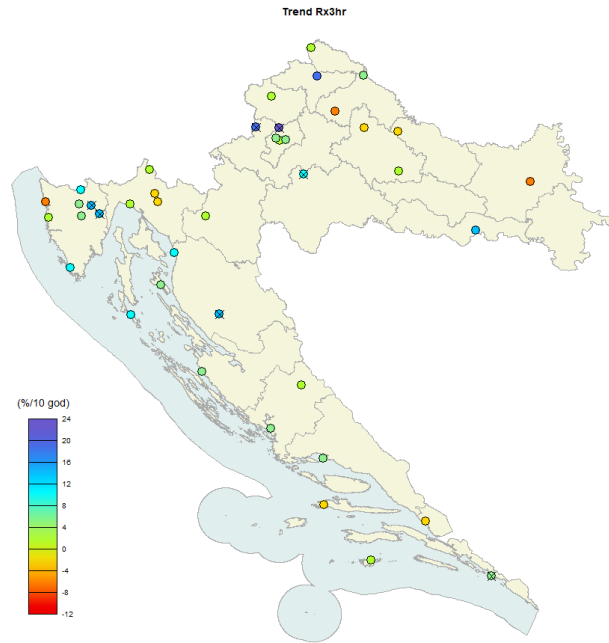
Slika 3.18. Godišnji hod broja kišnih sati (NWH) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

### 3.2. Opažene promjene kratkotrajne oborine u Hrvatskoj

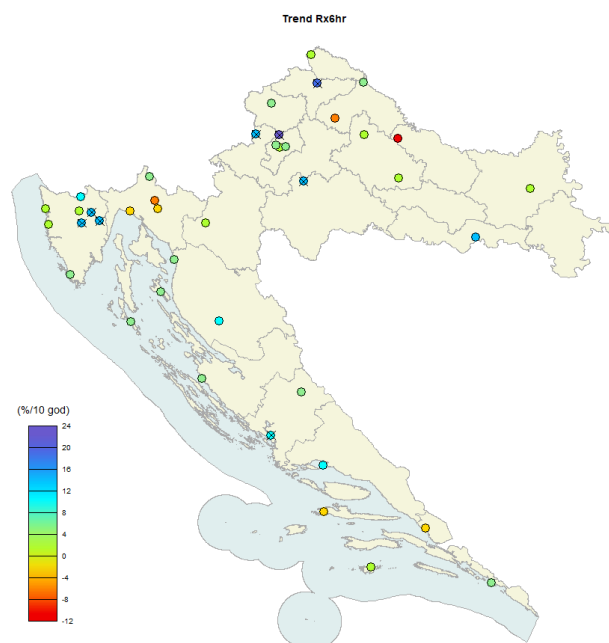
Slike 3.19–3.21 prikazuju dekadne promjene godišnjih maksimuma satnih, trosatnih i šestosatnih količina oborine na 41 postaji u Hrvatskoj izražene u odnosu na srednjake za cijelo raspoloživo razdoblje unutar promatranog razdoblja 1981.–2020. Statistički značajni trendovi na pojedinim postajama označeni su križićima. Za sva trajanja oborine, primjećuje se velika prostorna varijabilnost u iznosu i smjeru trenda s prevladavajućim pozitivnim predznakom. Naime, trend pozitivnog predznaka opažen je na 27 postaja za satne, 30 za trosatne i 34 za šestosatne maksimume oborine, što je redom 66%, 73%, odnosno 83% postaja. Za trajanje oborine od jednog sata (Rx1hr), najveći negativni trendovi, između 8 i 12%/10 god, uočavaju se na postajama istočnog dijela središnje Hrvatske, u Gorskom kotaru i na sjeverozapadu Istre, dok su najveće pozitivne promjene, od 12 do 14%/10 god, opažene na sjeverozapadnom dijelu središnje Hrvatske. Statistički značajan trend ima samo Dubrovnik, s pozitivnom dekadnom promjenom od 11%. Maksimumi 3-satne (Rx3hr) i 6-satne (Rx6hr) oborine pokazuju veće pozitivne trendove od satnih, s maksimalnih 23% povećanja na deset godina u središnjoj Hrvatskoj, a koji su statistički značajni na sedam, odnosno osam postaja. Navedene rezultate treba uzeti s dozom opreza s obzirom na to da je analiza rađena na nizovima različite duljine i potpunosti (tablica A2).



Slika 3.19. Dekadni trendovi godišnjih maksimuma oborine u trajanju od jednog sata (%/10 god u odnosu na srednjak cijelog promatranog razdoblja 1981.–2020.) u Hrvatskoj. Križićem je naznačen statistički značajan trend.

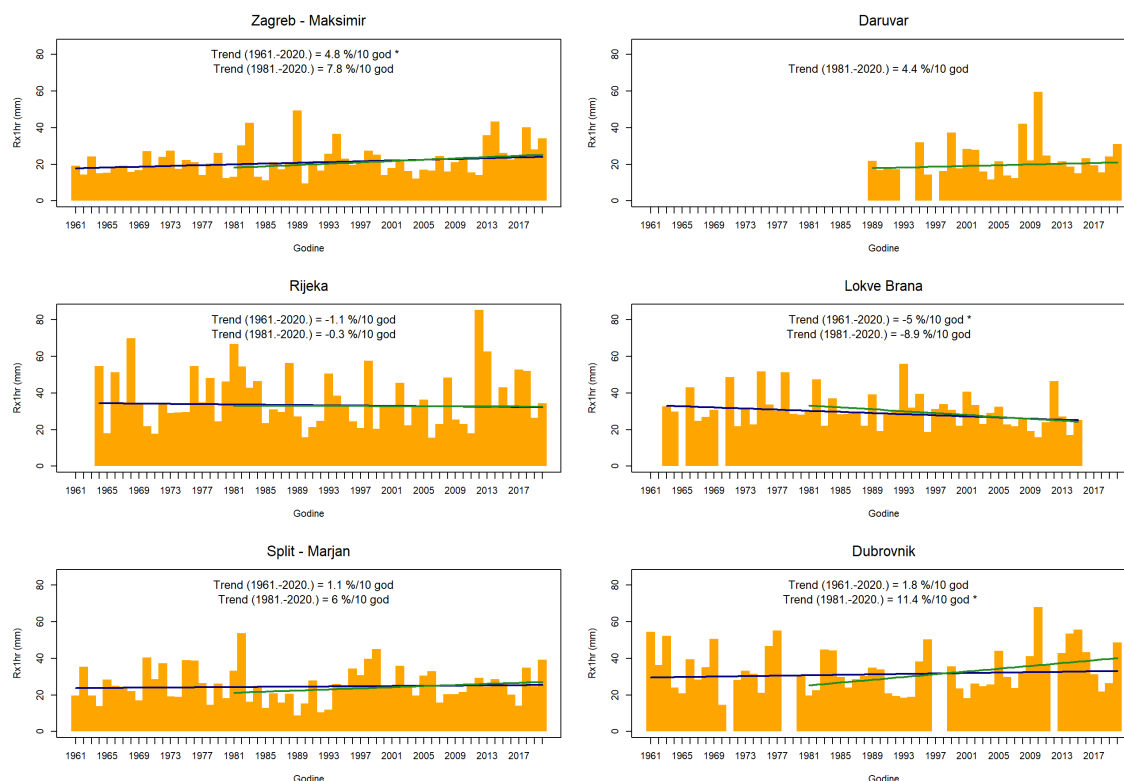


Slika 3.20. Dekadni trendovi godišnjih maksimuma oborine u trajanju od 3 sata (%/10 god u odnosu na srednjak cijelog promatranog razdoblja 1981.–2020.) u Hrvatskoj. Križićem je naznačen statistički značajan trend.

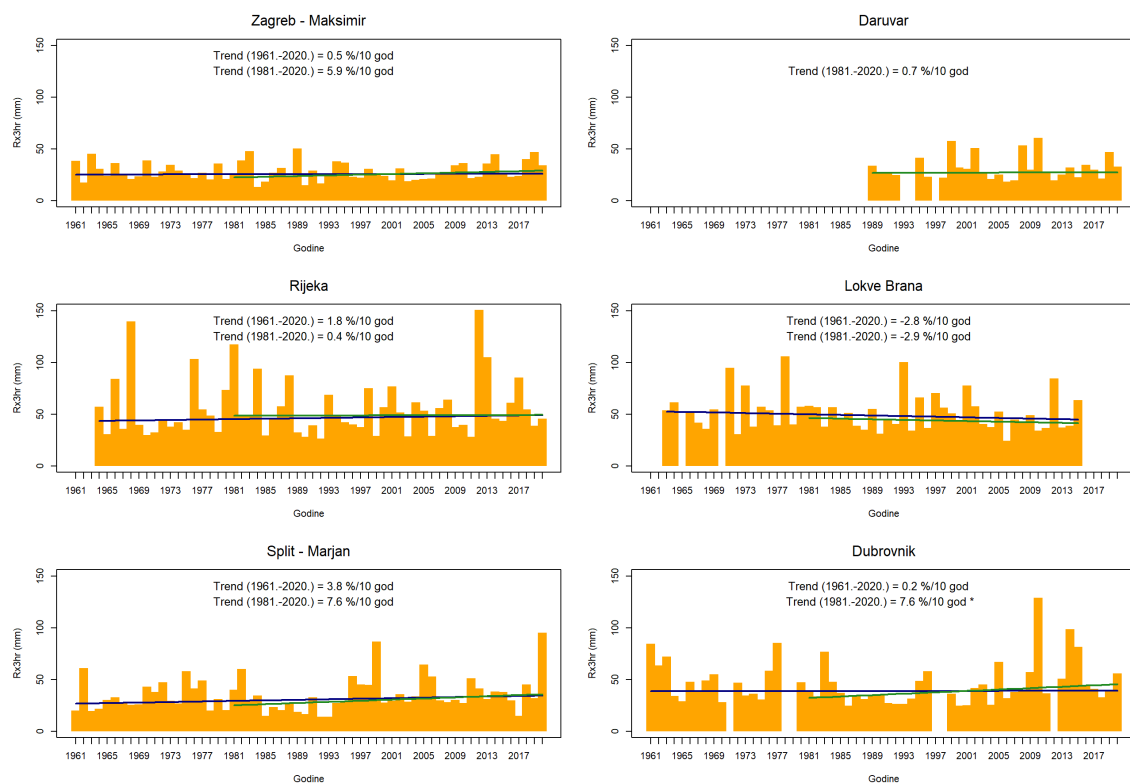


Slika 3.21. Dekadni trendovi godišnjih maksimuma oborine u trajanju od 6 sati (%/10 god u odnosu na srednjak cijelog promatranog razdoblja 1981.–2020.) u Hrvatskoj. Križićem je naznačen statistički značajan trend.

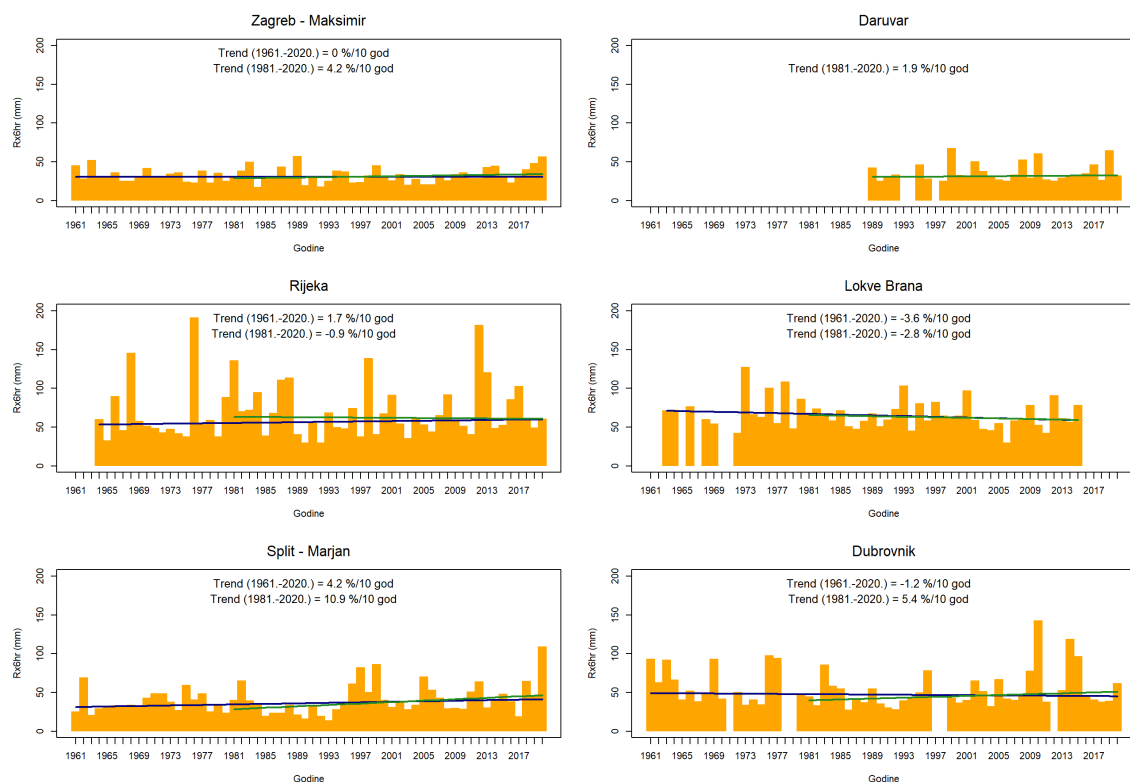
Za šest reprezentativnih postaja, na slikama 3.22–3.24 prikazani su vremenski nizovi godišnjih maksimuma satnih, trosatnih i šestosatnih količina oborine s linijama trenda za dva razdoblja, 1961.–2020. i 1981.–2020. Trend je izražen u odnosu na srednjak promatranog razdoblja. Ovdje je kao predstavnik istočne Hrvatske uzeta postaja Daruvar, koja u toj regiji ima najdulji potpuni niz, dok je u gorskom području analizirana postaja Lokve Brana u Gorskom kotaru. Zagreb-Maksimir pokazuje statistički značajan pozitivan trend satnih maksimuma u dužem razdoblju, koji iznosi 4.8%/10 god, dok za trosatne i šestosatne maksimume u istom razdoblju nema izraženih promjena. U kraćem razdoblju, od 1981. do 2020., pozitivne promjene su izraženije, no ne i statistički značajne. Nadalje, za Daruvar je bilo moguće izračunati trend samo za razdoblje od 1989. do 2020., te je najveća pozitivna promjena uočena za satne maksimume (4.4%/10 god). Rijeka u oba razdoblja pokazuje slabo izražene promjene za sva trajanja. Na postaji Lokve Brana opažaju se negativne promjene, najizraženije kod satnih maksimuma; za razdoblje 1963.–2015. dobiven je statistički značajan trend iznosa -5%/10 god, dok je za razdoblje od 1981. dekadna promjena još veća i iznosi -8.9%. Split pokazuje izraženije pozitivne trendove u kraćem razdoblju, a koji se povećavaju s trajanjem oborine, pa tako za šestosatne maksimume trend iznosi 10.9%/10 god. Konačno, Dubrovnik u razdoblju 1961.–2020. pokazuje slabo izražene promjene maksimuma kratkotrajne oborine, dok u zadnjih 40 godina bilježi statistički značajne pozitivne trendove satnih (11.4%/10 god) i trosatnih (7.6%/10 god) maksimuma.



Slika 3.22. Vremenski niz maksimuma satne oborine s linijama trenda za dva razdoblja (1961.–2020. i 1981.–2020.) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

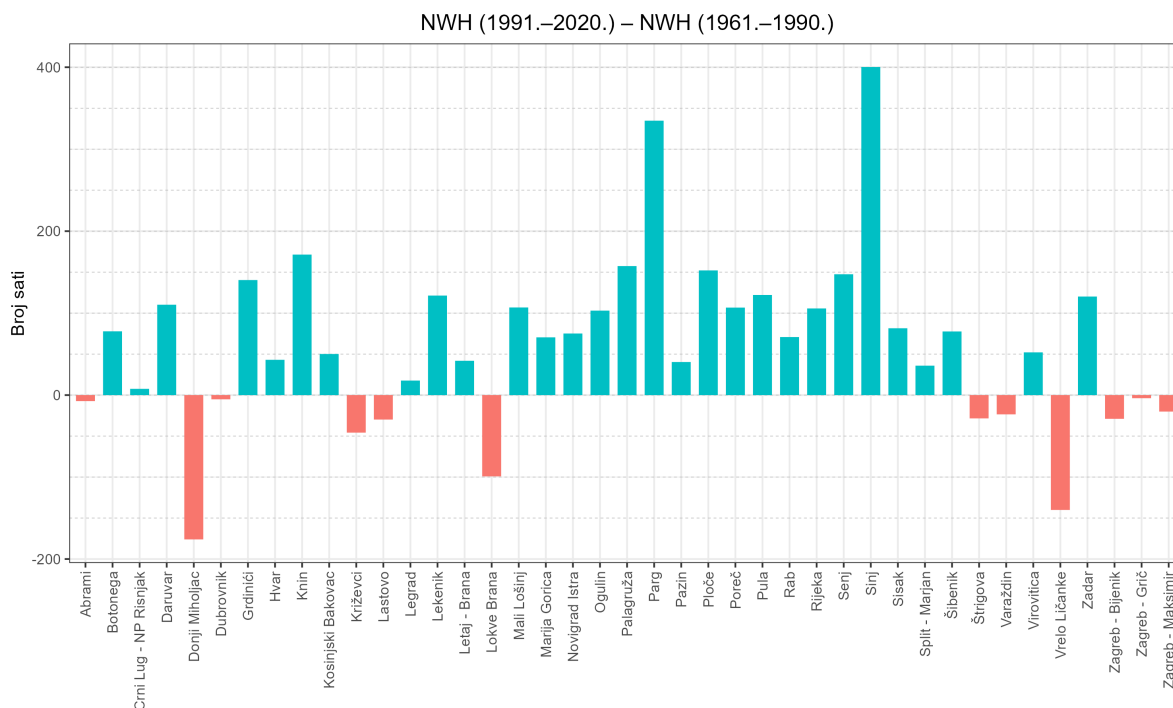


Slika 3.23. Vremenski niz maksimuma trosatne oborine s linijama trenda za dva razdoblja (1961.–2020. i 1981.–2020.) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

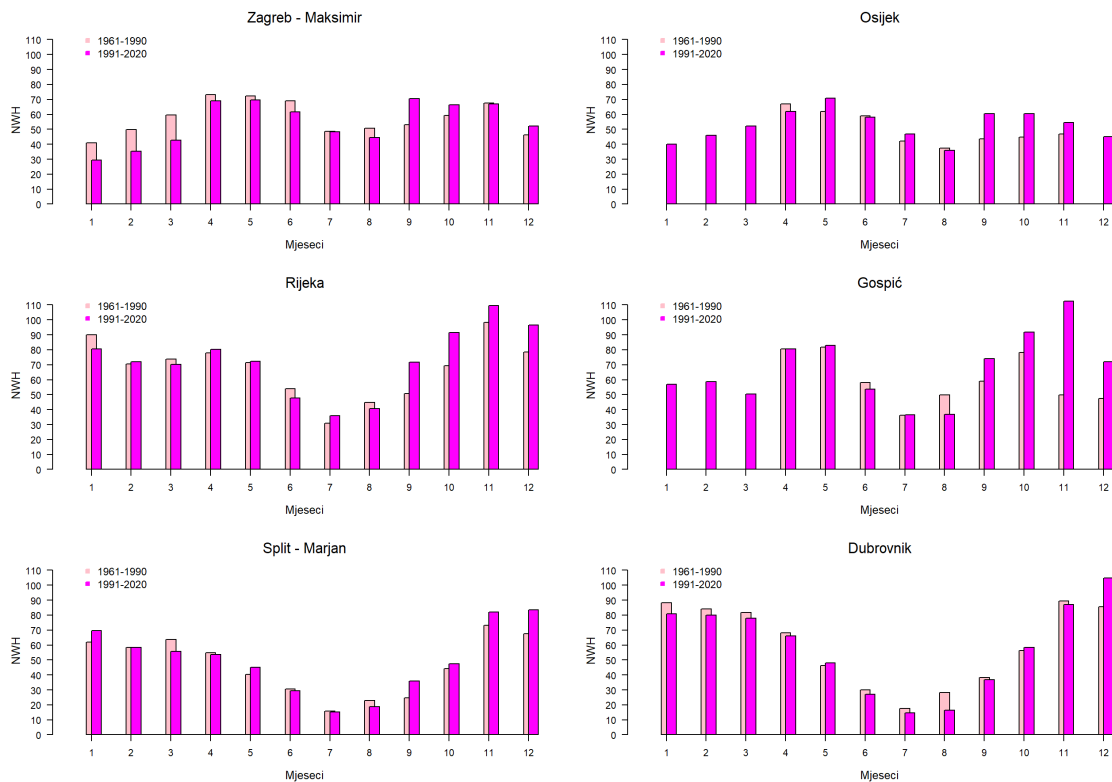


Slika 3.24. Vremenski niz maksimuma šestosatne oborine s linijama trenda za dva razdoblja (1961.–2020. i 1981.–2020.) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

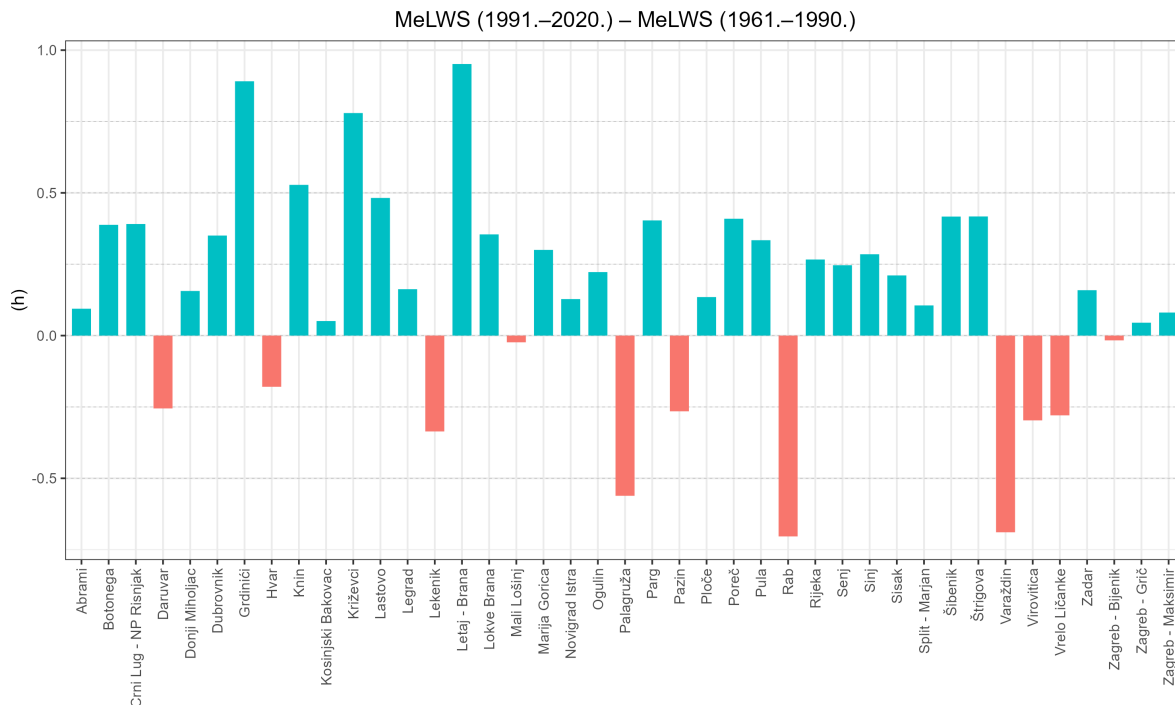
Promjene kratkotrajne oborine u Hrvatskoj dodatno su ispitane usporedbom srednjaka pojedinih indeksa u dva klimatološka razdoblja: 1961.–1990. i 1991.–2020. Pritom su u analizu uključene postaje koje u oba razdoblja zadovoljavaju uvjet potpunosti podataka. Srednji godišnji broj kišnih sati (NWH) na većini postaja bilježi rast u drugom 30-godišnjem razdoblju, pri čemu je najveći porast primijećen na postajama Parg u sjevernom dijelu Gorskog kotara te Sinj u dalmatinskom zaleđu, gdje se godišnje bilježi čak 400 kišnih sati više u odnosu na prvo razdoblje (slika 3.25). S druge strane, pad u godišnjem broju kišnih sati najizraženiji je na postajama Donji Miholjac na istoku Hrvatske te postajama na jugu Gorskog kotara na kojima su prethodno opaženi i negativni trendovi maksimuma satne oborine. Također, na većini postaja pozitivni trendovi RxXhr mogu se povezati s porastom NWH. Prema rezultatima promjena u dva razdoblja na odabranim reprezentativnim postajama s dugim nizovima, vidljivo je da se porast u broju kišnih sati uočava tijekom jesenskih mjeseci i rane zime, dok u ostatku godine prevladava smanjenje (slika 3.26). Ti rezultati su u skladu s opaženim trendovima analiziranim u radu Gajić-Čapka, Cindrić i Pasarić (2014), koji su detektirali porast broja vrlo kišnih dana i njihova udjela u ukupnoj oborini tijekom jeseni, kao i porast maksimalne dnevne količine oborine i dnevnog intenziteta oborine na području Hrvatske. Nadalje, većina postaja pokazuje dulje prosječno trajanje oborine (MeLWS) u drugom 30-godišnjem razdoblju (slika 3.27), a najveći porast (gotovo do 1 sat) zabilježen je na postajama na sjeveroistoku Istre, Grdinići i Letaj-Brana. Na istim dvjema postajama, koje su ujedno i najviše postaje na poluotoku, primjećuje se najveći porast u intenzitetu satne oborine (SPII1hr) u drugom razdoblju (slika 3.28). Ova činjenica, zajedno s prisutnošću statistički značajnih pozitivnih trendova maksimuma satne oborine na postajama u blizini planinskih lanaca, sugerira da orografija uvelike utječe na intenzifikaciju kratkotrajne jake oborine.



Slika 3.25. Razlike u srednjem godišnjem broju kišnih sati (NWH) na pojedinim postajama u Hrvatskoj između dva klimatološka razdoblja: 1961.–1990. i 1991.–2020.

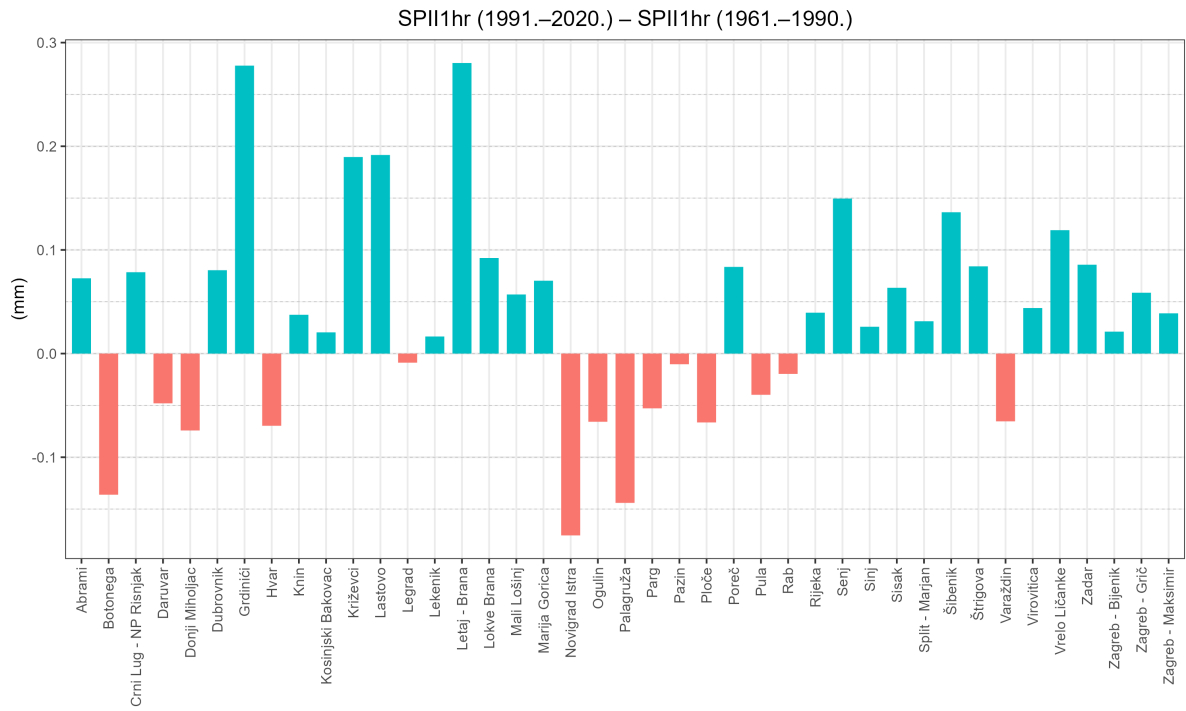


Slika 3.26. Usporedba godišnjeg hoda broja kišnih sati (NWH) na odabranim postajama u Hrvatskoj između dva klimatološka razdoblja: 1961.–1990. i 1991.–2020.



Slika 3.27. Razlike u prosječnom trajanju oborine (MeLWS) na pojedinim postajama u Hrvatskoj između dva klimatološka razdoblja: 1961.–1990. i 1991.–2020.





Slika 3.28. Razlike u srednjem intenzitetu oborine u trajanju od jednog sata (SPII1hr) na pojedinim postajama u Hrvatskoj između dva klimatološka razdoblja: 1961.–1990. i 1991.–2020.

## 4. Zaključak

Analizirane su učestalosti i intenziteti kratkotrajne jake oborine s pomoću indeksa ekstrema definiranih u međunarodnom projektu INTENSE. Indeksi se baziraju na satnim vrijednostima oborine u trajanju od 1, 3 i 6 sati, a analiza je provedena prema satnim podacima ombrografskih postaja iz mreže DHMZ-a na cijelom području Hrvatske, iz razdoblja 1961.–2020. Analiza uključuje osnovnu klimatologiju mjesečnih, sezonskih i godišnjih satnih maksimuma oborine. Također su ispitani trendovi intenzifikacije kratkotrajne jake oborine koja se, zbog klimatskih promjena, u posljednjim godinama povezuje sa sve češćim pluvijalnim poplavama. Dodatno, uspoređeni su srednjaci indeksa intenziteta i trajanja oborine u dva klimatološka razdoblja: 1961.–1990. i 1991.–2020.

Najveći intenziteti i učestalosti satnih oborinskih ekstrema na području Hrvatske uočeni su na sjevernom i južnom Jadranu, te u Gorskom kotaru. Maksimumi odgovarajućih indeksa javljaju se za pojedine regije u istom dijelu godine, sugerirajući da imaju isti uzrok, povezan s vrhuncem konvektivne i grmljavinske aktivnosti. Maksimalne satne oborine postižu se u kontinentalnom dijelu Hrvatske tijekom ljeta, kao u većem dijelu zapadnoeuropskih područja, dok se u gorskim predjelima i duž Jadrana bilježe nešto kasnije, krajem ljeta i početkom jeseni, što je tipičnije za mediteransko podneblje (Whitford i sur., 2023). U kontinentalnom dijelu zemlje, koji bilježi najmanje intenzitete i učestalosti, primijećeni su veliki udjeli satnih ekstrema u dnevnoj oborini, što je u skladu s rezultatima za središnju Europu (Whitford i sur., 2023). To sugerira da se te pojave ili javljaju kao rezultat izoliranih događaja kratkog trajanja ili su dio dužih oluja s izraženim vrhuncem. Kratkotrajne oborine češće su u ljetnim mjesecima, dok su dulji oborinski događaji karakteristični za jesen i zimu. Na kontinentu, najviše kiše padne u proljeće i jesen, dok se na planinskim i obalnim područjima najveći broj kišnih sati bilježi tijekom kasne jeseni i zime. Gorski kotar se ističe kao najkišovitiji dio Hrvatske u svim sezonama, osobito tijekom jesenske sezone, osim zime kada veći broj kišnih sati bilježi jug Dalmacije. Sezonska raspodjela kišnih sati na južnom Jadranu, s najmanjim brojem kišnih sati ljeti i najvišim zimi, usklađena je s većinom zapadne Europe (Whitford i sur., 2023). Satni maksimumi oborine najčešće se pojavljuju u večernjim satima (oko ponoći), a u toplom dijelu godine također u popodnevnim satima na kontinentu i u noćnim satima na jadranskoj obali i otocima.

Preliminarna analiza trendova maksimalnih godišnjih količina kratkotrajne oborine uputila je na probleme s nedostajućim podacima u nizovima, pogotovo u regiji Slavonije u ranijim godinama. Stoga je analiza provedena na postajama s dovoljno dugim i potpunim nizovima u razdoblju od 1981. do 2020. Kako još nije istraženo koliko praznine u nizovima utječu na detekciju trenda, rezultate ove analize treba uzeti s oprezom. Većina postaja pokazuje trend intenzifikacije kratkotrajne jake oborine, koji je statistički značajan na samo nekoliko postaja, uglavnom u blizini planinskih lanaca. Najveće pozitivne promjene uočene su na postajama zapadnog dijela središnje Hrvatske, sjeveroistoka Istre i Like, dok su negativni trendovi godišnjih satnih maksimuma zamijećeni na sjeveroistoku Hrvatske, sjeverozapadu Istre te u Gorskom kotaru. Povećani broj kišnih sati u posljednjem 30-godišnjem razdoblju, posebno tijekom jeseni i rane zime, korespondira s pozitivnim smjerom trendova satnih maksimuma, dok se istodobno bilježi smanjenje broja kišnih sati na područjima s negativnim trendovima. Također je primijećeno povećanje u trajanju i intenzitetu satne oborine na većini postaja tijekom drugog klimatološkog razdoblja.

Ranije je provedena detaljna analiza dnevnih indeksa oborinskih ekstrema (Gajić-Čapka, Čindrić i Pasarić, 2014), stoga analiza satnih indeksa pruža proširenu sliku klimatologije oborinskih ekstrema i opaženih klimatskih promjena. Osim toga, rezultati ovog rada mogu poslužiti kao klimatološka podloga za izradu kriterija upozorenja na jake kiše koje je zbog klimatskih promjena potrebno redovito pratiti i revidirati. Kako je u ovom radu prvi put provedena klimatološka analiza kratkotrajne oborine na području Hrvatske, rezultati mogu biti korisna podloga za procjenu rizika od bujičnih poplava, kao i za klimatsko modeliranje i posljedično adaptaciju na klimatske promjene.

## Literatura

- Alexander, L. V., Fowler, H. J., Bador, M., Behrangi, A., Donat, M. G., Dunn, R., Funk, C., Goldie, J., Lewis, E., Rogé, M., Seneviratne, S. I., Venugopal, V. (2019) On the use of indices to study extreme precipitation on sub-daily and daily timescales. *Environmental Research Letters* [online], 14(12). Dostupno na: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab51b6>
- Barbero, R., Fowler, H. J., Lenderink, G., Blenkinsop, S. (2017) Is the intensification of precipitation extremes with global warming better detected at hourly than daily resolutions? *Geophysical Research Letters* [online], 44(2). Dostupno na: <https://doi.org/10.1002/2016GL071917>
- Blenkinsop, S., Fowler, H. J., Barbero, R., Chan, S. C., Guerreiro, S. B., Kendon, E., Lenderink, G., Lewis, E., Li, X.-F., Westra, S., Alexander, L., Allan, R. P., Berg, P., Dunn, R. J. H., Ekström, M., Evans, J. P., Holland, G., Jones, R., Kjellström, E., Klein-Tank, A., Lettenmaier, D., Mishra, V., Prein, A. F., Sheffield, J., Tye, M. R. (2018) The INTENSE project: using observations and models to understand the past, present and future of sub-daily rainfall extremes. *Advances in Science and Research* [online], 15, str. 117–126. Dostupno na: <https://doi.org/10.5194/asr-15-117-2018>
- Cindrić, K., Nimac, I., Gajić-Čapka, M., Rubinić, J. (2014) Vremenske promjene kratkotrajnih jakih oborina u razdoblju 1955.–2010. za Split i Varaždin. *Hrvatske Vode*, 22(89), str. 239–250.
- DHMZ (2023) Odabrana poglavlja Osmog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji UN-a o promjeni klime (UNFCCC).
- Fowler, H. J., Lenderink, G., Prein, A. F., Westra, S., Allan, R. P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H. X., Guerreiro, S., Haerter, J. O., Kendon, E. J., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., Zhang, X. (2021) Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment* [online], 2, str. 107–122. Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>
- Gajić-Čapka, M., Cindrić, K., Mihajlović, D. (2008) Oborina / Precipitation. U: Zaninović, K. (ur.), *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod, str. 43–60.
- Gajić-Čapka, M., Cindrić, K., Pasarić, Z. (2015) Trends in precipitation indices in Croatia, 1961–2010. *Theoretical and applied climatology* [online], 121(1/2), str. 167–177. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1217-9>
- Gilbert, R.O. (1987) Statistical methods for environmental pollution monitoring. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lakatos, M., Szentes, O., Cindrić Kalin, K., Nimac, I., Kozjek, K., Cheval, S., Dumitrescu, A., Iraşoc, A., Stepanek, P., Farda, A., Kajaba, P., Mikulová, K., Mihic, D., Petrović, P., Chimani, B., Pritchard, D. (2021) Analysis of Sub-Daily Precipitation for the PannEx Region. *Atmosphere* [online], 12(7), str. 1–18. Dostupno na: <https://doi.org/10.3390/atmos12070838>

- Mikuš, P., Telišman Prtenjak, M., Strelec Mahović, N. (2012) Analysis of the convective activity and its synoptic background over Croatia. *Atmospheric research [online]*, 104/105, str. 139 – 153. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.09.016>
- Nimac, I., Cindrić Kalin, K., Renko, T., Vujnović, T., Horvath, K. (2022) The analysis of summer 2020 urban flood in Zagreb (Croatia) from hydro-meteorological point of view. *Natural Hazards [online]*, 112, str. 873–897. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05210-4>
- Pandžić, K. i suradnici (2008) Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod.
- Pritchard, D., Lewis, E., Blenkinsop, S., Patino Velasquez, L., Whitford, A., Fowler, H. J. (2023) An Observation-Based Dataset of Global Sub-Daily Precipitation Indices (GSDR-I). *Scientific Data [online]*, 10(393). Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02238-4>
- Slater, L. i Villarini, G. (2016) On the impact of gaps on trend detection in extreme streamflow time series. *International Journal of Climatology [online]*, 37(10). Dostupno na: <https://doi.org/10.1002/joc.4954>
- STREAM (2022) Studija procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj.
- Taszarek, M., Allen, J., Púčik, T., Groenemeijer, P., Czernecki, B., Kolendowicz, L., Lagouvardos, K., Kotroni, V. and Schulz, W. (2019) A Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources. *Journal of Climate [online]*, 32(6), str. 1813–1837. Dostupno na: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1>
- Whitford, A. C., Blenkinsop, S., Pritchard, D., Fowler, H. J. (2023) A gauge-based sub-daily extreme rainfall climatology for western Europe. *Weather and Climate Extremes [online]*, 41. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100585>
- WMO (2004) Report of the CCI/CLIVAR expert team on climate change detection, monitoring and indices (ETCCDMI). *World Climate Data and Monitoring Programme, No.54*.

## Popis kratica

DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod
GSDR	Globalna satna oborina (engl. <i>Global Sub-Daily Rainfall</i> )
NAO	Sjeverno-atlantska oscilacija (engl. <i>North Atlantic Oscillation</i> )
ETCCDI	Stručni tim za opažanje klimatskih promjena i indekse (engl. <i>Expert Team on Climate Change Detection and Indices</i> )
WMO	Svjetska meteorološka organizacija (engl. <i>World Meteorological Organization</i> )
RxXhr	Maksimum X-satne oborine
RxXhrP	Doprinos RxXhr ukupnoj oborini u danu
RYpwXhr	Y. percentil kišnih sati za X-satnu oborinu
RYpwXhrP	Udio premašaja RYpwXhr
SPIIXhr	Srednji intenzitet X-satne oborine
RXhrTmm	Broj sati/perioda s količinom oborine većom od T mm
MeLWS	Prosječna duljina kišnog razdoblja
MxLWS	Maksimalna duljina kišnog razdoblja
NWH	Broj kišnih sati
MoWH	Najkišniji sat u kišnom danu
MeWH	Srednjak najkišnijeg sata u kišnom danu
MoDH	Najsušniji sat u kišnom danu
MeDH	Srednjak najsušnjeg sata u kišnom danu
DiCyc1mm	Dnevni hod oborine za sve kišne dane
DiCyc95pw/DiCyc99pw	Dnevni hod oborine za kišne dane koji premašuju 95./99. percentil

## Dodatak A

Tablica A1. Popis ombrografskih postaja s razdobljima digitaliziranih podataka u analiziranom razdoblju i brojem analiziranih godina  $n_{god}$ .

Postaja	Digitalizirani podaci	$n_{god}$
Abrami	1962–2016	50
Bilogora	1976–1994   2000–2020	40
Bjelovar	1961–1986   1988–2020	59
Botonega	1987–2020	34
Crni Lug - NP Risnjak	2010–2020	11
Čakovec	1981–1983   1985–2015	34
Daruvar	1961–2020	60
Donji Miholjac	1961–1965   1967–2020	59
Dubrovnik	1961–2020	60
Gospić	1961–2020	69
Gradište	1980–1986   1990–1991   1993–2020	37
Grdinići	1968–2020	53
Hvar	1964–2020	57
Katoličke Čaire	1975–2013	39
Knin	1962–1991   1995–2020	56
Kosinjski Bakovac	1969–2020	52
Krapina	1973–1986   1993–2020	42
Križevci	1961–1962   1964–2020	59
Lastovo	1964–1989   1991–2020	56
Legrad	1983–2020	38
Lekenik	1982–2020	39
Letaj - Brana	1974–2020	47
Ličko Lešće	1969–1983   1985–2020	51
Lokve Brana	1961–2015	55
Mali Lošinj	1962–2020	59
Marija Gorica	1983–2020	38
Novigrad Istra	2014–2020	7
Ogulin	1962–2020	59
Osijek	1961–1991   1996–2020	56
Palagruža	1961–1962   1964–1987   1990–1992   1996–2020	54
Parg	1973–2020	48
Pazin	1963–2020	58
Ploče	1968–2020	53
Poreč	1984–2020	37
Pula	1961–2020	60
Puntijarka	1961–2020	60
Rab	1961–1965   1970–2020	56
Rijeka	1961–2020	60
Senj	1961–2020	60

*Nastavak na sljedećoj stranici*

Tablica A1 – *Nastavak*

<b>Postaja</b>	<b>Digitalizirani podaci</b>	<b>n<sub>god</sub></b>
Sinj	1961–1983   1985–1990   1995   2002–2020	49
Sisak	1961–1992   1994–2020	59
Slavonski Brod	1961–1991   1993   1995   1998–2020	56
Split - Marjan	1961–2020	60
Šibenik	1964–2020	57
Štrigova	1985–2020	36
Varaždin	1961–2011   2013–2020	59
Vinkovci	1961–1964   1966   1971–1997   2000–2014	47
Virovitica	1961–1995   2007–2020	49
Vrelo Ličanke	1974–2020	47
Zadar	1961–2020	60
Zagreb - Bijenik	1980–2020	41
Zagreb - Grič	1961–2020	60
Zagreb - Maksimir	1961–2020	60
Zavižan	1965–1989   1991–1996   1998–2020	54



Tablica A2. Popis postaja korištenih u analizi trendova godišnjih maksimuma satnih, trosatnih i šestosatnih količina oborine s razdobljima potpunih podataka u analiziranom razdoblju 1981.–2020. i brojem potpunih godina  $n_p$ .

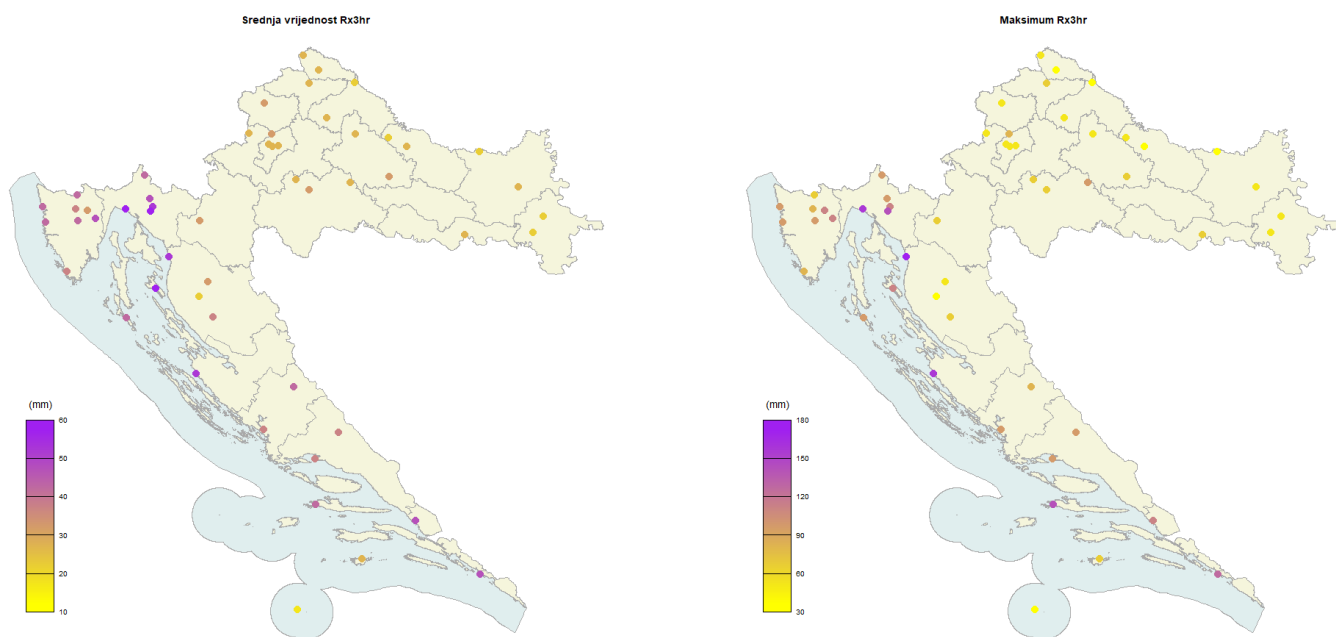
<b>Postaja</b>	<b>Potpuni podaci</b>	<b><math>n_p</math></b>
Bilogora	2001–2020	20
Bjelovar	1991–1995   1998–2020	28
Daruvar	1989–1992   1995–1996   1998–2020	29
Dubrovnik	1981–1996   1999–2011   2013–2020	37
Gospić	1989–1991   1993–1996   1999–2020	29
Hvar	1981–1982   1984–1987   1989–2020	38
Knin	1998–2020	23
Krapina	1994–2020	27
Križevci	1981–2020	40
Lastovo	1981–1989   1991–1995   1997–1999   2001–2014   2016–2020	36
Mali Lošinj	1981–2020	40
Ogulin	1983–1992   1994–2020	36
Osijek	1999–2020	22
Parg	1984   1986   1989–1993   1996   1998–2020	31
Pazin	1981–1987   1990–2020	38
Ploče	1982–1983   1986   1988–1992   1994–2011   2013–2020	34
Pula	1982   1984   1986   1988–1991   1994–2011   2013–2020	33
Puntijarka	1992–1995   1997   1999–2006   2008–2020	26
Rab	1981–2020	40
Rijeka	1981–2020	40
Senj	1983   1985–1996   1998–2015   2017–2020	35
Slavonski Brod	2000–2020	21
Split - Marjan	1981–2020	40
Šibenik	1983–2020	38
Varaždin	1998–2011   2013–2020	22
Zadar	1996–2020	25
Zagreb - Grič	1981–2020	40
Zagreb - Maksimir	1981–2020	40
Abrami	1981–2014   2016	35
Botonega	1988–2020	33
Letaj - Brana	1981–1988   1990–1991   1993–2010   2012–2020	37
Lokve Brana	1981–2015	35
Poreč	1985   1988   1990–1991   1994–2010   2012–2020	30
Lekenik	1982–2009   2011–2020	38
Grdinići	1981–1983   1985–1986   1988–1992   1994–1996   1998–2020	36
Legrad	1984–1985   1987–1991   1994–2020	34
Marija Gorica	1986–1992   1994   1996–2020	33

*Nastavak na sljedećoj stranici*

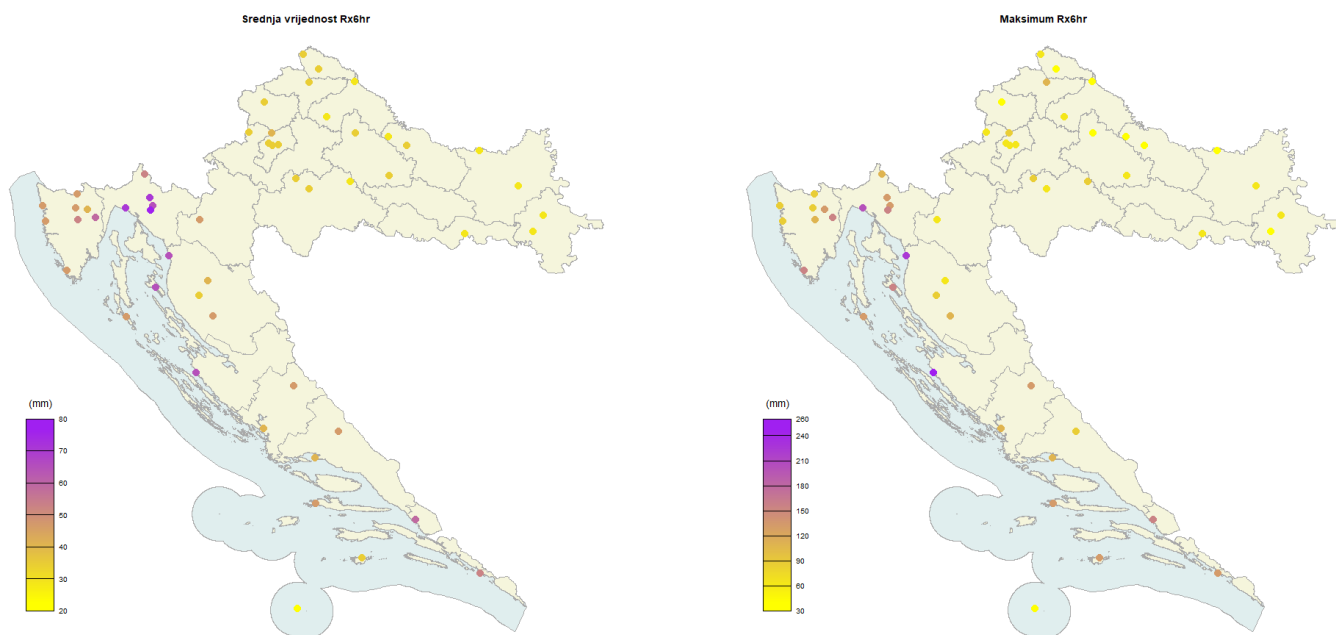
Tablica A2 – *Nastavak*

<b>Postaja</b>	<b>Potpuni podaci</b>	<b>n<sub>p</sub></b>
Štrigova	1985–2020	36
Zagreb - Bijenik	1981–1988   1990–1992   1994–2020	38
Crni Lug - NP Risnjak	1982   1985–2008   2011–2020	34
Novigrad Istra	1988–1996   1999–2011	22

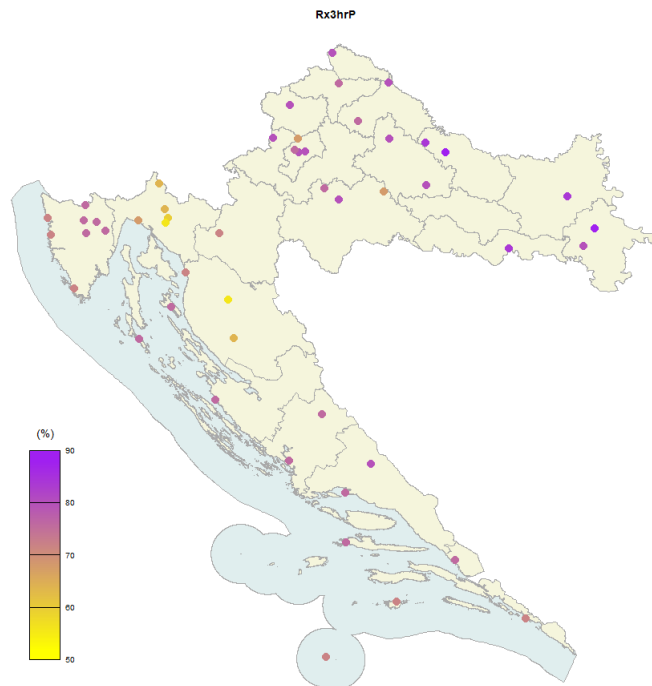
## Dodatak B



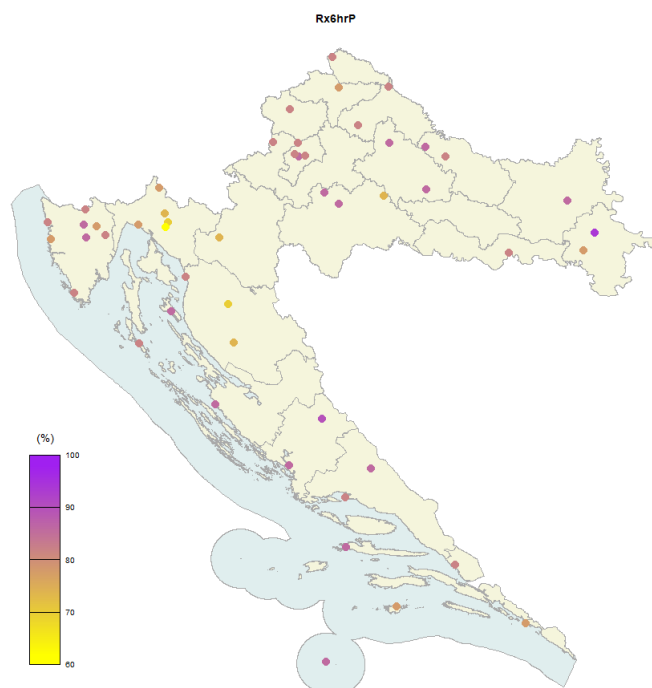
Slika B1. Godišnji srednjak 3-satnog maksimuma (Rx3hr) (lijevo) i maksimum 3-satne oborine (desno) u Hrvatskoj.



Slika B2. Godišnji srednjak 6-satnog maksimuma (Rx6hr) (lijevo) i maksimum 6-satne oborine (desno) u Hrvatskoj.

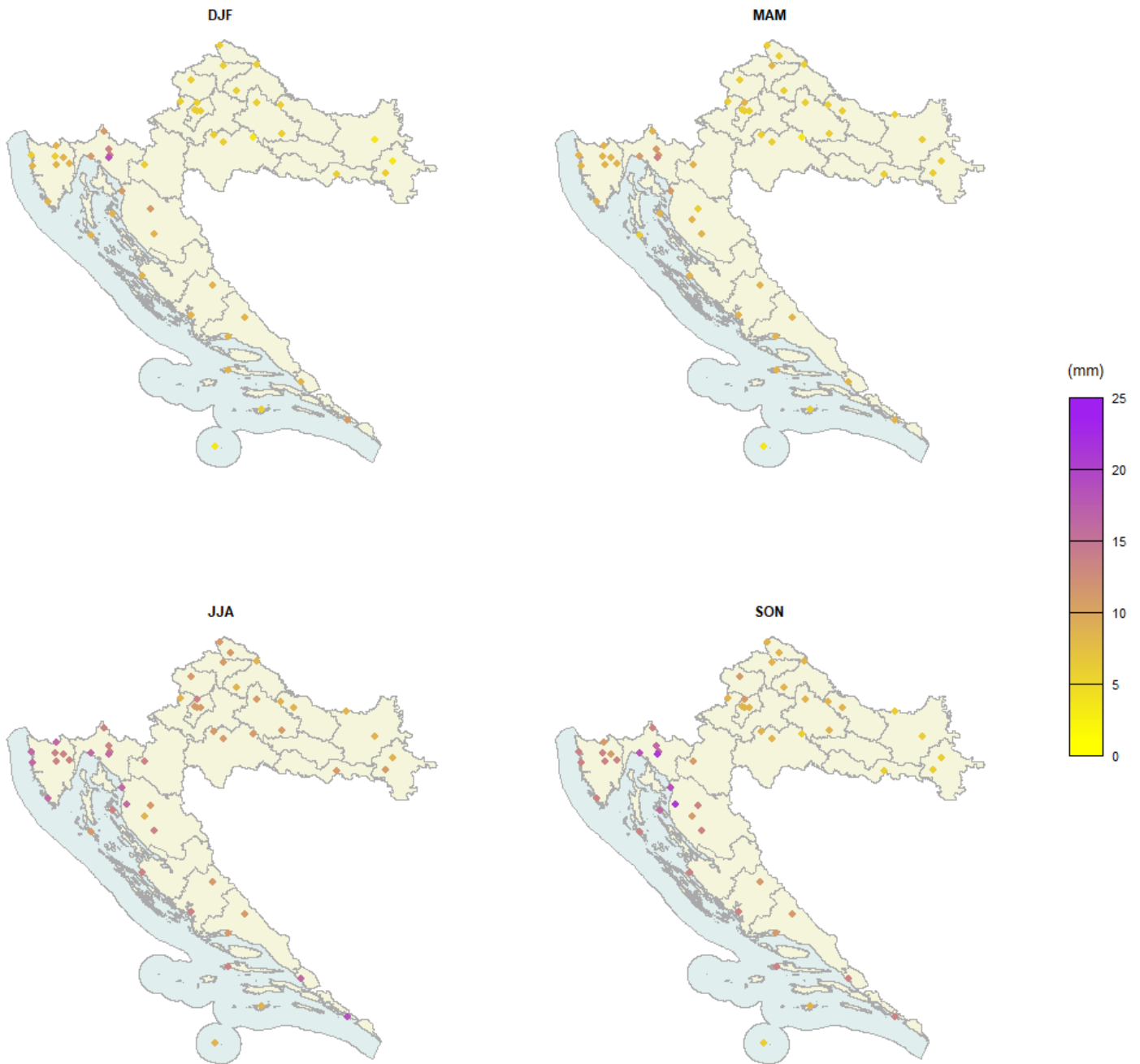


Slika B3. Srednji postotak doprinosa godišnjeg maksimuma 3-satne oborine ukupnoj dnevnoj količini oborine (Rx3hrP) u Hrvatskoj.



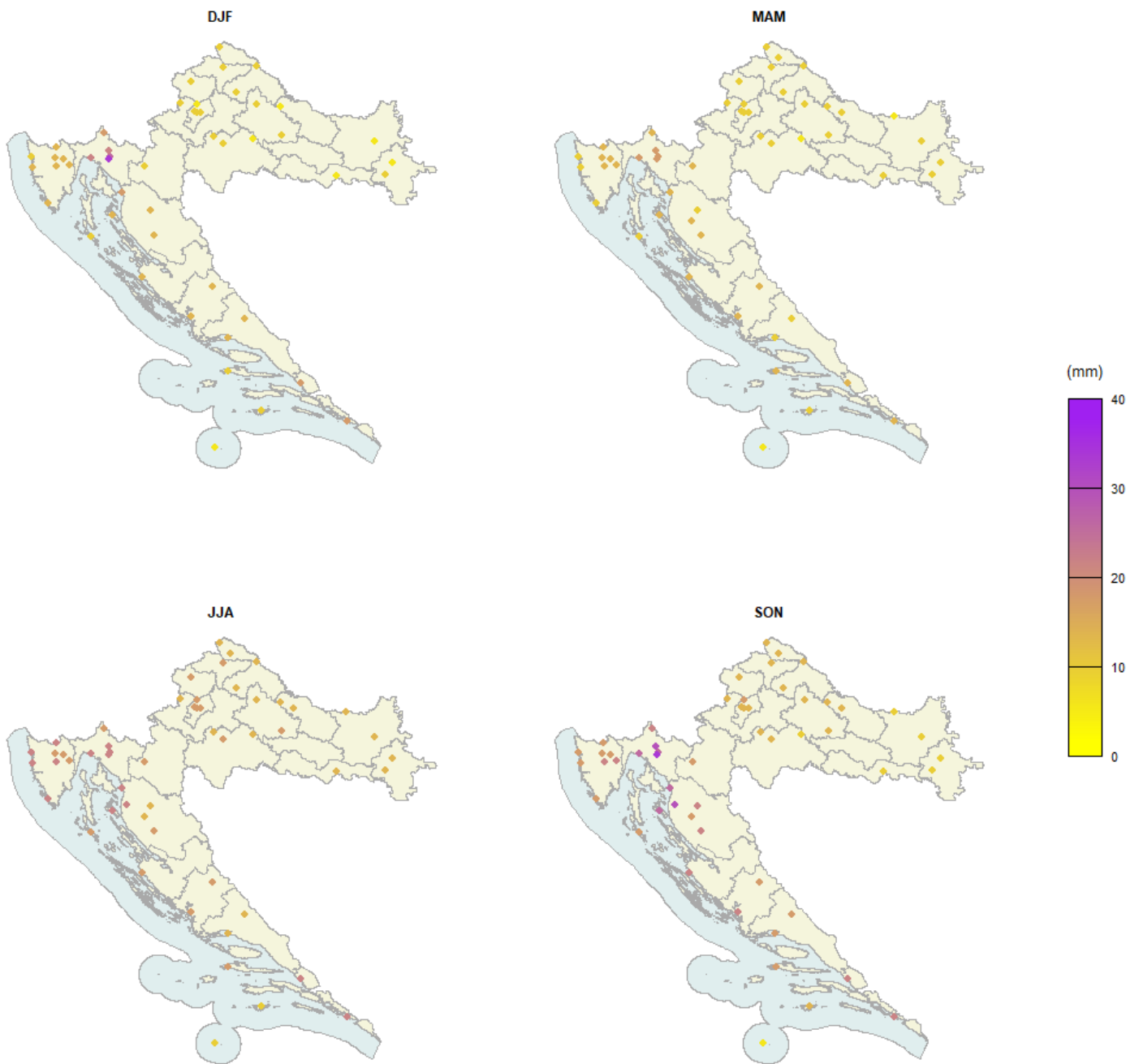
Slika B4. Srednji postotak doprinosa godišnjeg maksimuma 6-satne oborine ukupnoj dnevnoj količini oborine (Rx6hrP) u Hrvatskoj.

R95pw3hr

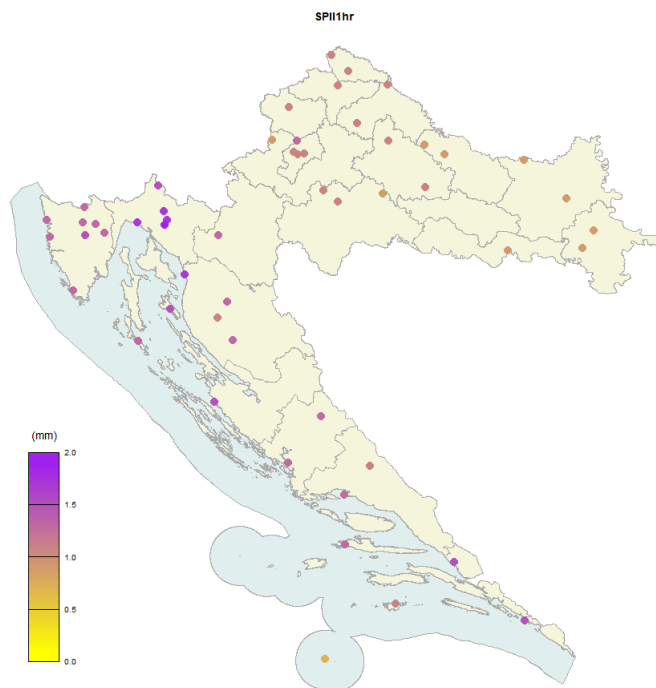


Slika B5. Sezonske vrijednosti 95. percentila kišnih sati za oborinu u trajanju od 3 sata (R95pw3hr) u Hrvatskoj.

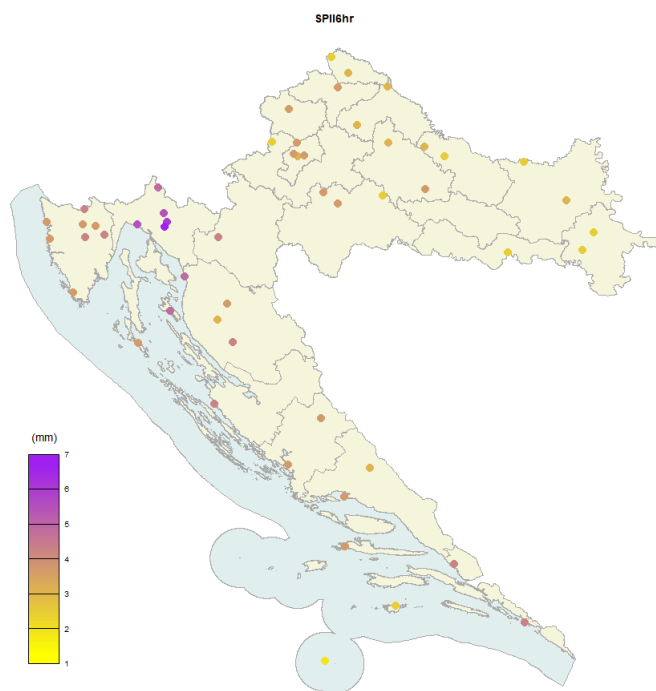
R95pw6hr



Slika B6. Sezonske vrijednosti 95. percentila kišnih sati za oborinu u trajanju od 6 sati (R95pw6hr) u Hrvatskoj.

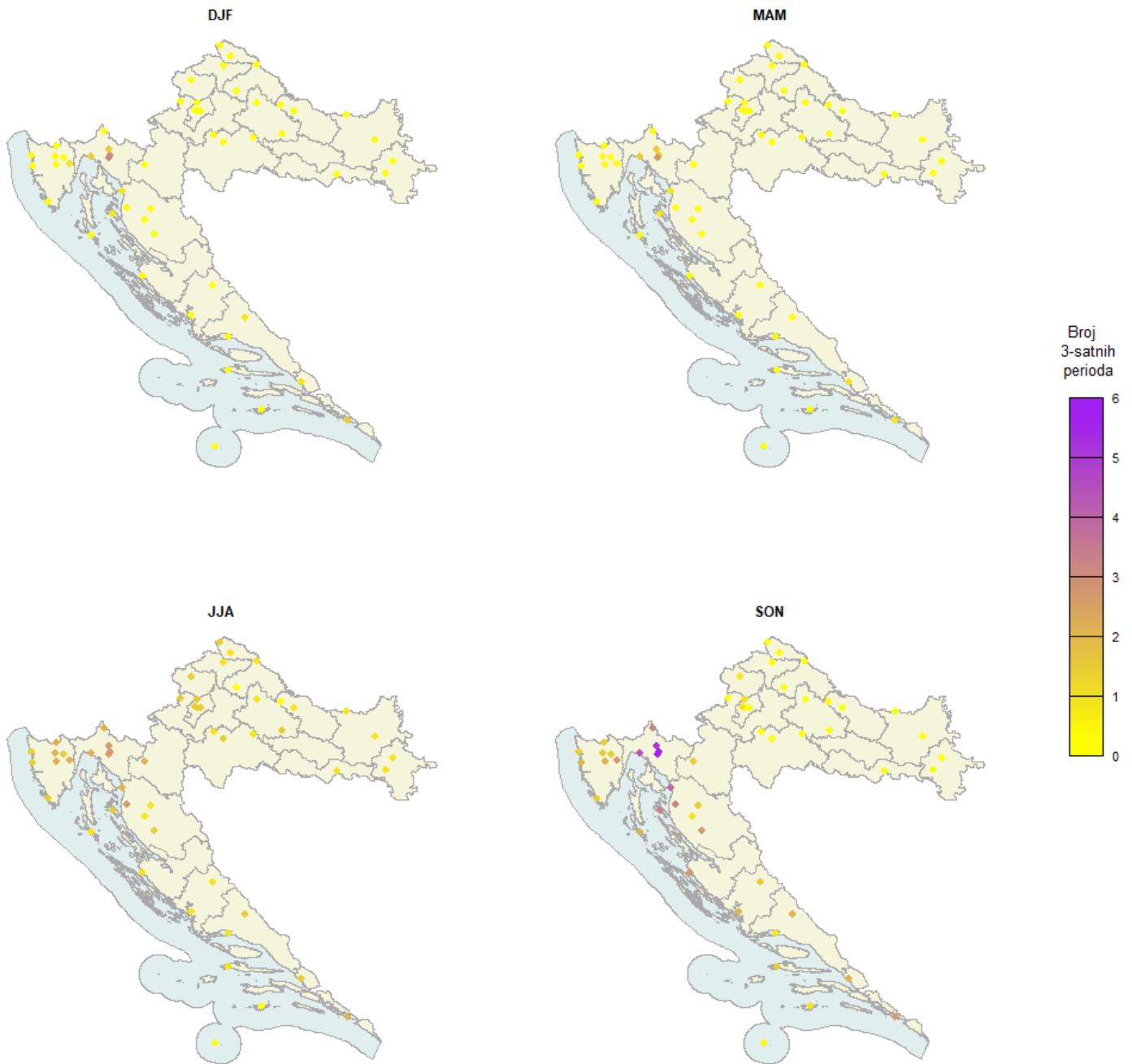


Slika B7. Srednji godišnji intenzitet oborine u trajanju od jednog sata (SPII1hr) u Hrvatskoj.



Slika B8. Srednji godišnji intenzitet oborine u trajanju od 6 sati (SPII6hr) u Hrvatskoj.

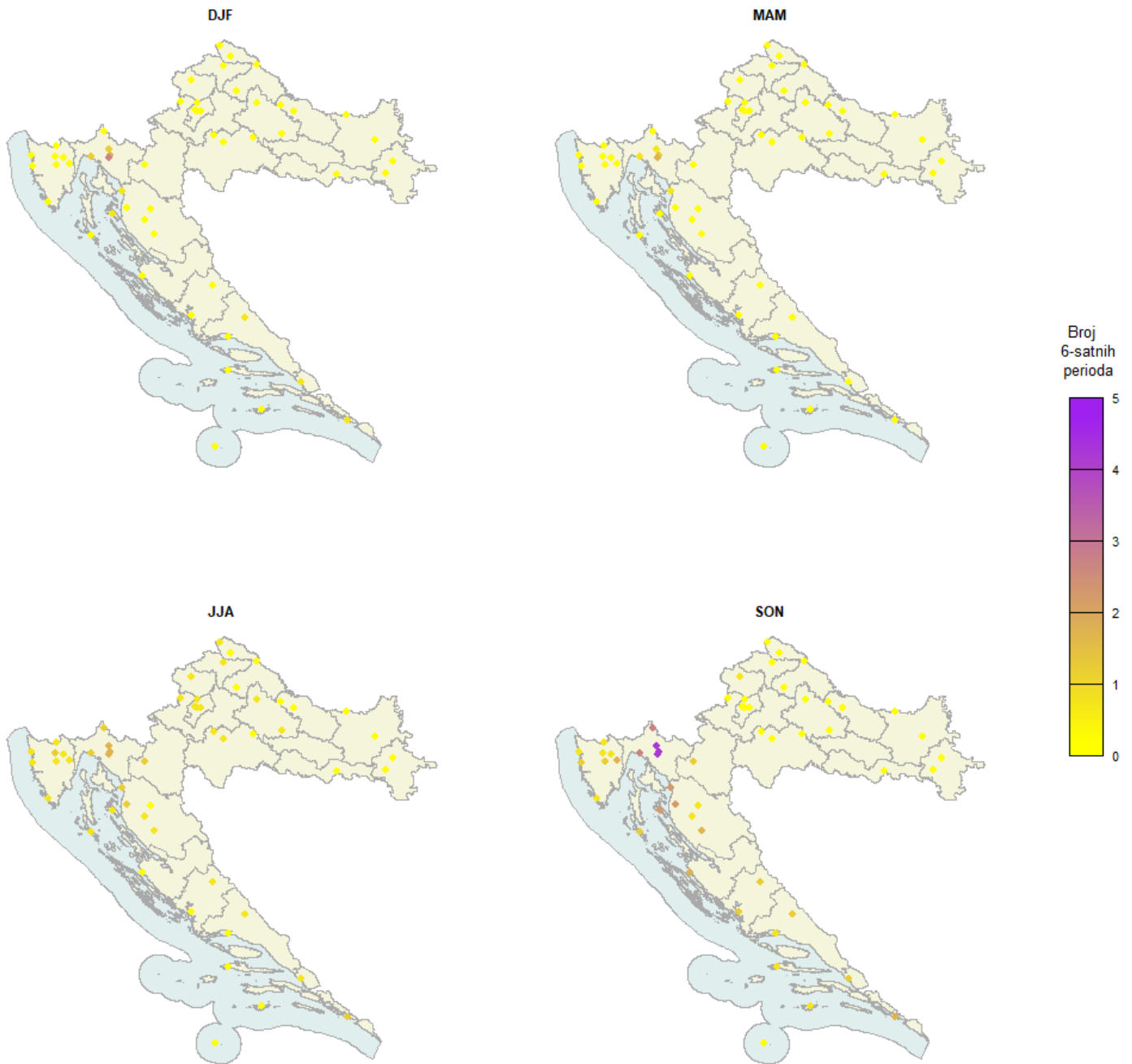
R3hr20mm



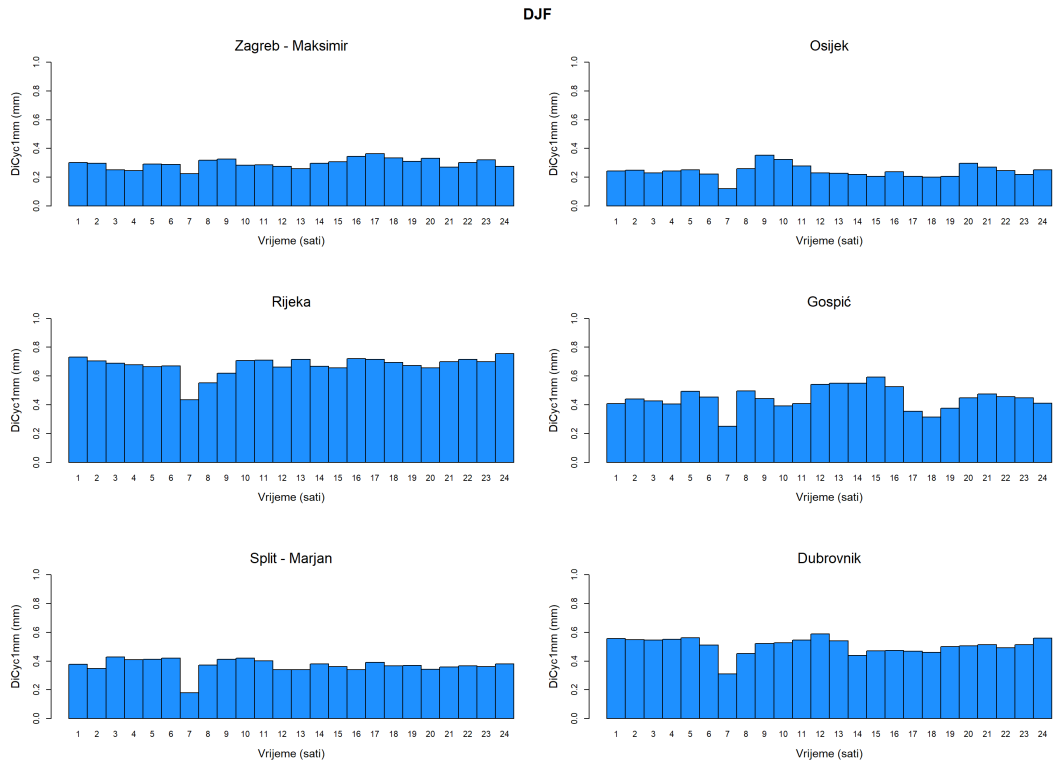
Slika B9. Srednji sezonski broj 3-satnih perioda s količinom oborine većom od 20 mm (R3hr20mm) u Hrvatskoj.



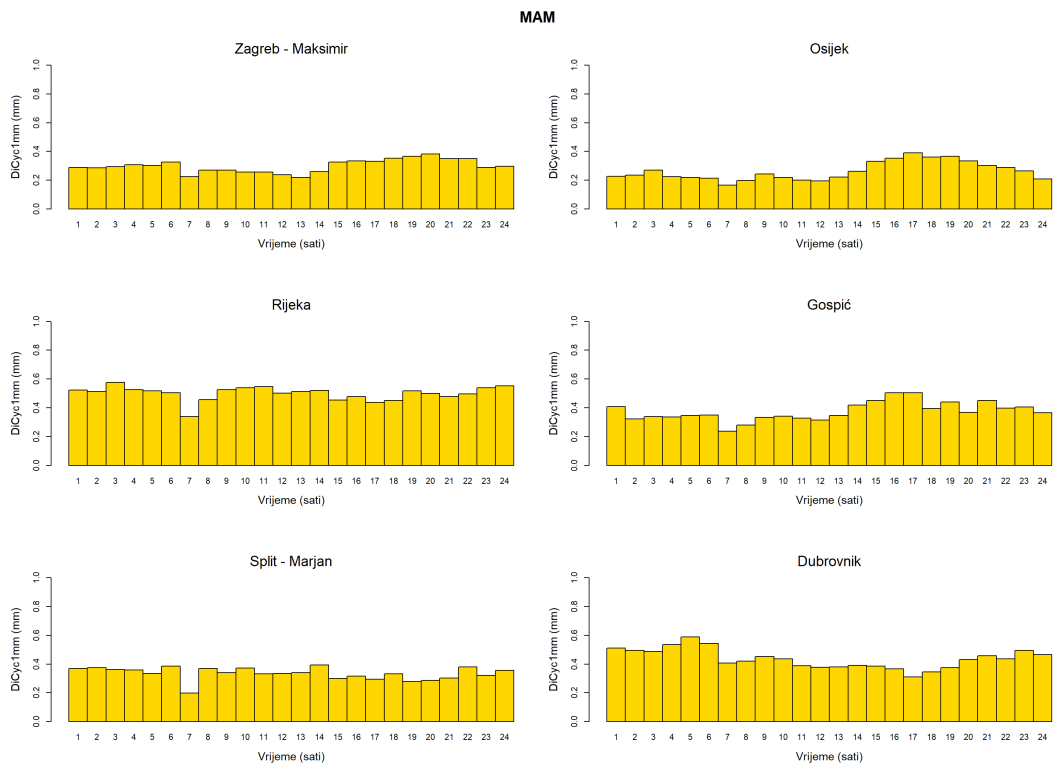
R6hr30mm



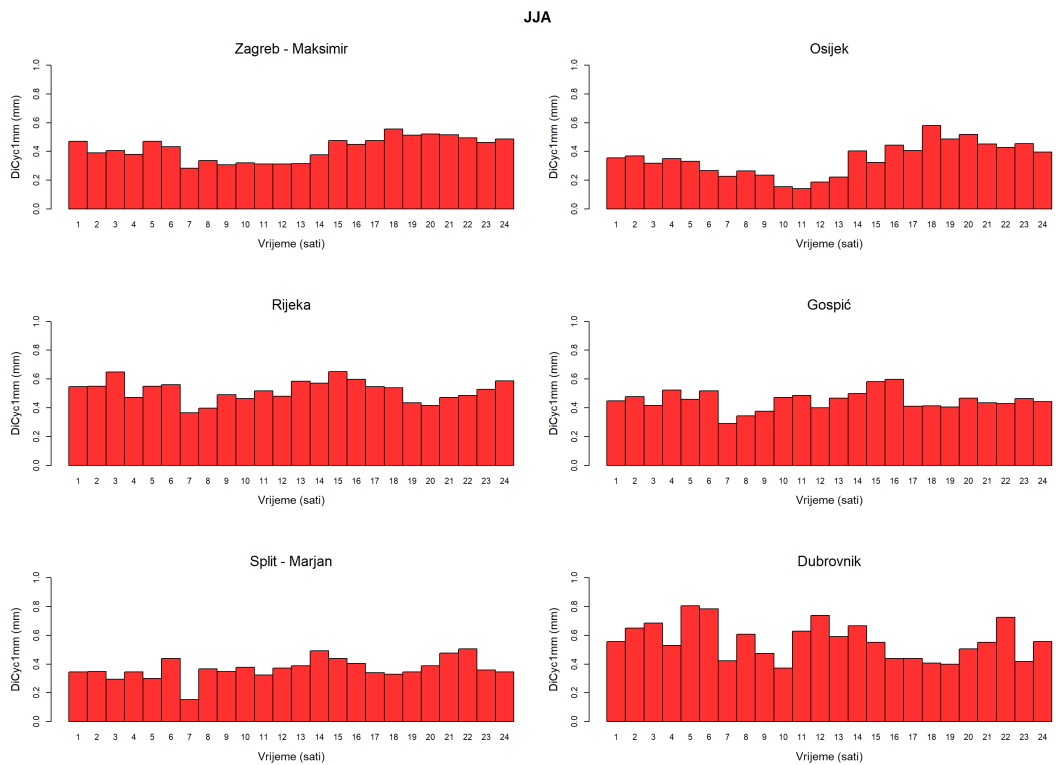
Slika B10. Srednji sezonski broj 6-satnih perioda s količinom oborine većom od 30 mm (R6hr30mm) u Hrvatskoj.



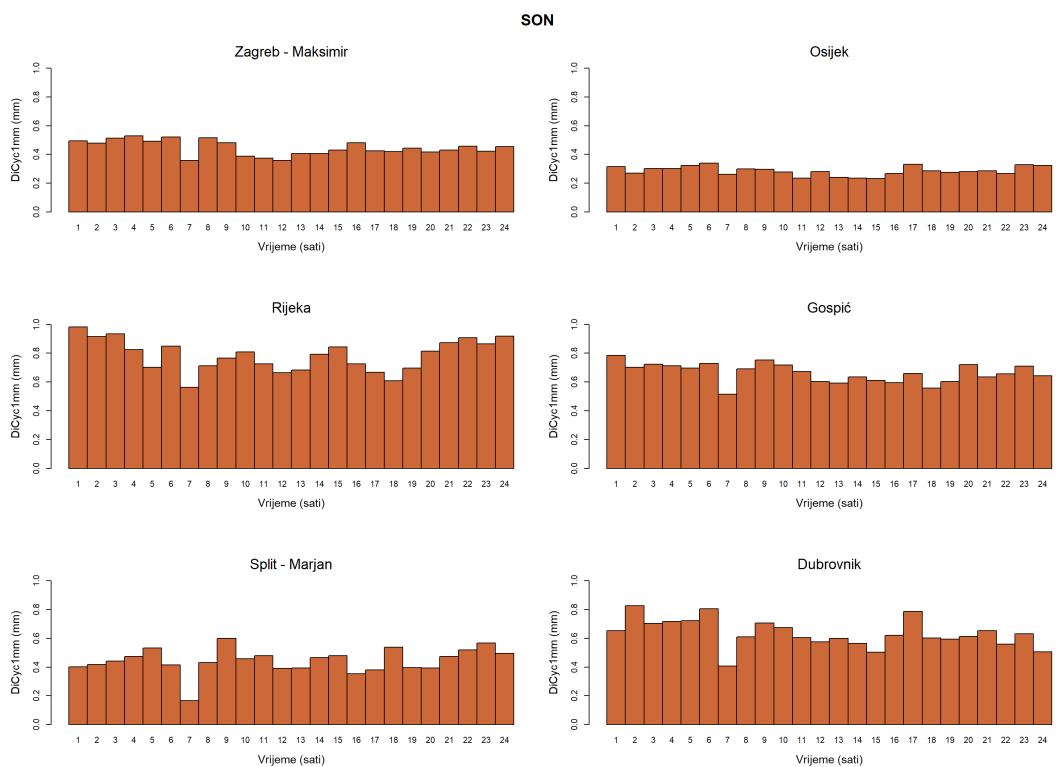
Slika B11. Dnevni hod oborine za kišne dane u zimskoj sezoni (DiCyc1mm) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



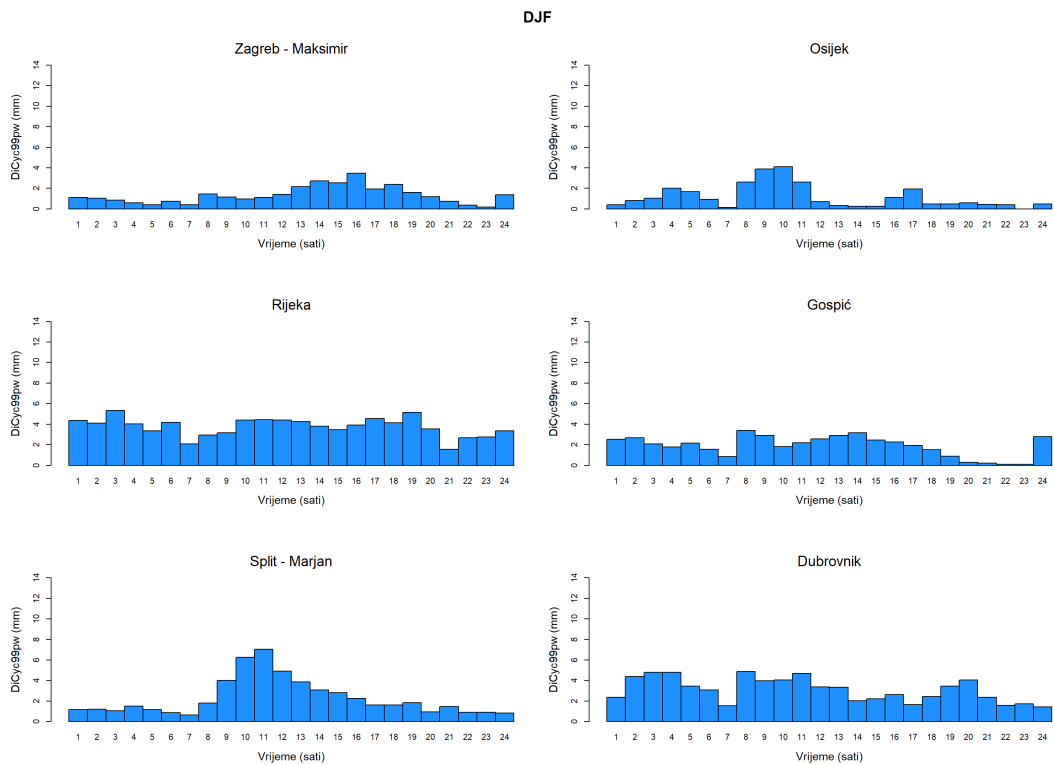
Slika B12. Dnevni hod oborine za kišne dane u proljetnoj sezoni (DiCyc1mm) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



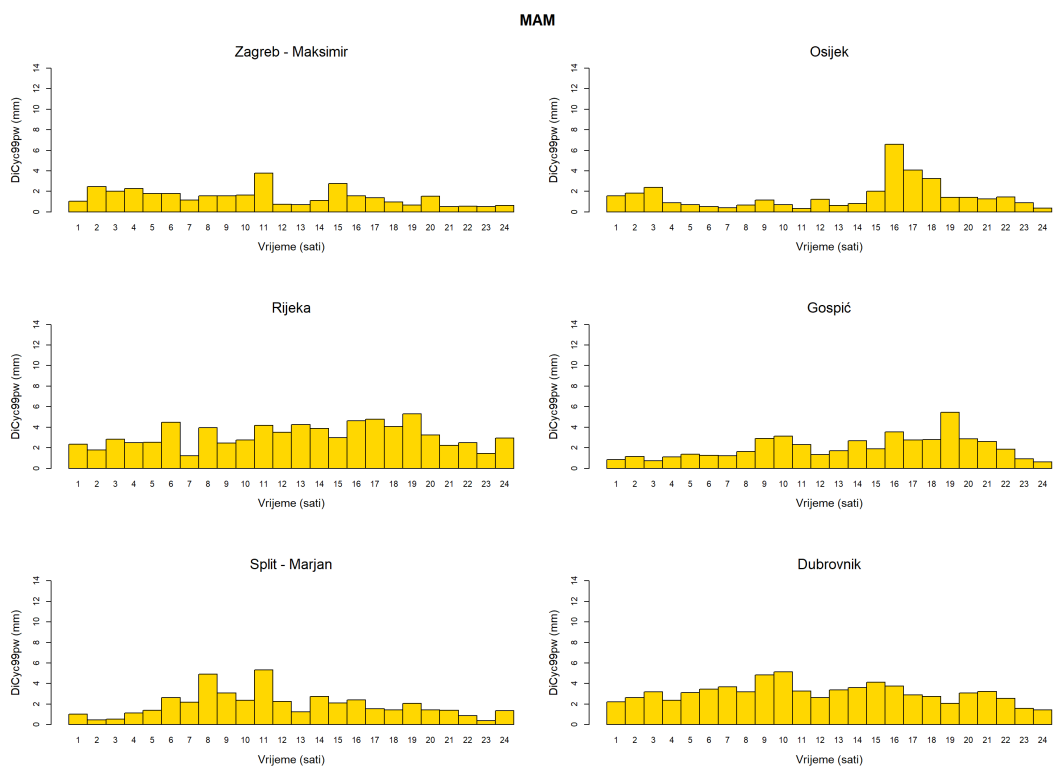
Slika B13. Dnevni hod oborine za kišne dane u ljetnoj sezoni (DiCyc1mm) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



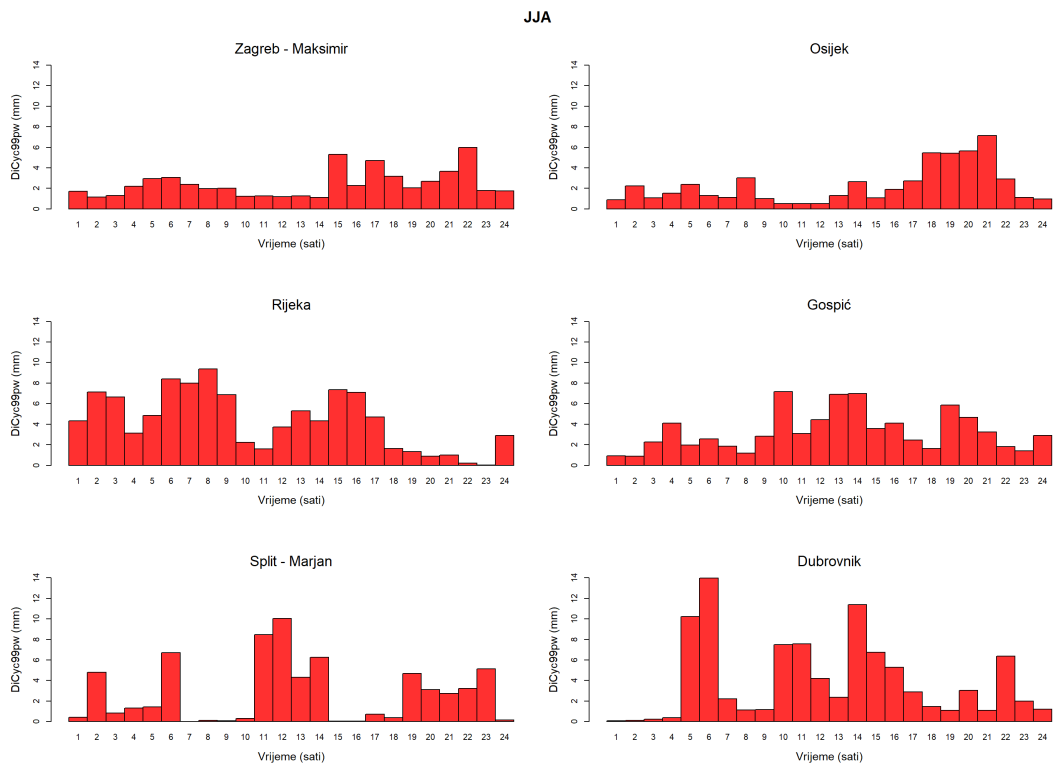
Slika B14. Dnevni hod oborine za kišne dane u jesenskoj sezoni (DiCyc1mm) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



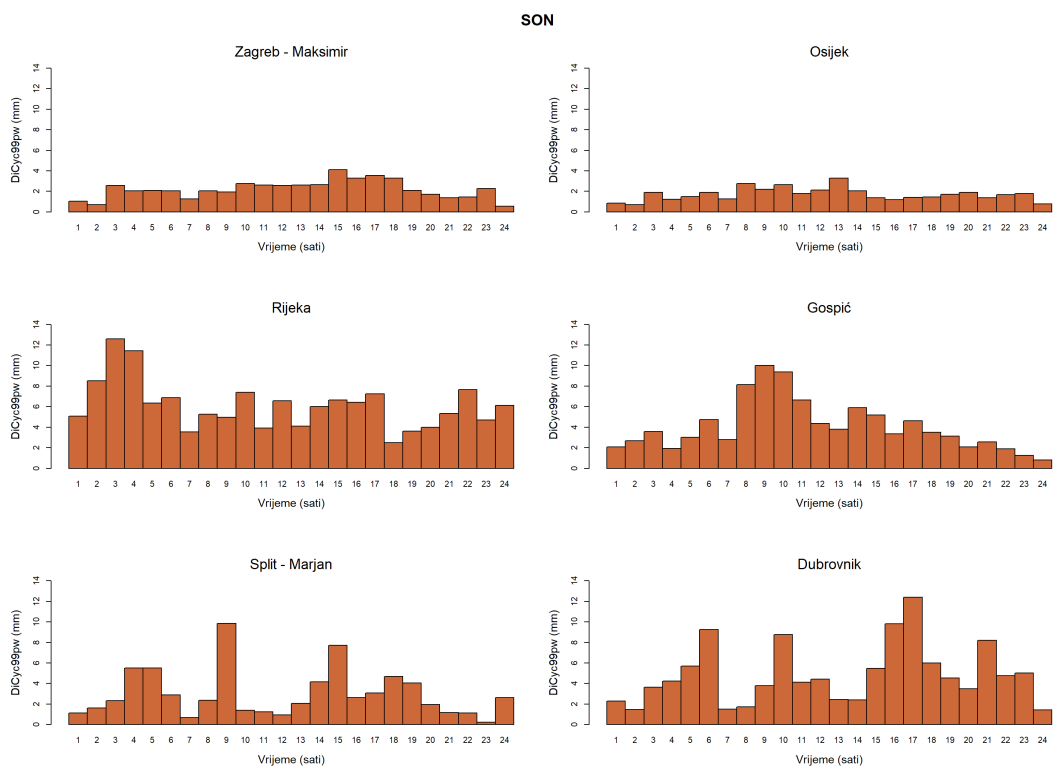
Slika B15. Dnevni hod oborine za kišne dane koji premašuju 99. percentil u zimskoj sezoni (DiCyc99pw) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



Slika B16. Dnevni hod oborine za kišne dane koji premašuju 99. percentil u proljetnoj sezoni (DiCyc99pw) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

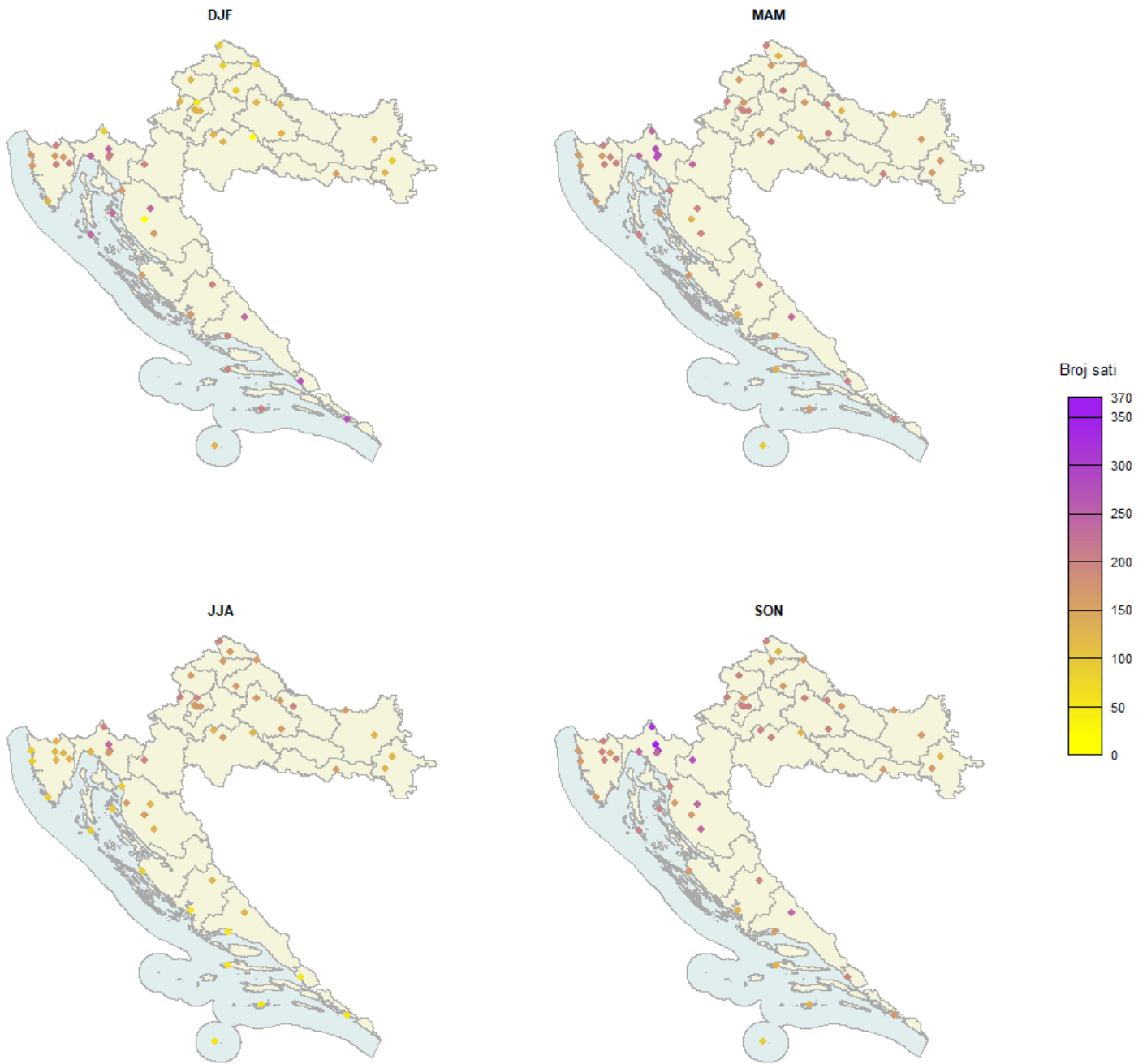


Slika B17. Dnevni hod oborine za kišne dane koji premašuju 99. percentil u ljetnoj sezoni (DiCyc99pw) na odabranim postajama u Hrvatskoj.



Slika B18. Dnevni hod oborine za kišne dane koji premašuju 99. percentil u jesenskoj sezoni (DiCyc99pw) na odabranim postajama u Hrvatskoj.

NWH



Slika B19. Srednji sezonski broj kišnih sati (NWH) u Hrvatskoj.