

Analiza temperature i toplinskih valova u Hrvatskoj u povijesnoj i budućoj klimi

Justić, Klara

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:217:685037>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Klara Justić

Analiza temperature i toplinskih valova u
Hrvatskoj u povijesnoj i budućoj klimi

Diplomski rad

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

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

Klara Justić

Diplomski rad

Analiza temperature i toplinskih valova u Hrvatskoj u povijesnoj i budućoj klimi

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

Suvoditelj diplomskog rada: dr. sc. Ivan Güttler

Zagreb, 2023.

Htjela bih se zahvaliti obitelji i prijateljima koji su me podržavali tijekom mog studiranja, pogotovo svojim roditeljima i bratu bez čije ogromne ljubavi, podrške i strpljenja ne bi dospjela gdje jesam u životu. Također bi se htjela zahvaliti svim profesoricama i profesorima koji su me usmjeravali i podučavali tijekom mojeg obrazovanja ne samo na fakultetu već i brojnim studentskim praksama i projektima. Posebno bih se zahvalila mentoru dr.sc. Zoranu Pasariću, sumentoru dr.sc. Ivan Güttleru te mr. sc. Lidiji Srnec na strpljivosti, ljubaznosti te brojnim korisnim savjetima pod čijim stručnim vodstvom je nastao ovaj diplomski rad.

Sažetak

U ovom radu analizirano je buduće stanje klime za 24 lokacije na području Hrvatske: Zagreb, Krapina, Sisak, Karlovac, Varaždin, Koprivnica, Bjelovar, Rijeka, Gospić, Virovitica, Požega, Slavonski Brod, Zadar, Osijek, Šibenik, Vukovar, Split, Pazin, Dubrovnik, Čakovec, Blato, Knin, Sinj i Zavižan. Napravljena je analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih dnevnih temperatura te klimatskih indeksa: broj ljetnih dana, broj uzastopnih ljetnih dana, trajanje toplinskog vala u odnosu na srednje trajanje dobiveno za referentno razdoblje i broj toplih dana određen prema 90. percentilu u referentnom razdoblju. U analizi su korištene simulacije dva regionalna klimatska modela RegCM4 i CLMcom-CCLM4-8-17 horizontalne rezolucije 12.5 km. Regionalni modeli forsirani su s 3 različita globalna klimatska modela, EC-EARTH, MPI-ESM i HadGEM2-ES, uz uvažavanje dva moguća scenarija buduće klime, RCP4.5 i RCP8.5. Temperature i indeksi su analizirani za razdoblje od 1971. do 2070. Modelirane srednje temperature u povijesnom razdoblju (1971. – 2000.) su uspoređene s odgovarajućim srednjacima istog niza dobivenog iz mjerenih podataka na postajama DHMZ-a. Uočen je značajan porast srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura u svim korištenim kombinacijama regionalnih i globalnih klimatskih modela za sve promatrane lokacije, a veći porast dobiven je za RCP8.5 nego za RCP4.5. Iako se čini da je dobivena stopa porasta temperatura generalno veća za priobalne lokacije nego za kontinentalne, odnosno za južnije više nego za sjevernije, RegCM4 model naginje predviđanju viših stopa porasta temperatura za kontinentalne lokacije, npr. za Čakovec i Koprivnicu. RegCM4 model predviđa da će Čakovec, Varaždin i Koprivnica imati najveću stopu porasta srednjih i maksimalnih, a Bjelovar, Koprivnica i Pazin imati najveće stope porasta minimalnih dnevnih temperatura. CLMcom-CCLM4-8-17 pokazuje da će najveću stopu porasta srednjih i maksimalnih temperatura imati Rijeka i Split za RCP8.5 odnosno Rijeka i Pazin za RCP4.5, a najveću stopu porasta minimalne temperature imati Karlovac i Zagreb za RCP8.5 odnosno Pazin i Rijeka za RCP4.5.

Na svim se promatranim lokacijama vidi značajan linearni rast svih indeksa. Veći broj dana s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25°C, u svim kombinacijama modela, uočava se na maritimnim postajama, a najveći je u Blatu i Zadru. Slični rezultati dobiveni su i za broj uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka

iznad 25°C gdje su pak u prosjeku Blato, Zadar i Šibenik imali najveći porast. Najveći porast toplih dana s obzirom na 90. percentil referentnog razdoblja imaju Blato i Zadar, dok najveći porast trajanja toplinskog vala u odnosu na srednju vrijednost referentnog razdoblja (ref. razdoblje 1971. – 2000.) imaju Split i Sinj za model CLMcom-CCLM4-8-17, a Gospić i Karlovac za RegCM4. Iako je analiza provedena za 24 lokacije diljem Hrvatske, radi sažetijeg prikaza u ovome radu detaljnije se prikazuju samo rezultati za Zagreb i Dubrovnik.

Ključne riječi: klimatski indeksi, projekcije regionalnih klimatskih modela, analiza trenda, klima u budućnosti, Hrvatska, klimatske promjene

Analysis of temperature and heat waves in Croatia in historical and future climate

Abstract

In this paper, the future state of the climate was analyzed for 24 locations in Croatia: Zagreb, Krapina, Sisak, Karlovac, Varaždin, Koprivnica, Bjelovar, Rijeka, Gospić, Virovitica, Požega, Slavonski Brod, Zadar, Osijek, Šibenik, Vukovar, Split, Pazin, Dubrovnik, Čakovec, Blato, Knin, Sinj and Zavižan. Mean, maximum and minimum daily temperatures were analysed together with climate indices: number of summer days, number of consecutive summer days, heat wave duration compared to the average duration obtained for the reference period and number of hot days determined according to the 90th percentile in the reference period. Simulations of two regional climate models RegCM4 and CLMcom-CCLM4-8-17 with a horizontal resolution of 12.5 km were used in the analysis. The regional models were forced with 3 different global climate models, EC-EARTH, MPI-ESM and HadGEM2-ES, considering two possible future climate scenarios, RCP4.5 and RCP8.5. Temperatures and indices were analyzed for the period from 1971. to 2070. Mean temperatures in the historical period of modeled data (1971. – 2000.) were compared with corresponding averages of the same series obtained from measured data at DHMZ stations. A significant increase in mean, maximum and minimum temperatures was observed in all considered combinations of regional and global climate models for all observed locations, and a greater increase was observed for RCP8.5 compared to RCP4.5. Although it seems that the obtained rate of temperature increase is generally higher for coastal locations than continental ones, i.e. more for southern than for northern ones, the RegCM4 model tends to predict higher rates of temperature increase for continental locations, e.g. for Čakovec and Koprivnica. The RegCM4 model predicts that Čakovec, Varaždin and Koprivnica will have the highest rate of increase in mean and maximum, and Bjelovar, Koprivnica and Pazin will have the highest rates of increase in minimum daily temperatures. The CLMcom-CCLM4-8-17 model shows that Rijeka and Split will have the highest rate of increase in mean and maximum temperatures for RCP8.5 and Rijeka and Pazin for RCP4.5. Karlovac and Zagreb will have highest rate of

minimum temperature increase for RCP8.5 and Pazin and Rijeka for RCP4.5.

In all observed locations, a significant linear growth of all indices can be seen. A greater number of days with a maximum air temperature above 25°C, in all model combinations, is observed at maritime stations, and the highest one is in Blato and Zadar. Similar results were obtained for the number of consecutive days with a maximum air temperature above 25°C, where, on average, Blato, Zadar and Šibenik had the largest increase. Blato and Zadar have the largest increase in warm days with regard to the 90th percentile of the reference period, while Split and Sinj have the largest increase in the duration of the heat wave in relation to the mean value of the reference period (ref. period 1971. – 2000.) for the CLMcom-CCLM4-8-17 model, and Gospić and Karlovac for RegCM4. Although the analysis was conducted for 24 locations throughout Croatia, for the sake of a more concise presentation, only the results for Zagreb and Dubrovnik are presented in more detail.

Keywords: climate indices, projections of regional climate models, trend analysis, climate in the future, Croatia, climate change

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Teorijska pozadina	1
1.2. Dosadašnja istraživanja	7
1.3. Motivacija i cilj istraživanja	10
2. Podaci i metode	12
2.1. Projekcije klime	12
2.2. Klimatski indeksi	13
2.3. Statistički parametri	14
3. Rezultati i diskusija	17
3.1. Srednja dnevna temperatura	18
3.2. Maksimalna dnevna temperatura	22
3.3. Minimalna dnevna temperatura	26
3.4. Broj ljetnih dana po vremenskom razdoblju	29
3.5. Broj uzastopnih ljetnih dana	33
3.6. Broj toplih dana određen prema 90. percentilu u referentnom razdoblju	37
3.7. Trajanje toplinskog vala u odnosu na srednje trajanje dobiveno za refe-	
rentno razdoblje	41
3.8. Trendovi	45
4. Zaključak	54
Literatura	57
Popis kratica	61
Dodatak A	64
Dodatak B	67
Dodatak C	70

1. Uvod

1.1. Teorijska pozadina

Vrijeme je opće stanje atmosfere u određeno vrijeme i na određenom mjestu, s obzirom na temperaturu, vlagu, naoblaku i ostale atmosferske veličine. Mjerenjem klimatskih elemenata i promatranjem vremena na određenom području u duljem vremenskom razdoblju možemo ustanoviti klimu. Klima nekog područja opisuje se kao dugoročni obrazac vremena od minimalno 30 godina na tom području.

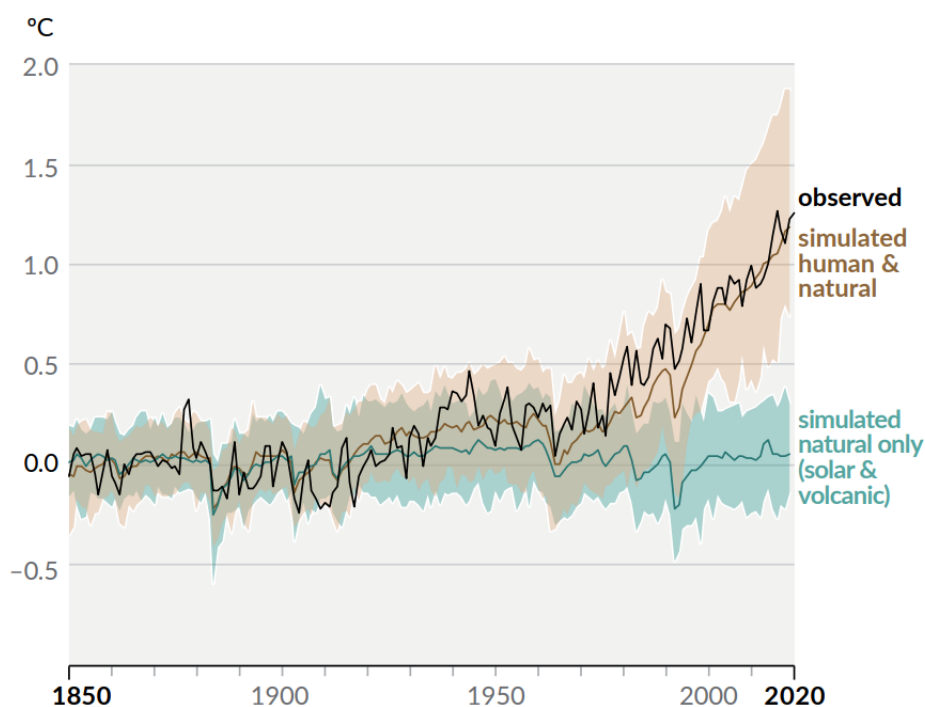
Zemljina energetska bilanca predstavlja ravnotežu između energije koju Zemlja prima od Sunca i energije koju Zemlja gubi natrag u svemir. Manji izvori energije, kao što je unutarnja toplina Zemlje, uzeti su u obzir, ali daju mali doprinos u usporedbi sa sunčevom energijom. Utjecaj sunčevog zračenja na klimu Zemlje jako ovisi o kutu upada, odnosno geografskoj širini. Budući da Sunce grije ekvatorijalne tropske krajeve više nego polarne regije, primljeno sunčevo zračenje je neravnomjerno raspoređeno. U pokušaju uspostavljanja ravnoteže diljem planeta, energija dozračenog zračenja pokreće interakcije u Zemljinom klimatskom sustavu. Zemljina bilanca energije ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su atmosferski aerosoli, staklenički plinovi, albedo površine planeta (reflektivnost), oblaci, vegetacija i još mnogo toga.

Osim prostorno, klima Zemlje varira i u vremenu. Klimatske promjene odnose se na dugoročne promjene u meteorološkim elementima i vremenskim obrascima. Ove promjene mogu biti prirodne, kao što su promjene uslijed varijacija u dolaznom sunčevom zračenju. Uslijed industrijske revolucije, ljudske su aktivnosti postale glavni pokretač aktualnih klimatskih promjena, prvenstveno zbog povećanih emisija i porasta koncentracija stakleničkih plinova uslijed izgaranja fosilnih goriva ugljena, nafte i plina. IPCC-ovo¹ šesto izvješće o procjeni (AR6) pokazalo je da su emisije stakleničkih plinova uzrokovane ljudskim aktivnostima odgovorne za otprilike 1,1°C zagrijavanja od 1850. – 1900. godine do danas (slika 1.1) i otkriva da se u prosjeku tijekom sljedećih 20 godina očekuje da će globalna temperatura dosegnuti ili premašiti 1,5°C zagrijavanja (IPCC, 2021).

Varijabilnost klime definira se kao varijacije klime na svim vremenskim i prostornim skalama, izvan pojedinačnih vremenskih događaja. Varijabilnost je uglavnom

¹Intergovernmental Panel on Climate Change, www.ipcc.ch

posljedica prirodnih unutarnjih procesa unutar klimatskog sustava (kaotični procesi u klimatskom sustavu i nelinearne interakcije između njegovih komponenti) ili varijacije u prirodnim ili antropogenim vanjskim čimbenicima (npr. solarna varijabilnost, orbitalne varijacije ili vulkanske erupcije, antropogeni utjecaji). Ako se uoči konzistentan niz anomalnih događaja - s obzirom na kontekst širih promjena regionalnih klimatskih parametara - može se sugerirati klimatska promjena izazvana čovjekom (Benestad i sur., 2021).



Slika 1.1. Promjene godišnje globalne površinske temperature u proteklih 170 godina (crna linija) prikazane u odnosu na 1850.–1900., u usporedbi sa simulacijama temperaturnog odgovora na ljudske i prirodne pokretače (smeđa) i samo prirodne pokretače (solarna i vulkanska aktivnost, zelena) klimatskih modela 6. faze Projekta međusobne usporedbe združenih modela (CMIP6). Linije (smeđa i zelena) pokazuju prosjek više modela, a osjenčana područja pokazuju vrlo vjerojatan raspon simulacija. (Preuzeto iz IPCC, 2021)

Kada govorimo o klimatskim promjenama često mislimo na globalno zagrijavanje i njegove učinke na Zemljin klimatski sustav. Globalno zagrijavanje je dugoročan porast temperature planeta. Iako ovaj trend zagrijavanja traje već duže vrijeme, njegov tempo se značajno povećao u posljednjih sto godina zbog pojačavanja efekta staklenika. To je proces u kojem se staklenički plinovi ponašaju poput pokrivača omotanog oko Zemlje, zadržavajući dugovalno zračenje Zemlje i podižući temperaturu planeta. Neki od najznačajnijih stakleničkih plinova su vodena para (H_2O) i ugljikov dioksid (CO_2). Osim njih vrijedno je spomenuti metan (CH_4), dušikov oksid (N_2O) i ozon (O_3). Sve učesta-

lijim gorenjem fosilnih goriva u atmosferu se otpušta sve više ugljikovog dioksida. To pojačava efekt staklenika koji onda, zadržavajući sve više topline, dovodi do sve većeg zagrijavanja planeta.

Uz porast temperature kao najočitiju posljedicu klimatskih promjena, sve su učestalije pojave duljih razdoblja s vrlo visokim temperaturama zraka. Toplinski val je razdoblje dugotrajnih neuobičajeno visokih temperatura zraka u odnosu na one koje se uobičajeno očekuju na nekom području. Toplinski valovi mogu trajati od nekoliko dana do nekoliko tjedana i imaju negativan učinak na zdravlje te su značajni uzročnici smrti, podjednako pogađajući razvijene zemlje i zemlje u razvoju. Utjecaj ekstremnih ljetnih vrućina na ljudsko zdravlje može se pogoršati povećanjem vlažnosti. Toplinski valovi obično se javljaju u sinoptičkim situacijama s izraženim sporim razvojem zračnih masa i kretanja, što dovodi do intenzivnog i dugotrajnog toplinskog stresa. Međutim, čak i kratka ili umjerena epizoda povišene temperature nepovoljno utječe na ljudsko zdravlje (Koppe i sur., 2004).

Efekti klimatskih promjena posebno se primjećuju u urbanim sredinama, uz visoke temperature, češće pojave suše, poplave i toplinskih valova. Efekt urbanog toplinskog otoka (UHI) fenomen je nastajanja viših temperatura unutar lokalnog urbanog okruženja nego u okolnim ruralnim sredinama. Do tog efekta dolazi jer su urbana okruženja uglavnom okarakterizirana prostorima s malo vegetacije među visokim zgradama i prometnim infrastrukturnama (Wong i sur., 2016).

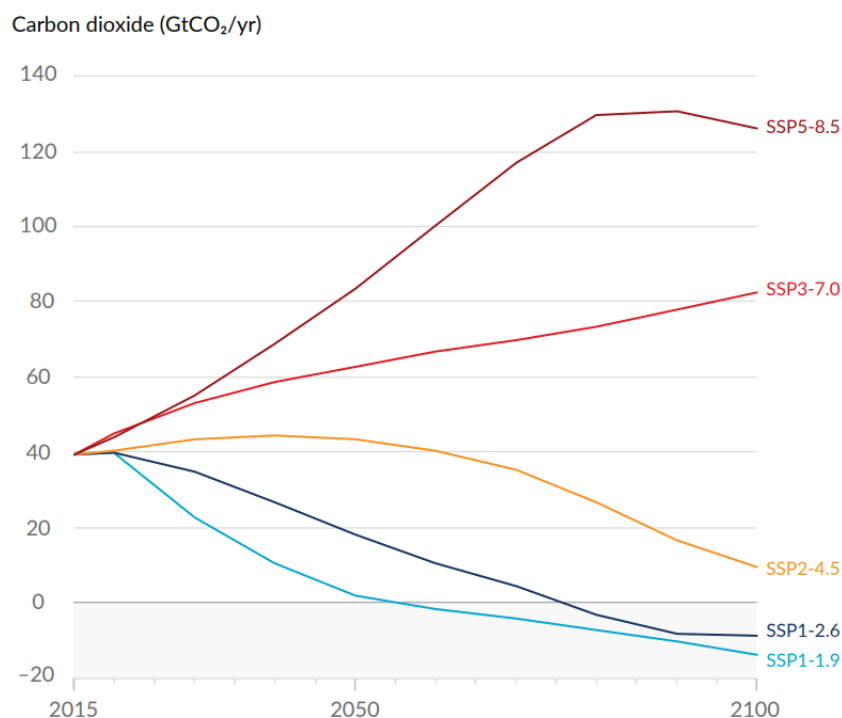
Kako bi se pripremili na moguće promjene u klimi nastale uslijed globalnog zatopljenja i stvorili sliku stanja klime u budućnosti te napravili odgovarajuće prilagodbe koristimo klimatske modele (Dessai i sur., 2005). Pomoću njih se dobivaju numeričke simulacije buduće klime za razne klimatske scenarije. Scenariji klimatskih promjena ili socioekonomski scenariji su projekcije budućih emisija stakleničkih plinova koje analitičari koriste za procjenu buduće osjetljivosti na klimatske promjene.

Reprezentativni putovi koncentracije (RCP) su scenariji koji uključuju vremenske nizove emisija i koncentracija cjelokupnog skupa stakleničkih plinova (GHG), aerosola i kemijski aktivnih plinova, kao i korištenje zemljišta (Moss i sur., 2008). Koriste se u procesu modeliranja mogućih budućih razvoja klime. RCP specificiraju koncentracije stakleničkih plinova koje će rezultirati povećanjem ukupnog utjecaja zračenja za ciljani iznos do 2100., u odnosu na predindustrijske razine. Ukupno zračenje je razlika između

ulaznog i izlaznog zračenja na vrhu atmosfere. Radijacijski ciljevi za 2100. su bili postavljeni na 2.6, 4.5, 6.0 i 8.5 vata po četvornom metru (W/m^2) kako bi se obuhvatio širok raspon mogućih budućih scenarija emisija i ti ciljevi uključeni su u nazive RCP-ova; RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 i RCP8.5. Svaki put rezultira različitim rasponom povećanja globalne srednje temperature 21. stoljeća (Met Office, 2018).

Kako RCP-ovi samo opisuju različite razine stakleničkih plinova i drugih utjecaja zračenja koji bi se mogli pojaviti u budućnosti, bilo je potrebno razviti modele koji gledaju i kako se socioekonomski čimbenici mogu promijeniti tijekom sljedećeg stoljeća. To uključuje elemente kao što su stanovništvo, ekonomski rast, obrazovanje, urbanizacija i stopa tehnološkog razvoja. Ovi "Zajednički socioekonomski putovi" (SSP) razmatraju pet različitih načina kako bi se svijet mogao razvijati u nedostatku klimatske politike i kako bi se mogle postići različite razine ublažavanja klimatskih promjena kada se ciljevi ublažavanja RCP-ova kombiniraju sa SSP-ovima. SSP-ovi se temelje na pet scenarija koji opisuju široke socioekonomske trendove koji bi mogli oblikovati buduće društvo. Namjera im je obuhvatiti niz vjerojatnih budućnosti.

Oni uključuju: svijet rasta usmjerenog na održivost i jednakost (SSP1); svijet "na sredini puta" u kojem trendovi uglavnom slijede svoje povijesne obrasce (SSP2); fragmentirani svijet "ponovnog nacionalizma" (SSP3); svijet sve veće nejednakosti (SSP4); i svijet brzog i neograničenog rasta ekonomske proizvodnje i korištenja energije (SSP5) (Harrison i sur., 2021). Ispitano je kako bi se različite razine klimatskog ublažavanja i prilagodbe uklopile u budućnost koju opisuje svaki SSP. Ispitani ciljevi ublažavanja definirani su razinama utjecaja zračenja (u vatima po kvadratnom metru) analognim RCP-ovima (slika 1.2.). Promjene globalne površinske temperature, procijenjene na temelju više linija dokaza, za odabrana 20-godišnja vremenska razdoblja i pet razmatranih scenarija zajedničkih društveno-ekonomskih putova (SSP) prikazane su u tablici 1.1.



Slika 1.2. Buduće godišnje emisije CO₂. (Preuzeto iz IPCC, 2021)

Tablica 1.1. Procjene promjene temperature prema pojedinom SSP scenariju. (Preuzeto iz IPCC, 2021)

Scenarij	Kratkoročno, 2021-2040		Srednjeročno, 2041-2060		Dugoročno, 2081 – 2100	
	Najbolja procjena (°C)	Najvjerojatnije (°C)	Najbolja procjena (°C)	Najvjerojatnije (°C)	Najbolja procjena (°C)	Najvjerojatnije (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 do 1.7	1.6	1.2 do 2.0	1.4	1.0 do 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 do 1.8	1.7	1.3 do 2.2	1.8	2.3 do 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 do 1.8	2.0	1.6 do 2.5	2.7	2.1 do 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 do 1.8	2.1	1.7 do 2.6	3.6	2.8 do 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 do 1.9	2.4	1.9 do 3.0	4.4	3.3 do 5.7

Objavom SSP-ova znanstvenici su definirali dodatne ciljeve ublažavanja koji mogu ublažiti porast globalne temperature zraka, odnosno nove RCP-ove: RCP1.9, RCP3.4 i planiraju dodati RCP7.0. RCP1.9 novi je reprezentativni put koncentracije koji pokušava ostvariti cilj Pariškog sporazuma, odnosno ograničiti zagrijavanje na ispod 1.5°C. RCP3.4 predstavlja srednji put između "strogog" RCP2.6 i manje strogih nastojanja za ublažavanje povezanih s RCP4.5. Također se istražuje varijanta RCP3.4 gdje prisile "značajno premašuju" cilj sredinom stoljeća i onda se spuštaju natrag do 2100. korištenjem velikih količina negativnih emisija kasnije u stoljeću. Naposljetku, RCP7.0 predstavljat će srednji do visoki kraj raspona budućih emisija i zagrijavanja te se smatra više osnovnim ishodom, a ne ciljem ublažavanja. On može pružiti uvjerljivu alternativu ili nadopunu uobičajeno korištenom RCP8.5, takozvanom scenariju „uobičajenog poslovanja” za studije koje ga uspoređuju sa scenarijima ublažavanja (Harrison i sur.,

2021).

Ovaj rad fokusirao se na rezultate RCP projekcija 4.5 i 8.5. Međuvladin panel za klimatske promjene (IPCC) opisuje RCP4.5 kao umjereni scenarij u kojem emisije dosežu vrhunac oko 2040. godine, a potom opadaju. RCP8.5 najveći je osnovni scenarij emisija u kojem emisije nastavljaju rasti tijekom dvadeset prvog stoljeća

Numerički klimatski modeli koriste kvantitativne metode za simulaciju međudjelovanja važnih pokretača klime, uključujući atmosferu, oceane, kopnenu površinu i led. Koriste se u razne svrhe od proučavanja dinamike klimatskog sustava do projekcija buduće klime (IPCC, 2014).

Modeli opće cirkulacije (GCM), koji se nazivaju i globalni klimatski modeli, simuliraju fiziku klimatskog sustava. To znači da rekreiraju protoke zraka i vode u atmosferi i/ili oceanima, kao i prijenose topline. Postoje i regionalni klimatski modeli (RCM) koji za razliku od GCM-a simuliraju klimu za ograničeno područje Zemlje. Budući da pokrivaju manje područje, RCM-ovi se općenito mogu pokrenuti brže i na višoj razlučivosti od GCM-ova. Model visoke razlučivosti ima manje ćelije mreže i stoga može proizvesti detaljnije klimatske informacije za određeno područje. RCM su jedan od načina prilagodbe (engl. dynamical downscaling) globalnih klimatskih informacija na lokalnu razinu. To znači uzeti informacije dobivene GCM-om ili opažanjima grube skale i primijeniti ih na određeno područje ili regiju. Glavni ulazni podaci u modele su vanjski čimbenici koji mijenjaju količinu sunčeve energije koju apsorbira Zemlja ili koliko je zarobljena u atmosferi. Ti vanjski čimbenici nazivaju se "prisilama". Oni uključuju promjene u sunčevoj snazi, dugotrajne stakleničke plinove – poput CO_2 , (CH_4) , (N_2O) i halougljika – kao i sićušne čestice zvane aerosoli koje se emitiraju izgaranjem fosilnih goriva, šumskim požarima i vulkanskim erupcijama. Neki aerosoli odbijaju dolaznu sunčevu svjetlost i utječu na stvaranje oblaka (McSweeney i sur., 2022).

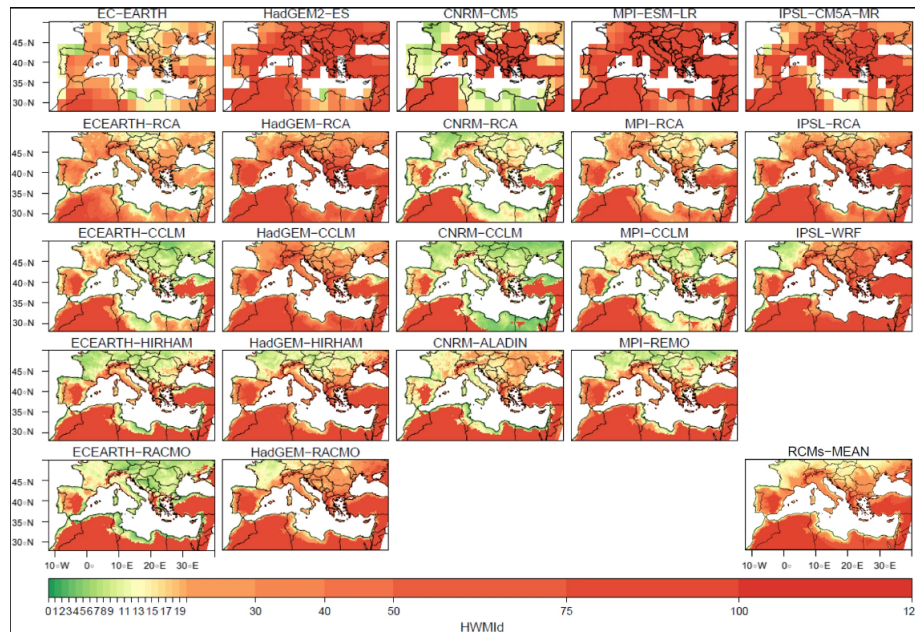
1.2. Dosadašnja istraživanja

Iako je spoznaja o nastanku klimatskih promjena nastala još u ranom devetnaestom stoljeću, većina istraživanja pogotovo o antropogenim klimatskim promjenama nastala je u zadnjih 50 godina doživjevši pravi zamah u zadnjih nekoliko desetljeća (Weart, 2022). Razvila se velika potreba o sve točnijem predviđanju posljedica klimatskih promjena na prostoru Europe ali i cijelog svijeta, kako bi se bolje mogli pripremiti na njihovo ublažavanje te sprječavanje njihovog danjeg razvitka.

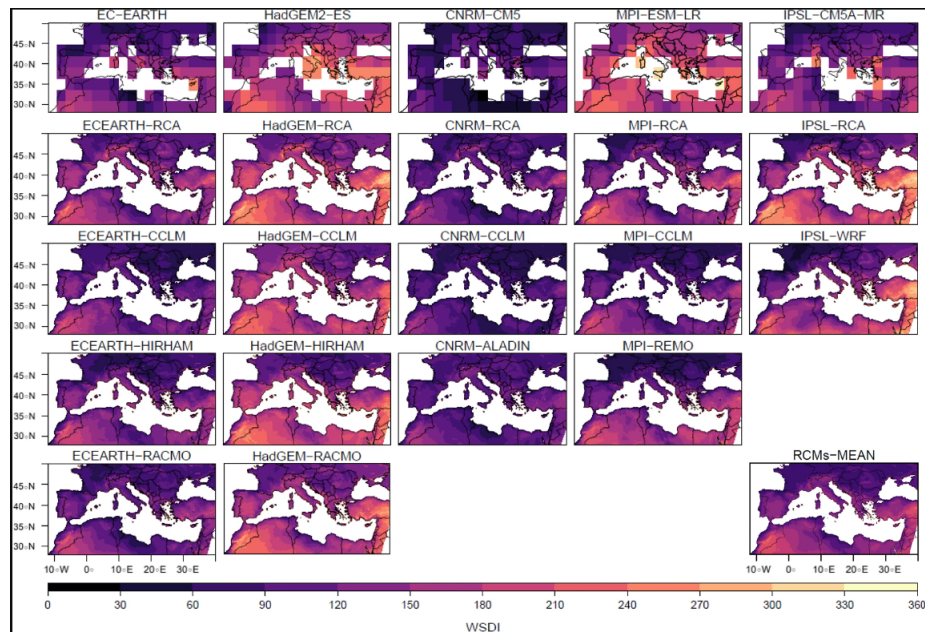
Regionalni ansambl visoke rezolucije klimatskih promjena uspostavljen je u sklopu inicijative EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>). Prvi skup simulacija s horizontalnom rezolucijom od 12,5 km napravljen je za scenarije emisija RCP4.5 i RCP8.5 (Jacob i sur. 2014). Europska inicijativa CORDEX (EURO-CORDEX) veliki je istraživački napor koji nastoji unaprijediti regionalne klimatske simulacije za Europu. Inicijativa CORDEX pokrenuta je unutar Svjetskog programa za istraživanje klime (WCRP) s ciljem sustavne evaluacije klimatskih modela i njihovog korištenja za klimatske projekcije. Također svrha je i poboljšati komunikaciju sa zajednicom korisnika globalnih klimatskih modela opće cirkulacije (GCM) te zajednicom korisnika klimatskih podataka. EURO-CORDEX nadzire dizajn i koordinaciju postojećih ansambala regionalnih klimatskih projekcija značajnih veličina i razlučivosti (0,11°C EUR-11 i 0,44°C EUR-44 domene). Dodatno, uključivanje empirijsko-statističke prilagodbe veličine (engl. downscaling) omogućuje istraživanje puno većih skupova s više modela. Ovi komplementarni pristupi pružaju temelj za znanstvene studije unutar klimatsko-istraživačke zajednice (Jacob i sur. 2020).

Toplinski valovi su među najrelevantnijim ekstremnim klimatskim događajima zbog svojih učinaka na društvo, poljoprivredu i okoliš te su o njima napravljena brojna istraživanja. U radu Molina i sur. iz 2020. godine pokušalo se poboljšati naše razumijevanje toplinskih valova na području Sredozemlja tijekom 21. stoljeća korištenjem skupa regionalnih klimatskih modela (RCM). Fokus je stavljen na osjetljivost forsiranja globalnih modela, scenarije emisija i RCM rezolucije, što je prvi rad temeljen na EURO-CORDEX simulacijama za potpunu analizu budućih toplinskih valova na Sredozemlju. Značajke toplinskog vala proučavaju se analizom trajanja toplih razdoblja (WSDI - warm spell duration index, trajanje) i dnevne magnitude toplinskog vala (HWMId - heat wave magnitude index-daily, intenzitet). Rezultati pokazuju veliko

povećanje do kraja stoljeća u intenzitetu i duljini toplinskih valova iz svih scenarija emisija, globalnih modela, i regionalnih modela u bilo kojoj razlučivosti (Molina i sur., 2020).

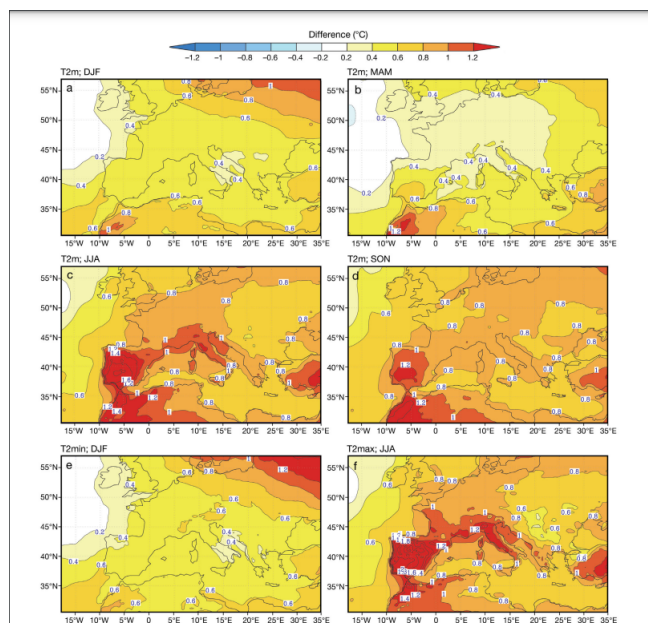


Slika 1.3. Dnevni indeks magnitude toplinskog vala, usrednjen za buduće klimatsko razdoblje (2071. – 2100.), za rezoluciju od $0,11^{\circ}\text{C}$ i scenarij emisije RCP8.5. GCM simulacije su u prvom redu u izvornoj rezoluciji. RCM simulacije prikazane su u stupcima, svaki model ispod GCM-a koji ga forsira. Graf dolje, desno predstavlja srednju vrijednost ansambla RCM-a (preuzeto iz Molina i sur., 2020).



Slika 1.4. Indeks trajanja toplih razdoblja, usrednjen za buduće klimatsko razdoblje (2071. – 2100.), za rezoluciju od $0,11^{\circ}\text{C}$ i scenarij emisije RCP8.5. GCM simulacije su u prvom redu u izvornoj rezoluciji. RCM simulacije prikazane su u stupcima, svaki ispod GCM-a koji ga forsira. Graf dolje, desno predstavlja srednju vrijednost ansambla RCM-a (preuzeto iz Molina i sur., 2020).

Primjer jednog od ranijih hrvatskih istraživanja nalazi se u radu Branković i sur. iz 2012., u kojem je klimatski model RegCM korišten pri rezoluciji od 35 km za smanjivanje globalnog ansambla ECHAM5/MPI-OM od 3 člana na temelju IPCC A2 scenarija koji pokriva europsko-mediteransko područje. Rad je pokazao da se u bliskoj budućnosti (2011. – 2040.), predviđa da će ljetna temperatura na 2 metra (T_{2m}) porasti za $+1,8^{\circ}\text{C}$ iznad jugozapadne Europe.



Slika 1.5. Promjena u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2011. – 2040. u odnosu na 1961. – 1990. za T2m tijekom sezona (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA i (d) SON i za (e) T2min u DJF i (f) T2max u JJA. Konture svakih $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (preuzeto iz Branković i sur., 2012).

1.3. Motivacija i cilj istraživanja

Regionalno zagrijavanje pospješeno klimatskim promjenama uzrokuje povećanje učestalosti, intenziteta i trajanja toplinskih valova u Europi. Intenzitet ekstremnih temperatura raste brže od intenziteta srednjih temperatura u unutrašnjosti kontinenta zbog povećanja varijabilnosti temperature (Beniston i sur., 2007). Toplinski valovi ozbiljna su prijetnja ljudskom zdravlju, pri čemu su urbana područja ranjivija zbog efekta urbanog toplinskog otoka i gustoće naseljenosti. Ipak, u kontekstu klimatskih promjena, toplinski valovi postaju sve češći, jači i dulji, što, zajedno sa sve većim razvojem urbanizacije, pogoršava toplinski rizik za stanovnike urbanih sredina (Founda i sur. 2017). Motivacija ovog rada bila je stvoriti sliku budućeg stanja temperature te dobiti predodžbu o trendu intenziteta i učestalosti toplinskih valova za 24 lokacije u Hrvatskoj: Zagreb, Krapina, Sisak, Karlovac, Varaždin, Koprivnica, Bjelovar, Rijeka, Gospić, Virovitica, Požega, Slavonski Brod, Zadar, Osijek, Šibenik, Vukovar, Split, Pazin, Dubrovnik, Čakovec, Blato, Knin, Sinj i Zavižan. Korištenjem kombinacije 3 globalna i 2 regionalna modela te projekcija RCP4.5 i RCP8.5 izračunali smo trend za razdoblje od 1971. do 2070. za srednju, maksimalnu i minimalnu dnevnu temperaturu zraka na 2 metra te 4 klimatska indeksa koji služe kao indikatori toplinskih valova:

SU (broj ljetnih dana), CSU (broj uzastopnih ljetnih dana), HWFI (broj toplih dana određen prema 90. percentilu u referentnom razdoblju) te HWDI (trajanje toplinskog vala u odnosu na srednje trajanje dobiveno za referentno razdoblje).

2. Podaci i metode

2.1. Projekcije klime

Korišteni su izlazni podaci dvaju regionalnih klimatskih modela: RegCM4 te CLMcom-CCLM4-8-17. Model RegCM4 izvorno je razvijen u Nacionalnom centru za istraživanje atmosfere (NCAR), a održava se u odjelu Zemljinog sustava (Earth System Physics - ESP) Međunarodnog centra za teorijsku fiziku (International Centre for Theoretical Physics, ICTP) (Giorgi i sur., 2012). Model CLMcom-CCLM4-8-17 je COSMO model u klimatskom načinu rada (COSMO-CLM). On je nehidrostatski regionalni klimatski model temeljen na lokalnom modelu (LM) Njemačke meteorološke službe (DWD) i njegovom nasljedniku, modelu COSMO. LM je razvijen u DWD za potrebe operativne vremenske prognoze. U međuvremenu, koristi ga i dalje razvija nekoliko drugih meteoroloških službi organiziranih u konzorciju za modeliranje malih razmjera (COSMO) (CLMcom 2016).

Regionalni klimatski modeli su forsirani sa tri globalna: EC-EARTH (EC), HadGEM2-ES (HA), i MPI-ESM-MR(LR) (MP). Model EC-Earth razvijen je od strane ECMWF-a (Europskog centra za srednjoročne vremenske prognoze)(Hazeleger i sur., 2010), HadGEM2-ES (Hadley Center Global Environment Model) razvio je Met Office Ujedinjenog kraljevstva (Collins i sur., 2008), a MPI-ESM je model Zemljinog sustava instituta Max Planck (Giorgetta i sur., 2013). Razmatrani su podaci u razdoblju od 100 godina, od 1971. do 2070. na prostornoj rezoluciji od 12.5 km. Modeli do simulirane 2005. godine koriste izmjerene koncentracije stakleničkih plinova, a nakon 2005. uzimaju se dva IPCC scenarija: RCP4.5 i RCP8.5. Rezultati ovih klimatskih modela korišteni su za analizu 24 lokacije na području Hrvatske. Analizirane lokacije su izabrane kao županijska središta i/ili zbog njihovog klimatski zanimljivog položaja. Zbog ograničenog broja točaka modela odnosno gustoće mreže, točke za koje je proveden račun ne odgovaraju nužno stvarnim koordinatama lokacija već su za njihove položaje uzete točke izračunate metodom najbližeg susjeda. Za potrebe računa korišteni su dnevni podaci srednje (tas), maksimalne (tasmx) te minimalne (tasmin) dnevne temperature zraka na 2 metra.

Rezultati modela RegCM4 preuzeti su iz repozitorija Državnog hidrometeorološkog

zavoda (DHMZ) (MZOE, 2017), a rezultati CLMcom-CCLM4-8-17 preuzeti su iz baze podataka Copernicus (Copernicus, 2019).

2.2. Klimatski indeksi

Kako bi se dobila što vjernija projekcija toplinskih valova u budućnosti, izračunata su 4 klimatska indeksa: SU, CSU, HWDI, HWFI te godišnji srednjak srednje, maksimalne i minimalne dnevne temperature.

Broj ljetnih dana (SU) dobiva se tako da se uzme vremenski niz maksimalne dnevne temperature TX, zatim se računa broj dana gdje je $TX > T$, gdje je T parametar sa zadanom vrijednošću $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Broj uzastopnih ljetnih dana (CSU) računa se uzimanjem vremenskog niza maksimalne dnevne temperature TX, tada se broji najveći broj uzastopnih dana za koje vrijedi $TX > T$. Broj T je parametar sa zadanom $T = 25^{\circ}\text{C}$.

Trajanje toplinskog vala u odnosu na srednje trajanje dobiveno za referentno razdoblje (HWDI- heat wave duration index) računa se na temelju vremenskog niza maksimalnih dnevnih temperatura, TX, na sljedeći način: prvo se odredi srednja vrijednost, TX_{norm} , maksimalnih dnevnih temperatura za referentno razdoblje od 1971. do 2000., te se fiksira parametar premašaja, $T = 5^{\circ}\text{C}$. Potom se za svaku godinu posebno odrede intervali od najmanje 6 uzastopnih dana u kojima je maksimalna dnevna temperatura bila veća od $TX_{norm} + T$. Indeks HWDI za neku godinu jednak je trajanju najduljeg od tih intervala, dok broj tih intervala predstavlja broj toplinskih valova u toj godini.

Broj toplih dana određen prema 90. percentilu u referentnom razdoblju (HWFI- heat wave frequency index) računa se na temelju vremenskog niza srednjih dnevnih temperatura, TG, na sljedeći način: prvo se odredi 90. percentil, TG_{n90} , srednjih dnevnih temperatura za referentno razdoblje od 1971. do 2000. Gdje se TG_{n90} izračunava kao 90. percentil dnevne srednje vrijednosti temperature petodnevnog prozora sa središtem na svakom kalendarskom danu klimatskog referentnog razdoblja.

Potom se za svaku godinu posebno odrede intervali od najmanje 6 uzastopnih dana u kojima je srednja dnevna temperatura bila veća od TG_{n90} . Indeks HWFI za neku godinu jednak je trajanju najduljeg od tih intervala, dok broj tih intervala predstavlja broj toplih razdoblja u toj godini.

2.3. Statistički parametri

Za potrebe analize i usporedbe dobivenih klimatskih indeksa i podataka o srednjim godišnjim iznosima srednje, maksimalne i minimalne dnevne temperature provedena je statistička analiza. Na temelju dobivenih statističkih parametara te statističke značajnosti trendova napravljena je i usporedba između oba regionalna te sva tri globalna klimatska modela.

Srednjak

Ako sa X označimo uzorak (skup mjerenih vrijednosti) $X = \{x_1, \dots, x_n\}$. Srednja vrijednost uzorka definira se kao:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Standardna devijacija

Standardna devijacija (standardno odstupanje) (znak σ) definira se kao prosječno srednje kvadratno odstupanje skupa mjerenih vrijednosti x_1, x_2, \dots, x_N od njihove aritmetičke sredine \bar{x} .

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Zadana je u istim mjernim jedinicama kao i vrijednosti skupa. Standardna je veličina za mjerenje varijabilnosti niza. Ako je standardna devijacija mala, aritmetička sredina dobro predstavlja rezultate. **Varijancu** uzorka definiramo kao $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$, gdje je N broj članova niza.

Linearna regresija

Linearna regresija način je modeliranja odnosa između dviju varijabli. Za dva uzorka, $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ linearna regresija se definira kao pravac $Y = aX + b$ tako da je

$$\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 \longrightarrow \min.$$

Gdje su a i b nagib i presjek koji se računaju metodom najmanjih kvadrata:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$
$$b = \frac{1}{n} \left(\sum y_i - a \sum x_i \right).$$

Standardna pogreška nagiba regresije, s (Draper, 1981) glasi:

$$s(a) = \sqrt{\frac{1}{n-2} * \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

Mann-Kendallov test

Za kraj izračunata je statistička značajnost dobivenih trendova. Mann-Kendallov test (Mann, 1945; Kendall, 1975; Gilbert, 1987) koristi se za određivanje ima li vremenski niz monotoni uzlazni ili silazni trend. Nulta hipoteza za ovaj test je da nema trenda, a alternativna hipoteza je da postoji trend u dvostranom testu ili da postoji uzlazni trend (ili silazni trend) u jednostranom testu. Za vremenski niz x_1, x_2, \dots, x_N , računa se statistika:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_i).$$

Ako je $S > 0$, kasnija opažanja u vremenskom nizu obično su veća od onih koja se pojavljuju ranije u vremenskom nizu, dok je obrnuto istinito ako je $S < 0$.

Varijanca $\text{var}(S)$ je dana s:

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_t f_t(f_t-1)(2f_t+5) \right].$$

Računa se i statistika testa Z_{MK} :

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & S < 0 \end{cases}$$

U ovom radu provodi se provjera statističke značajnosti trendova na nivou značajnosti od 95 %. Ekvivalentno je reći da je trend statistički značajan ako je njegova p - vrijednost < 0.05 . Kako promatramo dvostrani test, da bi trend bio negativan (usvajanje H_1 hipoteze) statistika Z treba biti negativna, a izračunata pripadna vjerojatnost p veća od $1 - \alpha/2$ (područje lijevog repa razdiobe). Ako je statistika Z pozitivna, a p vrijednost manja od $\alpha/2$ (područje desnog repa razdiobe), trend je pozitivan, a ako se vrijednost nalazi između $1 - \alpha/2$ i $\alpha/2$, zaključujemo kako trend ne postoji.

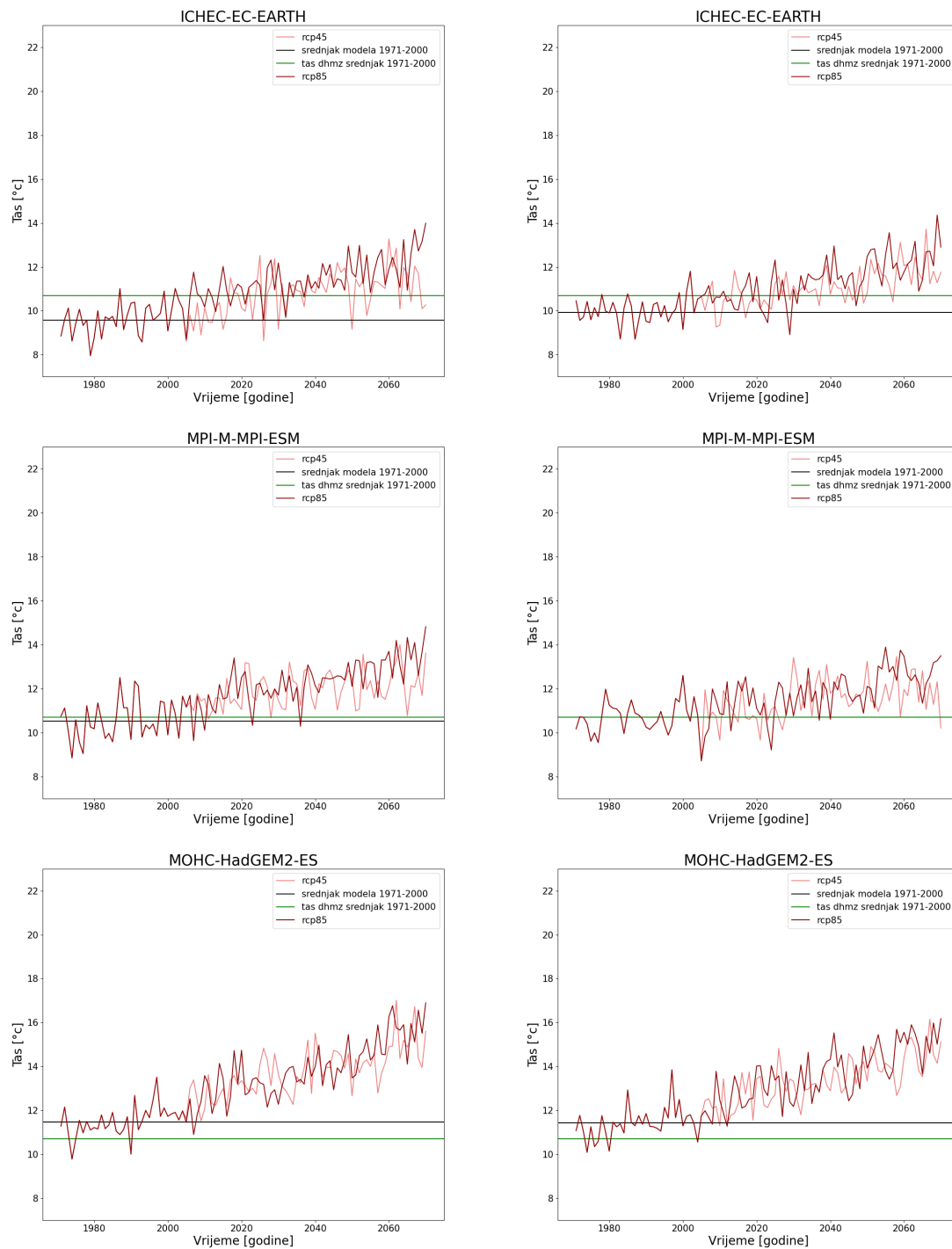
Obrada podataka, izračun klimatskih indeksa i vremenskih srednjaka odrađen je pomoću skupa računalnih operatora CDO (engl. Climate Data Operators; <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo>). Prikaz podataka i dodatne analize napravljene su u programskom paketu Python (ipython; <https://ipython.org/>).

3. Rezultati i diskusija

Za potrebe prikaza rezultata izdvojen je jedan kontinentalan grad, Zagreb, te jedan maritiman, Dubrovnik. Gradovi su odabrani zbog svojeg geografskog položaja te ekonomske i socio-političke važnosti.

Za početak napravljena je usporedba razvoja godišnjih srednjaka srednje (tas), maksimalne (tasmax) i minimalne (tasmin) dnevne temperature za period od 1971. do 2070. za Zagreb i Dubrovnik, za obje IPCC projekcije (RCP4.5 ružičasta, RCP8.5 crvena), za oba regionalna (RegCM4 lijevo, CLMcom-CCLM4-8-17 desno) te sva 3 globalna modela (slike 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 3.5. i 3.6.). Vremenski nizovi podataka prikazani su u odnosu na vremenske srednjake respektivnih modela izračunatih za referentno razdoblje 1971. – 2000. (crna). Na slikama su također prikazane srednje vrijednosti referentnog razdoblja stvarnih izmjerenih vrijednosti temperatura za odabrane gradove dobivene iz Klimatskog atlasa Hrvatske Državnog hidrometeorološkog zavoda (zelena) (Zaninović i sur., 2008). U tablicama 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 3.5. i 3.6. prikazani su izračunati statistički parametri od tas, tasmax i tasmin za Zagreb i Dubrovnik.

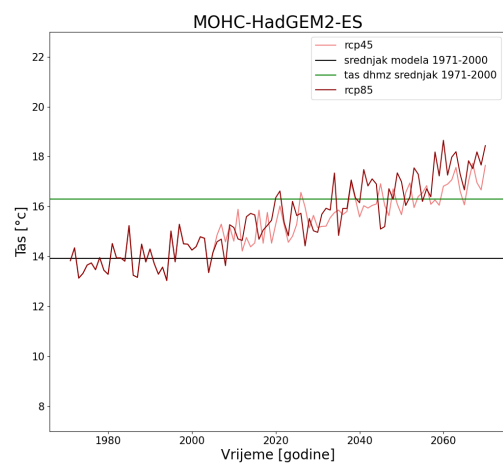
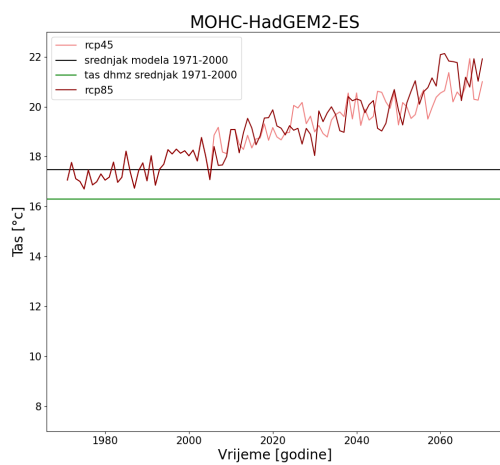
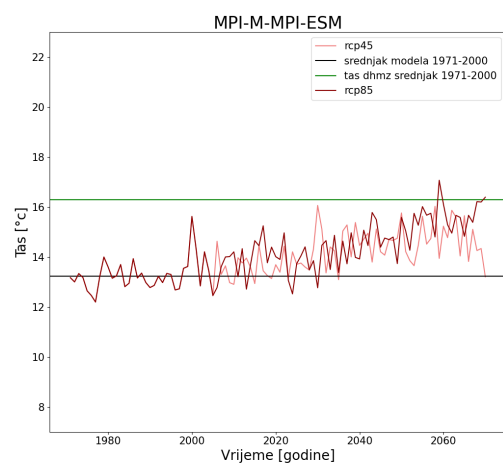
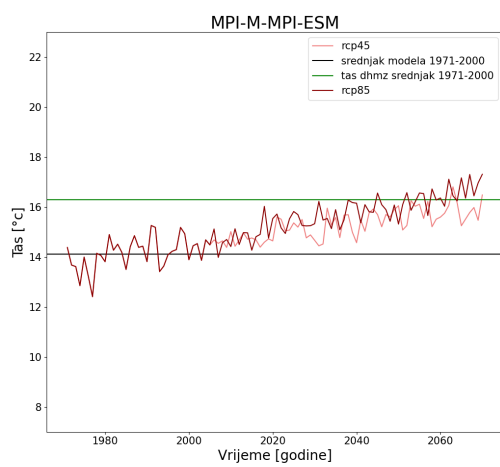
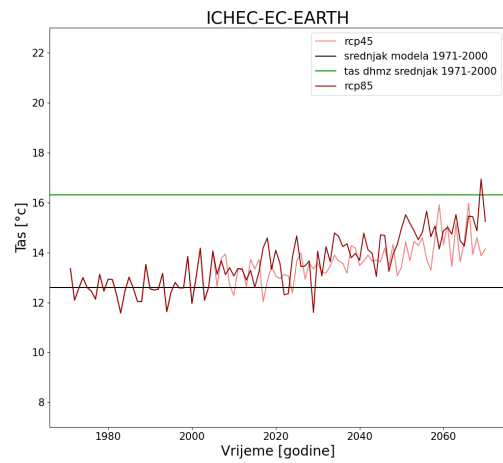
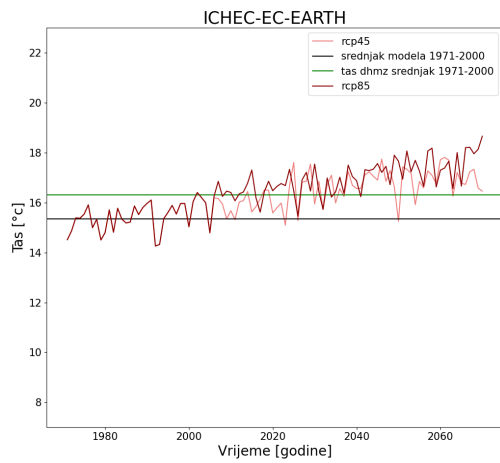
3.1. Srednja dnevna temperatura



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.1. Vremenski niz godišnjeg srednjaka srednje dnevne temperature zraka na 2 m (1971. – 2070.) za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.2. Vremenski niz godišnjeg srednjaka srednje dnevne temperature zraka na 2 m (1971. – 2070.) za Dubrovnik.

Tablica 3.1. Godišnji srednjak srednje dnevne temperature zraka (1971. – 2070.) RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 [°C ²]	\bar{X} [°C]	a [°C/god.]	$s(a)$ [°C]	σ [°C]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	45	EC	1,13	10,41	0,024	0,0028	1,06	2354,00	112750,00	7,01
Zagreb	45	MP	1,12	11,48	0,024	0,0028	1,06	2326,00	112750,00	6,92
Zagreb	45	HA	2,12	13,00	0,044	0,0026	1,46	3400,00	112750,00	10,12
Zagreb	85	EC	1,50	10,84	0,035	0,0025	1,22	3140,00	112750,00	9,35
Zagreb	85	MP	1,61	11,72	0,035	0,0027	1,27	3068,00	112750,00	9,13
Zagreb	85	HA	2,59	13,08	0,050	0,0026	1,61	3570,00	112750,00	10,63
Dubrovnik	45	EC	0,72	16,17	0,022	0,0019	0,85	2816,00	112750,00	8,38
Dubrovnik	45	MP	0,66	14,91	0,023	0,0016	0,81	3214,00	112750,00	9,57
Dubrovnik	45	HA	1,55	18,93	0,040	0,0016	1,25	3794,00	112750,00	11,30
Dubrovnik	85	EC	0,98	16,45	0,029	0,0018	0,99	3406,00	112750,00	10,14
Dubrovnik	85	MP	1,07	15,19	0,032	0,0016	1,04	3596,00	112750,00	10,71
Dubrovnik	85	HA	2,08	19,03	0,046	0,0019	1,44	3762,00	112750,00	11,20

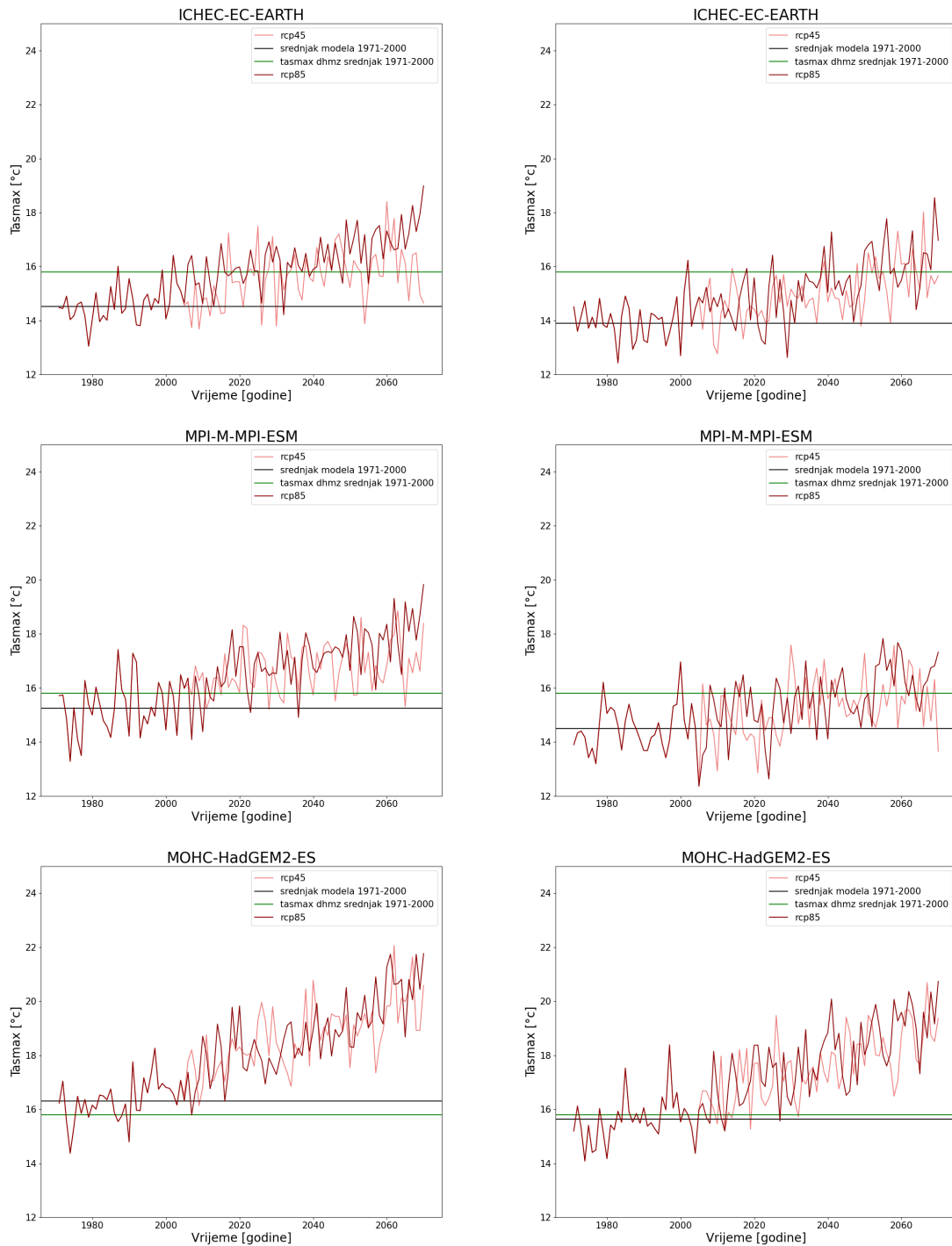
Tablica 3.2. Godišnji srednjak srednje dnevne temperature zraka (1971. – 2070.) CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.1. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

Grad	RCP	GCM	σ^2 [°C ²]	\bar{X} [°C]	a [°C/god.]	$s(a)$ [°C]	σ [°C]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	EC	0,81	10,73	0,022	0,0022	0,90	2614,00	112750,00	7,78
Zagreb	RCP4.5	MP	0,84	11,25	0,017	0,0027	0,92	1852,00	112750,00	5,51
Zagreb	RCP4.5	HA	1,74	12,71	0,039	0,0024	1,32	3286,00	112750,00	9,78
Zagreb	RCP8.5	MP	1,11	11,44	0,025	0,0027	1,05	2434,00	112750,00	7,25
Zagreb	RCP8.5	EC	1,22	10,95	0,029	0,0025	1,10	2812,00	112750,00	8,37
Zagreb	RCP8.5	HA	2,35	12,90	0,046	0,0027	1,53	3386,00	112750,00	10,08
Dubrovnik	RCP4.5	EC	0,72	13,34	0,022	0,0020	0,85	2708,00	112750,00	8,06
Dubrovnik	RCP4.5	MP	0,81	13,92	0,021	0,0024	0,90	2406,00	112750,00	7,16
Dubrovnik	RCP4.5	HA	1,43	15,22	0,037	0,0018	1,19	3576,00	112750,00	10,65
Dubrovnik	RCP8.5	EC	1,17	13,61	0,030	0,0022	1,08	3046,00	112750,00	9,07
Dubrovnik	RCP8.5	MP	1,18	14,13	0,030	0,0024	1,09	2913,00	112749,00	8,67
Dubrovnik	RCP8.5	HA	2,15	15,45	0,046	0,0023	1,47	3554,00	112750,00	10,58

Na slikama 3.1. i 3.2. vidi se jasan uzlazni trend srednje dnevne temperature zraka. Taj trend je nešto veći za Zagreb nego za Dubrovnik. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb je za RegCM4 između 0,024 i 0,04 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,022 i 0,039 °C/god. Za projekciju RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,035 i 0,050 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,025 i 0,046 °C/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,022 i 0,040 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,022 i 0,037 °C/god. Za projekciju RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,029 i 0,046 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,030 i 0,046 °C/god. što je vidljivo i iz tablica 3.1. i 3.2. Što se tiče srednjaka referentnog razdoblja modela on je

veći za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 15,35 i 17,47 °C; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 12,56 i 13,92 °C) nego za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 9,57 i 11,46 °C; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 9,94 i 11,43 °C). Srednjaci referentnog razdoblja modela uglavnom su uvijek niži od srednjaka izmjerenih podataka za oba grada osim za RegCM4 model forsiran HadGEM2-ES globalnim modelom za Zagreb te Dubrovnik. Rezultati RCM-a forsirani HadGEM2-ES globalnim modelom su "najpesimističniji" te pokazuju najveće poraste u srednjoj temperaturi ali su zato i najvarijabilniji. Rezultati oba regionalna modela relativno su usporedivi. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni.

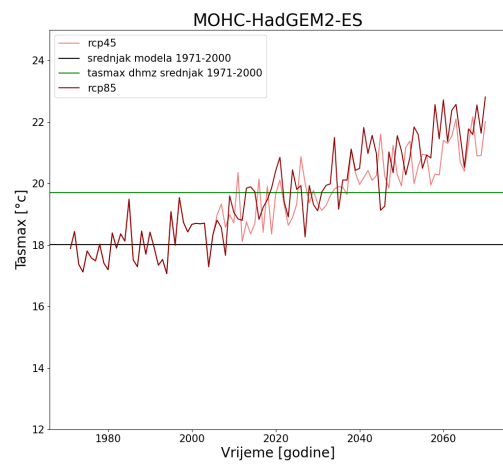
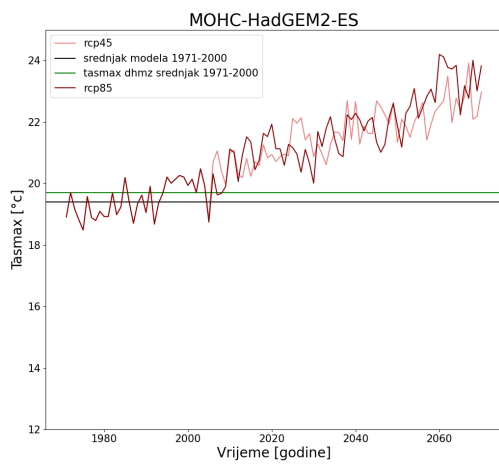
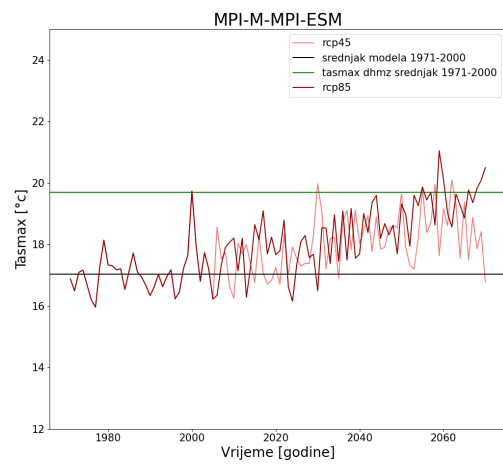
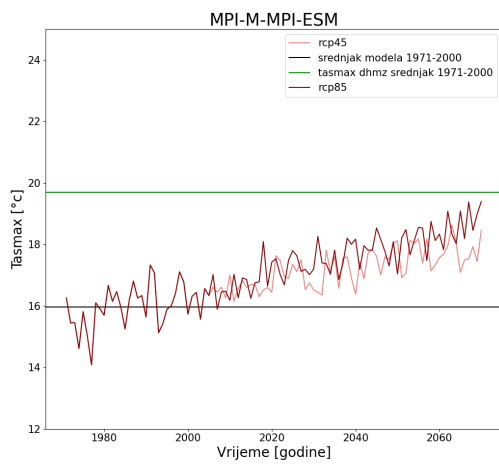
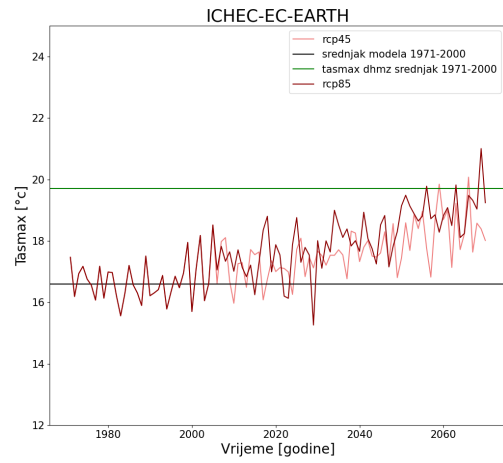
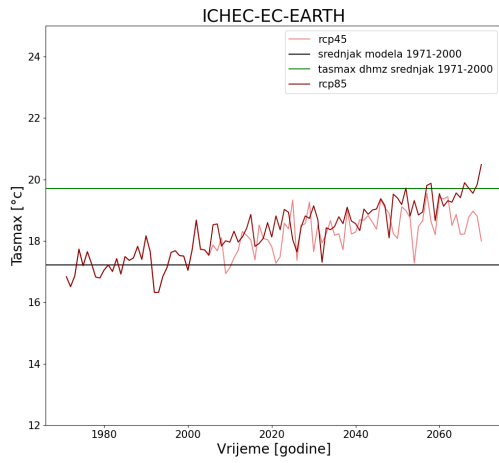
3.2. *Maksimalna dnevna temperatura*



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.3. Vremenski niz godišnjeg srednjaka maksimalne dnevne temperature zraka na 2 m (1971. – 2070.) za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.4. Vremenski niz godišnjeg srednjaka maksimalne dnevne temperature zraka na 2 m (1971. – 2070.) za Dubrovnik.

Tablica 3.3. Godišnji srednjak maksimalne dnevne temperature zraka (1971. – 2070.) RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 [°C ²]	\bar{X} [°C]	a [°C/god.]	$s(a)$ [°C]	σ [°C]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	45	EC	1,05	15,29	0,021	0,0029	1,03	2100,00	112750,00	6,25
Zagreb	45	MP	1,30	16,23	0,024	0,0031	1,14	2144,00	112750,00	6,38
Zagreb	45	HA	2,36	17,88	0,045	0,0029	1,54	3292,00	112750,00	9,80
Zagreb	85	EC	1,37	15,75	0,033	0,0023	1,17	3126,00	112750,00	9,31
Zagreb	85	MP	1,85	16,46	0,036	0,0031	1,36	2884,00	112750,00	8,59
Zagreb	85	HA	2,78	17,95	0,050	0,0029	1,67	3446,00	112750,00	10,26
Dubrovnik	45	EC	0,58	18,00	0,020	0,0017	0,76	2832,00	112750,00	8,43
Dubrovnik	45	MP	0,75	16,80	0,024	0,0018	0,86	3072,00	112750,00	9,15
Dubrovnik	45	HA	1,66	20,88	0,041	0,0017	1,29	3786,00	112750,00	11,27
Dubrovnik	85	EC	0,86	18,29	0,028	0,0015	0,92	3590,00	112750,00	10,69
Dubrovnik	85	MP	1,20	17,07	0,033	0,0018	1,09	3494,00	112750,00	10,40
Dubrovnik	85	HA	2,17	20,97	0,047	0,0020	1,47	3760,00	112750,00	11,19

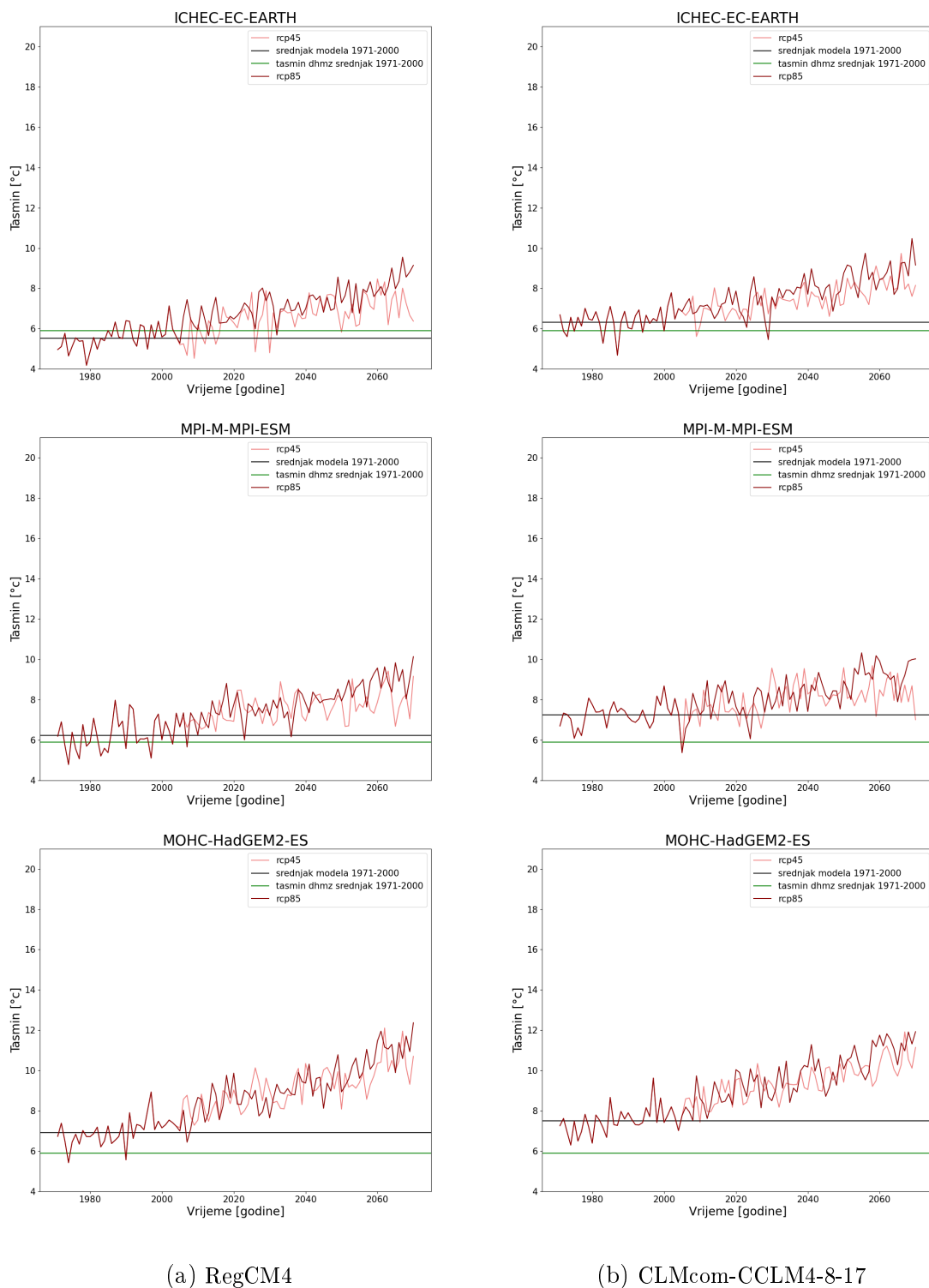
Tablica 3.4. Godišnji srednjak maksimalne dnevne temperature zraka (1971. – 2070.) CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.3. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

Grad	RCP	GCM	σ^2 [°C ²]	\bar{X} [°C]	a [°C/god.]	$s(a)$ [°C]	σ [°C]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	EC	1,00	14,68	0,022	0,0027	1,00	2194,00	112750,00	6,53
Zagreb	RCP4.5	MP	1,10	15,03	0,017	0,0032	1,05	1616,00	112750,00	4,81
Zagreb	RCP4.5	HA	2,08	16,91	0,040	0,0030	1,44	2996,00	112750,00	8,92
Zagreb	RCP8.5	MP	1,31	15,22	0,024	0,0032	1,15	2146,00	112750,00	6,39
Zagreb	RCP8.5	EC	1,40	14,88	0,028	0,0030	1,18	2430,00	112750,00	7,23
Zagreb	RCP8.5	HA	2,62	17,09	0,046	0,0032	1,62	3182,00	112750,00	9,47
Dubrovnik	RCP4.5	EC	0,82	17,34	0,021	0,0023	0,90	2466,00	112750,00	7,34
Dubrovnik	RCP4.5	MP	0,94	17,72	0,020	0,0027	0,97	2196,00	112750,00	6,54
Dubrovnik	RCP4.5	HA	1,69	19,36	0,040	0,0021	1,30	3482,00	112750,00	10,37
Dubrovnik	RCP8.5	EC	1,25	17,61	0,030	0,0025	1,12	2870,00	112750,00	8,54
Dubrovnik	RCP8.5	MP	1,33	17,96	0,031	0,0026	1,15	2854,00	112750,00	8,50
Dubrovnik	RCP8.5	HA	2,35	19,59	0,047	0,0024	1,53	3584,00	112750,00	10,67

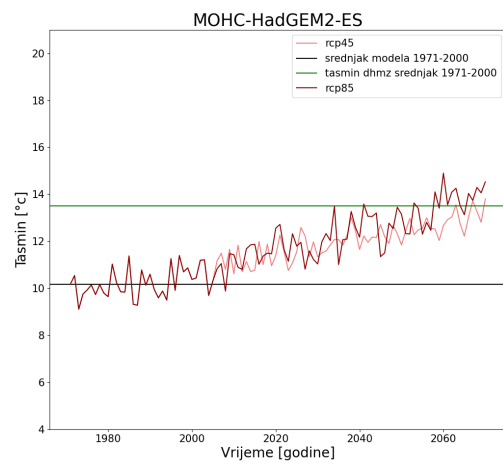
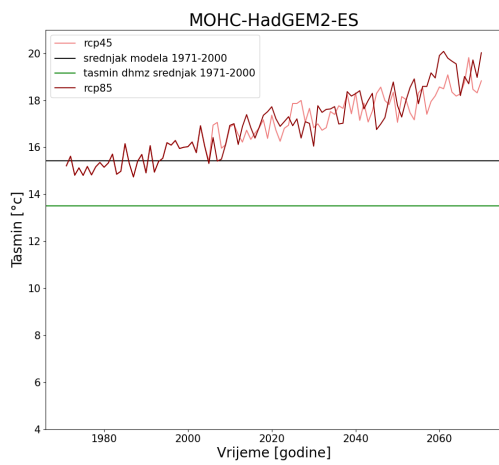
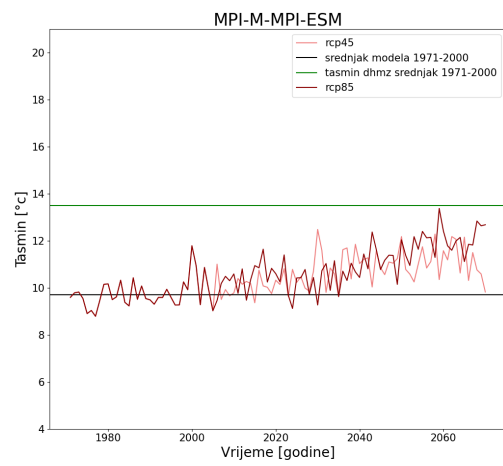
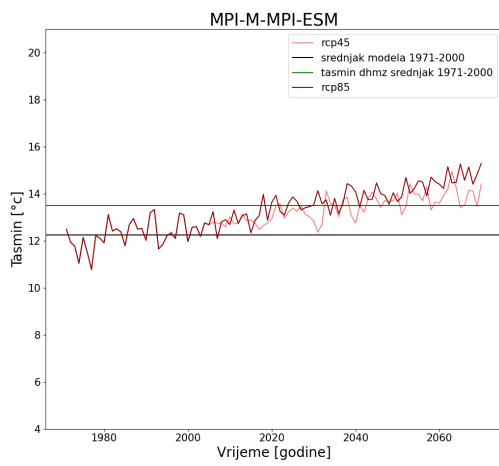
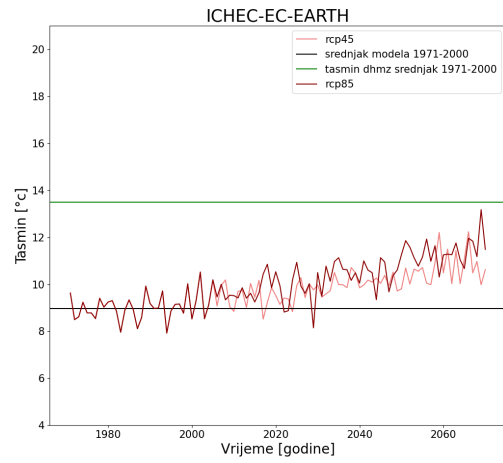
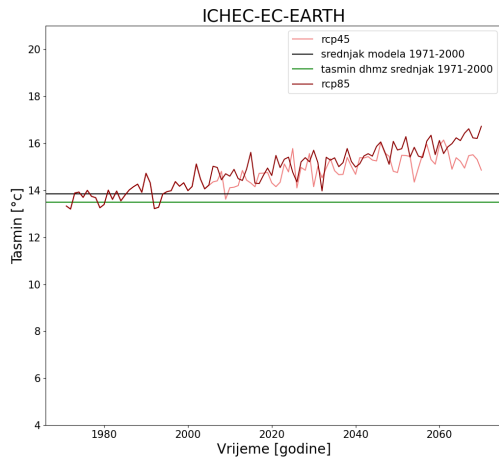
Na slikama 3.3. i 3.4. vidi se povećanje maksimalne dnevne temperature zraka u vremenu. Godišnje povećanje maksimalne temperature malo je veće za Zagreb nego za Dubrovnik. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,021 i 0,045 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,022 i 0,040 °C/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,033 i 0,050 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,024 i 0,046 °C/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,020 i 0,041 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,022 i 0,037 °C/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,028 i 0,047 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,030 i 0,047 °C/god. što je vidljivo i iz tablica 3.3. i 3.4. Srednjak referentnog razdoblja

je također veći za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 17,22 i 19,40 °C; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 16,59 i 18,00 °C) nego za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 14,53 i 16,30 °C; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 13,90 i 15,63 °C). Srednjaci referentnog razdoblja modela uglavnom su uvijek niži od srednjaka izmjerenih podataka za oba grada osim za RegCM4 model forsiran HadGEM2-ES globalnim modelom za Zagreb. Rezultati regionalnih klimatskih modela kada su forsirani globalnim modelom HadGEM2-ES također pokazuju najveće poraste u maksimalnoj temperaturi ali i najveće varijance za razliku od EC-EARTH i MPI-ESM koji su usporedivi. Rezultati oba regionalna modela relativno su usporedivi s time da CLMcom-CCLM4-8-17 model ima neznatno niže srednjake. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni.

3.3. Minimalna dnevna temperatura



Slika 3.5. Vremenski niz godišnjeg srednjaka minimalne dnevne temperature zraka na 2 m (1971. – 2070.) za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.6. Vremenski niz godišnjeg srednjaka minimalne dnevne temperature zraka na 2 m (1971. – 2070.) za Dubrovnik.

Tablica 3.5. Godišnji srednjak minimalne dnevne temperature zraka (1971. – 2070.) RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 [°C ²]	\bar{X} [°C]	a [°C/god.]	$s(a)$ [°C]	σ [°C]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	45	EC	0,88	6,29	0,023	0,0023	0,94	2625,00	112749,00	7,81
Zagreb	45	MP	0,93	7,13	0,024	0,0024	0,97	2554,00	112750,00	7,60
Zagreb	45	HA	1,88	8,40	0,042	0,0023	1,37	3558,00	112750,00	10,59
Zagreb	85	EC	1,26	6,72	0,034	0,0019	1,12	3468,00	112750,00	10,33
Zagreb	85	MP	1,39	7,37	0,034	0,0023	1,18	3268,00	112750,00	9,73
Zagreb	85	HA	2,44	8,53	0,049	0,0023	1,56	3684,00	112750,00	10,97
Dubrovnik	45	EC	0,51	14,61	0,021	0,0014	0,71	3204,00	112750,00	9,54
Dubrovnik	45	MP	0,60	13,02	0,022	0,0015	0,77	3222,00	112750,00	9,59
Dubrovnik	45	HA	1,47	16,84	0,039	0,0016	1,21	3796,00	112750,00	11,30
Dubrovnik	85	EC	0,79	14,88	0,028	0,0013	0,89	3728,00	112750,00	11,10
Dubrovnik	85	MP	0,96	13,28	0,031	0,0015	0,98	3640,00	112750,00	10,84
Dubrovnik	85	HA	2,03	16,97	0,046	0,0019	1,42	3800,00	112750,00	11,31

Tablica 3.6. Godišnji srednjak minimalne dnevne temperature zraka (1971. – 2070.) CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.5. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

Grad	RCP	GCM	σ^2 [°C ²]	\bar{X} [°C]	a [°C/god.]	$s(a)$ [°C]	σ [°C]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	MP	0,67	7,77	0,017	0,0023	0,82	2070,00	112750,00	6,16
Zagreb	RCP4.5	EC	0,72	7,13	0,023	0,0019	0,85	2951,00	112749,00	8,79
Zagreb	RCP4.5	HA	1,51	8,80	0,038	0,0020	1,23	3508,00	112750,00	10,44
Zagreb	RCP8.5	MP	1,00	8,00	0,026	0,0023	1,00	2714,00	112750,00	8,08
Zagreb	RCP8.5	EC	1,15	7,37	0,030	0,0022	1,07	3186,00	112750,00	9,49
Zagreb	RCP8.5	HA	2,17	9,00	0,046	0,0023	1,47	3568,00	112750,00	10,62
Dubrovnik	RCP4.5	EC	0,68	9,71	0,022	0,0019	0,82	2858,00	112750,00	8,51
Dubrovnik	RCP4.5	MP	0,74	10,39	0,020	0,0022	0,86	2446,00	112750,00	7,28
Dubrovnik	RCP4.5	HA	1,28	11,42	0,035	0,0017	1,13	3588,00	112750,00	10,68
Dubrovnik	RCP8.5	MP	1,09	10,58	0,029	0,0022	1,04	2924,00	112750,00	8,71
Dubrovnik	RCP8.5	EC	1,12	9,98	0,030	0,0021	1,06	3190,00	112750,00	9,50
Dubrovnik	RCP8.5	HA	2,05	11,65	0,044	0,0022	1,43	3546,00	112750,00	10,56

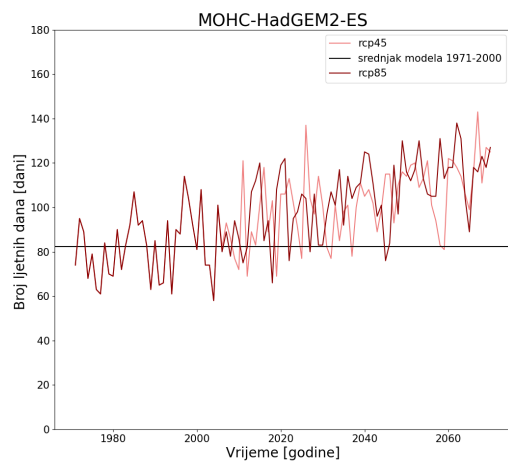
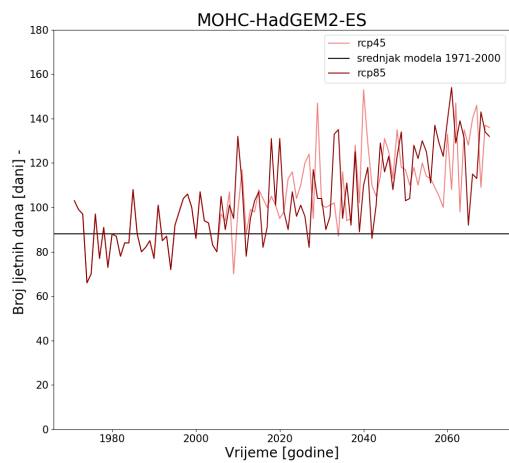
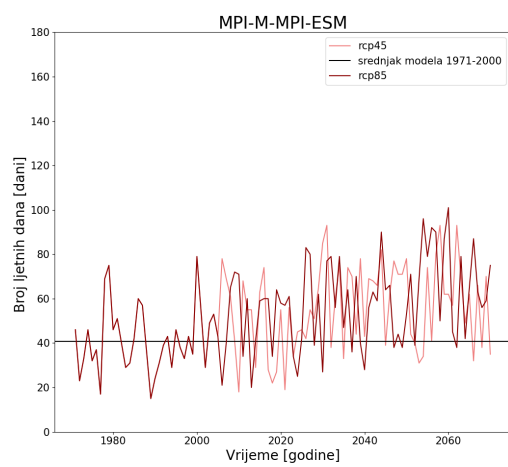
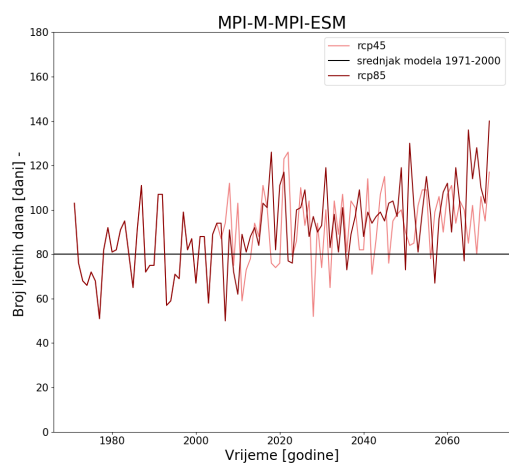
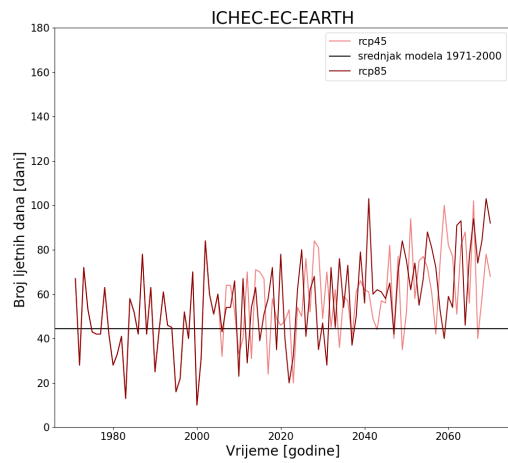
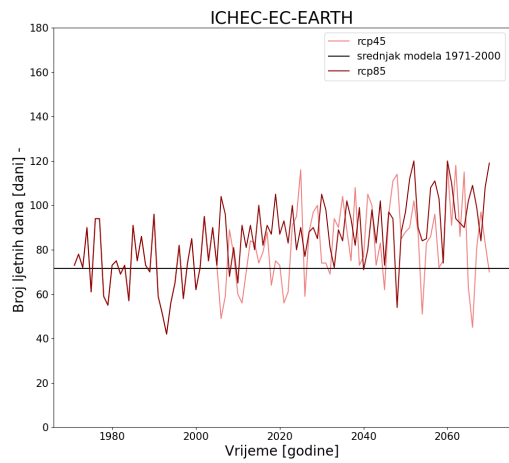
Na slikama 3.5. i 3.6. ponovno je vidljivo linearno povećanje minimalne dnevne temperature zraka u vremenu. Godišnja stopa porasta minimalne temperature opet je nešto veća za Zagreb nego za Dubrovnik. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,023 i 0,042 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,017 i 0,038 °C/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,034 i 0,049 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,026 i 0,046 °C/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,021 i 0,039 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,022 i 0,035 °C/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,028 i 0,046 °C/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,029 i 0,044 °C/god. što je vidljivo i iz tablica 3.3. i 3.4. Srednjak referentnog razdoblja je također veći za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 13,85

i 15,42 °C; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 8,96 i 10,17 °C) nego za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 5,52 i 6,92 °C; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 6,32 i 7,50 °C). Srednjaci referentnog razdoblja modela su niži od srednjaka izmjerenih podataka za CLMcom-CCLM4-8-17 model za Dubrovnik te za RegCM4 model forsiran MPI-ESM modelom za Dubrovnik te modelom EC-EARTH za Zagreb. RCM CLMcom-CCLM4-8-17 forsiran HadGEM2-ES globalnim modelom ponovno je rezultirao podacima koji pokazuju najveće poraste u maksimalnoj temperaturi ali i najveće varijance za razliku od EC-EARTH i MPI-ESM koji su usporedivi. Rezultati oba regionalna modela relativno su usporedivi s time da CLMcom-CCLM4-8-17 model ima neznatno niže srednjake za Dubrovnik, ali više za Zagreb. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni.

Za sve tri temperature, trend porasta je vrlo sličan što se i očekivalo. Isto tako stopa porasta temperatura blago je manja za Dubrovnik što se objašnjava njegovom lokacijom i maritimnim utjecajem na njega.

3.4. Broj ljetnih dana po vremenskom razdoblju

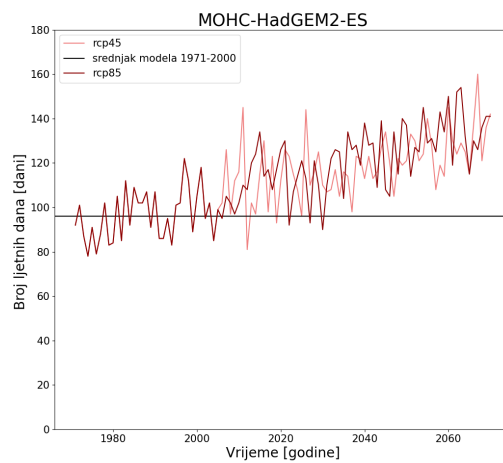
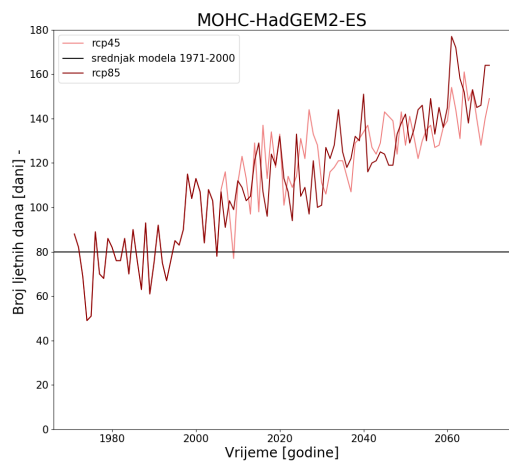
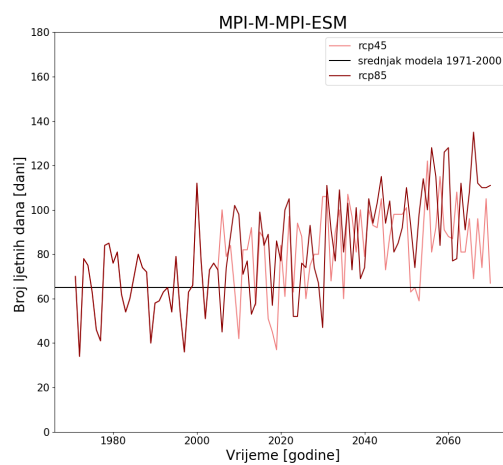
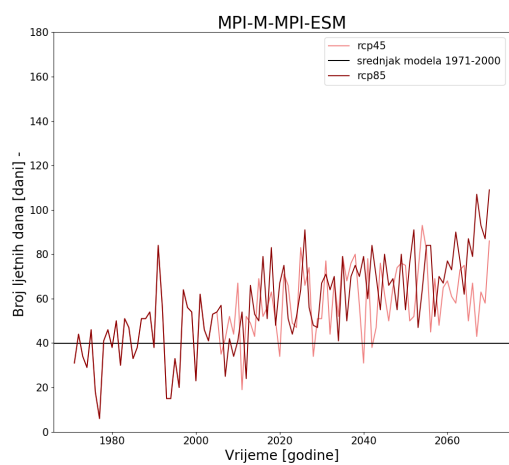
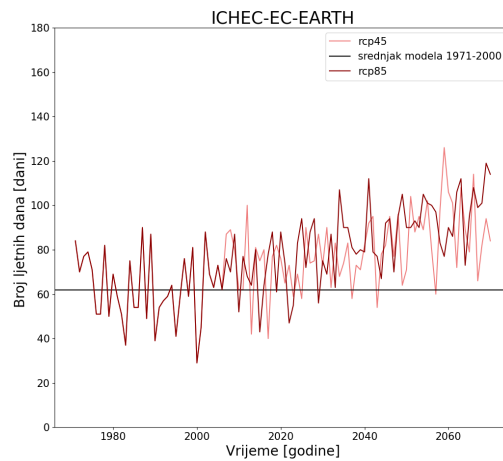
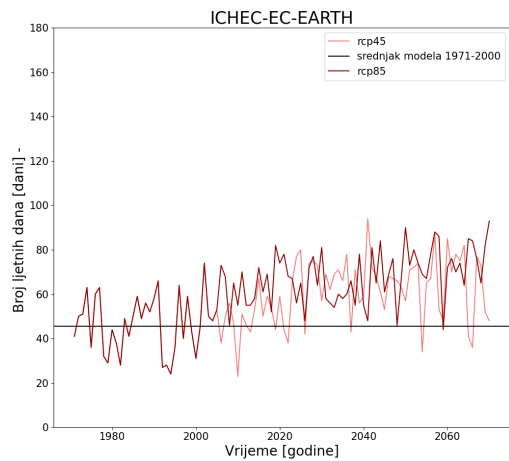
Na slikama 3.7. i 3.8. prikazani su vremenski nizovi broja ljetnih dana u razdoblju od 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5. U lijevom stupcu su rezultati dobiveni RegCM4 modelom forsirani (odozgo prema dolje) globalnim modelima EC-EARTH, MPI-ESM, te HadGEM2-ES. U desnom stupcu su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom. Crnom bojom prikazan je vremenski srednjak modeliranih indeksa za referentno razdoblje (1971. – 2000.).



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.7. Broj ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.8. Broj ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. za Dubrovnik.

Tablica 3.7. Broj ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 br.dana ²	\bar{X} br.dana	a br.dana/god.	$s(a)$ br.dana	σ br.dana	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	45	EC	289,71	79,51	0,21	0,056	17,02	1169,00	112576,33	3,48
Zagreb	45	MP	270,58	88,91	0,23	0,052	16,45	1411,00	112641,67	4,20
Zagreb	45	HA	345,18	104,02	0,47	0,045	18,58	2684,00	112657,33	7,99
Zagreb	85	EC	259,17	85,05	0,32	0,046	16,10	1972,00	112624,67	5,87
Zagreb	85	MP	335,71	91,37	0,34	0,054	18,32	1902,00	112654,00	5,66
Zagreb	85	HA	374,89	103,97	0,48	0,048	19,36	2511,00	112668,33	7,48 1
Dubrovnik	45	EC	238,80	56,04	0,27	0,047	15,45	1715,00	112647,00	5,11
Dubrovnik	45	MP	313,07	53,22	0,34	0,051	17,69	1901,00	112647,00	5,66
Dubrovnik	45	HA	686,76	110,98	0,80	0,043	26,21	3405,00	112692,33	10,14
Dubrovnik	85	EC	246,41	60,55	0,36	0,041	15,70	2331,00	112653,67	6,94
Dubrovnik	85	MP	428,80	57,40	0,52	0,050	20,71	2657,00	112633,67	7,91
Dubrovnik	85	HA	793,00	111,34	0,88	0,042	28,16	3615,00	112696,33	10,77

Tablica 3.8. Broj ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.7. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

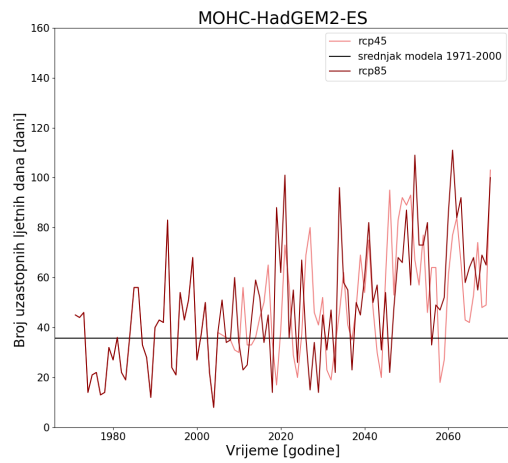
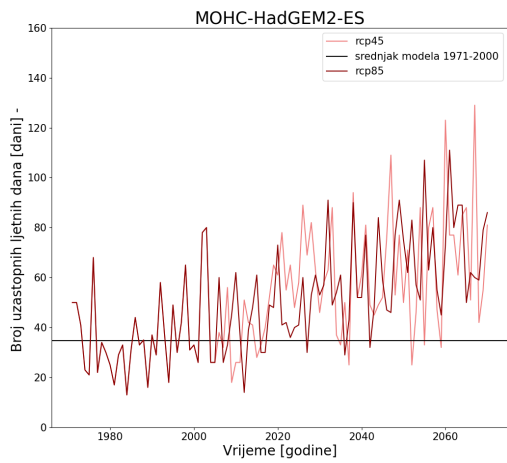
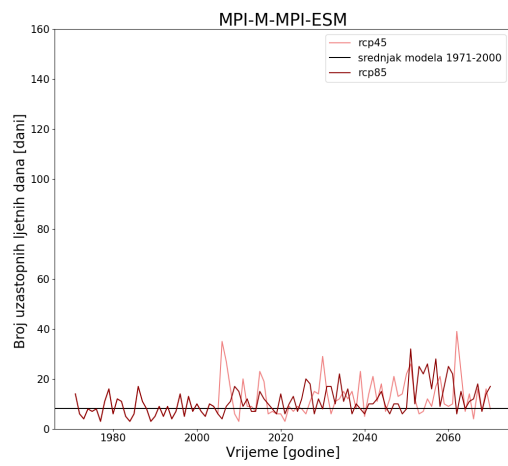
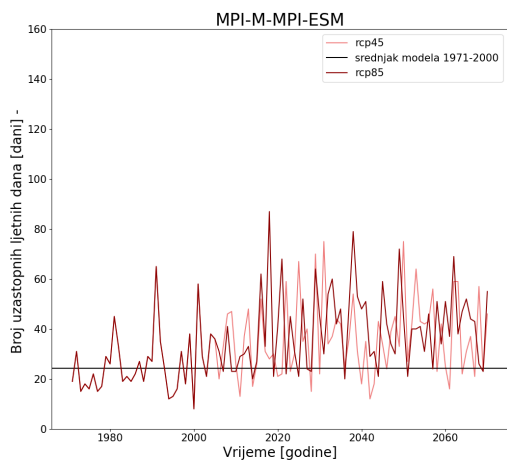
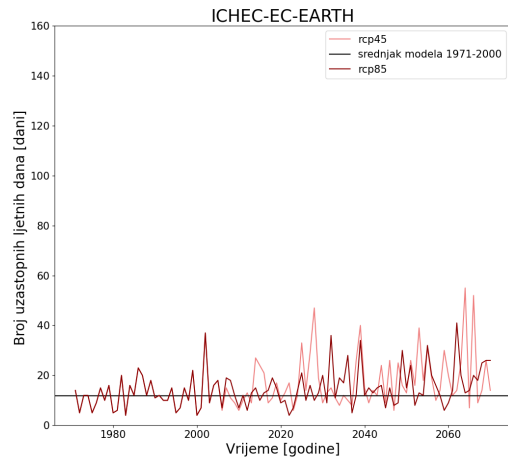
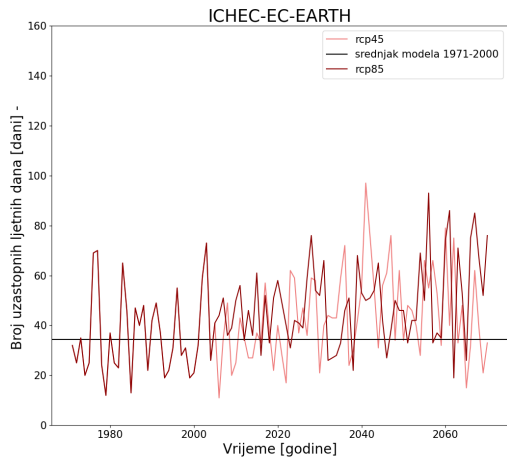
Grad	RCP	GCM	σ^2 br.dana ²	\bar{X} br.dana	a br.dana/god.	$s(a)$ br.dana	σ br.dana	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	EC	357,61	55,03	0,29	0,059	18,91	1398,00	112633,33	4,16
Zagreb	RCP4.5	HA	340,19	95,25	0,41	0,050	18,44	2229,00	112653,00	6,64
Zagreb	RCP4.5	MP	360,26	51,17	0,26	0,061	18,98	1287,00	112651,00	3,83
Zagreb	RCP8.5	EC	404,45	56,01	0,35	0,061	20,11	1681,00	112649,00	5,01
Zagreb	RCP8.5	HA	369,96	96,94	0,46	0,049	19,23	2432,00	112667,33	7,24
Zagreb	RCP8.5	MP	386,83	52,52	0,33	0,060	19,67	1597,00	112662,33	4,75
Dubrovnik	RCP4.5	EC	324,11	74,01	0,33	0,053	18,00	1809,00	112649,00	5,39
Dubrovnik	RCP4.5	HA	287,11	111,03	0,43	0,041	16,94	2664,00	112632,00	7,93
Dubrovnik	RCP4.5	MP	369,15	77,49	0,33	0,058	19,21	1668,00	112660,00	4,97
Dubrovnik	RCP8.5	EC	367,41	76,36	0,44	0,050	19,17	2387,00	112638,33	7,11
Dubrovnik	RCP8.5	HA	333,75	112,92	0,50	0,039	18,27	2970,00	112638,00	8,85
Dubrovnik	RCP8.5	MP	502,57	81,78	0,51	0,059	22,42	2276,00	112660,67	6,78

Na slikama 3.7. i 3.8. vidi se uzlazni trend broja ljetnih dana za sve modele za oba grada. Godišnja stopa porasta broja ljetnih dana veća je za Dubrovnik nego za Zagreb. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,27 i 0,80 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,33 i 0,43 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,36 i 0,88 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,44 i 0,51 br.dana/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,21 i 0,47 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,26 i 0,41 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,32 i 0,48 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,33 i 0,46 br.dana/god. što je vidljivo i iz tablica 3.7. i 3.8. Srednjaci referentnog razdoblja CLMcom-CCLM4-8-17 modela su niži od srednjaka RegCM4 modela za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 71,6 i 88,17 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 40,83 i 82,27 br.dana) ali je situacija obrnuta za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 39,87 i 80,00 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 61,93 i 95,93

br.dana). Rezultati dobiveni RCM-ovima forsiranim HadGEM2-ES globalnim modelom ponovno pokazuju najveće poraste u broju ljetnih dana. Također se može primjetiti da CLMcom-CCLM4-8-17 za gotovo sve globalne modele i indekse ima manji srednjak SU-a za Zagreb ali zato veći za Dubrovnik od RegCM4. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni.

3.5. Broj uzastopnih ljetnih dana

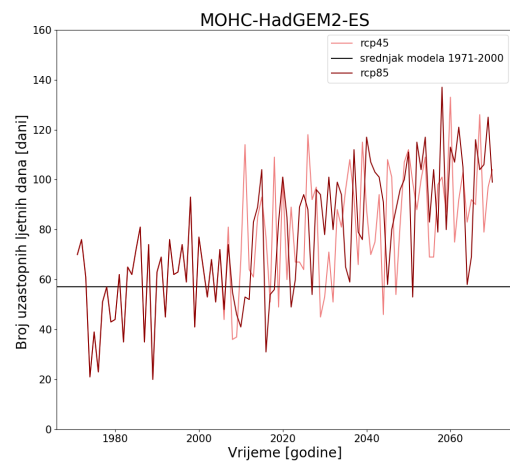
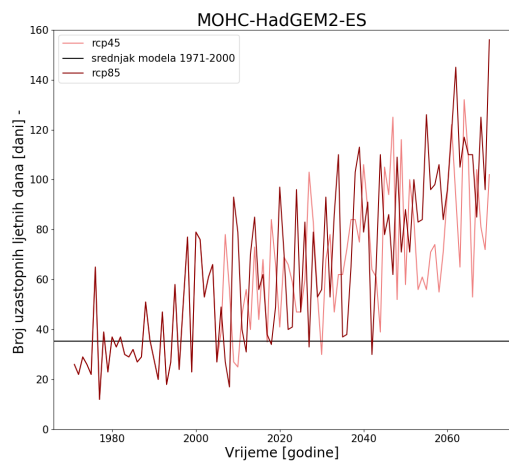
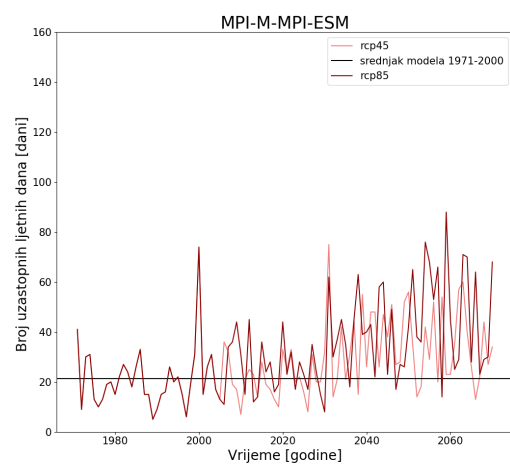
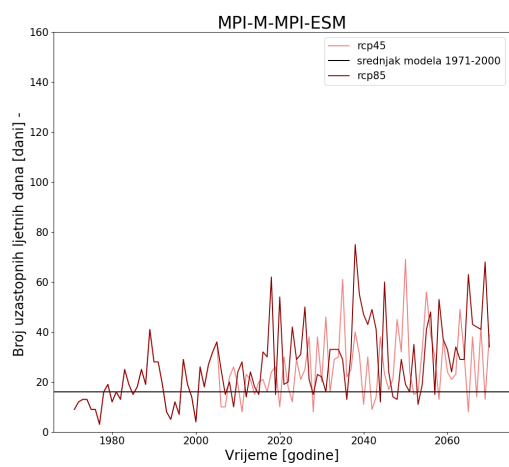
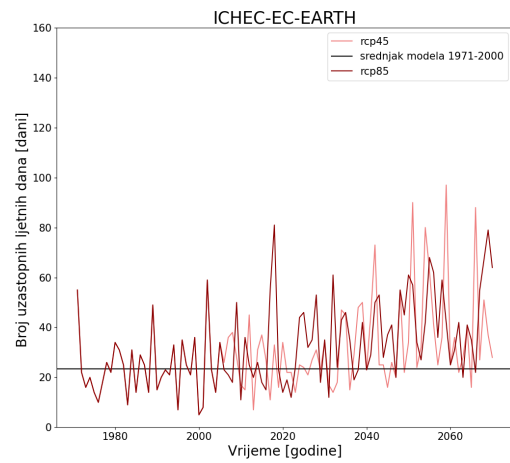
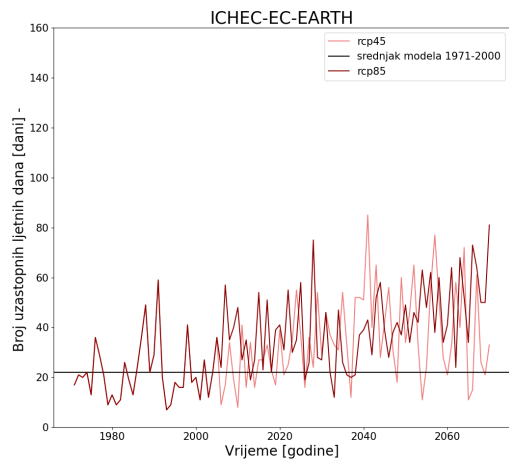
Na slikama 3.9. i 3.10. prikazani su vremenski nizovi CSU u razdoblju 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5. U lijevom stupcu su pokazani rezultati dobiveni RegCM4 modelom, a u desnom stupcu su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom. Crnom bojom prikazan je vremenski srednjak modeliranih indeksa za referentno razdoblje (1971. – 2000.).



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.9. Broj uzastopnih ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.10. Broj uzastopnih ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. za Dubrovnik.

Tablica 3.9. Broj uzastopnih ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 [br.dana ²]	\bar{X} [br.dana]	a [br.dana/god.]	$s(a)$ [br.dana]	σ [br.dana]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	45	EC	309,59	41,31	0,18	0,059	1026,00	112646,00	17,60	3,05
Zagreb	45	MP	232,53	33,01	0,19	0,050	1301,00	112629,67	15,25	3,87
Zagreb	45	HA	570,74	51,23	0,47	0,069	1949,00	112641,67	23,89	5,80
Zagreb	85	EC	305,34	44,28	0,25	0,056	1348,00	112647,33	17,47	4,01
Zagreb	85	MP	256,26	35,40	0,25	0,050	1734,00	112603,33	16,01	5,16
Zagreb	85	HA	468,57	50,47	0,48	0,058	2259,00	112668,33	21,65	6,73
Dubrovnik	45	EC	289,85	31,05	0,27	0,053	1554,00	112615,33	17,02	4,63
Dubrovnik	45	MP	154,82	23,02	0,19	0,039	1509,00	112584,33	12,44	4,49
Dubrovnik	45	HA	742,62	59,32	0,67	0,067	2514,00	112686,67	27,25	7,49
Dubrovnik	85	EC	283,23	34,31	0,35	0,047	2178,00	112652,00	16,83	6,49
Dubrovnik	85	MP	225,64	26,61	0,27	0,045	1932,00	112542,00	15,02	5,76
Dubrovnik	85	HA	1084,31	64,45	0,89	0,072	2876,00	112680,00	32,93	8,56

Tablica 3.10. Broj uzastopnih ljetnih dana u razdoblju 1971. – 2070. CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.9. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

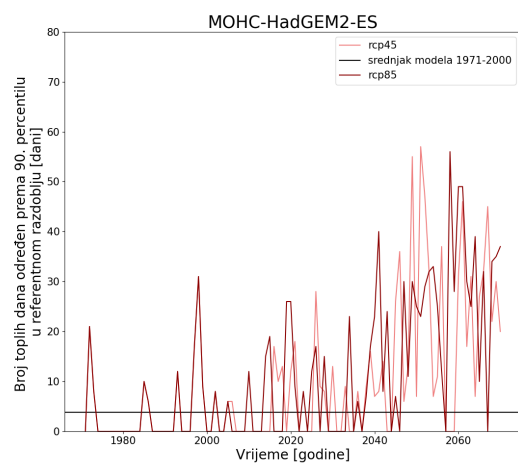
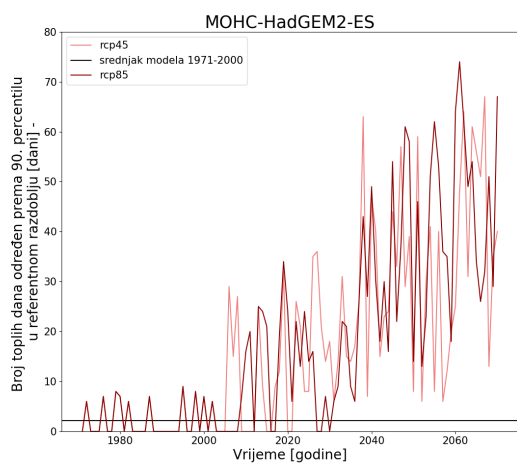
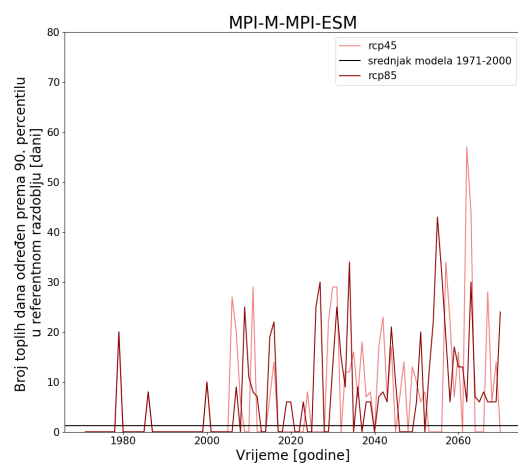
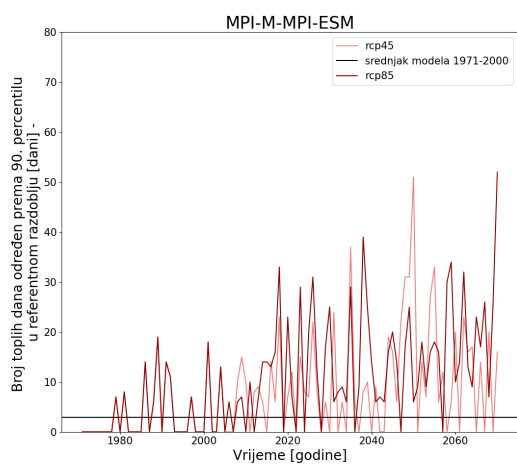
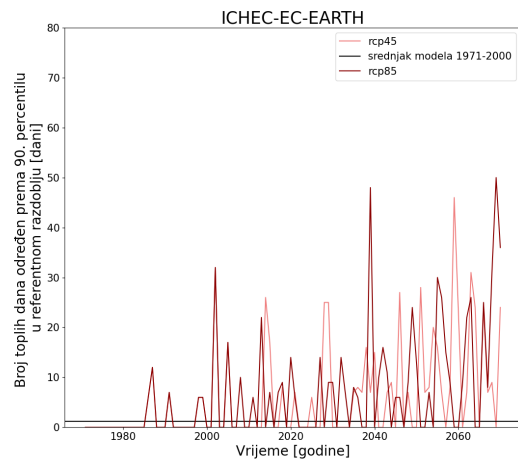
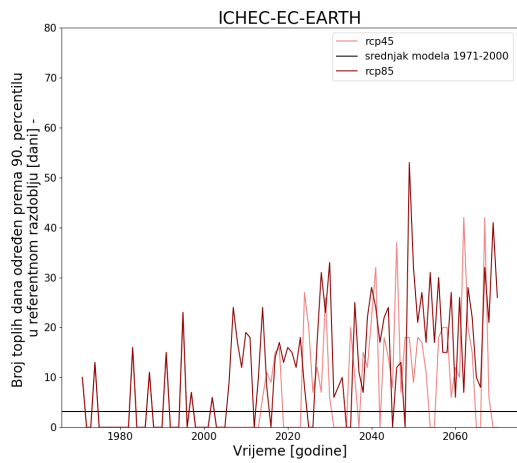
Grad	RCP	GCM	σ^2 [br.dana ²]	\bar{X} [br.dana]	a [br.dana/god.]	$s(a)$ [br.dana]	σ [br.dana]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	EC	98,90	16,02	0,12	0,032	9,94	1099,00	112343,00	3,28
Zagreb	RCP4.5	HA	451,34	45,96	0,38	0,064	21,24	1701,00	112685,00	5,06
Zagreb	RCP4.5	MP	47,26	11,42	0,07	0,023	6,87	1158,00	112130,67	3,46
Zagreb	RCP8.5	EC	56,01	14,51	0,08	0,025	7,48	1010,00	112230,00	3,01
Zagreb	RCP8.5	HA	552,17	47,95	0,45	0,069	23,50	1921,00	112673,00	5,72
Zagreb	RCP8.5	MP	33,52	11,11	0,09	0,018	5,79	1414,00	112044,67	4,22
Dubrovnik	RCP4.5	EC	306,00	30,20	0,23	0,057	17,49	1221,00	112543,00	3,64
Dubrovnik	RCP4.5	HA	583,71	74,44	0,52	0,066	24,16	2116,00	112696,67	6,30
Dubrovnik	RCP4.5	MP	209,61	27,16	0,21	0,046	14,48	1508,00	112565,33	4,49
Dubrovnik	RCP8.5	EC	283,83	32,52	0,28	0,052	16,85	1668,00	112598,67	4,97
Dubrovnik	RCP8.5	HA	652,76	75,91	0,60	0,065	25,55	2415,00	112692,33	7,19
Dubrovnik	RCP8.5	MP	333,34	31,39	0,34	0,054	18,26	1869,00	112605,67	5,57

Na slikama 3.9. i 3.10. vidi se uzlazni trend CSU za sve modele za oba grada. Godišnja stopa porasta CSU veća je za Dubrovnik nego za Zagreb. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,19 i 0,67 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,21 i 0,52 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,27 i 0,89 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,28 i 0,60 br.dana/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,18 i 0,47 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,07 i 0,38 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,25 i 0,48 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,08 i 0,45 br.dana/god. što je vidljivo i iz tablica 3.9. i 3.10. Srednjaci referentnog razdoblja CLMcom-CCLM4-8-17 modela su pretežito niži od srednjaka RegCM4 modela za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 24,3 i 34,8 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 8,23 i 35,77 br.dana) ali je situacija obrnuta za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 15,96 i 35,23 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 21,30 i 57,10 br.dana). Podaci do-

biveni RCM-ovima forsiranim HadGEM2-ES globalnim modelom ponovno pokazuju najveće poraste CSU ali zato imaju i daleko najveću varijancu od 3 globalna modela. Također se može primjetiti da CLMcom-CCLM4-8-17 za gotovo sve globalne modele i indekse ima manji srednjak CSU-a za Zagreb ali zato veći za Dubrovnik od RegCM4. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni. U dodatku A prikazan je godišnji broj epizoda kada je broj uzastopnih ljetnih dana trajao više od 5 dana u razdoblju 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Iako se na ostalim grafovima ne primjećuju znatne promjene u vremenu model CLMcom-CCLM4-8-17 forsiran modelima MPI-ESM te EC-EARTH, te RegCM4 forsiran MPI-ESM modelom pokazuju blagi porast broja uzastopnih ljetnih razdoblja s više od 5 dana.

3.6. Broj toplih dana određen prema 90. percentilu u referentnom razdoblju

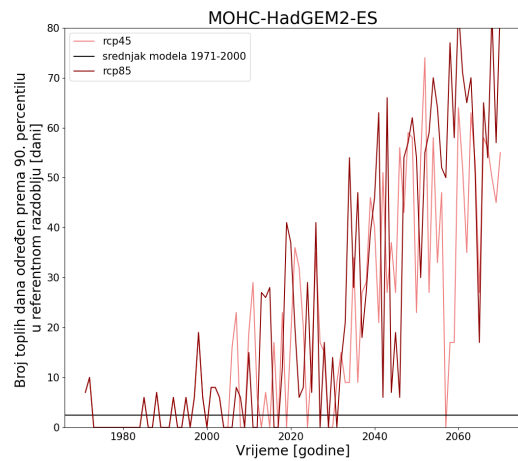
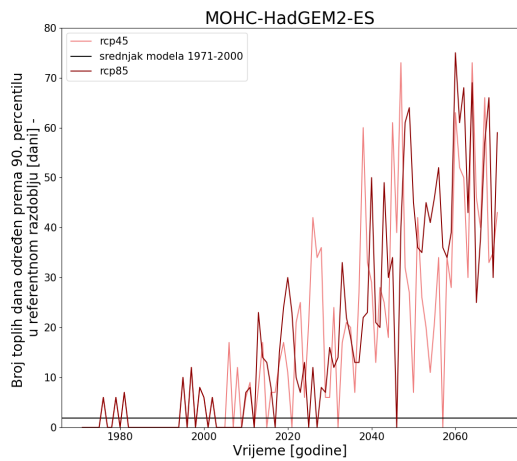
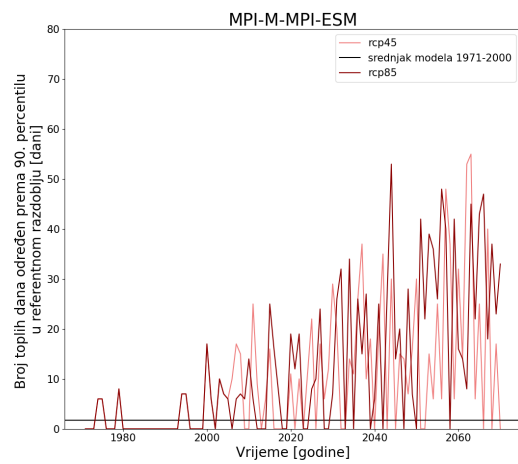
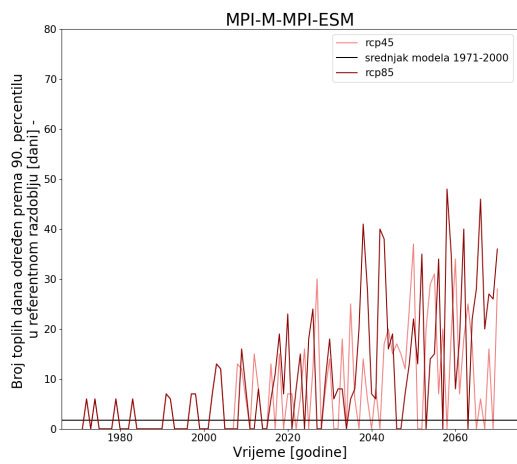
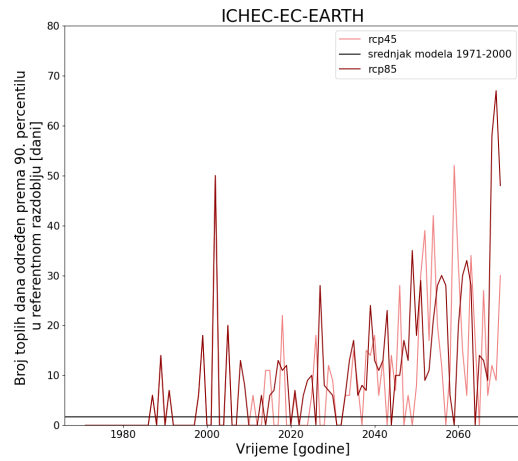
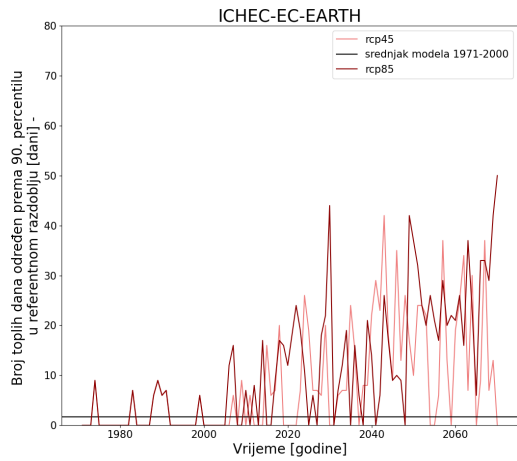
Na slikama 3.11. i 3.12. prikazan je broj toplih dana, određen prema 90. percentilu referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5.S u lijevom stupcu pokazani su rezultati dobiveni RegCM4 modelom, a u desnom su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom. Crnom bojom prikazan je vremenski srednjak modeliranih indeksa za referentno razdoblje (1971. – 2000.).



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.11. Broj toplih dana, određen prema 90. percentilu referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.12. Broj toplih dana, određen prema 90. percentilu referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. za Dubrovnik.

Tablica 3.11. Broj toplih dana, određen prema 90. percentilu referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 [br.dana ²]	\bar{X} [br.dana]	a [br.dana/god.]	$s(a)$ [br.dana]	σ [br.dana]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	45	EC	99,46	7,60	0,15	0,031	9,97	1400,00	96609,33	4,50
Zagreb	45	MP	100,13	8,10	0,14	0,032	10,01	1304,00	102142,67	4,08
Zagreb	45	HA	344,37	16,81	0,46	0,045	18,56	2609,00	108489,67	7,92
Zagreb	85	EC	132,72	12,00	0,24	0,032	11,52	2073,00	107700,33	6,31
Zagreb	85	MP	118,71	10,48	0,21	0,032	10,90	2015,00	107591,67	6,14
Zagreb	85	HA	399,96	18,00	0,54	0,044	20,00	2803,00	108116,33	8,52
Dubrovnik	45	EC	113,74	8,38	0,21	0,031	10,66	1970,00	101348,00	6,18
Dubrovnik	45	MP	87,22	7,76	0,17	0,028	9,34	1664,00	101368,67	5,22
Dubrovnik	45	HA	357,75	16,90	0,50	0,043	18,91	2933,00	108085,67	8,92
Dubrovnik	85	EC	155,14	11,04	0,31	0,031	12,46	2507,00	104716,33	7,74
Dubrovnik	85	MP	156,82	10,32	0,27	0,034	12,52	2184,00	104627,33	6,75
Dubrovnik	85	HA	433,34	18,38	0,59	0,041	20,82	3160,00	107307,33	9,64

Tablica 3.12. Broj toplih dana, određen prema 90. percentilu referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.11. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

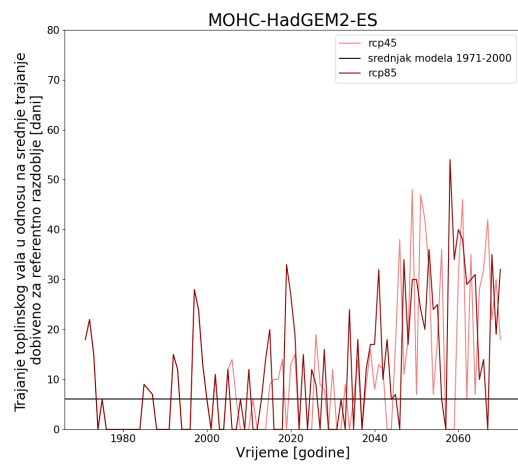
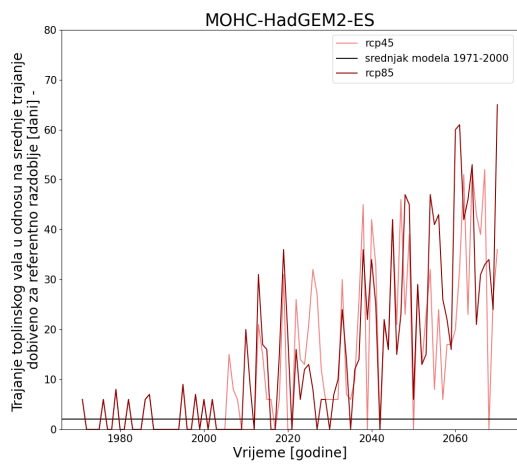
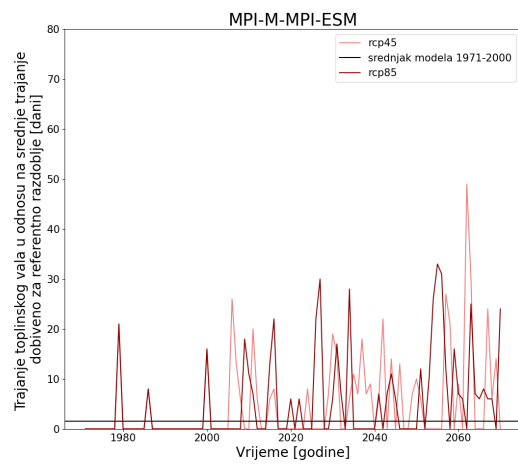
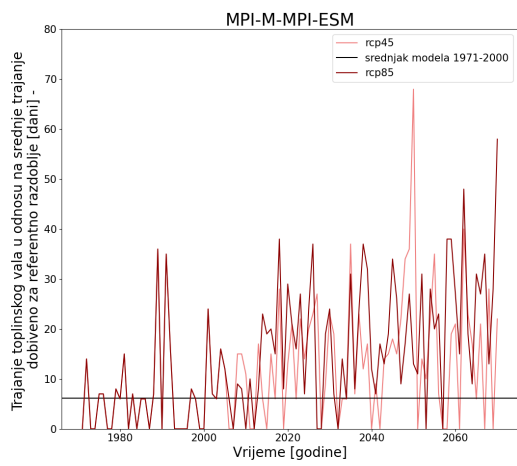
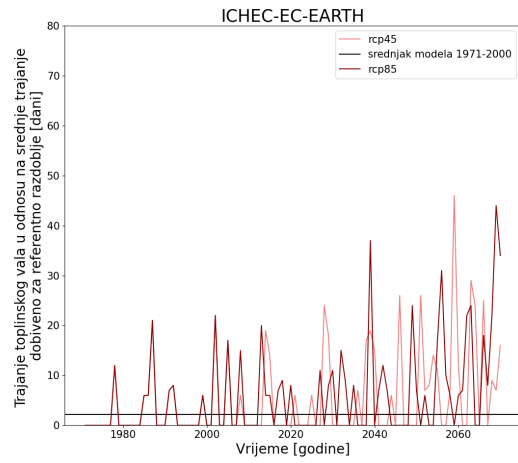
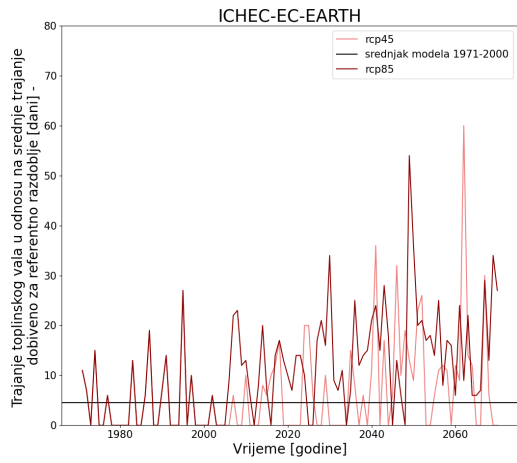
Grad	RCP	GCM	σ^2 [br.dana ²]	\bar{X} [br.dana]	a [br.dana/god.]	$s(a)$ [br.dana]	σ [br.dana]	M-K S	M-K S σ^2	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	EC	91,69	5,99	0,14	0,030	9,58	1470,00	87976,67	4,95
Zagreb	RCP4.5	HA	188,71	9,75	0,26	0,041	13,74	1699,00	98401,67	5,41
Zagreb	RCP4.5	MP	116,48	6,59	0,15	0,035	10,79	1252,00	86872,67	4,24
Zagreb	RCP8.5	EC	111,43	6,71	0,17	0,033	10,56	1536,00	92612,00	5,04
Zagreb	RCP8.5	HA	198,07	11,16	0,30	0,039	14,07	1974,00	99248,67	6,26
Zagreb	RCP8.5	MP	91,46	6,83	0,15	0,030	9,56	1647,00	96393,67	5,30
Dubrovnik	RCP4.5	EC	134,75	7,97	0,20	0,035	11,61	1884,00	96501,33	6,06
Dubrovnik	RCP4.5	HA	424,65	19,35	0,55	0,045	20,61	2802,00	108489,33	8,50
Dubrovnik	RCP4.5	MP	163,62	9,83	0,23	0,038	12,79	1720,00	102131,33	5,38
Dubrovnik	RCP8.5	EC	176,26	10,04	0,27	0,037	13,28	2383,00	104054,33	7,38
Dubrovnik	RCP8.5	HA	678,20	23,41	0,73	0,054	26,04	2975,00	108788,33	9,02
Dubrovnik	RCP8.5	MP	210,21	12,08	0,34	0,038	14,50	2251,00	104119,00	6,97

Na slikama 3.11. i 3.12. vidi se uzlazni trend HWFI za sve modele za oba grada. Godišnja stopa porasta HWFI veća je za Dubrovnik nego za Zagreb. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,17 i 0,50 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,20 i 0,55 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,27 i 0,59 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,27 i 0,73 br.dana/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,14 i 0,46 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,14 i 0,26 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,21 i 0,54 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,15 i 0,30 br.dana/god. što je vidljivo i iz tablica 3.11. i 3.12. Srednjaci referentnog razdoblja CLMcom-CCLM4-8-17 modela su pretežito niži od srednjaka RegCM4 modela za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 2,17 i 3,17 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 1,23 i 3,8 br.dana)

ali je situacija obrnuta za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 1,67 i 1,83 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 1,70 i 2,43 br.dana). Podaci dobiveni RCM-ovima forsiranim HadGEM2-ES globalnim modelom ponovno pokazuju najveće poraste HWFI ali zato imaju i daleko najveću varijancu od 3 globalna modela. Također se može primjetiti da CLMcom-CCLM4-8-17 za gotovo sve globalne modele i indekse ima manji srednjak HWFI-a za Zagreb ali zato veći za Dubrovnik od RegCM4. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni. U dodatku B prikazani su vremenski nizovi broja toplih razdoblja s više od 6 dana za vremensko razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Na svim grafovima primjećuje se znatan porast broja toplih razdoblja s više od 6 dana.

3.7. Trajanje toplinskog vala u odnosu na srednje trajanje dobiveno za referentno razdoblje

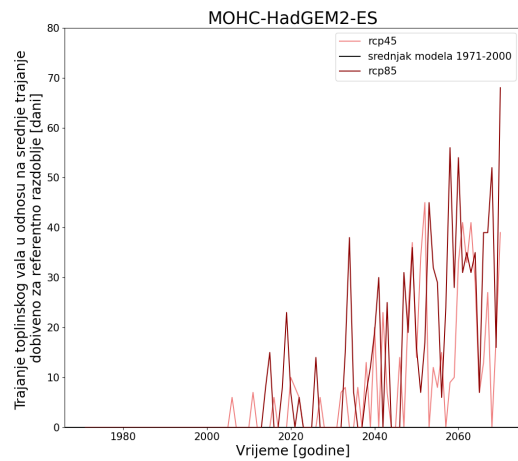
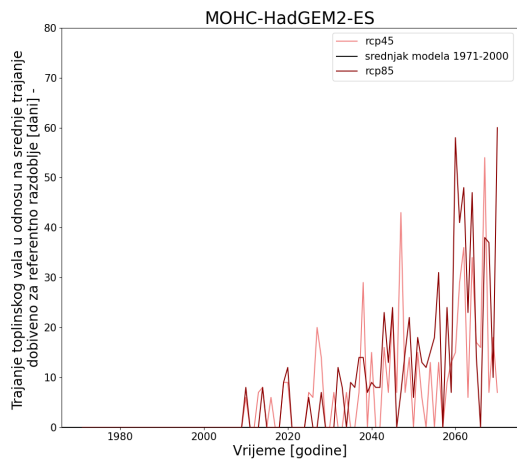
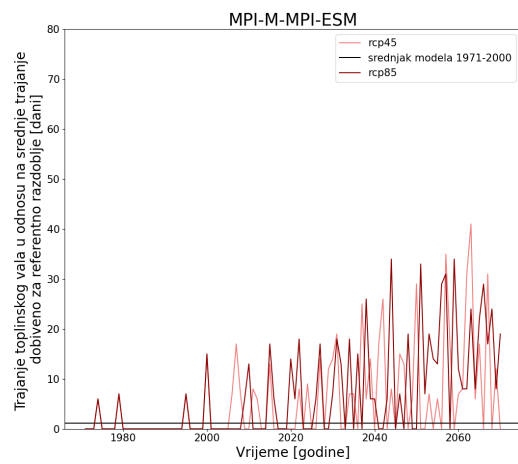
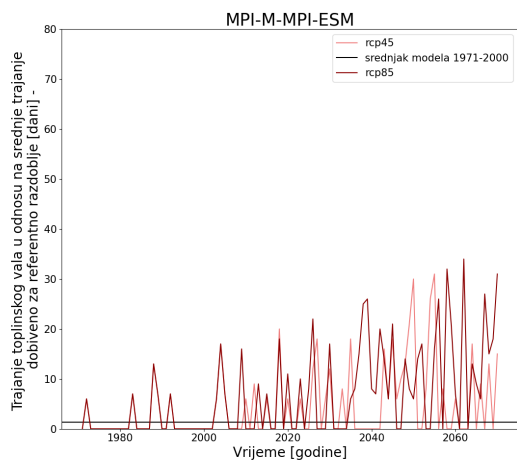
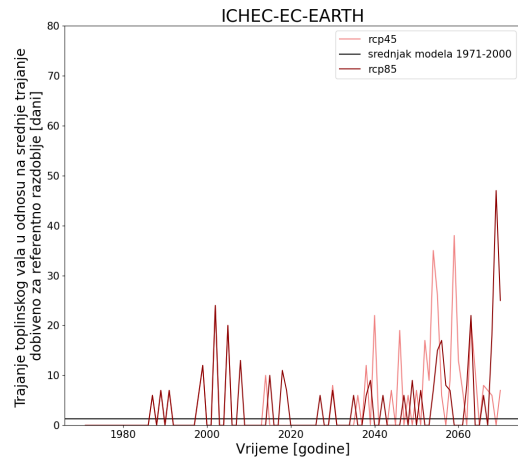
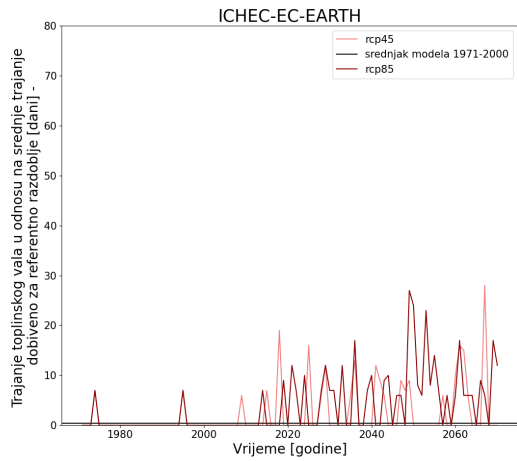
Na slikama 3.13. i 3.14. prikazani su vremenski nizovi trajanja toplinskog vala, određeni prema srednjem trajanju referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5. U lijevom stupcu pokazani su rezultati dobiveni RegCM4 modelom, a u desnom stupcu su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom. Crnom bojom prikazan je vremenski srednjak modeliranih indeksa za referentno razdoblje (1971. – 2000.).



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.13. Trajanje toplinskog vala, određeno prema srednjem trajanju referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.14. Trajanje toplinskog vala, određeno prema srednjem trajanju referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. za Dubrovnik.

Tablica 3.13. Trajanje toplinskog vala, određeno prema srednjem trajanju referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. RegCM4. Statistička analiza rezultata RegCM4 modela za odabrane gradove i RCP scenarije forsiranog s 3 različita GCM sastoji se od varijance (σ^2), srednjaka (\bar{X}), nagiba linearne regresije (a), standardne pogreške nagiba ($s(a)$), standardne devijacije (σ), Mann-Kendallove statistike (S), njezine varijance ($S\sigma^2$) te Mann-Kendallove statistike testa (Z).

Grad	RCP	GCM	σ^2 [br.dana ²]	\bar{X} [br.dana]	a [br.dana/god.]	$s(a)$ [br.dana]	σ [br.dana]	M-K S	M-K $S \sigma^2$	M-K Z
Zagreb	45	EC	97,18	6,80	0,10	0,033	9,86	842,00	96522,67	2,71
Zagreb	45	MP	147,10	11,83	0,15	0,040	12,13	1194,00	109009,33	3,61
Zagreb	45	HA	219,70	13,00	0,35	0,038	14,82	2357,00	106833,67	7,21
Zagreb	85	EC	106,90	11,02	0,18	0,031	10,34	1772,00	109419,33	5,35
Zagreb	85	MP	167,15	14,69	0,24	0,038	12,93	1951,00	111122,33	5,85
Zagreb	85	HA	277,32	14,33	0,43	0,039	16,65	2647,00	106748,33	8,10
Dubrovnik	45	EC	25,56	2,32	0,05	0,017	5,06	735,00	58987,00	3,02
Dubrovnik	45	MP	51,89	4,50	0,08	0,024	7,20	924,00	84175,33	3,18
Dubrovnik	45	HA	101,17	5,82	0,21	0,028	10,06	2099,00	86771,00	7,12
Dubrovnik	85	EC	34,88	3,77	0,11	0,018	5,91	1597,00	84118,33	5,50
Dubrovnik	85	MP	78,84	6,58	0,16	0,026	8,88	1654,00	94687,33	5,37
Dubrovnik	85	HA	171,33	7,71	0,31	0,034	13,09	2511,00	89312,33	8,40

Tablica 3.14. Trajanje toplinskog vala, određeno prema srednjem trajanju referentnog razdoblja, za razdoblje 1971. – 2070. CLMcom-CCLM4-8-17. Isto kao u Tablici 3.13. ali za CLMcom-CCLM4-8-17.

Grad	RCP	GCM	σ^2 [br.dana ²]	\bar{X} [br.dana]	a [br.dana/god.]	$s(a)$ [br.dana]	σ [br.dana]	M-K S	M-K $S \sigma^2$	M-K Z
Zagreb	RCP4.5	EC	78,25	5,29	0,10	0,029	8,85	952,00	82890,00	3,30
Zagreb	RCP4.5	HA	159,91	10,56	0,21	0,039	12,65	1419,00	104731,67	4,38
Zagreb	RCP4.5	MP	75,17	4,95	0,10	0,029	8,67	1026,00	81489,33	3,59
Zagreb	RCP8.5	EC	84,67	5,87	0,13	0,030	9,20	1143,00	90406,33	3,80
Zagreb	RCP8.5	HA	160,45	11,74	0,23	0,038	12,67	1681,00	105291,00	5,18
Zagreb	RCP8.5	MP	71,14	5,04	0,11	0,028	8,43	1242,00	82859,33	4,31
Dubrovnik	RCP4.5	EC	58,31	3,99	0,10	0,025	7,64	1193,00	75399,00	4,34
Dubrovnik	RCP4.5	HA	128,81	6,37	0,25	0,031	11,35	2058,00	81518,00	7,20
Dubrovnik	RCP4.5	MP	79,60	5,60	0,14	0,028	8,92	1358,00	88048,00	4,57
Dubrovnik	RCP8.5	EC	52,55	3,65	0,08	0,024	7,25	949,00	75363,00	3,45
Dubrovnik	RCP8.5	HA	248,15	9,87	0,39	0,039	15,75	2394,00	86899,33	8,12
Dubrovnik	RCP8.5	MP	90,44	6,72	0,20	0,027	9,51	1927,00	92619,67	6,33

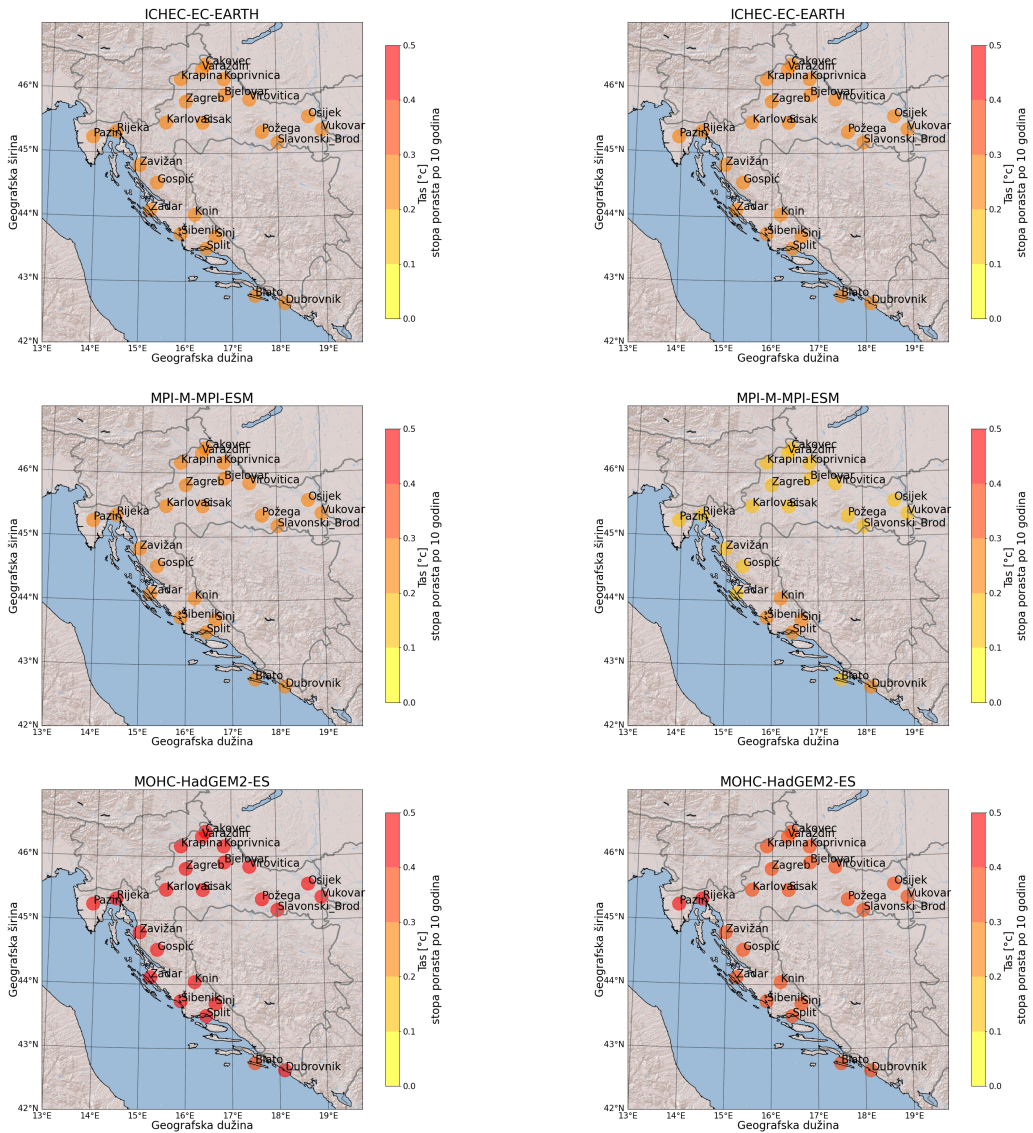
Na slikama 3.13. i 3.14. vidi se uzlazni trend HWDI za sve modele za oba grada. Godišnja stopa porasta HWDI u prosjeku je manja za Dubrovnik nego za Zagreb za RegCM4 model, no veća za CLMcom-CCLM4-8-17 što je vidljivo i iz tablica 3.13. i 3.14. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,05 i 0,21 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,10 i 0,25 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Dubrovnik za RegCM4 je između 0,11 i 0,31 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,08 i 0,39 br.dana/god. Za projekciju RCP4.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,10 i 0,35 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,10 i 0,21 br.dana/god. Za RCP8.5 stopa porasta za Zagreb za RegCM4 je između 0,18 i 0,43 br.dana/god., a za CLMcom-CCLM4-8-17 između 0,11 i 0,23 br.dana/god. Srednjaci referentnog razdoblja CLMcom-CCLM4-8-17 modela su pretežito manji od srednjaka RegCM4 modela za Zagreb (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između

2,03 i 6,13 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 1,50 i 6,10 br.dana) ali je situacija obrnuta za Dubrovnik (RegCM4: \bar{X}_{ref} je između 0,00 i 1,33 br.dana; CLMcom-CCLM4-8-17: \bar{X}_{ref} je između 0,00 i 1,27 br.dana). Podaci dobiveni RCM-ovima forsiranim HadGEM2-ES globalnim modelom ponovno pokazuju najveće poraste HWDI ali zato imaju i daleko najveću varijancu od 3 globalna modela. Također se može primjetiti da CLMcom-CCLM4-8-17 za gotovo sve globalne modele i indekse ima manji srednjak HWDI-a za Zagreb ali zato veći za Dubrovnik od RegCM4. Rezultati Mann-Kendellovog testa pokazuju da su svi dobiveni trendovi za Zagreb i Dubrovnik ali i za ostale lokacije statistički značajni osim kod CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnog modela, EC-EARTH globalnog za Slavonski Brod, Zadar, Osijek, Vukovar i Blato. U dodatku C prikazani su vremenski nizovi broja toplinskih valova s više od 6 dana za razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Na svim grafovima primjećuje se znatan porast broja toplinskih valova s više od 6 dana.

Iz dobivenih statističkih obrada vidi se da su podaci regionalnih modela uglavnom usporedivi ali da globalni modeli dosta utječu na rezultate. Iako su modeli EC-EARTH i MPI-ESM usporedivi, rezultati RCM-ova forsiranim modelom HadGEM2-ES su se pokazali daleko najpesimističnijim te su RCM-ovi forsirani njime rezultirali najvećim porastima temperatura i indeksa ali zato i najvećim standardnim pogreškama te varijancom.

3.8. Trendovi

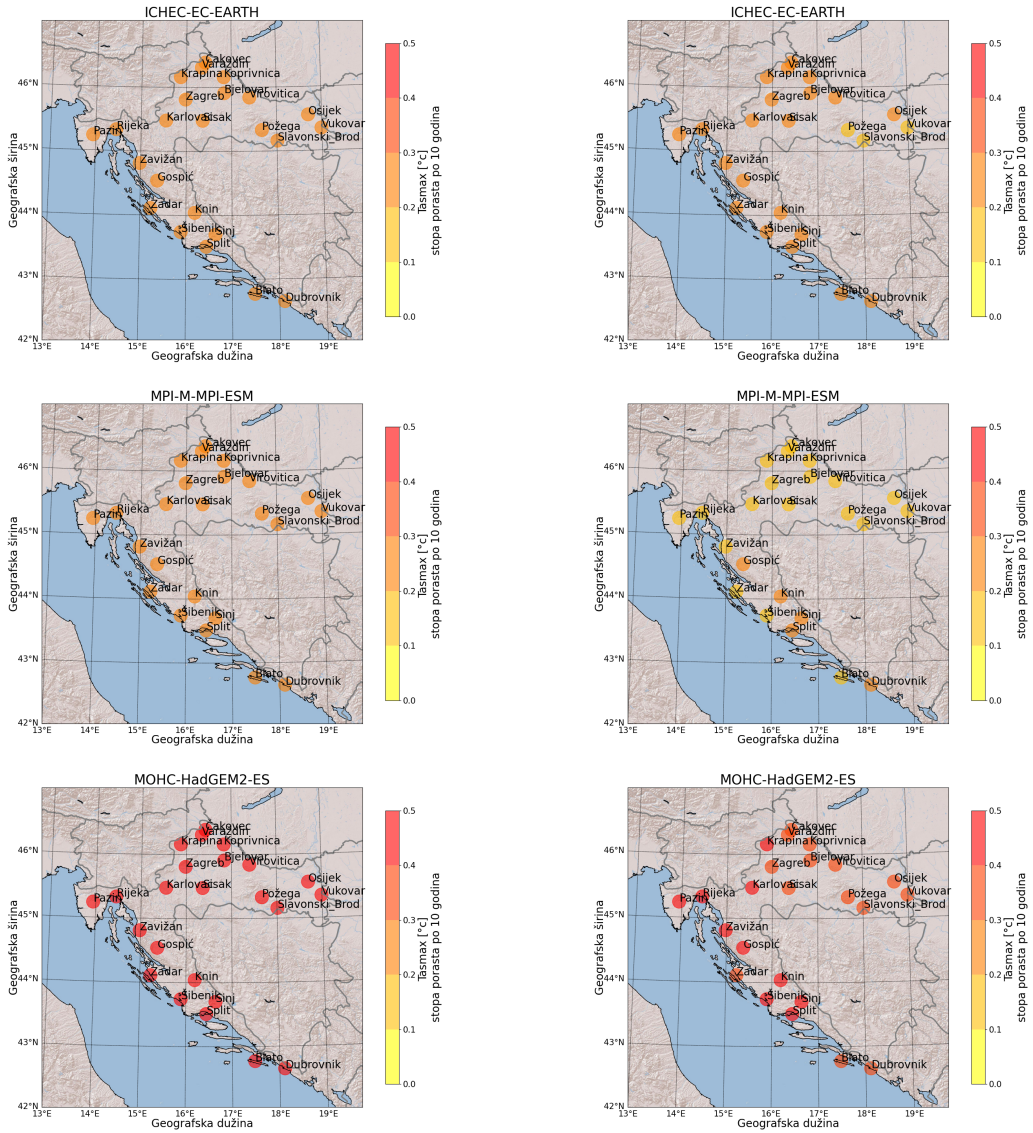
U nastavku su prikazane stope porasta godišnjeg srednjaka srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura te indeksa po 10 godina za sve 24 lokacije na području Hrvatske. Zbog same količine grafova u ovom radu prikazani su rezultati samo za projekciju RCP4.5.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

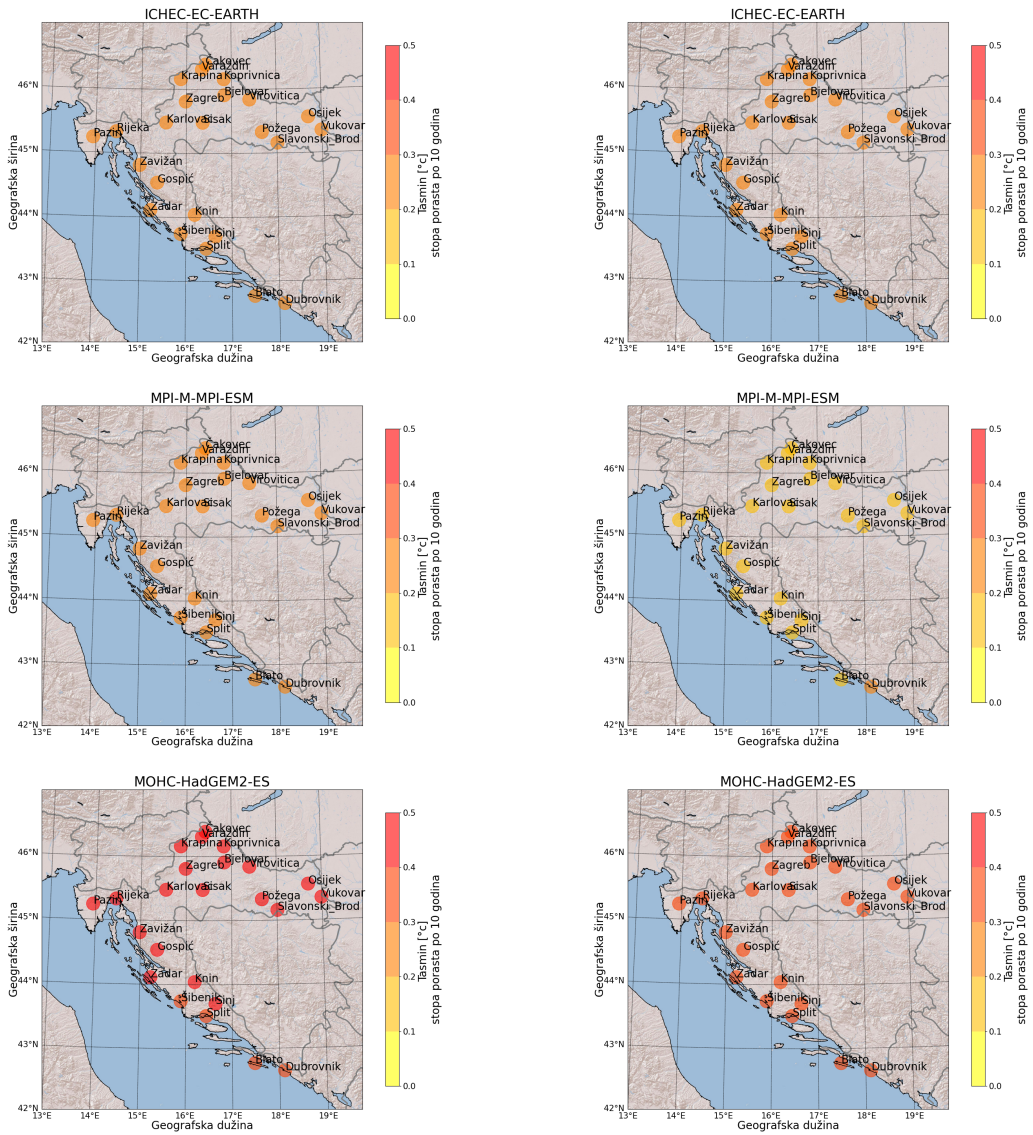
Slika 3.15. Stopa porasta godišnjeg srednjaka srednje dnevne temperature zraka po 10 godina (1971. – 2070.) RCP4.5.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

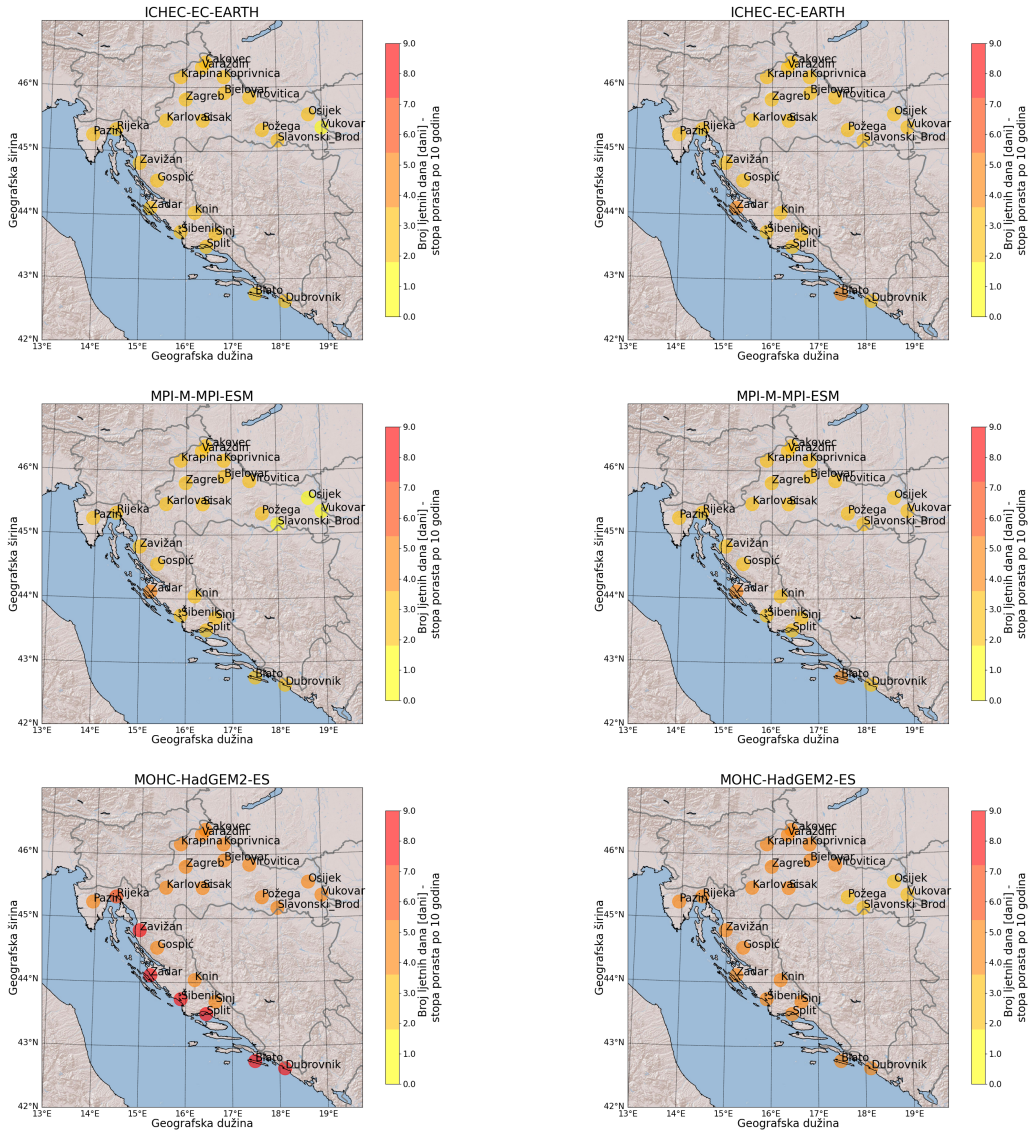
Slika 3.16. Stopa porasta godišnjeg srednjaka maksimalne dnevne temperature zraka po 10 godina (1971. – 2070.) RCP4.5.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

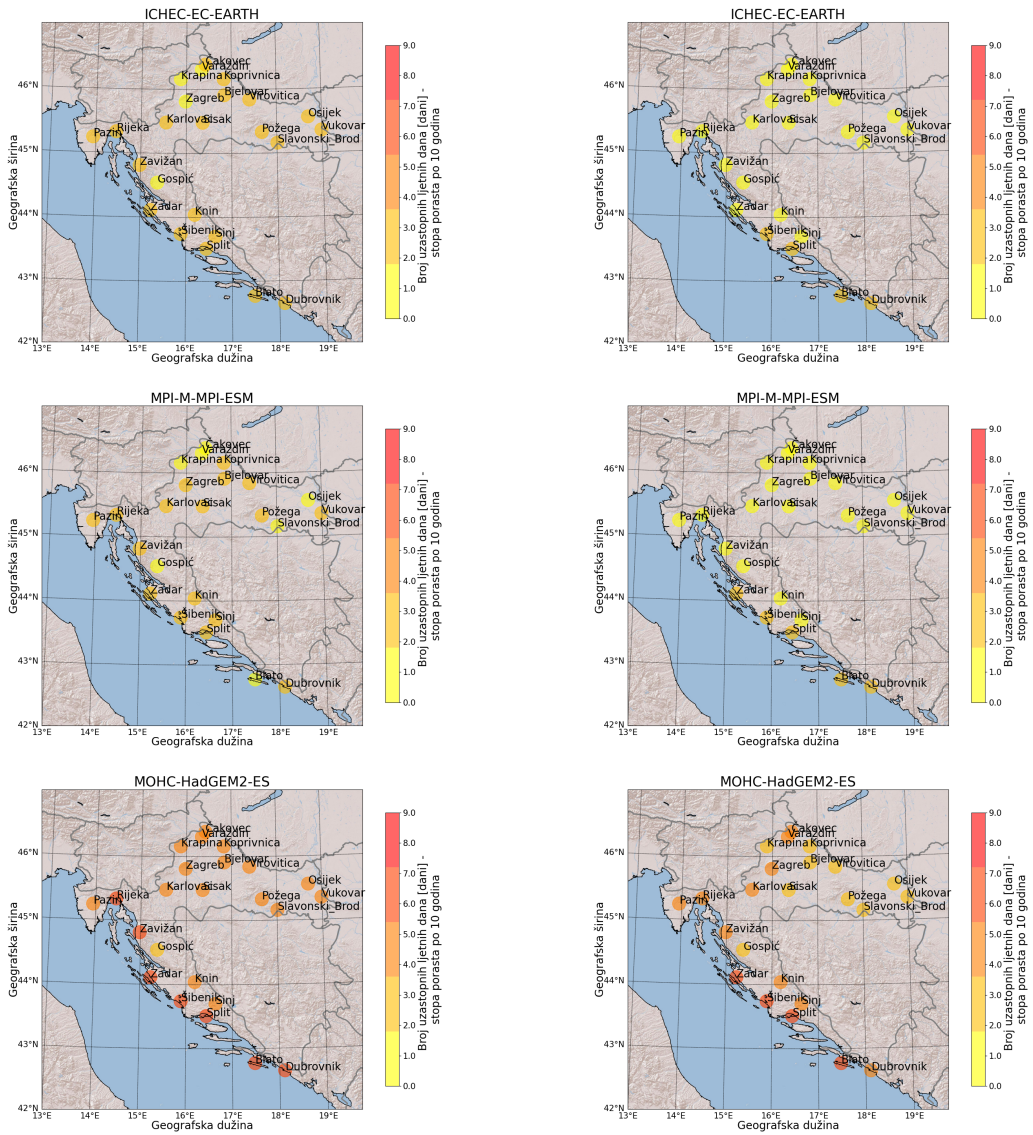
Slika 3.17. Stopa porasta godišnjeg srednjaka minimalne dnevne temperature zraka po 10 godina (1971. – 2070.) RCP4.5.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

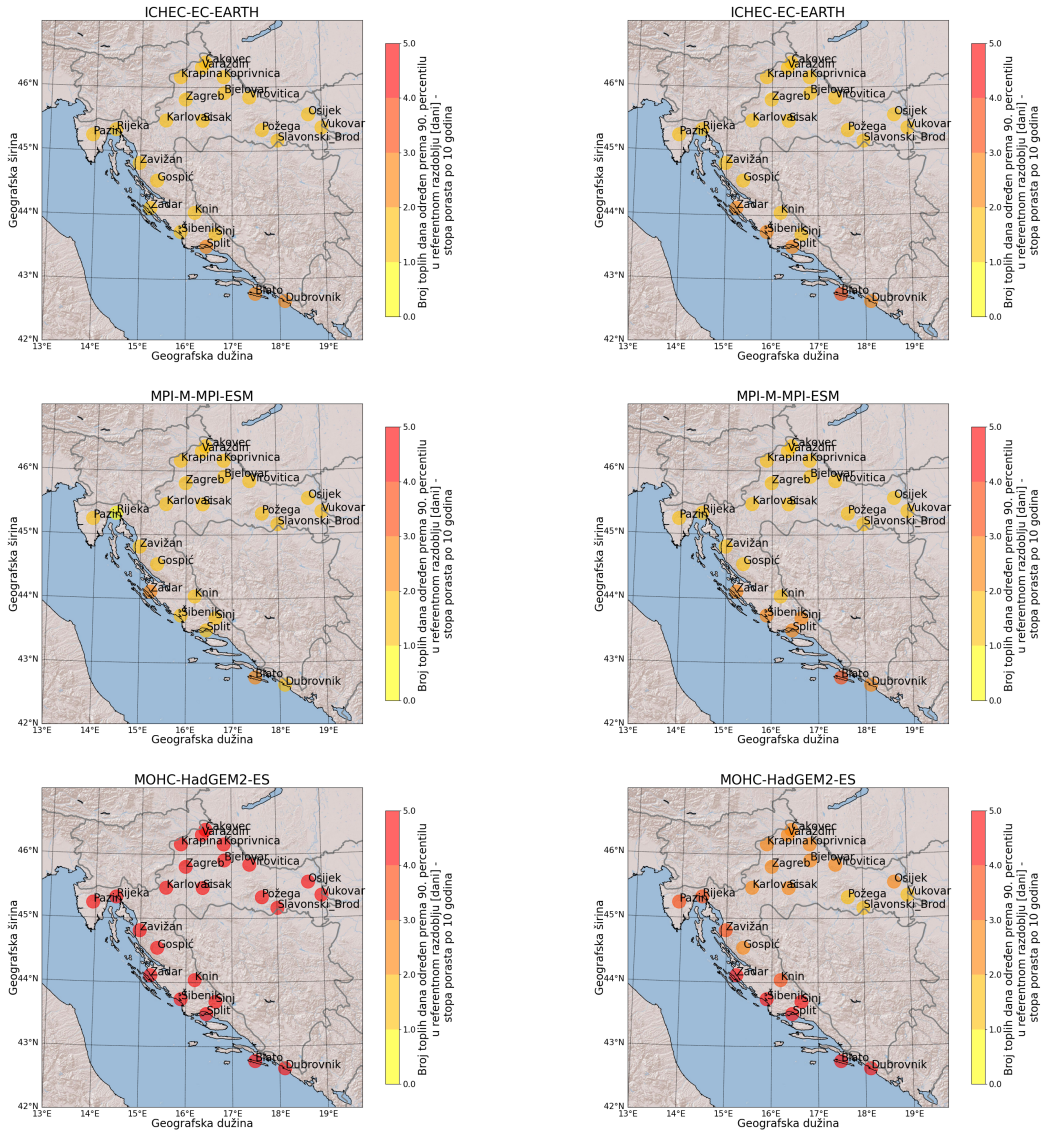
Slika 3.18. Stopa porasta broja ljetnih dana po 10 godina (1971. – 2070.) RCP4.5.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

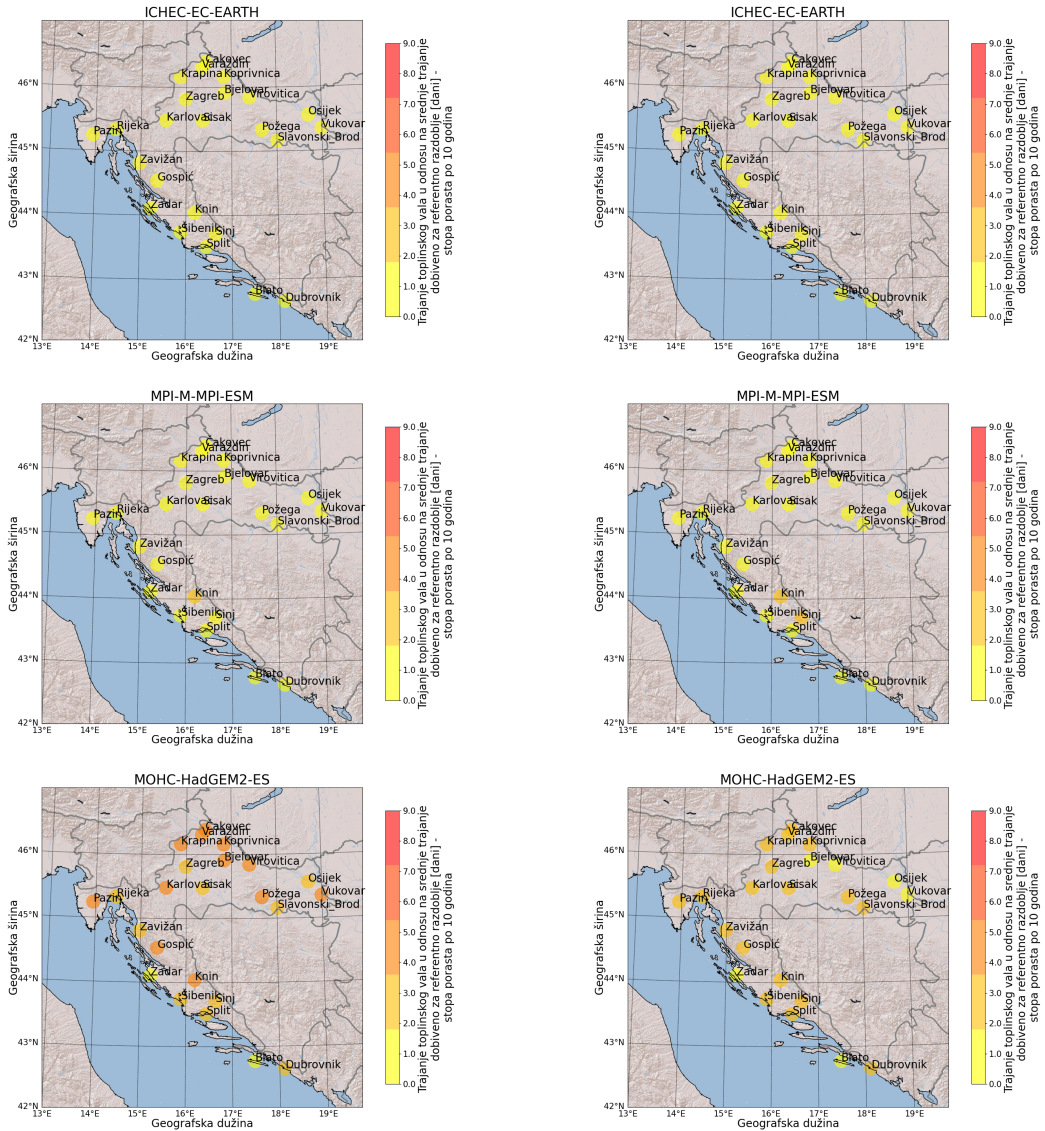
Slika 3.19. Stopa porasta broja uzastopnih ljetnih dana po 10 godina (1971. – 2070.) RCP4.5.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.20. Stopa porasta broja toplih dana, određenih prema 90. percentilu u referentnom razdoblju, po 10 godina u razdoblju 1971. – 2070. prema RCP4.5 scenariju.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika 3.21. Stopa porasta trajanja toplinskog vala, u odnosu na srednje trajanje dobiveno za referentno razdoblje, po deset godina u nizu 1971. – 2070. prema RCP4.5 scenariju.

Iz dobivenih grafova vidi se jasna povezanost između geografskog položaja lokacija te jačine stope porasta, kontinentalnije i sjevernije lokacije imaju generalno blažu stopu porasta temperatura i klimatskih indeksa iako to nije nužno pravilo. RegCM4 model predviđa da će za RCP8.5 Čakovec, Varaždin i Koprivnica imati najveću stopu porasta srednjih i maksimalnih temperatura dok CLMcom-CCLM4-8-17 pokazuje da će najveću stopu porasta za RCP8.5 imati Rijeka i Split. Za RCP4.5 slika je nešto drukčija, iako RegCM4 model ponovno predviđa da će Čakovec, Varaždin i Koprivnica imati najveću stopu porasta srednjih i maksimalnih temperatura, CLMcom-CCLM4-

8-17 pokazuje da će najveću stopu porasta za RCP4.5 imati Rijeka i Pazin (slike 3.15. i 3.16). CLMcom-CCLM4-8-17 predviđa da će najveću stopu porasta minimalne temperature za RCP8.5 imati Karlovac i Zagreb, a RegCM4 Čakovec, Koprivnica i Pazin. Za RCP4.5 CLMcom-CCLM4-8-17 predviđa da će najveću stopu porasta minimalne temperature imati Pazin i Rijeka, a RegCM4 Bjelovar, Koprivnica i Pazin (slika 3.17.). Najveći porast broja dana s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25°C (SU) za oba modela i projekcije imale su priobalne lokacije posebice Blato i Zadar (slika 3.18.). Blato, Zadar, Split i Šibenik su u prosjeku imali i najveći porast broja uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25°C (CSU)(slika 3.19.) za oba modela i obje projekcije. Najveći porast broja toplih dana s obzirom na 90. percentil referentnog razdoblja (HWFI) ponovno su imali Blato i Zadar (slika 3.20.) za oba modela i projekcije, a porast trajanja toplinskog vala u odnosu na srednju vrijednost referentnog razdoblja (HWDI) Split i Sinj za model CLMcom-CCLM4-8-17, a Gospić i Karlovac po RegCM4 (slika 3.21.) za obe projekcije. Maritimne lokacije imale su u prosjeku najveće poraste svih indeksa. Iako kontinentalnije lokacije imaju nešto blažu stopu porasta, rezultati ukazuju na to da će sve razmatrane lokacije u Hrvatskoj imati znatno povećanje temperatura te iskusiti sve učestalija i dugotrajnija topla razdoblja i pojave toplinskih valova.

4. Zaključak

U ovom radu istraženo je toplinsko opterećenje 24 lokacije na području Hrvatske za razdoblje od 1970. do 2070. godine. Promatrane lokacije odabrane su zbog svojeg geografskog ili socio-političkog značaja. Napravljena je analiza godišnjih srednjaka srednje, maksimalne i minimalne temperature na 2 metra od tla te 4 klimatska indeksa u promatranom razdoblju. Razmatrani klimatski indeksi: SU, CSU, HWDI, HWFI su indikatori toplinskih valova. Rezultati su dobiveni pomoću 2 regionalna modela, RegCM4 te CLMcom-CCLM4-8-17, forsirana s 3 globalna modela (EC-EARTH, MPI-ESM i HadGEM2-ES) horizontalne rezolucije 12.5 km. Također promatrane su projekcije za 2 različita IPCC scenarija: RCP4.5 te RCP8.5.

Prema očekivanjima iz dobivenih rezultata ustanovljeno je značajno povećanje srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura zraka na 2 m visine u svim kombinacijama klimatskih modela, promatranih lokacija i scenarija. Ovo povećanje je statistički značajno i veće je za scenarij RCP8.5 nego za RCP4.5. Također ovo povećanje je općenito veće za maritimne lokacije nego kontinentalne, odnosno za južnije više nego za sjevernije iako to ne mora biti pravilo. RegCM4 model naginje predviđanju viših stopa porasta temperatura za kontinentalne lokacije, npr. za Čakovec i Koprivnicu. Također predviđa da će Čakovec, Varaždin i Koprivnica imati najveću stopu porasta srednjih i maksimalnih, a Bjelovar, Koprivnica i Pazin imati najveće stope porasta minimalnih temperatura dok CLMcom-CCLM4-8-17 pokazuje da će najveću stopu porasta srednjih i maksimalnih temperatura imati Rijeka i Split za RCP8.5 odnosno Rijeka i Pazin za RCP4.5, a najveću stopu porasta minimalne temperature imati Karlovac i Zagreb za RCP8.5 odnosno Pazin i Rijeka za RCP4.5. Ovaj rad fokusirao se na Zagreb i Dubrovnik te je dobiveno da će za RCP4.5 Zagreb imati porast srednje godišnje temperature zraka između 0,22 i 0,44 °C/10 god., Dubrovnik između 0,22 i 0,40 °C/10 god., isto tako Zagreb će imati porast godišnjeg srednjaka maksimalne dnevne temperature zraka između 0,21 i 0,45 °C/10 god., a Dubrovnik između 0,20 i 0,41 °C/10 god., Zagreb će imati porast godišnjeg srednjaka minimalne dnevne temperature zraka između 0,17 i 0,42 °C svakih 10 godina, a Dubrovnik između 0,21 i 0,39 °C svakih 10 godina. Za projekciju RCP8.5 Zagreb će imati porast srednje godišnje temperature zraka između 0,25 i 0,50 °C/10 god., Dubrovnik između 0,29 i 0,46 °C/10 god., isto tako povećanje

godišnjeg srednjaka maksimalne dnevne temperature zraka za Zagreb iznosit će između 0,24 i 0,50 °C/10 god., a Dubrovnik između 0,28 i 0,47 °C/10 god., porast godišnjeg srednjaka minimalne dnevne temperature zraka za Zagreb bit će između 0,26 i 0,49 °C svakih 10 godina, a Dubrovnik između 0,28 i 0,46 °C svakih 10 godina.

Za sve promatrane lokacije izračunat je i prikazan porast broja dana s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25°C (SU). Prema svim kombinacijama modela, veći je porast dobiven na maritimnim lokacijama, uz najveći u Blatu i Zadru. Slični rezultati dobiveni su za broj uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25°C (CSU) uz najveći prosječni porast u Blatu, Zadru i Šibeniku. Pokazan je još i porast toplih dana s obzirom na 90. percentil referentnog razdoblja (HWFI) te trajanja toplinskog vala u odnosu na srednju vrijednost referentnog razdoblja (HWDI). Najveći porast je moguć za lokacije u priobalnom području, posebice za Blato i Zadar (HWFI) te Split i Sinj za model CLMcom-CCLM4-8-17, a Gospić i Karlovac po RegCM4 (HWDI). Provedena statistička analiza pokazuje da sve 3 temperature i sva 4 indeksa imaju relativno pravilan linearni uzlazni trend. Primjenom Mann-Kendellovog testa pokazano da su svi dobiveni trendovi za sve kombinacije modela i projekcija statistički značajni, osim kod CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnog modela, EC-EARTH globalnog za Slavonski Brod, Zadar, Osijek, Vukovar i Blato za HWDI indeks. Također je vidljivo da je globalni model HadGEM2-ES posebno osjetljiv na koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi jer RCM-ovi forsirani njime daju vidljivo veće vrijednosti za sve tri analizirane temperature te sva 4 temperaturna indeksa te najveće stope porasta, ali isto tako konzistentno daje naj-varijabilnije rezultate s najvećim varijancama i standardnim pogreškama. Primjećuje se da model RegCM4 ima nešto veće stope porasta temperature od CLMcom-CCLM4-8-17. RegCM4 općenito daje veće srednjake referentnog razdoblja indeksa za kontinentalne lokacije od CLMcom-CCLM4-8-17 dok je situacija obrnuta za maritimne lokacije. Dobiveni rezultati pokazuju zabrinjavajuće trendove porasta temperature i pojavu sve dugotrajnijih toplinskih valova za analizirane lokacije u Hrvatskoj. Već je poznato da toplinski valovi i sve više temperature imaju negativan utjecaj na ljudsko zdravlje, a posebice su ugroženi stariji ljudi, djeca i ljudi nižeg socioekonomskog statusa. Zbog efekta urbanog toplinskog otoka, urbane sredine, odnosno gradovi u Hrvatskoj posebno su osjetljivi na rastuće temperature (Tan i sur., 2010). U ovom radu pokazali smo da će toplinsko opterećenje rasti na promatra-

nim lokacijama. No simulacije drugih kombinacija regionalnih i globalnih klimatskih modela, kao i analiza drugih klimatskih indeksa i parametara potrebne su kako bi se napravila detaljnija analiza.

Literatura

- Benestad, R., Buonomo, E., Gutiérrez, J.M., et al. Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use. EURO-CORDEX (2021). <https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en> [20. siječnja 2023.]
- Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., & Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81(1), 71–95. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z> [20. siječnja 2023.]
- Branković, Č., Patarčić, M., Güttler, I., & Srnec, L. (2012). Near-future climate change over Europe and Croatia in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Research*, 52, 227–251. <https://doi.org/10.3354/cr01058> [20. siječnja 2023.]
- CLMcom. (2016). CLMcom CORDEX data for Europe (EUR-11) based on CCLM4-8-17 model simulations [Data set]. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11CLCL> [20. siječnja 2023.]
- Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T., Jones, C. D., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Totterdell, I., Woodward, S., Reichler, T., & Kim, J. (n.d.). Evaluation of HadGEM2 model.
- Copernicus: CORDEX regional climate model data on single levels. (n.d.). <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=form> [20. siječnja 2023.]
- Dessai, S., Lu, X., & Risbey, J. S. (2005a). On the role of climate scenarios for adaptation planning. *Global Environmental Change*, 15(2), 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.004> [20. siječnja 2023.]
- Draper, N. R., & Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis* (Wiley Series in Probability and Statistics). John Wiley & Sons Inc.

- Founda, D., & Santamouris, M. (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012). *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11407-6> [20. siječnja 2023.]
- Gilbert, R. O. (1987) *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York: Wiley.
- Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hohlweg, H.-D., Ilyina, T., Kinne, S., Kornbluh, L., Matei, D., Mauritsen, T., . . . Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 572–597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038> [20. siječnja 2023.]
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T., Tawfik, A., Shalaby, A., Zakey, A., Steiner, A., Stordal, F., . . . Brankovic, C. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7–29. <https://doi.org/10.3354/cr01018> [20. siječnja 2023.]
- Harrison, T. (2021, October 11). Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/> [20. siječnja 2023.]
- Hazeleger, W., Severijns, C., Semmler, T., Ștefănescu, S., Yang, S., Wang, X., Wyser, K., Dutra, E., Baldasano, J. M., Bintanja, R., Bougeault, P., Caballero, R., Ekman, A. M. L., Christensen, J. H., Hurk, B. van den, Jimenez, P., Jones, C., Källberg, P., Koenigk, T., . . . Willén, U. (2010). EC-Earth: A Seamless Earth-System Prediction Approach in Action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(10), 1357–1364. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2877.1> [20. siječnja 2023.]
- IPCC (2014): IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of

Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC (2021): Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)(2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... Yiou, P. (2014a). EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2> [20. siječnja 2023.]

Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S. et al. Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Reg Environ Change* 20, 51 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9> [20. siječnja 2023.]

Kendall, M. G. (1975) Rank Correlation Methods. Fourth edition. London: Charles Griffin.

Koppe, Christina, Kovats, Sari, Jendritzky, Gerd & Menne, Bettina. (2004). Heatwaves: risks and responses. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107552> [20. siječnja 2023.]

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187> [20. siječnja 2023.]

McSweeney, R. (2022, July 20). Q&A: How do climate models work? Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work/> [20. siječnja 2023.]

- Met Office. (2018). UKCP18 Guidance: Representative Concentration Pathways. <https://www.metoffice.gov.uk/>. Retrieved January 20, 2023, from <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/ukcp/ukcp18-guidance—representative-concentration-pathways.pdf> [20. siječnja 2023.]
- Molina, M. O., Sánchez, E., & Gutiérrez, C. (2020). Future heat waves over the Mediterranean from an Euro-CORDEX regional climate model ensemble. *Scientific Reports*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65663-0> [20. siječnja 2023.]
- Van Ypersele De Strihou, J., Moss, R. H., & Babiker, M. (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. (2008).
- MZOE (2017) RegCM4, Projekt programa Prijelazni instrument tehničke pomoći EU: Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (Broj ugovora: TF/HR/P3-M1-O1-010), Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (MZOE), Zagreb.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A. J., Li, F., & Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 54(1), 75–84. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0256-x> [20. siječnja 2023.]
- Weart, S. & Center for History of Physics of the American Institute of Physics. (2022, April). *Global Warming Timeline*. Retrieved January 28, 2023, from <https://history.aip.org/climate/timeline.htm>
- Wong, P. P., Lai, P.-C., & Hart, M. (2016). Microclimate Variation of Urban Heat in a Small Community. *Procedia Environmental Sciences*, 36, 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.09.030> [20. siječnja 2023.]
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al, 2008: *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

Popis kratica

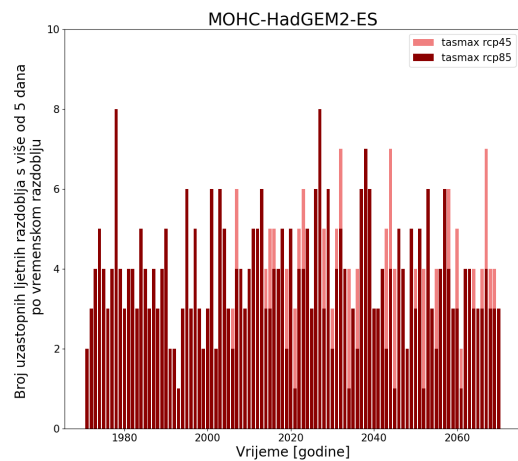
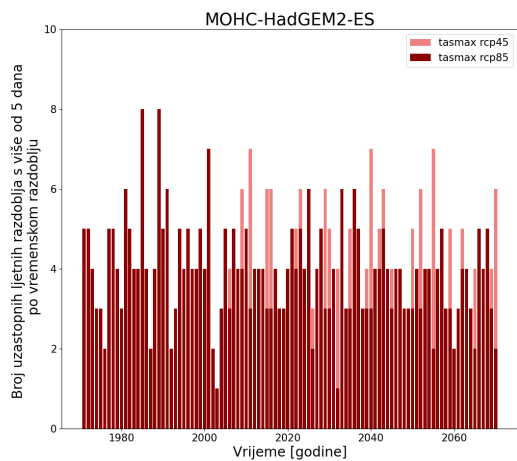
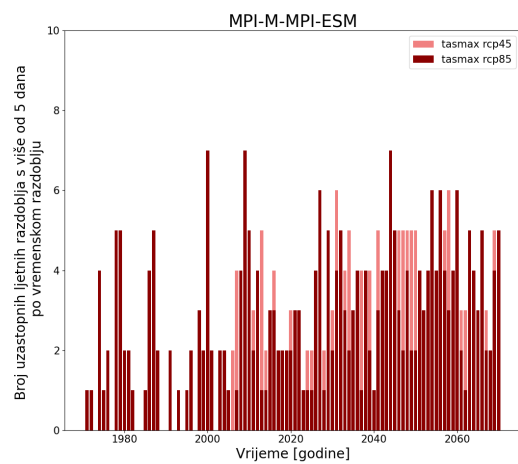
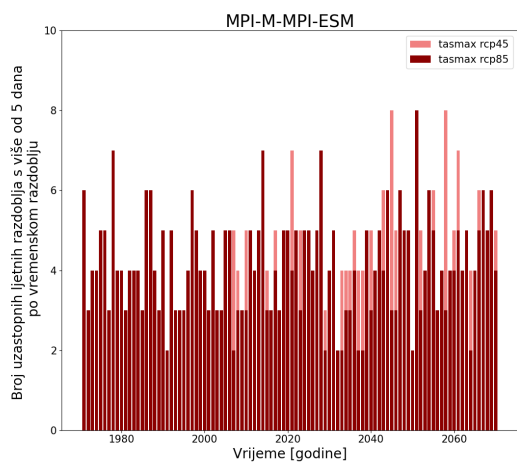
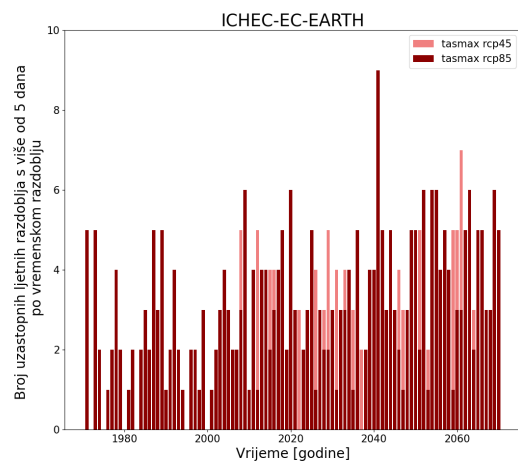
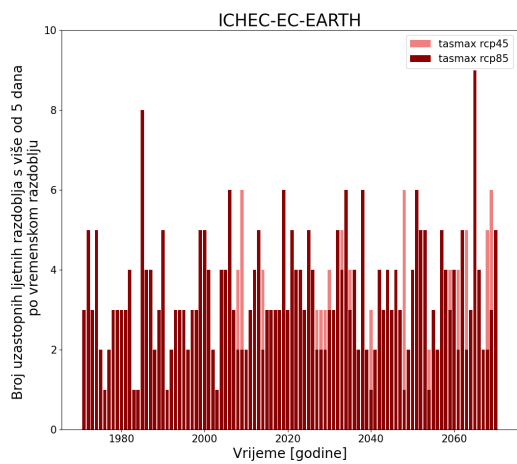
<i>a</i>	Nagib linearne regresije
CDO	Skup računalnih operatora za obradu klimatskih podataka (engl. Climate Data Operators)
CLMcom-CCLM4-8-17	Naziv regionalnog klimatskog modela COSMO u klimatskom načinu rada Deutscher Wetterdienst
CORDEX	Koordinirani eksperiment regionalne klime dinamičkom prilagodbom (engl. Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)
CSU	Broj uzastopnih ljetnih dana (engl. consecutive summer days index)
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod
DWD	Njemačka meteorološka služba (Deutscher Wetterdienst)
EC (EC-EARTH)	Globalni klimatski model europskog (nizozemskog) konzorcija
ECMWF	Europski centar za srednjoročne vremenske prognoze (engl. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)
ESP	Odjel Zemljinog sustava (engl. Earth System Physics)
GCM	Globalni klimatski model (engl. Global Climate Model)
HA (HadGEM2-ES)	Globalni klimatski model Met Office-a Ujedinjenog kraljevstva
HWDI	Trajanje toplinskog vala u odnosu na srednje trajanje dobiveno za referentno razdoblje (engl. heat wave duration index)

HWMI _d	dnevni intenzitet toplinskog vala (engl. heat wave magnitude index-daily)
HWFI	Broj toplih dana određen prema 90. percentilu u referentnom razdoblju (engl. heat wave frequency index)
ICTP	Međunarodni centar za teorijsku fiziku, Trst, Italija (engl. International Centre for Theoretical Physics)
IPCC	Međuvladino tijelo za klimatske promjene (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change)
M-K test	Mann-Kendallov test za trend
MP (MPI-ESM)	Globalni klimatski model njemačkog instituta za meteorologiju Max-Planck (njem. Max-Planck Institut für Meteorologie, MPI, Hamburg, Njemačka)
MZOE	Ministarstvo zaštite okoliša i energetike
NCAR	Nacionalnom centru za istraživanje atmosfere (engl. National Center for Atmospheric Research)
RCM	Regionalni klimatski model (engl. Regional Climate Model)
RCP	Reprezentativne trajektorije koncentracije stakleničkih plinova (engl. Representative Concentration Pathways)
RegCM4	Naziv regionalnog klimatskog modela ICTP-ja RH Republika Hrvatska
S	Mann-Kendallov rezultat
$s(a)$	Standardna pogreška nagiba
$S\sigma^2$	Varijanca Mann-Kendallovog rezultata

σ	Standardna devijacija
σ^2	Varijanca
SSP	Zajednički socioekonomski putovi (engl. shared socioeconomic pathways)
SU	Broj ljetnih dana (engl. summer days index)
tasmax	Maksimalna dnevna temperatura zraka na 2 m visine
tasmin	Minimalna dnevna temperatura zraka na 2 m visine
UHI	Urbani toplinski otok (engl. Urban Heat Island)
WCRP	Svjetski program za istraživanje klime (engl. World Climate Research Programme)
WSDI	Trajanje toplog razdoblja (engl. warm spell duration index)
\bar{X}	Srednjak
Z_{MK}	Statistika Mann-Kendallovog testa

Dodatak A

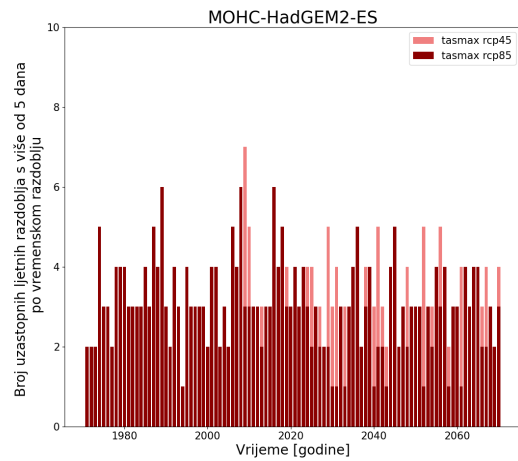
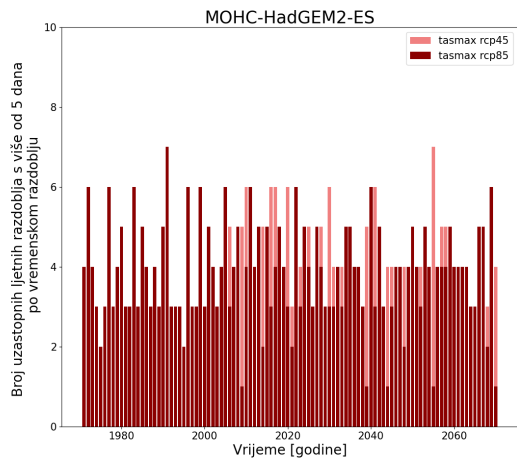
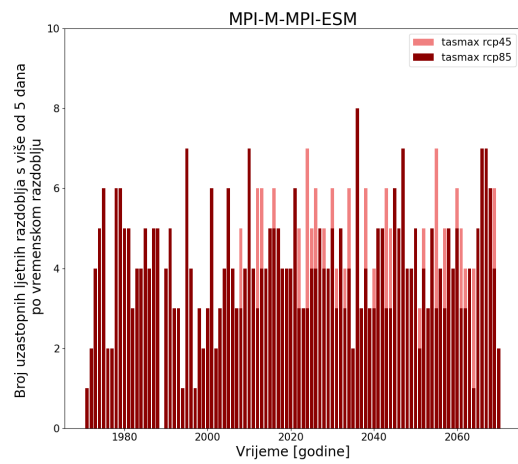
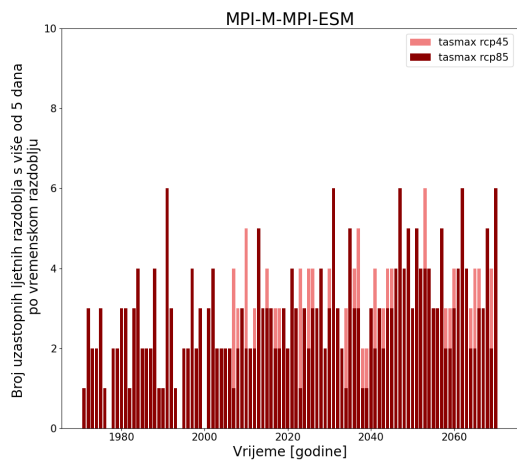
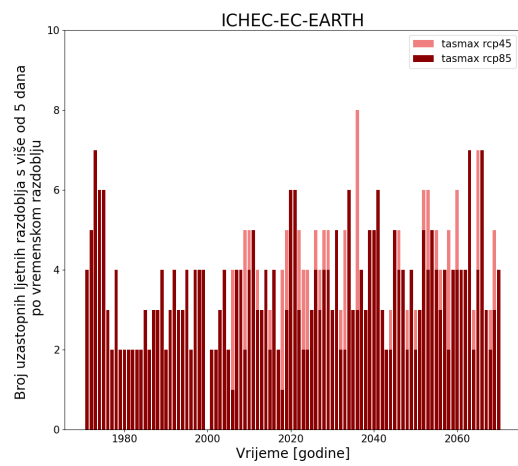
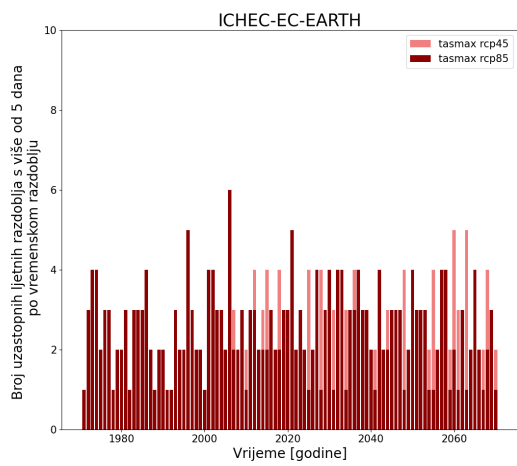
U ovom dodatku prikazani su vremenski nizovi broja uzastopnih ljetnih razdoblja s više od 5 dana za vremensko razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5. U lijevom stupcu pokazani su rezultati dobiveni RegCM4 modelom, a u desnom stupcu su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika A1. Broj uzastopnih ljetnih razdoblja s više od 5 dana po vremenskom razdoblju (1971. – 2070.) za Zagreb.



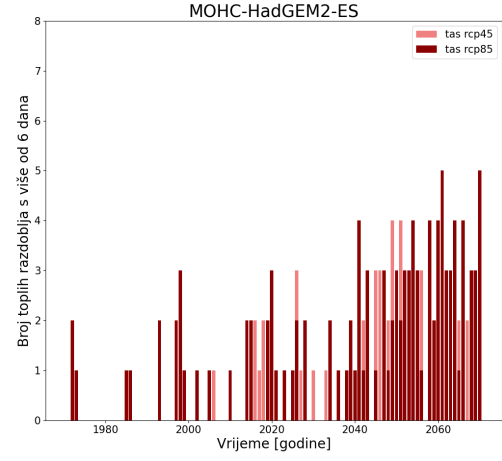
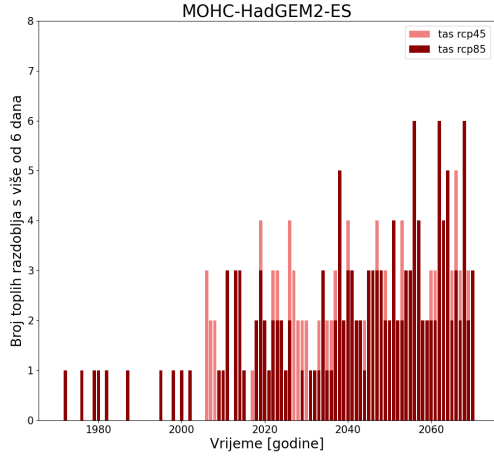
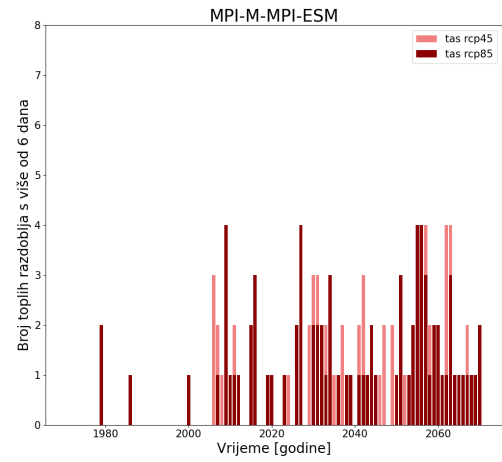
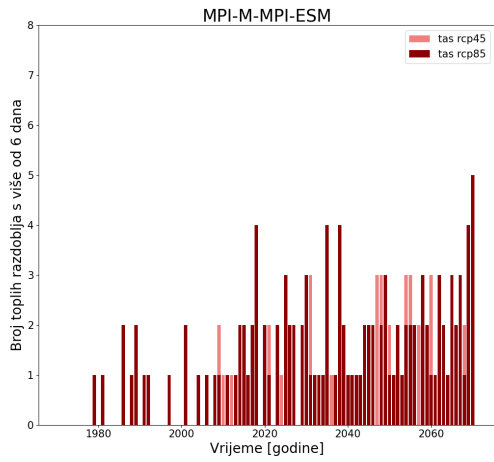
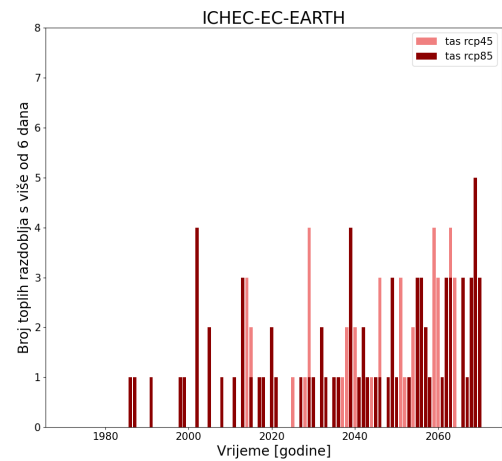
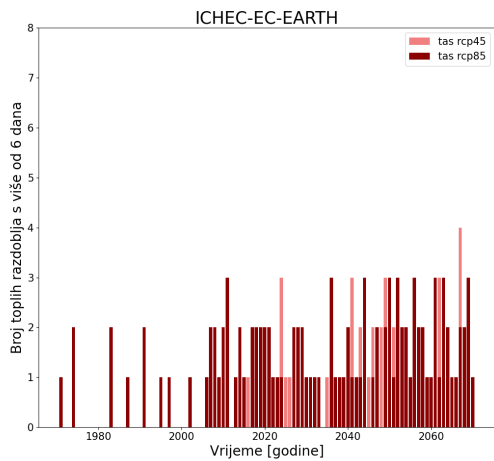
(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika A2. Broj uzastopnih ljetnih razdoblja s više od 5 dana po vremenskom razdoblju (1971. – 2070.) za Dubrovnik.

Dodatak B

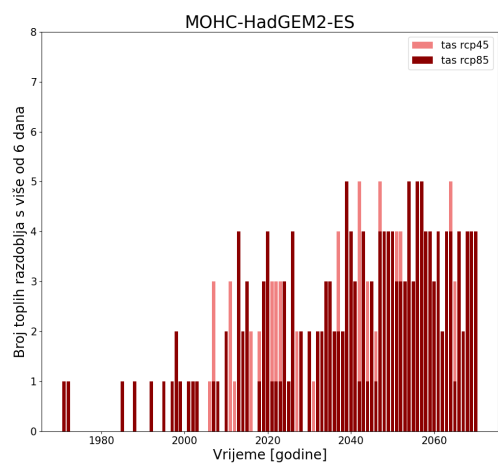
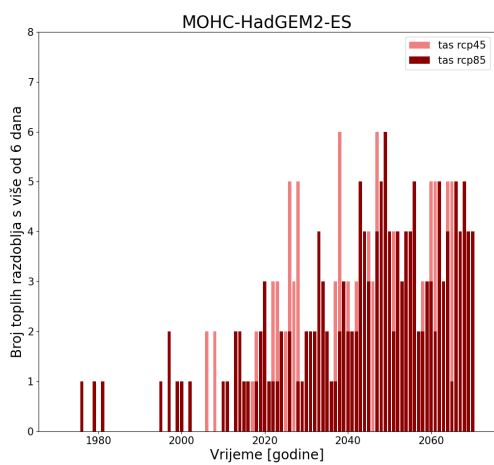
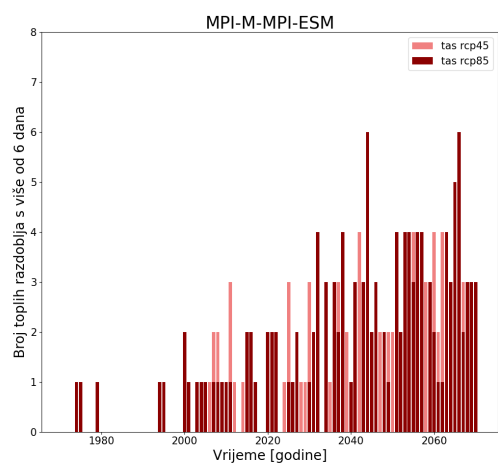
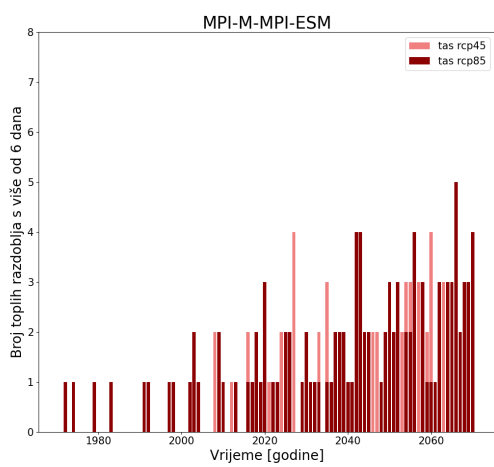
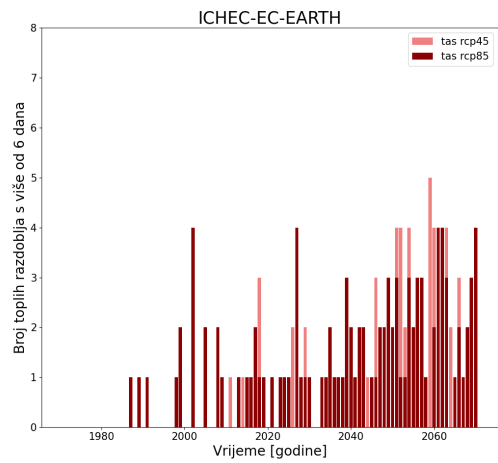
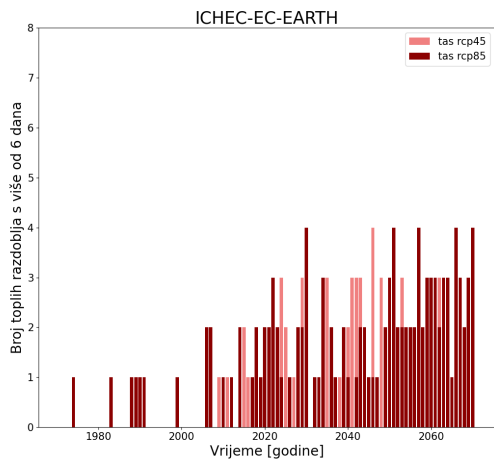
U ovom dodatku prikazani su vremenski nizovi broja toplih razdoblja (odnosno toplih dana s obzirom na 90. percentil referentnog razdoblja (ref. razdoblje 1971. – 2000.)) s više od 6 dana za vremensko razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5. U lijevom stupcu pokazani su rezultati dobiveni RegCM4 modelom, a u desnom su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika B1. Broj toplih razdoblja po vremenskom razdoblju (1971. – 2070.) za Zagreb.



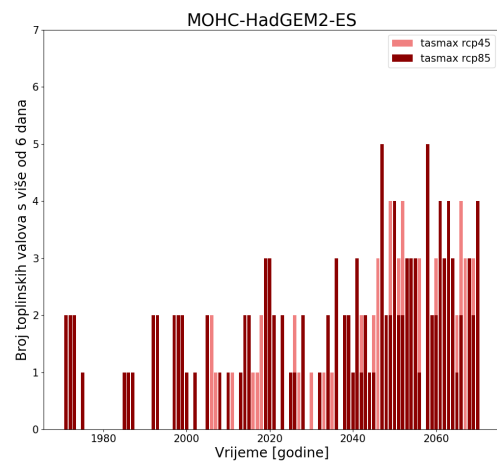
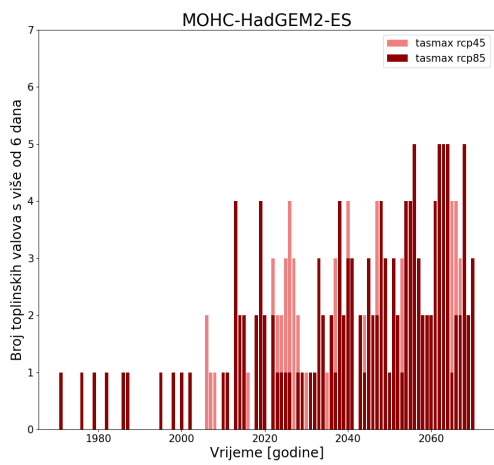
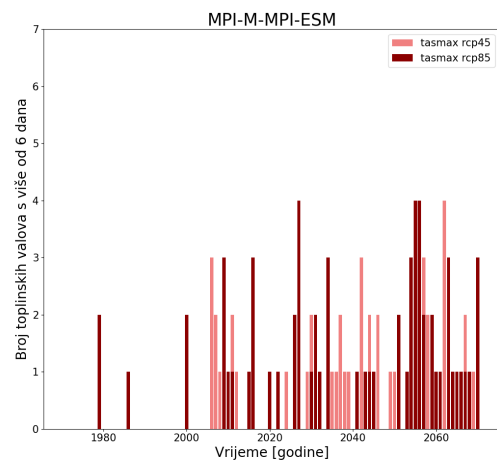
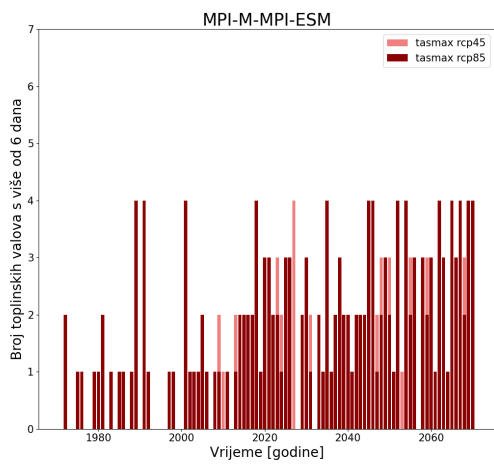
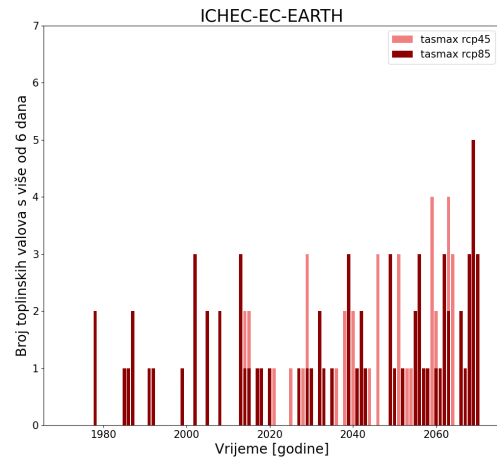
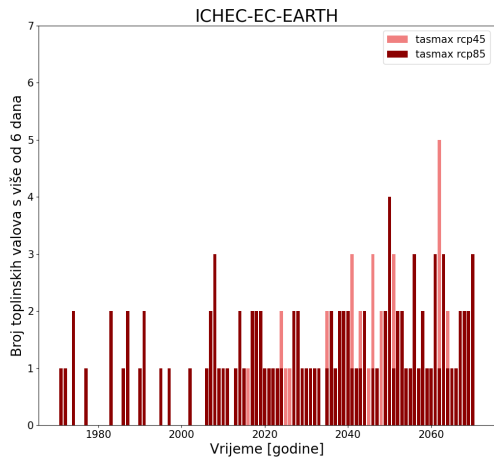
(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika B2. Broj toplih razdoblja po vremenskom razdoblju (1971. – 2070.) za Dubrovnik.

Dodatak C

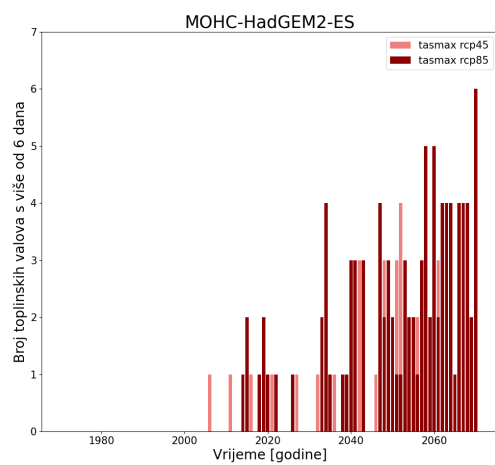
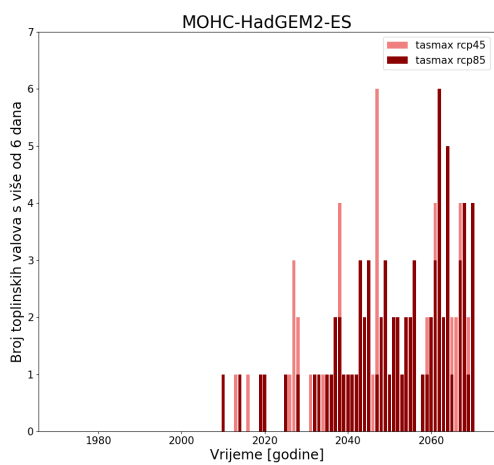
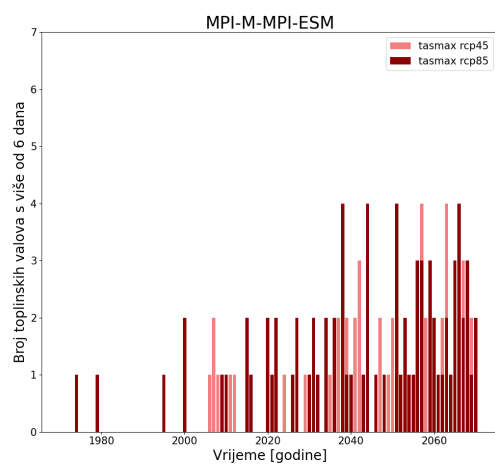
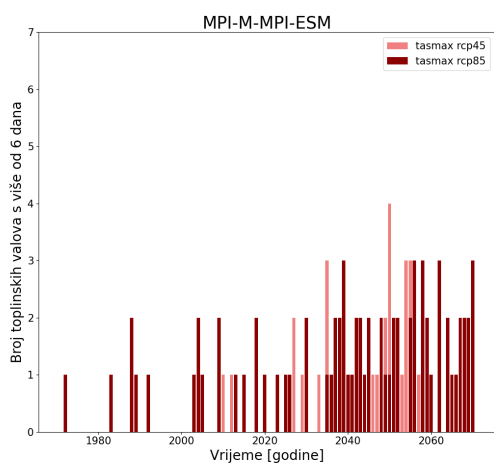
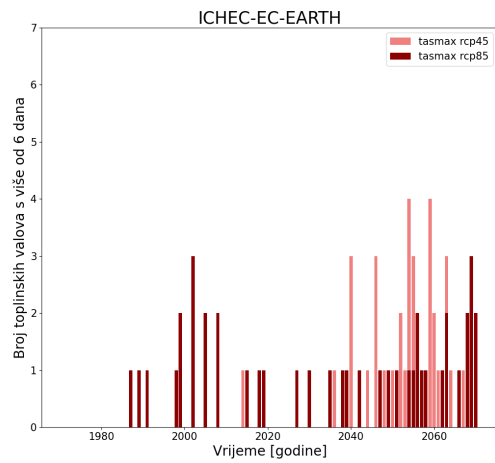
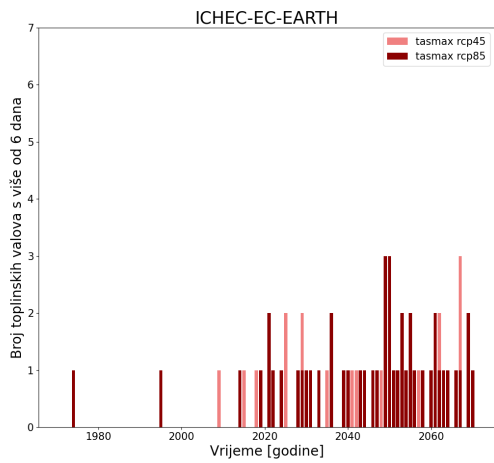
U ovom dodatku prikazani su vremenski nizovi broja toplinskih valova (trajanja toplinskog vala u odnosu na srednju vrijednost referentnog razdoblja (ref. razdoblje 1971. – 2000.)) s više od 6 dana za vremensko razdoblje 1971. – 2070. za Zagreb i Dubrovnik. Crvenom bojom prikazana je projekcija RCP8.5 a ružičastom RCP4.5. Ulijevom su stupcu rezultati dobiveni RegCM4 modelom, a u desnom su rezultati dobiveni CLMcom-CCLM4-8-17 regionalnim modelom



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika C1. Broj toplinskih valova po vremenskom razdoblju (1971. – 2070.) za Zagreb.



(a) RegCM4

(b) CLMcom-CCLM4-8-17

Slika C2. Broj toplinskih valova po vremenskom razdoblju (1971. – 2070.) za Dubrovnik.