

Prijelazni instrument Europske unije za Republiku Hrvatsku

Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama

Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC Velebit za potrebe izrade nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. i s pogledom na 2070. i Akcijskog plana (Podaktivnost 2.2.1.)



Ovaj projekt financira
Europska unija



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

Projekt
Ministarstva zaštite okoliša i energetike



Projekt provodi
EPTISA Adria d.o.o.



KONTROLNI LIST PROJEKTA

Projekt:	Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama
Ugovor:	TF/HR/P3-M1-O1-0101
Naručitelj:	Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) Ulica grada Vukovara 284 (objekt C), Zagreb
Korisnik:	Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (MZOE) Radnička cesta 80, Zagreb
Ugovaratelj:	EPTISA Adria d.o.o. Bijenička cesta 134, HR-10000 Zagreb
Naslov dokumenta:	Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC Velebit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. s pogledom na 2070. i Akcijskog plana (Podaktivnost 2.2.1.)
Verzija i datum predaje:	1. verzija (visoki draft): 09.01.2017.; 2. verzija: 14.02.2017.; 3. verzija (ovaj dokument): 28.03.2017.
Pripremili:	dr.sc. Čedo Branković (urednik i glavni autor); uz suradnju s Državnim hidrometeorološkim zavodom, dr.sc. Ivan Guettler, mr.sc. Lidija Srnec, Tomislav Stilinović, mag. phys.-geophys. (obrada outputa HPC Velebit)
Direktor projekta:	Josip Ćorić, mag.ing.aedif.
Potpis:	_____
Datum:	__31.03.2017._____
Voditelj projektne skupine:	dr.sc. Vladimir Kalinski
Potpis:	_____
Datum:	__31.03.2017._____

Izjava o ograničenju odgovornosti

Sadržaj dokumenta je mišljenje autora i nije nužno istovjetno s mišljenjem Europske unije ili bilo koje druge spomenute organizacije. Posljedično, svi navodi ovog dokumenta trebaju se provjeriti prije provedbe bilo koje od preporučenih aktivnosti.



Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. s pogledom na 2070. i Akcijskog plana (Podaktivnost 2.2.1.)

SADRŽAJ:

Sažetak.....	1
1. Uvod	2
Klima - definicija i klimatski elementi.....	2
Klimatske promjene, varijacije i ekstremi	2
2. Klimatski modeli	3
Modeliranje klime i klimatskih promjena.....	5
Neizvjesnosti u klimatskom modeliranju	7
3. Metodologija	8
3.1 Regionalni klimatski model RegCM	8
3.2 Numeričke simulacije sadašnje klime.....	10
3.3. Numeričke integracije buduće klime.....	12
3.4 Konfiguracija računala VELEbit u SRCE-u.....	12
4. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja	13
4.1. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Poljoprivreda	14
4.2. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Hidrologija, vodni i morski resursi	22
4.3. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Prirodni ekosustavi i bioraznolikost	35
4.4. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za temu Prostorno planiranje i upravljanje obalnim područjem	47
4.5. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Ribarstvo.....	51
4.6. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Šumarstvo.....	54
4.7. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Turizam	58
4.8. Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektore Zdravstvo i Upravljanje rizicima.....	66
4.9 Prikaz rezultata klimatskog modeliranja prema parametrima važnim za sektor Energetika.....	75
5. Zaključak	96
Literatura	104



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

KratICA	Značenje
CM5	Globalni model meteorološke službe Francuske (Meteo France, Toulouse, Francuska) - CNRM-CM5
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project</i> (Projekt usporedbe združenih modela)
CORDEX	<i>COordinated Regional Climate Downscaling Experiment</i> (Koordinirani eksperiment regionalne klime dinamičkom prilagodbom)
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb
EC-Earth	Globalni klimatski model europskog (nizozemskog) konzorcija
ECMWF	<i>European Centre for Medium-range Weather Forecasts</i> (Europski centar za srednjoročne prognoze vremena, Reading, Ujedinjeno Kraljevstvo)
E-OBS	<i>European Observations</i> (Europski podaci mjerenja i motrenja)
ERA	<i>ECMWF Re-analysis</i> (ECMWF re-analiza)
ESM	<i>Earth System Model</i> (Model Zemljinog sustava)
GCM	<i>Global Climate Model</i> (globalni klimatski model)
HadGEM2	Globalni model meteorološke službe Ujedinjenog Kraljevstva (<i>Met Office, Hadley Centre for Climate Prediction and Research</i> , Exeter, Ujedinjeno Kraljevstvo)
HPC	<i>High Performance Computing</i> („računanje s visokim učinkom“)
ICTP	<i>International Centre for Theoretical Physics</i> (Međunarodni centar za teorijsku fiziku, Trst, Italija)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Međuvladin panel za klimatske promjene)
IPCC AR5	<i>IPCC Assessment Report 5</i> (IPCC izvješće o procjenama br.5)
MPI-ESM	Globalni model njemačkog Max-Planck instituta za meteorologiju (<i>Max-Planck Institut für Meteorologie</i> , MPI, Hamburg, Njemačka)
MZOE	Ministarstvo zaštite okoliša i energetike
RCM	<i>Regional Climate Model</i> (Regionalni klimatski model)
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i> (Reprezentativne “staze” (trajektorije) koncentracija)
RegCM	<i>Regional Climate Model</i> (naziv regionalnog klimatskog modela ICTP-ja)
RH	Republika Hrvatska
SRCE	Sveučilišni računski centar, Zagreb
TFLOPS	<i>Terra-flops</i> (floating point operations per second) – mjera za brzinu računalnog procesora
WMO	<i>World Meteorological Organisation</i> (Svjetska meteorološka organizacija, Ženeva, Švicarska)
WCRP	<i>World Climate Research Programme</i> (Svjetski program za istraživanje klime)

NAPOMENA: Podaci dobiveni modeliranjem klime u Republici Hrvatskoj, opisani ovim izvještajem, bit će javno dostupni bez komercijalne naknade i za korištenje u sve svrhe nakon završetka projekta „Strategija prilagodbe klimatskim promjenama“ (17. studeni 2017.), uz obavezu jasnog navođenja izvora podataka. Informacija o mogućnostima i načinu preuzimanja podataka bit će objavljena na mrežnim stranicama projekta (<http://prilagodba-klimi.hr/>) i Ministarstva zaštite okoliša i energetike (www.mzoip.hr).



SAŽETAK

Stanje klime za razdoblje 1971.-2000. (referentno razdoblje) i klimatske promjene za buduća vremenska razdoblja 2011.-2040. i 2041.-2070. analizirani su za područje Hrvatske na osnovi rezultata numeričkih integracija regionalnim klimatskim modelom (RCM) RegCM. Prostorna domena integracija zahvaćala je šire područje Europe (Euro-CORDEX domena) uz korištenje rubnih uvjeta iz četiri globalna klimatska modela (GCM), Cm5, EC-Earth, MPI-ESM i HadGEM2, na horizontalnoj rezoluciji od 50 km. Klimatske promjene u budućnosti modelirane su prema RCP4.5 scenariju IPCC-ja, po kojem se očekuje umjereni porast stakleničkih plinova do konca 21. stoljeća. Rezultati numeričkih integracija prikazani su kao srednjak ansambla (ensemble) iz četiri individualne integracije RegCM modelom. Svi izračuni napravljeni su na super-računalu VELEbit u Sveučilišnom računskom centru (SRCE) u Zagrebu. Instaliranje, testiranje i izvođenje RegCM eksperimenata, te klimatske izračune uradili su stručnjaci iz DHMZ-a.

Usporedba rezultata RegCM integracija referentnog razdoblja (simulacije) s podacima mjerenja na klimatološkim postajama Hrvatske ukazuje da, u srednjaku ansambla, RegCM model može uspješno simulirati značajke referentne (“historijske”) klime. Međutim, neke detalje u prostornim varijacijama klimatoloških varijabli nije bilo moguće sasvim točno reproducirati zbog nedostatne (“grube”) rezolucije modela u prikazu malih prostornih skala. Ovo naročito dolazi do izražaja u područjima s visokom i kompleksnom orografijom i u području našeg dijela Jadrana gdje prevladava složena obalna struktura i gdje reprezentacija kopna i mora nije prikladno prikazana 50-km rezolucijom. Usprkos ovom potencijalnom problemu, te uzimajući u obzir neizvjesnosti scenarija buduće klime, prikazane projekcije buduće klime uz zadani scenarij mogu se smatrati primjerenim. One se mogu sažeti kako slijedi.

U čitavoj Hrvatskoj očekuje se u budućnosti porast srednje temperature zraka u svim sezonama. U razdoblju 2011.-2040. taj bi porast mogao biti od 0.7 do 1.4 °C; najveći u zimi i u ljeto, a nešto manji u proljeće. Najveći porast temperature očekuje se u primorskim dijelovima Hrvatske. Do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do 2.2 °C, očekuje se u priobalnom dijelu u ljeto i jesen, a nešto manji porast očekuje se u kontinentalnim krajevima u zimi i proljeće. Slično srednjoj dnevnoj temperaturi očekuje se porast srednje maksimalne i srednje minimalne temperature. Do 2040. najveći porast bi za maksimalnu temperaturu iznosio do 1.5 °C, a za minimalnu temperaturu do 1.4 °C; do 2070. projicirani porast maksimalne temperature bio bi 2.2 °C, a minimalne do 2.4 °C.

Očekivane buduće promjene u ukupnoj količini oborine nisu jednoznačne kao za temperaturu. U razdoblju 2011.-2040. očekuje se manji porast količine oborine u zimi i u većem dijelu Hrvatske u proljeće, dok bi u ljeto i jesen prevladavalo smanjenje količine oborine. Ove promjene u budućoj klimi bile bi između 5 i 10% (u odnosu na referentno razdoblje), tako da ne bi imale značajniji utjecaj na godišnje prosjeke ukupne količine oborine. Do 2070. očekuje se daljnje smanjenje ukupne količine oborine u svim sezonama osim u zimi, a najveće smanjenje bilo bi do 15%.

Najveća promjena, smanjenje do gotovo 50%, očekuje se za snježni pokrov u planinskim predjelima. Evapotranspiracija bi se povećala za oko 15% do 2070., a površinsko otjecanje bi se smanjilo do 10% u gorskim predjelima. Očekivana promjena sunčanog zračenja je 2-5%, ali je suprotnih predznaka: smanjenje u zimi i u proljeće, a povećanje u ljeto i jesen. Maksimalna brzina vjetra ne bi se značajno mijenjala, osim na južnom Jadranu u zimi kad se očekuje smanjenje od 5-10%.

Za prikaz nekih ekstremnih parametara (primjerice maksimalni vjetar) horizontalna rezolucija od 50 km u regionalnom modelu nije sasvim dostatna. Slično vrijedi i za one varijable koje imaju veliku prostornu varijabilnost ili su ovisne o karakteristikama malih skala (orografija, kontrast kopno-mora). Zbog toga se očekuje da će numeričke integracije RegCM modelom na rezoluciji od 12.5 km, koje se u trenutku pisanja ovog izvješća također rade na super-računalu VELEbit, a bit će dostupne krajem 2017. godine, pridonijeti još boljem prikazu klimatskih varijabli u historijskoj i u budućoj klimi. Dodatni rezultati bit će dodani u formatu aneksa ovog dokumenta.

Procijenjeni porast razine Jadranskog mora do konca 21. stoljeća je u rasponu između 40 i 65 cm prema rezultatima nekoliko istraživačkih grupa. No, ovu procjenu treba promatrati u kontekstu znatnih neizvjesnosti vezanih za ovaj parametar (tektonski pokreti, promjene brzine porasta globalnih razina mora, nepostojanje istraživanja za Jadran upotrebom oceanskih ili združenih klimatskih modela i dr.).



1. UVOD

KLIMA - DEFINICIJA I KLIMATSKI ELEMENTI

Klimu nekog područja u nekom razdoblju definiramo kao skup srednjih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata (varijabli). Na klimu utječu Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, oceanske i zračne struje, razdioba kopna i mora, zemljopisna širina, reljef, nadmorska visina, udaljenost od mora ili većih vodenih površina, razdioba kopnenog i morskog leda, sastav tla, biljni pokrov, a također i djelovanje čovjeka (Zaninović i sur. 2008). Obično kažemo da na klimu nekog područja utječe sveukupni *klimatski sustav* koji je sačinjen od atmosfere, hidrosfere, kriosfere (led), tla i biosfere, te da je klima samo “vanjska” manifestacija složenih i nelinearnih procesa unutar klimatskog sustava koji imaju svoju dinamiku i međudjelovanje. Za razliku od klime, svakodnevo *vrijeme* opisuje trenutačno ili kratkoročno stanje meteoroloških elemenata.

Najvažniji meteorološki elementi koji definiraju klimu su sunčevo zračenje (insolacija), temperatura zraka, tlak zraka, smjer i brzina vjetera, vlažnost, oborine, isparavanje, naoblaka i snježni pokrivač. Da bi se odredila klima nekog područja potrebno je mjeriti meteorološke elemente ili opažati meteorološke pojave kroz dulje vremensko razdoblje (minimalno 30 godina). Mjerenje meteoroloških elemenata vrši se na postajama, ali i na oceanima (brodovi, plutače), te od unatrag 50-ak godina pomoću meteoroloških satelita. Osim površine Zemlje, meteorološka mjerenja zahvaćaju i više slojeve atmosfere. U istraživanju klime koriste se meteorološka mjerenja, teorijske spoznaje i numerički modeli.

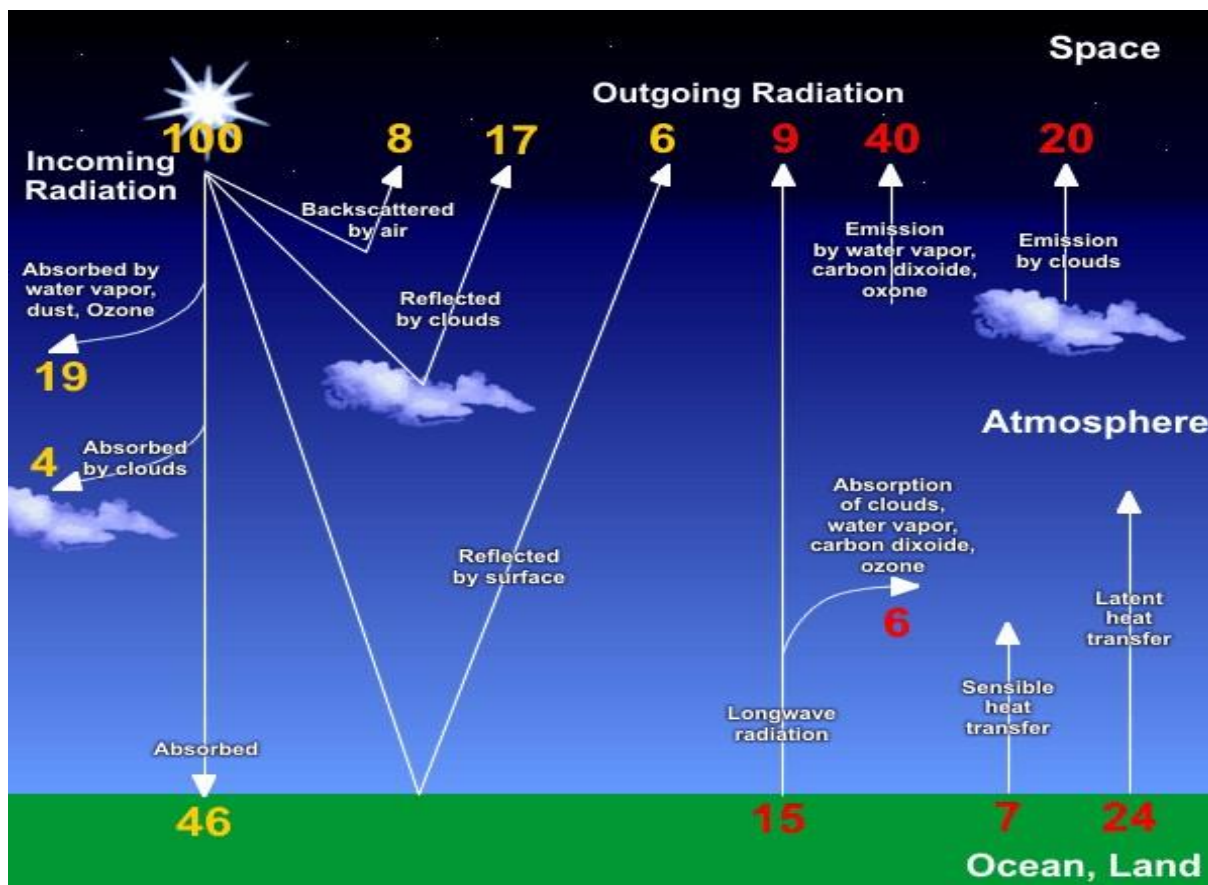
KLIMATSKE PROMJENE, VARIJACIJE I EKSTREMI

Klima nekog područja se u nekom duljem razdoblju može mijenjati. Valja razlikovati promjenu klime od varijacija unutar nekog klimatskog razdoblja. Varijacije se odnose na razlike u vrijednostima meteorološkog elementa unutar kratkih razdoblja, primjerice od jedne godine do druge. Iskustvena je spoznaja da dvije uzastopne zime nisu jednake – jedna zima može biti osjetno hladnija (ili toplija) od druge. Ovakve kratkoročne varijacije prirodne su klimatskom sustavu i posljedica su kaotičnih svojstava atmosfere (Washington 2000). Klimatska varijacija ne ukazuje da je došlo do klimatske promjene. Moguće je da u nekom kraćem razdoblju klimatska varijacija čak djeluje protivno dugoročnoj klimatskoj promjeni. Ali ako nastupi značajna i trajna promjena u statističkoj razdiobi meteoroloških (klimatskih) elemenata ili vremenskih pojava, obično u razdoblju od nekoliko dekada pa sve do milijuna godina, onda govorimo o promjeni klime. Stvarnu promjenu klime, dakle, nije moguće detektirati u vremenskim razdobljima od samo nekoliko godina.

Globalna promjena klime povezana je s promjenama u energetskej ravnoteži planeta Zemlje. Sl. 2.1 pokazuje da ukupna sunčeva energija koja ulazi u atmosferu (100%) mora biti uravnotežena s ukupnom izlaznom energijom. U protivnom, dolazi do poremećaja energetske ravnoteže Zemlje. Lokalna promjena klime može se pripisati lokalnim promjenama, odnosno promjenama na manjoj prostornoj skali kao što je, primjerice, deforestacija.

Uzroke promjene klime dijelimo na prirodne i na one zbog ljudskog utjecaja. Prirodni uzroci su varijacije u sunčevom zračenju, orbiti Zemlje (astronomski uzroci) i vulkanske erupcije. Zračenje Sunca se kroz neko dulje razdoblje malo mijenja, a prema dosadašnjim spoznajama varijacije sunčevog zračenja imaju mali utjecaj na globalnu klimu. Astronomski faktori vezani su uz Milankovićeve cikluse koji uzrokuju znatne promjene klime (ledena doba). Međutim, te se promjene klime odvijaju na vremenskoj skali od nekoliko desetaka tisuća godina i nisu predmet istraživanja kad su u pitanju razdoblja od 100-200 godina. Vulkanske erupcije mogu utjecati na klimu, osobito one snažne i u tropskim područjima, jer u visoke slojeve atmosfere dolazi velika količina krutih čestica (aerosola). Aerosoli reflektiraju dolazeće sunčevo zračenje natrag u svemir i uzrokuju hlađenje. Međutim, efekti vulkanskih erupcija nisu dugotrajni jer strujanje atmosfere raznosi aerosole i tijekom vremena umanjuje njihovo djelovanje.

Ljudski utjecaj na klimu očituje se kroz razne oblike aktivnosti i djelovanja. To su, primjerice, iskrčivanja šuma (deforestacija) i povećanja obradivih površina. Zbog potrošnje fosilnih goriva (u proizvodnji energije, prometu, poljoprivredi, itd.) ljudi doprinose povećanju koncentracije ugljičnog dioksida (CO₂) i drugih plinova u atmosferi i tako utječu na jačanje efekta staklenika, i posljedično globalno zagrijavanje. Ljudi također doprinose povećanju aerosola u zraku, a isto tako mogu uzrokovati promjene u ozonskom omotaču.



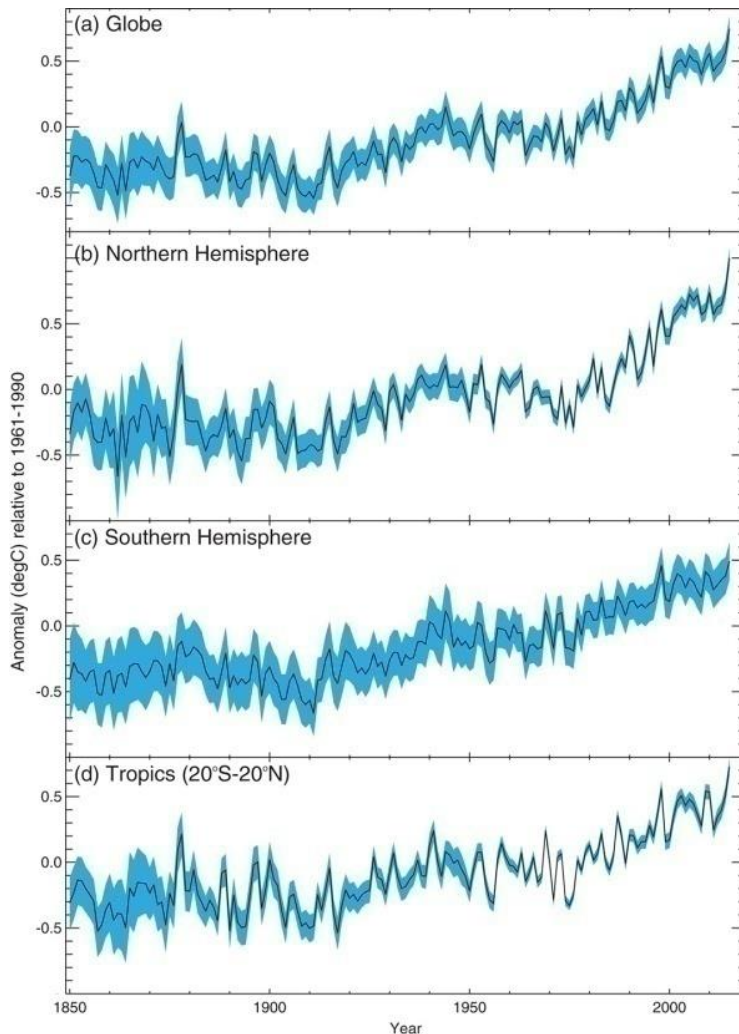
Slika 2.1 Energetska bilanca Zemlje (u postocima).
(Izvor: http://forecast.weather.gov/jetstream/atmos/energy_balance.htm)

Promjena klime u zadnjih stotinjak godina pokazana je u Sl. 2.2 na primjeru anomalija površinske temperature u raznim područjima. Porast temperature od 1970-ih je izuzetno izražen, osobito na sjevernoj hemisferi, i podudara se s porastom koncentracije ugljičnog dioksida, najvažnijeg stakleničkog plina (Sl. 2.3). Međuvladin panel za klimatske promjene (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ovaj porast CO₂ s velikom pouzdanošću pripisuje ljudskom djelovanju (IPCC 2013a).

Klimatske promjene često donose i promjene u učestalosti i intenzitetu klimatskih ekstrema (visoke ili niske temperature, sušna razdoblja, bujične poplave, olujni vjetrovi, itd.). Globalno zagrijavanje znači i povećanu učestalost toplih temperaturnih ekstrema, te jačanje njihove amplitude. Hawkins (2011) naglašava da će u Europi vrijednosti temperature koje su zabilježene u izuzetno toploj 2003. godini biti normalna pojava sredinom 21. stoljeća. No, hladni ekstremi neće nestati, ali će se smanjiti njihova učestalost.

2. KLIMATSKI MODELI

Atmosfera je fluid u kojem vladaju fizikalni zakoni hidrodinamike i termodinamike, koji se mogu opisati matematičkim nelinearnim diferencijalnim jednačbama. Skup takvih jednačbi čini *model atmosfere*, a najkompleksniji model atmosfere jest onaj skup jednačbi koji opisuje opću cirkulaciju atmosfere. Model opće cirkulacije atmosfere može biti “zdužen” s modelom cirkulacije oceana, modelom ledenih pokrivača, modelom procesa u tlu, s modelom vegetacije, te može uključivati razne kemijske procese unutar komponenata klimatskog sustava. Onda govorimo o *klimatskom modelu* koji na osnovi primjenjivih fizikalnih zakona izračunava kvantitativno stanje klimatskih elemenata dobiveno međudjelovanjem komponenata klimatskog sustava. *Globalni klimatski model* (engl. global climate model, GCM) ili model Zemljinog sustava (engl. Earth system model, ESM) uvažava mnoštvo kompleksnih procesa u raznim komponentama klimatskog sustava na području čitave Zemlje.



Slika 2.2 Godišnje srednje anomalije temperature (u odnosu na 1961.–1990.) od 1850. do 2015. za (a) globus, (b) sjevernu hemisferu, (c) južnu hemisferu i (d) trope (20°S–20°N). Crna krivulja je najbolja procjena, a sjenčano područje daje 95% raspon povjerenja procjene. (Izvor: Kennedy i sur. 2016)

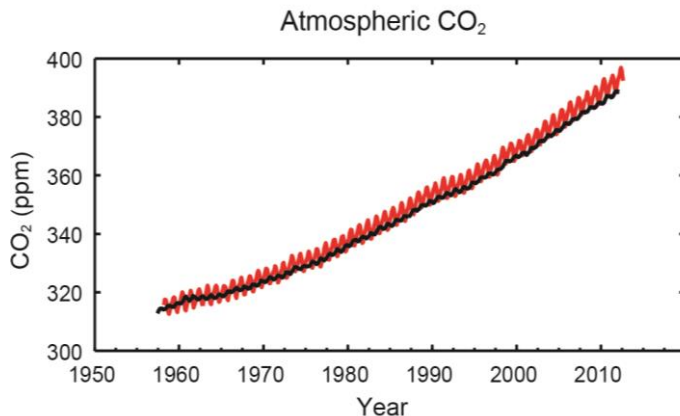
U praksi je nemoguće riješiti diferencijalne jednačbe globalnog klimatskog modela analitičkim putem. Zato se jednačbe diskretiziraju, odnosno formuliraju u numeričkoj formi iz koje se onda izvodi računalni ili numerički program koji se rješava na računalima. Numerička diskretizacija znači da se računanje obično vrši u točkama neke računalne mreže (regularne, geografske) ili u nekom drugom obliku (primjerice, u spektralnom prostoru). Zbog numeričke diskretizacije, rješenja dinamičkih jednačbi mogu biti samo aproksimativna, dakle ne i apsolutno točna. Drugi izvor za aproksimativni izračun stanja klimatskog sustava jest nedostatan poznavanje mnogih procesa unutar klimatskog sustava. Primjerice, još uvijek su manjkave spoznaje o međudjelovanju oblaka i okolne atmosfere ili izmjeni energije između tla (oceana) i atmosfere.

Računalni programi globalnih klimatskih modela, kao i modela za prognozu vremena (koji su sa znanstvenog i tehnološkog aspekta posve slični klimatskim modelima) su vrlo zahtjevni za računalnim kapacitetima. Za rješavanje numeričkih jednačbi klimatskih modela (što onda nazivamo numeričkim integracijama) koriste se složene računalne arhitekture koje sačinjavaju deseci tisuća procesora i sustavi s velikim diskovnim kapacitetima. Razvoj klimatskih modela, dakle, uvelike je ovisan o razvoju računalne tehnologije (super-računala).

Za razliku od globalnih klimatskih modela, *regionalni klimatski modeli* (engl. regional climate model, RCM) pokrivaju neko manje područje (kontinent, regiju) i u pravilu imaju znatno bolju horizontalnu rezoluciju od globalnih modela. Takva, finija, računalna mreža omogućava detaljnije izračune klimatskih elemenata nego u globalnim klimatskim modelima. Regionalni modeli moraju dobivati *početne* i *rubne uvjete* kako bi mogli uopće funkcionirati. Ti se uvjeti u praksi najčešće uzimaju od globalnih modela, pa kažemo da globalni modeli “forsiraju” regionalne modele, odnosno



da je regionalni model “ugniježđen” u globalni model. Dodatna vrijednost regionalnih modela u odnosu na globalne jest da daju detalje koje ne nalazimo u globalnim modelima, ali i dalje održavaju značajke velikih skala koje nalazimo u rubnim uvjetima.

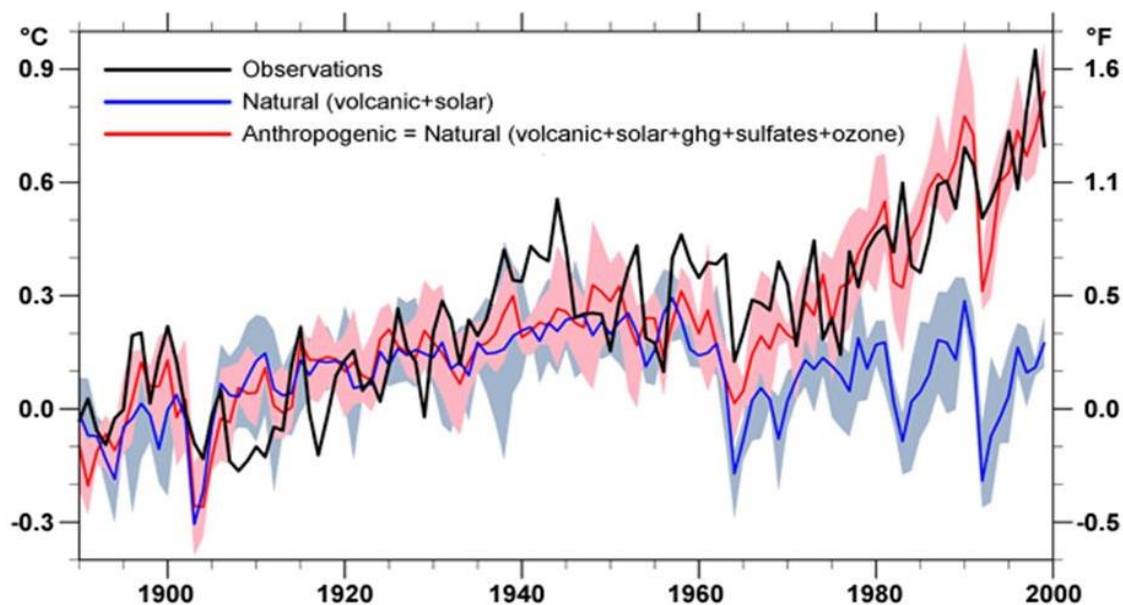


Slika 2.3 Koncentracija CO₂ u atmosferi na opservatoriju Mauna Loa, Havaji (crveno) i Južnom polu (crno). (Izvor: IPCC WGI, 2013a)

MODELIRANJE KLIME I KLIMATSKIH PROMJENA

Da bi se ustvrdilo u kojoj mjeri klimatski model uspješno reproducira globalnu ili regionalnu (lokalnu) klimu, numeričke se jednadžbe moraju prvo integrirati za neko prošlo vremensko razdoblje za koje postoje izmjereni klimatski podaci. Onda klimatski model *simulira* stvarnu klimu. Usporedbom simulirane klime sa stvarnom klimom (proces poznat kao *validacija* modela) određuje se stupanj povjerenja u klimatski model.

Iz klimatskih simulacija stvarne (“sadašnje”) klime moguće je ustvrditi da su opažene klimatske promjene (globalno zagrijavanje) u zadnjih 50-ak godina posljedica povećanja koncentracija stakleničkih plinova. U Sl. 2.4 crna podebljana krivulja pokazuje izmjereni porast globalnih temperaturnih anomalija izračunat iz tisuća podataka meteoroloških mjerenja.



Slika 2.4 Simulacija opažene promjene (anomalija) globalne temperature u 20. stoljeću. (Izvor: www.meted.ucar.edu)

Taj porast postaje izraženiji od 70-ih godina 20. stoljeća. Crveno sjenčano područje su simulacije nekoliko globalnih klimatskih modela u kojima su, uz prirodne faktore koji djeluju na klimu, također uvaženi i ljudski faktori (izraženi kroz porast emisija stakleničkih plinova). Modeli dosta dobro prate opaženi porast temperature, a sjenčano područje pokazuje rasap u simulacijama između različitih



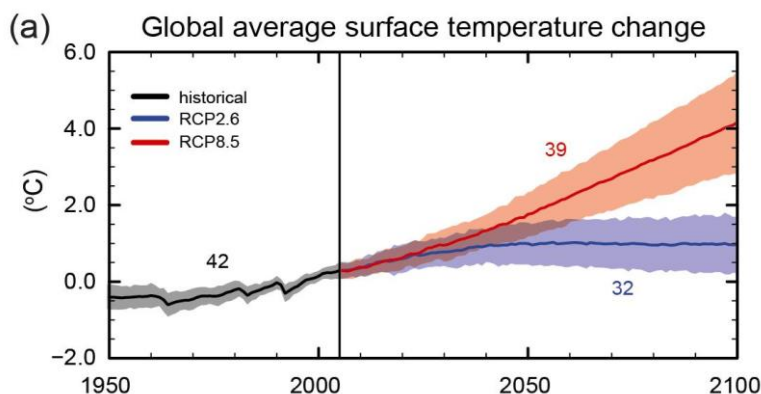
modela. Ukoliko se u klimatskim modelima isključi porast emisija stakleničkih plinova, onda ne dolazi do porasta temperature (plava krivulja u Sl. 2.4).

Jedino klimatski modeli mogu “predvidjeti” buduće stanje klimatskog sustava, te su stoga nezaobilazni u procjeni budućih klimatskih promjena, prvenstveno onih koje mogu nastati zbog utjecaja čovjeka. Za taj proces važna je pretpostavka o budućim koncentracijama stakleničkih plinova u atmosferi, a koje pak ovise o socio-ekonomskom stupnju razvoja čovječanstva: broju stanovnika na Zemlji, proizvodnji i potrošnji energije, urbanizaciji, veličini i iskorištenosti obradivog zemljišta, korištenju vodnih resursa, biljnom pokrovu, prometu, itd. S obzirom da nije moguće precizno znati budući stupanj razvoja te da se on mijenja tijekom vremena, postoji više *scenarija* koncentracija stakleničkih plinova. Takvi scenariji uvažavaju se u klimatskim modelima kako bi se onda mogao odrediti njihov utjecaj na komponente klimatskog sustava. Onda govorimo o *projekcijama* budućeg stanja klime.

Scenariji koncentracija stakleničkih plinova (engl. *representative concentration pathways*, RCP) su trajektorije koncentracija stakleničkih plinova (a ne emisija) koje opisuju četiri moguće buduće klime, ovisno o tome koliko će stakleničkih plinova biti u atmosferi u nadolazećim godinama Moss i sur. 2010). Četiri scenarija, RCP2.6, RCP4.5, RCP6 i RCP8.5, daju raspon vrijednosti mogućeg forsiranja zračenja (u W/m^2) u 2100. u odnosu na pre-industrijske vrijednosti (+2.6, +4.5, +6.0 i +8.5 W/m^2). RCP2.6 predstavlja, dakle, razmjerno male buduće koncentracije stakleničkih plinova na koncu 21. stoljeća, dok RCP8.5 daje osjetno veće koncentracije.

Sl. 2.5 prikazuje promjenu vrijednosti globalne godišnje površinske temperature do konca 21. stoljeća uz primjenu dva različita scenarija (IPCC 2013a): RCP2.6 i RCP8.5. Prema RCP2.6 scenariju, porast *srednje* godišnje globalne temperature od oko 1 °C ostvario bi se nešto prije 2050. godine, te se do konca stoljeća ne bi značajnije mijenjao (Sl. 2.5, plava krivulja). Sjenčano plavo područje označava rasap rješenja dobiven iz 32 globalna klimatska modela. Prema scenariju RCP8.5, porast srednje godišnje globalne temperature do konca 21. stoljeća dosegno bi oko 4 °C (Sl. 2.5, crvena krivulja) s time da je taj porast od 2005. godine kontinuiran. Oba promatrana scenarija ne uključuju (jer to nije moguće!) buduće značajne vulkanske erupcije koje bi mogle donekle utjecati na evoluciju klimatskih promjena.

Projicirani porast temperature neće biti ravnomjeran u svim područjima – u nekim područjima zatopljenje će biti jače nego u drugima. Sl. 2.6a pokazuje da će, u odnosu na referentno razdoblje 1986.-2005., promjena u zadnja dva desetljeća 21. stoljeća biti najveća u polarnim širinama, te da će zatopljenje biti izraženije iznad kopna nego nad morem. Promjene u količini oborine (Sl. 2.6b) također neće biti jednolike. Prema koncu 21. stoljeća veći porast količine oborine (na godišnjoj razini) projiciran je u višim zemljopisnim širinama i u ekvatorskom Pacifiku



Slika 2.5 Promjena srednjih godišnjih vrijednosti globalne površinske temperature do konca 21. stoljeća u odnosu na referentno razdoblje 1986.-2005. Sjenčana područja odnose se na scenarij RCP2.6 (plavo) i RCP8.5 (crveno). Crna krivulja (sivo sjenčanje) je simulacija vremenske evolucije historijskih podataka do 2005. godine. (Izvor: IPCC 2013a).

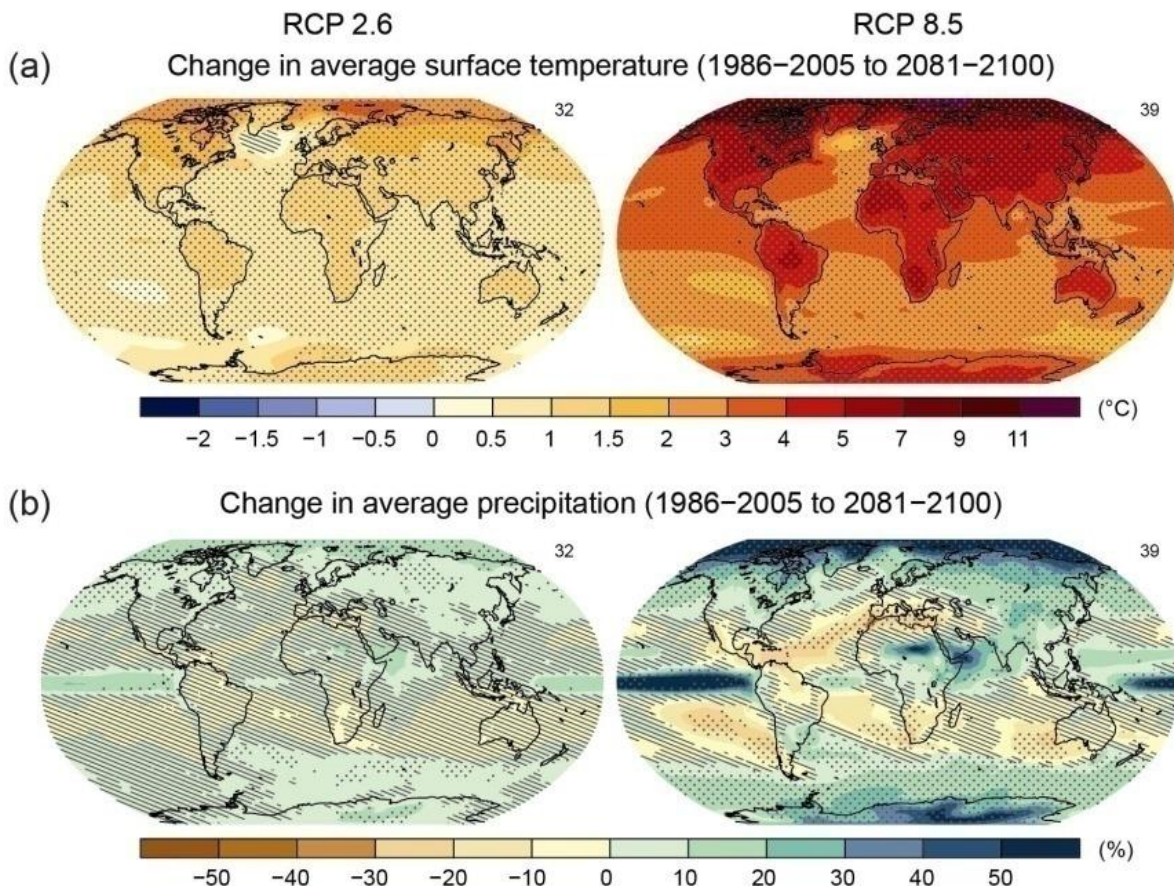


NEIZVJESNOSTI U KLIMATSKOM MODELIRANJU

Uz modeliranje klimatskih promjena vezano je niz neizvjesnosti što ukazuje kako buduće klimatske promjene neće biti nedvojbeno. Hawkins i Sutton (2009) dijele izvore neizvjesnosti u tri grupe: a) unutarnja (prirodna) varijabilnost klimatskog sustava, b) nesavršenost klimatskih modela i c) nepoznavanje buduće koncentracije stakleničkih plinova. Prirodne varijacije (ili klimatske fluktuacije) mogu djelomice “zamaskirati” buduće klimatske promjene (vidjeti početak poglavlja 2.2). Utjecaj prirodnih varijacija može biti izraženije u neposrednoj budućnosti dok su klimatske promjene još relativno male.

Nesavršenost klimatskih modela proizlazi iz više faktora. Znanstvene spoznaje i razumijevanje klimatskog sustava su ograničene jer još uvijek postoje nedovoljno poznati ili nedostatan objašnjeni procesi u atmosferi, oceanima i ostalim komponentama klimatskog sustava. Nadalje, numerička rješenja samo su aproksimacije stvarnih rješenja. Mnogi fizikalni procesi malih skala (turbulencija, mikrofizika oblaka, konvekcija, zračenje) u modelima nisu eksplicitno razlučeni zbog neadekvatne rezolucije samih modela te ih se mora *parametrizirati* empirijskim jednadžbama koje su izvedene iz podataka mjerenja. No, s obzirom da ne postoji jedinstven način parametrizacije, isti procesi mogu se drugačije prikazati u različitim modelima. Zato i dolazi do rasapa rješenja u numeričkim integracijama, čak i pri istom scenariju (ili prisilnom djelovanju). Dakle, ne bi se trebali promatrati rezultati samo jednog klimatskog modela, već rezultati *skupa* različitih modela (ili *ansambla*, engl. ensemble) koji ukazuju na raspon mogućih i jednako vjerojatnih rješenja.

Buduće koncentracije stakleničkih plinova i aerosola su možda najveća nepoznanica u klimatskom modeliranju. One ovise o mnogim socio-ekonomskim uvjetima. Nije moguće točno predvidjeti veličinu buduće populacije na Zemlji, niti stupanj industrijskog i tehnološkog razvitka. Zbog toga su i definirani različiti scenariji kako bi se mogao ustvrditi, barem približno, mogući raspon klimatskih promjena.



Slika 2.6 Prostorna razdioba promjene u razdoblju 2081.-2100. u odnosu na razdoblje 1986.-2005. prema scenarijima RCP2.6 (lijevo) i RCP8.5 (desno) za (gore) srednju godišnju površinsku temperature (u °C) i (dolje) srednju godišnju količinu oborine (u %). (Izvor: IPCC 2013a).



3. METODOLOGIJA

3.1 REGIONALNI KLIMATSKI MODEL REGCM

Za klimatske simulacije u okviru Projekta korišten je regionalni atmosferski klimatski model RegCM (Regional Climate Model). Model održava i usavršava odjel za fiziku Zemljinog sustava (Earth System Physics) pri Međunarodnom centru za teorijsku fiziku (International Centre for Theoretical Physics, ICTP) u Trstu, Italija. ICTP je međunarodna znanstveno-istraživačkoj organizacija koju financiraju UNESCO, IAEA (International Atomic Energy Agency) i talijanska Vlada. Model je tipa *open source*.

RegCM ima dugu povijest. Njegovi izvori potječu od kasnih 1980-ih (RegCM1; Dickinson i sur. 1989, Giorgi 1990) do novije verzije RegCM2 na početku 1990-ih (Giorgi i sur. 1993a,b), zatim RegCM2.5 u kasnim 1990-im (Giorgi i Mearns 1999) te RegCM3 iz 2000-ih (Pal i sur. 2007). Zadnja verzija (RegCM4) potječe iz 2012. godine (Giorgi i sur. 2012). RegCM je prvi regionalni klimatski model razvijen specifično u svrhu dugih klimatskih simulacija. Brojne znanstveno-istraživačke grupe i organizacije širom svijeta primjenjuju RegCM za široki spektar istraživanja različitih aspekata regionalne klime.

Prve integracije RegCM modelom u Hrvatskoj započete su u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ) 2003. godine, s verzijom RegCM3 nakon što je na DHMZ-u osnovana (neformalna) grupa za klimatsko modeliranje. Prvo se pristupilo implementaciji i testiranju RegCM modela na različite postavke modela. Rezultati tih prvih integracija opisani su u Branković i sur. (2004). Rezultati klimatskog modeliranja u DHMZ-u s RegCM modelom prikazani su i diskutirani u radovima publiciranim u najpoznatijim meteorološkim časopisima: *Climate Research* (Branković i sur. 2012, Patarčić i sur. 2014), *Monthly Weather Review* (Patarčić i Branković 2012), *Renewable Energy* (Pašičko i sur. 2012), *Climatic Change* (Güttler i sur. 2014), *Climate Dynamics* (Güttler i sur. 2014). Rezultati klimatskog modeliranja u Hrvatskoj RegCM modelom također su prikazani na mnogim skupovima, konferencijama i radionicama u Hrvatskoj i u inozemstvu. Popis publiciranih i prezentiranih radova može se naći na stranici http://bib.irb.hr/lista-radova?sif_proj=004-1193086-3035 projekta "Klimatske varijacije i promjene i odjek u područjima utjecaja" (broj projekta 004-1193086-3035). Znanstvenici iz DHMZ-a također sudjeluju u razvoju i poboljšanju RegCM modela, primjerice na verziji RegCM4 (Giorgi i sur. 2012).

Rezultati i učinak RegCM modela vrlo su slični, a ponekad i isti, u usporedbi s drugim regionalnim klimatskim modelima. Najčešća razlika među klimatskim modelima jest u definiciji različitih parametrizacija nerazlučivih fizikalnih procesa (radijacija, konvekcija, turbulencija, itd.). S obzirom da ne postoji jedinstveni način kako bi se ti procesi mogli prikazati, razni modeli nude različita rješenja. Međutim, važno je da rezultati integracija odgovaraju fizikalnoj stvarnosti, odnosno da su usporedivi s podacima mjerenja i motrenja. Branković i sur. (2013) usporedili su rezultate pet različitih regionalnih klimatskih modela za područje Europe (uključujući i RegCM) i zaključili da su njihove sustavne pogreške, u odnosu na podatke mjerenja, vrlo slične. Primjerice, svi modeli imali su problem točno reproducirati vrlo male količine oborine iznad određenih lokacija/sezona. Korištenjem istih rubnih uvjeta jednog globalnog klimatskog modela također je rezultiralo u vrlo sličnim projekcijama buduće klime. Za područje hrvatskog Jadrana, svi modeli projicirali su zatopljenje u budućoj klimi, dok je za oborine signal promjene bio neodređen.

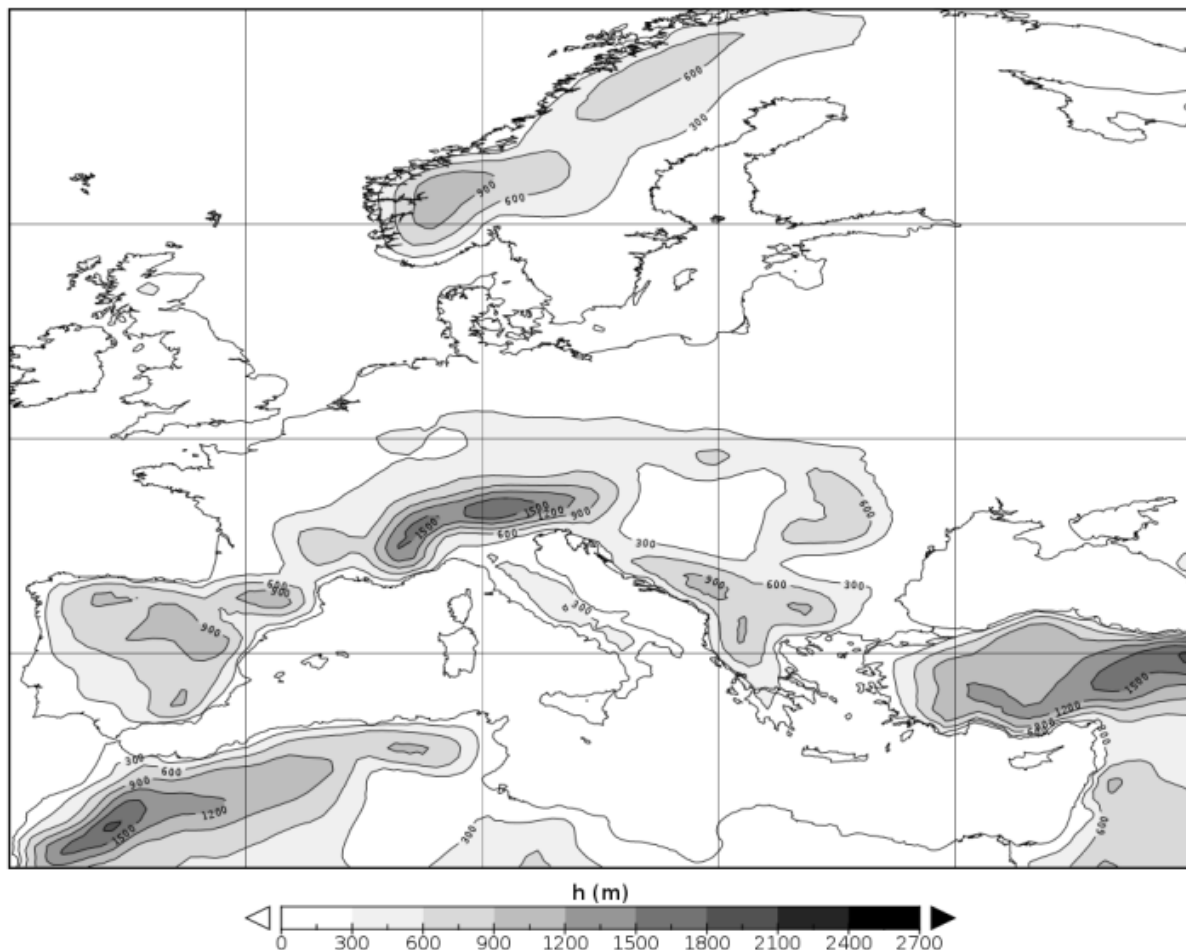
Klimatske integracije RegCM modelom generirane u DHMZ-u uvrštene su u depozitorij Euro-Cordex inicijative (www.euro-cordex.net) koja je pod pokroviteljstvom Svjetskog programa za istraživanje klime (World Climate Research Programme, WCRP; www.wcrp-climate.org) u okviru Svjetske meteorološke organizacije (WMO; www.wmo.int). Cilj Euro-Cordex inicijative jest koordinirana produkcija projekcija klimatskih promjena na regionalnim skalama za korištenje u studijama utjecaja i prilagodbe klimatskim promjenama. Znanstvenici iz DHMZ-a aktivno sudjeluju u raznim projektima čiji je cilj opisati i prezentirati efekte klimatskih promjena (Vautard i sur. 2013, Drobinski i sur. 2016). Usprkos nedostatnim ljudskim i tehničkim resursima, DHMZ se profilirao kao jedna od organizacija (jedina u Hrvatskoj) u kojoj se aktivno provode znanstvena istraživanja



klimatskih promjena i čiji se rezultati koriste u široj znanstvenoj zajednici. U tim istraživanjima RegCM model je nezaobilazni i priznati faktor bez kojeg ova istraživanja ne bi bila moguća.

RegCM model koncipiran je tako da se može relativno jednostavno koristiti (*user friendly*); mogu ga koristiti znanstvenici koji na raspolaganju imaju najnovija tehnološka dostignuća, ali isto tako i znanstvenici iz zemalja u razvoju. Model je dizajniran da bude javno dobro, pa ga zovemo modelom klimatološke zajednice. Računalni kôd modela može se primijeniti na bilo koju regiju svijeta. Procjenjuje se da oko 750 znanstvenika doprinose evaluaciji i poboljšanju RegCM-a kroz njegovo korištenje.

Za potrebe Projekta koristi se RegCM4 (verzija 4.2), a numerički izračuni rađeni su za šire područje Europe definiranom sljedećim (krajnjim) točkama 11.88°N - 81.07°N, 77.19°W - 97.09°E na regularnoj prostornoj mreži od 50 km. Na tako zadanom geografskom području numeričku računalnu mrežu čini 144x144 točaka, a najviše planine dosežu nešto više od 1500 m (Sl. 3.1). U vertikalnoj domeni koriste se tzv. sigma-nivoi koji u prizemnom sloju prate orografiju; model ima 23 vertikalna nivoa, a “vrh” modela je na 5 hPa (preko 30 km). Vremenski korak numeričke integracije je 150 sekundi. Atmosferske varijable i temperatura površine mora koje čine rubne uvjete ažurirane su svakih 6 sati.



Slika 3.1 Orografija iznad Europe (dio računalne domene RegCM-a) za 50-km regularnu geografsku mrežu.

Parametrizacije nerazlučivih procesa na 50-km prostornoj skali uključuju: zračenje (Kiehl i sur. 1996), procese u atmosferskom graničnom sloju (Holtslag i sur. 1990), duboku konvekciju (Grell 1993), mikrofiziku oborine i naoblake na razlučenoj prostornoj skali (Pal i sur. 2000), te procese na površini i u tlu (Dickinson i sur. 1993).



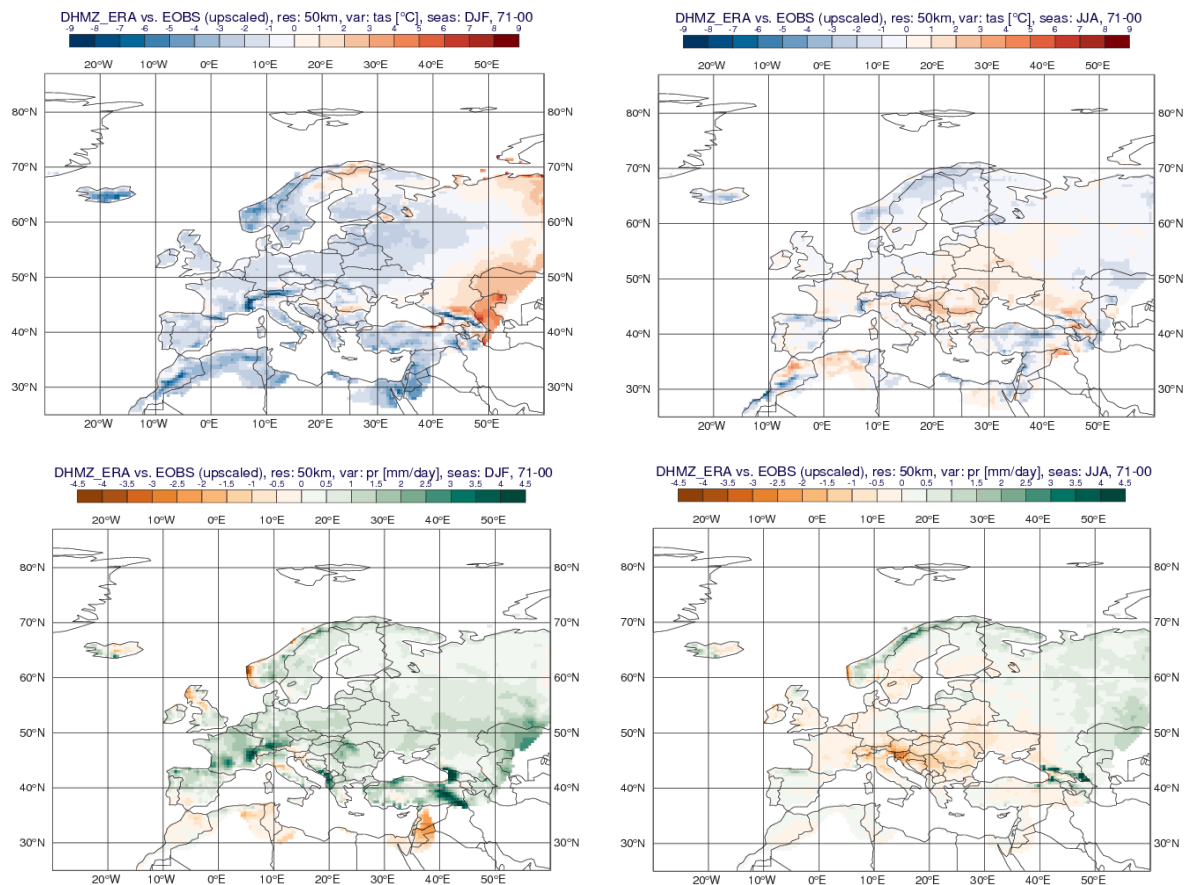
3.2 NUMERIČKE SIMULACIJE SADAŠNJE KLIME

Numeričke integracije RegCM modelom mogu se podijeliti na simulacije sadašnje (odnosno prošle) klime i simulacije (projekcije) buduće klime. U simulacijama sadašnje klime RegCM je forsiran sa (a) podacima reanalize¹ ERA-Interim (Dee i sur. 2011) Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena (ECMWF) i (b) podacima numeričkih integracija globalnih klimatskih modela (GCM) koji se odnose na sadašnju klimu (tzv. historijska klima).

3.2.1 Rubni i početni uvjeti iz ERA-Interim - validacija RegCM modela

Globalne reanalize, kao što je primjerice ERA-Interim, smatraju se najboljim mogućim prikazom stvarnog stanja atmosfere. Zbog toga se simulacije pod (a) još nazivaju simulacije sa “savršenim” (*perfect*) rubnim uvjetima. One su važne jer dijagnosticiraju izvorne (autentične) sustavne pogreške regionalnih klimatskih modela, dakle služe za njihovu evaluaciju. Rezultati RegCM simulacija s rubnim i početnim uvjetima iz ERA-Interim uspoređeni su s E-OBS podacima mjerenja (Haylock i sur. 2008) koji su definirani na regularnoj geografskoj mreži od 25 km iznad kopnenog područja Europe.

Sl. 3.2 pokazuje da su u polju zimske temperature pogreške RegCM modela iznad većeg dijela Europe negativne - model je hladniji u odnosu na E-OBS podatke.



Slika 3.2 Sustavne pogreške RegCM modela u razdoblju 1971.-2000. za temperaturu (gore) i oborinu (dolje) u zimi (lijevo) i u ljeto (desno) uz rubne i početne uvjete iz reanalize ERA-Interim.

Iznad Hrvatske pogreške su u zimskoj temperaturi gotovo zanemarive. Ljeti su u sjevernoj Hrvatskoj pogreške pretežno pozitivne (zagrijavanje) i dosežu do oko 2-3 stupnja. Pogreške u ukupnoj količini zimske oborine su iznad Hrvatske relativno male, dok su ljeti negativne (deficit oborine) do oko 1.5 mm/dan. Amplituda temperaturnih pogrešaka u Sl. 3.2 slična je onoj iz ranije verzije RegCM modela

¹ Reanaliza je složena kombinacija (asimilacija) podataka motrenja i vrlo kratkih (6-satnih) prognoza vremena.



(na pr. Branković i sur. 2012), ali sa suprotnim predznakom. Pogreške u ljetnoj količini oborine prikazane u Sl. 3.2 su po amplitudi i po predznaku također slične pogreškama iz ranije verzije RegCM-a.

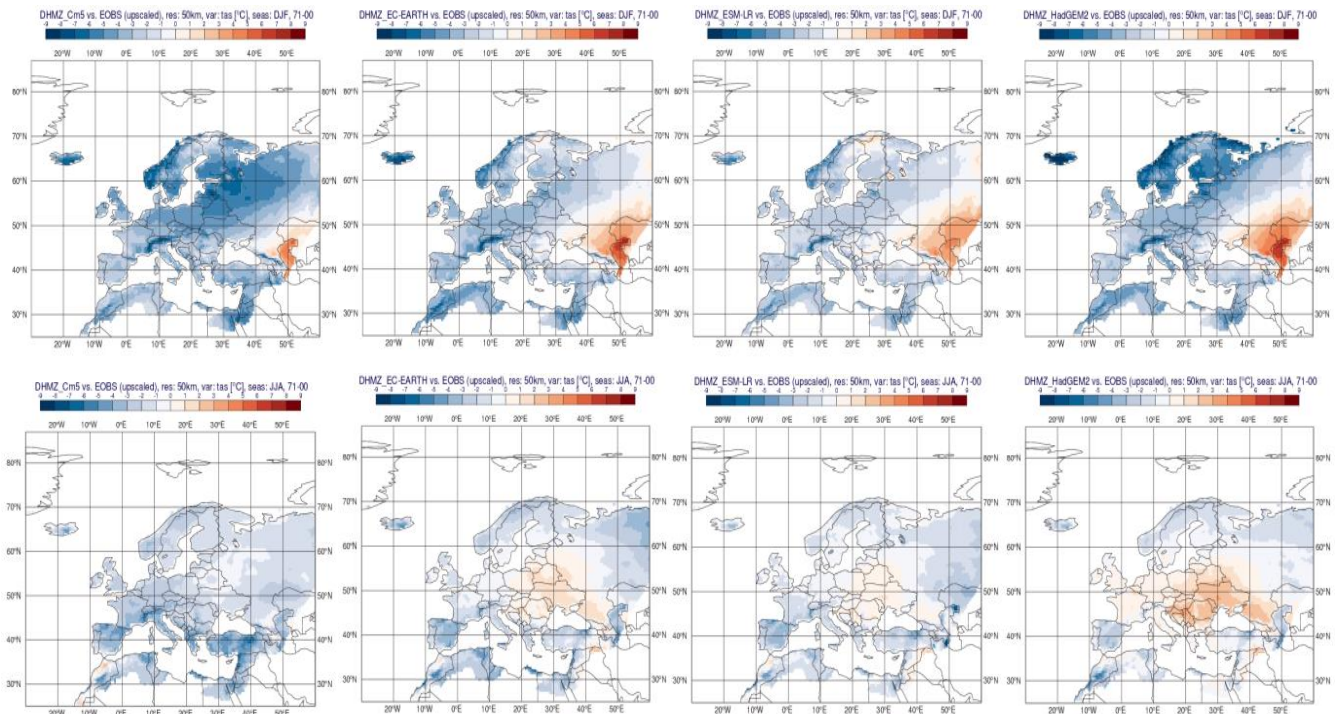
3.2.2 Rubni i početni uvjeti iz globalnih klimatskih modela

Četiri globalna klimatska modela s čijim je podacima forsiran RegCM su:

- (1) model francuske meteorološke službe (Meteo France) CNRM-CM5 (skraćeno **Cm5**) (<http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article126&lang=en>)
- (2) model europskog (nizozemskog) konzorcija **EC-Earth** (<https://www.ec-earth.org/index.php/about>)
- (3) model njemačkog Max-Planck instituta (MPI) za meteorologiju **MPI-ESM** (<http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/>)
- (4) model britanske meteorološke službe (Met Office) **HadGEM2** (<http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>)

U razdoblju historijske klime (1971.-2005.) ta četiri globalna klimatska modela koriste izmjerene vrijednosti koncentracija stakleničkih plinova. Pogreške RegCM-a u historijskoj klimi su također određene u odnosu na E-OBS podatke mjerenja. No pogreške RegCM-a sadrže u ovom slučaju, pored izvornih pogrešaka regionalnog modela, i pogreške samog globalnog modela čiji se rubni/početni uvjeti koriste.

Iz Sl. 3.3 (gore) vidljivo je da su pogreške RegCM-a zimi iznad Europe negativne u sva četiri slučaja forsiranja rubnim podacima različitih globalnih modela. Ovaj rezultat sukladan je onome iz Sl. 3.2, pa bi se moglo reći da u hladnim zimskim pogreškama temperature u Sl. 3.3 prevladavaju izvorne pogreške RegCM-a. Iznad Hrvatske zimska hladna pogreška u Sl. 3.3 varira od jednog do drugog globalnog klimatskog modela s amplitudom između -1 i -3 °C. U ljeto (Sl. 3.3, dolje) su sustavne pogreške uz forsiranje rubnim uvjetima iz MPI-ESM i EC-Earth globalnih modela praktički zanemarive; uz rubne uvjete od Cm5 globalnog modela su negativne (od -1 do -2 °C), a uz rubne uvjete HadGEM2 globalnog modela su pozitivne između 2 i 3 °C.



Slika 3.3 Sustavne pogreške RegCM modela u razdoblju 1971.-2000. za temperaturu zimi (gore) i ljeti (dolje) uz rubne i početne uvjete iz globalnih modela Cm5, EC-Earth, ESM-LR i HadGEM2.



3.3. NUMERIČKE INTEGRACIJE BUDUĆE KLIME

Numeričke integracije četiri globalna klimatska modela za projekcije buduće klime, osnivaju se na IPCC scenarijima RCP4.5 i RCP8.5. Prema RCP4.5 scenariju emisija CO₂, najvažnijeg stakleničkog plina u atmosferi, smanjuje se od sredine prema koncu 21. stoljeća. Međutim, smanjenje emisije CO₂ ne znači automatski i smanjenje koncentracije tog plina – on će se i dalje zadržavati u atmosferi, no koncentracija bi od sredine stoljeća nadalje bila uglavnom nepromijenjena (IPCC 2013a). Prema RCP8.5 scenariju emisija CO₂ nastavit će s porastom do konca 21. stoljeća. Dinamička prilagodba za buduću klimu rađena je za razdoblje 2006. do 2070.

3.4 KONFIGURACIJA RAČUNALA VELEBIT U SRCE-U

Za potrebe Projekta nabavljen je računalni klaster nazvan VELEbit. Dogovorom Ministarstva znanosti i obrazovanja (MZO), MZOE-a i Srca, računalo je udomljeno u Srcu. Računalni klaster je za vrijeme trajanja projekta MZOE-a prvenstveno dostupan sudionicima projekta MZOE-a. Računalni klaster VELEbit je integriran s već postojećim računalnim klasterom Isabella.

Računalni klaster VELEbit sastoji se od sljedećeg:

- 64 radna čvora Lenovo NeXtScale nx360 M s 2 procesora Intel Xeon E5-2683 v3, svaki s 14 jezgri (od 2.0 GHz) - ukupno 1792 procesorske jezgre, 128 GB radne memorije i 1 TB lokalnog spremišta
- 2 spremišna elementa Lenovo System x3550 M5 s 2 procesora Intel Xeon E5-2637 v3 (8 jezgri s 3.5 GHz), 128 GB radne memorije i 2 x 1.92 TB brzog spremišta sa SSD diskovima
- 4 spremišna elementa Lenovo System x3650 M5 s 2 procesora Intel Xeon E5-2637 v3 (8 jezgri s 3.5 GHz), 128 GB radne memorije i 2 x 1.92 TB SSD brzog spremišta, 2 x 200 GB SSD i 12 x 6 TB diskova
- 4 Infiniband preklopnika Mellanox SX6036 s 36 pristupa i brzinom od 56 Gb/s
- 3 Ethernet preklopnika HP 3800-48G-4XG.

Ukratko, korisnicima su dostupni sljedeći resursi:

- 64 radna čvora s ukupno 1792 procesorske jezgre
- 6 spremišnih čvorova iskoristivog kapaciteta 220 TB standardnog spremišta i 12 TB brzog spremišta (sa SSD diskovima).

Radnim čvorovima se pristupa putem sustava za upravljanje poslovima Son of Grid Engine (<https://arc.liv.ac.uk/trac/SGE>). Spremište je uspostavljeno korištenjem raspodijeljenog datotečnog sustava BeeGFS (<http://www.beegfs.com>). Izmjerene performanse klastera pomoću programa HPL (engl. High Performance Linpack) iznose 44.4 TFLOPS-a. Izračunata teoretska potrošnja energije računalnog klastera od 28 kW potvrđena je mjerenjem kad je klaster bio pod opterećenjem.



Slika 3.4 Super-računalo VELEbit u Sveučilišnom računskom centru (SRCE) u Zagrebu.

4. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA

Sadašnja (“historijska”) klima pokriva razdoblje od 1971.-2000. U tekstu se ovo razdoblje navodi i kao referentno klimatsko razdoblje ili referentna klima, te je često označeno kao razdoblje P0. Promjena klimatskih varijabli u budućoj klimi u odnosu na referentnu klimu prikazana je i diskutirana za dva vremenska razdoblja: 2011.-2040. ili P1 (neposredna budućnost) i 2041.-2070. ili P2 (klima sredine 21. stoljeća). Klimatske promjene definirane su kao razlike vrijednosti klimatskih varijabli između razdoblja 2011.-2040. i 1971.-2000. (P1-P0), te razdoblja 2041.-2070. minus 1971.-2000. (P2-P0).

Za različite klimatološke varijable i njihove promjene u budućoj klimi prvo su prikazane i diskutirane vrijednosti za srednjake ansambla izračunate iz četiri numeričke integracije RegCM modelom kad su korišteni rubni i početni uvjeti različitih globalnih klimatskih modela (vidjeti poglavlje 3.2.2). Ukoliko su u pojedinim individualnim integracijama uočena značajna odstupanja od srednjaka ansambla, one su također diskutirane.

S obzirom da za većinu sektora nije navedeno vremensko razdoblje (godina, sezona, mjesec) za koje bi se pripremila analiza stanja klimatoloških varijabli u budućoj klimi, klimatske promjene prikazane su i diskutirane po sezonama (zima, proljeće, ljeto, jesen). Naime, u mnogim sektorima prilagodba klimatskim promjenama ovisit će o sezonskim varijacijama. Sezone su definirane prema klimatološkom, a ne prema astronomskom obrascu; primjerice, zimu čine prosinac, siječanj i veljača.

U klimatologiji je standardna jedinica za količinu oborine i pridružene varijable (evapotranspiracija, itd.) mm/dan. Da bi se dobila približna ukupna količina oborine u jednoj sezoni (ili godini), u diskusiji su prikazane vrijednosti pomnožene sa 90 (prosječni broj dana u sezoni) ili sa 365 (broj dana u godini). Tako primjerice, na prikazanim slikama oborine od, recimo, 1.5 mm/dan odgovara ukupnoj sezonskoj količini od 135 mm (ili oko 550 mm na godinu).

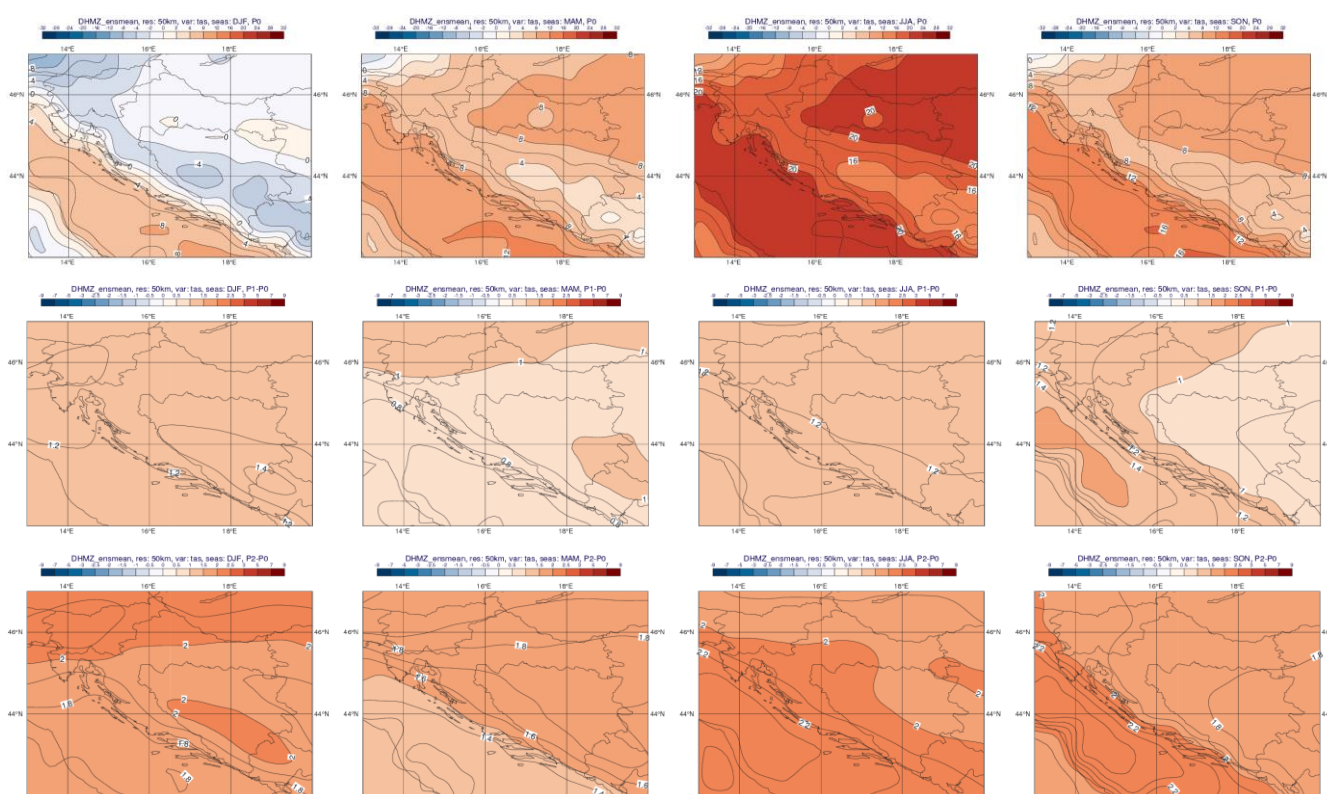
Prikaz mjesečnih vrijednosti pojedinih klimatskih parametara nije prikazan ovim dokumentom zbog velike količine podataka već se vrijednosti istih nalaze u MS Office Excel datotekama u vidu elektronskog dodatka ovom dokumentu. Excel s smještene su na istim elektronskim adresama gdje je smješten i ovaj glavni dokument. Vrijednosti parametara za gradove Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split izabrani su kao reprezentivi regija u kojima su smješteni: centralne Hrvatske; istočne Hrvatske, gorske Hrvatske, sjevernog Jadrana i Dalmacije.



4.1. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTOR POLJOPRIVREDA

4.1.1 Temperatura zraka

U srednjaku ansambla (Sl. 4.1.1, gore) uočava se sezonska varijabilnost srednje prizemne temperature. Zimi je u planinskim krajevima srednjak ansambla malo manji od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i nešto niži od izmjerenih vrijednosti (Ogulin 1, Gospić $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; Zaninović i sur. 2008), što je sukladno sustavnoj pogrešci RegCM modela prikazanoj u Sl. 3.2 (gore). U sjevernoj Hrvatskoj je temperatura malo ispod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, također nešto niža od izmjerene (Zagreb 1, Osijek 1). U primorskom dijelu zimska temperatura je između 2 i $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Negativne vrijednosti u području Kvarnera nisu realistične (u Rijeci je izmjereni zimski srednjak $6\text{ }^{\circ}\text{C}$) i posljedica su utjecaja “proširenja” temperature iz planinskih krajeva zbog neadekvatno razlučenog uskog planinskog pojasa i dijela sjevernog Primorja na 50-km rezoluciji u RegCM modelu. U ostalim su sezonama srednje dnevne temperature relativno dobro prikazane u srednjaku ansambla.



Slika 4.1.1 Temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U razdoblju 2011.-2040. (P1), očekuje se u svim sezonama porast prizemne temperature u srednjaku ansambla (Sl. 4.1.1, sredina). Porast temperature gotovo je identičan zimi i ljeti – između 1.1 i $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. U proljeće u većem dijelu Hrvatske prevladava nešto manji porast: od $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ na otocima Dalmacije do malo više od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Jesenski porast temperature je između $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u istočnoj Slavoniji do oko $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu, a u zapadnoj Istri i do $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sve individualne realizacije također daju porast temperature. Rezultati variraju između $0-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ u proljeće i ljeto kad RegCM koristi rubne uvjete EC-Earth modela, sve do $2.5-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ u zimi i jesen uz rubne uvjete HadGEM2 modela (jugozapadni dio Istre i neki otoci imaju porast i preko $3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

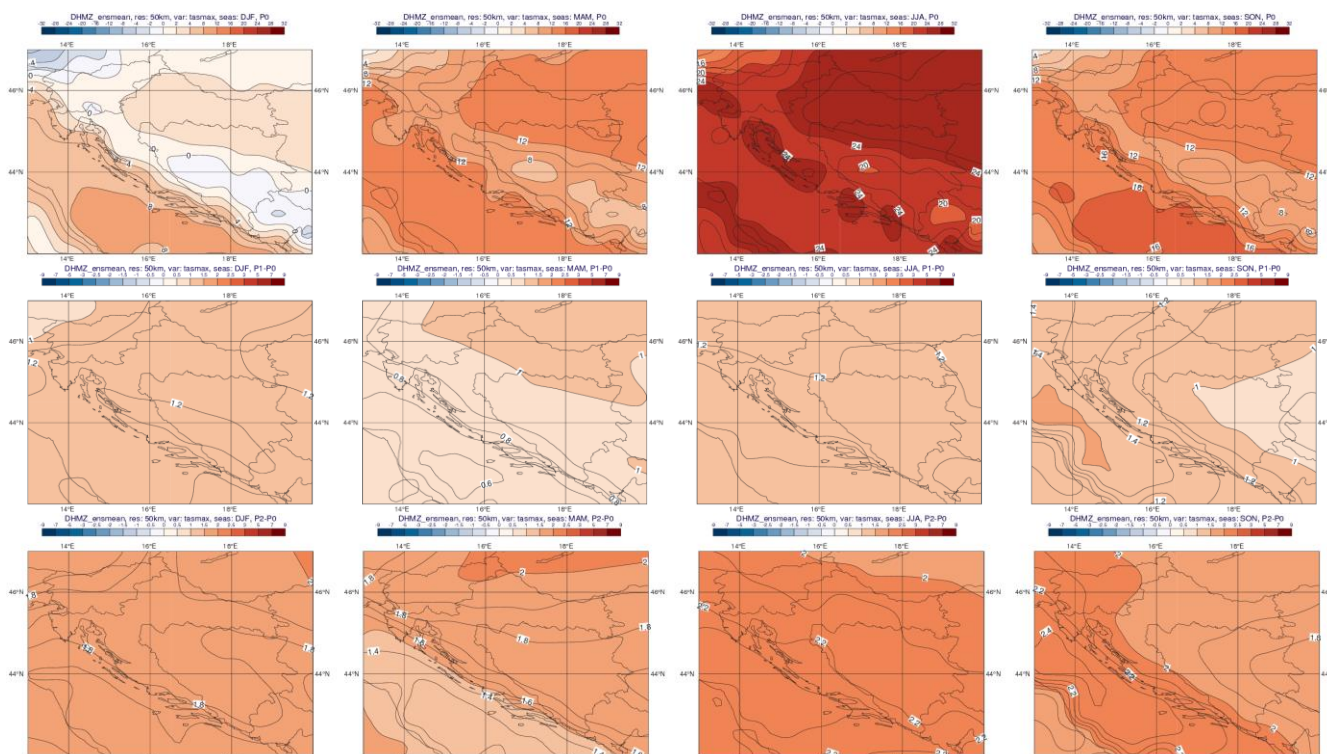
[Pogled do 2070.] U razdoblju do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, očekuje se na Jadranu u ljeto i jesen (Sl. 4.1.1, dolje). Nešto manji porast mogao bi biti ljeti u najsjevernijim krajevima i Slavoniji, a u jesen u većem dijelu Hrvatske. U zimi i proljeće je prostorna



razdioba porasta temperature obrnuta od one u ljeto i jesen: porast je najmanji na Jadranu a veći prema unutrašnjosti. U proljeće je porast srednje temperature od 1.4 do 1.6 °C na Jadranu i postupno raste do 1.9 °C u sjevernim krajevima.

4.1.2 Maksimalna temperatura zraka (Tmax)

U svakoj sezoni referentne klime (1971.-2000., razdoblje P0) razaznaju se tri karakteristična područja maksimalnih temperatura: sjeverna Hrvatska, gorski predjeli i primorska Hrvatska (Sl. 4.1.2, gore). Osim u zimi, vrijednosti simuliranih srednjih maksimalnih temperatura u sjevernom i primorskom dijelu su slične. U sjevernoj Hrvatskoj Tmax u srednjaku ansambla je nešto podcijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti na klimatološkim postajama iz Zaninović i sur. (2008). Primjerice u jesen je Tmax oko 14 °C u RegCM-u, a izmjerene vrijednosti su između 15 i 17 °C. U ostalim sezonama modelirane vrijednosti Tmax bliže su izmjerenim vrijednostima. U gorskoj i primorskoj Hrvatskoj također nalazimo niže Tmax u srednjaku ansambla nego što su opažene vrijednosti.



Slika 4.1.2 Maksimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

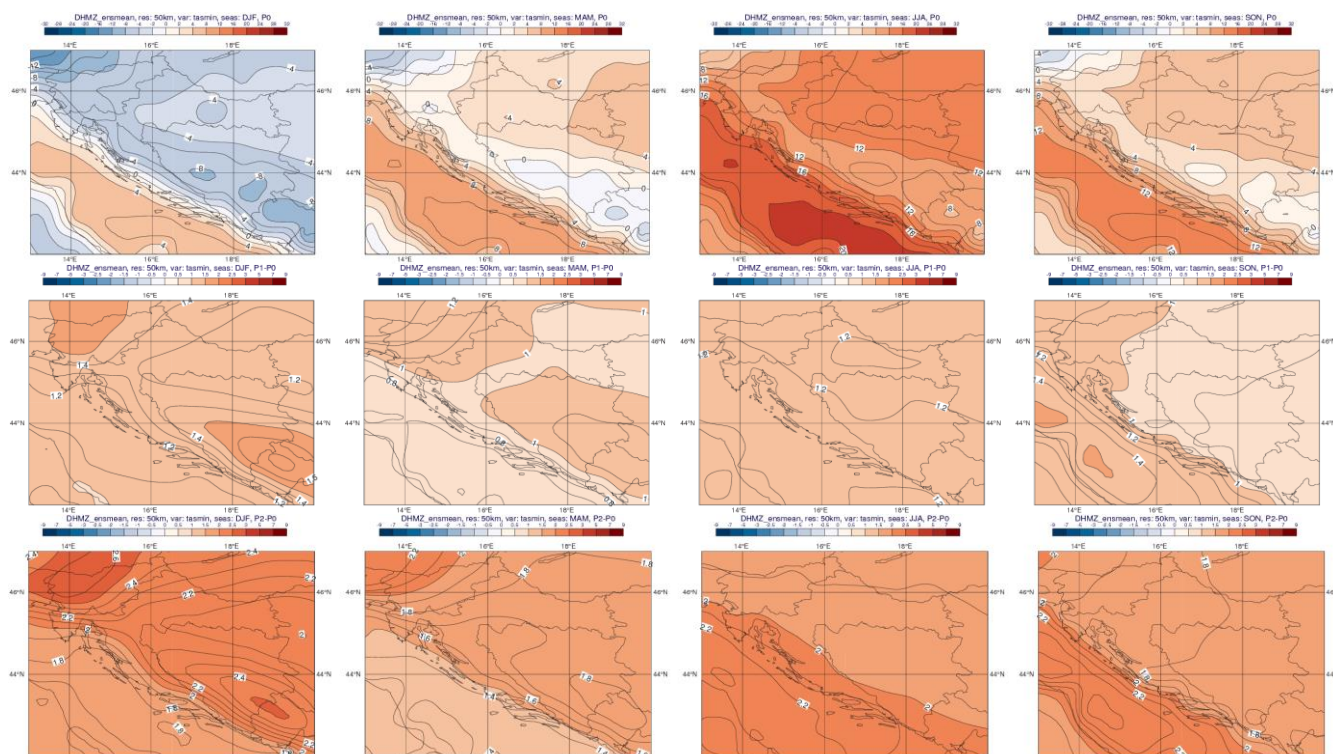
Za srednjak ansambla maksimalne temperature također je u razdoblju do 2040. godine (razdoblje P1) projiciran porast. Porast je gotovo jednoličan u svim sezonama osim u proljeće (Sl. 4.1.2, sredina). Porast je općenito veći od 1 °C, ali je manji od 1.5 °C, dok je u proljeće u središnjim i južnim predjelima porast nešto manji od 1 °C. Najveći porast maksimalne temperature, između 1.2 i 1.4 °C, je u jesen u primorskom dijelu. Najmanji porast Tmax, od 0.1 do 0.2 °C, daje realizacija RegCM modelom u proljeće uz rubne uvjete EC-Earth modela. Uz rubne uvjete HadGEM2 globalnog modela, porast Tmax je najveći u jesen: u unutrašnjosti do 2.5 °C, a u primorskom dijelu od 2.5 do 3.5 °C.

[Pogled do 2070.] Trend porasta maksimalne temperature u srednjaku ansambla nalazimo i u razdoblju 2041.-2070. (P2). Zimi porast doseže do oko 1.8 °C u unutrašnjosti i na sjevernom Jadranu, a dalje prema srednjem i južnom Jadranu i do 1.9 °C (Sl. 4.1.2, dolje). Porast od 1.4 °C na otocima do oko 2 °C u sjevernoj Hrvatskoj nalazimo u proljeće, dok je u ljetnoj sezoni porast Tmax između 2 i 2.2 °C. U jesen bi maksimalna temperatura mogla porasti od 2 °C u većem dijelu unutrašnjosti, pa sve do 2.3 °C na otocima. Ovo je ujedno i najveći porast Tmax u srednjaku ansambla.



4.1.3 Minimalna temperatura zraka (Tmin)

Simulirane zimske minimalne temperature (Tmin) u srednjaku ansambla RegCM su u gorskim i sjeverozapadnim predjelima u intervalu između -4 i -7 °C (Sl. 4.1.3, gore). One podcjenjuju izmjerene klimatološke vrijednosti; primjerice, u Gospiću -4, a u Ogulinu -2 °C (Zaninović i sur. 2008). U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske Tmin je nešto viša, od -2 do -4 °C, a na planinama Slavonije malo ispod -4 °C. U primorskim krajevima Tmin doseže +4 °C što se podudara s izmjerenim vrijednostima. U proljeće su minimalne temperature do najviše +9 °C na južnom Jadranu (u Dubrovniku je izmjereno 12 °C), a u gorskoj Hrvatskoj između 0 i 2 °C, što je nešto niže nego u Zaninović i sur. (2008). Proljetna Tmin u sjevernoj Hrvatskoj također je nešto niža od izmjerenih osim u Slavoniji gdje relativno dobro odgovara stvarnom stanju (Osijek 6 °C). U ljeto je Tmin na sjeveru zemlje od 12 do 14 °C, što se dobro podudara s izmjerenim 13 do 14 °C, a sukladnost između simuliranih i izmjerenih vrijednosti također je dobra u gorskim i primorskim krajevima. Modelirane jesenske minimalne temperature su relativno dobro opisane u sjevernoj Hrvatskoj, ali su podcijenjene na primorju i u višim predjelima gorske Hrvatske.



Slika 4.1.3 Minimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Najveći projicirani porast minimalne temperature u srednjaku ansambla do 2040. u zimskim mjesecima je između 1.2 °C u sjevernoj Hrvatskoj i primorju do 1.4 °C u Gorskom Kotaru (Sl. 4.1.3, sredina). U ostalim sezonama porast Tmin bio bi nešto manji, a najmanji u proljeće - od 0.7-0.8 °C na otocima i u primorju, pa do 1.1 °C u sjeverozapadnim krajevima. Očekivani porast ljeti je u srednjaku ansambla oko 1.2 °C i gotovo je jednoličan u čitavoj zemlji. U jesen će porast biti od 1 do 1.2 °C u Gorskom Kotaru, te u priobalju i na otocima, a u ostalim krajevima malo manje od 1 °C. Najmanji projicirani porast Tmin je uz rubne uvjete EC-Earth modela - u proljeće porast iznosi između 0.3 °C na primorju do 0.5 °C u gorskim predjelima. Uz rubne uvjet HadGEM2 porast Tmin je najveći, te u jesen doseže 3 °C na Jadranu.

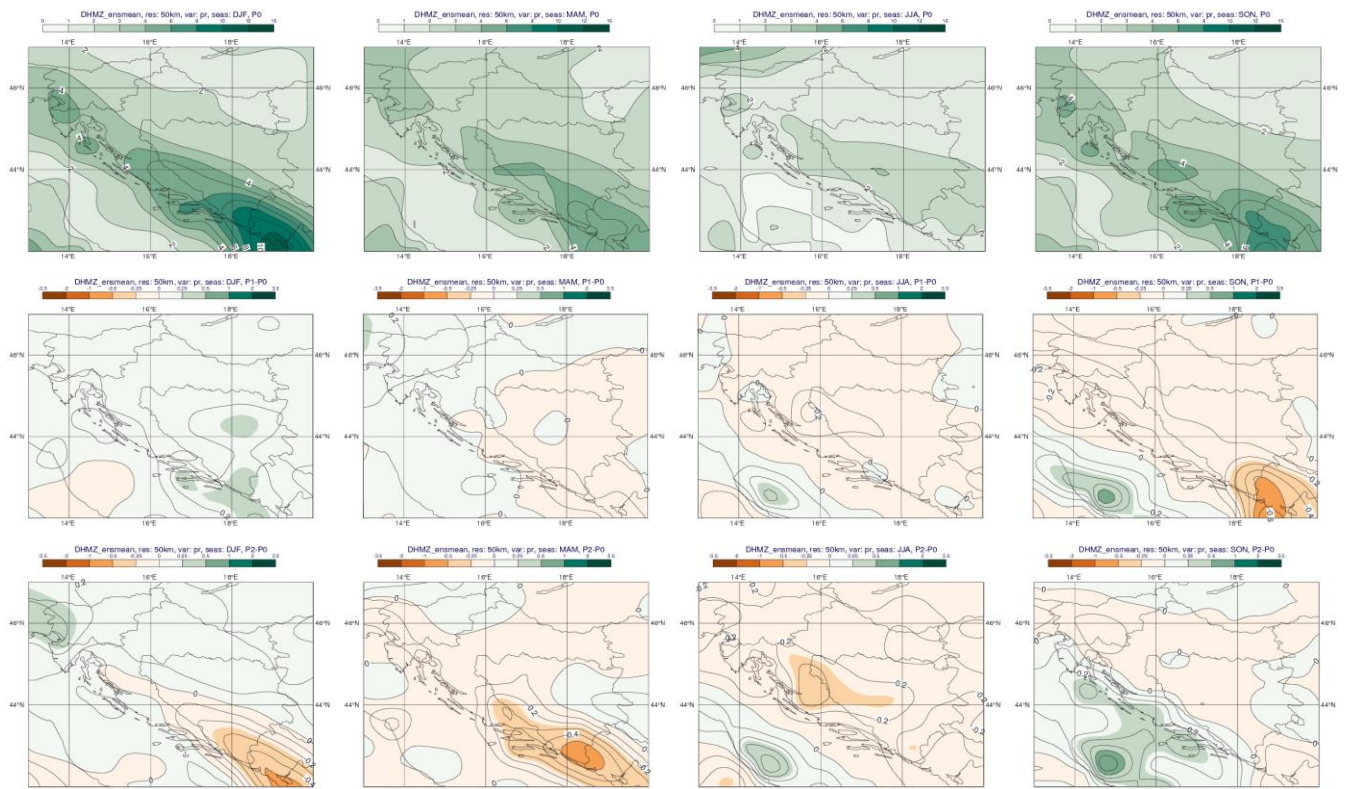
[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. se ponovno najveći porast minimalne temperature očekuje u zimi – od 2.1 do 2.4 °C u kontinentalnom dijelu, te od 1.8 do 2 °C u primorskim krajevima (Sl. 4.1.3, dolje). U svim ostalim sezonama porast Tmin će biti nešto manji nego onaj zimski. U proljeće se očekuje između 1.4°C u primorju do 1.8 °C na sjeveru zemlje; u ljeto između 1.9 na



sjeveru i 2.2 stupnja na otocima; u jesen između 1.8 i 1.9 °C u većem dijelu zemlje osim na Jadranu gdje se očekuje do 2.2 °C na vanjskim otocima.

4.1.4 Oborine

Oborine su vrlo promjenljive tijekom godine i sezonske količine se znatno razlikuju u pojedinim krajevima Hrvatske. Prema srednjaku ansambla numeričkih simulacija referentne klime za razdoblje 1971.-2000. najviše oborine padne u hladnom razdoblju (jesen, zima) u južnom i zapadnom dijelu Hrvatske, od Istre, preko gorskih predjela do južnog Jadrana, dok je u sjevernom i istočnom dijelu simulirana osjetno manja količina oborine (Sl. 4.1.4, gore). U ljeto u većem dijelu zemlje padne najmanja količina oborine, dok su iznosi simulirane oborine nešto povećani u gorskim krajevima i zaleđu Dalmacije.



Slika 4.1.4 Ukupna količina oborine (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

Srednja zimska količina oborine u srednjaku ansambla postupno raste od nešto manje od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjevernoj Hrvatskoj pa sve do više od 500 mm na jugu zemlje. Na sjeveru Hrvatske ova je količina veća od klimatoloških vrijednosti zabilježenih na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti oborina precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno precijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti (Split 227, Dubrovnik 316 mm). Najvjerojatni razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće je količina oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (izmjerene vrijednosti na postajama Osijek 151, Varaždin 186, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori i više od 270 mm (Gospić 312, Knin 257 mm). Modelirane količine ljetne oborine u kontinentalnim krajevima osjetno su manje (90-150 mm) nego što su izmjerene vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265 mm). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivne (pljuskovite) oborine u modelu. Tijekom ljeta konvektivna oborina je relativno česta, a smanjene ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivne oborine) ili na (b) nedovoljno dugo



trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Güttler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici su ljetne oborine (veće od 180 mm) relativno dobro simulirane (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (nešto više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok su u ostalim krajevima, osobito na sjeveru Hrvatske, jesenske oborine podcijenjene u modelu.

U budućoj klimi 2011.-2040. projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.1.4, sredina). Porast količine oborine je u zimi manji od 20 mm u sjevernim i središnjim krajevima; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Ljetno smanjene količine oborine je također zanemarivo, a slično je i u jesen u većem dijelu zemlje, osim na krajnjem jugu gdje će smanjenje biti nešto izraženije – do otprilike oko 40 mm. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije .

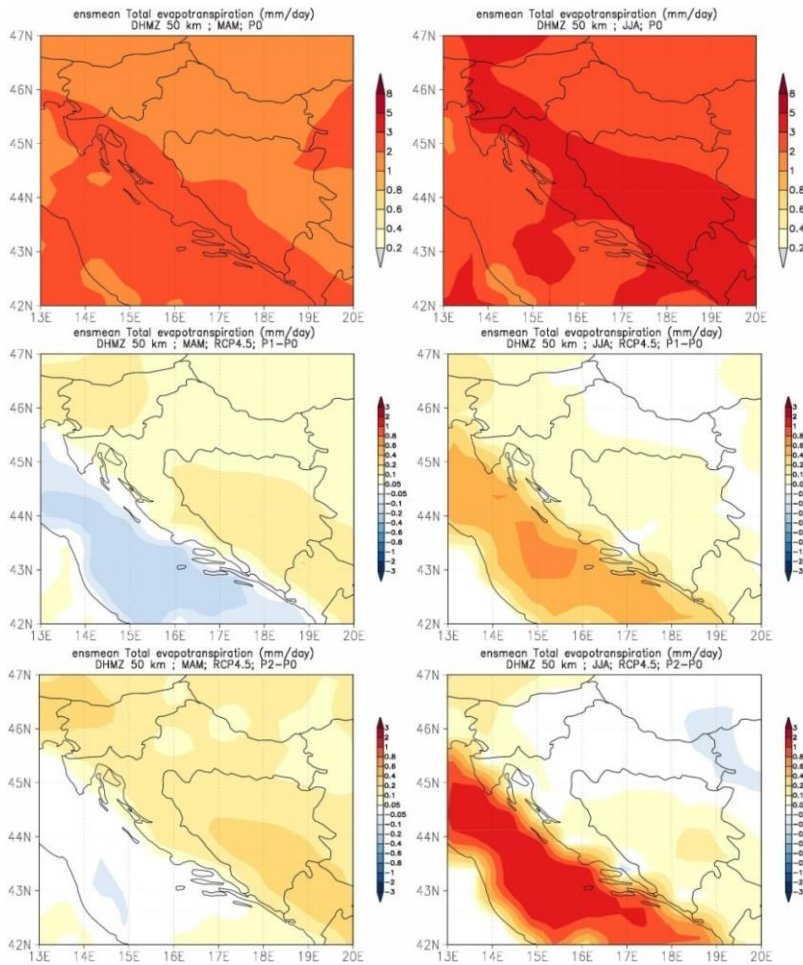
[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine (Sl. 4.1.4, dolje). Najveće smanjenje (do maksimalno 45 mm) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, dok će do najvećeg povećanja količine oborine, oko 30 mm, doći u jesen na otocima srednje Dalmacije.

4.1.5 Evapotranspiracija

Ukupna evapotranspiracija je u proljeće najjača u obalnom području i zaleđu, između 180 i 270 mm (Sl. 4.1.5, gore), a u ljeto je još veća u Lici i Gorskom Kotaru što se dosta dobro podudara s podacima mjerenja za postaju Gospić (oko 265 mm). U ostalim područjima evapotranspiracija je nešto manja.

U budućoj klimi do 2040. godine, projicirano je povećanje evapotranspiracije u obje sezone (Sl. 4.1.5, sredina). U proljeće povećanje je do oko 10 mm u većem dijelu zemlje i nešto više u zaleđu Dalmacije. Slične iznose povećane ukupne evapotranspiracije nalazimo i u ljeto u južnom dijelu Slavonije, zapadne Hrvatske, gorskim predjelima i Dalmaciji. Jače povećanje evapotranspiracije je ograničeno na otoke i zapadni dio Istre. U većem dijelu sjeverne Hrvatske neće doći do promjene ukupne ljetne evapotranspiracije u neposrednoj budućnosti.

[Pogled do 2070.] Porast evapotranspiracije nastavlja se u proljeće i u razdoblju 2041.-2070., ali neće prelaziti 20 mm (Sl. 4.1.5, dolje). U ljetnim mjesecima, očekuje se da se evapotranspiracija neće mijenjati u odnosu na referentnu klimu, 1971.-2000. Samo na Jadranu očekuje se povećanje evaporacije (iznad površine vode evapotranspiraciju možemo tumačiti kao evaporaciju).



Slika 4.1.5 Evapotranspiracija (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: proljeće; desno: ljeto. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

4.1.6 Vlažnost tla

Ukupna vlažnost tla najveća je u proljeće: od 900-1000 mm u istočnoj Slavoniji do 1200-1300 mm u gorskoj Hrvatskoj (Sl. 4.1.6, gore). Dalje prema primorskim krajevima vlažnost tla je nešto manja. Slična prostorna razdioba razabire se i u drugim sezonama, ali su vrijednosti nešto niže nego u proljeće. Najniže vrijednosti su u jesen i ne prelaze više od 1200 mm u Lici.

U razdoblju do 2040. godine vlažnost tla u srednjaku ansambla će se u sjevernoj Hrvatskoj malo smanjiti u svim sezonama, a najviše u jesen (kad je i inače vlažnost tla najmanja) između 10 i 30 mm (Sl. 4.1.6, sredina). U proljeće se očekuje manji porast vlažnosti tla u Gorskom Kotaru.

[Pogled do 2070.] Oko sredine 21. stoljeća (razdoblje P2) očekuje se smanjenje vlažnosti tla u čitavoj Hrvatskoj. Najveće smanjenje projicirano je za ljeto i jesen (Sl. 4.1.6, dolje). U središnjem dijelu sjeverne Hrvatske, očekivano smanjenje vlažnosti tla iznosi u srednjaku ansambla nešto više od 50 mm. U odnosu na referentnu klimu ovo smanjenje je oko 5%.

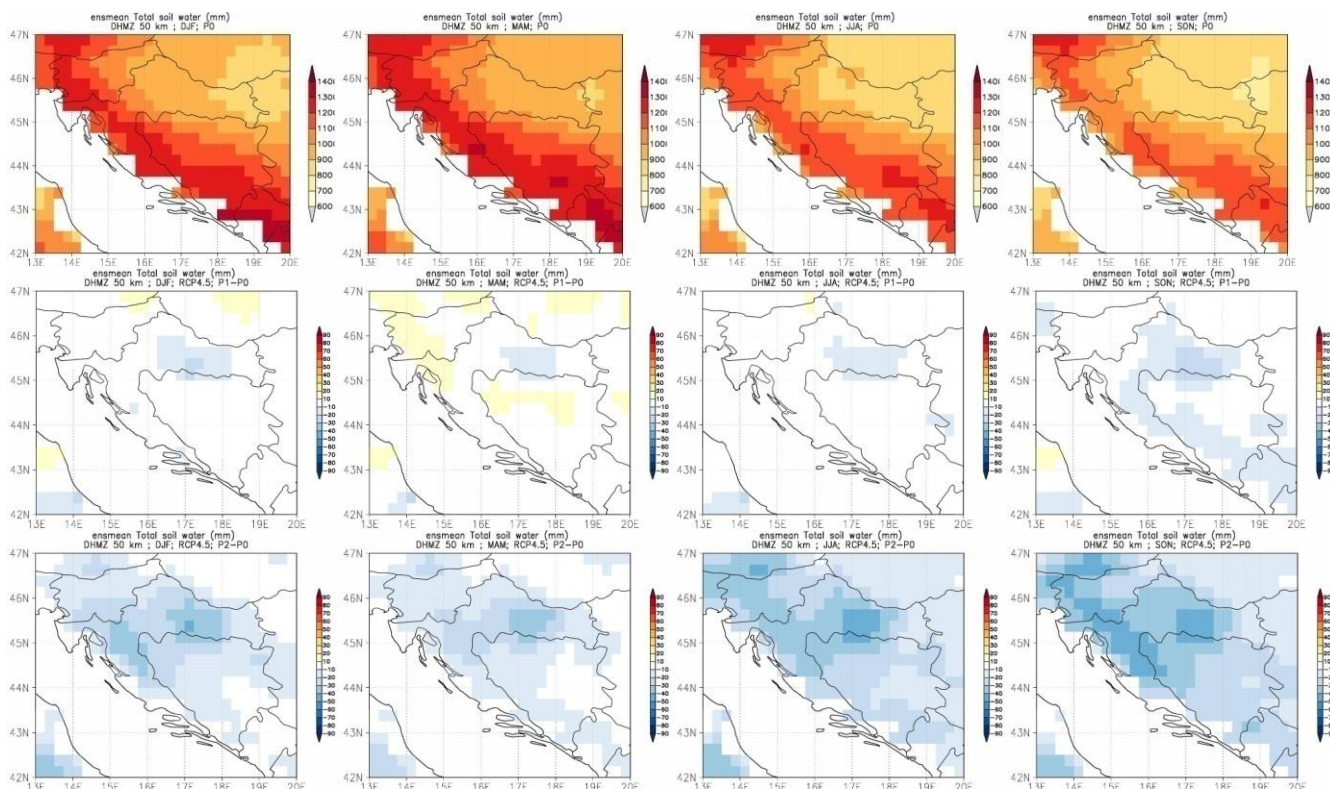
Mala promjena vlažnosti tla u P1 posljedica je vrlo velikih razlika između individualnih integracija RegCM modela kad su korišteni rubni uvjeti različitih globalnih modela. Iz Sl. 4.1.7 (gore) očito je da, uz rubne uvjete Cm5 modela, RegCM daje u svim sezonama razmjerno veliko smanjenje vlažnosti tla u sjevernoj Hrvatskoj (do oko 100 mm ili oko 10% u odnosu na referentnu klimu). Nešto blaže smanjenje dobije se kad se koriste rubni uvjeti MPI-ESM modela. Za EC-Earth rubne uvjete RegCM predviđa povećanje vlažnosti tla do oko 80 mm u zapadnoj Hrvatskoj (Sl. 4.1.7, dolje), a za HadGEM rube uvjete slabo povećanje vlažnosti tla nalazimo samo u dijelu gorske Hrvatske. Slični trendovi



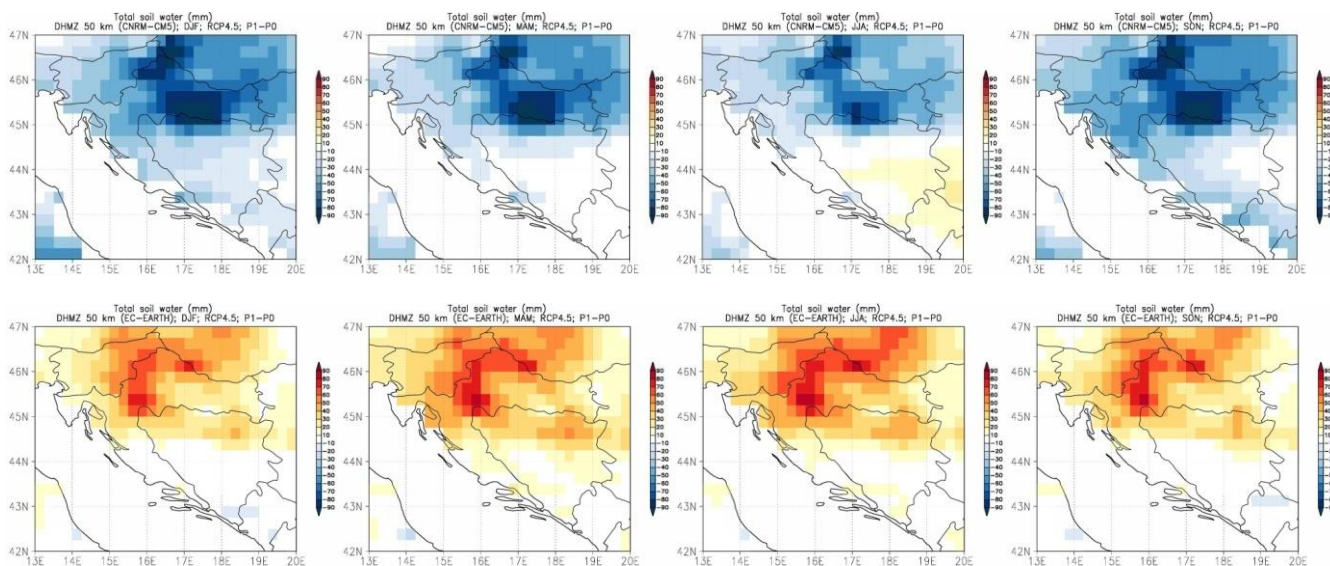
Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.

vidljivi su i u drugim budućim klimatskim razdobljima (do 2070. godine i do konca 21. stoljeća), ali s promjenljivom amplitudom .

Zbog velikih razlika u projiciranim vrijednostima vlažnosti tla kad se koriste rubni uvjeti različitih globalnih klimatskih modela nije moguće pouzdano ustvrditi kakva bi se promjena ove varijable mogla očekivati u neposrednoj budućnosti.



Slika 4.1.6 Vlažnost tla (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

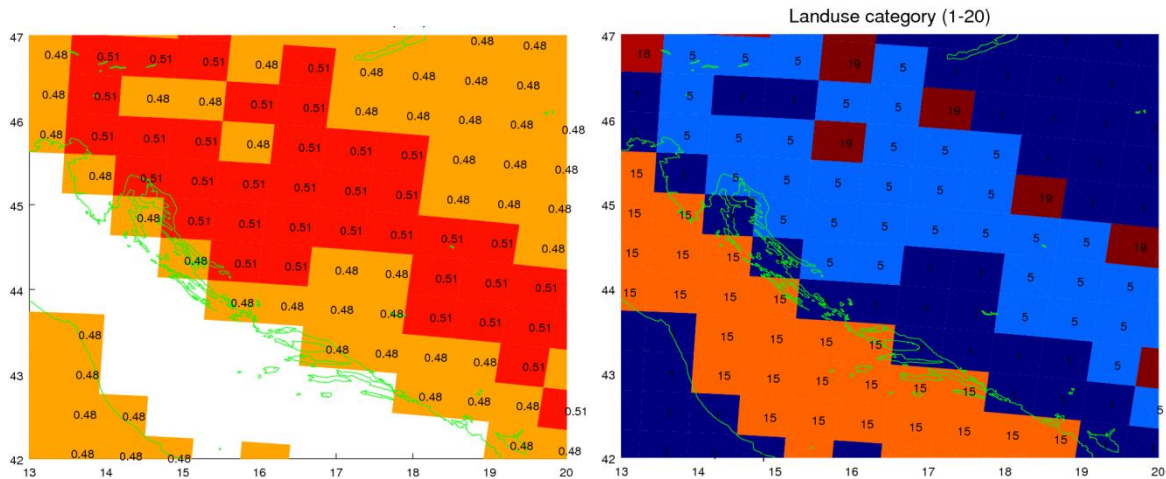


Slika 4.1.7 Vlažnost tla (mm) za dvije individualne integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: promjena u razdoblju 2011.-2040. uz rubne uvjete Cm5 globalnog modela; dolje: promjena u razdoblju 2011-2040 uz rubne uvjete EC-Earth globalnog modela.



4.1.7 “Kapacitet” tla da prihvati vodu

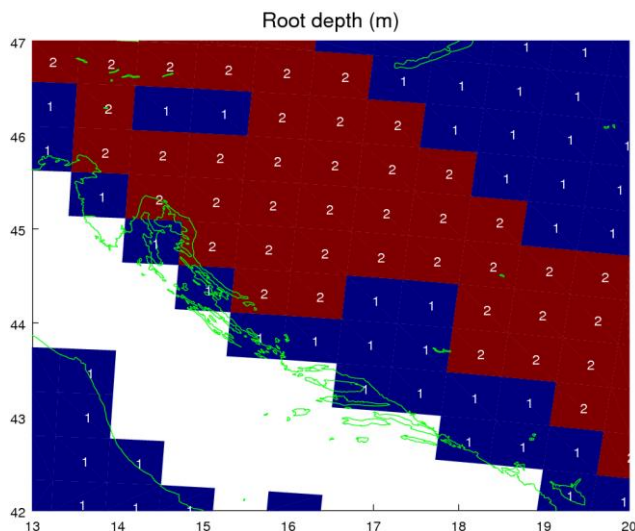
Ovo je statičko (fiksno) polje u RegCM modelu. Originalni naziv u dokumentaciji modela je *fraction of soil that is void* (u slobodnom prijevodu: udio tla koji je dostupan) i zamjenska je varijabla za traženu varijablu *capacity of soil to store water* koja nije dostupna u RegCM-u. Prema Sl. 4.1.8 (lijevo) na 50-km horizontalnoj rezoluciji sve vrijednosti ove varijable su oko 0.5 (ili 50%). Više vrijednosti, 0.51, uglavnom se podudaraju s tipom korištenog tla (*land use*) nazvanog listopadna (bjelogorična) širokolisna šuma (*deciduous broadleaf tree*) prikazanog u Sl. 4.1.8 (desno) kôdom 5. Niže vrijednosti, 0.48, podudaraju se s tipovima korištenih tala nazvanih žitarice/mješoviti usjevi (*crop/mixed farming*; kôd 1 u Sl. 4.1.8, desno) i mozaik šuma/polje (*forest/field mosaic*; kôd 19). Valja napomenuti da je 50-km rezolucija pregruba za detaljniju specifikaciju tipova korištenih tala, pa tako i “kapaciteta” tla da prihvati vodu.



Slika 4.1.8 Lijevo: “kapacitet” tla da prihvati vodu (0-1). Originalni naziv iz dokumentacije modela je *fraction of soil that is void*. Desno: kategorije korištenja zemljišta (*land use*).

4.1.8 Dubina korijena

Ovo je statičko (fiksno) polje u RegCM modelu. Originalni naziv u dokumentaciji modela je *root depth* (dubina korijena). Jedinica za ovu varijablu je (m) i daje dubinu do koje doseže korijenje vegetacije koje prevladava u danom elementu (ćeliji) modela. Iz Sl. 4.1.9 očito je da u RegCM-u na 50-km horizontalnoj rezoluciji postoje samo dvije vrijednosti (1 i 2 m). Vrijednosti od 2 m uglavnom se podudaraju s listopadnom širokolisnom šumom, dok se vrijednosti 1 m podudaraju s obradivim ili s miješanim površinama (šuma/polje).



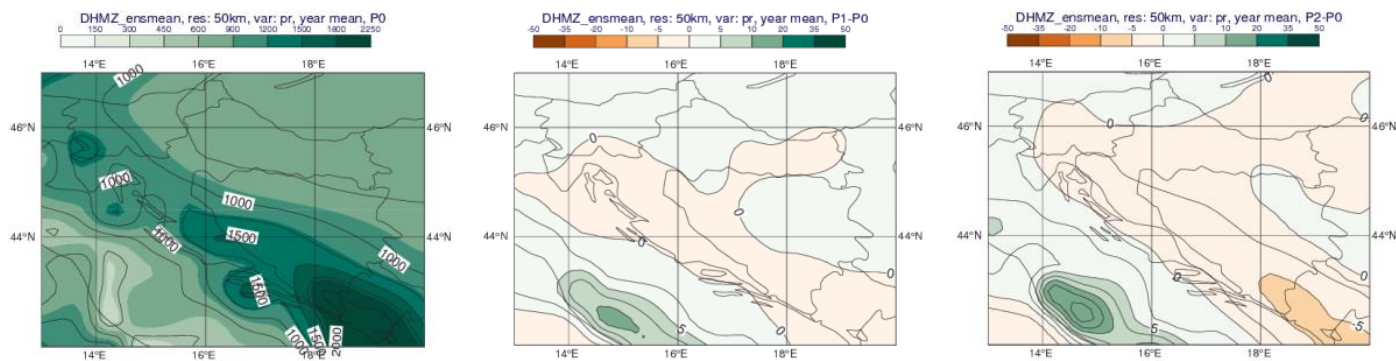
Slika 4.1.9 Dubina korijena (m). Originalni naziv iz dokumentacije modela je *root depth*.



4.2. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTOR HIDROLOGIJA, VODNI I MORSKI RESURSI

4.2.1 Oborine

Godišnja vrijednost. Srednjak ansambla simulirane godišnje količine oborine u referentnoj klimi (1971.-2000., P0) ima maksimum od oko 1200-1500 mm (3-4 mm/dan) u području Dinare, južno-dalmatinskih otoka, te na kopnenom jugu zemlje (Sl. 4.2.1). Ova količina ukupne oborine je veća od izmjerenih godišnjih vrijednosti za Knin (1026 mm; Zaninović i sur. 2008), koji leži zapadno od modeliranog maksimuma, te za Dubrovnik (1064 mm). Od individualnih realizacija jedino rubni uvjeti od HadGEM2 modela daju realističnu simulaciju RegCM oborine u predjelu Dinare (1095-1460 mm), dok uz rubne uvjete ostalih GCMs, RegCM simulacije precjenjuju srednju godišnju oborinu. Modelirani maksimumi na dalmatinskim otocima i na dubrovačkom području također su precijenjeni. Ovo može biti posljedica ili nedovoljno dobro razlučene podjele kopno-more (engl. *land-sea mask*) na 50-km rezoluciji ili pak prečesto simuliranih (obilnih) oborina u izraženijem južnom strujanju iz područja Sredozemlja. Podjela kopno-more na 50-km rezoluciji ne razlučuje dovoljno dobro otoke na Jadranu koji su većinom izduženi i uži od 50 km. U tom slučaju u modelu je onda neki otok prikazan kao morska površina što može uzročiti češće (ili dugotrajnije) aktiviranje numeričke sheme za generiranje oborine.



Slika 4.2.1 Ukupna godišnja količina oborine (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena (%) u razdoblju 2011-2040; desno: promjena (%) u razdoblju 2041-2070.

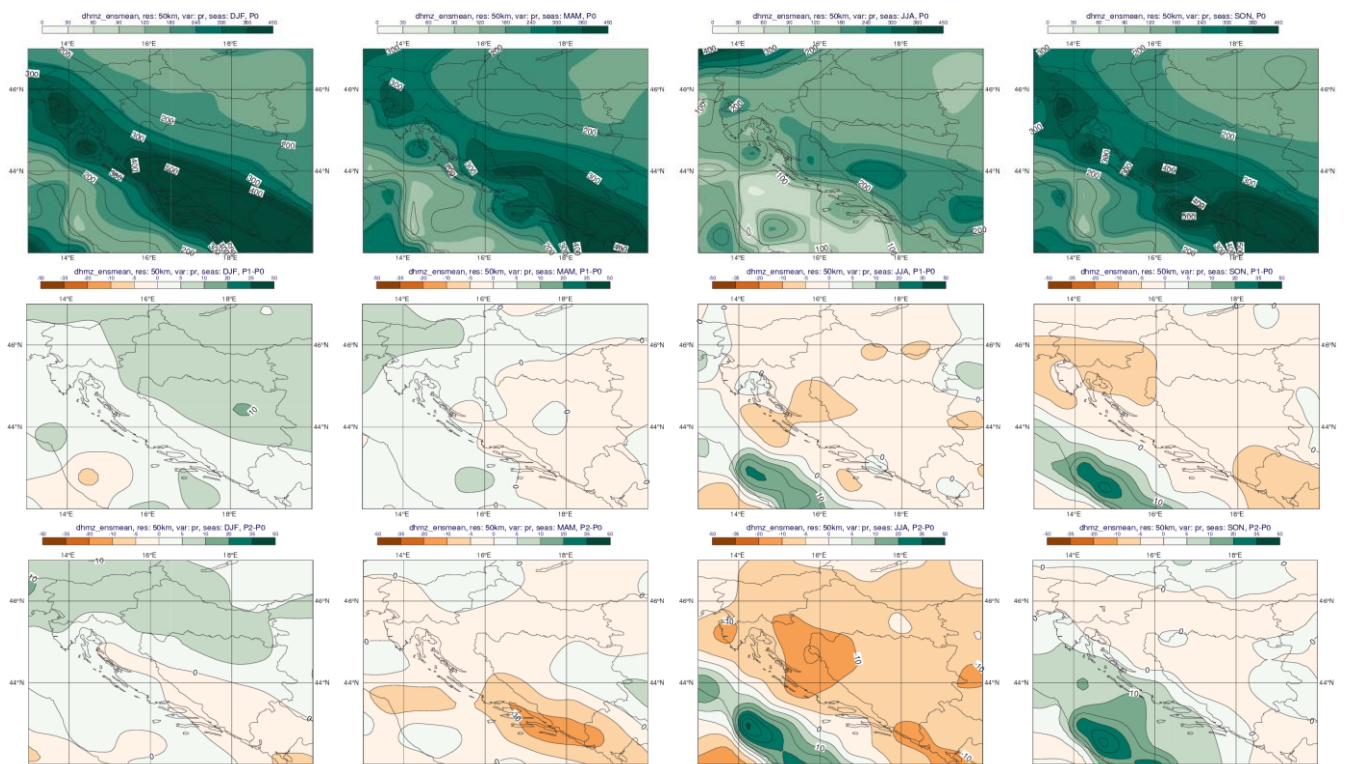
U budućoj klimi do 2040. godine, za veći dio Hrvatske projicirano je vrlo malo smanjenje količine oborine (manje od 5%), tako da ono neće imati značajniji utjecaj na godišnju količinu oborine (Sl. 4.2.1, sredina). U sjeverozapadnoj Hrvatskoj signal promjene je suprotnog predznaka, tj. predviđa se manji porast godišnje količine oborine, također manji od 5%.

[Pogled do 2070.] Do 2070. godine, trend smanjenja srednje godišnje količine oborine proširit će se gotovo na cijelu zemlju, osim na najsjevernije i najzapadnije krajeve (Sl.4.2.1, desno). Međutim, osim što će zahvaćati veći dio Hrvatske, valja naglasiti da to smanjenje količine oborine neće biti izraženo. Najveće smanjenje (manje od 5%) očekuje se u gorskim predjelima pa do zaleđa Dalmacije uz granicu s Bosnom i Hercegovinom, te u najjužnijim kopnenim predjelima (oko 5%).

Sezonske vrijednosti. Srednja zimska količina oborine u srednjaku ansambla postupno raste od nešto manje od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjevernoj Hrvatskoj pa sve do više od 500 mm na jugu zemlje (Sl. 4.2.2, gore). Na sjeveru Hrvatske ova je količina veća od klimatoloških vrijednosti zabilježenih na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti količine oborine precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno precijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti (Split 227, Dubrovnik 316 mm). Najvjerojatniji razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće je količina oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (izmjerene vrijednosti na postajama Osijek 151, Varaždin 186, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori



i više od 250 mm (Gospić 312, Knin 257 mm). Ljeto je sezona s najmanjom količinom simulirane oborine; u kontinentalnim krajevima osjetno je manja (90-150 mm) od izmjerenih vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265 mm). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivne (pljuskovite) oborine u modelu. Tijekom ljeta konvektivne oborine su relativno česte, a smanjene ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivnu oborinu) ili na (b) nedovoljno dugo trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Gütler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici su ljetne oborine (veće od 180 mm) relativno dobro simulirane (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok su u ostalim krajevima, osobito na sjeveru Hrvatske, jesenske oborine podcijenjene u modelu.



Slika 4.2.2 Ukupna količina oborine (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena (%) u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena (%) u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi 2011.-2040., projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.2.2, sredina). Porast količine oborine je u zimi između 5 i 10% u sjevernim i središnjim krajevima; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Najveće ljetno smanjene količine oborine, 5-10%, predviđeno je u sjevernoj Dalmaciji i u južnoj Lici, predjelu u kojem inače ljeti padne najveća količina oborine (180-240 mm). Najveće projicirano smanjenje ukupne količine oborine u jesen je oko 20 mm u Gorskom Kotaru i sjevernom dijelu Like, što čini oko 5% oborine u toj sezoni. Na krajnjem jugu smanjenje je također oko 5%. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije.

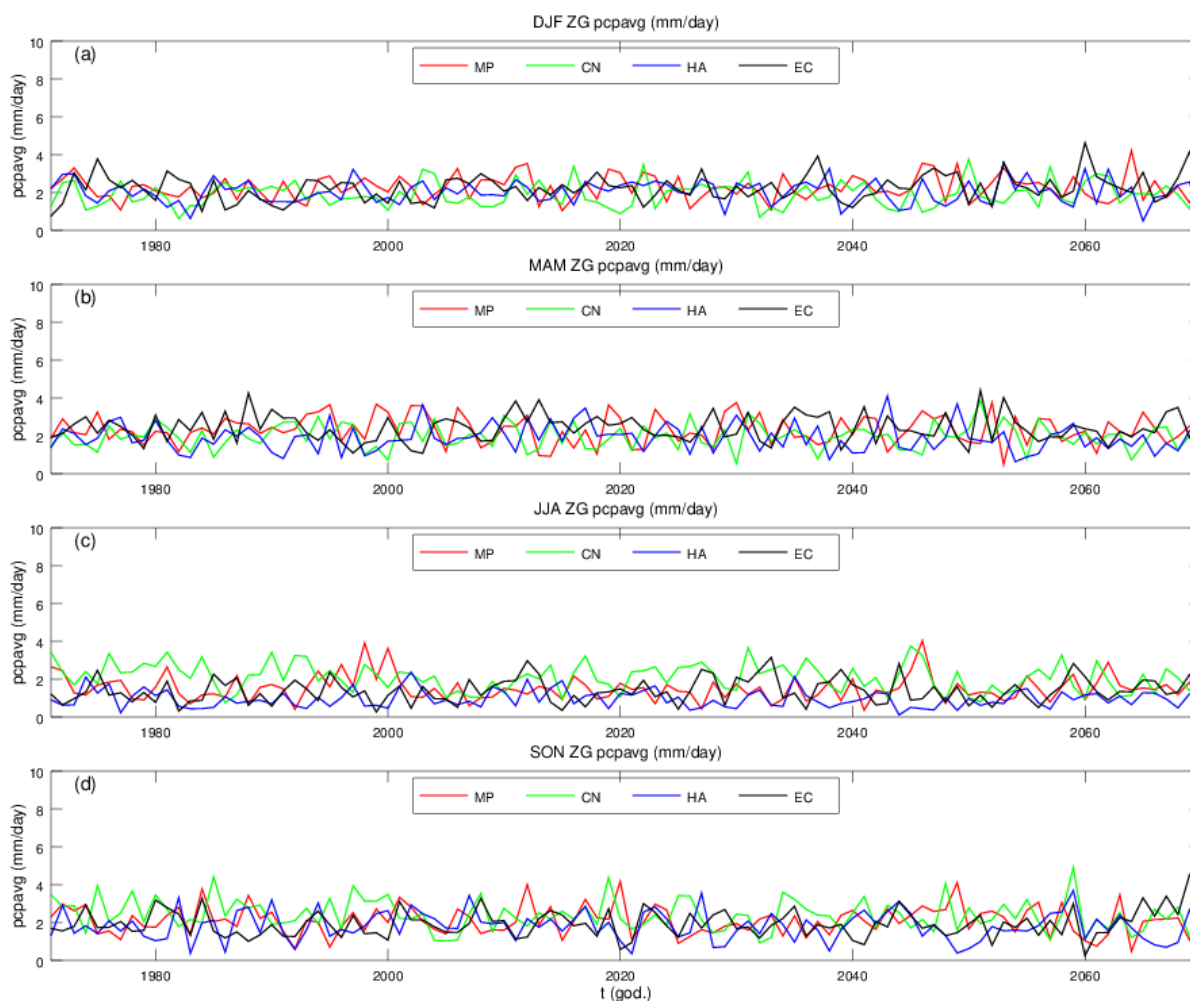
[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine (Sl. 4.2.2, dolje). Najveće smanjenje (do malo više od 10%) bit će u proljeće u južnoj



Dalmaciji, te u ljeto između 10 i 15% u gorskim predjelima i sjevernoj Dalmaciji. Najveće povećanje količine oborine, između 5 i 10%, očekuje se u jesen na otocima, te u zimi u sjevernoj Hrvatskoj.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split. Navedeni gradovi su izabrani kao središnje točke regija u kojih su smješteni: centralne Hrvatske; istočne Hrvatske, gorske Hrvatske, sjevernog Jadrana i Dalmacije.

Vremenska evolucija. Na lokacijama Zagreba (Sl. 4.2.3a) i Splita (Sl. 4.2.3b) ne očekuju se značajnije promjene prosječne količine oborine do 2070. u RegCM realizacijama uz rubne uvjete sva četiri globalna modela. Skokovite promjene iz godine u godinu karakteriziraju klimatsku varijabilnost. Međugodišnja varijabilnost naročito je izražena za Split u zimi i u jesen, dok je za lokaciju Zagreb međugodišnja varijabilnost osjetno manja i bez veće razlike među sezonama.



Slika 4.2.3a Vremenski nizovi ukupne količine oborine (mm/dan) za Zagreb za četiri integracije RegCM modelom u (odozgo prema dolje) zimi, proljeće, ljeto i jesen.

U Tablici 4.2.1 prikazane su vrijednosti 10-tog percentila² količine oborine za lokaciju Zagreb. Percentili su ovdje računati iz 30-godišnjeg niza za svako razdoblje (P0, P1, P2) zasebno. Premda postoje manje razlike među RegCM realizacijama, promjene 10-tog percentila kroz klimatska razdoblja P0, P1 i P2 za svaku pojedinu realizaciju su vrlo male. (Donekle je izuzetak realizacija uz rubne uvjete MPI-ESM u proljeće.) Male promjene 10-og percentila ukazuju na relativnu postojanost

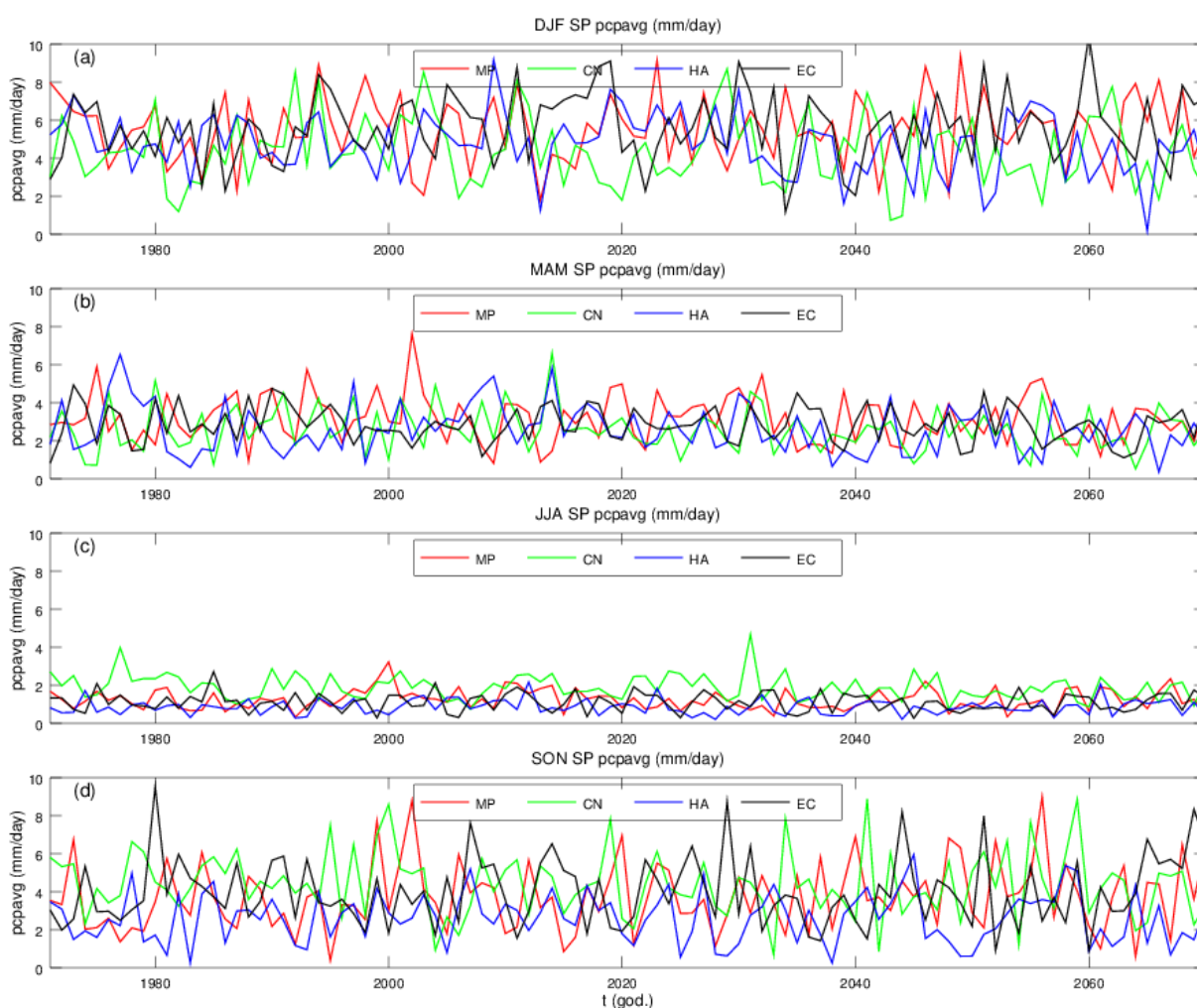
² **Percentil** ili **centil** (prema *percent*, odn. lat. *centum*: sto), jedna od određenih srednjih vrijednosti (tzv. *kvantila*) statističkih nizova, koji uređeni bročani ili redosljedni niz dijele na jednake dijelove. Npr. *Medijan* dijeli niz na dva jednaka dijela, *kvartili* dijele niz na četiri, *decili* na deset, a *percentili* na stotinu jednakih dijelova. (Izvor: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=47528>)



minimalne količine oborine do 2070., odnosno ne bi se trebala očekivati neka veća promjena u intenzitetu sušnih razdoblja.

Tablica 4.2.1 Vrijednosti 10-tog percentila za ukupnu količinu oborine (mm) na lokaciji Zagreb u razdobljima P0, P1 i P2 za sve sezone i uz rubne uvjete različitih globalnih modela.

10-ti percentil	Zima			Proljeće			Ljeto			Jesen		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2
Cm5	117	81	99	90	90	90	117	117	90	162	135	108
EC-Earth	99	144	135	144	153	144	54	36	54	108	99	72
MPI-ESM	126	99	135	153	90	99	63	63	63	99	99	90
HadGEM2	126	108	108	81	99	81	36	36	36	54	63	63



Slika 4.2.3b Vremenski nizovi ukupne količine oborine (mm/dan) za Split za četiri integracije RegCM modelom u (odozgo prema dolje) zimi, proljeće, ljeto i jesen.

Iz zimskih vrijednosti 90-tog percentila količine oborine (Tablica 4.2.2) uočava se porast u budućoj klimi, osobito u razdoblju P2. Ovo je u skladu s općim porastom količina oborine u hladnom dijelu godine u Europi (IPCC, 2013b). U ljeto, u tri od četiri realizacije nalazimo smanjenje 90-tog percentila u P2 u odnosu na referentnu klimu P0. U proljeće i jesen realizacije RegCM modela nisu ujednačene u signalu promjene pa stoga nije moguće zaključiti kakve promjene u količini oborine valja očekivati u ovom sezonama.



Tablica 4.2.2 Vrijednosti 90-tog percentila za ukupnu količinu oborine (mm) na lokaciji Zagreb u razdobljima P0, P1 i P2 za sve sezone i uz rubne uvjete različitih globalnih modela.

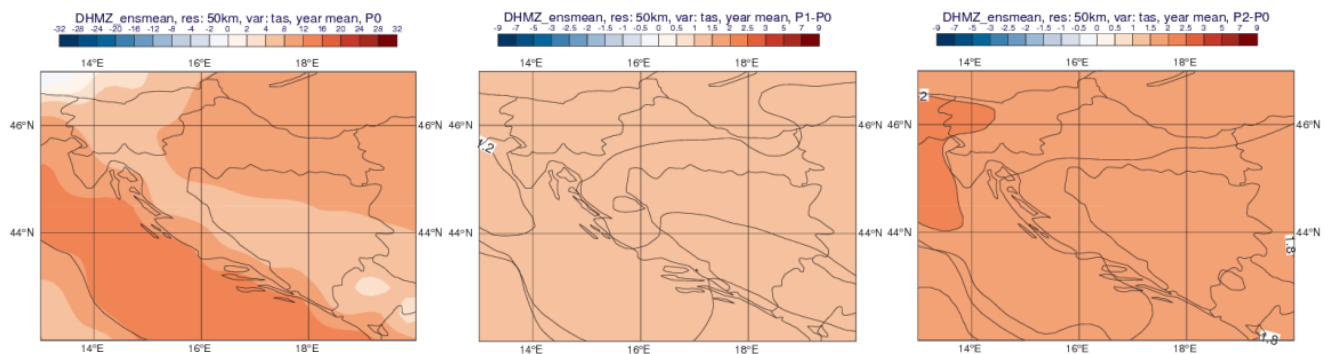
90-ti percentil	Zima			Proljeće			Ljeto			Jesen		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2
Cm5	234	279	270	243	252	261	297	261	270	333	306	288
EC-Earth	270	279	324	288	315	315	189	225	189	252	243	297
MPI-ESM	252	288	315	297	297	279	243	171	207	261	270	279
HadGEM2	270	243	288	252	261	207	144	144	117	261	225	243

Maksimalne količine oborine. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split. Maksimalna količina oborine definirana je za 3-satna, 6-satna, 12-satna, 18-satna i 24-satna razdoblja kroz svaku godinu iz individualnih realizacija RegCM modelom (uz rubne i početne uvjete četiri različita GCM-a).

Dužina sušnih razdoblja. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split. Sušno razdoblje definirano je ako u najmanje sedam uzastopnih dana (1) nije bilo oborina (0 mm); (2) oborine je bilo manje ili jednako 1 mm. Ovi nizovi napravljeni su za individualne realizacije RegCM modelom (uz rubne i početne uvjete četiri različita GCM-a).

4.2.2 Temperatura zraka

Godišnja vrijednost. Na godišnjoj razini razaznaju se tri karakteristična temperaturna područja Hrvatske: sjeverna Hrvatska s prosječnom temperaturom između 8 i 12 °C, gorska Hrvatska s temperaturom od 4 do 8 °C, te primorska Hrvatska s prosječnom temperaturom između 8 i 12 °C, uključujući vanjske otoke gdje je temperatura između 12 i 16 °C (Sl. 4.2.4, lijevo). Osim za primorski dio gdje su malo podcijenjene, ove simulirane temperature u srednjaku ansambla uglavnom se podudaraju s izmjenjenim vrijednostima za razdoblje 1971.-2000. (Zaninović i sur. 2008).



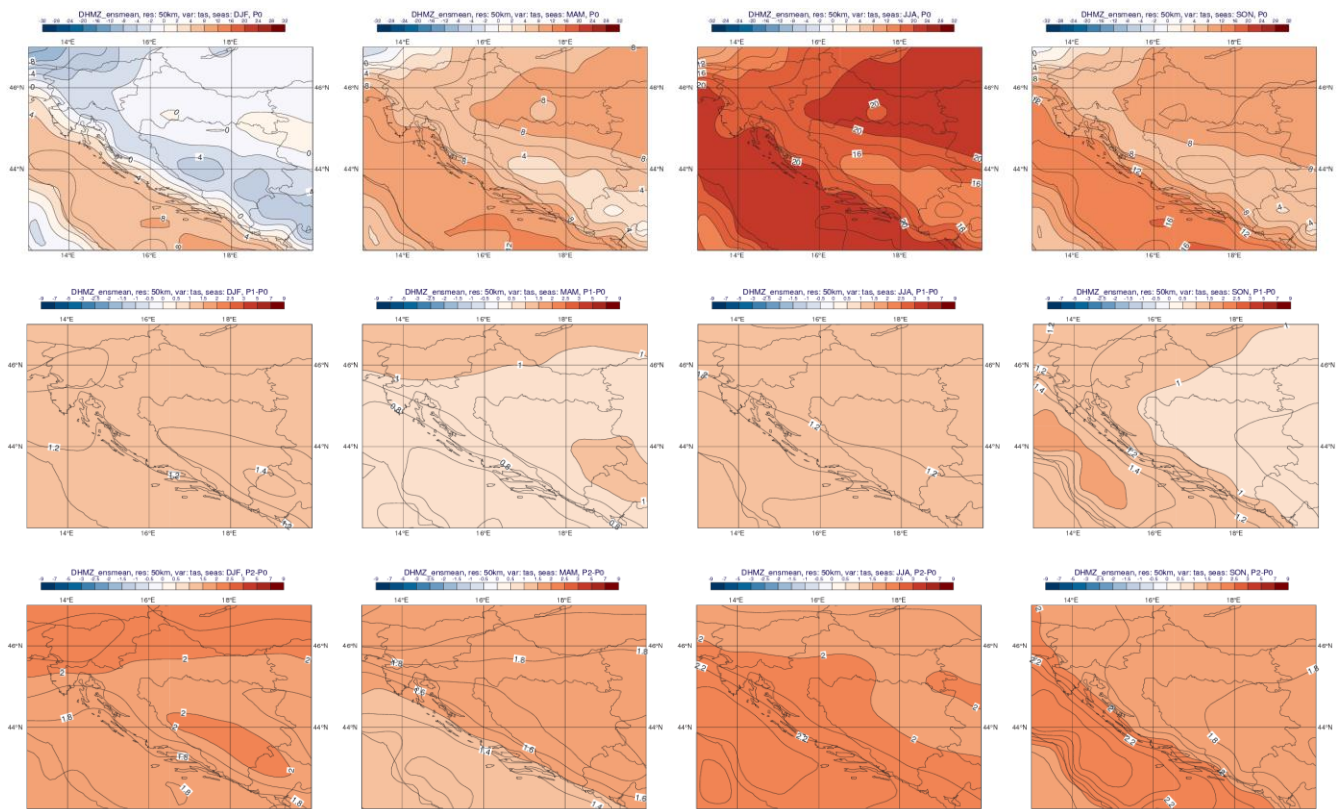
Slika 4.2.4 Godišnja temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi do 2040. očekuje se u čitavoj Hrvatskoj gotovo jednoličan porast temperature od 1 do 1.5 °C (Sl. 4.2.4, sredina). RegCM daje najveći porast temperature uz rubne uvjete HadGEM2 modela (do oko 1.8 °C), dok je uz rubne uvjete EC-Earth modela porast temperature najmanji - do 0.5 °C u sjevernim krajevima, te do 0.7 °C na otocima južnog Jadrana .

[Pogled do 2070.] Trend porasta temperature nastavlja se i do 2070. (Sl. 4.2.4, desno). Porast je i dalje jednoličan i iznosi između 1.5 i 2 °C. Nešto malo toplije moglo bi biti samo na krajnjem zapadu zemlje, duž zapadne obale Istre.



Sezonske vrijednosti. U srednjaku ansambla (Sl. 4.2.5, gore) uočava se sezonska varijabilnost srednje prizemne temperature. Zimi je u planinskim krajevima srednjak ansambla malo manji od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i nešto niži od izmjerenih vrijednosti (Ogulin 1, Gospić $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; Zaninović i sur. 2008), što je sukladno sustavnoj pogrešci RegCM modela prikazanoj u Sl. 3.2 (gore). U sjevernoj Hrvatskoj prevladava temperatura malo ispod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je također nešto niže od izmjerenih (Zagreb 1, Osijek 1). U primorskom dijelu zimska temperatura je između 2 i $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Negativne vrijednosti u području Kvarnera nisu realistične (u Rijeci je izmjereni zimski srednjak $6\text{ }^{\circ}\text{C}$) i posljedica su utjecaja “proširenja” temperature iz planinskih krajeva zbog neadekvatno razlučenog uskog planinskog pojasa i dijela sjevernog Primorja na 50-km rezoluciji u RegCM modelu. U ostalim su sezonama srednje dnevne temperature relativno dobro prikazane u srednjaku ansambla.



Slika 4.2.5 Temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

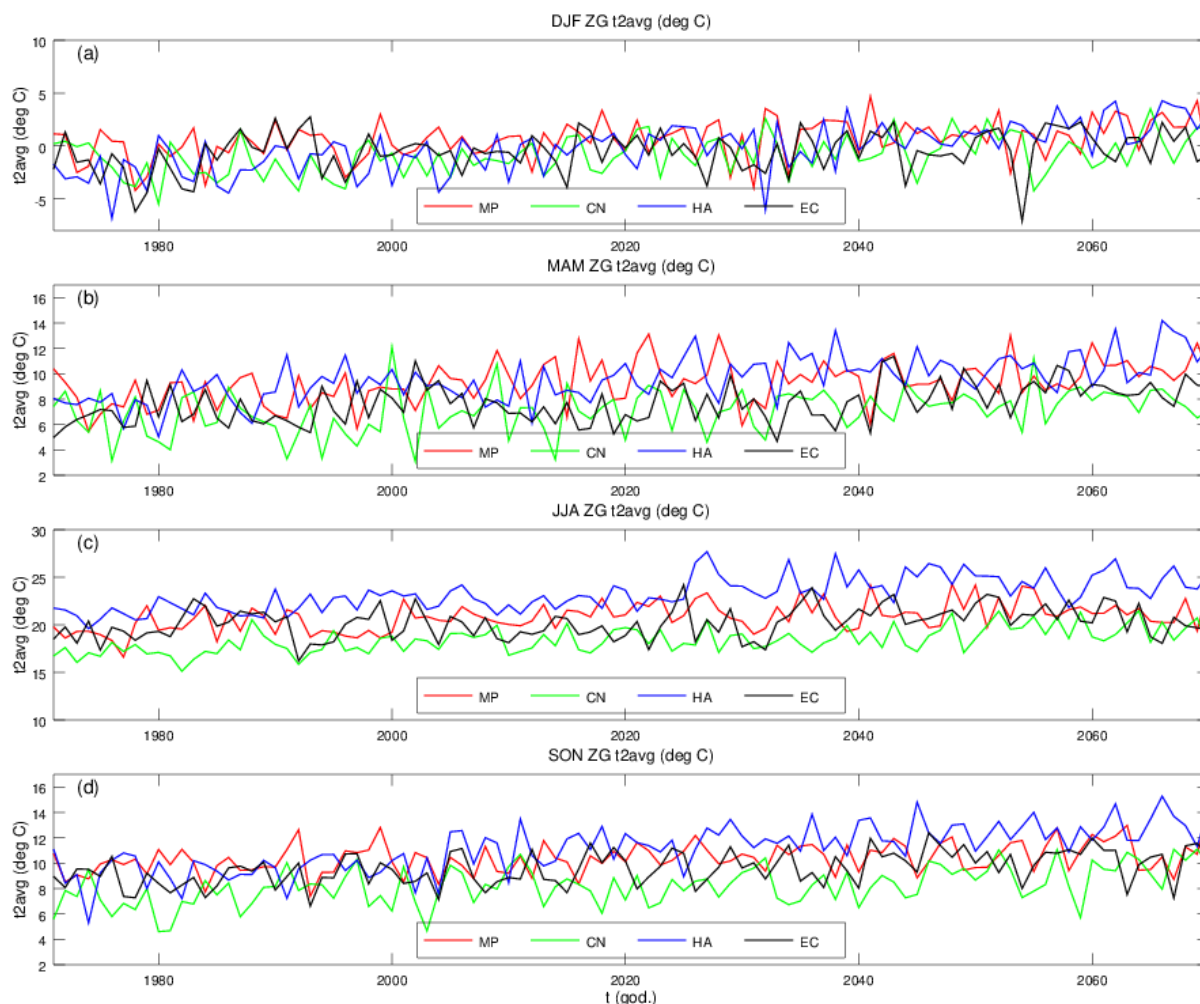
U razdoblju 2011.-2040. (P1), očekuje se u svim sezonama porast prizemne temperature u srednjaku ansambla (Sl. 4.2.5, sredina). Porast temperature gotovo je identičan zimi i ljeti – između 1.1 i $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. U proljeće u većem dijelu Hrvatske prevladava nešto manji porast: od $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ na otocima Dalmacije do malo više od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Jesenski porast temperature je između $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u istočnoj Slavoniji do oko $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu, a u zapadnoj Istri i do $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sve individualne realizacije također daju porast temperature. Rezultati variraju između $0-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ u proljeće i ljeto kad RegCM koristi rubne uvjete EC-Earth modela, pa sve do $2.5-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ u zimi i jesen kad RegCM koristi rubne uvjete HadGEM2 modela (jugozapadni dio Istre i neki otoci imaju porast i preko $3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

[Pogled do 2070.] U razdoblju do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, očekuje se na Jadranu u ljeto i jesen (Sl. 4.2.5, dolje). Nešto manji porast mogao bi biti ljeti u najsjevernijim krajevima i Slavoniji, a u jesen u većem dijelu Hrvatske. U zimi i proljeće je prostorna razdioba porasta temperature obrnuta od one u ljeto i jesen: porast je najmanji na Jadranu, a veći prema unutrašnjosti. U proljeće je porast temperature u srednjaku ansambla od 1.4 do $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu i postupno raste do $1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjevernim krajevima.

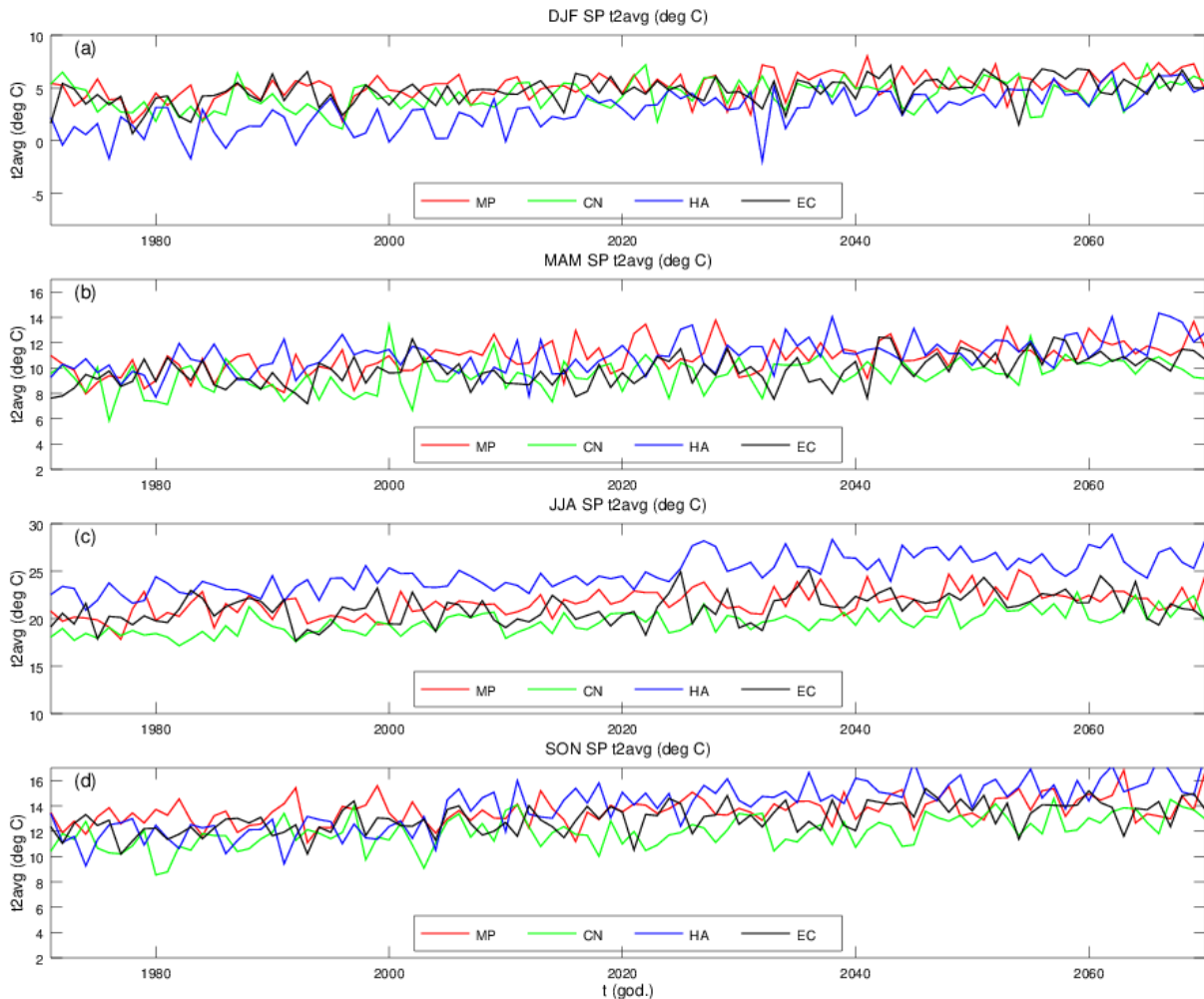


Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

Vremenska evolucija. Za lokacije Zagreba (Sl. 4.2.6a) i Splita (Sl. 4.2.6b) očekuje se do 2070. porast temperature uz rubne uvjete sva četiri globalna modela. Skokovite promjene iz godine u godinu karakteriziraju uobičajenu klimatsku varijabilnost. Za obje lokacije, u ljeto i jesen RegCM uz rubne uvjete HadGEM2 modela daje najviše vrijednosti temperatura (plava krivulja u Sl.4.2.6). U drugim sezonama porast temperature uglavnom je ujednačen među različitim RegCM realizacijama.



Slika 4.2.6a Vremenski nizovi temperature zraka (°C) za Zagreb za četiri integracije RegCM modelom u (odozgo prema dolje) zima, proljeće, ljeto i jesen.



Slika 4.2.6b Vremenski nizovi temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$) za Split za četiri integracije RegCM modelom u (odozgo prema dolje) zima, proljeće, ljeto i jesen.

Više vrijednosti temperature uz HadGEM2 rubne uvjete vidljive su i iz tablica 10-tog (Tablica 4.2.3) i 90-tog percentila temperature (Tablica 4.2.4) na lokaciji Zagreb. Iz tablica se uočava porast percentila temperatura u uzastopnim razdobljima P1 i P2 za svaku individualnu realizaciju RegCM modela. Percentili su ovdje računati za svako razdoblje zasebno, prema razdiobi unutar 30-godišnjeg niza. Porast 90-tog percentila u budućoj klimi u ljetnoj sezoni može indicirati intenzivnija razdoblja toplog vremena (toplinske valove).

Tablica 4.2.3 Vrijednosti 10-tog percentila temperature na lokaciji Zagreb u razdobljima P0, P1 i P2 za sve sezone u realizacijama RegCM modela uz rubne uvjete različitih globalnih modela.

10-ti percentil	Zima			Proljeće			Ljeto			Jesen		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2
Cm5	-4.1	-2.8	-2.7	3.3	4.8	6.3	16.1	17.1	17.6	5.6	6.5	7.3
EC-Earth	-4.3	-3.2	-1.7	5.7	5.5	7.0	17.9	17.7	19.3	7.3	8.0	8.0
MPI-ESM	-3.0	-2.8	-0.8	6.3	7.3	8.5	18.4	19.6	19.7	8.5	8.9	9.3
HadGEM2	-4.3	-2.4	-0.2	6.1	7.7	9.0	20.6	21.6	22.8	7.2	10.2	10.9

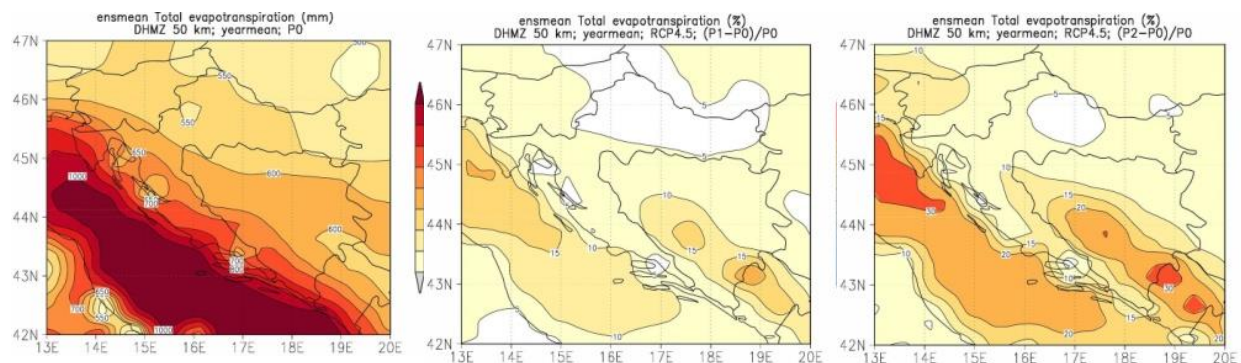


Tablica 4.2.4 Vrijednosti 90-tog percentila temperature na lokaciji Zagreb u razdobljima P0, P1 i P2 za sve sezone u realizacijama RegCM modela uz rubne uvjete različitih globalnih modela.

90-ti percentil	Zima			Proljeće			Ljeto			Jesen		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2
Cm5	0.4	1.6	2.6	8.6	8.7	8.8	18.8	19.7	21.2	8.9	9.3	11.0
EC-Earth	1.6	1.7	2.2	9.0	8.7	10.4	21.4	21.7	22.9	10.1	11.2	11.6
MPI-ESM	1.7	2.9	3.4	9.9	11.6	11.6	21.6	23.0	24.1	11.1	11.5	12.3
HadGEM2	0.4	2.3	3.8	10.3	11.6	12.9	23.3	26.6	26.2	10.7	13.4	14.3

4.2.3 Evapotranspiracija i evaporacija

Simulirana srednja godišnja evapotranspiracija je u srednjaku ansambla između 550 i 750 mm, a na otocima južne Dalmacije doseže do 1000 mm (Sl. 4.2.7, lijevo). Ovi modelirani podaci dobro se uklapaju u vrijednosti evapotranspiracije koje su izračunate iz mjerenih podataka parametara važnih za evapotranspiraciju (oborine, temperatura, vlažnost i brzina vjetera) na klimatološkim postajama (Zaninović i sur. 2008).



Slika 4.2.7 Godišnja evapotranspiracija (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena (%) u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena (%) u razdoblju 2041.-2070.

U budućem klimatskom razdoblju P1 očekuje se u sjevernoj Hrvatskoj malo povećanje evapotranspiracije (do 5%). Promjena postaje nešto veća (5-10%) u gorskoj Hrvatskoj i južnim krajevima (Sl. 4.2.7, sredina). Projicirano povećanje evapotranspiracije veće od 10% nalazimo na vanjskim otocima i u zapadnoj Istri. U individualnim realizacijama RegCM modelom, promjena evapotranspiracije u budućoj klimi P1 međusobno su slične. Najveće povećanje je uz rubne uvjete HadGEM2 modela u kontinentalnom dijelu Hrvatske (oko 10%), te na Jadranu i priobalju oko 15 do 20%. Ostali modeli daju manje vrijednosti porasta evapotranspiracije (evaporacije) što se odražava na srednjak ansambla u Sl. 4.2.7.

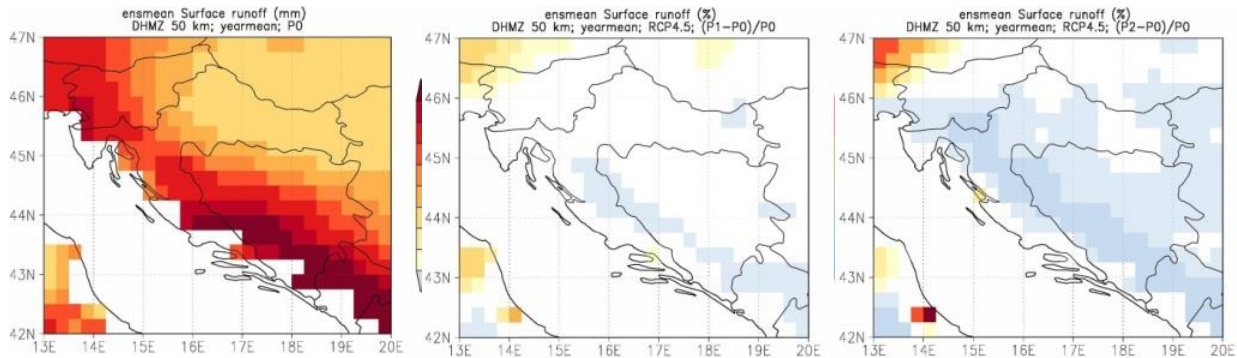
[Pogled do 2070.] Očekivana promjena evapotranspiracije je za veći dio Hrvatske u razdoblju od 2041.-2070. (P2) slična onoj u razdoblju P1 (Sl. 4.2.7, desno). Nešto izraženije povećanje (od oko 10-15%) očekuje se u obalnom dijelu i zaleđu, pa sve do oko 20% na vanjskim otocima.

Iznad površine vode evapotranspiraciju možemo tumačiti kao evaporaciju. Na Jadranu, godišnje povećanje evaporacije najmanje je u Kvarnerskom zaljevu (do oko 10%), a prema zapadu i jugu postupno raste do oko 10-15% u P1, te do oko 20-30% u P2 na otvorenom moru. Rezultati modeliranja RegCM-om na rezoluciji od 50 km ne mogu opisati promjene evaporacije na unutarnjim vodama.



4.2.4 Površinsko otjecanje

Srednje godišnje površinsko otjecanje (Sl. 4.2.8, lijevo) najveće je u gorskoj Hrvatskoj (između 250 i 300 mm), te u južnom dijelu Like, dalmatinskom zaleđu i sjevernoj Istri (u rasponu od 300 do više od 500 mm). Prema sjeveru otjecanje se smanjuje, pa je u sjevernoj Hrvatskoj na godišnjoj razini između 100 i 150 mm.



Slika 4.2.8 Godišnje površinsko otjecanje (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena (%) u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena (%) u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi očekuje se u nekim područjima smanjenje površinskog otjecanja (Sl. 4.2.8, sredina i desno) što je sukladno smanjenju ukupne količine godišnje oborine opisanim u 4.2.1 gore (vidjeti Sl. 4.2.1). U razdoblju P1 očekivano smanjenje do najviše oko 10% vidljivo je u većem dijelu Like i zaleđu Dalmacije.

[Pogled do 2070.] U P2 se očekuje proširenje područja smanjenog površinskog otjecanja u odnosu na P0, tako da bi uključivalo Gorski Kotar i sjeverno primorje, te središnju i dijelove sjeverne Hrvatske (Sl. 4.2.8, desno). Tako bi u Gorskom Kotaru i Lici smanjenje otjecanja moglo biti do 15%.

Dok su polja srednjeg godišnjeg površinskog otjecanja u individualnim realizacijama RegCM modelom međusobno vrlo slična, te se vrlo malo razlikuju od onoga u Sl. 4.2.8 (lijevo), polja razlika površinskog otjecanja P1-P0 i P2-P0 daju veće varijacije uz razne rubne uvjete. Primjerice, jedino uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM predviđa porast (20-30%) površinskog otjecanja u sjeverozapadnoj i središnjoj Hrvatskoj. Uz rubne uvjete ostalih globalnih modela RegCM predviđa smanjenje otjecanja kao što je opisano u srednjaku ansambla, a uz rubne uvjete Cm5 modela RegCM daje smanjenje površinskog otjecanja u čitavoj Hrvatskoj.

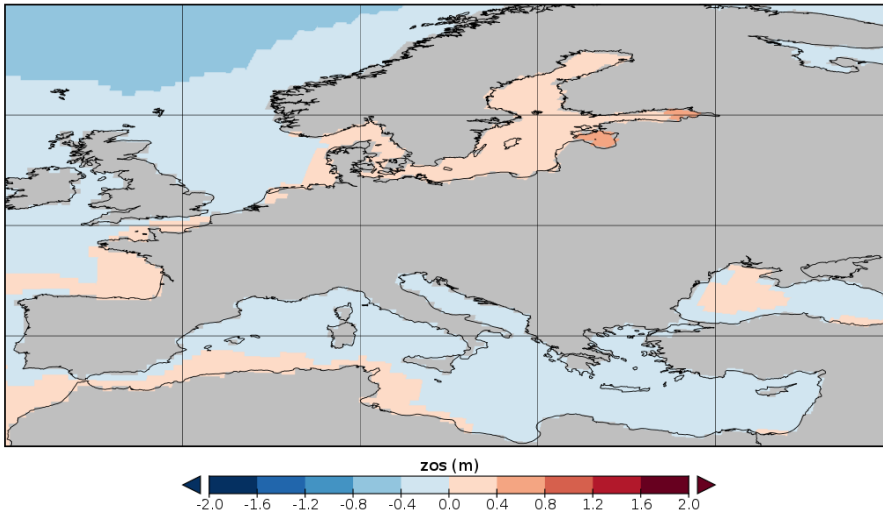
4.2.5 Razina mora

Ova varijabla nije varijabla iz outputa RegCM modela. RegCM je tzv. atmosferski klimatski model te ne opisuje s dovoljnom kvalitetom varijable vezane uz promjene srednje razine mora (za razliku od oceanskih ili združenih oceansko-atmosferskih (*coupled*) modela). S obzirom da rezultati regionalnih združenih modela atmosfere i oceana, kao što su primjerice modeli iz Med-Cordex inicijative (www.medcordex.eu), nisu dostupni na Earth System Grid Federation (ESGF) serverima, pristupilo se obradi ove varijable iz globalnih klimatskih modela (GCM). Horizontalna rezolucija globalnih modela relativno je gruba za manja zemljopisna područja kao što su Jadran ili Hrvatska. Ovdje su pokazani rezultati jednog globalnog klimatskog modela, MPI-ESM (vidjeti točku 3.2.2), za koji su nam bili dostupni podaci o razini mora za referentnu klimu i buduća klimatska razdoblja uz IPCC scenarij RCP4.5. Svi prikazani rezultati su srednje godišnje vrijednosti.

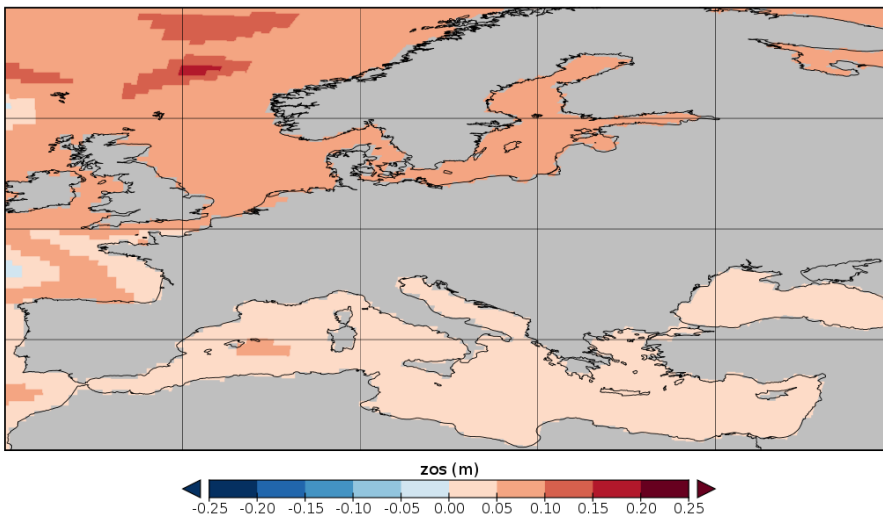
U referentnoj klimi, srednja razina mora na godišnjoj skali je od 0 do -40 cm u odnosu na geoid (Sl. 4.2.9, gore). Ove vrijednosti nalazimo praktički u čitavom Sredozemlju, osim u njegovom zapadnom dijelu uz obale sjeverne Afrike gdje su vrijednosti pozitivne s istim iznosom.



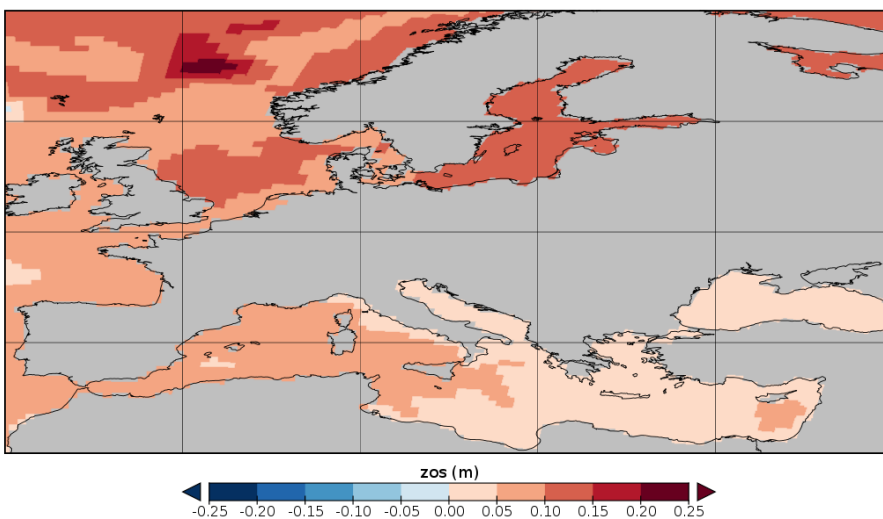
MPI-ESM-MR (HIST,RCP4.5) year zos (m) / P0



MPI-ESM-MR (HIST,RCP4.5) year zos (m) / P1-P0



MPI-ESM-MR (HIST,RCP4.5) year zos (m) / P2-P0



Slika 4.2.9 Srednja razina mora (m) u MPI-ESM globalnom modelu. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000. (P0), razina u odnosu na geoid (m); sredina: promjena u razdoblju P1 (P1 minus P0); dolje: promjena u razdoblju P2 (P2 minus P0).



Prema globalnom MPI-ESM modelu, u budućoj klimi do 2040. (razdoblje P1) u Jadranu se očekuje porast srednje razine mora između 0 i 5 cm (Sl. 4.2.9, sredina). Slično kao u referentnoj klimi, i ovaj iznos vrijedi za čitavo područje Sredozemlja. Jedino se u području Baleara može očekivati nešto veći porast razine mora, 5 do 10 cm. Sličan porast razine mora (5 do 10 cm) očekuje se i za sjeverni Atlantik i druga sjeverna mora, uključujući i zatvoreni Baltik.

[Pogled do 2070.] Također prema globalnom MPI-ESM modelu, oko sredine stoljeća, u razdoblju P2 (2041.-2070.), promjena razine mora u Jadranu ostat će u okvirima promjene iz razdoblja P1 – povećanje razine od 0 do 5 cm (Sl. 4.2.9, dolje). Dakle, u P2 ne očekuje se, na godišnjoj skali, daljnje podizanje razine mora. Međutim, u zapadnom Sredozemlju i na krajnjem istoku došlo bi u 2041.-2070. do daljnjeg porasta razine mora od otprilike 5 do 10 cm.

Zbog znatnog odstupanja ovdje dobivenih i prikazanih rezultata korištenog globalnog MPI-ESM modela od onih u IPCC (2013a), gdje je za razdoblje 2046.-2065. srednji globalni porast razine mora za RCP4.5 scenarij 26 cm, potrebno ih je uzeti u obzir s velikim oprezom i svakako uzeti u obzir i navedene rezultate IPCC-a (2013a) te uzeti u obzir velike neizvjesnosti vezane uz mogućnost otapanja ledenih kapa – koje bi nužno dovele do ekstremnog porasta srednje razine svjetskih mora pa tako i Jadrana³.

Prema IPCC izvješću brzina budućeg porasta razine svjetskih mora (globalna srednja razina mora) vrlo vjerojatno će nadmašiti opaženu brzinu promjene razine mora (IPCC 2013a). U razdoblju 1971.-2010. prosječni opaženi relativni porast globalne razine mora bio je 8 cm; međutim, valja naglasiti da je u zadnjih 15-ak godina ovaj porast nešto ubrzan. Projicirani porast izračunat iz 21 CMIP5 GCM-a **za razdoblje 2046.-2065. uz RCP4.5 je 19-33 cm, a uz RCP8.5 je 22-38 cm.** Izvješće također naglašava da budući porast razine mora neće biti ravnomjeran u svim područjima.

Orlić i Pasarić (2013) usporedili su modelirane rezultate za globalnu srednju razinu mora sa svojom polu-empiričkom metodom i ustvrdili relativno dobro slaganje između dva različita pristupa. Za umjereni scenarij klimatskih promjena B1 (IPCC, 2007) **najmanji očekivani porast globalne razine mora tijekom 21. stoljeća je 64±14 cm.**

Istraživanja mjerenih vrijednosti morske razine za Jadran daju različite rezultate. Za razdoblje 1956.-1991. Barić i sur. (2008) izvješćuju o različitim trendovima promjene razine mora na mareografskim postajama duž hrvatske obale Jadrana. Tako, u promatranom razdoblju u Rovinju morska razina pada za -0.50 mm/godinu, u Bakru raste za +0.53 mm/godinu, u Splitu pada za -0.82 mm/godinu, a u Dubrovniku raste za +0.96 mm/godinu. Ovakve razlike objašnjavaju se različitim lokalnim podizanjem i spuštanjem obale zbog toga što je istočna obala Jadrana tektonski aktivna. Projicirane promjene morske razine u Barić i sur. (2008) osnivaju se na ranijim scenarijima definiranim od strane *Climate Reaserch Group* sa Sveučilišta East Anglia u Ujedinjenom Kraljevstvu (Palutikof i sur., 1992). **Za razdoblja do 2030., 2050. i 2100. one iznose +18±12 cm, +38±14 cm i +65±35 cm.**

Čupić i sur. (2011) izračunali su trendove porasta razine Jadranskog mora primjenom metode linearne regresije na tri mareografske postaje za dva historijska razdoblja, dulje razdoblje 1955.-2009. (55 godina) i kraće razdoblje 1993.-2009. (17 godina). Za dulje razdoblje promjene su sljedeće: Rovinj +0.45±0.26 mm/god., Split +0.59±0.27 mm/god. i za Dubrovnik +0.83±0.27 mm/god. Za kraće razdoblje trendovi su osjetno veći nego za 1955.-2009., što ukazuje na **ubrzani porast srednje razine Jadranskog mora u novije vrijeme:** Rovinj +0.91±1.17, Split +4.15±1.14, te Dubrovnik +3.62±1.04 mm/god. Čupić i sur. (2011) navode da bi, ako se ovakav trend promjene nastavi, to značilo **porast razine mora na srednjem i južnom Jadranu od oko 40 cm u sljedećih sto godina.** Ovo je u skladu s ranijim procjenama IPCC-ja koje su davale globalni porast razine mora od 2000. do 2100. između 20 i 50 cm (IPCC, 2007).

³ U slučaju otapanja ledenog pokrova na Grenlandu (Arktik), procijenjeno je da bi razina mora porasla oko 6 metara. Ako bi se otopila ledena ploha Antartike, razina mora bi porasla za oko 60 metara. Grenlandske i antarktičke ledene plohe također značajno utječu na vrijeme i klimu [NSDIC-National Snow and Ice Data Centre: <https://nsidc.org/cryosphere/quickfacts/icesheets.html>, preuzeto: 14.02.2017.]



Tsimplis i sur. (2012) daju trendove promjena razine Jadranskog mora na hrvatskim i na talijanskim postajama, ali za različita historijska (prošla) razdoblja. Tako, za hrvatske postaje nalazimo sljedeće promjene u mm/god.: Rovinj $+0.5\pm 0.3$ (razdoblje 1956-2006.), Bakar $+1.0\pm 0.2$ (1930-2006.), Zadar $+0.3\pm 1.7$ (1995-2006.), Split luka $+0.5\pm 0.3$ (1955-2006.), Split rt Marjana $+0.7\pm 0.3$ (1953-2006.), Sućuraj $+5.6\pm 1.3$ ((1987-2004.) i Dubrovnik $+1.0\pm 0.3$. Trend za Sućuraj je vrlo izražen, ali je izračunat iz relativno kratkog razdoblja i uključuje godine brzog porasta razine u istočnom Sredozemlju. Premda se ovi rezultati kvantitativno sasvim ne podudaraju s, primjerice, Čupić i sur. (2011), u kvalitativnom smislu ipak ukazuju na **trendove porasta razine Jadranskog mora**.

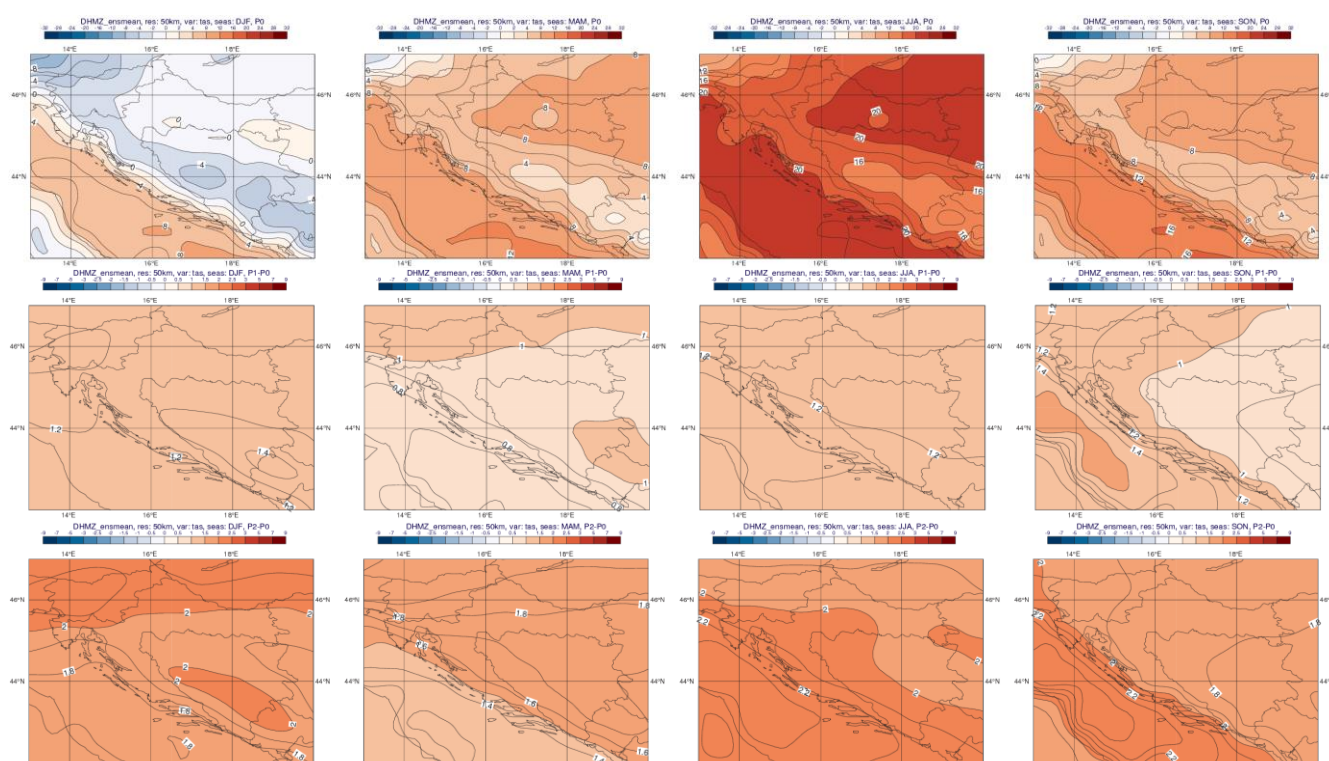
U gore prikazanim radovima procjene buduće razine Jadranskog mora ukazuju na porast razine do konca 21. stoljeća. **Premda ne postoji usuglašenost u navedenim procjenama buduće razine, moglo bi se zaključiti da bi do 2100. porast razine Jadrana bio između 40 i 65 cm.** S obzirom da određivanje historijskih vrijednosti razine Jadranskog mora uključuje pogreške u mjerenjima i pogreške u izračunima, i za procjene promjene razine mora u budućoj klimi valja onda uvažiti moguće pogreške u određivanju tih procjena



4.3. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTOR BIORAZNOLIKOST

4.3.1 Temperatura zraka

U ansambl srednjaku (Sl. 4.3.1, gore) uočava se sezonska varijabilnost srednje prizemne temperature. Zimi je u planinskim krajevima srednjak ansambla malo manji od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i nešto niži od izmjerenih vrijednosti (Ogulin 1, Gospić $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; Zaninović i sur. 2008), što je sukladno sustavnoj pogrešci RegCM modela prikazanoj u Sl. 3.2 (gore). U sjevernoj Hrvatskoj prevladava temperatura malo ispod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je također nešto niže od izmjerenih (Zagreb 1, Osijek 1). U primorskom dijelu zimska temperatura je između 2 i $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Negativne vrijednosti u području Kvarnera nisu realistične (u Rijeci je izmjereni zimski srednjak $6\text{ }^{\circ}\text{C}$) i posljedica su utjecaja “proširenja” temperature iz planinskih krajeva zbog neadekvatno razlučenog uskog planinskog pojasa i dijela sjevernog Primorja na 50-km rezoluciji u RegCM modelu. U ostalim su sezonama srednje dnevne temperature relativno dobro prikazane u srednjaku ansambla.



Slika 4.3.1 Temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U razdoblju 2011.-2040. (P1), očekuje se u svim sezonama porast prizemne temperature u srednjaku ansambla (Sl. 4.3.1, sredina). Porast temperature gotovo je identičan zimi i ljeti – između 1.1 i $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. U proljeće u većem dijelu Hrvatske prevladava nešto manji porast: od $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ na otocima Dalmacije do malo više od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Jesenski porast temperature je između $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u istočnoj Slavoniji do oko $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu, a u zapadnoj Istri i do $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sve individualne realizacije također daju porast temperature. Rezultati variraju između $0-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ u proljeće i ljeto kad RegCM koristi rubne uvjete EC-Earth modela, pa sve do $2.5-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ u zimi i jesen kad RegCM koristi rubne uvjete HadGEM2 modela (jugozapadni dio Istre i neki otoci imaju porast i preko $3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

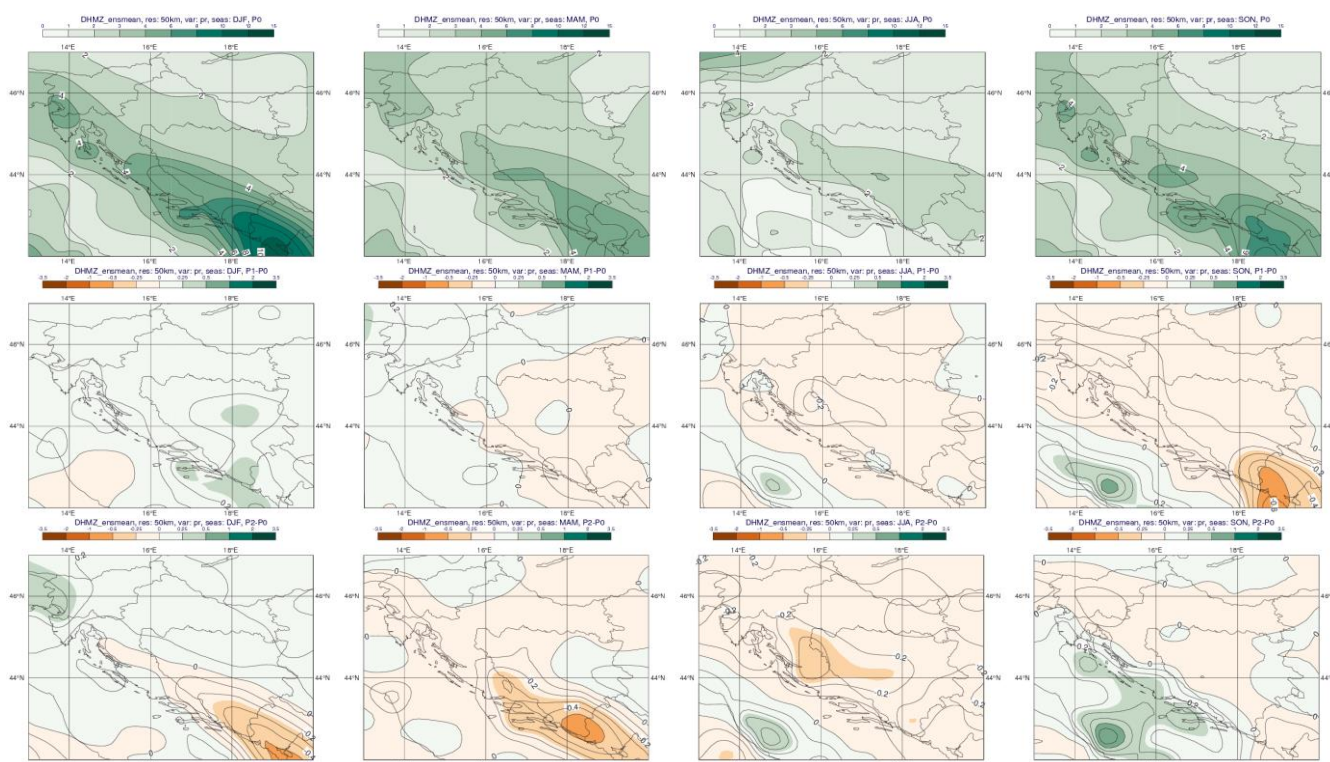
[Pogled do 2070.] U razdoblju do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, očekuje se na Jadranu u ljeto i jesen (Sl. 4.3.1, dolje). Nešto manji porast mogao bi biti ljeti u najsjevernijim krajevima i Slavoniji, a u jesen u većem dijelu Hrvatske. U zimi i proljeće je prostorna razdioba porasta temperature obrnuta od one u ljeto i jesen: porast je najmanji na Jadranu, a veći



prema unutrašnjosti. U proljeće je porast temperature u srednjaku ansambla od 1.4 do 1.6 °C na Jadranu i postupno raste do 1.9 °C u sjevernim krajevima.

4.3.2 Oborine

Srednja zimska količina oborina u srednjaku ansambla postupno raste od nešto manje od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjevernoj Hrvatskoj pa sve do više od 500 mm na jugu zemlje (Sl. 4.3.2, gore). Na sjeveru Hrvatske ova je količina veća od klimatoloških vrijednosti zabilježenih na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti oborine precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno precijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti (Split 227, Dubrovnik 316 mm). Najvjerojatniji razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće je količina oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (izmjerene vrijednosti na postajama Osijek 151, Varaždin 186, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori i više od 250 mm (Gospić 312, Knin 257 mm). Ljeto je sezona s najmanjom količinom simulirane oborine; u kontinentalnim krajevima osjetno je manja (90-150 mm) od izmjerenih vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265 mm). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivne (pljuskovite) oborine u modelu. Tijekom ljeta konvektivne su oborine relativno česte, a smanjene ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivne oborine) ili na (b) nedovoljno dugo trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Güttler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici su ljetne oborine (veće od 180 mm) relativno dobro simulirane (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (nešto više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok su u ostalim krajevima, osobito na sjeveru Hrvatske, jesenske oborine podcijenjene u modelu.



Slika 4.3.2 Ukupna količina oborine (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi 2011.-2040. projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto

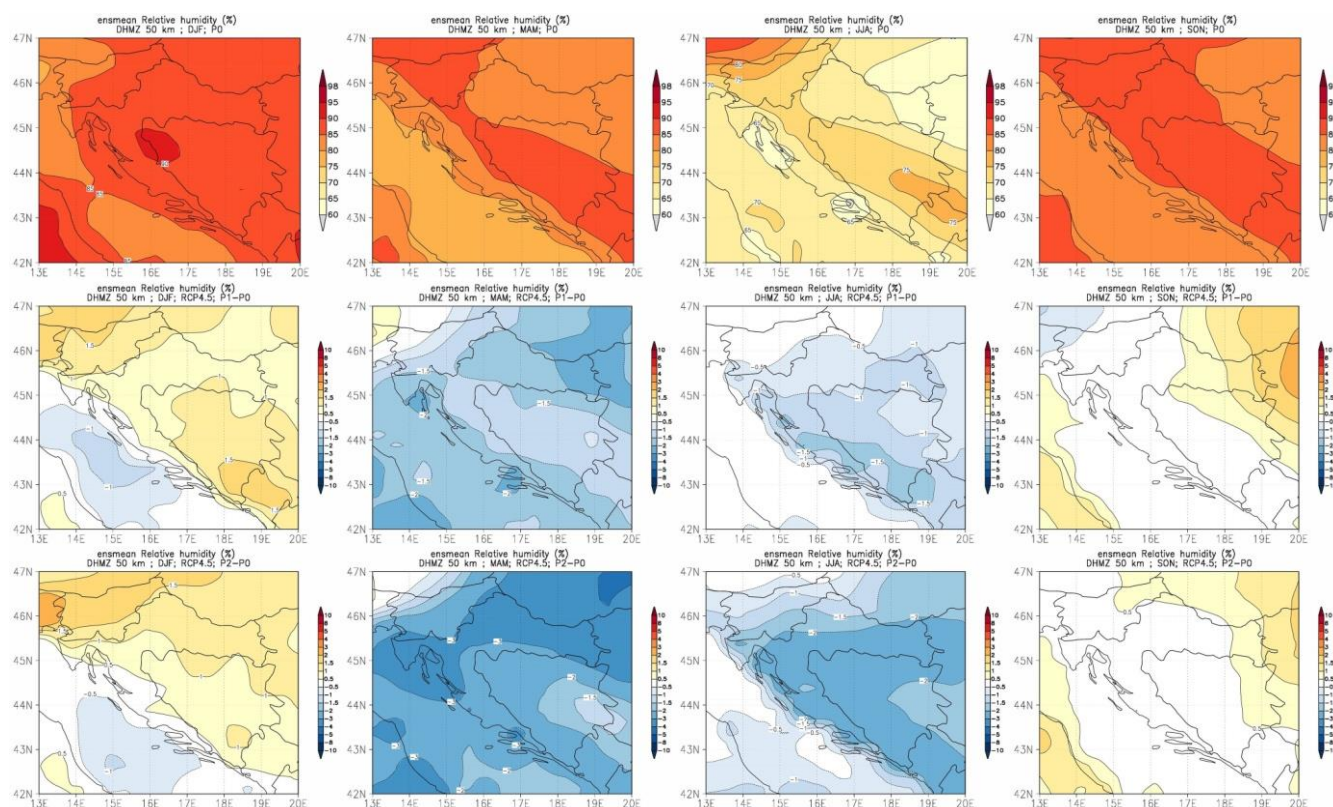


i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.3.2, sredina). Porast količine oborine je u zimi manji od 20 mm; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Najveće ljetno smanjene količine oborine predviđeno je u južnoj Lici (do oko 20 mm), predjelu u kojem inače ljeti padne najveća količina oborine (180-240 mm). Najveće projicirano smanjenje ukupne količine oborine u jesen je oko 20 mm u Gorskom Kotaru i sjevernom dijelu Like, što čini oko 5% oborine u toj sezoni. Na krajnjem jugu smanjenje je između 20 i 40 mm, što je također oko 5% manje u odnosu na simuliranu količinu oborine. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije .

[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine (Sl. 4.3.2, dolje). Najveće smanjenje (do maksimalno 45 mm) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, te u ljeto između 10 i 15% u gorskim predjelima i sjevernoj Dalmaciji. Do najvećeg povećanja količine oborine, oko 30 mm, došlo bi u jesen na otocima srednje Dalmacije.

4.3.3 Relativna vlažnost zraka

Relativna vlažnost zraka u srednjaku ansambla najveća je u zimi - u većem dijelu zemlje je između 85 i 90% (Sl. 4.3.3, gore).



Slika 4.3.3 Relativna vlažnost zraka (%) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Najveću vlažnost, više od 90%, nalazimo u istočnim dijelovima Like, a najmanju (ispod 85%) u zapadnoj Istri. Ove se vrijednosti u sjevernim, središnjim i gorskim predjelima dobro podudaraju s izmjerenim – Osijek 86%, Zagreb 81%, Gospić 83% (Zaninović i sur., 2008), ali su precijenjene u primorskim krajevima (primjerice, Rijeka 64%, Zadar 72%, Dubrovnik 60%). U proljeće je simulirana relativna vlažnost općenito niža nego zimi; u većini krajeva je između 75 i 80%, u središnjoj Hrvatskoj do 85%, a na nekim otocima između 70 i 75%. Smanjenje vlažnosti u proljeće zabilježeno je i na postajama širom Hrvatske, ali su rezultati modeliranja nešto veći nego izmjerene vrijednosti. Ljeti je



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.

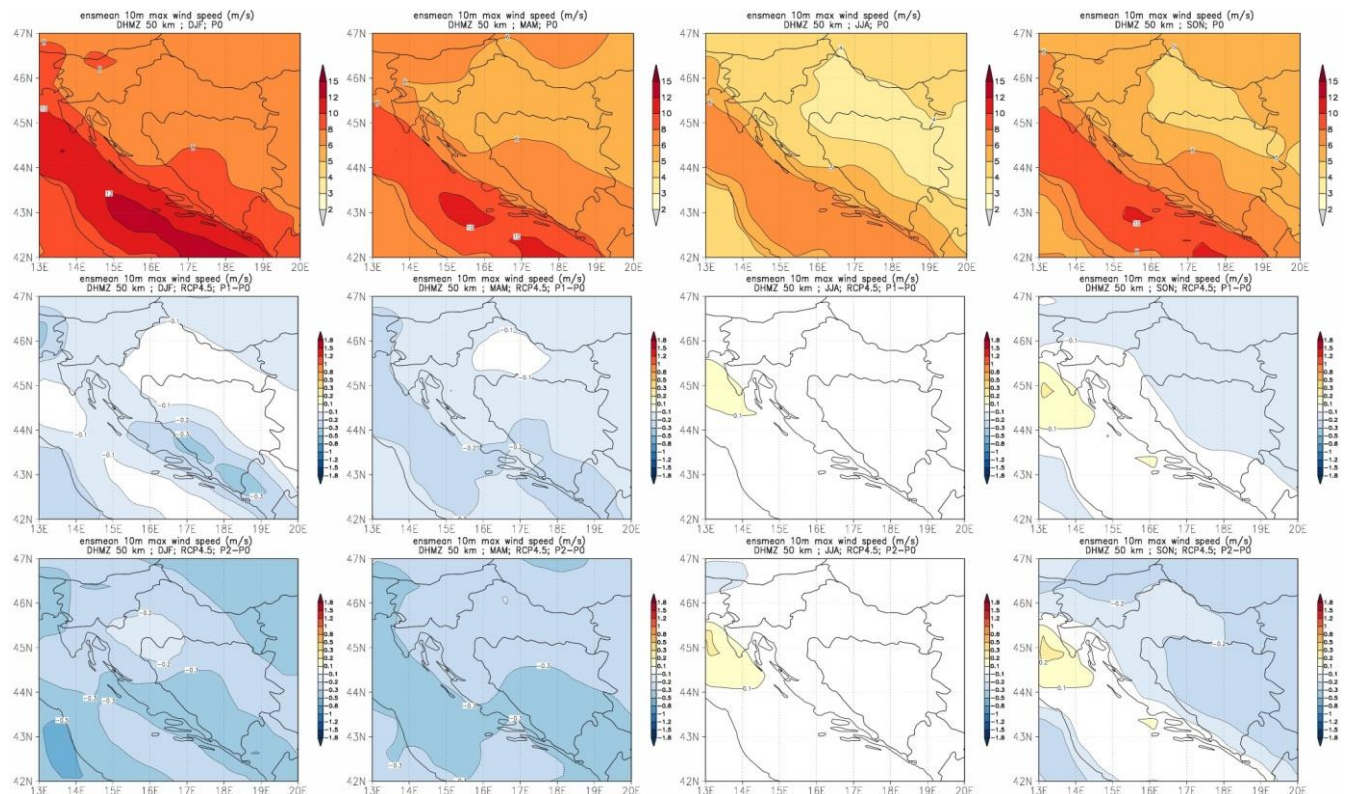
simulirana vlažnost najmanja; u većini krajeva je 65-70%, u središnjoj Hrvatskoj 70-75%, a u istočnim krajevima i ponegdje na Jadranu i ispod 65%. Ove vrijednosti većinom su sukladne mjerenjima. Vlažnost ponovno raste u jesen i u većini središnjih krajeva je 80-85%, a u primorskom i istočnom dijelu od 75-80%. I za ovu sezonu većinom nalazimo podudaranje s podacima mjerenja, osim za neke dijelove Jadrana gdje je izmjerena relativna vlažnost niža od modelirane (Rijeka 66%, Split 61%, Dubrovnik 62%).

U neposrednoj budućnosti (do 2040.) očekuje se smanjenje relativne vlažnosti u proljeće i ljeto između 0.5 pa do 2% (Sl. 4.3.3, sredina). Dakle, ovo smanjenje je vrlo malo tako da neće bitnije utjecati na ukupnu relativnu vlažnost u ovim sezonama. U zimi je projiciran mali porast relativne vlažnosti u većini krajeva (osim u primorskom pojasu), ali i ovaj porast ne bio donio veću promjenu ukupne vlažnosti zraka. Slično vrijedi i u jesen za istočne krajeve, dok u ostatku zemlje ne bi došlo do promjene relativne vlažnosti. U ljeti jedino uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM daje povećanje relativne vlažnosti, dok uz rubne uvjete ostalih modela daje redukciju, što se u konačnici odražava u srednjaku ansambla prikazanom u Sl. 4.3.3 (sredina).

[Pogled do 2070.] Trendovi promjene relativne vlažnosti slični onima u P1 očekuju se i u razdoblju 2041-2070. (Sl. 4.3.3, dolje), ali s malo povećanom amplitudom: smanjenje vlažnosti od više od 3% u proljeće, odnosno više od 2% u ljeto, te povećanje vlažnosti od najviše 1.5% u zimi. Dakle, kao i u neposredno budućoj klimi, projicirana promjena relativne vlažnosti oko sredine 21. stoljeća je vrlo mala.

4.3.4 Maksimalna brzina vjetra na 10 m visine

Srednja maksimalna brzina vjetra na 10 m visine u srednjaku ansambla (Sl. 4.3.4, gore) najveća je zimi na otvorenom moru južnog Jadrana (10-12 m/s), te na otocima južne Dalmacije (8-10 m/s).



Slika 4.3.4 Maksimalna brzina vjetra (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U usporedbi sa srednjim satnim maksimalnim brzinama vjetra iz Zaninović i sur. (2008), modelirane vrijednosti su osjetno niže, tj. maksimalna brzina vjetra u modelu je podcijenjena. No, prostorna



razdioba maksimalnih brzina prikazana u Sl. 4.3.4 (gore) podudara se s razdiobom izmjerenih satnih maksimuma. S obzirom da maksimalna brzina vjetra ovisi o lokalnim uvjetima (orografiji, nagibu, vegetaciji, preprekama, itd.), jedan od mogućih uzroka razlikâ između modeliranih i opaženih vrijednosti jest nemogućnost 50-km rezolucije da adekvatno prikaže detalje za lokaciju mjerenja. Prema unutrašnjosti se maksimalna brzina vjetra zimi smanjuje i u većem dijelu zemlje je između 4 i 5 m/s. U ostalim sezonama maksimalna brzina vjetra je manja nego u zimi, a prostorna razdioba je slična: vjetar je najjači na Jadranu, a smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti. U sjevernoj Hrvatskoj je maksimalni vjetar jači u proljeće nego u jesen: u proljeće su brzine od 4-5 m/s, a u jesen između 3 i 4 m/s. Najniže vrijednosti maksimalnog vjetra nalazimo u sjevernim krajevima ljeti (2-3 m/s). Istodobno, na Jadranu su vrijednosti od 4-5 m/s.

Do 2040. (razdoblje P1) očekuje se smanjenje maksimalne brzine vjetra u zimi, proljeće i u jesen, a jedino će u ljeto brzina ostati nepromijenjena (Sl. 4.3.4, sredina). Najveće smanjenje maksimalne brzine vjetra je u zimi (do 0.5 m/s ili između 5 i 10%) u krajevima gdje je vjetar u referentnoj klimi (P0) najjači – na južnom Jadranu i u zaleđu srednje i južne Dalmacije. Maksimalne brzine vjetra ostat će nepromijenjene u dijelovima sjeverne Hrvatske u zimi i u proljeće, a također u jesen u zapadnim i južnim krajevima. Uz zapadnu obalu Istre moguće je tijekom ljeta i jeseni manje povećanje maksimalnih brzina vjetra. Najveće promjene u individualnim integracijama daje RegCM uz rubne uvjete HadGEM2 modela na Jadranu: smanjenje maksimalnog vjetra do 1 m/s na sjevernom dijelu u proljeće i povećanje do 0.8 m/s na sjevernom i srednjem Jadranu u jesen.

[Pogled do 2070.] Trend smanjenja maksimalne brzine vjetra nastavlja se i u razdoblju P2 u svim sezonama osim u ljeto kad se ne očekuje promjene (Sl. 4.3.4, dolje). U zimi i u proljeće ovo smanjenje proširilo bi se na čitavu Hrvatsku, a u jesen na veći dio zemlje, osim primorskih krajeva. Maksimalna brzina vjetra bila bi manja do 0.5 m/s na Jadranu i u krajevima uz Jadran. Povećanje maksimalne brzine do oko 0.3 m/s očekuje se na sjevernom Jadranu.

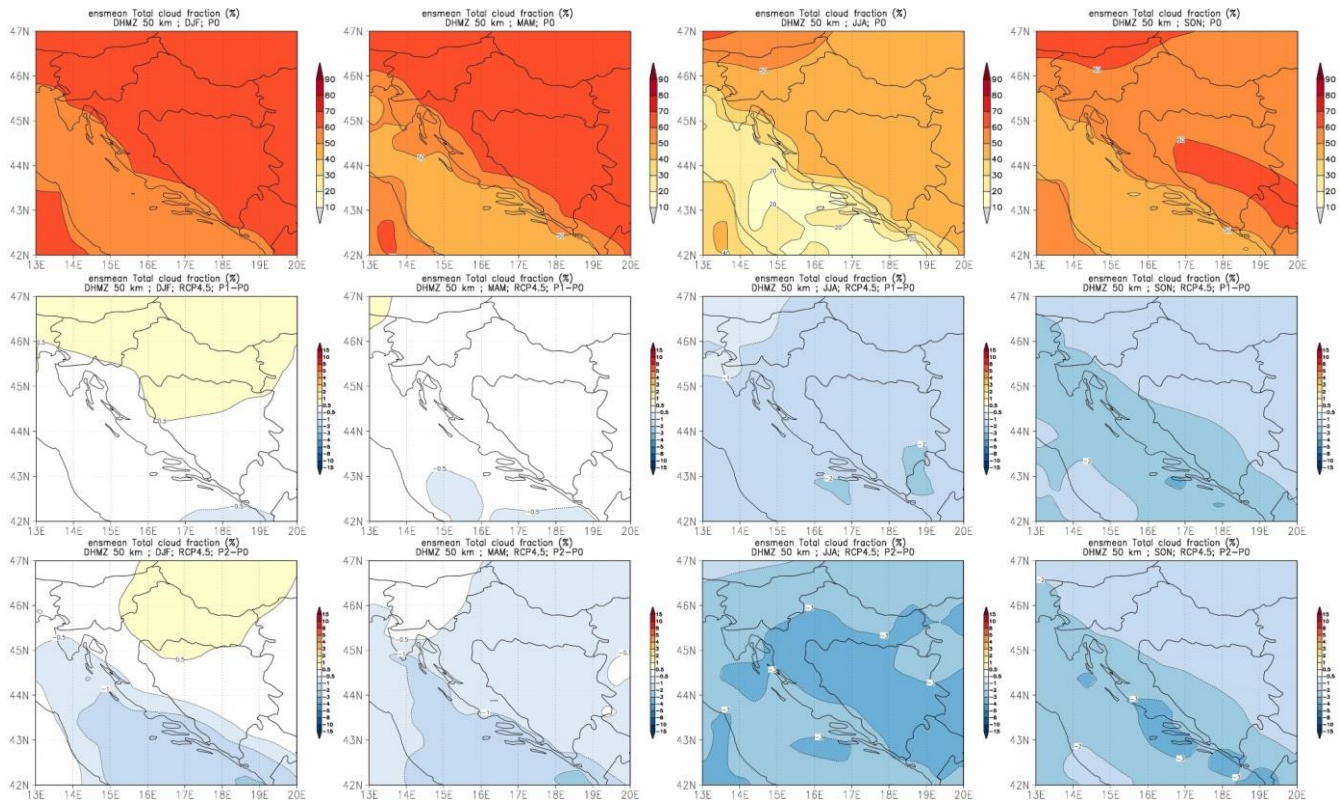
4.3.5 Naoblaka

U referentnoj klimi, izolinja koja zimi označava 60% ukupne naoblake jasno razdvaja primorski pojas od ostataka Hrvatske (Sl. 4.3.5, gore). Ovakva razdioba se dosta dobro slaže s opaženim klimatološkim vrijednostima (Zaninović i sur. 2008). Primjerice, u kontinentalnom dijelu samo u Zagrebu i Sl. Brodu naoblaka je zimi malo veća od 70%, dok je na Jadranu svugdje ispod 60%, odnosno malo iznad 50%. U proljeće se granica modelirane naoblake od 60% povukla malo prema unutrašnjosti, tako da je na otocima srednjeg i južnog Jadrana ispod 50% (opažena vrijednost naoblake za Zadar je 47%, Hvar 49%). U ljeto naoblaka doseže minimalne vrijednosti od oko 20% na otocima Dalmacije do oko 50% na sjeveru Hrvatske. One se vrlo dobro podudaraju s opaženim ljetnim vrijednostima: od 26% u Dubrovniku i 27% na Hvaru do 49% u Zagrebu, Varaždinu i Sl. Brodu. U jesen se vrijednosti modelirane naoblake povećavaju u odnosu na ljetne iznose, ali su u unutrašnjosti još uvijek manji od proljetnih. Tako, na otocima, dijelu Istre i u središnjoj Dalmaciji naoblaka je manja od 50% (opažena je od 43 do 46%), a u ostatku Hrvatske do nešto manje od 60% (opažene vrijednosti su, primjerice, 54% u Osijeku, 59% u Varaždinu, 63% u Zagrebu, 64% u Ogulinu). Dakle, možemo zaključiti da su u srednjaku ansambla modelirane vrijednosti naoblake relativno dobro prikazane u usporedbi s opaženim klimatološkim podacima.

U budućoj klimi do 2040. (P1) ne očekuju se izraženije promjene naoblake (Sl. 4.3.5, sredina). Najveća promjena je smanjenje ukupne količine naoblake do oko 3% u jesen na središnjem Jadranu. U ljeto će se naoblaka neznatno smanjiti, a u zimi u sjevernoj Hrvatskoj očekuje se također sasvim neznatan porast. I u većini individualnih realizacija očekuje se manji porast naoblake zimi, prvenstveno u unutrašnjosti. Uz HadGEM2 rubne uvjete naoblaka će malo porasti i u proljeće. U ljeto i jesen se očekuje malo smanjenje naoblake uz rubne uvjete svih globalnih modela.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.3.5 Ukupna naoblaka (%) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] Projekcije od 2041. do 2070. nastavljaju sa smanjenjem naoblake u svim sezonama osim u zimi kad se očekuje mali porast u sjevernim krajevima, slično kao u P1. Najveće smanjenje, malo više od 3%, očekuje se ljeti u središnjim krajevima, a također na jesen u Dalmaciji u istom iznosu.

4.3.6 Sunčano zračenje

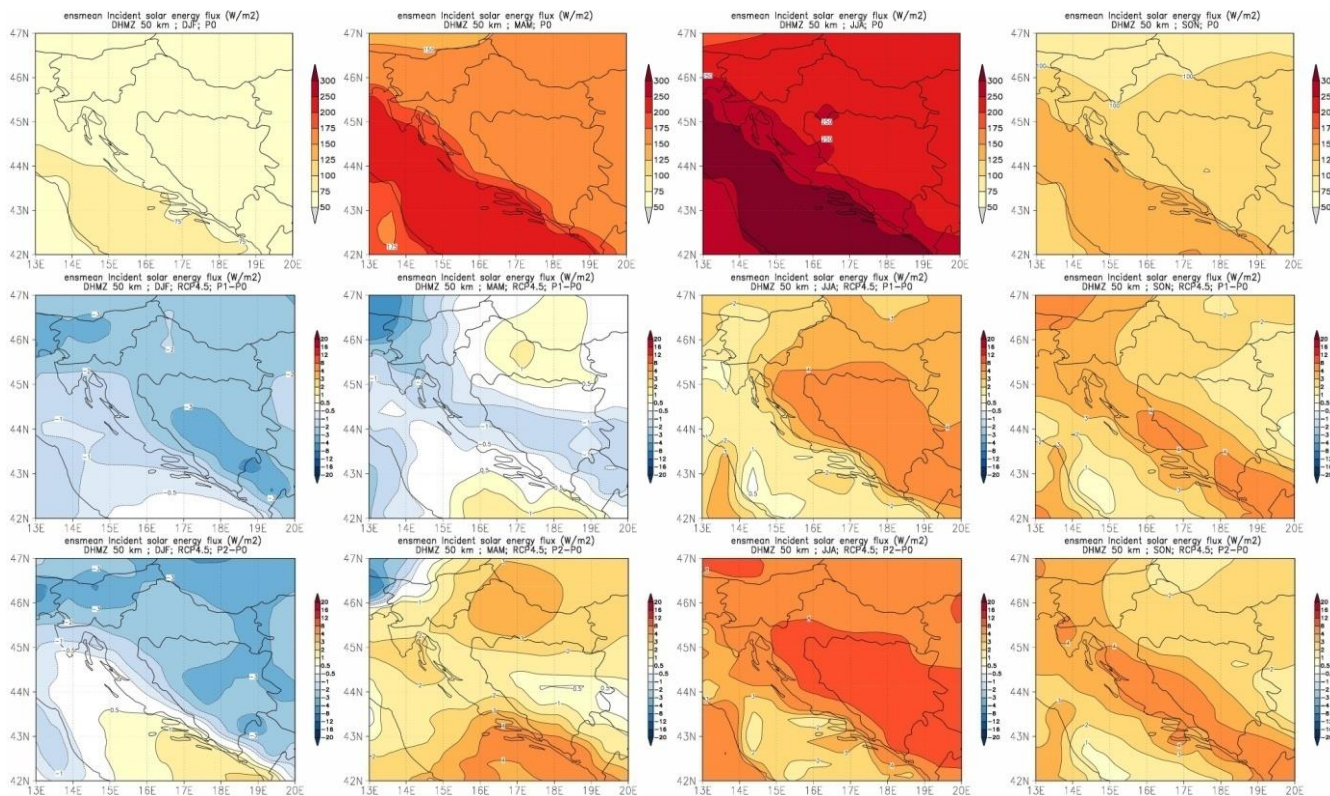
Sunčano zračenje bit će pokazano i diskutirano u kontekstu ulazne sunčane energije (*incident solar energy*) mjerene u W/m^2 . (U našoj literaturi nalazimo još termin “dozračena sunčana energija” (*solar irradiation*), Zaninović i sur. 2008.) Pretpostavljamo da je fluks ulazne sunčane energije (*incident solar energy flux*) reprezentativan za ukupno sunčano zračenje.

U skladu s izmjenama sezona, vrijednosti fluksa ulazne sunčane energije rastu od zime prema ljetu, te ponovno opadaju prema jeseni. Ulazna sunčana energija je u svim sezonama veća na Jadranu i smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti (Sl. 4.3.6, gore). Najveće vrijednosti fluksa ulazne sunčane energije u zimi su između 50 i $75 W/m^2$. U proljeće su u većem dijelu zemlje od $150-175 W/m^2$, te između 175 i $200 W/m^2$ u obalnom području Dalmacije i na otocima. Najveće ljetne vrijednosti su od $200-250 W/m^2$ u većem dijelu unutrašnjosti, a od $250-300 W/m^2$ u priobalnom pojasu i zaleđu, te više od $300 W/m^2$ na otocima južne Dalmacije. U jesen prevladavaju vrijednosti od $100-125 W/m^2$, nešto manje na krajnjem sjeverozapadu i nešto više u obalnom dijelu.

Promjena fluksa ulazne sunčane energije u razdoblju 2011-2040 (P1) nije u istom smjeru u svim sezonama. Dok je zimi u čitavoj Hrvatskoj, a u proljeće u zapadnim krajevima projicirano smanjenje fluksa sunčane energije (negativne vrijednosti), u ljeto i jesen, te u sjevernim krajevima u proljeće, predviđa se porast vrijednosti u odnosu na referentno razdoblje (Sl. 4.3.6, sredina). Zimsko smanjenje fluksa najmanje je na južnim otocima ($-0.5 W/m^2$), a najveće u sjevernoj Hrvatskoj oko $-2 W/m^2$. U odnosu na referentno razdoblje (P0) ovo smanjenje u sjevernoj Hrvatskoj iznosi oko 4-5%, a na Jadranu oko 2% (u sjevernom dijelu Istre i malo više). U proljeće se fluks sunčane energije u P1 ne bi mijenjao na južnom Jadranu i sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske



došlo bi do povećanja, maksimalno oko 1 W/m^2 , a na ostatku Jadrana i u gorskoj Hrvatskoj fluks bi se smanjio za nešto više od 1 W/m^2 . U ljeto i jesen projiciran je porast fluksa ulazne sunčeve energije u čitavoj Hrvatskoj, u prosjeku između 1 i malo više od 4 W/m^2 . Na Jadranu je porast ljeti manji nego u jesen, dok je u sjevernoj Hrvatskoj situacija obrnuta – ljetni porast je veći nego jesenski. S obzirom da su ljetne vrijednosti fluksa sunčane energije vrlo visoke, projicirani porast je relativno zanemariv. U jesen porast iznosi tek oko 2-4%.



Slika 4.3.6 Fluks ulazne sunčane energije (W/m^2) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Zanimljivo je da uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM daje u ljeti smanjenje (negativnu razliku) fluksa u većem dijelu zemlje, dok uz rubne uvjete drugih globalnih klimatskih modela RegCM daje povećanje fluksa sunčane energije. Slična situacija je u jesen kad uz rubne uvjete MPI-ESM modela RegCM daje smanjenje fluksa u sjevernoj Hrvatskoj, a za ostale rubne uvjete nalazimo porast vrijednosti fluksa.

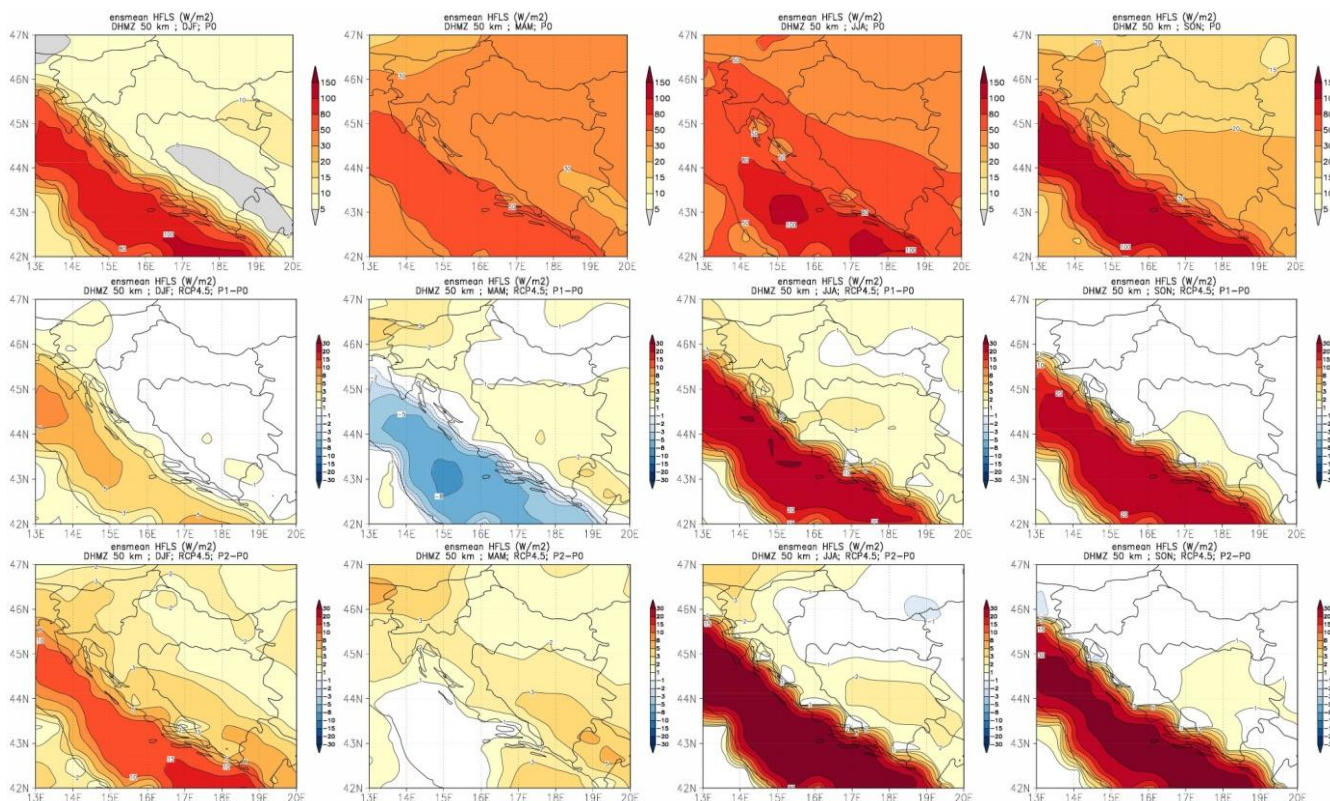
[Pogled do 2070.] Za razliku od P1 sada u svim sezonama, osim u zimi, očekuje se u razdoblju 2041-2070. povećanje fluksa ulazne sunčane energije u srednjaku ansambla (Sl. 4.3.6, dolje). Porast je najveći u ljeto ($8-12 \text{ W/m}^2$) u gorskoj i središnjoj Hrvatskoj, a najmanji u srednjoj Dalmaciji. U proljeće i jesen porast je maksimalno do malo više od 4 W/m^2 , što je relativno malo povećanje. Najveće smanjenje fluksa ulazne sunčeve energije, u iznosu do 3 W/m^2 , nalazimo zimi u sjevernoj Hrvatskoj.

4.3.7 Fluks latentne topline

Fluks (tok) latentne topline (*surface latent heat flux*) je prijenos topline (energije) potrebne za zagrijavanja vode u procesu evaporacije s površine Zemlje u atmosferu. Iz Sl. 4.3.7 (gore) vidimo da je u srednjaku ansambla fluks latentne topline u zimi znatno jači nad morem nego nad kopnom jer je zimi more osjetno toplije od kopna. U primorju su vrijednosti između 20 i 80 W/m^2 , a u unutrašnjosti između 5 i 10 W/m^2 . Na Kvarneru su vrijednosti fluksa podcijenjene jer je u modelu to područje prikazano kao element (ćelija) kopna. Sličnu podjelu more/kopno u fluksu latentne topline nalazimo i u jesen, ali je sada fluks nad kopnom jači nego u zimi jer kopno još zadržava toplinu nakon



intenzivnog ljetnog zagrijavanja. U jesen su vrijednosti fluksa u uskom primorskom pojasu vrlo slične onima u zimi, nad kopnom su između 15 i 30 W/m². Zbog zagrijavanja kopna u proljeće i ljeto raste i fluks latentne topline iznad kopna: od 30-50 W/m² u proljeće, a u ljeto između 50 i 70 W/m² u zapadnim i južnim dijelovima Hrvatske.



Slika 4.3.7 Fluks latentne topline (W/m²) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U razdoblju P1 (2011-2040.) najveća promjena fluksa latentne topline očekuje se nad morem (Sl. 4.3.7, sredina), a zbog izravnog utjecaja mora, promjene su značajne u obalnom i priobalnom pojasu Hrvatske. Osim u proljeće, kad je nad morem zabilježeno smanjenje fluksa latentne topline, u svim ostalim sezonama očekuje se porast fluksa nad Jadranom. Porast je najveći u ljeto i jesen, kad ponegdje u priobalju doseže i do 10-15 W/m². Nad kopnom uglavnom nema promjene fluksa ili su promjene (porast) osjetno manje nego u priobalju. Proljetno smanjenje fluksa latentne topline u srednjaku ansambla nad Jadranom posljedica je vrlo jakog smanjenja fluksa u individualnoj integraciji RegCM modelom uz rubne uvjete HadGEM2 modela ; uz rubne uvjete ostalih GCM-a dolazi do povećanja fluksa.

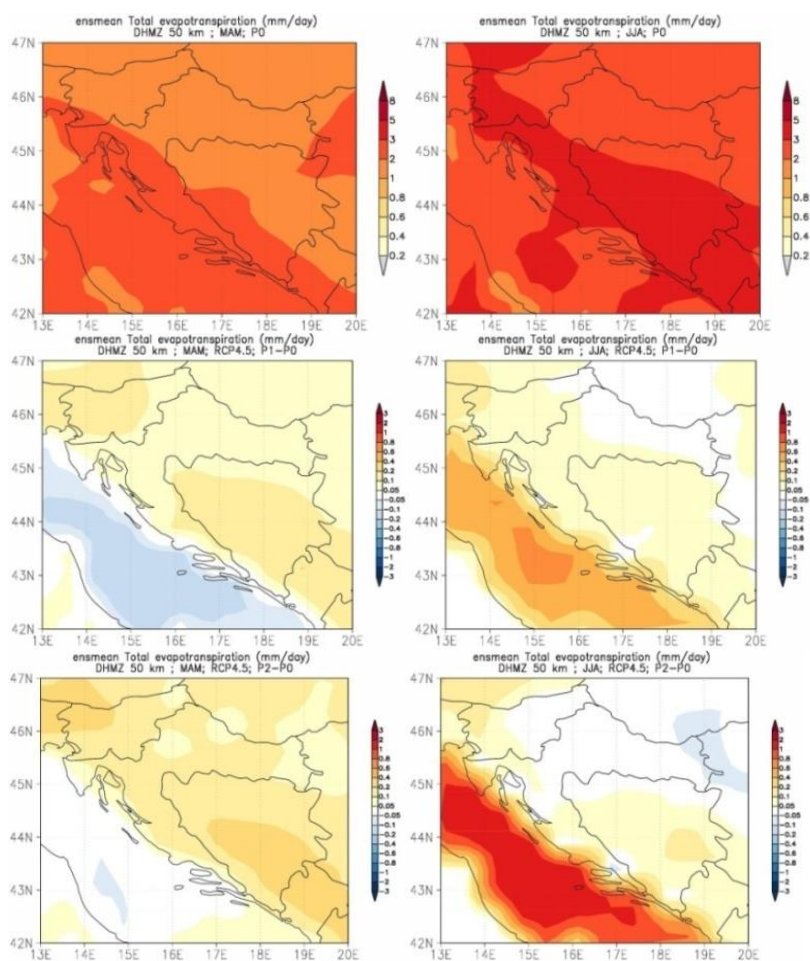
[Pogled do 2070.] U odnosu na P0 i na P1, u razdoblju P2 (2041.-2070.) najveći porast fluksa latentne topline u kopnenim krajevima – između 2 i 5 W/m² - očekuje se u zimi (Sl. 4.3.7, dolje). Ovo je sukladno očekivanom nešto intenzivnijem općem zagrijavanju nad kopnom (Sl. 4.3.1, dolje). U ljeto i jesen je projicirano povećanje fluksa praktički zanemarivo, osim u primorskim predjelima gdje se očekuje porast do najviše 15-20 W/m².

4.3.8 Evapotranspiracija

Ukupna evapotranspiracija je u proljeće najjača u obalnom području i zaleđu, između 180 i 270 mm (Sl. 4.3.8, gore), a u ljeto je još veća u Lici i Gorskom Kotaru što se dosta dobro podudara s podacima mjerenja za postaju Gospić (oko 265 mm). U ostalim područjima evapotranspiracija je nešto manja.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programima i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.3.8 Evapotranspiracija (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: proljeće; desno: ljeto. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

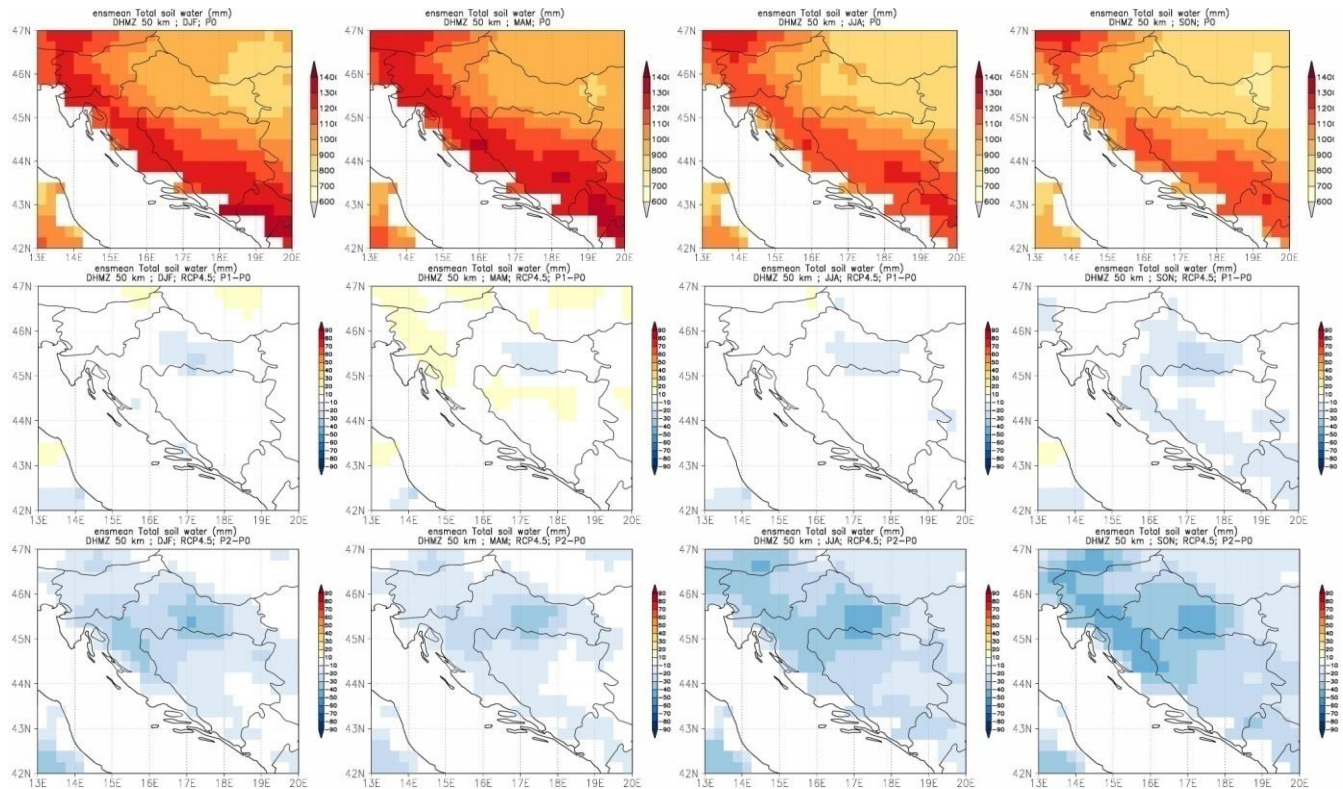
U budućoj klimi do 2040. projicirano je povećanje evapotranspiracije u obje sezone (Sl. 4.3.8, sredina). U proljeće povećanje je do oko 10 mm u većem dijelu zemlje i nešto više u zaleđu Dalmacije. Slične iznose povećane ukupne evapotranspiracije nalazimo i u ljeto u južnom dijelu Slavonije, zapadne Hrvatske, gorskim predjelima i Dalmaciji. Jače povećanje evapotranspiracije je ograničeno na otoke i zapadni dio Istre. U većem dijelu sjeverne Hrvatske neće doći do promjene ukupne ljetne evapotranspiracije u neposrednoj budućnosti.

[Pogled do 2070.] Porast evapotranspiracije nastavlja se u proljeće i u razdoblju 2041.-2070., ali neće prelaziti 20 mm (Sl. 4.3.8, dolje). U ljetnim mjesecima, očekuje se da se evapotranspiracija neće mijenjati u odnosu na referentnu klimu, 1971.-2000. Samo na Jadranu očekuje se povećanje evaporacije (iznad površine vode evapotranspiraciju možemo tumačiti kao evaporaciju).

4.3.9 Vlažnost tla

Ukupna vlažnost tla najveća je u proljeće: od 900-1000 mm u istočnoj Slavoniji povećava se do 1200-1300 mm u gorskoj Hrvatskoj (Sl. 4.3.9, gore). Dalje prema primorskim krajevima vlažnost tla je nešto manja. Slična prostorna razdioba razabire se i u drugim sezonama, ali su vrijednosti nešto niže nego u proljeće. Najniže vrijednosti su u jesen i ne prelaze više od 1200 mm u Lici.

U razdoblju do 2040. godine vlažnost tla u srednjaku ansambla će se u sjevernoj Hrvatskoj malo smanjiti u svim sezonama, a najviše u jesen (kad je i inače vlažnost tla najmanja) između 10 i 30 mm (Sl. 4.3.9, sredina). U proljeće se očekuje manji porast vlažnosti tla u Gorskom Kotaru.



Slika 4.3.9 Vlažnost tla (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] Oko sredine 21. stoljeća (razdoblje P2) očekuje se smanjenje vlažnosti tla u čitavoj Hrvatskoj. Najveće smanjenje projicirano je za ljeto i jesen (Sl. 4.3.9, dolje). U središnjem dijelu sjeverne Hrvatske, očekivano smanjenje vlažnosti tla iznosi u srednjaku ansambla nešto više od 50 mm. U odnosu na referentnu klimu ovo smanjenje je oko 5%.

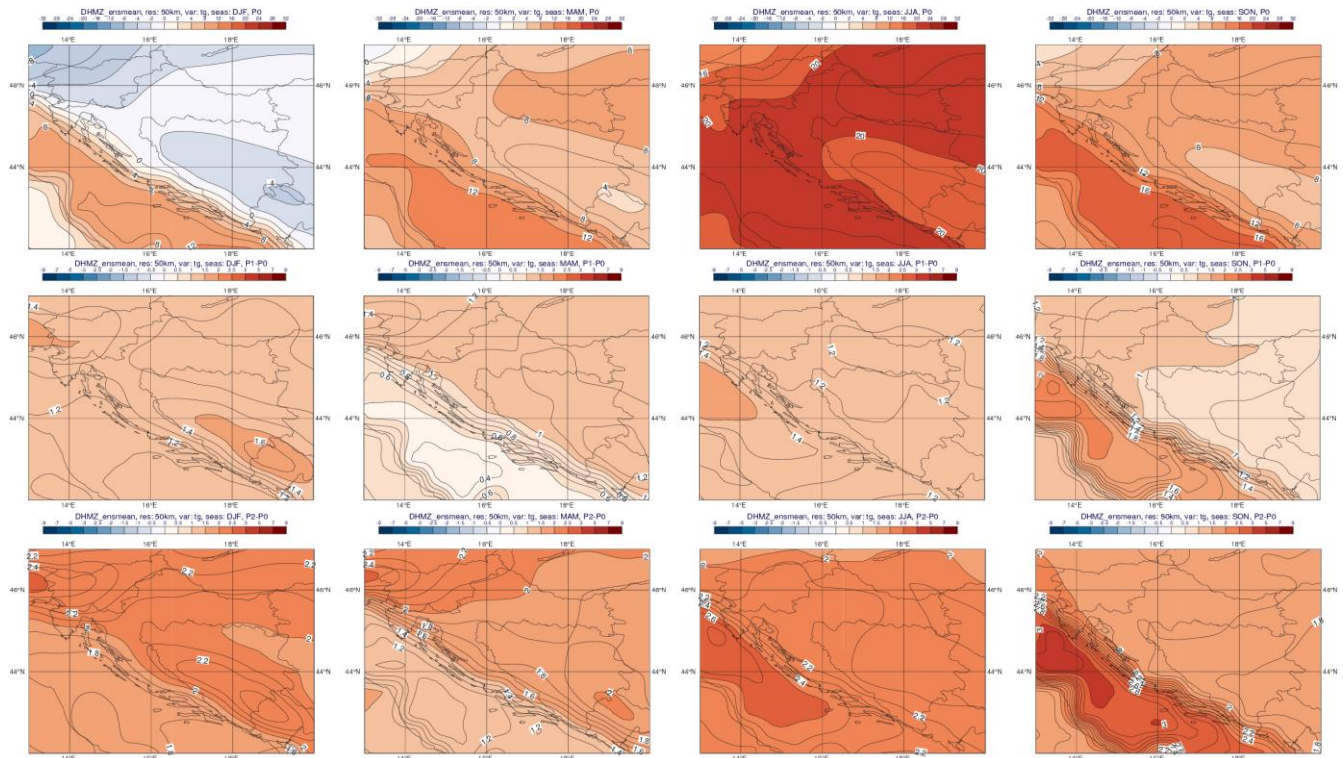
Mala promjena vlažnosti tla u P1 posljedica je vrlo velikih razlika između individualnih integracija RegCM modela kad su korišteni rubni uvjeti različitih globalnih modela. Buduće stanje vlažnosti tla vrlo je ovisno o definiciji procesa u tlu (modelu tla) i interakciji atmosfere i tla u svakom pojedinom globalnom klimatskom modelu i posljedično rubnim uvjetima dotičnog modela. Zbog tako velikih razlika u projiciranim vrijednostima vlažnosti tla kad se koriste rubni uvjeti različitih globalnih klimatskih modela nije moguće pouzdano ustvrditi kakva bi se promjena ove varijable mogla očekivati u neposrednoj budućnosti.

4.3.10 Površinska temperatura

Zimi je površinska temperatura (*skin temperature*) u srednjaku ansambla u kontinentalnom dijelu zemlje (Sl. 4.3.10, gore) malo viša od temperature zraka blizu površine (tas; Sl. 4.3.1, gore) i iznosi od 0 °C u gorskim krajevima i zaleđu Dalmacije do malo niže od -2 °C u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U priobalnom dijelu je površinska temperatura veća od temperature zraka – na vanjskim otocima ona doseže i do 10 °C. Kao i za temperaturu zraka (vidjeti točku 4.3.1) i ovdje vrijedi da negativne vrijednosti u području Kvarnera nisu realistične i posljedica su neadekvatno razlučene orografije sjevernog Primorja na 50-km rezoluciji u RegCM modelu. I u proljeće su vrijednosti površinske temperature nešto veće od temperature zraka. U ljeto je površinska temperatura praktički svugdje veća od 20 °C, a u većem dijelu sjeverne Hrvatske i ponegdje u primorju i veća od 22 °C. I u jesen su vrijednosti površinske temperature gotovo posvuda više od temperature zraka – od 10 °C na sjeveru do više od 16 °C na južnim otocima.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.3.10 Površinska temperatura (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi 2011-2040. (P1), očekuje se u svim sezonama porast površinske temperature (Sl. 4.3.10, sredina). Projicirani porast bio bi najveći u zimi, od 1.1 °C na Jadranu do 1.4 °C u istočnim krajevima Like. U proljeće je porast općenito manji nego u zimi i iznosi između 0.5 °C na Jadranu do 1.1 °C na sjeveru zemlje. U ljeto je porast površinske temperature veći na Jadranu nego u unutrašnjosti (dakle, obrnuto od promjene u zimi i proljeće) i maksimalni iznos je uz zapadnu obalu Istre od 1.5 °C. Jesenski porast površinske temperature karakteriziran je vrlo jakim gradijentom u priobalju i na Jadranu, slično onome kao za temperature zraka (Sl.4.3.1, sredina), ali sa znatno većim vrijednostima. Zagrijavanje u budućoj klimi bilo bi između 1 °C u zaleđu Dalmacije, pa sve do 1.7-1.8 °C na sjevernom Jadranu. Sve individualne realizacije također daju porast temperature. Najmanji porast površinske temperature, od samo 0.1 °C, je u ljeto u najsjevernijim krajevima uz rubne uvjete EC-Earth modela, dok je najveći porast ts od preko 2.5 °C u jesen na Jadranu uz rubne uvjete HadGEM2 modela.

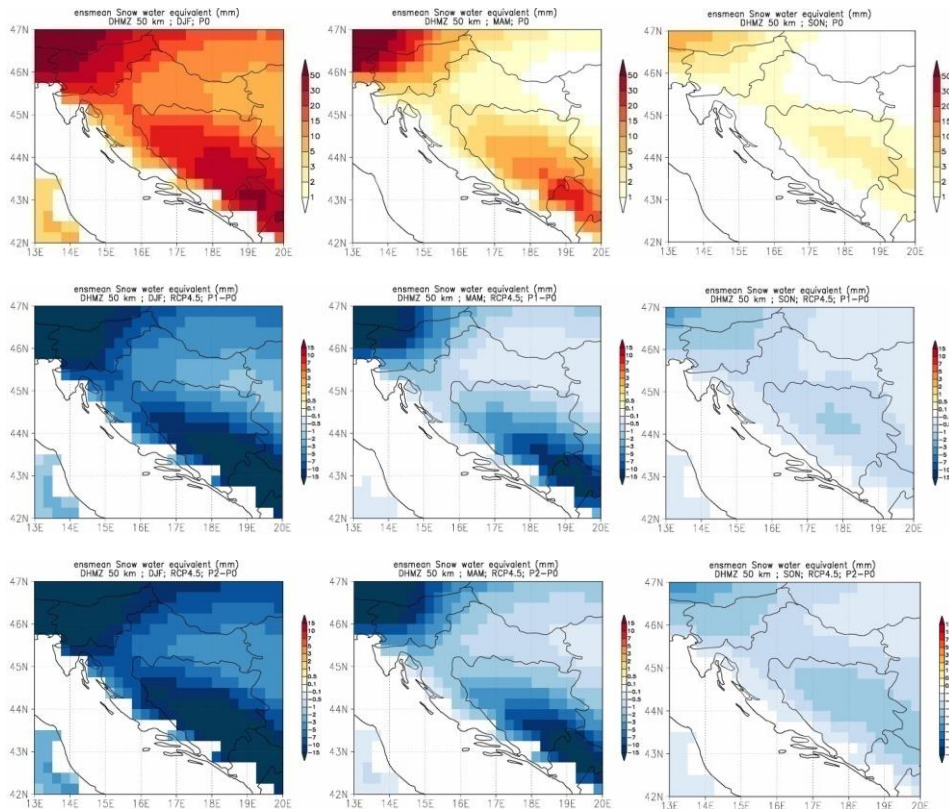
[Pogled do 2070.] Do 2070. porast površinske temperature u zimi bit će najveći u unutrašnjosti – do 2.1-2.2 °C, dok će na Jadranu biti nešto manji, od 1.8 do 2 °C (Sl. 4.3.10, dolje). Najveći porast površinske temperature očekuje se u ljeto, između 2.1°C u unutrašnjosti do 2.5 °C na Jadranu. Također se intenzivan porast, od 2 do 2.7 °C, očekuje u jesen u priobalju i na otocima.

4.3.11 Snijeg

Varijabla pokrivenost snijegom (*snow area fraction*) nije dostupna u outputu RegCM modela. Umjesto nje pokazani su i diskutirani rezultati za varijablu ekvivalentna voda snijega (*snow water equivalent, swe*). Ona predstavlja količinu (dubinu) vode (u mm) koja bi teoretski nastala kad bi se snježni pokrov trenutačno otopio. Ekvivalentna voda snijega je produkt visine snježnog pokrova i gustoće snijega. Ne postoji jedinstvena relacija između visine snježnog pokrova i ekvivalentne vode snijega (na pr. Sturm i sur., 2010). Gustoća snijega je najmanja za svježiji snijeg, a povećava se sa starenjem snježnog pokrova. U prvoj aproksimaciji može se pretpostaviti da 10 cm snijega odgovara 1 cm (10 mm) ekvivalentne vode.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.3.11 Ekvivalentna voda snijega (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U referentnoj klimi P0 (1971.-2000..) najviše vrijednosti *swe*, između 15 i 20 mm nalazimo zimi u rubnom području gorske i središnje Hrvatske, istočnoj Lici, te na sjeverozapadu (Sl. 4.3.11, gore). Nešto manje snijega je u gorskim predjelima (10-15 mm), te u zapadnim i središnjim kontinentalnim predjelima. U ostalim krajevima je *swe* manji od 15 mm. U proljeće je maksimum *swe* između 2 i 3 mm u sjevernom dijelu Gorskog kotara i središnjoj Hrvatskoj, a u ostalim dijelovima kontinentalne Hrvatske je praktički zanemariv. Slično je i u jesen kad su iznosi još i manji od proljetnih. Razmjerno veće količine *swe* u sjevernom primorju nisu realistične i posljedica su neadekvatno razlučenih uskih planinskih lanaca na rezoluciji od 50 km.

Do 2040. (razdoblje P1) projicirano je u zimi smanjenje ekvivalentne vode snijega, dakle i smanjenje snježnog pokriva (Sl. 4.3.11, sredina). U većini krajeva sjeverne Hrvatske smanjenje je od 5 mm na zapadu do 1 mm na istoku, a u najsjevernijim predjelima od 5-7 mm. Isto toliko je smanjenje *swe* i dijelu planinske Hrvatske, dok je u sjevernom Gorskom Kotaru i nešto više, 7-10 mm. U proljeće i jesen smanjenje snježnog pokriva je manje nego u zimi, proporcionalno manjoj ukupnoj količini *swe*. Od individualnih realizacija, najveće smanjenje ekvivalentne vode u zimi je uz korištenje rubnih uvjeta HadGEM2 modela, između 10 i 15 mm u gorskoj Hrvatskoj. Od četiri realizacije, ova RegCM integracija inače daje najveće količine *swe*, osobito u planinskim predjelima.

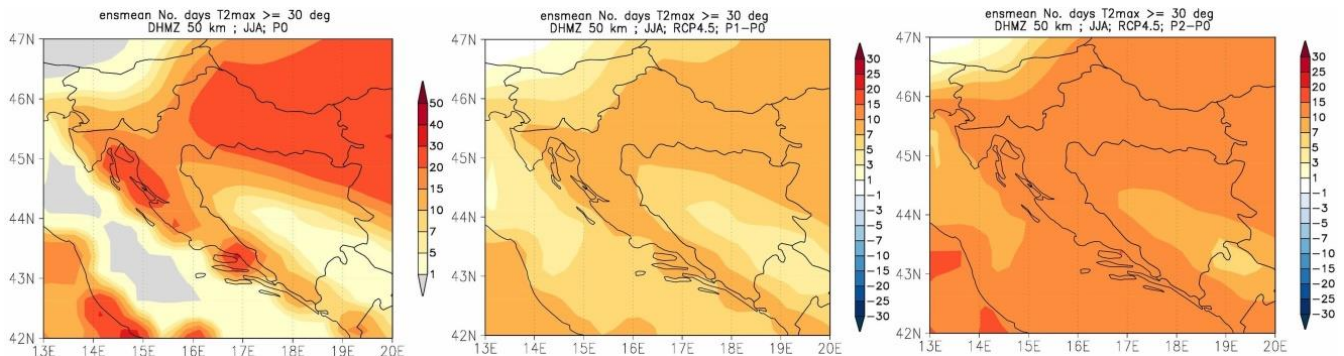
[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. nastavlja se u čitavoj Hrvatskoj smanjivanje ekvivalentne vode snijega (Sl. 4.3.11, dolje). Ono je najizraženije u planinskom dijelu zimi (7-10 mm), a u sjevernom Gorskom Kotaru i na Dinari od 10-15 mm. U istočnim krajevima je zimsko smanjenje *swe* 3-5 mm, dok je u ostatku kontinentalne Hrvatske od 5-10 mm. U proljeće se očekuje manji *swe* u gorskoj Hrvatskoj 1-2 mm, što je nešto manje nego u razdoblju P1. U jesen smanjenje snježnog pokriva od 0.5-1 mm zahvaća veći dio sjeverne Hrvatske.



4.4. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA TEMU PROSTORNO PLANIRANJE I UPRAVLJANJE OBALNIM PODRUČJEM

4.4.1 Broj dana s maksimalnom dnevnom temperaturom iznad 30 °C (vrući dani) i broj dana s maksimalnom dnevnom temperaturom iznad 35 °C

Za prikaz broja dana s maksimalnim temperaturama većim od 30 °C odnosno 35 °C odabrana je samo ljetna sezona. U ostalim sezonama takvi događaji su zanemarivi osim u jesen za temperaturu veću od 30 °C. No, i u jesenskoj sezoni, u usporedbi s ljetom, čestina vrućih dana je mala. U većem dijelu sjeverne Hrvatske i Slavonije, dijela sjevernog Jadrana i srednje Dalmacije u srednjaku ansambla od četiri realizacije RegCM modelom broj vrućih dana (temperatura veća od 30 stupnjeva) je između 20 i 30 (Sl. 4.4.1, lijevo). Za dio Like ova procjena je nerealna što je posljedica relativno grube 50-km rezolucije. Naime, ova rezolucije neadekvatno razlučuje prijelaz s uskog planinskog dijela, koji ima manji broj vrućih dana, prema sjevernom primorju gdje se broj vrućih dana ponovno povećava. Broj vrućih dana je u usporedbi s podacima mjerenja dobro simuliran za Slavoniju (Osijek 23 vruća dana, Sl. Brod 22), ali je precijenjen za središnji dio Hrvatske. 14 opaženih vrućih ljetnih dana u Zagrebu je dobro “uhvaćeno” modelom, dok je na sjevernom primorju broj vrućih dana također relativno dobro prikazan (Rijeka 20, Mali Lošinj 20).



Slika 4.4.1 Broj dana s maksimalnom temperaturom većom od 30 °C u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Broj vrućih ljetnih dana do 2040. povećat će se u usporedbi s referentnim razdobljem za 7-10 dana gotovo podjednako u cijeloj Hrvatskoj (Sl. 4.4.1, sredina). Nešto manje povećanje (5-7 dana) očekuje se u zapadnoj polovici Istre, te na nekim vanjskim otocima.

[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 (do 2070.) broj vrućih dana povećat će se posvuda između 10 i 15 dana. U Zagrebu bi to značilo gotovo dvostruko veći broj vrućih dana nego u sadašnjoj (referentnoj) klimi, dok bi u nekim drugim krajevima povećanje broja vrućih dana u P2 bilo između 50% i 75%.

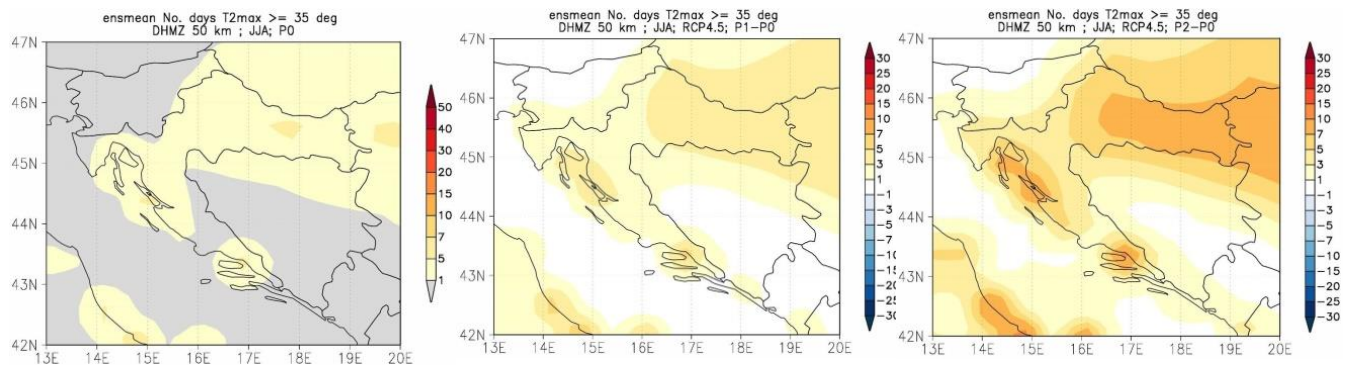
Broj dana s temperaturom većom od 35 °C osjetno je manji nego broj vrućih dana (kad je temperatura veća od 30 °C). U većem dijelu Hrvatske je između 1 i 5 dana, a u dijelu Istre, dijelu Like i Dalmacije je manji od jednog dana (Sl. 4.4.2, lijevo). Broj dana s temperaturom većom od 35 °C nije standardna klimatološka varijabla, te za ansambl srednjak prikazanim u Sl. 4.4.2 (lijevo) nije moguća usporedba s podacima mjerenja (motrenja).

Za buduće razdoblje 2011.-2040. (P1) projicirano je povećanje broja dana s temperaturom većom od 35 °C u čitavoj Hrvatskoj (Sl. 4.4.2, sredina). Najveće povećanje, od 3 do 5 dana, očekuje se u većem dijelu sjeverne Hrvatske, dijelu sjevernog primorja i dijelu srednje Dalmacije. U tim je krajevima povećanje ponegdje i preko 100% u odnosu na P0, dakle, očekuje se da će broj dana s temperaturom većom od 35 °C biti više nego udvostručen. U ostalim krajevima predviđa se povećanje između 1 i 3 dana.

[Pogled do 2070.] Oko sredine ovog stoljeća (P2) povećanje od 7-10 dana očekuje se u istim onim krajevima u kojima je bilo najveće povećanje broja dana u P1: veći dio sjeverne Hrvatske, dio sjevernog primorja i u dijelu srednje Dalmacije. U drugim predjelima povećanje je nešto manje – od 3



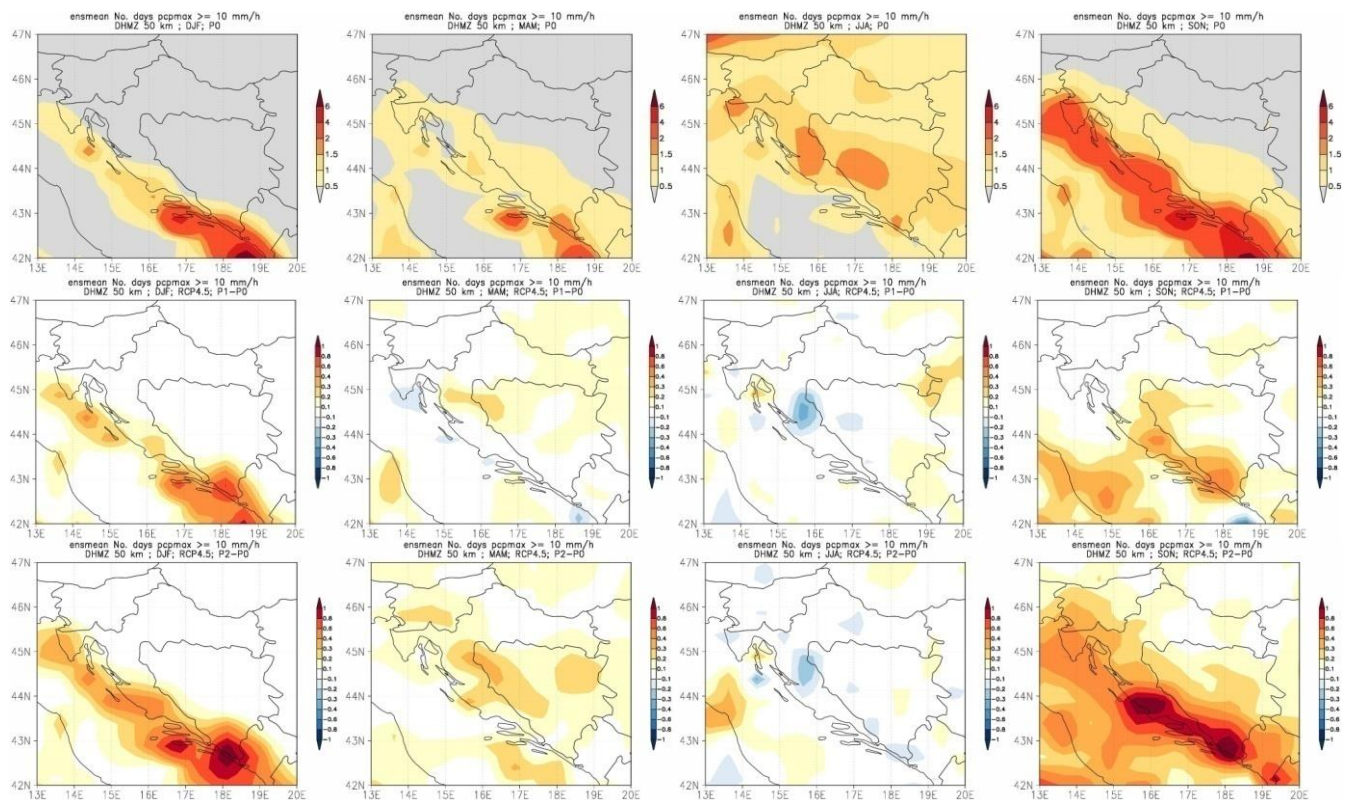
do 5 dana u središnjoj Hrvatskoj, Istri i Lici, te između 5 i 7 dana u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, sjevernom primorju i sjevernoj Dalmaciji.



Slika 4.4.2 Broj dana s maksimalnom temperaturom većom od 35 °C u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

4.4.2 Broj dana s maksimalnom dnevnom količinom oborine većom od 10 mm/h

Ova veličina opisuje “pljuskovitost” oborine, što je česta osobina oborine u toplom dijelu godine. No, ona također može karakterizirati i veće količine oborine u hladnim sezonama (jesen, zima), kad se atmosferske fronte ili ciklone zadržavaju nad našim krajevima. U referentnoj klimi (P0), najveći broj dana s oborinama većim od 10 mm/h (2 do 4 dana u srednjaku ansambla) je u jesen u čitavoj primorskoj Hrvatskoj, te zimi na južnom Jadranu (Sl. 4.4.3 gornji red), a nešto veći broj dana (4-6) nalazimo samo na krajnjem jugu.



Slika 4.4.3 Broj dana s oborinom većom od 10 mm/h u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Ljeti je broj dana uglavnom oko 1-1.5 u zapadnoj i južnoj Hrvatskoj s izoliranim maksimumima od 1.5-2 dana u Istri, Lici i sjevernoj Dalmaciji. Broj dana s oborinama većim od 10 mm/h je u ostalim dijelovima Hrvatske manji od 0.5 u svim sezonama osim u ljeto. Uz rubne uvjete četiri individualna



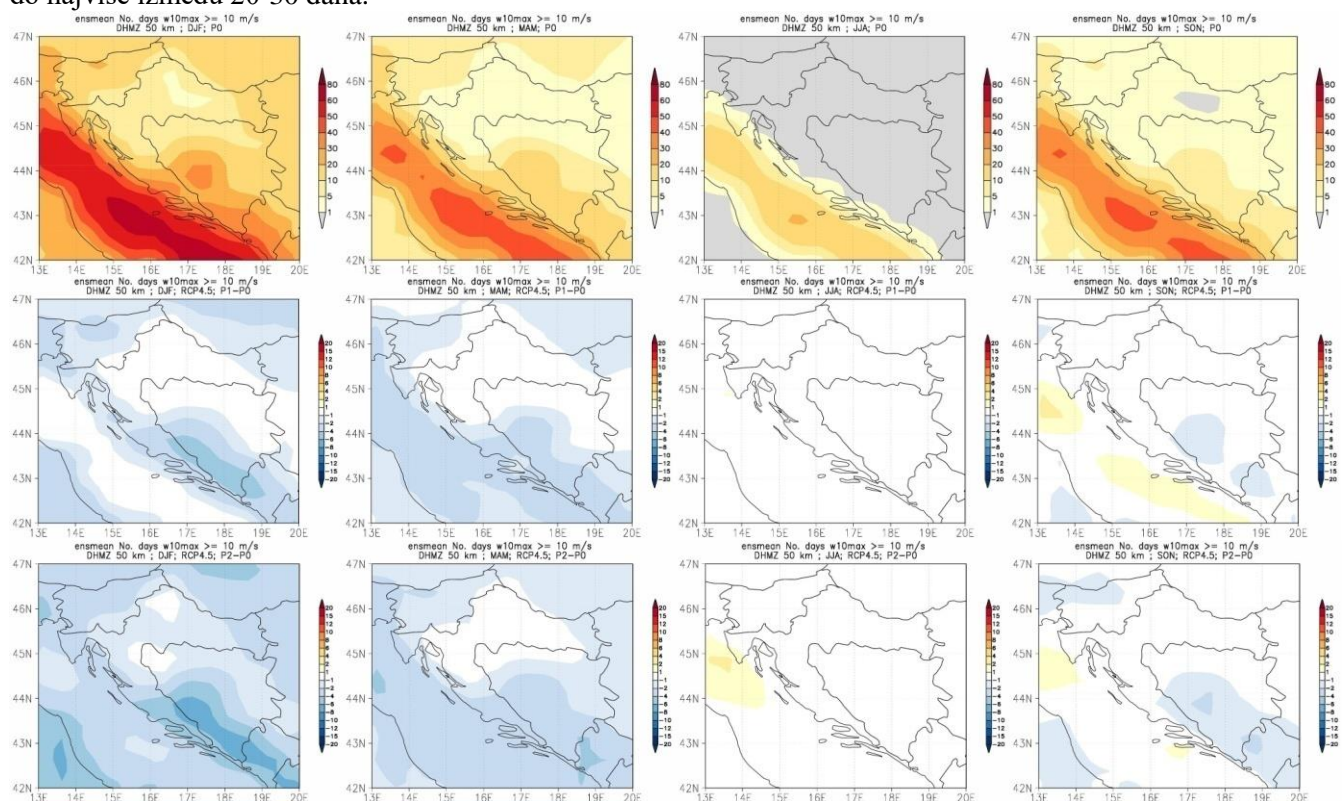
globalna klimatska modela RegCM simulacije daju sličnu sezonsku raspodjelu broja dana kao i srednjak ansambla prikazan u Sl. 4.4.3 (gore), ali za pojedine sezone postoje razlike među simulacijama. Primjerice, uz rubne uvjete Cm5 modela broj dana u ljetnoj sezoni je u gorskim predjelima 2-4, dok je uz rubne uvjete HadGEM2 modela taj broj dana od 0.5-1. Broj dana je općenito manji kad je RegCM forsiran rubnim uvjetima HadGEM2 modela.

U neposredno budućoj klimi (razdoblje P1) broj dana s oborinama većim od 10 mm/h će se više mijenjati u južnim nego u sjevernim dijelovima Hrvatske i projicirane promjene neće biti jedinstvene (Sl. 4.4.3, srednji red). U jesen i zimi će broj dana u južnim krajevima biti nešto veći nego u P0, dok će u proljeće i ljeto signal imati promjenljivi predznak. Također, valja naglasiti kako će promjena broja dana u P1 u odnosu na P0 biti relativno mala – najveće povećanje je do 0.8 dana na južnom Jadranu zimi.

[Pogled do 2070.] Oko sredine 21. stoljeća (P2) povećanje broja dana u jesen i zimi bit će preko 1 dan u jesen na srednjem i južnom Jadranu, te će zahvatiti znatno šire područje južne Hrvatske. Jedino će ljeti doći do manjeg smanjenja broja dana s oborinama većim od 10 mm/h u Lici i ponegdje duž Jadrana (Sl. 4.4.3, donji red).

4.4.3 Broj dana s maksimalnim vjetrom jačim od 10 m/s

Najveći broj simuliranih dana s maksimalnim vjetrom jačim od 10 m/s u srednjaku ansambla sadašnje klime (P0) je zimi na Jadranu: između 10-20 dana na sjeveru sve do 40-50 dana na zapadnoj obali Istre, te na srednjem i južnom Jadranu (Sl. 4.4.4, gornji red). Prema unutrašnjosti se broj dana postupno smanjuje, tako da je u središnjoj Hrvatskoj svega oko 1-5 dana. Za sjeverni Jadran ovi podaci najvjerojatnije su podcijenjeni, gdje jaka bura i jako jugo doprinose značajnom broju zimskih vjetrovitih dana. Ljeti, kada duž obale prevladava etezijsko strujanje (maestral) je broj dana s vjetrom jačim od 10 m/s osjetno manji, između 1 i 5 dana, a prema otvorenom moru i do 5-10 odnosno 20 dana. U prijelaznim sezonama (proljeće, jesen) je broj dana manji nego zimi, a veći nego ljeti i iznosi do najviše između 20-30 dana.



Slika 4.4.4 Broj dana s maksimalnim vjetrom većim od 10 m/s u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.



Do 2040. broj dana s vjetrom jačim od 10 m/s će se smanjiti u zimi i proljeće. Najveće smanjenje broja dana (od 2 do maksimalno 5) očekuje se zimi u južnoj Hrvatskoj i na sjeveru Istre. U proljeće je projicirano smanjenje broja dana od 2 do 4, također u južnim krajevima. U ostalim dijelovima Hrvatske ne bi trebalo doći do promjene broja dana s vjetrom jačim od 10 m/s, kao niti u ljeto i jesen. U jesen bi na otvorenom moru sjevernog Jadrana moglo doći do blagog porasta (2-4) broja dana.

[Pogled do 2070.] Trend smanjenja broja dana s vjetrom jačim od 10 m/s nastavit će se u zimi i proljeće i do 2070. (razdoblje P2). U južnim krajevima smanjenje je zimi do oko 8 dana, ali u većini krajeva (uključujući i veći dio unutrašnjosti) između 1 i 6 dana. U proljeće je na Jadranu i priobalju smanjenje do najviše 4 dana, dok se u unutrašnjosti ne očekuje promjena broja dana u odnosu na referentno razdoblje P0. U ljeto i jesen broj dana bi ostao neizmijenjen.



4.5. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA

VAŽNIM ZA SEKTOR RIBARSTVO

Niti jedna od traženih varijabli za ovaj sektor nije varijabla iz outputa RegCM modela. S obzirom da rezultati regionalnih združenih (*coupled*) modela atmosfere i oceana, kao što su primjerice modeli iz Med-Cordex inicijative (www.medcordex.eu), nisu dostupni na Earth System Grid Federation (ESGF) serverima, pristupilo se obradi ovih varijabli iz globalnih klimatskih modela (GCM). Horizontalna rezolucija globalnih modela relativno je gruba za manja zemljopisna područja kao što su Jadran ili Hrvatska. Ovdje su pokazani rezultati globalnog klimatskog modela, MPI-ESM (vidjeti točku 3.2.2), za koji su nam bili dostupni traženi podaci temperature površine mora i salinitete za referentnu klimu i buduća klimatska razdoblja uz IPCC scenarij RCP4.5. Svi prikazani rezultati su srednje godišnje vrijednosti.

Oceanski modeli prikazuju samo fizičke varijable oceana, tako da ne sadrže varijable kao što su klorofil alfa ili pH. Za ove varijable potreban je output biogeokemijskih modela koji bi koristili rubne uvjete oceanskih ili združenih modela oceana i atmosfere. Međutim, rezultati biogeokemijskih modela nisu još dostupni.

4.5.1 Temperatura površine mora

U referentnoj klimi (1971.-2000.), temperatura površine mora u većem dijelu Jadrana je između 15 i 18 °C (Sl. 4.5.1, gore). Ovakvu temperaturu nalazimo još u sjevernom dijelu zapadnog Sredozemlja, te uz obalu sjeverne Grčke. Na krajnjem sjeveru Jadrana temperatura je nešto niža, od 12-15 °C, što je najniža srednja godišnja temperatura u čitavom Sredozemlju. U većem dijelu Sredozemnog mora prevladavajuća temperatura površine mora je između 18 i 21 °C, a uz obale sjeverne Afrike i do 24 °C.

U budućoj klimi do 2040. očekuje se, na godišnjoj razini, porast temperatura površine mora u sjevernom Jadranu za 0.8-1.6 °C (Sl. 4.5.1, sredina). U srednjem i južnom Jadranu porast temperature bi mogao biti do oko 0.8 °C. Ove promjene temperature u Jadranskom moru konzistentne su s općim porastom temperature površine mora u Sredozemlju.

[Pogled do 2070.] i u razdoblju 2041.-2070. (P2) očekuje se daljnji porast temperatura površine mora u Jadranu. Taj porast, između 1.6 do 2.4 °C u većem dijelu Jadrana, bio bi nešto veći nego u ostatku Sredozemlja (Sl. 4.5.1, dolje). Jedino bi u dijelu sjevernog Jadrana porast temperature površine mora bio od 0.8 do 1.6 °C, što je u skladu s općim porastom temperature u Sredozemlju.

4.5.2 Salinitet na površini mora

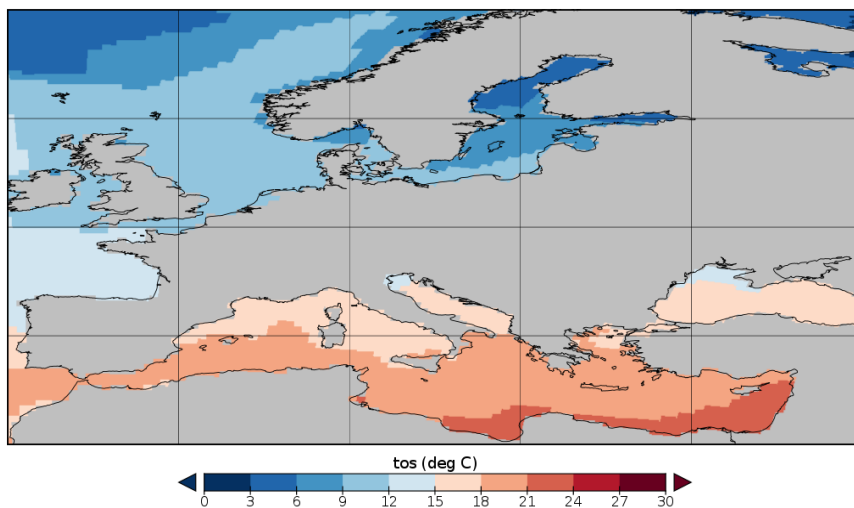
Površinski salinitet u sjevernom Jadranu u referentnoj klimi (P0) iznosi između 35 i 36 psu i sličan je onome u krajnjem zapadnom dijelu Sredozemlja, te u sjevernom Egejskom moru (Sl. 4.5.2, gore). U južnom Jadranu, sve do Otranta, salinitet je malo veći, 36-37 psu. Ove vrijednosti podudaraju se s prevladavajućim salinitetom u zapadnom Sredozemlju.

U razdoblju 2011.-2040. (P2) očekuje se u godišnjem srednjaku porast saliniteta u čitavom Jadranu do oko 0.4 psu (Sl. 4.5.2, sredina). Ovaj porast u skladu je s porastom saliniteta u središnjem i istočnom Sredozemlju, dok bi se istodobno u zapadnom Sredozemlju salinitet smanjio za istu vrijednost.

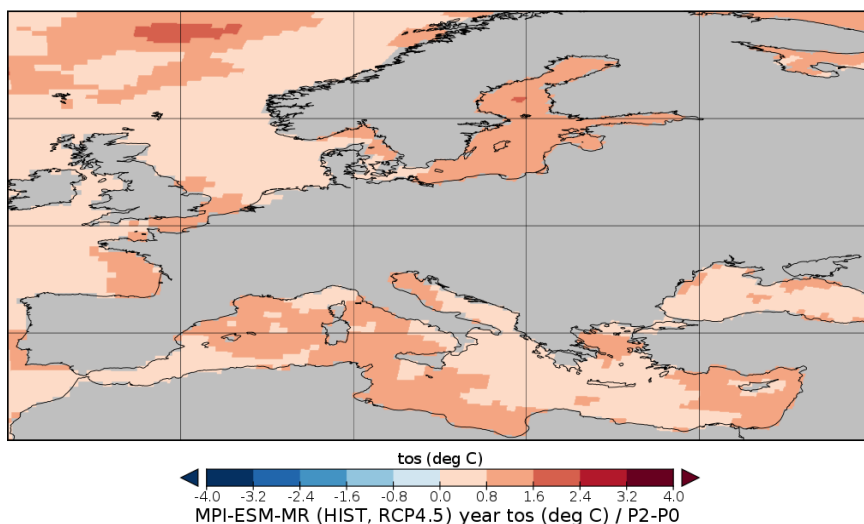
Oko sredine stoljeća, za razdoblje 2041.-2070. (P2) očekuje se daljnje povećanje površinskog saliniteta (Sl. 4.5.2, dolje). Na sjevernom Jadranu, te u dijelu južnog Jadrana porast saliniteta bio bi između 0.4 i 0.8 psu. Međutim, u jednom dijelu južnog Jadrana došlo bi do još većeg porasta saliniteta – od 0.8 do 1.2 psu. Ovakav porast zamjećuje se jedino još u sjevernom Egejskom moru. Inače, projicirani porast saliniteta u Jadranu osjetno je veći nego u ostatku Sredozemnog mora. Primjerice, u središnjem i istočnom Sredozemlju povećanje saliniteta u P2 praktički je isto kao i u P1, dakle do 0.4 psu. U zapadnom Sredozemlju ne očekuje se promjena u salinitetu u P2 u odnosu na P1.



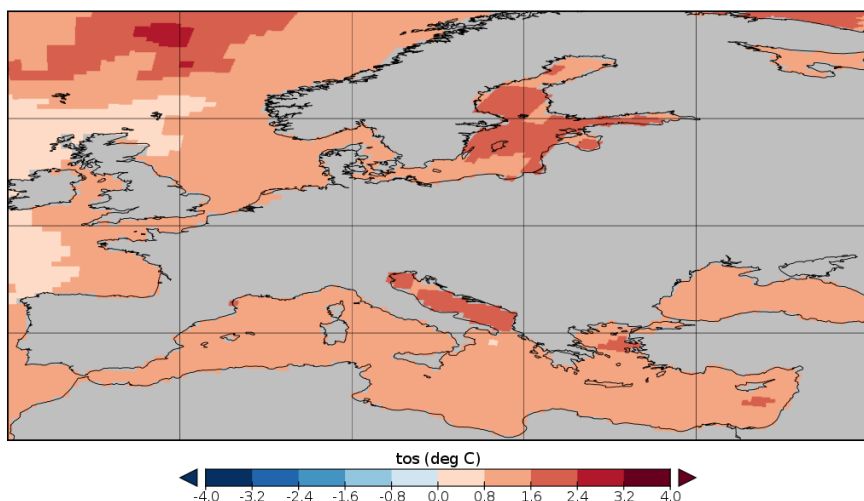
MPI-ESM-MR (HIST, RCP4.5) year tos (deg C) / P0



MPI-ESM-MR (HIST, RCP4.5) year tos (deg C) / P1-P0



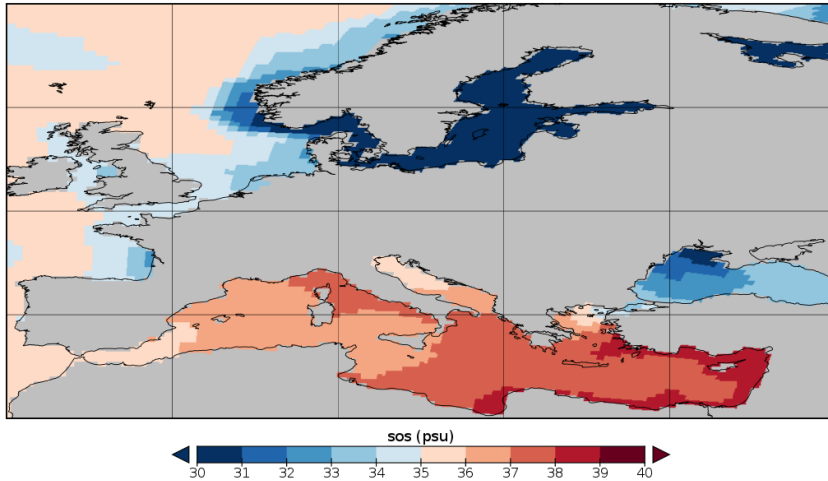
MPI-ESM-MR (HIST, RCP4.5) year tos (deg C) / P2-P0



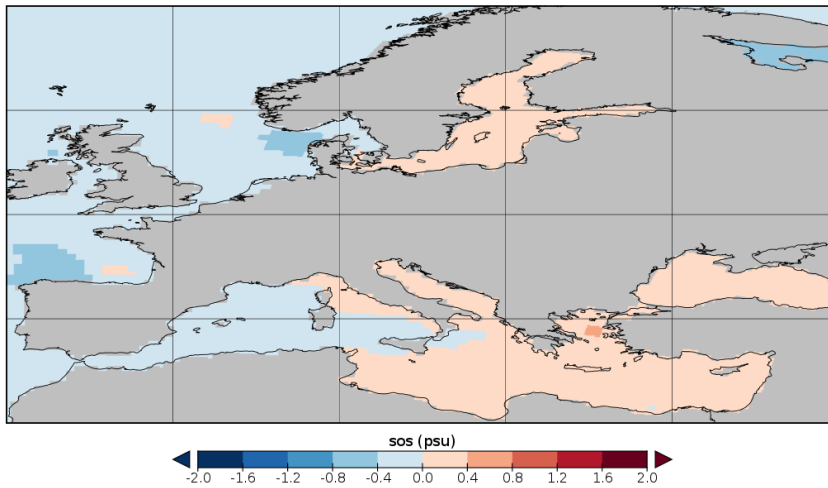
Slika 4.5.1 Temperatura površine mora (°C) u MPI-ESM globalnom modelu. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000. (P0); sredina: promjena u razdoblju P1 (P1 minus P0); dolje: promjena u razdoblju P2 (P2 minus P0).



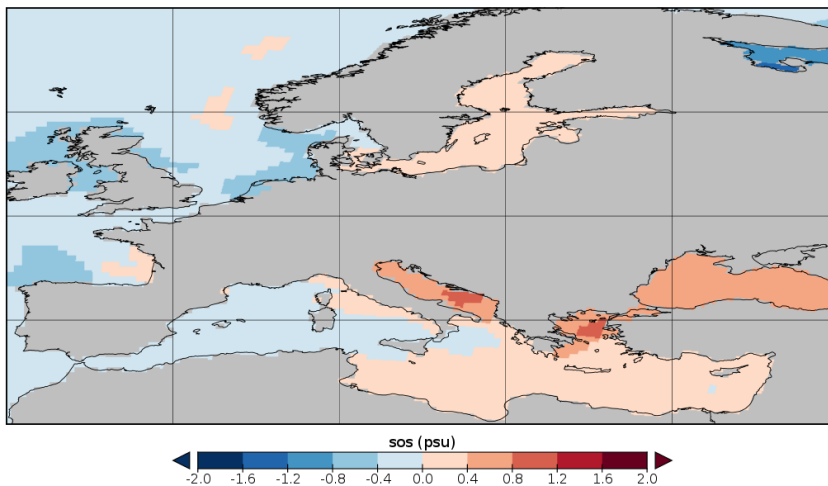
MPI-ESM-MR (HIST,RCP4.5) year sos (psu) / P0



MPI-ESM-MR (HIST,RCP4.5) year sos (psu) / P1-P0



MPI-ESM-MR (HIST,RCP4.5) year sos (psu) / P2-P0



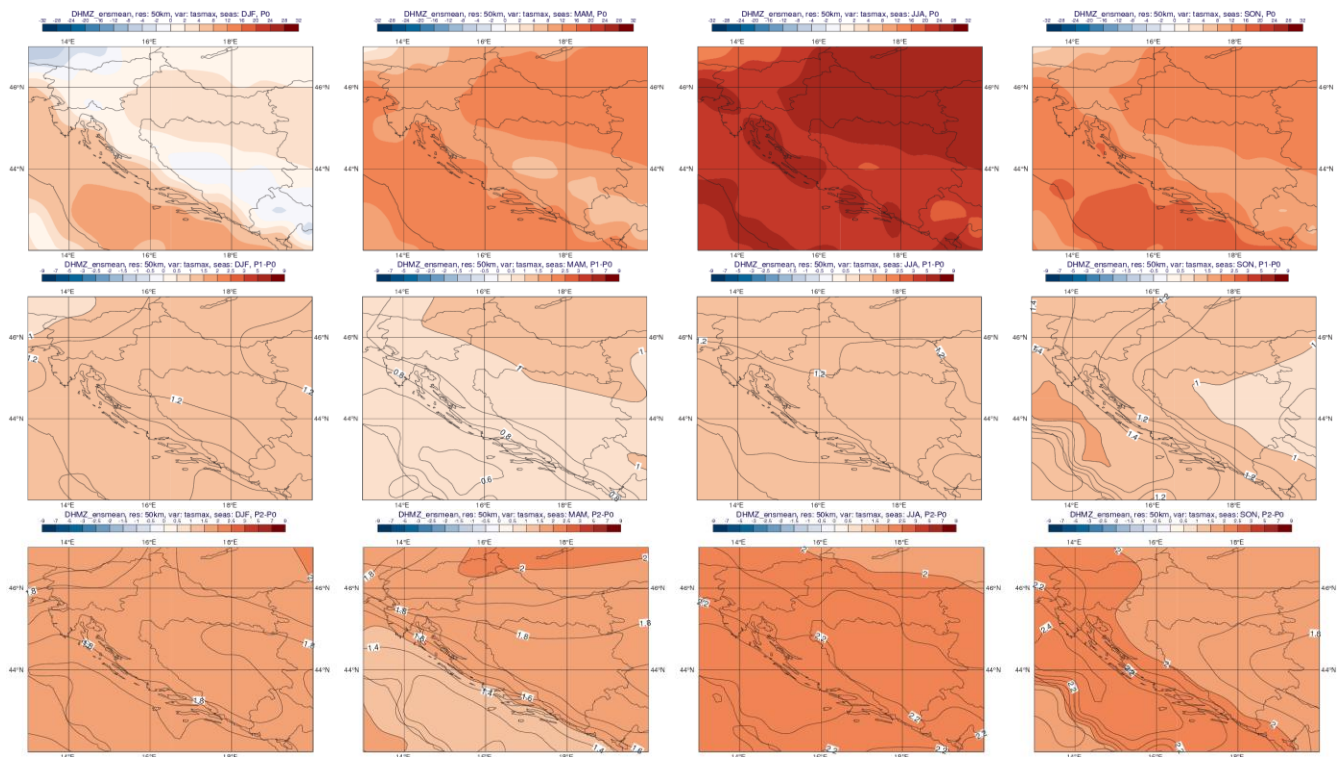
Slika 4.5.2 Salinitet površine mora (psu) u MPI-ESM globalnom modelu. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000. (P0); sredina: promjena u razdoblju P1 (P1 minus P0); dolje: promjena u razdoblju P2 (P2 minus P0).



4.6. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTOR ŠUMARSTVO

4.6.1 Maksimalna temperatura zraka (Tmax)

U svakoj sezoni referentne klime (1971.-2000., razdoblje P0) razaznaju se tri karakteristična područja maksimalnih temperatura: sjeverna Hrvatska, gorski predjeli i primorska Hrvatska (Sl. 4.6.1, gore). Osim u zimi, vrijednosti simuliranih srednjih maksimalnih temperatura u sjevernom i primorskom dijelu su slične. U sjevernoj Hrvatskoj maksimalna temperatura u srednjaku ansambla je podcijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti na klimatološkim postajama iz Zaninović i sur. (2008). Najveća razlika između modeliranih i izmjerenih vrijednosti Tmax je u jesen: oko 14 °C u RegCM-u u srednjaku ansambla, a izmjerene između 15 i 17 °C. U ostalim sezonama modelirane vrijednosti Tmax su bliže izmjerenim. U gorskoj i primorskoj Hrvatskoj također nalazimo niže Tmax u srednjaku ansambla nego što su opažene vrijednosti.



Slika 4.6.1 Maksimalna temperatura (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

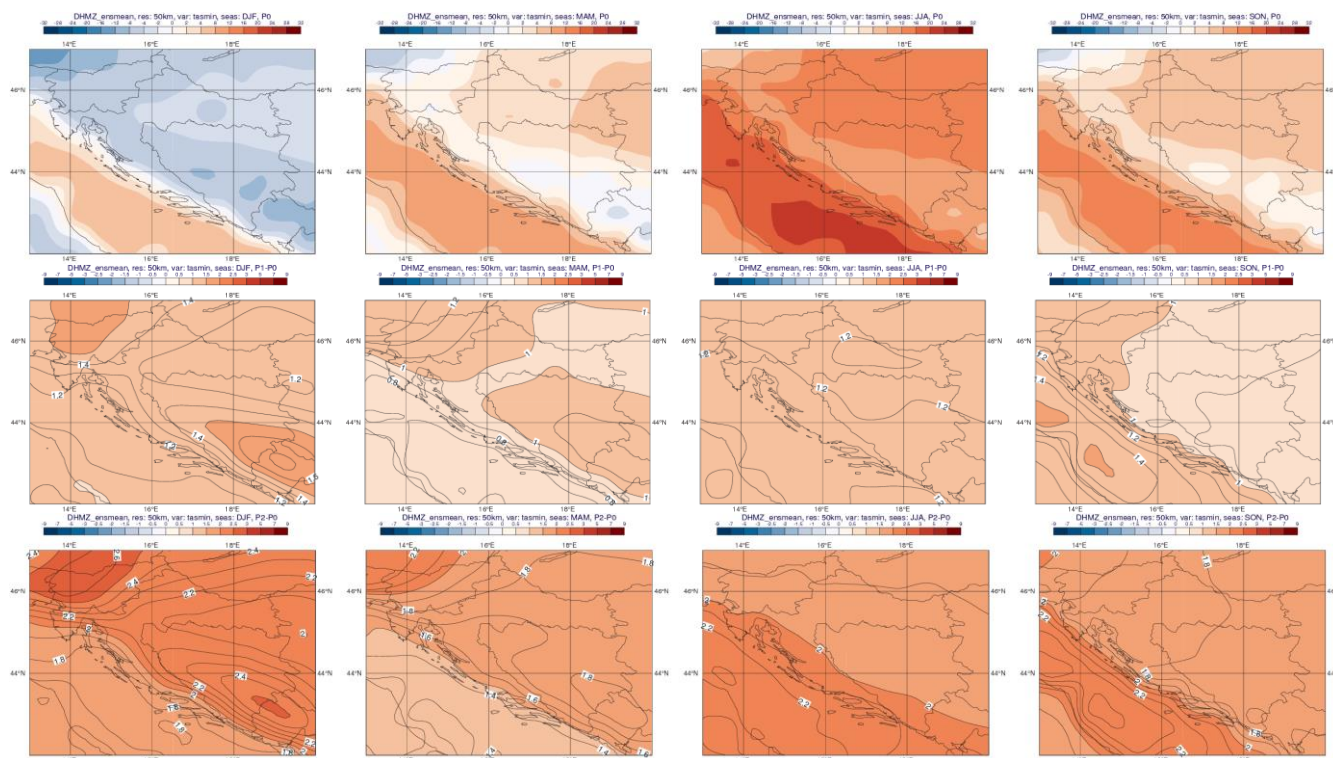
U neposredno budućoj klimi (2011.-2040, razdoblje P1) projiciran je gotovo jednoličan porast maksimalne temperature u srednjaku ansambla u svim sezonama osim u proljeće (Sl. 4.6.1, sredina). Porast je općenito veći od 1 °C, ali je manji od 1.5 °C, a u proljeće u središnjim i južnim predjelima porast je nešto manji od 1 °C. Najveći porast, između 1.2 i 1.4 °C, je u jesen u primorskom dijelu. Najmanji porast Tmax daje realizacija RegCM modelom u proljeće uz EC-Earth rubne uvjete – od 0.1 do 0.2 °C. Uz rubne uvjete HadGEM2 globalnog modela, porast Tmax je najveći u jesen: u unutrašnjosti do 2.5 °C, a u primorskom dijelu od 2.5 do 3.5 °C.

[Pogled do 2070.] Trend porasta Tmax u srednjaku ansambla nalazimo i u razdoblju 2041.-2070. (P2). Zimi je posvuda u unutrašnjosti i na sjevernom Jadranu porast od oko 1.8 °C, a dalje prema srednjem i južnom Jadranu do 1.9 °C (Sl. 4.6.1, donji red). Porast, od 1.4 °C na otocima do oko 2 °C u sjevernoj Hrvatskoj, nalazimo u proljeće, dok je u ljetnoj sezoni porast Tmax između 2 i 2.2 °C. U jesen bi maksimalna temperatura mogla porasti od 2 °C u većem dijelu unutrašnjosti, pa sve do 2.3 °C na otocima. Ovo je ujedno i najveći porast Tmax u srednjaku ansambla.



4.6.2 Minimalna temperatura zraka (Tmin)

Simuliranim zimskim minimalnim temperaturama (Tmin) u srednjaku ansambla RegCM mogle bi se u gorskim i sjeverozapadnim predjelima pridružiti više vrijednosti iz intervala između -4 i -8 °C (Sl. 4.6.2, gore). Primjerice, izmjerene vrijednosti su u Gospiću -4, a u Ogulinu -2 °C (Zaninović i sur. 2008). U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske Tmin je nešto viša, od -2 do -4 °C, osim na planinama Slavonije. U primorskim krajevima Tmin doseže 4 °C što se donekle slaže s izmjerenim vrijednostima. U proljeće su minimalne temperature na Jadranu do 12 °C (toliko je izmjereno u Dubrovniku), a u gorskoj Hrvatskoj između 0 i 2 °C što je nešto niže nego u Zaninović i sur. (2008). Proljetna Tmin u sjevernoj Hrvatskoj također je nešto niža od izmjerenih osim u Slavoniji gdje odgovara stvarnom stanju (Osijek 6 °C). U ljeto je Tmin na sjeveru zemlje (8 do 12 °C) malo niža od izmjerenih (13 do 14 °C), a podcijenjene vrijednosti također imamo u gorskim i primorskim krajevima. Modelirane jesenske minimalne temperature su relativno dobro opisane u sjevernoj Hrvatskoj, ali su ponovno podcijenjene na primorju i u višim predjelima gorske Hrvatske.



Slika 4.6.2 Minimalna temperatura (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Najveći projicirani porast minimalne temperature u srednjaku ansambla do 2040. u zimskim mjesecima je između 1.2 °C u sjevernoj Hrvatskoj i primorju do 1.4 °C u Gorskom Kotaru (Sl. 4.6.2, sredina). U ostalim sezonama porast Tmin bio bi nešto manji, a najmanji u proljeće (0.7-0.8 °C na otocima i u primorju, pa do 1.1 °C u sjeverozapadnim krajevima). Očekivani prosječni porast ljeti je oko 1.2 °C gotovo jednolično u čitavoj zemlji. U jesen će porast biti od 1 do 1.2 °C u Gorskom Kotaru, te u priobalju i na otocima, a u ostalim krajevima malo manje od 1 °C. Slično rezultatima za maksimalnu temperaturu, i za Tmin je najmanji projicirani porast uz rubne uvjete EC-Earth modela - u proljeće porast iznosi između 0.3 °C na primorju do 0.5 °C u gorskim predjelima. Uz HadGEM2 rubne uvjet porast Tmin je najveći i u jesen doseže 3 °C na Jadranu.

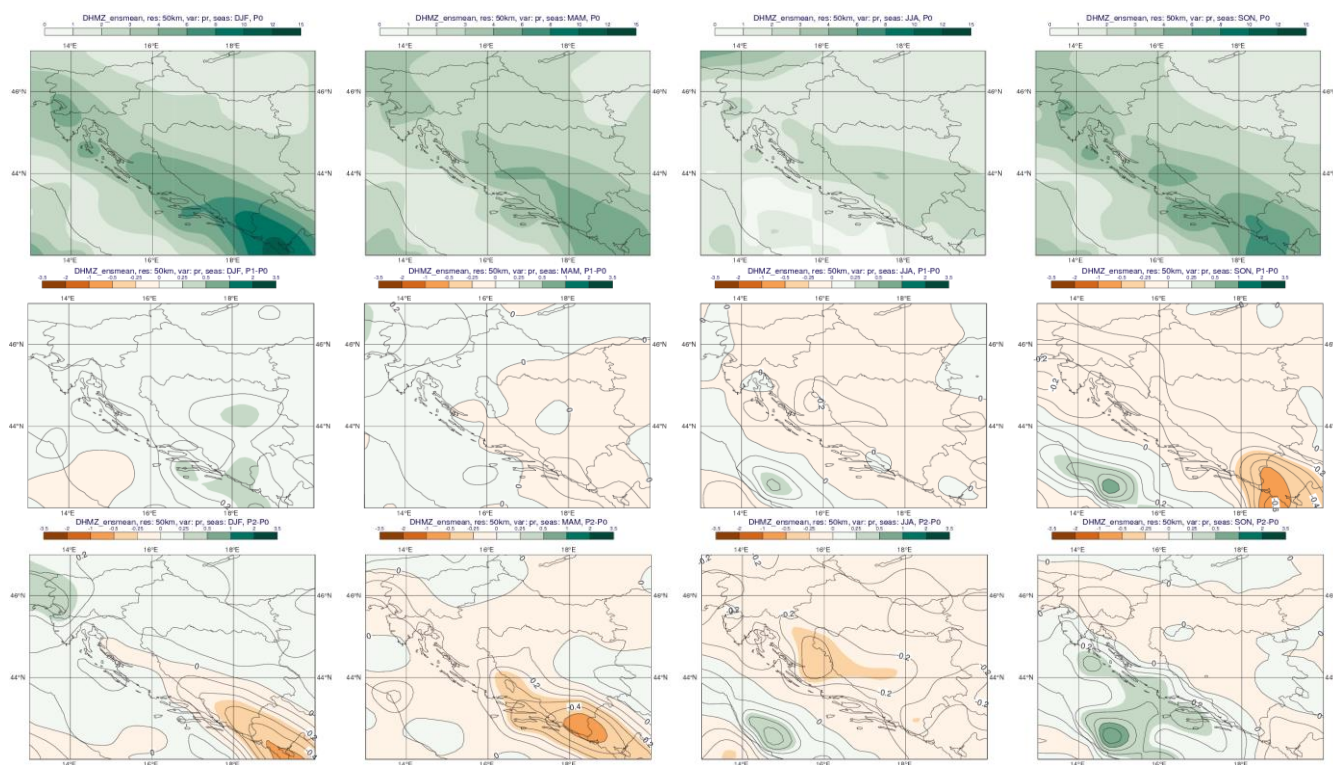
[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. se ponovno najveći porast minimalne temperature očekuje u zimi – od 2.1 do 2.4 °C u kontinentalnom dijelu, te od 1.8 do 2 °C u primorskim krajevima (Sl. 4.6.2, dolje). U svim ostalim sezonama porast Tmin će biti nešto manji nego onaj zimski. U proljeće se očekuje između 1.4 u primorju do 1.8 °C na sjeveru zemlje; u ljeto između 1.9 na sjeveru i



2.2 stupnja na otocima; u jesen između 1.8 i 1.9 °C u većem dijelu zemlje osim na Jadranu gdje se očekuje do 2.2 °C na vanjskim otocima.

4.6.3 Oborine

Prostorni gradijent količine oborine u srednjaku ansambla najjači je zimi kad sezonska količina oborine raste od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjeverozapadnoj Hrvatskoj pa sve do 500 mm na jugu zemlje (Sl. 4.6.3, gore). Na sjeveru je ova količina veća od one zabilježene na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti količine oborine precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno veća od izmjerene (Split 227, Dubrovnik 316). Najvjerojatiji razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće su količine oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (Osijek 151, Varaždin 186 mm, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori više od 250 mm (Gospić 312, Knin 257). Modelirane ljetne količine oborine su u kontinentalnim krajevima osjetno manje (90-150 mm) nego što su izmjerene vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivnih (pljuskovitih) oborina u modelu. Tijekom ljeta konvektivna oborina je relativno česta, a smanjene ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivnu oborinu) ili na (b) nedovoljno dugo trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Güttler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici su ljetne oborine (veće od 180 mm) relativno dobro simulirane (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (nešto više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok je u ostalim krajevima jesenska količina oborina podcijenjena u modelu.



Slika 4.6.3 Ukupna količina oborine (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi 2011.-2040. projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.6.3, sredina). Porast količine



oborine je u zimi manji od 20 mm; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Ljetno smanjene količine oborine je također zanemarivo, a slično je i u jesen u većem dijelu zemlje, osim na krajnjem jugu gdje će smanjenje biti nešto izraženije – do oko 45 mm. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije.

[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim jeseni smanjenje količine oborine (Sl. 4.6.3, dolje). Najveće smanjenje (do maksimalno 45 mm) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, te u ljeto u gorskim predjelima i sjevernoj Dalmaciji. Do najvećeg povećanja količine oborine, oko 30 mm, došlo bi zimi na otocima srednje Dalmacije.

4.6.4 Procjena učestalosti sušnih i vlažnih godina

Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split. Procjena sušnih/vlažnih godina napravljena na temelju oborinskih percentila, kao što je opisano na internetskoj stranici DHMZ-a http://klima.hr/ocjene_arhiva.php. Percentili su određeni iz razdoblja 1971.-2000. (tj. 30-godišnjih količina oborine).

Svaka godina je ocijenjena na temelju godišnje količine oborine R_{year} kao:

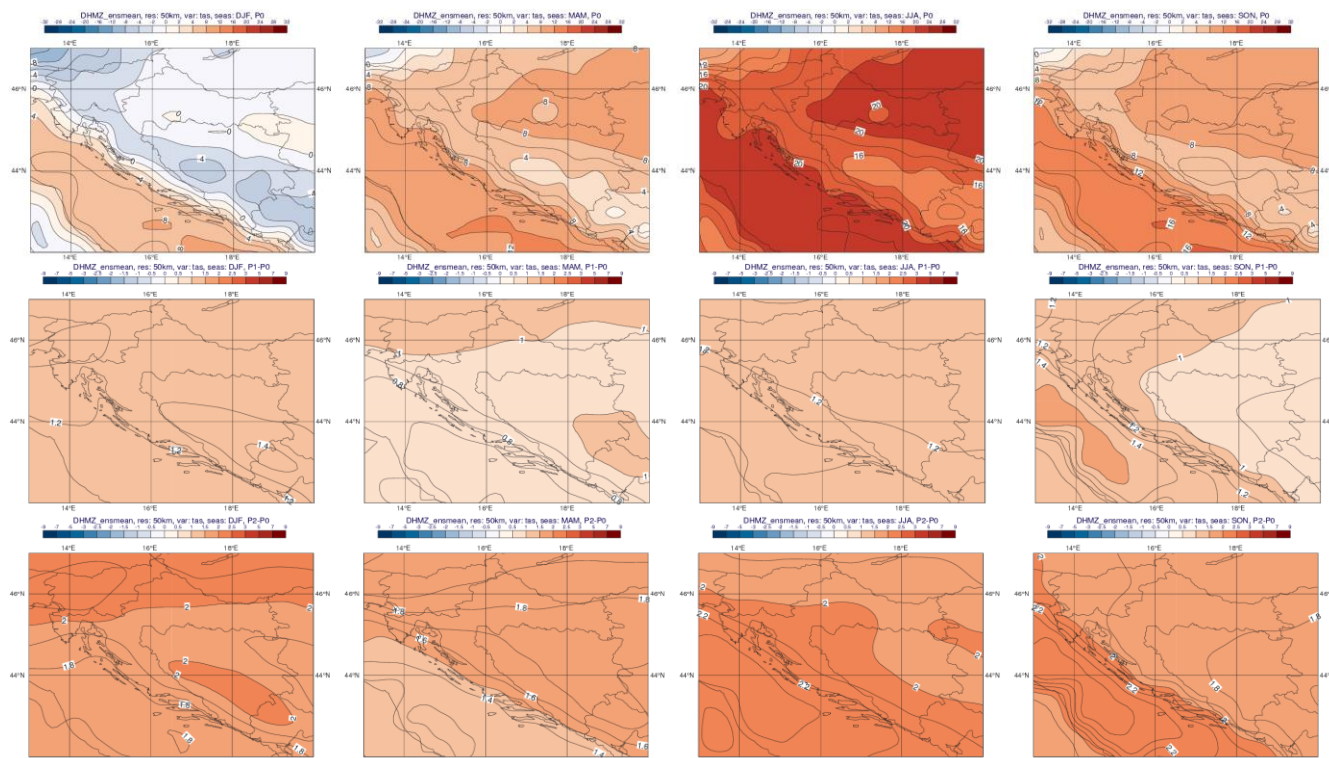
-3: ekstremno sušna;	$R_{year} < 2.$ percentila
-2: vrlo sušna;	$R_{year} \geq 2.$ percentila i $R_{year} < 9.$ percentila
-1: sušna;	$R_{year} \geq 9.$ percentila i $R_{year} < 25.$ percentila
0: normalna;	$R_{year} \geq 25.$ percentila i $R_{year} < 75.$ percentila
1: kišna;	$R_{year} \geq 75.$ percentila i $R_{year} < 91.$ percentila
2: vrlo kišna;	$R_{year} \geq 91.$ percentila i $R_{year} < 98.$ percentila
3: ekstremno kišna;	$R_{year} \geq 98.$ percentil.



4.7. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTOR TURIZAM

4.7.1 Temperatura zraka

U srednjaku ansambla (Sl. 4.7.1, gore) uočava se sezonska varijabilnost srednje prizemne temperature. Zimi je u planinskim krajevima srednjak ansambla za srednju dnevnu temperaturu malo manji od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i nešto niži od izmjerenih vrijednosti (Ogulin 1, Gospić $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; Zaninović i sur. 2008). U sjevernoj Hrvatskoj je temperatura malo ispod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, također nešto niža od izmjerene (Zagreb 1, Osijek 1). U primorskom dijelu zimska temperatura je između 2 i $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Negativne vrijednosti u području Kvarnera nisu realistične (u Rijeci je izmjereni zimski srednjak $6\text{ }^{\circ}\text{C}$) i posljedica su utjecaja “proširenja” temperature iz planinskih krajeva zbog neadekvatno razlučenog uskog planinskog pojasa i dijela sjevernog Primorja na 50-km rezoluciji u RegCM modelu. U ostalim su sezonama srednje dnevne temperature relativno dobro prikazane u srednjaku ansambla.



Slika 4.7.1 Temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

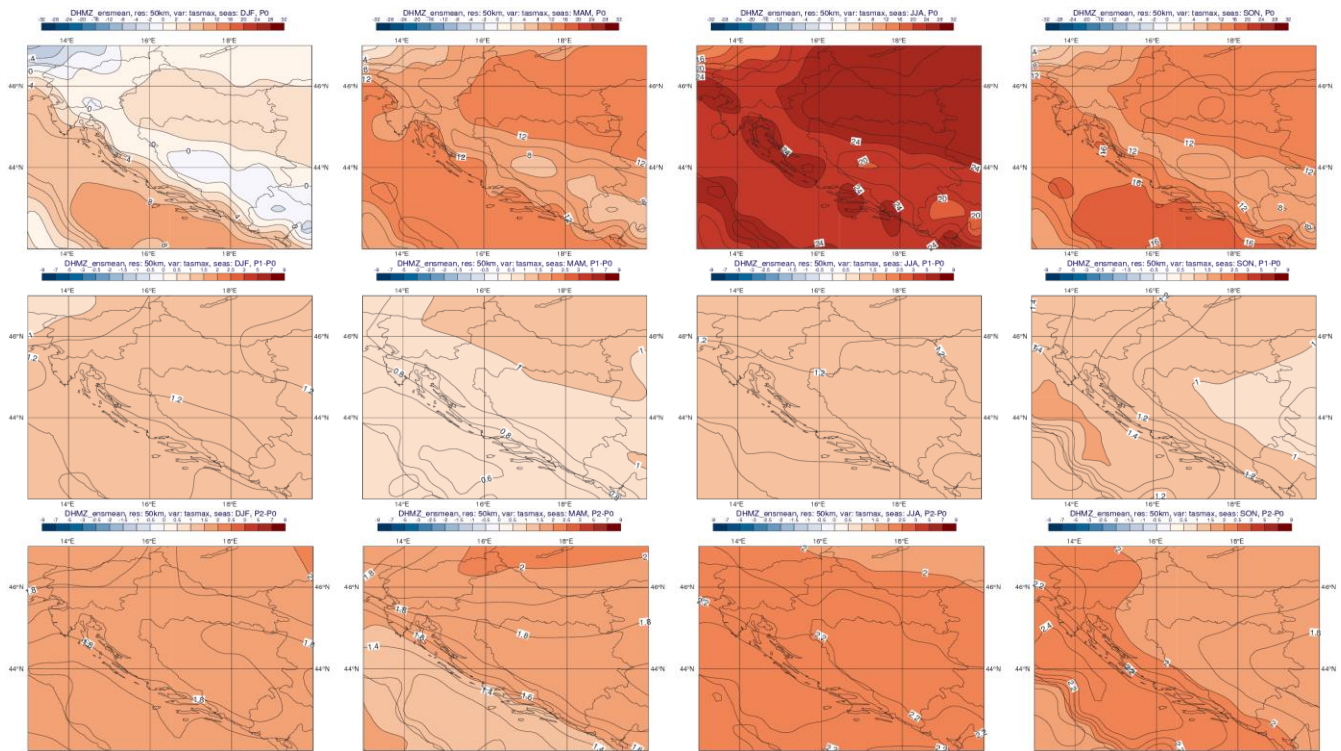
U razdoblju 2011-2040. (P1), očekuje se u svim sezonama porast prizemne temperature u srednjaku ansambla (Sl. 4.7.1, sredina). Porast temperature gotovo je identičan zimi i ljeti – između 1.1 i $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. U proljeće u većem dijelu Hrvatske prevladava nešto manji porast: od $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ na otocima Dalmacije do malo više od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Jesenski porast temperature je između $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u istočnoj Slavoniji do oko $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu, a u zapadnoj Istri i do $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sve individualne realizacije također daju porast temperature. Rezultati variraju između $0-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ u proljeće i ljeto kad RegCM koristi rubne uvjete EC-Earth modela, sve do $2.5-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ u zimi i jesen kad RegCM koristi rubne uvjete HadGEM2 modela (jugozapadni dio Istre i neki otoci imaju porast i preko $3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

[Pogled do 2070.] U razdoblju do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, očekuje se na Jadranu u ljeto i jesen (Sl. 4.7.1, dolje). Nešto manji porast mogao bi biti ljeti u najsjevernijim krajevima i Slavoniji, a u jesen u većem dijelu Hrvatske. U zimi i proljeće je prostorna razdioba porasta temperature obrnuta od one u ljeto i jesen: porast je najmanji na Jadranu a veći prema unutrašnjosti. U proljeće je porast srednje temperature od 1.4 do $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu i postupno raste do $1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjevernim krajevima.



4.7.2 Maksimalna temperatura zraka (Tmax)

U svakoj sezoni referentne klime (1971.-2000., razdoblje P0) razaznaju se tri karakteristična područja maksimalnih temperatura: sjeverna Hrvatska, gorski predjeli i primorska Hrvatska (Sl. 4.7.2, gore). Osim u zimi, vrijednosti simuliranih srednjih maksimalnih temperatura u sjevernom i primorskom dijelu su slične. U sjevernoj Hrvatskoj Tmax u srednjaku ansambla je nešto podcijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti na klimatološkim postajama iz Zaninović i sur. (2008). Primjerice u jesen je Tmax oko 14 °C u RegCM-u, a izmjerene vrijednosti su između 15 i 17 °C. U ostalim sezonama modelirane vrijednosti Tmax bliže su izmjerenim vrijednostima. U gorskoj i primorskoj Hrvatskoj također nalazimo niže Tmax u srednjaku ansambla nego što su opažene vrijednosti.



Slika 4.7.2 Maksimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

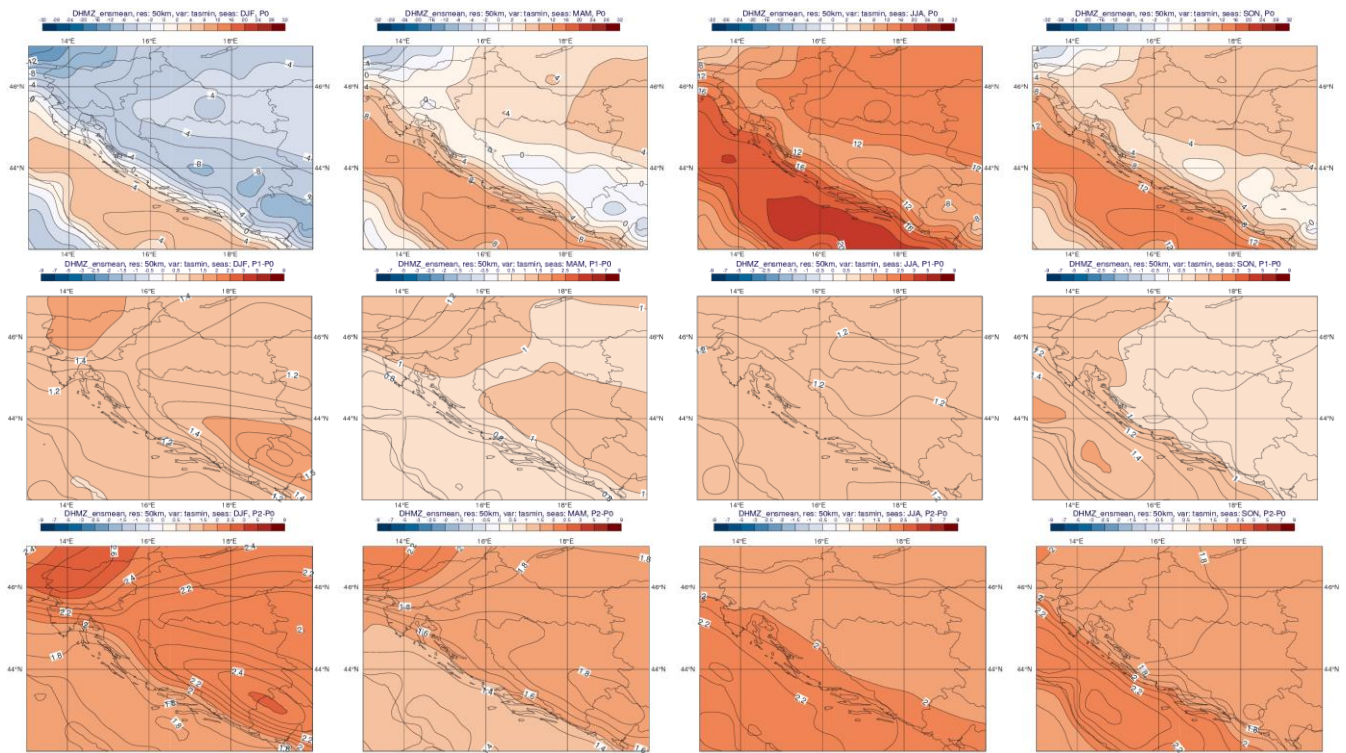
U neposredno budućoj klimi (2011.-2040., razdoblje P1) projiciran je gotovo jednoličan porast maksimalne temperature u srednjaku ansambla u svim sezonama osim u proljeće (Sl. 4.7.2, sredina). Porast je općenito veći od 1 °C, ali je manji od 1.5 °C, dok je u proljeće u središnjim i južnim predjelima porast nešto manji od 1 °C. Najveći porast, između 1.2 i 1.4 °C, je u jesen u primorskom dijelu. Najmanji porast Tmax, od 0.1 do 0.2 °C, daje realizacija RegCM modelom u proljeće uz rubne uvjete EC-Earth modela. Uz rubne uvjete HadGEM2 globalnog modela, porast Tmax je najveći u jesen: u unutrašnjosti do 2.5 °C, a u primorskom dijelu od 2.5 do 3.5 °C.

[Pogled do 2070.] Trend porasta maksimalne temperature u srednjaku ansambla nalazimo i u razdoblju 2041.-2070. (P2). Zimi porast doseže do oko 1.8 °C u unutrašnjosti i na sjevernom Jadranu, a dalje prema srednjem i južnom Jadranu i do 1.9 °C (Sl. 4.7.2, dolje). Porast od 1.4 °C na otocima do oko 2 °C u sjevernoj Hrvatskoj nalazimo u proljeće, dok je u ljetnoj sezoni porast Tmax između 2 i 2.2 °C. U jesen bi maksimalna temperatura mogla porasti od 2 °C u većem dijelu unutrašnjosti, pa sve do 2.3 °C na otocima. Ovo je ujedno i najveći porast Tmax u srednjaku ansambla.



4.7.3 Minimalna temperatura zraka (Tmin)

Simulirane zimske minimalne temperature (Tmin) u srednjaku ansambla RegCM su u gorskim i sjeverozapadnim predjelima u intervalu između -4 i -7 °C (Sl. 4.7.3, gore). One podcjenjuju izmjeren klimatološke vrijednosti; primjerice, u Gospiću -4, a u Ogulinu -2 °C (Zaninović i sur. 2008). U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske Tmin je nešto viša, od -2 do -4 °C, a na planinama Slavonije malo ispod -4 °C. U primorskim krajevima Tmin doseže +4 °C što se podudara s izmjerenim vrijednostima. U proljeće su minimalne temperature do najviše +9 °C na južnom Jadranu (u Dubrovniku je izmjereno 12 °C), a u gorskoj Hrvatskoj između 0 i 2 °C, što je nešto niže nego u Zaninović i sur. (2008). Proljetna Tmin u sjevernoj Hrvatskoj također je nešto niža od izmjerenih osim u Slavoniji gdje relativno dobro odgovara stvarnom stanju (Osijek 6 °C). U ljeto je Tmin na sjeveru zemlje od 12 do 14 °C, što se dobro podudara s izmjerenim 13 do 14 °C, a sukladnost između simuliranih i izmjerenih vrijednosti također je dobra u gorskim i primorskim krajevima. Modelirane jesenske minimalne temperature su relativno dobro opisane u sjevernoj Hrvatskoj, ali su podcijenjene na primorju i u višim predjelima gorske Hrvatske.



Slika 4.7.3 Minimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

Najveći projicirani porast minimalne temperature u srednjaku ansambla do 2040. u zimskim mjesecima je između 1.2 °C u sjevernoj Hrvatskoj i primorju do 1.4 °C u Gorskom Kotaru (Sl. 4.7.3, sredina). U ostalim sezonama porast Tmin bio bi nešto manji, a najmanji u proljeće - od 0.7-0.8 °C na otocima i u primorju, pa do 1.1 °C u sjeverozapadnim krajevima. Očekivani porast ljeti je u srednjaku ansambla oko 1.2 °C i gotovo je jednoličan u čitavoj zemlji. U jesen će porast biti od 1 do 1.2 °C u Gorskom Kotaru, te u priobalju i na otocima, a u ostalim krajevima malo manje od 1 °C. Najmanji projicirani porast Tmin je uz rubne uvjete EC-Earth modela - u proljeće porast iznosi između 0.3 °C na primorju do 0.5 °C u gorskim predjelima. Uz rubne uvjet HadGEM2 porast Tmin je najveći te u jesen doseže 3 °C na Jadranu.

[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. se ponovno najveći porast minimalne temperature očekuje u zimi – od 2.1 do 2.4 °C u kontinentalnom dijelu, te od 1.8 do 2 °C u primorskim krajevima (Sl. 4.7.3, dolje). U svim ostalim sezonama porast Tmin će biti nešto manji nego onaj zimski. U proljeće se očekuje između 1.4 u primorju do 1.8 °C na sjeveru zemlje; u ljeto između 1.9 na sjeveru i

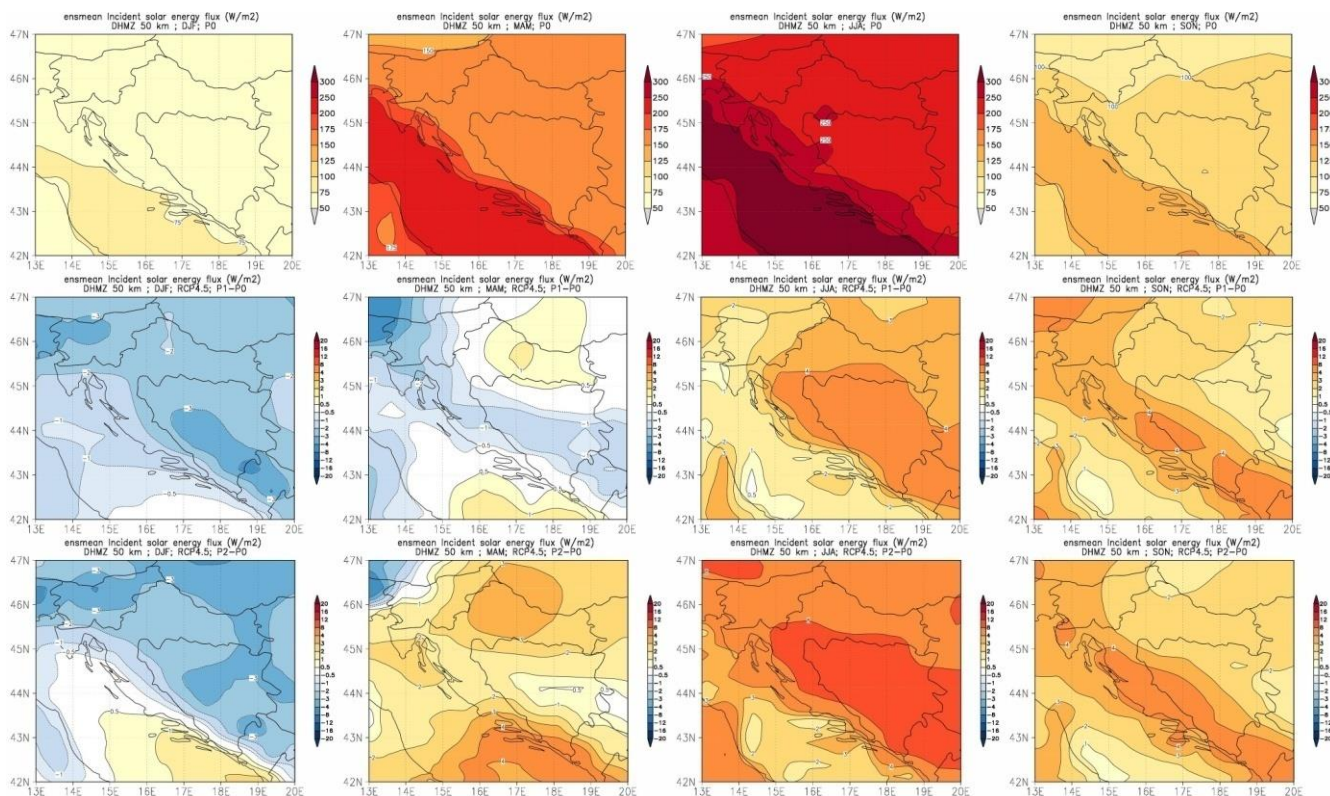


2.2 stupnja na otocima; u jesen između 1.8 i 1.9 °C u većem dijelu zemlje osim na Jadranu gdje se očekuje do 2.2 °C na vanjskim otocima.

4.7.4 Sunčano zračenje

Insolacija ili osunčavanje nije standardna varijabla outputa RegCM klimatskog modela (niti je standardna varijabla za Cordex integracije). Umjesto insolacije bit će pokazan i diskutiran fluks ulazne sunčane energije (*incident solar energy flux*, *sina*) mjereno u W/m^2 . (U našoj literaturi nalazimo još termin “dozračena sunčana energija” (*solar irradiation*), Zaninović i sur. 2008.) Pretpostavljamo da fluks ulazne sunčane energije može biti dovoljno reprezentativan za insolaciju.

U skladu s izmjenama sezona, vrijednosti fluksa ulazne sunčane energije rastu od zime prema ljetu, te ponovno opadaju prema jeseni. Ulazna sunčana energija je u svim sezonama veća na Jadranu i smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti (Sl. 4.7.4, gore). Najveće vrijednosti fluksa ulazne sunčane energije u zimi su između 50 i 75 W/m^2 . U proljeće su u većem dijelu zemlje od 150-175 W/m^2 , te između 175 i 200 W/m^2 u obalnom području Dalmacije i na otocima. Najveće ljetne vrijednosti su od 200-250 W/m^2 u većem dijelu unutrašnjosti, a od 250-300 W/m^2 u priobalnom pojasu i zaleđu, te više od 300 W/m^2 na otocima južne Dalmacije. U jesen prevladavaju vrijednosti od 100-125 W/m^2 , nešto manje na krajnjem sjeverozapadu i nešto više u obalnom dijelu.



Slika 4.7.4 Fluks ulazne sunčane energije (W/m^2) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljetno i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Promjena fluksa ulazne sunčane energije u razdoblju 2011-2040 (P1) nije u istom smjeru u svim sezonama. Dok je zimi u čitavoj Hrvatskoj, a u proljeće u zapadnim krajevima projicirano smanjenje fluksa sunčane energije (negativne vrijednosti), u ljetno i jesen, te u sjevernim krajevima u proljeće, predviđa se porast vrijednosti u odnosu na referentno razdoblje (Sl. 4.7.4, sredina). Zimsko smanjenje fluksa najmanje je na južnim otocima ($-0.5 W/m^2$), a najveće u sjevernoj Hrvatskoj oko $-2 W/m^2$. U odnosu na referentno razdoblje (P0) ovo smanjenje u sjevernoj Hrvatskoj iznosi oko 4-5%, a na Jadranu oko 2% (u sjevernom dijelu Istre i malo više). U proljeće se fluks sunčane energije u P1 ne bi mijenjao na južnom Jadranu i sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske došlo bi do povećanja, maksimalno oko $1 W/m^2$, a na ostatku Jadrana i u gorskoj Hrvatskoj fluks bi se



smanjio za nešto više od 1 W/m^2 . U ljeto i jesen projiciran je porast fluksa ulazne sunčeve energije u čitavoj Hrvatskoj, u prosjeku između 1 i malo više od 4 W/m^2 . Na Jadranu je porast ljeti manji nego u jesen, dok je u sjevernoj Hrvatskoj situacija obrnuta – ljetni porast je veći nego jesenski. S obzirom da su ljetne vrijednosti fluksa sunčane energije vrlo visoke, projicirani porast je relativno zanemariv. U jesen porast iznosi tek oko 2-4%.

Zanimljivo je da uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM daje u ljeti smanjenje (negativnu razliku) fluksa u većem dijelu zemlje, dok uz rubne uvjete drugih globalnih klimatskih modela RegCM daje povećanje fluksa sunčane energije. Slična situacija je u jesen kad uz rubne uvjete MPI-ESM modela RegCM daje smanjenje fluksa u sjevernoj Hrvatskoj, a za ostale rubne uvjete nalazimo porast vrijednosti fluksa.

[Pogled do 2070.] Za razliku od P1 sada u svim sezonama, osim u zimi, očekuje se u razdoblju 2041.-2070. povećanje fluksa ulazne sunčane energije u srednjaku ansambla (Sl. 4.7.4, dolje). Porast je najveći u ljeto ($8-12 \text{ W/m}^2$) u gorskoj i središnjoj Hrvatskoj, a najmanji u srednjoj Dalmaciji. U proljeće i jesen porast je maksimalno do malo više od 4 W/m^2 , što je relativno malo povećanje. Najveće smanjenje fluksa ulazne sunčeve energije, u iznosu do 3 W/m^2 , nalazimo zimi u sjevernoj Hrvatskoj.

4.7.5 Relativna vlažnost zraka

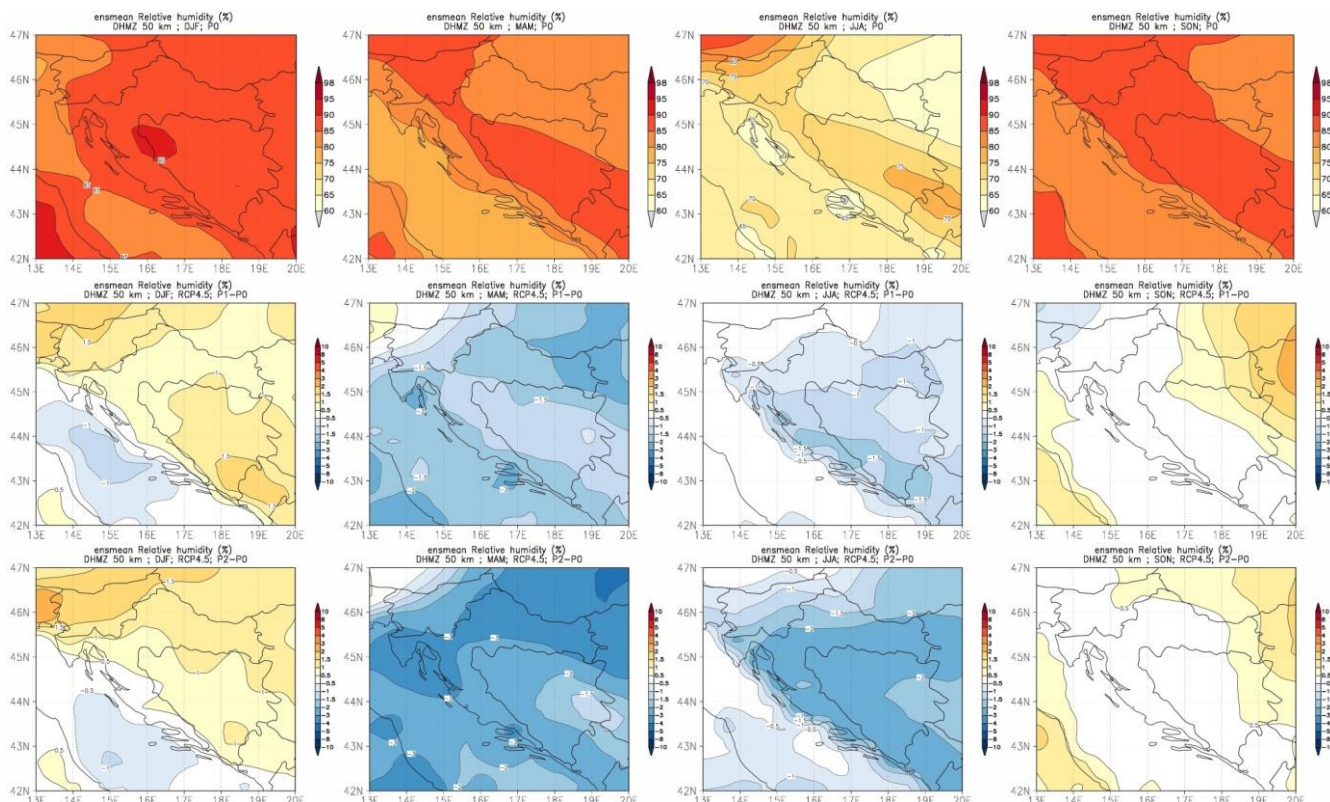
Relativna vlažnost zraka u srednjaku ansambla najveća je u zimi - u većem dijelu zemlje je između 85 i 90% (Sl. 4.7.5, gore). Najveću vlažnost, više od 90%, nalazimo u istočnim dijelovima Like, a najmanju (ispod 85%) u zapadnoj Istri. Ove se vrijednosti u sjevernim, središnjim i gorskim predjelima dobro podudaraju s izmjerenim – Osijek 86, Zagreb 81, Gospić 83% (Zaninović i sur., 2008), ali su precijenjene u primorskim krajevima (primjerice, Rijeka 64%, Zadar 72%, Dubrovnik 60%). U proljeće je simulirana relativna vlažnost općenito niža nego zimi; u većini krajeva je između 75 i 80%, u središnjoj Hrvatskoj do 85%, a na nekim otocima između 70 i 75%. Smanjenje vlažnosti u proljeće zabilježeno je i na postajama širom Hrvatske, ali su rezultati modeliranja nešto veći nego izmjereni vrijednosti. Ljeti je simulirana vlažnost najmanja; u većini krajeva je 65-70%, u središnjoj Hrvatskoj 70-75%, a u istočnim krajevima i ponegdje na Jadranu i ispod 65%. Ove vrijednosti većinom su sukladne mjerenjima. Vlažnost ponovno raste u jesen i u većini središnjih krajeva je 80-85%, a u primorskom i istočnom dijelu od 75-80%. I za ovu sezonu većinom nalazimo podudaranje s podacima mjerenja, osim za neke dijelove Jadrana gdje je izmjerena relativna vlažnost niža od modelirane (Rijeka 66%, Split 61%, Dubrovnik 62%).

U neposrednoj budućnosti (do 2040.) očekuje se smanjenje relativne vlažnosti u proljeće i ljeto između 0.5 pa do 2% (Sl. 4.7.5, sredina). Dakle, ovo smanjenje je vrlo malo tako da neće bitnije utjecati na ukupnu relativnu vlažnost u ovim sezonama. U zimi je projiciran mali porast relativne vlažnosti u većini krajeva (osim u primorskom pojasu), ali i ovaj porast ne bio donio veću promjenu ukupne vlažnosti zraka. Slično vrijedi i u jesen za istočne krajeve, dok u ostatku zemlje ne bi došlo do promjene relativne vlažnosti. U ljeti jedino uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM daje povećanje relativne vlažnosti, dok uz rubne uvjete ostalih modela daje redukciju, što se u konačnici odražava u srednjaku ansambla prikazanom u Sl. 4.7.5 (sredina).

[Pogled do 2070.] Trendovi promjene relativne vlažnosti slični onima u P1 očekuju se i u razdoblju 2041.-2070. (Sl. 4.7.5, dolje), ali s malo povećanom amplitudom: smanjenje vlažnosti od više od 3% u proljeće, odnosno više od 2% u ljeto, te povećanje vlažnosti od najviše 1.5% u zimi. Dakle, kao i u neposredno budućoj klimi, projicirana promjena relativne vlažnosti oko sredine 21. stoljeća je vrlo mala.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.7.5 Relativna vlažnost zraka (%) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

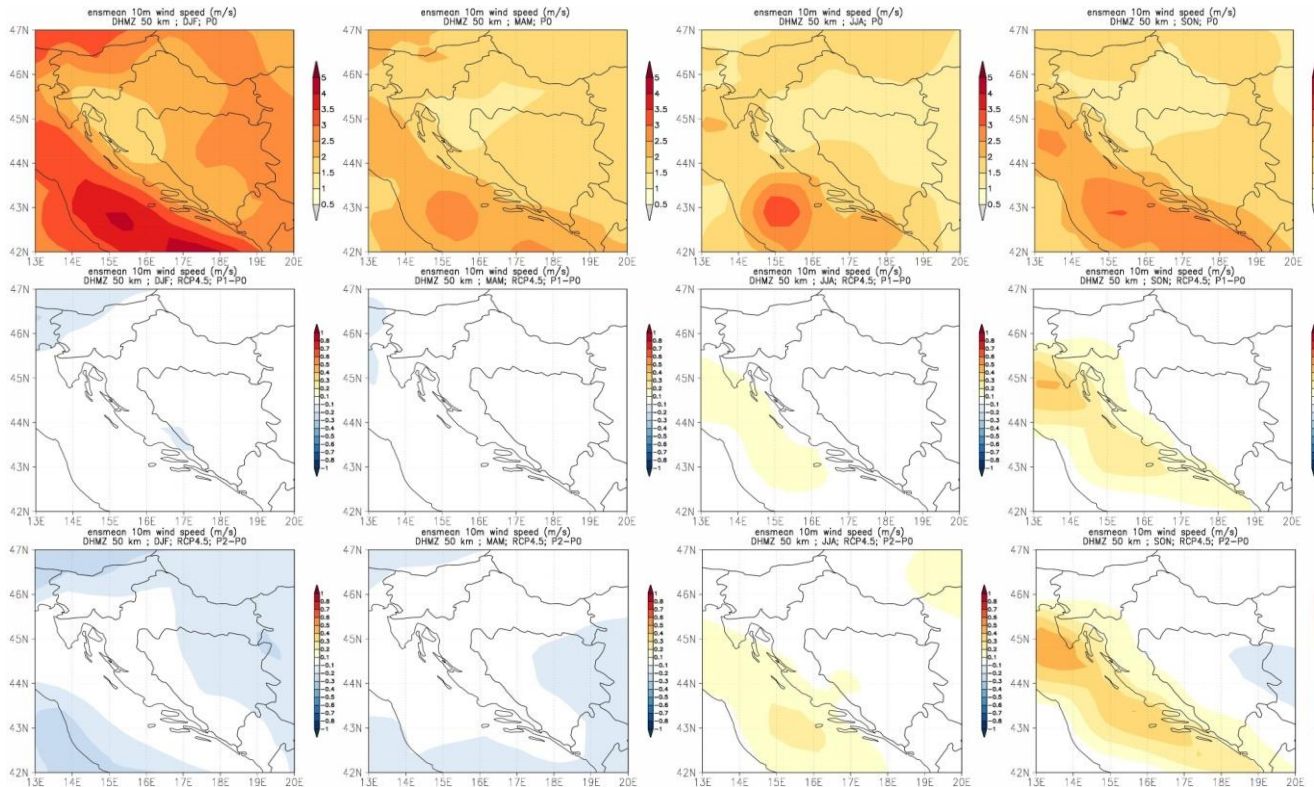
4.7.6 Brzina vjetra na 10 m visine

Simulirana srednja brzina vjetra na 10 m visine u srednjaku ansambla najveća je zimi na otocima otvorenog dijela Jadrana i iznosi između 2.5 i 3.5 m/s (Sl. 4.7.6, gore). One su malo podcijenjene u odnosu na dostupne klimatološke podatke mjerenja; primjerice, u Dubrovniku je srednja satna brzina vjetra zimi oko 4.8 m/s (Zaninović i sur. 2008). Nešto niže vrijednosti, od 1.5 do 2 m/s, na Kvarneru su dobro simulirane; izmjerena zimska vrijednost na postaji Rijeka je 1.9 m/s. Prema unutrašnjosti se srednja brzina vjetra smanjuje, tako da je najmanja u gorskim predjelima, 1.5 do 2 m/s. Brzina vjetra se ponovno povećava prema sjeveru i istoku te u istočnoj Slavoniji doseže 2.5 do 3 m/s, dakle slično kao na Jadranu. Ovakva razdioba je realistična jer su izmjereni podaci za Zagreb 1.6, a za Osijek 2.8 m/s. U ostalim sezonama srednja brzina vjetra je manja nego u zimi, a prostorna razdioba je slična: vjetar je najjači na Jadranu, a smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti. Od proljeća do jeseni vidljiv je pojačani vjetar na središnjem dijelu Jadrana, koji u ljeto na otvorenom moru doseže od 3-3.5 m/s. Ovaj maksimum povezan je s prevladavajućim sjeverozapadnim etezijskim strujanjem na Jadranu u toplom dijelu godine (u nas poznatim kao maestral). Sezonski srednjaci (od proljeća do jeseni) za Split i Dubrovnik su od 3.4 pa sve do 4.5 m/s.

Do 2040. srednja brzina vjetra neće se mijenjati u zimi i proljeće, ali će nešto porasti u ljeto na Jadranu (Sl. 4.7.6, sredina). Porast prosječne brzine vjetra osobito je izražen u jesen na sjevernom Jadranu (do oko 0.5 m/s) što predstavlja promjenu od oko 20-25% u odnosu na referentno razdoblje. Mali porast brzine vjetra projiciran je u jesen u Dalmaciji i gorskim predjelima, dok se u ostatku Hrvatske ne očekuje promjena srednje brzine vjetra. Rezultati individualnih integracija uz različite rubne uvjete iz globalnih klimatskih modela razlikuju se najviše za zimu i proljeće. Dok se, primjerice u sjevernoj Hrvatskoj uz rubne uvjete MPI-ESM modela srednja brzina vjetra zimi povećava, uz rubne uvjete EC-Earth i HadGEM2 modela ona se smanjuje.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.7.6 Brzina vjetra na 10 m visine (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] U razdoblju P2, ne očekuje se promjena srednje brzine vjetra u zimi i u proljeće, osim blagog smanjenja u dijelu sjeverne i u istočnoj Hrvatskoj tijekom zime (Sl. 4.7.6, dolje). U ljeto se nastavlja trend jačanja brzine vjetra na Jadranu, slično kao u P1. Nešto izraženiji porast srednje brzine vjetra očekuje se u jesen na čitavom Jadranu i u priobalnim područjima, s maksimumom od 0.4 do 0.5 m/s duž zapadne obale Istre.

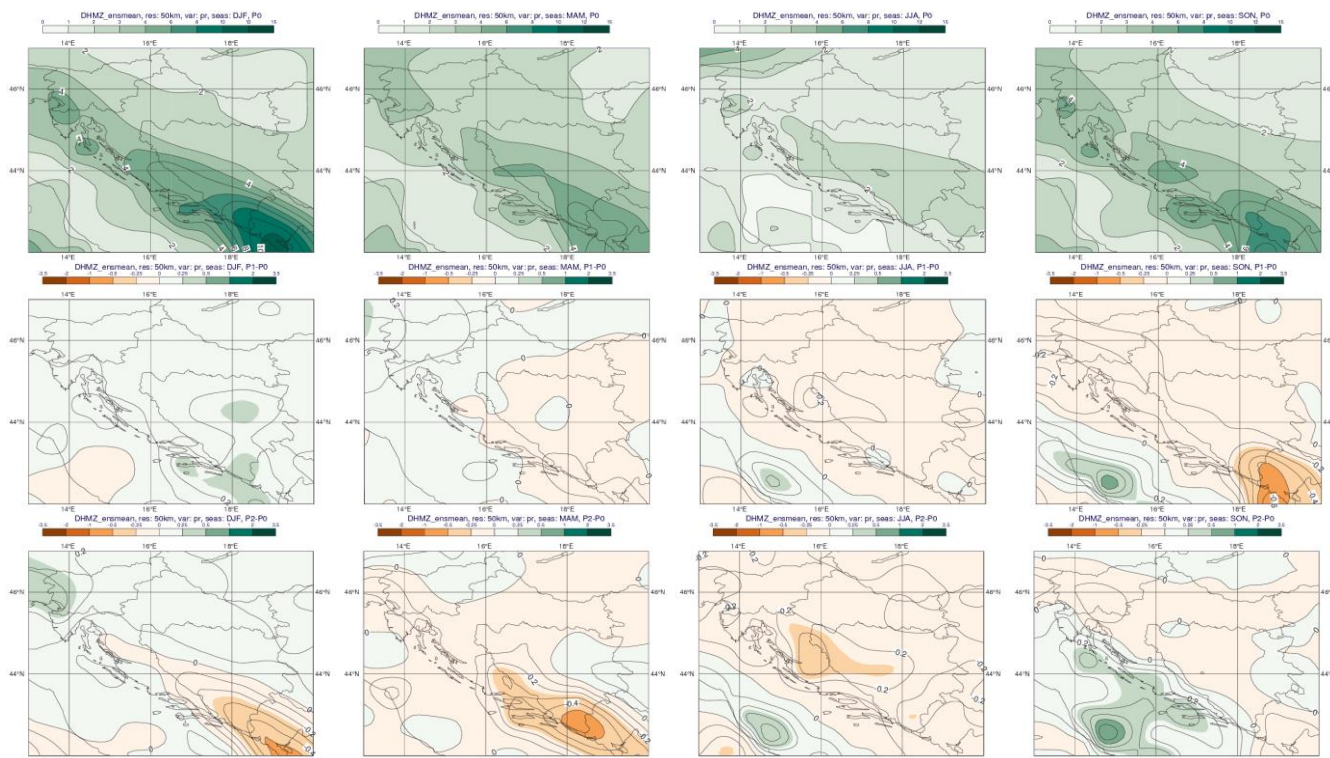
4.7.7 Oborine

Oborina je vrlo promjenljiva tijekom godine i sezonske količine se znatno razlikuju u pojedinim krajevima Hrvatske. Prema srednjaku ansambla numeričkih simulacija referentne klime za razdoblje 1971.-2000. najviše oborine padne u hladnom razdoblju (jesen, zima) u južnom i zapadnom dijelu Hrvatske, od Istre, preko gorskih predjela do južnog Jadrana, dok je u sjevernom i istočnom dijelu simulirana osjetno manja količina oborine (Sl. 4.7.7, gore). U ljeto u većem dijelu zemlje padne najmanja količina oborine, dok su iznosi simulirane oborine nešto povećani u gorskim krajevima i zaleđu Dalmacije.

Srednja zimska količina oborine u srednjaku ansambla postupno raste od nešto manje od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjevernoj Hrvatskoj pa sve do više od 500 mm na jugu zemlje (Sl. 4.7.7, gore). Na sjeveru Hrvatske ova je količina veća od klimatoloških vrijednosti zabilježenih na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti količine oborine precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno precijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti (Split 227, Dubrovnik 316 mm). Najvjerojatniji razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće su količine oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (izmjerene vrijednosti na postajama Osijek 151, Varaždin 186, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori i više od 250 mm (Gospić 312, Knin 257 mm). Modelirane količine ljetne oborine u kontinentalnim krajevima osjetno su manje (90-150 mm) od izmjerenih vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265 mm). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivne (pljuskovite) oborine u modelu. Tijekom ljeta



konvektivna oborina je relativno česta, a smanjene ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivnu oborinu) ili na (b) nedovoljno dugo trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Güttler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici su ljetne oborine (veće od 180 mm) relativno dobro simulirane (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (nešto više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok je u ostalim krajevima, osobito na sjeveru Hrvatske, jesenska oborina podcijenjena u modelu.



Slika 4.7.7 Ukupna količina oborine (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi 2011.-2040. projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.7.7, sredina). Porast količine oborine je u zimi manji od 20 mm; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Ljetno smanjene količine oborine je također zanemarivo, a slično je i u jesen u većem dijelu zemlje, osim na krajnjem jugu gdje će smanjenje biti nešto izraženije – do otprilike oko 40 mm. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije .

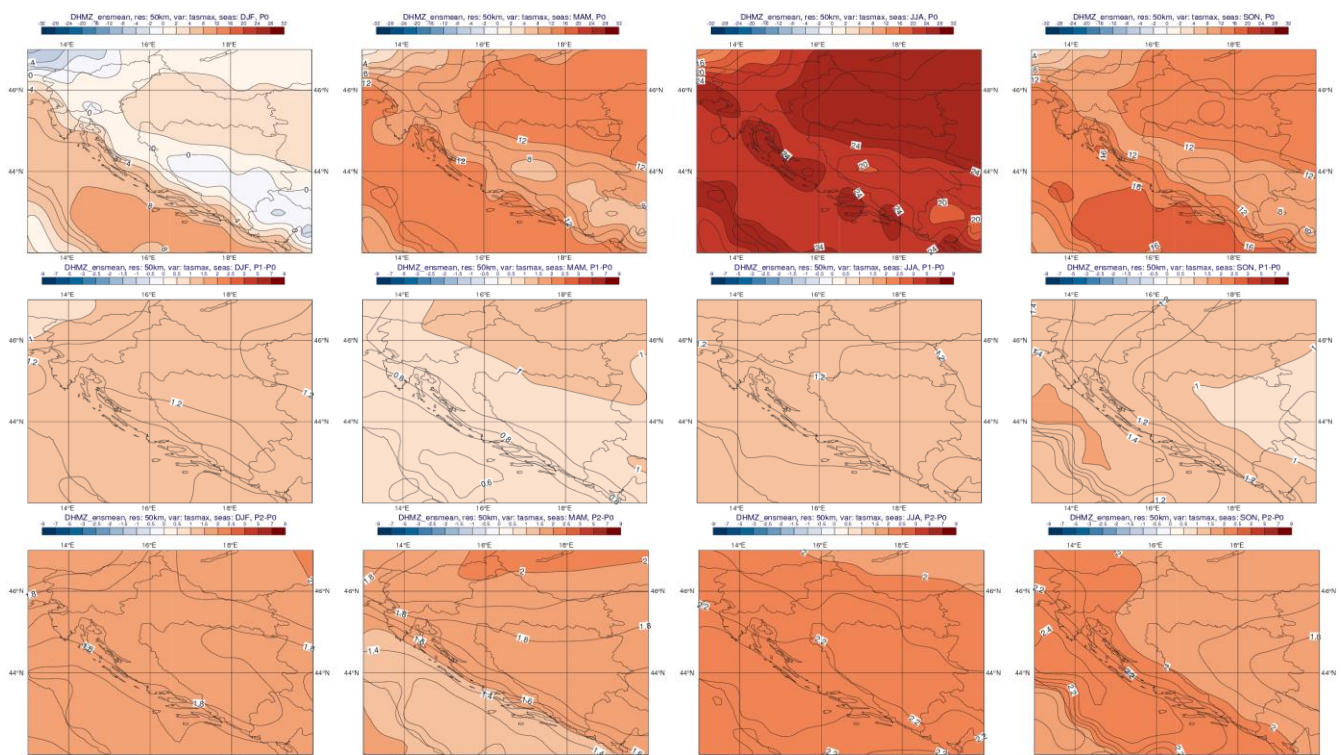
[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine (Sl. 4.7.7, dolje). Najveće smanjenje (do maksimalno 45 mm) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, dok će do najvećeg povećanja količine oborine, oko 30 mm, doći u jesen na otocima srednje Dalmacije.



4.8. PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTORE ZDRAVSTVO I UPRAVLJENJE RIZICIMA

4.8.1 Maksimalna temperatura zraka (Tmax)

U svakoj sezoni referentne klime (1971.-2000., razdoblje P0) razaznaju se tri karakteristična područja maksimalnih temperatura: sjeverna Hrvatska, gorski predjeli i primorska Hrvatska (Sl. 4.8.1, gore). Osim u zimi, vrijednosti simuliranih srednjih maksimalnih temperatura u sjevernom i primorskom dijelu Hrvatske su slične. U sjevernoj Hrvatskoj Tmax u srednjaku ansambla je podcijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti na klimatološkim postajama iz Zaninović i sur. (2008). Primjerice u jesen je Tmax oko 14 °C u RegCM-u, a izmjerene vrijednosti su između 15 i 17 °C. U ostalim sezonama modelirane vrijednosti Tmax bliže su izmjerenim vrijednostima. U gorskoj i primorskoj Hrvatskoj također nalazimo niže Tmax u srednjaku ansambla nego što su opažene vrijednosti.



Slika 4.8.1 Maksimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Za srednjak ansambla maksimalne temperature u razdoblju do 2040. godine (razdoblje P1) također je projiciran porast. Porast je gotovo jednoličan u svim sezonama osim u proljeće (Sl. 4.1.2, sredina). Porast je općenito veći od 1 °C, ali je manji od 1.5 °C, dok je u proljeće u središnjim i južnim predjelima porast nešto manji od 1 °C. Najveći porast maksimalne temperature, između 1.2 i 1.4 °C, je u jesen u primorskom dijelu. Najmanji porast Tmax, od 0.1 do 0.2 °C, daje realizacija RegCM modelom u proljeće uz rubne uvjete EC-Earth modela. Uz rubne uvjete HadGEM2 globalnog modela, porast Tmax je najveći u jesen: u unutrašnjosti do 2.5 °C, a u primorskom dijelu od 2.5 do 3.5 °C.

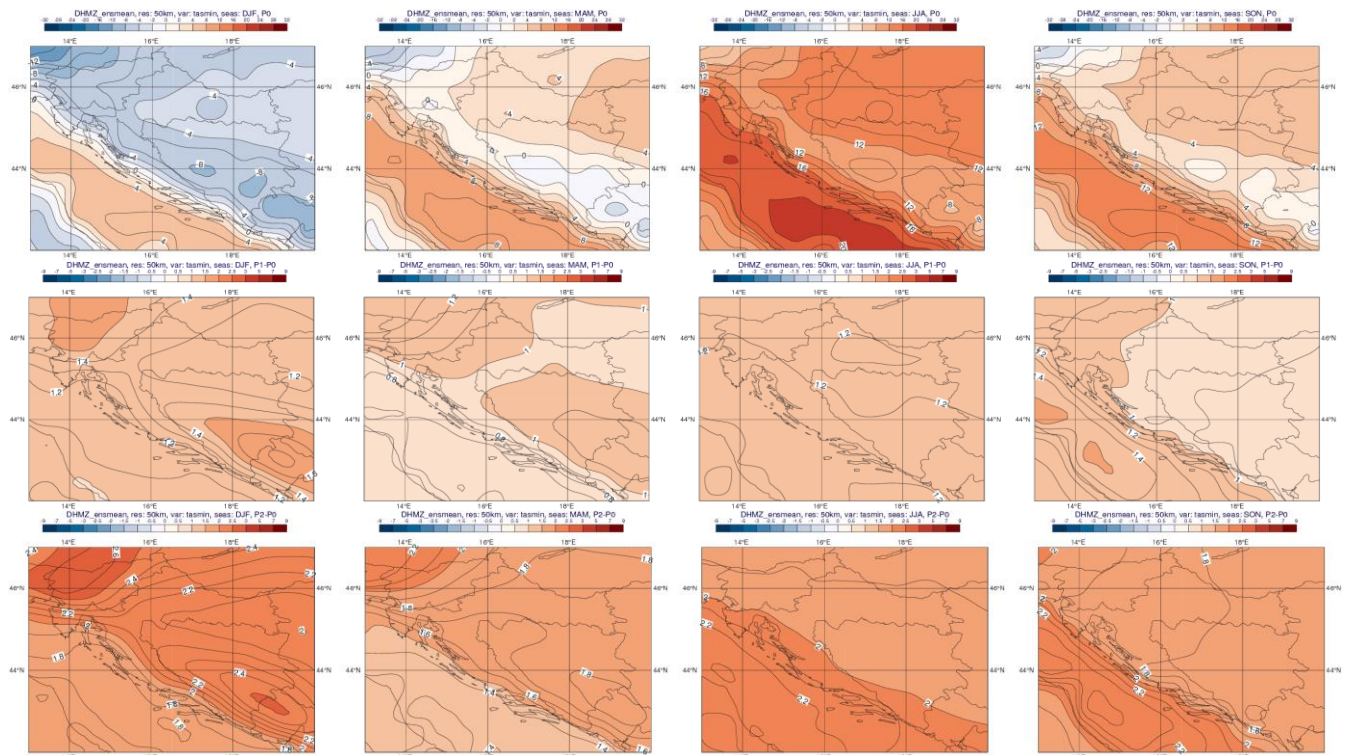
[Pogled do 2070.] Trend porasta maksimalne temperature u srednjaku ansambla nalazimo i u razdoblju 2041.-2070. (P2). Zimi je porast od oko 1.8 °C u unutrašnjosti i na sjevernom Jadranu, a dalje prema srednjem i južnom Jadranu do 1.9 °C (Sl. 4.8.1, dolje). Porast Tmax, od 1.4 °C na otocima do oko 2 °C u sjevernoj Hrvatskoj, nalazimo u proljeće, dok je u ljetnoj sezoni porast između 2 i 2.2



°C. U jesen bi maksimalna temperatura mogla porasti od 2 °C u većem dijelu unutrašnjosti, pa sve do 2.3 °C na otocima. Ovo je ujedno i najveći porast maksimalne temperature u srednjaku ansambla.

4.8.2 Minimalna temperatura zraka (Tmin)

Simulirane zimske minimalne temperature (Tmin) u srednjaku ansambla RegCM su u gorskim i sjeverozapadnim predjelima u intervalu između -4 i -7 °C (Sl. 4.8.2, gore). One podcjenjuju izmjerene klimatološke vrijednosti; primjerice, u Gospiću -4, a u Ogulinu -2 °C (Zaninović i sur. 2008). U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske Tmin je nešto viša, od -2 do -4 °C, a na planinama Slavonije malo ispod -4 °C. U primorskim krajevima Tmin doseže +4 °C što se podudara s izmjerenim vrijednostima. U proljeće su minimalne temperature do najviše +9 °C na južnom Jadranu (u Dubrovniku je izmjereno 12 °C), a u gorskoj Hrvatskoj između 0 i 2 °C, što je nešto niže nego u Zaninović i sur. (2008). Proljetna Tmin u sjevernoj Hrvatskoj također je nešto niža od izmjerenih osim u Slavoniji gdje relativno dobro odgovara stvarnom stanju (Osijek 6 °C). U ljeto je minimalna temperatura na sjeveru zemlje od 12 do 14 °C, što se dobro podudara s izmjerenim 13 do 14 °C, a sukladnost između simuliranih i izmjerenih vrijednosti također je dobra u gorskim i primorskim krajevima. Modelirane jesenske minimalne temperature su relativno dobro opisane u sjevernoj Hrvatskoj, ali su podcijenjene na primorju i u višim predjelima gorske Hrvatske.



Slika 4.8.2 Minimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.

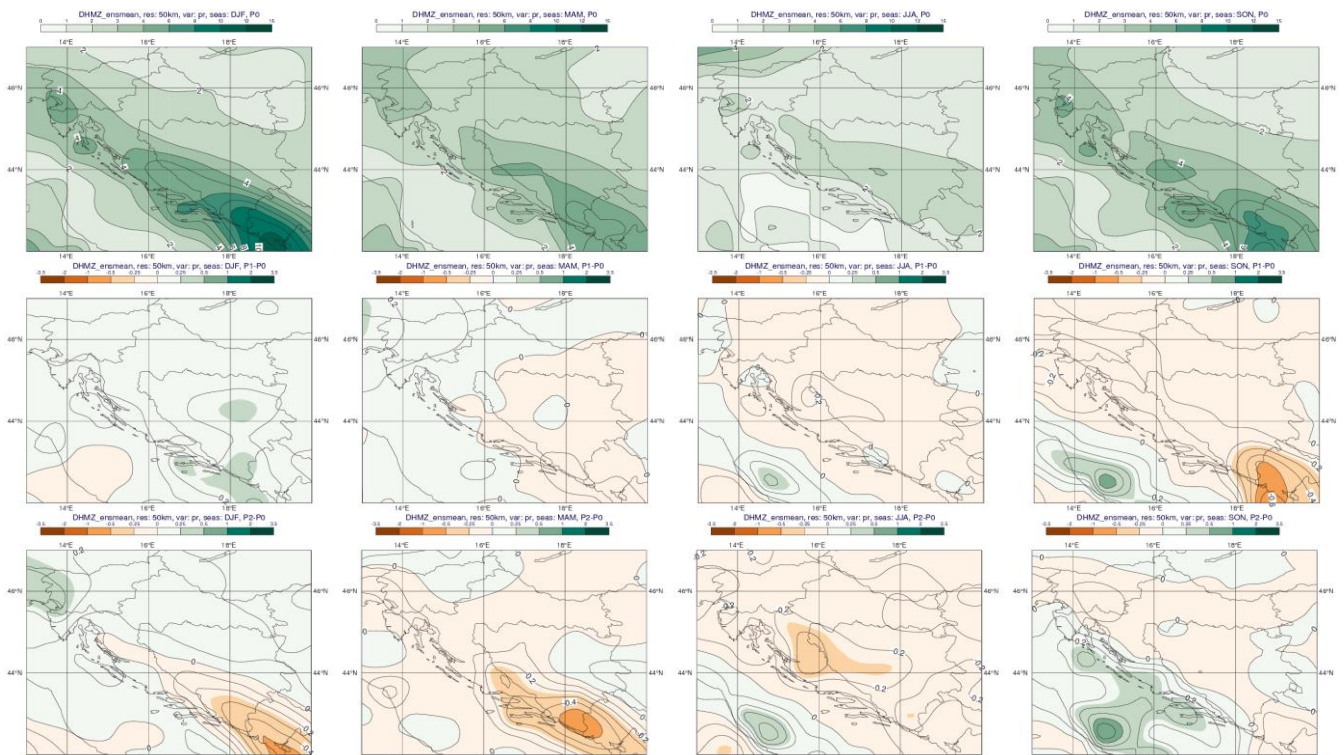
Najveći projicirani porast minimalne temperature u srednjaku ansambla do 2040. u zimskim mjesecima je između 1.2 °C u sjevernoj Hrvatskoj i primorju do 1.4 °C u Gorskom Kotaru (Sl. 4.8.2, sredina). U ostalim sezonama porast Tmin bio bi nešto manji, a najmanji u proljeće (0.7-0.8 °C na otocima i u primorju, pa do 1.1 °C u sjeverozapadnim krajevima). Očekivani prosječni porast ljeti je oko 1.2 °C, gotovo jednolično u čitavoj zemlji. U jesen će porast biti od 1 do 1.2 °C u Gorskom Kotaru, te u priobalju i na otocima, a u ostalim krajevima malo manje od 1 °C. Najmanji projicirani porast Tmin je uz rubne uvjete EC-Earth modela - u proljeće porast iznosi između 0.3 °C na primorju do 0.5 °C u gorskim predjelima. Uz rubne uvjet HadGEM2 porast Tmin je najveći, te u jesen doseže 3 °C na Jadranu.



[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. se ponovno najveći porast minimalne temperature očekuje u zimi – od 2.1 do 2.4 °C u kontinentalnom dijelu, te od 1.8 do 2 °C u primorskim krajevima (Sl. 4.8.2, dolje). U svim ostalim sezonama porast T_{min} će biti nešto manji nego onaj zimski. U proljeće se očekuje između 1.4 u primorju do 1.8 °C na sjeveru zemlje; u ljeto između 1.9 na sjeveru i 2.2 stupnja na otocima; u jesen između 1.8 i 1.9 °C u većem dijelu zemlje osim na Jadranu gdje se očekuje do 2.2 °C na vanjskim otocima.

4.8.3 Oborine

Oborine su vrlo promjenljive tijekom godine i sezonske količine se znatno razlikuju u pojedinim krajevima Hrvatske. Prema srednjaku ansambla numeričkih simulacija referentne klime za razdoblje 1971.-2000. najviše oborine padne u hladnom razdoblju (jesen, zima) u južnom i zapadnom dijelu Hrvatske, od Istre, preko gorskih predjela do južnog Jadrana, dok je u sjevernom i istočnom dijelu simulirana osjetno manja količina oborine (Sl. 4.8.3, gore). U ljeto u većem dijelu zemlje padne najmanja količina oborine, dok su iznosi simulirane količine oborine nešto povećani u gorskim krajevima i zaleđu Dalmacije.



Slika 4.8.3 Ukupna količina oborine (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Srednja zimska količina oborine u srednjaku ansambla postupno raste od nešto manje od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjevernoj Hrvatskoj pa sve do više od 500 mm na jugu zemlje. Na sjeveru Hrvatske ova je količina veća od klimatoloških vrijednosti zabilježenih na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti oborine precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno precijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti (Split 227, Dubrovnik 316 mm). Najvjerojatniji razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće je količina oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (izmjerene vrijednosti na postajama Osijek 151, Varaždin 186, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori i više od 250 mm (Gospić 312, Knin 257 mm). Modelirane količine ljetne oborine u kontinentalnim krajevima (90-150 mm) osjetno su manje od izmjerenih vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265 mm). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivne (pljuskovite) oborine u modelu. Tijekom ljeta konvektivna oborine su relativno



česta, a smanjene ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivne oborine) ili na (b) nedovoljno dugo trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Güttler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici je ljetna količina oborina (veća od 180 mm) relativno dobro simulirana (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (nešto više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok su u ostalim krajevima, osobito na sjeveru Hrvatske, jesenske oborine podcijenjene u modelu.

U budućoj klimi 2011.-2040. projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.8.3, sredina). Porast količine oborine je u zimi manji od 20 mm; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Ljetno smanjene količine oborine je također zanemarivo, a slično je i u jesen u većem dijelu zemlje, osim na krajnjem jugu gdje će smanjenje biti nešto izraženije – do otprilike oko 40 mm. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije .

[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine (Sl. 4.8.3, dolje). Najveće smanjenje (do maksimalno 45 mm) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, dok bi do najvećeg povećanja količine oborine, oko 30 mm, došlo u jesen na otocima srednje Dalmacije.

4.8.4 Tlak zraka

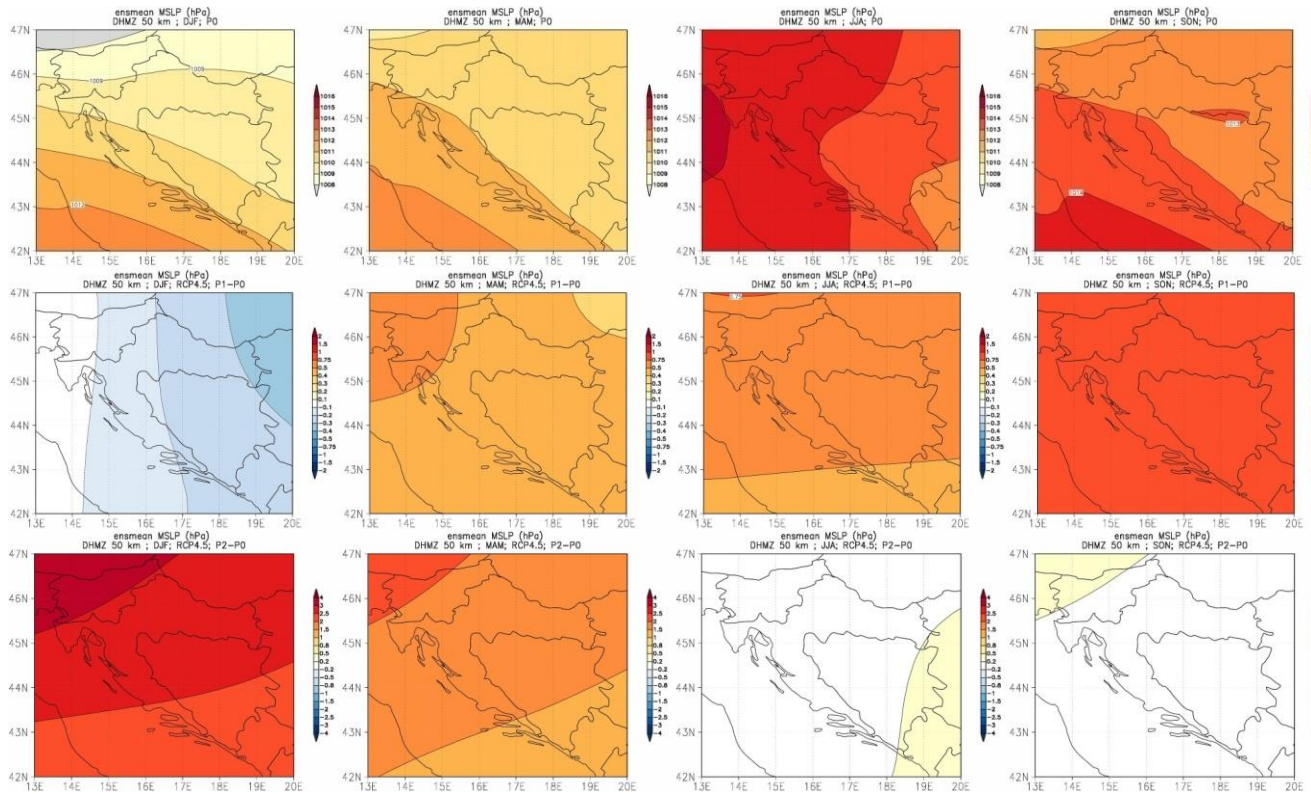
Sezonske srednje vrijednosti tlaka zraka imaju relativno jednoliku prostornu razdiobu u srednjaku ansambla (Sl. 4.8.4, gore). Zimske vrijednosti mijenjaju se od oko 1009 hPa na sjeveru do 1011 hPa na Jadranu. U proljeće je tlak u prosjeku od oko 1010 hPa u sjevernim krajevima do nešto više od 1011 hPa na primorju. Najviši tlak zraka u srednjaku ansambla je u ljeto – od 1013 hPa na istoku i u južnim krajevima, pa sve do oko 1015 hPa na zapadnoj obali Istre. U jesen je tlak nešto niži nego u ljeto i mijenja se od 1012 hPa na sjeveru do 1013 hPa u obalnom pojasu i zaleđu. Valja napomenuti da se, u srednjaku, tlak zraka u svim sezonama malo mijenja te da ne postoje velike razlike među pojedinim dijelovima Hrvatske.

U neposredno budućoj klimi (2011-2040.) jedino se u zimskoj sezoni očekuje blago smanjenje tlaka zraka – do maksimalno -0.4 hPa (Sl. 4.8.4, sredina). U ostalim sezonama došlo bi do manjeg povišenja srednjeg tlaka zraka: 0.4-0.5 hPa u proljeće, 0.5-0.6 u ljeto, te više od 0.8 hPa u jesen. Dakle, radi se o praktički zanemarivim promjenama u srednjaku ansambla, koje ne mogu imati neki veći utjecaj. Individualne realizacije RegCM modelom ne ukazuju na istovjetne projekcije promjene tlaka u P1. Primjerice, u zimi uz rubne uvjete dva GCM-a bi došlo do povećanja tlaka u čitavoj Hrvatskoj, a uz rubne uvjete druga dva GCM-a bi došlo do smanjenja tlaka zraka . Slične varijacije u projiciranim promjenama kod individualnih realizacija RegCM-om nalazimo i u drugim sezonama. No važno je napomenuti da te promjene, premda različite, nisu velike – najveći porast (pad) tlaka zraka u individualnim realizacijama je u zimi od 1.5 do 2.0 hPa.

[Pogled do 2070.] Po očekivanim promjenama tlaka zraka u razdoblju P2 jasno se razabiru zima i proljeće od ljeta i jeseni (Sl. 4.8.4, dolje). Dok bi u zimi i proljeće općenito došlo do povećanja srednjeg tlaka zraka, u ljeto i jesen se ne očekuju veće promjene u odnosu na referentnu klimu P0. Povećanje tlaka bilo bi veće u zimi (u većini krajeva iznad 1.5 hPa) nego u proljeće (0.9-1.5 hPa).



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.

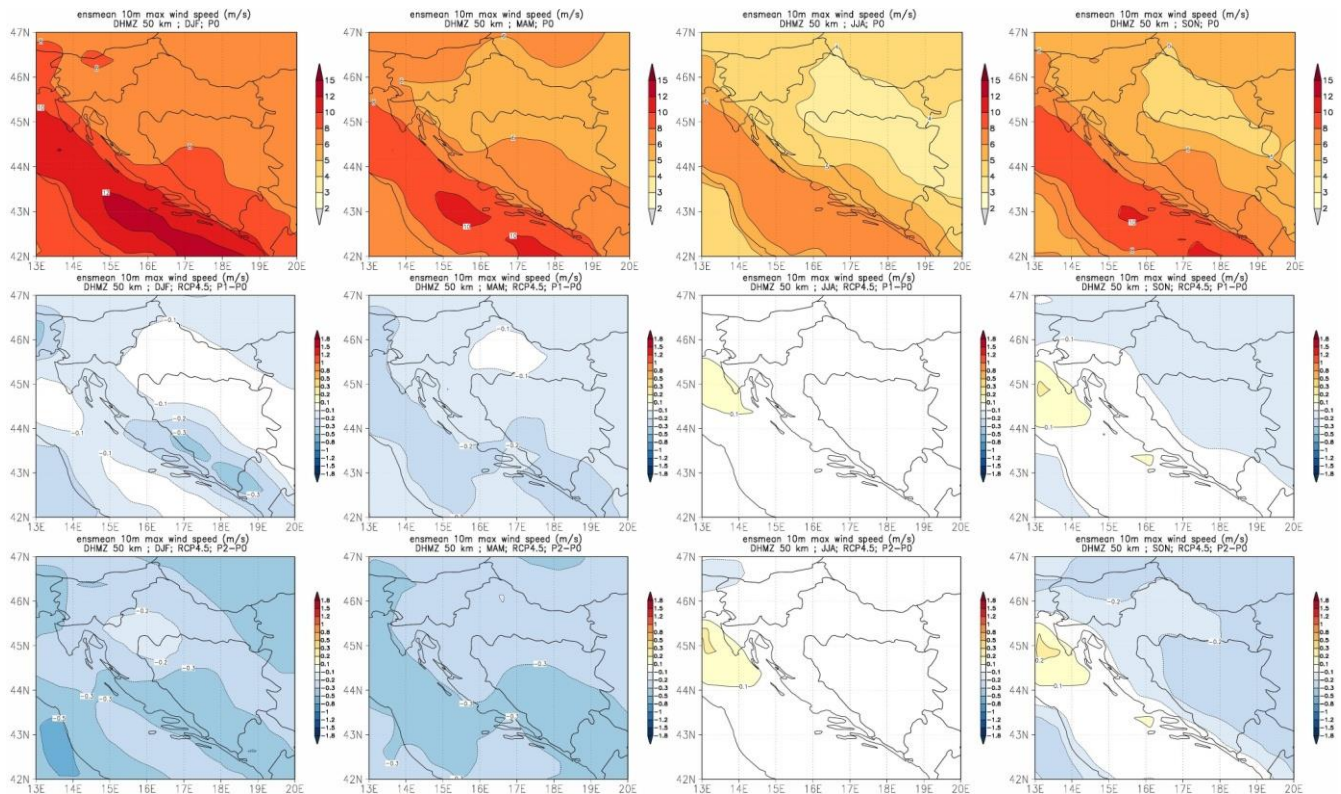


Slika 4.8.4 Srednji tlak zraka na morskoj razini (hPa) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

4.8.5 Maksimalna brzina vjetra na 10 m visine

Srednja maksimalna brzina vjetra na 10 m visine u srednjaku ansambla (Sl. 4.8.5, gore) najveća je zimi na otvorenom moru južnog Jadrana (10-12 m/s), te na otocima južne Dalmacije (8-10 m/s). U usporedbi sa srednjim satnim maksimalnim brzinama vjetra iz Zaninović i sur. (2008), modelirane vrijednosti su osjetno niže, tj. maksimalna brzina vjetra u modelu je podcijenjena. No, prostorna razdioba maksimalnih brzina prikazana u Sl. 4.8.5 (gore) podudara se s razdiobom izmjerenih satnim maksimuma. S obzirom da maksimalna brzina vjetra ovisi o lokalnim uvjetima (orografiji, nagibu, vegetaciji, preprekama, itd.), jedan od mogućih uzroka razlikâ između modeliranih i opaženih vrijednosti jest nemogućnost 50-km rezolucije da adekvatno prikaže detalje za lokaciju mjerenja. Prema unutrašnjosti se maksimalna brzina vjetra zimi smanjuje i u većem dijelu zemlje je između 4 i 5 m/s. U ostalim sezonama maksimalna brzina vjetra je manja nego u zimi, a prostorna razdioba je slična: vjetar je najjači na Jadranu, a smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti. U sjevernoj Hrvatskoj je maksimalni vjetar jači u proljeće nego u jesen: u proljeće su brzine od 4-5 m/s, a u jesen između 3 i 4 m/s. Najniže vrijednosti maksimalnog vjetra nalazimo u sjevernim krajevima ljeti (2-3 m/s). Istodobno, na Jadranu su vrijednosti od 4-5 m/s.

Do 2040. (razdoblje P1) očekuje se smanjenje maksimalne brzine vjetra u zimi, proljeće i u jesen, a jedino će u ljeto brzina ostati nepromijenjena (Sl. 4.8.5, sredina). Najveće smanjenje maksimalne brzine vjetra je u zimi (do 0.5 m/s ili između 5 i 10%) u krajevima gdje je vjetar u referentnoj klimi (P0) najjači – na južnom Jadranu i u zaleđu srednje i južne Dalmacije. Maksimalne brzine vjetra ostat će nepromijenjene u dijelovima sjeverne Hrvatske u zimi i u proljeće, a također u jesen u zapadnim i južnim krajevima. Uz zapadnu obalu Istre moguće je tijekom ljeta i jeseni manje povećanje maksimalnih brzina vjetra. Najveće promjene u individualnim integracijama daje RegCM uz rubne uvjete HadGEM2 modela na Jadranu: smanjenje maksimalnog vjetra do 1 m/s na sjevernom dijelu u proljeće i povećanje do 0.8 m/s na sjevernom i srednjem Jadranu u jesen.



Slika 4.8.5 Maksimalna brzina vjetra (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] Trend smanjenja maksimalne brzine vjetra nastavlja se i u razdoblju P2 u svim sezonama osim u ljeto kad se ne očekuje promjene (Sl. 4.8.5, dolje). U zimi i u proljeće ovo smanjenje proširilo bi se na čitavu Hrvatsku, a u jesen na veći dio zemlje, osim primorskih krajeva. Maksimalna brzina vjetra bila bi manja do 0.5 m/s na Jadranu i u krajevima uz Jadran. Povećanje maksimalne brzine do oko 0.3 m/s očekuje se na sjevernom Jadranu.

4.8.6 Otjecanje

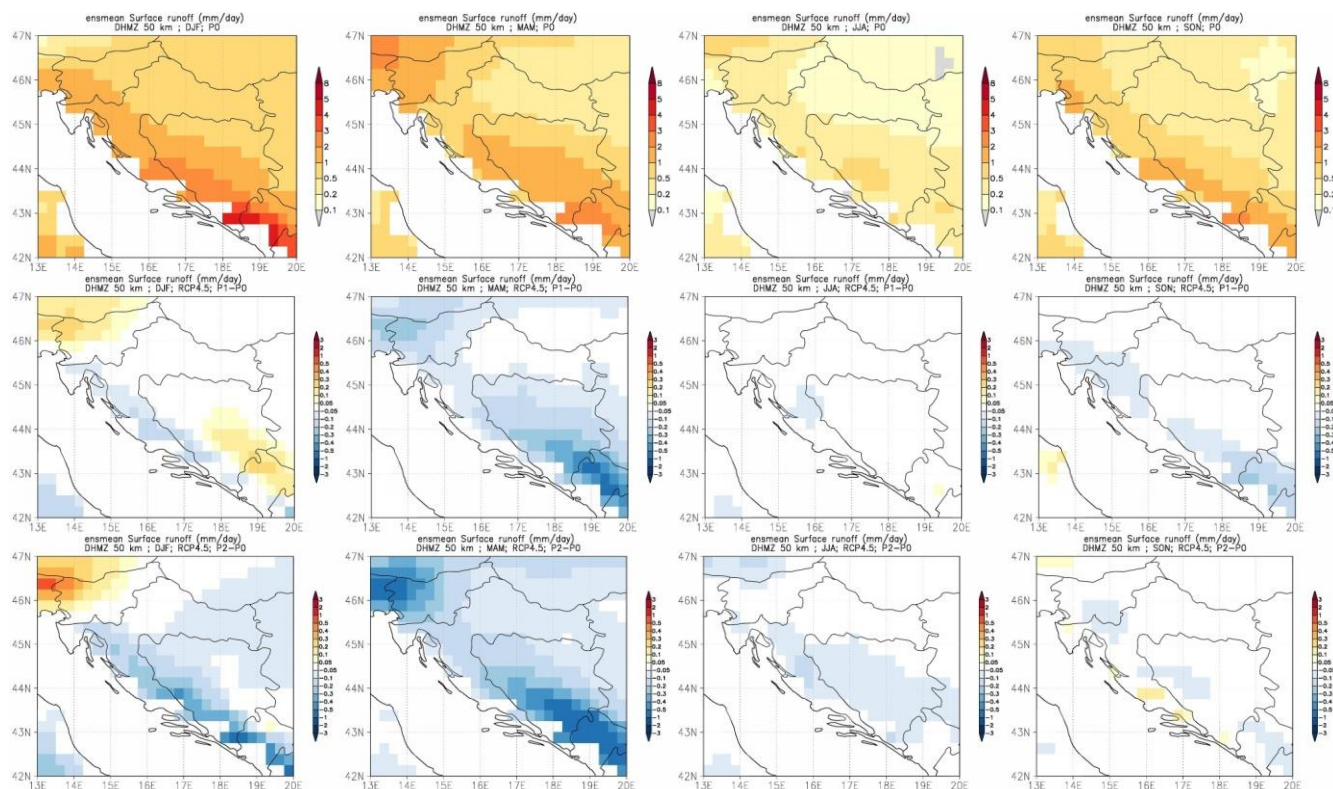
Ukupno otjecanje nije varijabla dostupna u outputu RegCM modela. Umjesto nje prikazano je i diskutirano površinsko otjecanje (*surface runoff*). Srednje površinsko otjecanje najveće je u Dalmaciji tijekom zime između 180 i 270 mm, zatim u dijelu Istre, sjevernom Primorju, Gorskom Kotaru i Lici od 90 do 180 mm, a u ostalim krajevima je između 45 i 90 mm (Sl. 4.8.6, gore). Najmanje je u ljeto, od 10 do 20 mm u sjevernoj Hrvatskoj i od 20 do 45 mm u ostalim krajevima. Vrijednosti u proljeće i jesen su između zimskih i ljetnih – najveće otjecanje, od 45 do 90 mm, je u Lici i Zagori i smanjuje se prema sjevernoj Hrvatskoj gdje od oko 20 do 45 mm.

U budućoj se klimi 2011.-2040. (P1) u većini krajeva tijekom godine ne očekuje se neka veća promjena površinskog otjecanja (Sl. 4.8.6, sredina). Međutim, u gorskim predjelima i djelomice u primorju došlo bi do smanjenja površinskog otjecanja: zimi do najviše 30 mm u Dalmaciji, a u ostalim sezonama i manje. Uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM predviđa maleni porast (do oko 20 mm) površinskog otjecanja u središnjoj Hrvatskoj i Gorskom Kotaru. Za rubne uvjete ostalih globalnih modela predviđa se smanjenje otjecanja kao što je opisano za srednjak ansambla, a uz rubne uvjete Cm5 modela RegCM daje u jesen i zimi smanjenje površinskog otjecanja na području čitave Hrvatske.

[Pogled do 2070.] U P2 tijekom proljeća očekuje se smanjenje površinskog otjecanja u čitavoj Hrvatskoj (Sl. 4.8.6, dolje). Vrijednosti smanjenog otjecanja su uglavnom male, od 5-10 mm u sjevernoj Hrvatskoj i između 10 i 20 mm u gorskim predjelima i sjevernoj Dalmaciji, ali je značajno da ono zahvaća čitavu zemlju. Zimi je smanjenje otjecanja pojačano u gorskim predjelima, ali bez



promjene u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U ljeto je smanjenje vrlo malo u planinskim krajevima, dok je u jesen promjena gotovo zanemariva.



Slika 4.8.6 Površinsko otjecanje (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

4.8.7 Snijeg

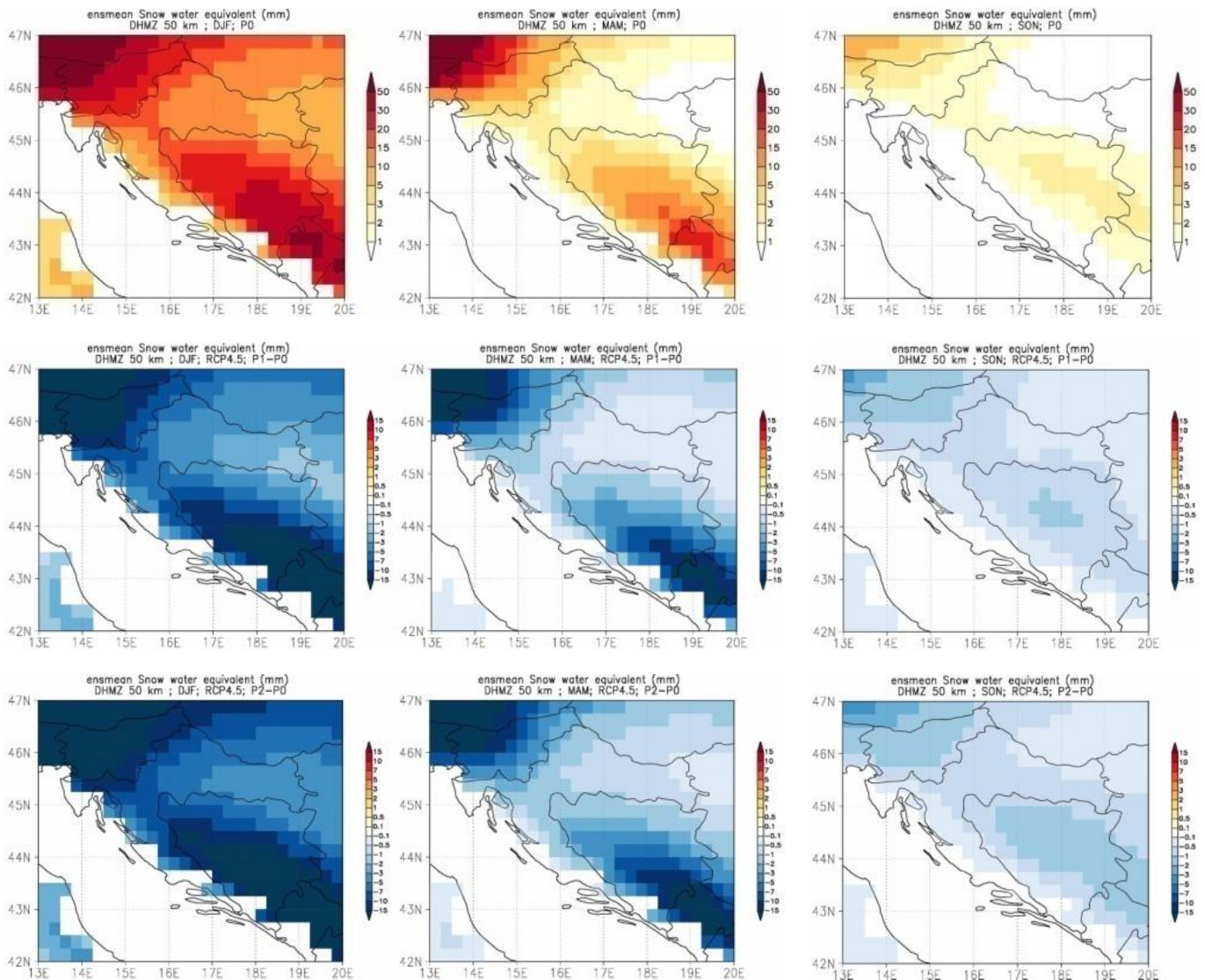
Varijabla otopljeni snijeg (*snow melt*) nije dostupna u outputu RegCM modela. Umjesto nje pokazani su i diskutirani rezultati za varijablu ekvivalentna voda snijega (*snow water equivalent, swe*). Ona predstavlja količinu (dubinu) vode (u mm) koja bi teoretski nastala kad bi se snježni pokrov trenutačno otopio. Ekvivalentna voda snijega je produkt visine snježnog pokrova i gustoće snijega. Ne postoji jedinstvena relacija između visine snježnog pokrova i ekvivalentne vode snijega (na pr. Sturm i sur., 2010). Gustoća snijega je najmanja za svježi snijeg, a povećava se sa starenjem snježnog pokrova. U prvoj aproksimaciji može se pretpostaviti da 10 cm snijega odgovara 1 cm (10 mm) ekvivalentne vode.

U referentnoj klimi P0 (1971.-2000..) najviše vrijednosti *swe*, između 15 i 20 mm nalazimo zimi u rubnom području gorske i središnje Hrvatske, istočnoj Lici, te na sjeverozapadu (Sl. 4.8.7, gore). Nešto manje snijega je u gorskim predjelima (10-15 mm), te u zapadnim i središnjim kontinentalnim predjelima. U ostalim krajevima je *swe* manji od 15 mm. U proljeće je maksimum *swe* između 2 i 3 mm u sjevernom dijelu Gorskog kotara i središnjoj Hrvatskoj, a u ostalim dijelovima kontinentalne Hrvatske je praktički zanemariv. Slično je i u jesen kad su iznosi još i manji od proljetnih. Razmjerno veće količine *swe* u sjevernom primorju nisu realistične i posljedica su neadekvatno razlučenih uskih planinskih lanaca na rezoluciji od 50 km.

Do 2040. (razdoblje P1) projicirano je u zimi smanjenje ekvivalentne vode snijega, dakle i smanjenje snježnog pokrova (Sl. 4.8.7, sredina). U većini krajeva sjeverne Hrvatske smanjenje je od 5 mm na zapadu do 1 mm na istoku, a u najsjevernijim predjelima od 5-7 mm. Isto toliko je smanjenje *swe* i dijelu planinske Hrvatske, dok je u sjevernom Gorskog Kotaru i nešto više, 7-10 mm. U proljeće i jesen smanjenje snježnog pokrova je manje nego u zimi, proporcionalno manjoj ukupnoj količini *swe*. Od individualnih realizacija, najveće smanjenje ekvivalentne vode u zimi je uz korištenje rubnih



uvjeta HadGEM2 modela, između 10 i 15 mm u gorskoj Hrvatskoj. Od četiri realizacije, ova RegCM integracija inače daje najveće količine *swe*, osobito u planinskim predjelima.



Slika 4.8.7 Ekvivalentna voda snijega (mm) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. nastavlja se u čitavoj Hrvatskoj smanjivanje ekvivalentne vode snijega (Sl. 4.8.7, dolje). Ono je najizraženije u planinskom dijelu zimi (7-10 mm), a u sjevernom Gorskom Kotaru i na Dinari od 10-15 mm. U istočnim krajevima je zimsko smanjenje *swe* 3-5 mm, dok je u ostatku kontinentalne Hrvatske od 5-10 mm. U proljeće se očekuje manji *swe* u gorskoj Hrvatskoj 1-2 mm, što je nešto manje nego u razdoblju P1. U jesen smanjenje snježnog pokrova od 0.5-1 mm zahvaća veći dio sjeverne Hrvatske.

4.8.8 Procjena učestalosti sušnih i vlažnih godina

Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split. Procjena sušnih/vlažnih godina napravljena na temelju oborinskih percentila, kao što je opisano na internetskoj stranici DHMZ-a http://klima.hr/ocjene_arhiva.php. Percentili su određeni iz razdoblja 1971.-2000.. (tj. 30-godišnjih količina oborine).



Svaka godina je ocijenjena na temelju godišnje količine oborine R_{year} kao:

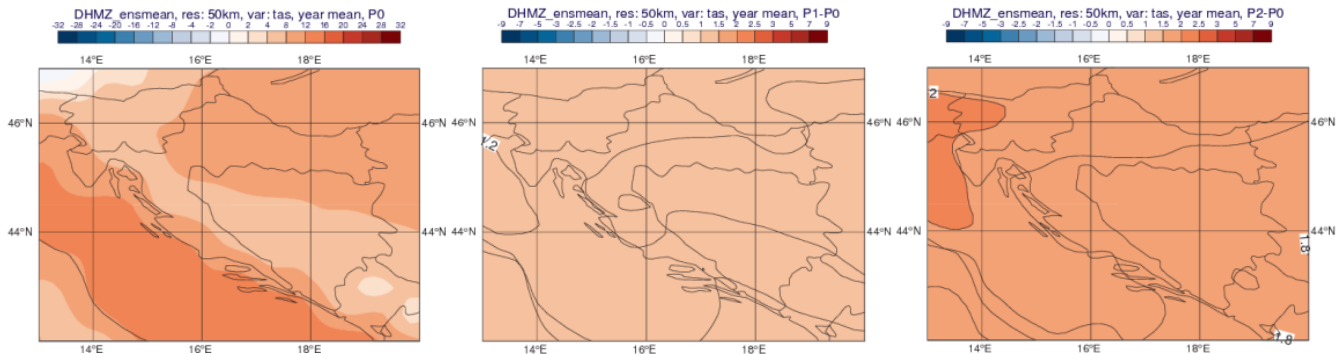
- 3: ekstremno sušna; $R_{year} < 2.$ percentila
- 2: vrlo sušna; $R_{year} \geq 2.$ percentila i $R_{year} < 9.$ percentila
- 1: sušna; $R_{year} \geq 9.$ percentila i $R_{year} < 25.$ percentila
- 0: normalna; $R_{year} \geq 25.$ percentila i $R_{year} < 75.$ percentila
- 1: kišna; $R_{year} \geq 75.$ percentila i $R_{year} < 91.$ percentila
- 2: vrlo kišna; $R_{year} \geq 91.$ percentila i $R_{year} < 98.$ percentila
- 3: ekstremno kišna; $R_{year} \geq 98.$ percentil.



4.9 PRIKAZ REZULTATA KLIMATSKOG MODELIRANJA PREMA PARAMETRIMA VAŽNIM ZA SEKTOR ENERGETIKA

4.9.1 Temperatura zraka

Godišnja vrijednost. Na godišnjoj razini razaznaju se tri karakteristična temperaturna područja Hrvatske: sjeverna Hrvatska s prosječnom temperaturom između 8 i 12 °C, gorska Hrvatska s temperaturom od 4 do 8 °C, te primorska Hrvatska s prosječnom temperaturom između 8 i 12 °C, uključujući vanjske otoke gdje je temperatura između 12 i 16 °C (Sl. 4.9.1, lijevo). Osim za primorski dio gdje su malo podcijenjene, ove simulirane temperature u srednjaku ansambla uglavnom se podudaraju s izmjerenim vrijednostima za razdoblje 1971.-2000. (Zaninović i sur. 2008).



Slika 4.9.1 Srednja godišnja temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi do 2040. očekuje se u čitavoj Hrvatskoj gotovo jednoličan porast temperature od 1 do 1.5 °C (Sl. 4.9.1, sredina). RegCM daje najveći porast temperature uz rubne uvjete HadGEM2 modela (do oko 1.8 °C), dok je uz rubne uvjete EC-Earth modela porast temperature najmanji - do 0.5 °C u sjevernim krajevima, te do 0.7 °C na otocima južnog Jadrana .

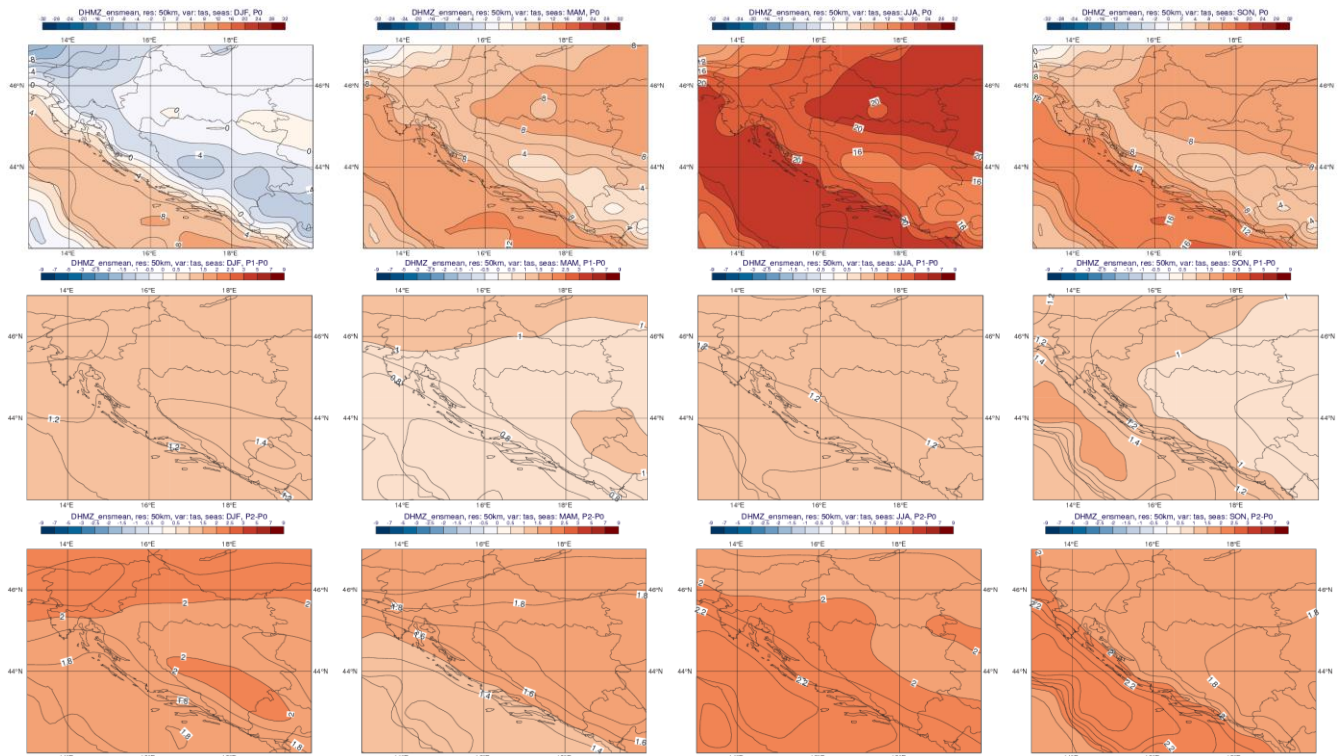
[Pogled do 2070.] Trend porasta temperature nastavlja se i do 2070. (Sl. 4.9.1, desno). Porast je i dalje jednoličan i iznosi između 1.5 i 2 °C. Nešto malo toplije moglo bi biti samo na krajnjem zapadu zemlje, duž zapadne obale Istre.

Sezonske vrijednosti. U srednjaku ansambla (Sl. 4.9.2, gore) uočava se sezonska varijabilnost srednje prizemne temperature. Zimi je u planinskim krajevima srednjak ansambla za srednju dnevnu temperaturu malo manji od -2 °C i nešto niži od izmjerenih vrijednosti (Ogulin 1, Gospić 0 °C; Zaninović i sur. 2008). U sjevernoj Hrvatskoj je temperatura malo ispod 0 °C, također nešto niža od izmjerene (Zagreb 1, Osijek 1). U primorskom dijelu zimska temperatura je između 2 i 6 °C. Negativne vrijednosti u području Kvarnera nisu realistične (u Rijeci je izmjereni zimski srednjak 6 °C) i posljedica su utjecaja “proširenja” temperature iz planinskih krajeva zbog neadekvatno razlučenog uskog planinskog pojasa i dijela sjevernog Primorja na 50-km rezoluciji u RegCM modelu. U ostalim su sezonama srednje dnevne temperature relativno dobro prikazane u srednjaku ansambla.

U razdoblju 2011-2040. (P1), očekuje se u svim sezonama porast prizemne temperature u srednjaku ansambla (Sl. 4.9.2, sredina). Porast temperature gotovo je identičan zimi i ljeti – između 1.1 i 1.2 °C. U proljeće u većem dijelu Hrvatske prevladava nešto manji porast: od 0.7 °C na otocima Dalmacije do malo više od 1 °C u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Jesenski porast temperature je između 0.9 °C u istočnoj Slavoniji do oko 1.2 °C na Jadranu, a u zapadnoj Istri i do 1.4 °C. Sve individualne realizacije također daju porast temperature. Rezultati variraju između 0-0.5 °C u proljeće i ljeto kad RegCM koristi rubne uvjete EC-Earth modela, sve do 2.5-3 °C u zimi i jesen kad RegCM koristi rubne uvjete HadGEM2 modela (jugozapadni dio Istre i neki otoci imaju porast i preko 3 °C).



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.9.2 Temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] U razdoblju do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do 2.2 °C, očekuje se na Jadranu u ljeto i jesen (Sl. 4.9.2, dolje). Nešto manji porast mogao bi biti ljeti u najsjevernijim krajevima i Slavoniji, a u jesen u većem dijelu Hrvatske. U zimi i proljeće je prostorna razdioba porasta temperature obrnuta od one u ljeto i jesen: porast je najmanji na Jadranu a veći prema unutrašnjosti. U proljeće je porast srednje temperature od 1.4 do 1.6 °C na Jadranu i postupno raste do 1.9 °C u sjevernim krajevima.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

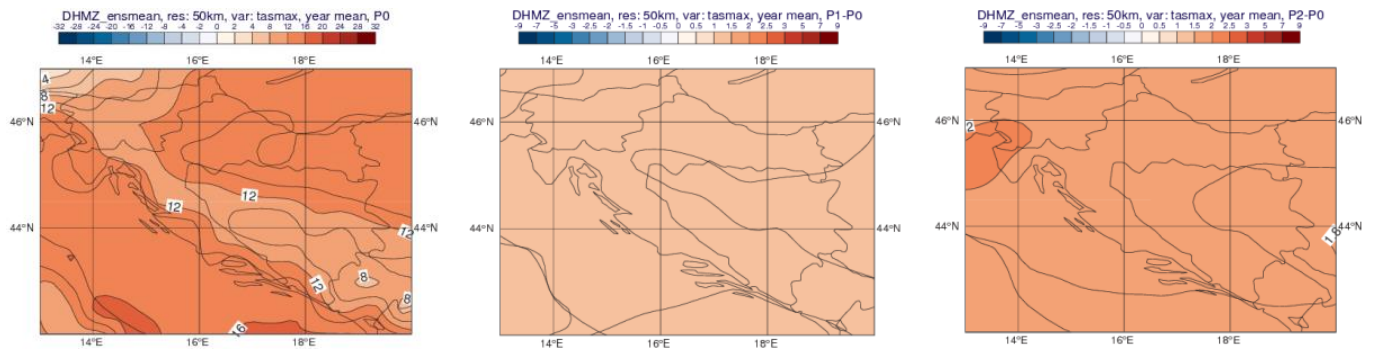
4.9.2 Maksimalna temperatura zraka (Tmax)

Godišnja vrijednost. Srednja godišnja maksimalna temperatura je u planinskom dijelu nešto niža od 12 °C (Sl. 4.9.3, lijevo). U sjevernoj i središnjoj Hrvatskoj je od 12 pa do malo iznad 14 °C, dok je u primorskom dijelu također od 12 °C pa sve do oko 15 °C na otocima. Modelirane vrijednosti su niže u odnosu na izmjerene vrijednosti (Zaninović i sur., 2008). Primjerice, srednja godišnja temperatura je u Gospiću 14, Osijeku 17, Zagrebu 16, Rijeci 18, Splitu 19 i Dubrovniku 20 °C.

U razdoblju buduće klime 2011.-2040. srednja maksimalna temperatura porast će gotovo jednolično na čitavom području Hrvatske između 1 i 1.5 °C (Sl. 4.9.3, sredina). Najveći porast je uz rubne uvjete HadGEM2 modela – od 1.8 °C u sjevernoj i južnoj Hrvatskoj, pa sve do oko 2 °C na zapadnoj obali Istre. Najmanji porast, od 0.3 do 0.4 °C u sjevernoj Hrvatskoj do malo više od 0.6 °C na jugu zemlje, ostvaren je uz rubne uvjete EC-Earth globalnog modela .



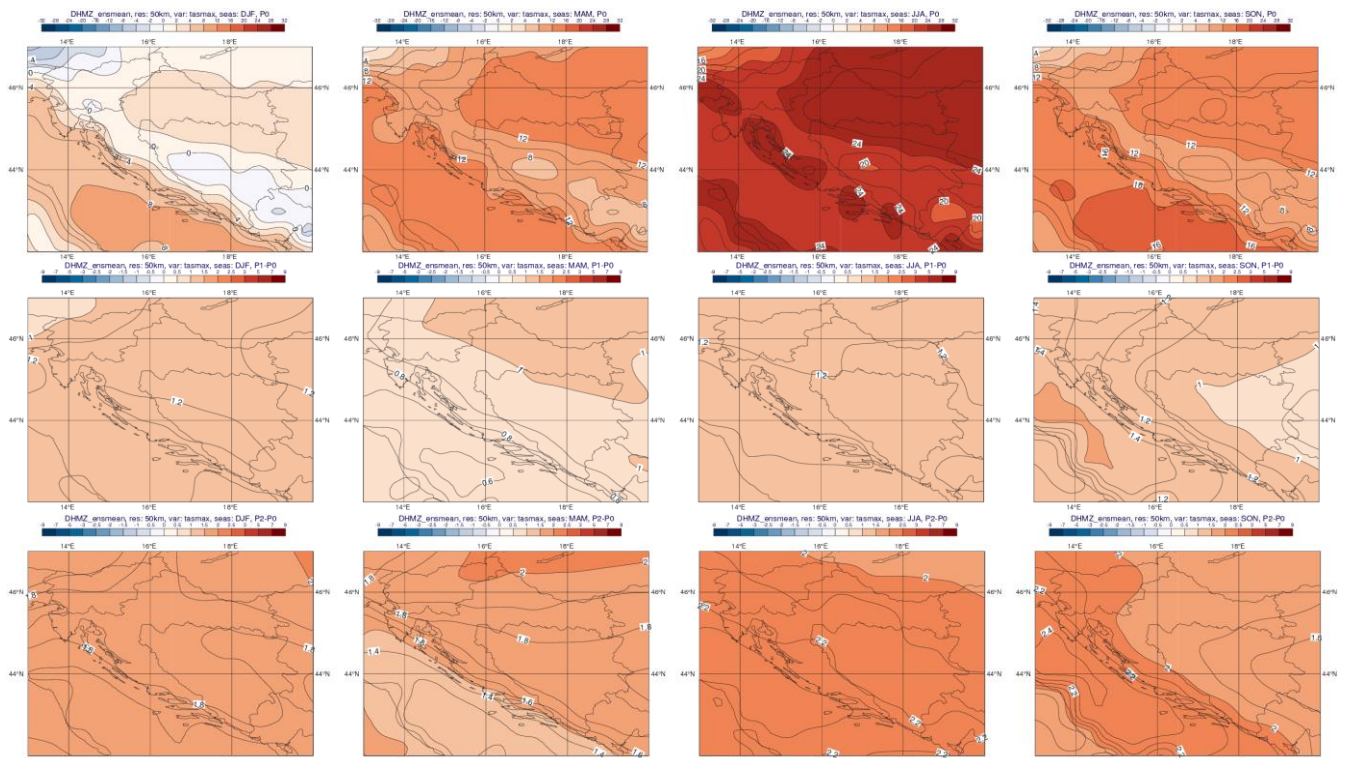
Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



Slika 4.9.3 Srednja godišnja maksimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. (P2) srednja godišnja temperatura će i dalje rasti, također gotovo jednolično u čitavoj Hrvatskoj kao u P1. Međutim, u P2 porast će biti veći - oko 1.9 °C, (Sl. 4.9.3, dolje), a u dijelu zapadne Istre očekuje čak i nešto veći porast od oko 2 °C.

Sezonske vrijednosti. U svakoj sezoni referentne klime (1971.-2000., razdoblje P0) razaznaju se tri karakteristična područja maksimalnih temperatura: sjeverna Hrvatska, gorski predjeli i primorska Hrvatska (Sl. 4.9.4, gore). Osim u zimi, vrijednosti simuliranih srednjih maksimalnih temperatura u sjevernom i primorskom dijelu su slične. U sjevernoj Hrvatskoj Tmax u srednjaku ansambla je nešto podcijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti na klimatološkim postajama iz Zaninović i sur. (2008). Primjerice u jesen je Tmax oko 14 °C u RegCM-u, a izmjerene vrijednosti su između 15 i 17 °C. U ostalim sezonama modelirane vrijednosti Tmax bliže su izmjerenim vrijednostima. U gorskoj i primorskoj Hrvatskoj također nalazimo niže Tmax u srednjaku ansambla nego što su opažene vrijednosti.



Slika 4.9.4 Maksimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.



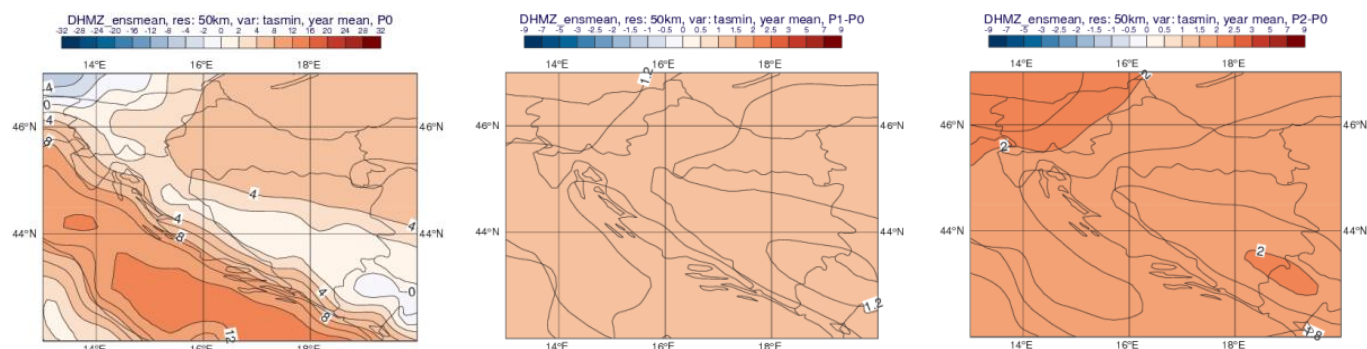
U neposredno budućoj klimi (2011.-2040., razdoblje P1) projiciran je gotovo jednoličan porast maksimalne temperature u srednjaku ansambla u svim sezonama osim u proljeće (Sl. 4.9.4, sredina). Porast je općenito veći od 1 °C, ali je manji od 1.5 °C, dok je u proljeće u središnjim i južnim predjelima porast nešto manji od 1 °C. Najveći porast, između 1.2 i 1.4 °C, je u jesen u primorskom dijelu. Najmanji porast Tmax, od 0.1 do 0.2 °C, daje realizacija RegCM modelom u proljeće uz rubne uvjete EC-Earth modela. Uz rubne uvjete HadGEM2 globalnog modela, porast Tmax je najveći u jesen: u unutrašnjosti do 2.5 °C, a u primorskom dijelu od 2.5 do 3.5 °C.

[Pogled do 2070.] Trend porasta maksimalne temperature u srednjaku ansambla nalazimo i u razdoblju 2041-2070 (P2). Zimi porast doseže do oko 1.8 °C u unutrašnjosti i na sjevernom Jadranu, a dalje prema srednjem i južnom Jadranu i do 1.9 °C (Sl. 4.9.4, dolje). Porast od 1.4 °C na otocima do oko 2 °C u sjevernoj Hrvatskoj nalazimo u proljeće, dok je u ljetnoj sezoni porast Tmax između 2 i 2.2 °C. U jesen bi maksimalna temperatura mogla porasti od 2 °C u većem dijelu unutrašnjosti, pa sve do 2.3 °C na otocima. Ovo je ujedno i najveći porast Tmax u srednjaku ansambla.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

4.9.3 Minimalna temperatura zraka (Tmin)

Godišnja vrijednost. Srednja godišnja minimalna temperatura u srednjaku ansambla najniža je u sjevernom dijelu Gorskog Kotara, te središnjoj i istočnoj Lici i iznosi nešto manje od 2 °C (Sl. 4.9.5, lijevo), a u ostatku planinske Hrvatske, ona je malo iznad 2 °C. U sjevernoj Hrvatskoj vrijednosti su nešto veće od 4 °C, a u najistočnijim krajevima dosežu i do 6 °C. U primorskoj Hrvatskoj, godišnja minimalna temperatura je od 4 °C u jadranskom zaleđu, pa sve do 10 °C na otocima južne Dalmacije. Ove vrijednosti relativno su dobro simulirane u usporedbi s izmjerenim podacima na postajama. Tako, izmjerena godišnja minimalna temperatura u razdoblju 1971.-2000. iznosi u Osijeku 6, Varaždinu 5, Gospiću 3, Zadar 11, Hvar 13 °C (Zaninović i sur., 2008).



Slika 4.9.5 Srednja godišnja minimalna temperatura zraka (°C) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

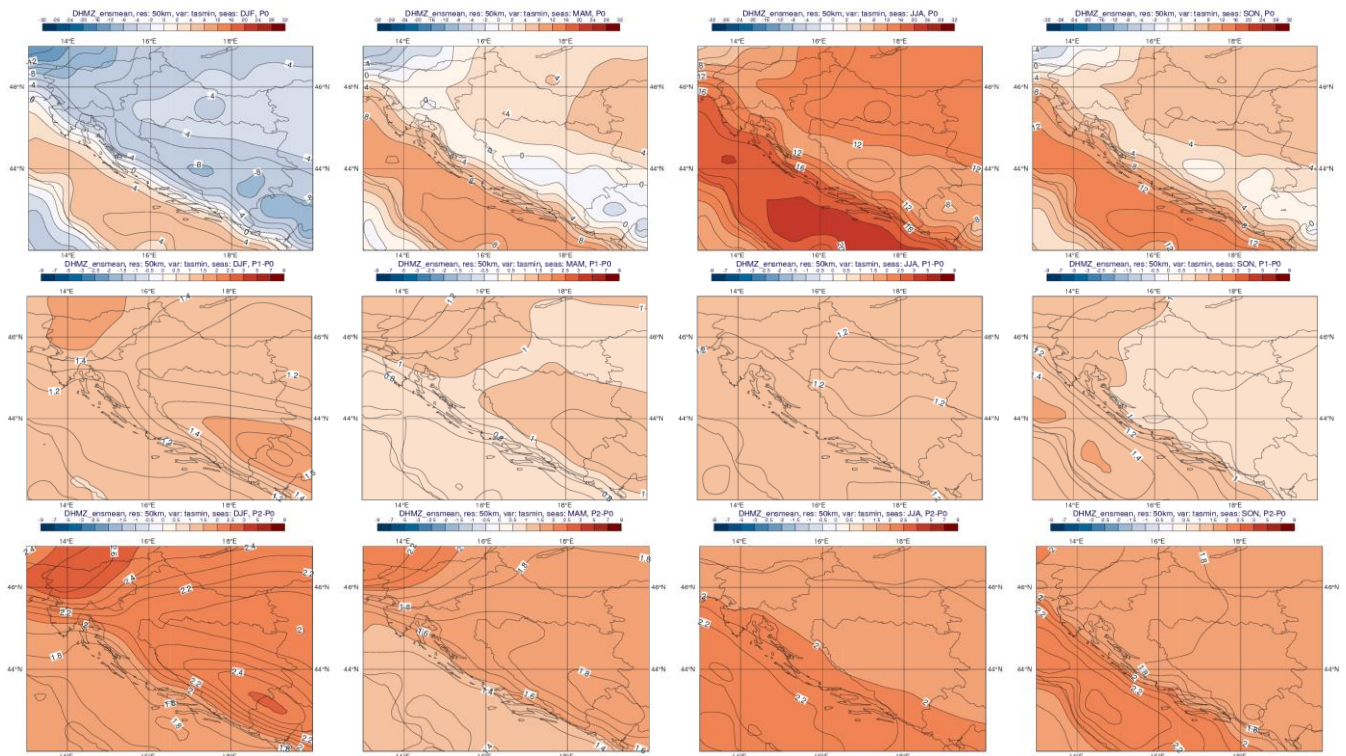
Do 2040. Očekuje se porast srednje minimalne temperature u čitavoj Hrvatskoj između 1.1 i 1.2 °C (Sl. 4.9.5, sredina). Slično kao i za godišnju maksimalnu temperaturu i ovdje je najveći porast ostvaren uz rubne uvjete HadGEM2 modela – od 1.8 °C na jugu Hrvatske, pa sve do više od 2 °C na zapadu i sjeveru. Najmanji porast godišnje minimalne temperature, od 0.5 do 0.6 °C daje integracija uz rubne uvjete EC-Earth modela.

[Pogled do 2070.] Porast godišnje minimalne temperature očekuje se i do 2070 (Sl. 4.9.5, desno). U prosjeku bi porast trebao biti između 1.8 i 2 °C, dakle slično kao i za maksimalnu temperaturu na godišnjoj razini.

Sezonske vrijednosti. Simulirane zimske minimalne temperature (Tmin) u srednjaku ansambla RegCM su u gorskim i sjeverozapadnim predjelima u intervalu između -4 i -7 °C (Sl. 4.9.6, gore). One podcjenjuju izmjerene klimatološke vrijednosti; primjerice, u Gospiću -4, a u Ogulinu -2 °C (Zaninović i sur. 2008). U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske Tmin je nešto viša, od -2 do -4 °C, a na planinama



Slavonije malo ispod $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. U primorskim krajevima T_{min} doseže $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ što se podudara s izmjerenim vrijednostima. U proljeće su minimalne temperature do najviše $+9\text{ }^{\circ}\text{C}$ na južnom Jadranu (u Dubrovniku je izmjereno $12\text{ }^{\circ}\text{C}$), a u gorskoj Hrvatskoj između 0 i $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je nešto niže nego u Zaninović i sur. (2008). Proljetna T_{min} u sjevernoj Hrvatskoj također je nešto niža od izmjerenih osim u Slavoniji gdje relativno dobro odgovara stvarnom stanju (Osijek $6\text{ }^{\circ}\text{C}$). U ljeto je T_{min} na sjeveru zemlje od 12 do $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, što se dobro podudara s izmjerenim 13 do $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, a sukladnost između simuliranih i izmjerenih vrijednosti također je dobra u gorskim i primorskim krajevima. Modelirane jesenske minimalne temperature su relativno dobro opisane u sjevernoj Hrvatskoj, ali su podcijenjene na primorju i u višim predjelima gorske Hrvatske.



Slika 4.9.6 Minimalna temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Najveći projicirani porast minimalne temperature u srednjaku ansambla do 2040. u zimskim mjesecima je između $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjevernoj Hrvatskoj i primorju do $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ u Gorskom Kotaru (Sl. 4.9.6, sredina). U ostalim sezonama porast T_{min} bio bi nešto manji, a najmanji u proljeće - od 0.7 - $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ na otocima i u primorju, pa do $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ u sjeverozapadnim krajevima. Očekivani porast ljeti je u srednjaku ansambla oko $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i gotovo je jednoličan u čitavoj zemlji. U jesen će porast biti od 1 do $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ u Gorskom Kotaru, te u priobalju i na otocima, a u ostalim krajevima malo manje od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najmanji projicirani porast T_{min} je uz rubne uvjete EC-Earth modela - u proljeće porast iznosi između $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ na primorju do $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ u gorskim predjelima. Uz rubne uvjet HadGEM2 porast T_{min} je najveći te u jesen doseže $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Jadranu.

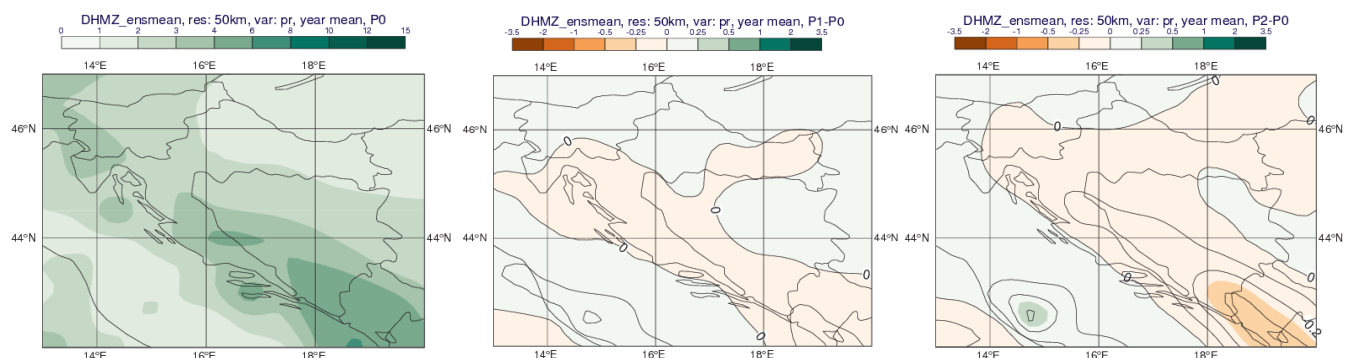
[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. se ponovno najveći porast minimalne temperature očekuje u zimi - od 2.1 do $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ u kontinentalnom dijelu, te od 1.8 do $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ u primorskim krajevima (Sl. 4.9.6, dolje). U svim ostalim sezonama porast T_{min} će biti nešto manji nego onaj zimski. U proljeće se očekuje između 1.4 u primorju do $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ na sjeveru zemlje; u ljeto između 1.9 na sjeveru i 2.2 stupnja na otocima; u jesen između 1.8 i $1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ u većem dijelu zemlje osim na Jadranu gdje se očekuje do $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na vanjskim otocima.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.



4.9.4 Oborine

Godišnja vrijednost. Srednjak ansambla simulirane godišnje količine oborine u referentnoj klimi (1971.-2000., P0) ima maksimum od oko 1200-1500 mm (3-4 mm/dan) u području Dinare, južno-dalmatinskih otoka, te na kopnenom jugu zemlje (Sl. 4.9.7). Ova količina ukupne oborine je veća od izmjerenih godišnjih vrijednosti za Knin (1026 mm; Zaninović i sur. 2008), koji leži zapadno od modeliranog maksimuma, te za Dubrovnik (1064 mm). Od individualnih realizacija jedino uz rubne uvjete HadGEM2 modela RegCM daje realističnu simulaciju količine oborine u predjelu Dinare (1095-1460 mm), dok uz rubne uvjete ostalih GCMs RegCM simulacije precjenjuju srednju godišnju količinu oborine. Modelirani maksimumi na dalmatinskim otocima i na dubrovačkom području također su precijenjeni. Ovo može biti posljedica ili nedovoljno dobro razlučene podjele kopno-more (engl. *land-sea mask*) na 50-km rezoluciji ili pak prečesto simuliranih (obilnih) oborina u izraženijem južnom strujanju iz područja Sredozemlja. Podjela kopno-more na 50-km rezoluciji ne razlučuje dovoljno dobro otoke na Jadranu koji su većinom izduženi i uži od 50 km. U tom slučaju u modelu je onda neki otok prikazan kao morska površina što može uzročiti češće (ili dugotrajnije) aktiviranje numeričkih shema za generiranje oborine.



Slika 4.9.7 Ukupna godišnja količina oborine (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041-2070.

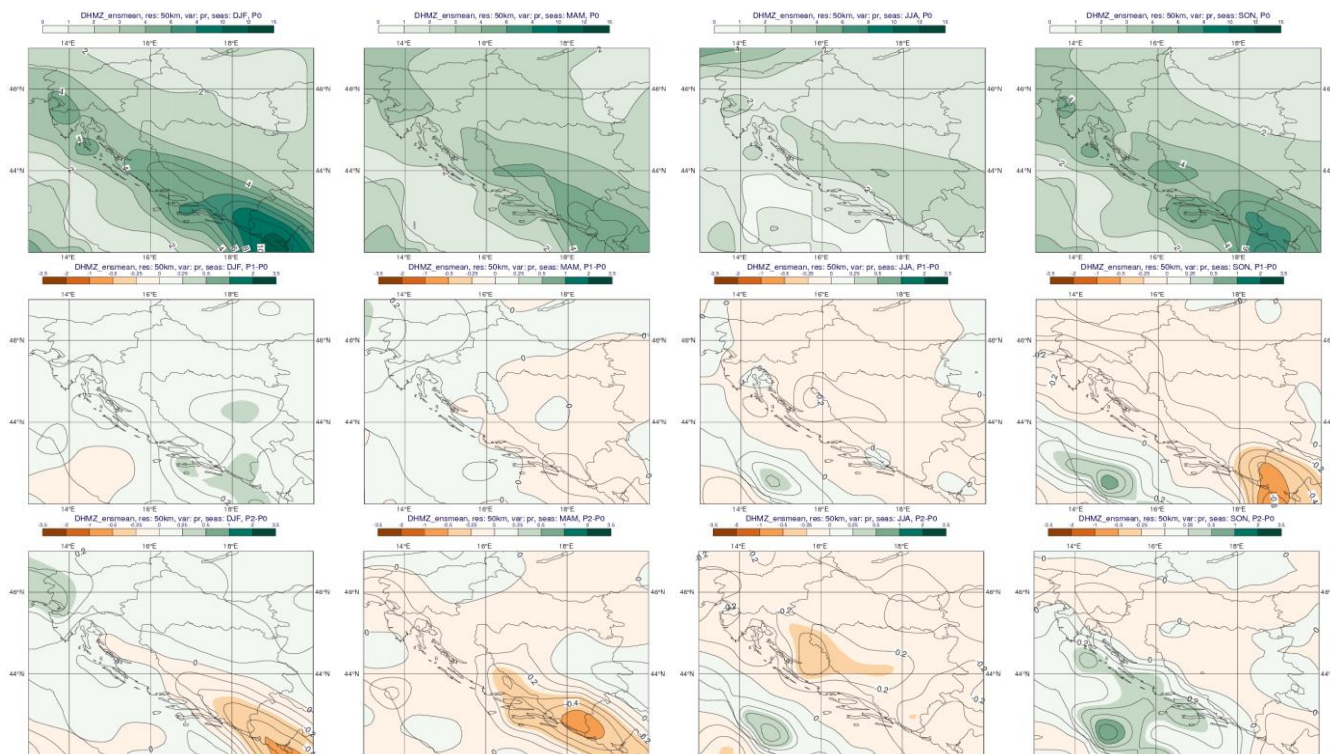
U budućoj klimi do 2040. za veći dio Hrvatske projicirano je vrlo malo smanjenje količine oborine (do najviše 30-ak mm), tako da ono neće imati značajniji utjecaj na godišnju količinu oborine (Sl. 4.9.7, sredina). U sjeverozapadnoj Hrvatskoj signal promjene je suprotnog predznaka, tj. predviđa se manji porast godišnje količine oborine, također ne više od 50-ak mm.

[Pogled do 2070.] Do 2070. trend smanjenja srednje godišnje količine oborine proširit će se gotovo na cijelu zemlju, osim na najsjevernije i najzapadnije krajeve (Sl.4.9.7, desno). Međutim, osim što će zahvaćati veći dio Hrvatske, valja naglasiti da to smanjenje količine oborine neće biti izraženo. Najveće smanjenje očekuje se u gorskim predjelima pa do zaleđa Dalmacije uz granicu s Bosnom i Hercegovinom (oko 40-ak mm), te u najjužniji kopnenim predjelima (oko 70 mm).

Sezonske vrijednosti. Srednja zimska količina oborine u srednjaku ansambla postupno raste od nešto manje od 180 mm u istočnoj Slavoniji i sjevernoj Hrvatskoj pa sve do više od 500 mm na jugu zemlje (Sl. 4.9.8, gore). Na sjeveru Hrvatske ova je količina veća od klimatoloških vrijednosti zabilježenih na postajama (Osijek 126 mm, Zagreb 139 mm; Zaninović i sur. 2008); dakle, na sjeveru su modelirane vrijednosti količine oborine precijenjene. Na jugu je ukupna količina simulirane oborine znatno precijenjena u odnosu na izmjerene vrijednosti (Split 227, Dubrovnik 316 mm). Najvjerojatniji razlog ovako velike količine modelirane oborine, osobito na krajnjem jugu zemlje, jest neadekvatan prikaz visoke orografije na 50-km rezoluciji i oštih gradijenata u količini oborine koje nalazimo u planinskim krajevima. U proljeće je količina oborine u kontinentalnim krajevima između 180 i 250 mm (izmjerene vrijednosti na postajama Osijek 151, Varaždin 186, Ogulin 353 mm), a u Lici i Zagori i više od 250 mm (Gospić 312, Knin 257 mm). Ljeto je sezona s najmanjom količinom simulirane oborine; u kontinentalnim krajevima osjetno je manja (90-150 mm) od izmjerenih vrijednosti (Osijek 209, Zagreb 265 mm). Ovo je najvjerojatnije posljedica neadekvatnog prikaza konvektivne (pljuskovite) oborine u modelu. Tijekom ljeta konvektivne su oborine relativno česte, a smanjene



Ljetne količine oborine u modelu može ukazivati ili na (a) nedovoljno čestu aktivaciju sheme za konvekciju (koja generira konvektivnu oborinu) ili na (b) nedovoljno dugo trajanje konvektivne oborine nakon što je shema za konvekciju aktivirana. Güttler i sur. (2015) pokazali su da pri relativno gruboj horizontalnoj rezoluciji shema za parametrizaciju konvekcije može imati degradirajući utjecaj na sustavne pogreške u modelu. U Lici su ljetne oborine (veće od 180 mm) relativno dobro simulirane (Gospić 239 mm), kao i 90-180 mm na Jadranu (Hvar 106, Dubrovnik 145). Jesenski maksimum u unutrašnjosti Dalmacije (nešto više od 360 mm) dobro je prikazan (Knin 334 mm), dok je u ostalim krajevima, osobito na sjeveru Hrvatske, jesenska količina oborina podcijenjena u modelu.



Slika 4.9.8 Ukupna količina oborine (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi 2011.-2040. projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji (Sl. 4.9.8, sredina). Porast količine oborine je u zimi manji od 20 mm; u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji, dok je smanjenje količine oborine u Slavoniji i južnim predjelima zanemarivo. Najveće ljetno smanjene količine oborine predviđeno je u južnoj Lici (do oko 20 mm), predjelu u kojem inače ljeti padne najveća količina oborine (180-270 mm). Najveće projicirano smanjenje ukupne količine oborine u jesen je oko 20 mm u Gorskom Kotaru i sjevernom dijelu Like, što čini oko 5% oborine u toj sezoni. Na krajnjem jugu smanjenje je između 20 i 40 mm, što je oko 5% manje u odnosu na simuliranu količinu oborine u referentnoj klimi. Najveće smanjenje količine oborine je uz rubne uvjete Cm5 modela – preko 90 mm u jesen u južnoj Hrvatskoj; najveće povećanje količine oborine dobiveno je uz rubne uvjete EC-Earth modela – preko 100 mm u zimi na otocima srednje Dalmacije .

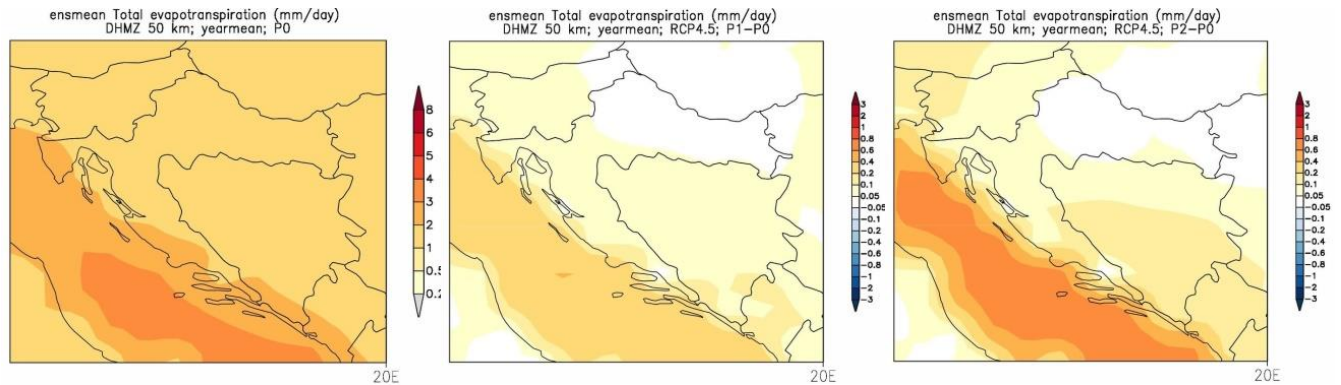
[Pogled do 2070.] U razdoblju P2 očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine (Sl. 4.9.8, dolje). Najveće smanjenje (do maksimalno 45 mm) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, dok će do najvećeg povećanja količine oborine, oko 30 mm, doći u jesen na otocima srednje Dalmacije.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.



4.9.5 Evapotranspiracija

Godišnja vrijednost. Simulirana srednja godišnja evapotranspiracija je u srednjaku ansambla u većem dijelu Hrvatske do oko 750 mm, a u srednjoj i južnoj Dalmaciji doseže vrijednosti do 1100 mm (Sl. 4.9.9, lijevo). Ovi podaci dobro se uklapaju u vrijednosti evapotranspiracije koji su izračunati iz mjerenih podataka parametara važnih za evapotranspiraciju (oborine, temperatura, vlažnost i brzina vjetra) na klimatološkim postajama (Zaninović i sur. 2008).



Slika 4.9.9 Godišnja evapotranspiracija (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućem klimatskom razdoblju P1 očekuje se u sjevernoj Hrvatskoj vrlo malo povećanje evapotranspiracije (manje od 20 mm). Promjena postaje nešto veća (do oko 40 mm) u središnjoj i gorskoj Hrvatskoj te u zaleđu Dalmacije (Sl. 4.9.9, sredina). Promjene su izraženije tek u obalnom dijelu i na otocima. U P1 one su od oko 75 pa sve do 150 mm. U individualnim realizacijama RegCM modelom, promjena evapotranspiracije u budućoj klimi P1 međusobno su slične. Najveće povećanje je uz rubne uvjete HadGEM2 modela u kontinentalnom dijelu Hrvatske (oko 50 mm), te na Jadranu i priobalju (do oko 350 mm na središnjem Jadranu). Ostali modeli daju manje vrijednosti porasta evapotranspiracije (evaporacije) što se odražava na srednjak ansambla u Sl. 4.9.9.

[Pogled do 2070.] Promjena evapotranspiracije je za veći dio Hrvatske u razdoblju od 2041.-2070. (P2) vrlo slična onoj u razdoblju P1 (Sl. 4.9.9, desno). Nešto izraženija promjena (od oko 75 mm) očekuje se u obalnom dijelu i zaleđu, pa do više od 200 mm na vanjskim otocima južnog Jadrana.

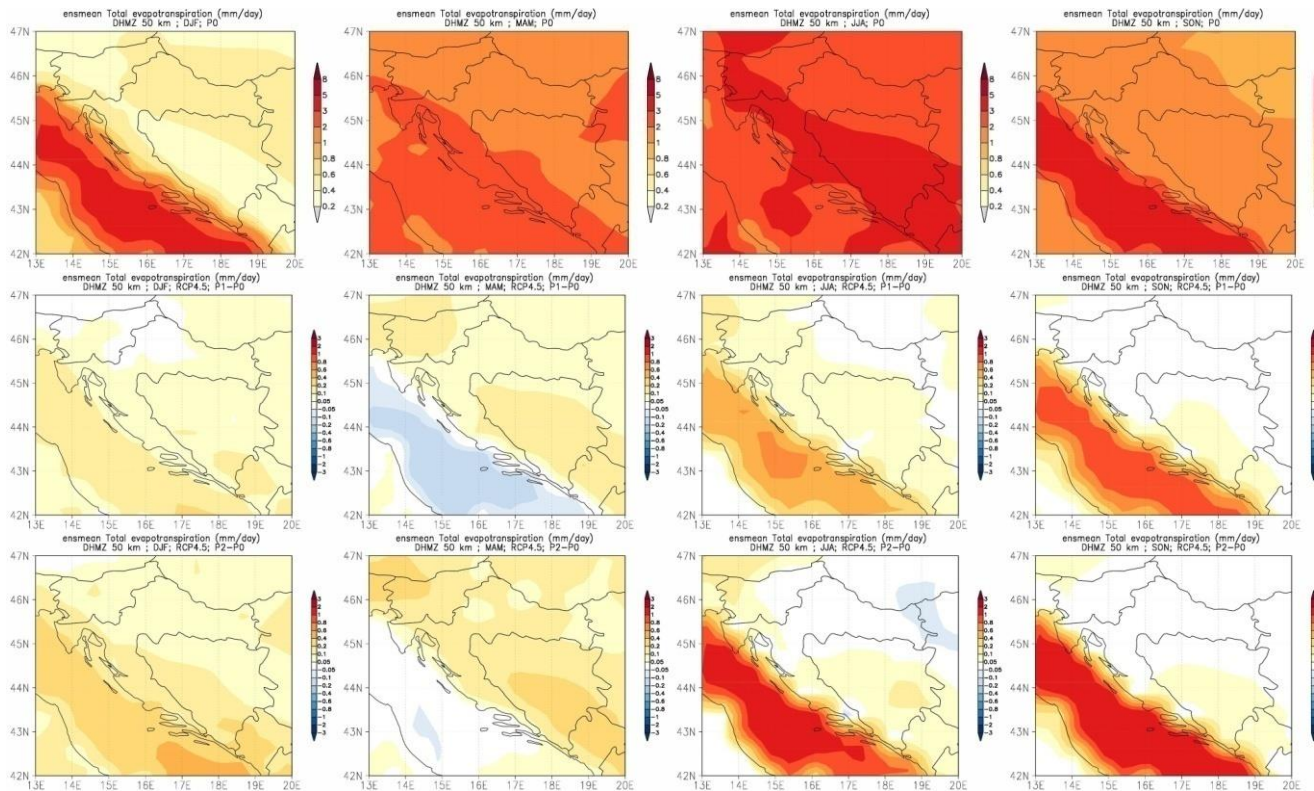
Sezonske vrijednosti. Ukupna evapotranspiracija zanemariva je u zimi u kontinentalnom dijelu, a u primorju mjestimice doseže između 90 i 180 mm u zaleđu Dalmacije, te nešto više na otocima. U proljeće najjača je u obalnom području i zaleđu, između 180 i 270 mm (Sl. 4.9.10, gore), a u ljeto je još veća u Lici i Gorskom Kotaru, što se dosta dobro podudara s podacima mjerenja za postaju Gospić (oko 265 mm). U ostalim područjima evapotranspiracija je nešto manja. U jesen je evapotranspiracija u većem dijelu zemlje slična onoj u proljeće. Nešto je veća na Jadranu (sada pretežno kao evaporacija), zbog toga što je površina mora još uvijek relativno topla.

U budućoj klimi do 2040. projicirano je povećanje evapotranspiracije u svim sezonama (Sl. 4.9.10, sredina). U proljeće povećanje je do oko 10 mm u većem dijelu zemlje i nešto više u zaleđu Dalmacije. Slične iznose povećane ukupne evapotranspiracije nalazimo i u ljeto u južnom dijelu Slavonije, zapadne Hrvatske, gorskim predjelima i Dalmaciji. Jače povećanje evapotranspiracije je ograničeno na otoke i zapadni dio Istre. U većem dijelu sjeverne Hrvatske neće doći do promjene ukupne ljetne i jesenske evapotranspiracije u neposrednoj budućnosti.

[Pogled do 2070.] Porast evapotranspiracije nastavlja se u zimi i u proljeće i u razdoblju 2041.-2070., ali neće prelaziti 20 mm (Sl. 4.9.10, dolje). U ljetnim mjesecima i u jesen, ne očekuje se promjena evapotranspiracije u odnosu na referentnu klimu, 1971.-2000.. Samo na Jadranu očekuje se nastavak povećanja evaporacije (iznad površine vode evapotranspiraciju možemo tumačiti kao evaporaciju).



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.

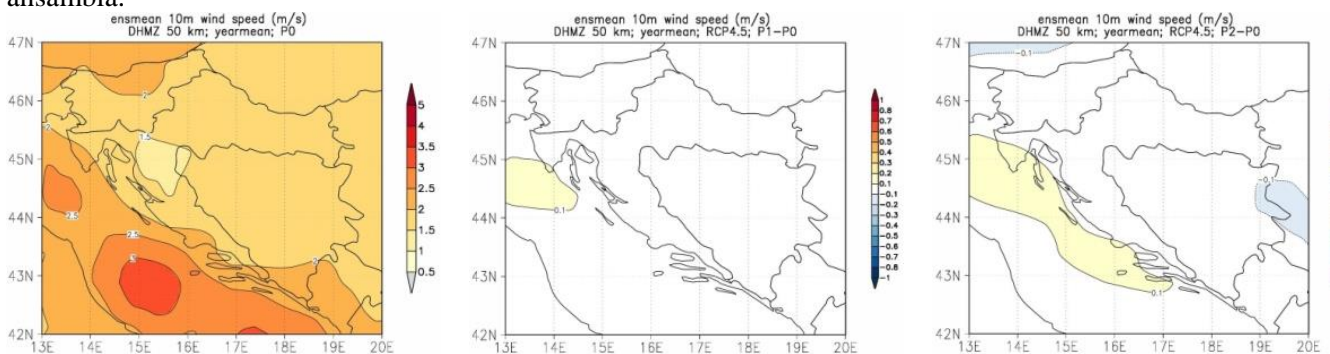


Slika 4.9.10 Evapotranspiracija (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

4.9.6 Brzina vjetra na 10 m visine

Godišnja vrijednost. Prevladavajuća srednja godišnja brzina vjetra je u većem dijelu Hrvatske između 1.5 i 2 m/s (Sl. 4.9.11, lijevo). Nešto manje vrijednosti (manje od 1.5 m/s) nalazimo u gorskim predjelima, a malo veće vrijednosti (od 2 do 2.5 m/s) su u zapadnoj Istri, te srednjoj i južnoj Dalmaciji. Najbolje podudaranje modeliranih i izmjerenih godišnjih vrijednosti je za gorske predjele (Ogulin 1,7, Gospić 1.7 m/s). U sjevernoj Hrvatskoj rezultati modela se slažu s izmjerenim podacima za Zagreb (1.7 m/s) i Sl. Brod (2.1 m/s), ali su u Osijeku (2.7 m/s) i u Varaždinu (2.4 m/s) vrijednosti veće od izmjerenih. Na sjevernom Jadranu godišnja brzina vjetra je dobro simulirana (Rijeka 1.8 m/s). Na srednjem i južnom Jadranu modelirani vjetar slabiji je od izmjerenog (Split 4.3, Dubrovnik 4.0 m/s), ali je tendencija porasta vjetra na južnom Jadranu u odnosu na sjeverni dobro prikazana u srednjaku ansambla.



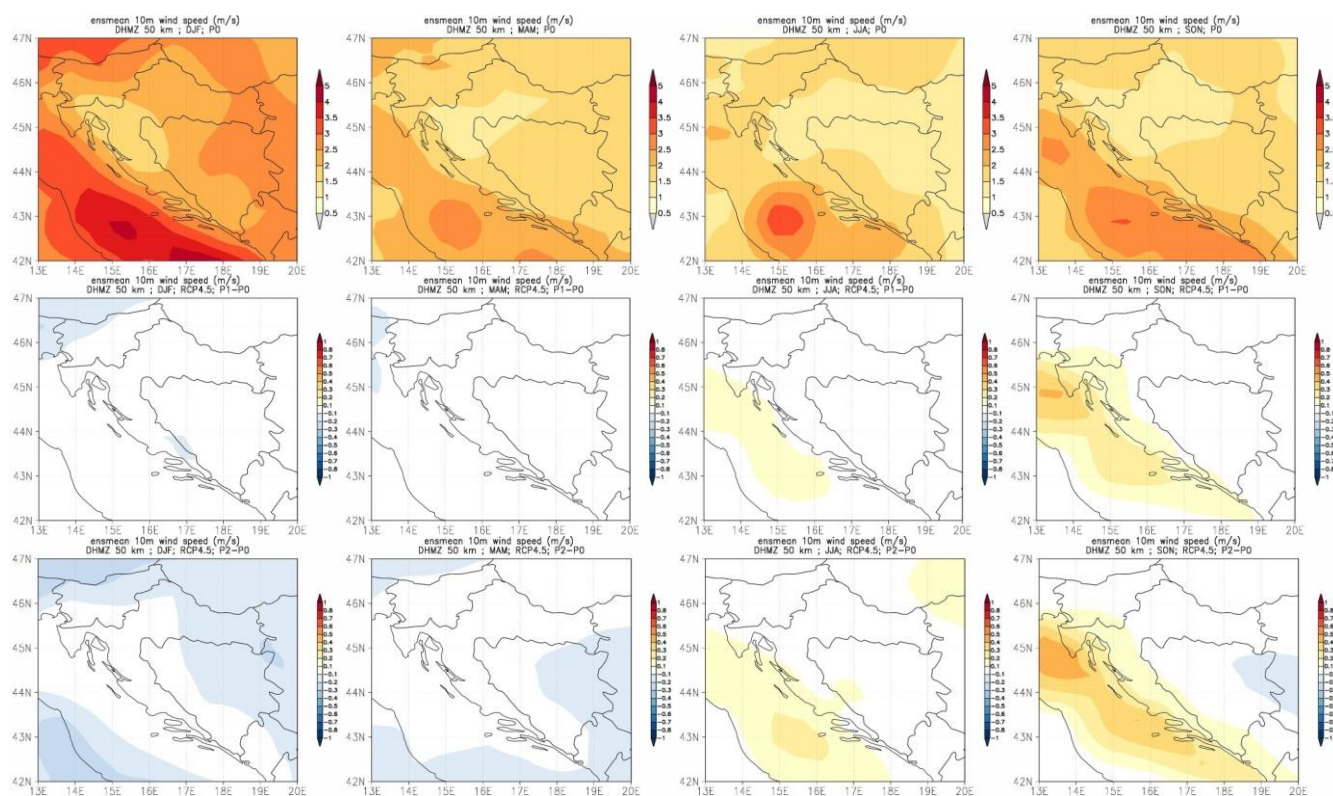
Slika 4.9.11 Godišnja brzina vjetra (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.



Do 2040. ne očekuje se promjena srednje godišnje brzine vjetra (Sl. 4.9.11, sredina). Sve individualne realizacije RegCM-a uz rubne uvjete četiri GCM-a daju vrlo slabe promjene godišnje brzine vjetra što se onda odražava i u srednjaku ansambla.

[Pogled do 2070.] Sličan rezultat kao i u P1 je i za razdoblje 2041.-2070. - kad se također ne očekuje bitna promjena godišnje brzine vjetra na 10 m (Sl.4.9.11, desno). Jedino je blagi porast od nešto više od 0.1 m/s predviđen u Istri i otvorenom moru sjevernog i srednjeg Jadrana.

Sezonske vrijednosti. Simulirana srednja brzina vjetra na 10 m visine u srednjaku ansambla najveća je zimi na otocima otvorenog dijela Jadrana i iznosi između 2.5 i 3.5 m/s (Sl. 4.9.12, gore). One su malo podcijenjene u odnosu na dostupne klimatološke podatke mjerenja; primjerice, u Dubrovniku je srednja satna brzina vjetra zimi oko 4.8 m/s (Zaninović i sur. 2008). Nešto niže vrijednosti, od 1.5 do 2 m/s, na Kvarneru su dobro simulirane; izmjerena zimska vrijednost na postaji Rijeka je 1.9 m/s. Prema unutrašnjosti se srednja brzina vjetra smanjuje, tako da je najmanja u gorskim predjelima, 1.5 do 2 m/s. Brzina vjetra se ponovno povećava prema sjeveru i istoku te u istočnoj Slavoniji doseže 2.5 do 3 m/s, dakle slično kao na Jadranu. Ovakva razdioba je realistična jer su izmjereni podaci za Zagreb 1.6, a za Osijek 2.8 m/s. U ostalim sezonama srednja brzina vjetra je manja nego u zimi, a prostorna razdioba je slična: vjetar je najjači na Jadranu, a smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti. Od proljeća do jeseni vidljiv je pojačani vjetar na središnjem dijelu Jadrana, koji u ljeto na otvorenom moru doseže od 3-3.5 m/s. Ovaj maksimum povezan je s prevladavajućim sjeverozapadnim etezijskim strujanjem na Jadranu u toplom dijelu godine (u nas poznatim kao maestral). Sezonski srednjaci (od proljeća do jeseni) za Split i Dubrovnik su od 3.4 pa sve do 4.5 m/s.



Slika 4.9.12 Brzina vjetra na 10 m visine (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Do 2040. srednja brzina vjetra neće se mijenjati u zimi i proljeće, ali će nešto porasti u ljeto na Jadranu (Sl. 4.9.12, sredina). Porast prosječne brzine vjetra osobito je izražen u jesen na sjevernom Jadranu (do oko 0.5 m/s) što predstavlja promjenu od oko 20-25% u odnosu na referentno razdoblje. Mali porast brzine vjetra projiciran je u jesen u Dalmaciji i gorskim predjelima, dok se u ostatku Hrvatske ne očekuje promjena srednje brzine vjetra. Rezultati individualnih integracija uz različite rubne uvjete iz globalnih klimatskih modela razlikuju se najviše za zimu i proljeće. Dok se, primjerice u sjevernoj



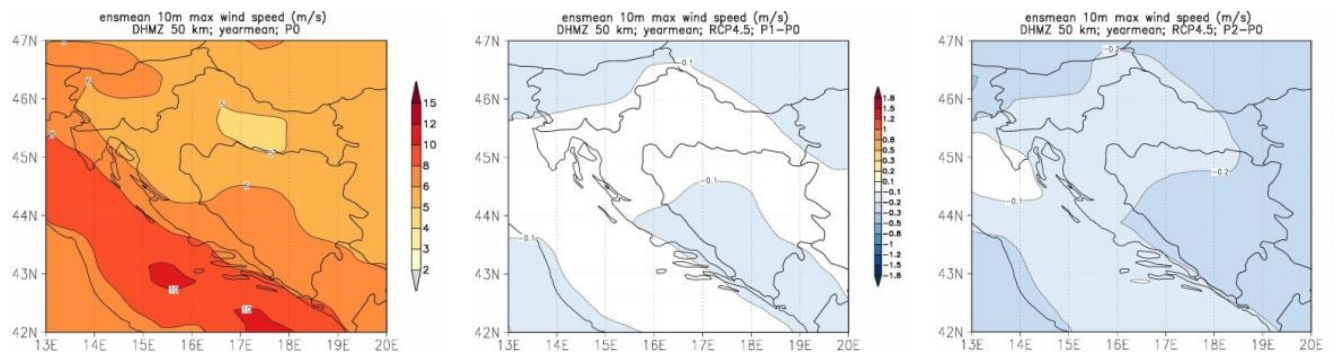
Hrvatskoj uz rubne uvjete MPI-ESM modela srednja brzina vjetra zimi povećava, uz rubne uvjete EC-Earth i HadGEM2 modela ona se smanjuje.

[Pogled do 2070.] U razdoblju P2, ne očekuje se promjena srednje brzine vjetra u zimi i u proljeće, osim blagog smanjenja u dijelu sjeverne i u istočnoj Hrvatskoj tijekom zime (Sl. 4.9.12, dolje). U ljeto se nastavlja trend jačanja brzine vjetra na Jadranu, slično kao u P1. Nešto izraženiji porast srednje brzine vjetra očekuje se u jesen na čitavom Jadranu i u priobalnim područjima, s maksimumom od 0.4 do 0.5 m/s duž zapadne obale Istre.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

4.9.7 Maksimalna brzina vjetra na 10 m visine

Godišnja vrijednost. U središnjem dijelu sjeverne Hrvatske godišnja maksimalna brzina vjetra u srednjaku ansambla malo je manja od 5 m/s (Sl. 4.9.13, lijevo). U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske, kao i u središnjoj i gorskoj Hrvatskoj, te na dijelu sjevernog primorja vrijednosti su između 5 i 6 m/s. Prema sjevernom dijelu Jadrana, zaleđu Dalmacije i sjevernoj i srednjoj Dalmaciji maksimalna brzina vjetra na godišnjoj razini povećava se do 8 m/s. Najveće vrijednosti, nešto više od 8 m/s, nalazimo u rubnom području otvorenog mora, te na otocima južne Dalmacije.



Slika 4.9.13 Srednja godišnja maksimalna brzina vjetra (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

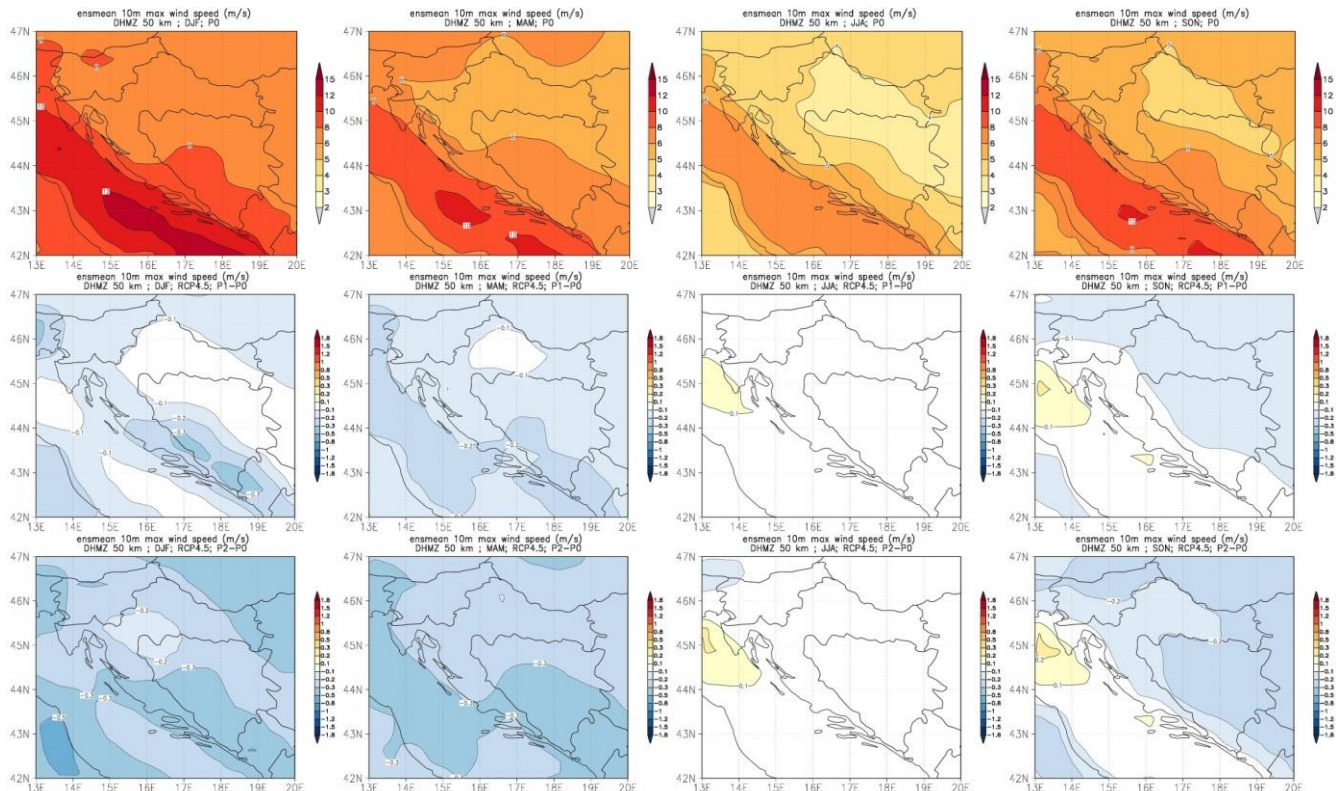
U neposredno budućoj klimi, do 2040., maksimalna brzina vjetra bi ostala praktički nepromijenjena u većem dijelu zemlje (Sl. 4.9.13, sredina). Malo smanjenje maksimalne brzine vjetra, od oko 0.1 m/s, nalazimo samo u Dalmaciji i na krajnjem istoku zemlje. Slične rezultate kao u Sl. 4.9.13 (sredina) daju i individualne integracije uz rubne uvjete četiri globalna klimatska modela: ili se maksimalna brzina vjetra ne mijenja, ili se očekuje neznatno smanjenje maksimalne brzine.

[Pogled do 2070.] Iz Sl. 4.9.13 (desno) očito je da se do 2070. maksimalna brzina vjetra neće značajniji promijeniti u odnosu na referentnu klimu P0. Smanjenje maksimalne brzine u srednjaku ansambla očekuje se u sjevernim, središnjim i gorski krajevima, te na sjevernom i srednjem Jadranu u iznosu od 0.1 do 0.2 m/s. Malo veće smanjenje maksimalne brzine (iznad 0.2 m/s) predviđa se u srednjoj i južnoj Dalmaciji.

Sezonske vrijednosti. Srednja maksimalna brzina vjetra na 10 m visine u srednjaku ansambla (Sl. 4.9.14, gore) najveća je zimi na otvorenom moru južnog Jadrana (10-12 m/s), te na otocima južne Dalmacije (8-10 m/s). U usporedbi sa srednjim satnim maksimalnim brzinama vjetra iz Zaninović i sur. (2008), modelirane vrijednosti su osjetno niže, tj. maksimalna brzina vjetra u modelu je podcijenjena. No, prostorna razdioba maksimalnih brzina prikazana u Sl. 4.9.14 (gore) podudara se s razdiobom izmjerenih satnim maksimuma. S obzirom da maksimalna brzina vjetra ovisi o lokalnim uvjetima (orografiji, nagibu, vegetaciji, preprekama, itd.), jedan od mogućih uzroka razlikâ između modeliranih i opaženih vrijednosti jest nemogućnost 50-km rezolucije da adekvatno prikaže detalje za lokaciju mjerenja. Prema unutrašnjosti se maksimalna brzina vjetra zimi smanjuje i u većem dijelu



zemlje je između 4 i 5 m/s. U ostalim sezonama maksimalna brzina vjetra je manja nego u zimi, a prostorna razdioba je slična: vjetar je najjači na Jadranu, a smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti. U sjevernoj Hrvatskoj je maksimalni vjetar jači u proljeće nego u jesen: u proljeće su brzine od 4-5 m/s, a u jesen između 3 i 4 m/s. Najniže vrijednosti maksimalnog vjetra nalazimo u sjevernim krajevima ljeti (2-3 m/s). Istodobno, na Jadranu su vrijednosti od 4-5 m/s.



Slika 4.9.14 Maksimalna brzina vjetra (m/s) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Do 2040. (razdoblje P1) očekuje se smanjenje maksimalne brzine vjetra u zimi, proljeće i u jesen, a jedino će u ljeto brzina ostati nepromijenjena (Sl. 4.9.14, sredina). Najveće smanjenje maksimalne brzine vjetra je u zimi (do 0.5 m/s ili između 5 i 10%) u krajevima gdje je vjetar u referentnoj klimi (P0) najjači – na južnom Jadranu i u zaleđu srednje i južne Dalmacije. Maksimalne brzine vjetra ostat će nepromijenjene u dijelovima sjeverne Hrvatske u zimi i u proljeće, a također u jesen u zapadnim i južnim krajevima. Uz zapadnu obalu Istre moguće je tijekom ljeta i jeseni manje povećanje maksimalnih brzina vjetra. Najveće promjene u individualnim integracijama daje RegCM uz rubne uvjete HadGEM2 modela na Jadranu: smanjenje maksimalnog vjetra do 1 m/s na sjevernom dijelu u proljeće i povećanje do 0.8 m/s na sjevernom i srednjem Jadranu u jesen.

[Pogled do 2070.] Trend smanjenja maksimalne brzine vjetra nastavlja se i u razdoblju P2 u svim sezonama osim u ljeto kad se ne očekuje promjene (Sl. 4.9.14, dolje). U zimi i u proljeće ovo smanjenje proširilo bi se na čitavu Hrvatsku, a u jesen na veći dio zemlje, osim primorskih krajeva. Maksimalna brzina vjetra bila bi manja do 0.5 m/s na Jadranu i u krajevima uz Jadran. Povećanje maksimalne brzine do oko 0.3 m/s očekuje se na sjevernom Jadranu.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

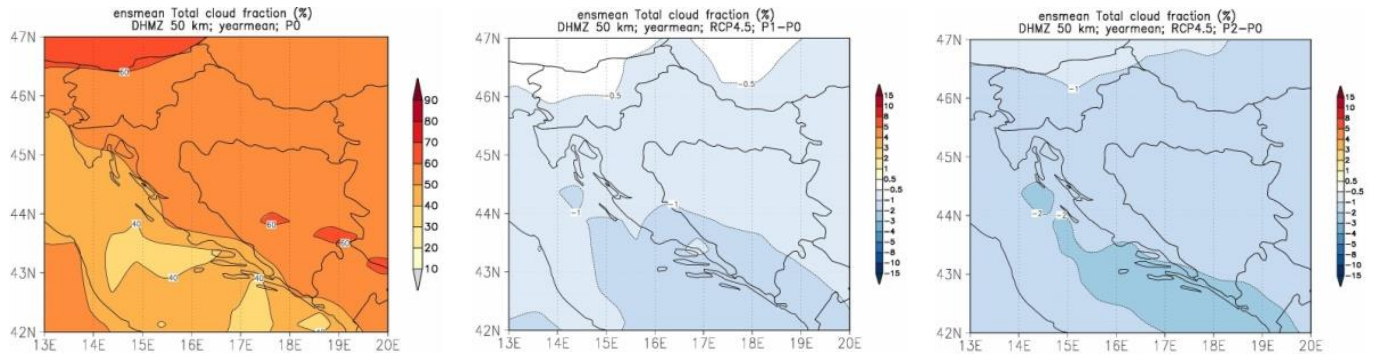
4.9.8 Naoblaka

Godišnja vrijednost. U godišnjem i srednjaku ansambla najveći dio Hrvatske pokriven je s više od 50% ali manje od 60% naoblake (Sl. 4.9.15, lijevo). Jedino je u većem dijelu primorja godišnja



naoblaka manja, između 40 i 50%. Ovakva razdioba modeliranih vrijednosti dosta se dobro slaže s osmotrenim godišnjim vrijednostima na postajama; primjerice, Osijek 55%, Varaždin 59%, Zagreb 61%, Gospić 58%, Rijeka 55%, Zadar 43%, Split 46%, Dubrovnik 43%.

U razdoblju 2011.-2040. (P1) ukupna godišnja naoblaka neznatno bi se smanjila – od 0.5 do 1% (Sl. 4.9.15, sredina). Ovaj rezultat konzistentan je za sve individualne realizacije kad je RegCM forsiran rubnim uvjetima četiri GCM-a.



Slika 4.9.15 Srednja godišnja ukupna naoblaka (%) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] Do 2070. (razdoblje P2) očekuje se daljnje smanjenja ukupne naoblake na godišnjoj razini (Sl. 4.9.15, desno). U većem dijelu Hrvatske bi smanjenje bilo oko 1-2%, a samo na jugu malo veće od 2%.

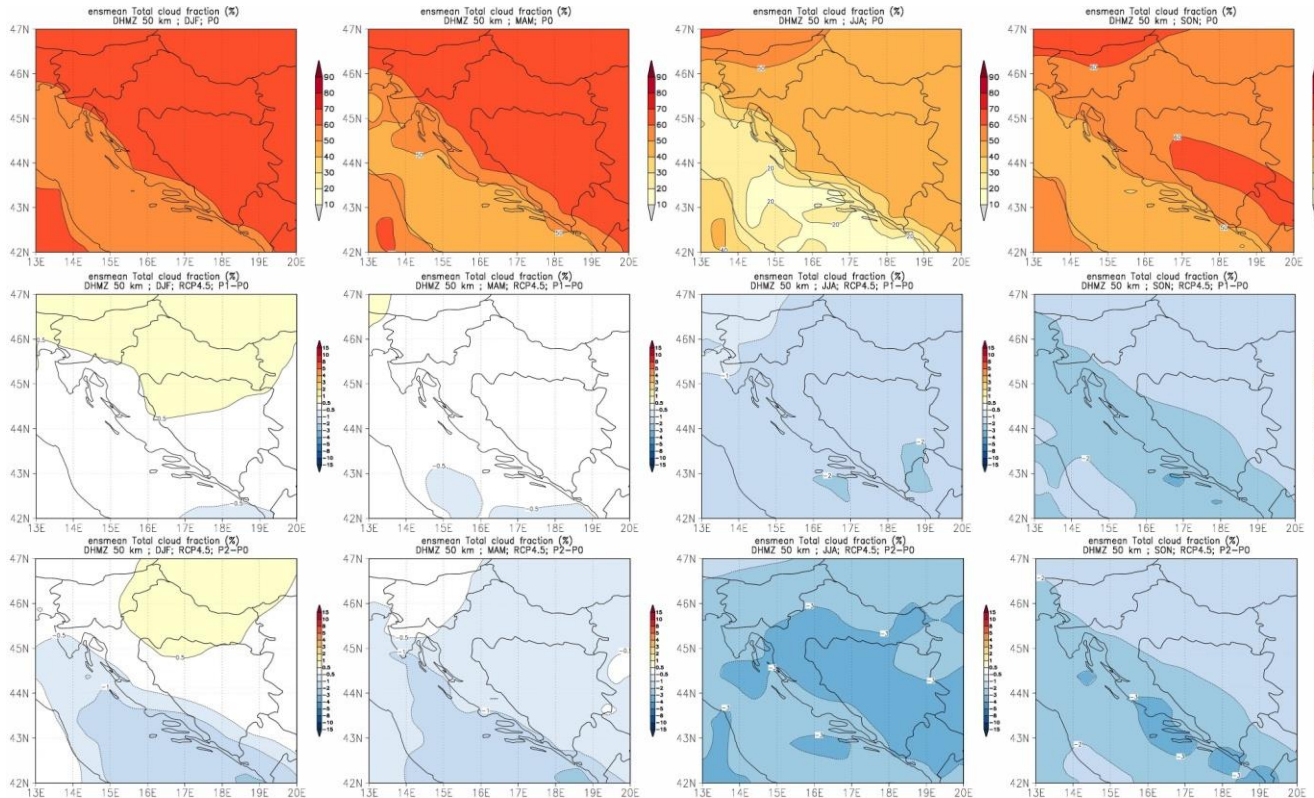
Sezonske vrijednosti. U referentnoj klimi, izolinija koja zimi označava 60% ukupne naoblake jasno razdvaja primorski pojas od ostataka Hrvatske (Sl. 4.9.16, gore). Ovakva razdioba se dosta dobro slaže s opaženim klimatološkim vrijednostima (Zaninović i sur. 2008). Primjerice, u kontinentalnom dijelu samo u Zagrebu i Sl. Brodu naoblaka je zimi malo veća od 70%, dok je na Jadranu svugdje ispod 60%, odnosno malo iznad 50%. U proljeće se granica modelirane naoblake od 60% povukla malo prema unutrašnjosti, tako da je na otocima srednjeg i južnog Jadrana ispod 50% (opažena vrijednost naoblake za Zadar je 47%, Hvar 49%). U ljeto naoblaka doseže minimalne vrijednosti od oko 20% na otocima Dalmacije do oko 50% na sjeveru Hrvatske. One se vrlo dobro podudaraju s opaženim ljetnim vrijednostima: od 26% u Dubrovniku i 27% na Hvaru do 49% u Zagrebu, Varaždinu i Sl. Brodu. U jesen se vrijednosti modelirane naoblake povećavaju u odnosu na ljetne iznose, ali su u unutrašnjosti još uvijek manji od proljetnih. Tako, na otocima, dijelu Istre i u središnjoj Dalmaciji naoblaka je manja od 50% (opažena je od 43 do 46%), a u ostatku Hrvatske do nešto manje od 60% (opažene vrijednosti su, primjerice, 54% u Osijeku, 59% u Varaždinu, 63% u Zagrebu, 64% u Ogulinu). Dakle, možemo zaključiti da su u srednjaku ansambla modelirane vrijednosti naoblake relativno dobro prikazane u usporedbi s opaženim klimatološkim podacima.

U budućoj klimi do 2040. (P1) ne očekuju se izraženije promjene naoblake (Sl. 4.9.16, sredina). Najveća promjena je smanjenje ukupne količine naoblake do oko 3% u jesen na središnjem Jadranu. U ljeto će se naoblaka neznatno smanjiti, a u zimi u sjevernoj Hrvatskoj očekuje se također sasvim neznatan porast. I u većini individualnih realizacija očekuje se manji porast naoblake zimi, prvenstveno u unutrašnjosti. Uz HadGEM2 rubne uvjete naoblaka će malo porasti i u proljeće. U ljeto i jesen se očekuje malo smanjenje naoblake uz rubne uvjete svih globalnih modela.

[Pogled do 2070.] Projekcije od 2041. do 2070. nastavljaju sa smanjenjem naoblake u svim sezonama osim u zimi kad se očekuje mali porast u sjevernim krajevima, slično kao u P1 (Sl. 4.9.16, dolje). Najveće smanjenje, malo više od 3%, očekuje se ljeti u središnjim krajevima, a također na jesen u Dalmaciji u istom iznosu.



Strategija prilagodbe klimatskim promjenama: Podaktivnost 2.2.1. Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC VELEbit za potrebe izrade nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. I s pogledom na 2070. I Akcijskog plana. Projekt financiran od EU za naručitelja Središnju agenciju za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) i korisnika Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Projekt provodi EPTISA ADRIA d.o.o.



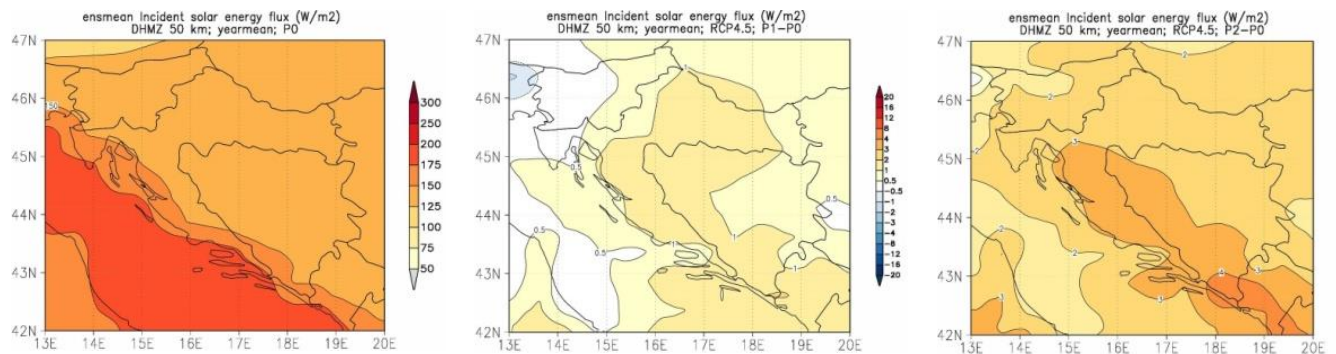
Slika 4.9.16 Ukupna naoblaka (%) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

4.9.9 Sunčano zračenje

Trajanje sisanja sunca nije standardna varijabla outputa RegCM klimatskog modela (niti je standardna varijabla za Cordex integracije). Umjesto insolacije bit će pokazan i diskutiran fluks ulazne sunčane energije (*incident solar energy flux*, *sina*) mjereno u W/m^2 . (U našoj literaturi nalazimo još termin “dozračena sunčana energija” (*solar irradiation*), Zaninović i sur. 2008.)

Godišnja vrijednost. Za veliki dio Hrvatske srednji godišnji fluks ulazne sunčane energije je između 125 i $150 W/m^2$ (Sl. 4.9.17, lijevo). U uskom primorskom pojasu fluks je veći, od 150 - $175 W/m^2$, a samo na otocima Dalmacije je iznad $175 W/m^2$.



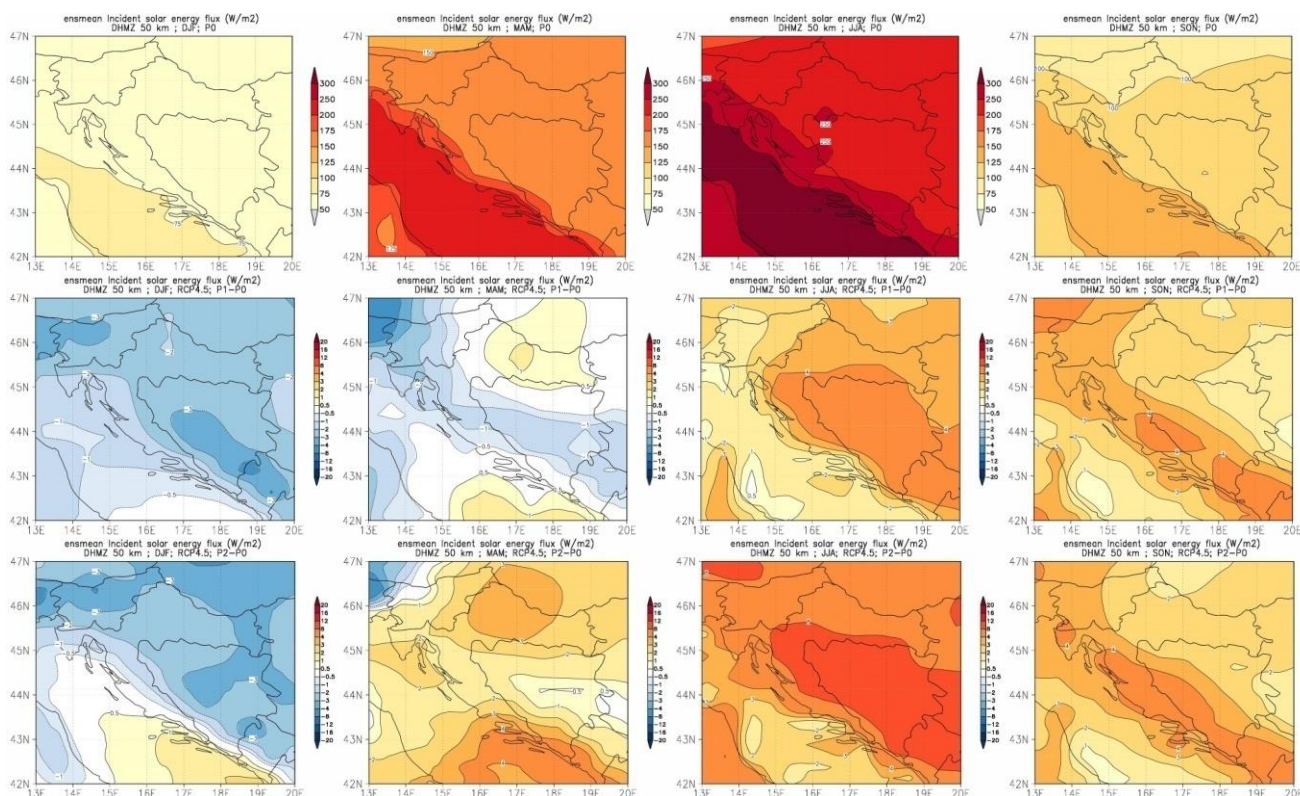
Slika 4.9.17 Srednji godišnji fluks ulazne sunčane energije (W/m^2) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011-2040; desno: promjena u razdoblju 2041-2070.



U razdoblju 2011.-2040. očekuje se vrlo mali porast fluksa – između 0.5 do 1 W/m^2 , a u Istri ne bi došlo do promjene (Sl. 4.9.17, sredina). Ova mala promjena u srednjaku ansambla posljedica je različitih promjena u pojedinim individualnim realizacijama. Naime, uz rubne uvjete dva GCM-a (Cm5 i MPI-ESM) RegCM daje povećanje fluksa u neposredno budućoj klimi, dok uz rubne uvjete druga dva GCM-a (HadGEM2 i EC-Earth) RegCM daje smanjenje fluksa ulazne sunčane energije. Međutim, valja napomenuti da su te promjene od jedne realizacije do druge vrlo male u odnosu na referentne vrijednosti u Sl. 4.9.17 (lijevo); najveća vrijednost promjene od $+4 \text{ W/m}^2$ nalazimo uz rubne uvjete MPI-ESM modela iznad središnje Slavonije.

[Pogled do 2070.] Porast fluksa ulazne sunčane energije nastavlja se i u razdoblju 2041.-2070. (Sl. 4.9.17, desno). U većini sjevernih i zapadnih krajeva očekuje se porast od $2-3 \text{ W/m}^2$, a u gorskoj i južnoj Hrvatskoj porast bi bio veći od 3 W/m^2 . Kao i u razdoblju P1, ove promjene su vrlo male u odnosu na ukupnu vrijednosti fluksa u P0. Individualne realizacije sad su ujednačenije nego u P1: u tri realizacije RegCM modela očekuje se porast fluksa (najviše oko 4 W/m^2), a u jednoj realizaciji (rubni uvjeti HadGEM2 modela) očekuje se blago smanjenje fluksa samo u istočnim dijelovima sjeverne Hrvatske.

Sezonske vrijednosti. U skladu s izmjenama sezona, vrijednosti fluksa ulazne sunčane energije rastu od zime prema ljetu, te ponovno opadaju prema jeseni. Ulazna sunčana energija je u svim sezonama veća na Jadranu i smanjuje se prema sjeveru unutrašnjosti (Sl. 4.9.18, gore). Najveće vrijednosti fluksa ulazne sunčane energije u zimi su između 50 i 75 W/m^2 . U proljeće su u većem dijelu zemlje od $150-175 \text{ W/m}^2$, te između 175 i 200 W/m^2 u obalnom području Dalmacije i na otocima. Najveće ljetne vrijednosti su od $200-250 \text{ W/m}^2$ u većem dijelu unutrašnjosti, a od $250-300 \text{ W/m}^2$ u priobalnom pojasu i zaleđu, te više od 300 W/m^2 na otocima južne Dalmacije. U jesen prevladavaju vrijednosti od $100-125 \text{ W/m}^2$, nešto manje na krajnjem sjeverozapadu i nešto više u obalnom dijelu.



Slika 4.9.18 Fluks ulazne sunčane energije (W/m^2) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljetno i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Promjena fluksa ulazne sunčane energije u razdoblju 2011.-2040. (P1) nije u istom smjeru u svim sezonama. Dok je zimi u čitavoj Hrvatskoj, a u proljeće u zapadnim krajevima projicirano



smanjenje fluksa sunčane energije (negativne vrijednosti), u ljeto i jesen, te u sjevernim krajevima u proljeće, predviđa se porast vrijednosti u odnosu na referentno razdoblje (Sl. 4.9.18, sredina). Zimsko smanjenje fluksa najmanje je na južnim otocima (-0.5 W/m^2), a najveće u sjevernoj Hrvatskoj oko -2 W/m^2 . U odnosu na referentno razdoblje (P0) ovo smanjenje u sjevernoj Hrvatskoj iznosi oko 4-5%, a na Jadranu oko 2% (u sjevernom dijelu Istre i malo više). U proljeće se fluks sunčane energije u P1 ne bi mijenjao na južnom Jadranu i sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U ostalim krajevima sjeverne Hrvatske došlo bi do povećanja, maksimalno oko 1 W/m^2 , a na ostatku Jadrana i u gorskoj Hrvatskoj fluks bi se smanjio za nešto više od 1 W/m^2 . U ljeto i jesen projiciran je porast fluksa ulazne sunčeve energije u čitavoj Hrvatskoj, u prosjeku između 1 i malo više od 4 W/m^2 . Na Jadranu je porast ljeti manji nego u jesen, dok je u sjevernoj Hrvatskoj situacija obrnuta – ljetni porast je veći nego jesenski. S obzirom da su ljetne vrijednosti fluksa sunčane energije vrlo visoke, projicirani porast je relativno zanemariv. U jesen porast iznosi tek oko 2-4%.

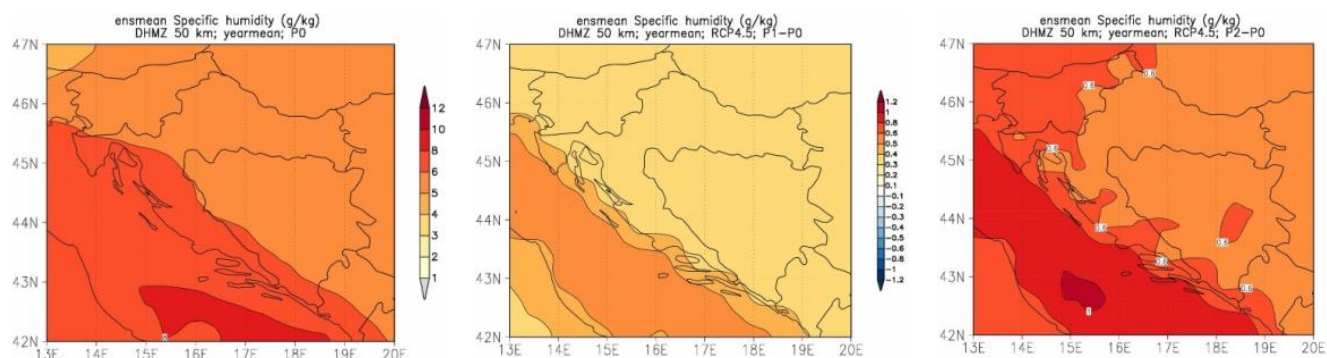
Zanimljivo je da uz rubne uvjete EC-Earth modela RegCM daje u ljeto smanjenje (negativnu razliku) fluksa u većem dijelu zemlje, dok uz rubne uvjete drugih globalnih klimatskih modela RegCM daje povećanje fluksa sunčane energije. Slična situacija je u jesen kad uz rubne uvjete MPI-ESM modela RegCM daje smanjenje fluksa u sjevernoj Hrvatskoj, a za ostale rubne uvjete nalazimo porast vrijednosti fluksa.

[Pogled do 2070.] Za razliku od P1 sada u svim sezonama, osim u zimi, očekuje se u razdoblju 2041.-2070. povećanje fluksa ulazne sunčane energije u srednjaku ansambla (Sl. 4.9.18, dolje). Porast je najveći u ljeto ($8-12 \text{ W/m}^2$) u gorskoj i središnjoj Hrvatskoj, a najmanji u srednjoj Dalmaciji. U proljeće i jesen porast je maksimalno do malo više od 4 W/m^2 , što je relativno malo povećanje. Najveće smanjenje fluksa ulazne sunčeve energije, u iznosu do 3 W/m^2 , nalazimo zimi u sjevernoj Hrvatskoj.

Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.

4.9.10 Specifična vlažnost zraka

Godišnja vrijednost. U godišnjem srednjaku specifična vlažnost zraka prostorno se malo mijenja: u sjevernoj Hrvatskoj je između 5 i 6 g/kg, a nešto je veća – od 6 do 7 g/kg u primorskom dijelu i zaleđu, te gorskoj Hrvatskoj (Sl. 4.9.19, lijevo).



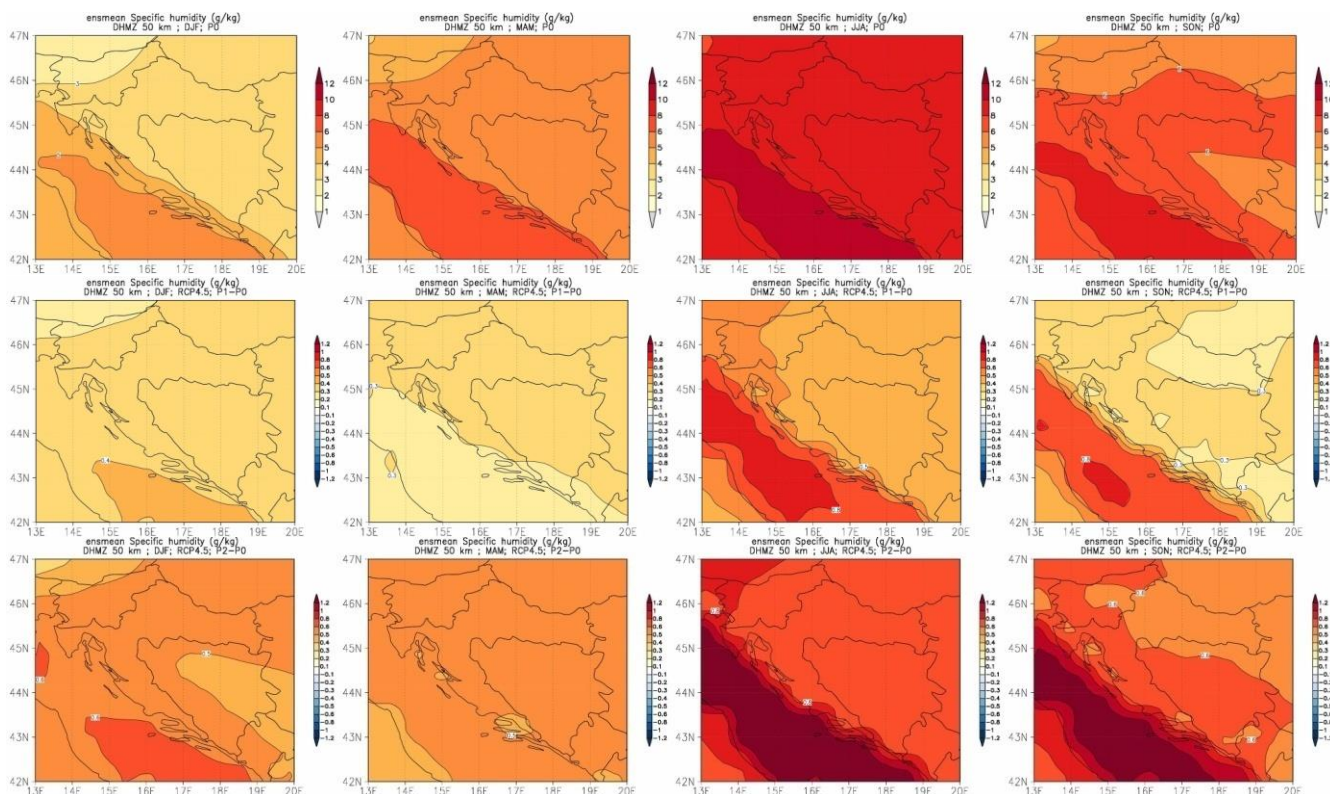
Slika 4.9.19 Srednja godišnja specifična vlažnost zraka (g/kg) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

Značajna promjena vlažnosti ne očekuje se u neposrednoj budućnosti; od 2011 do 2040. vlažnost bi porasla za oko 0.3 do 0.4 g/kg u većem dijelu zemlje (Sl. 4.9.19, sredina). U uskom primorskom pojasu i na otocima, porast vlažnosti bila bi nešto veća od 0.4 g/kg, a na otocima otvorenog mora od 0.5 do 0.6 g/kg. Tri od četiri realizacije RegCM modelom daju mali porast vlažnosti, manje od 0.3 g/kg u unutrašnjosti. Jedino je uz rubne uvjete HadGEM2 modela porast osjetno veći – preko 0.6 g/kg, što se onda odražava u rezultatu srednjaka ansambla.



[Pogled do 2070.] Trend porasta specifične vlažnosti nastavlja se i u razdoblju 2041-2070. (P2). Taj porast uglavnom je od 0.5-0.6 g/kg osim u dijelovima zapadne Hrvatske gdje premašuje 0.6 g/kg (Sl. 4.9.19, desno). Porast veći od 1 g/kg očekuje se samo na otvorenom moru.

Sezonske vrijednosti. Specifična vlažnost najmanja je u zimi – u većem dijelu zemlje je između 3 i 4, a na Jadranu od 4-5 g/kg (Sl. 4.9.20, gore). Vlažnost postupno raste prema proljeću, kad prevladavaju vrijednosti od 5 do 6, a na Jadranu nešto više od 6 g/kg. Najveće vrijednosti, 8-10 g/kg, su u ljeto, a vlažnost ponovno opada u jesen na 6-8 g/kg. Iz Sl. 4.9.20 (gore) vidljivo je da se specifična vlažnost u srednjaku ansambla prostorno malo mijenja, te da je gradijent nešto jači na Jadranu.



Slika 4.9.20 Specifična vlažnost (g/kg) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U neposrednoj budućnosti (do 2040.) očekuje se da će kroz cijelu godinu specifična vlažnost posvuda rasti (Sl. 4.9.20, sredina). Osim u ljeto, u ostalim sezonama promjena specifične vlažnosti je u većini krajeva između 0.3 i 0.4 g/kg, a jedino se u jesen nešto veći porast (do oko 0.6 g/kg) očekuje na Jadranu. U ljeto je porast vlažnosti u većem dijelu Hrvatske najveći, 0.4-0.5 g/kg, te na dijelu Jadrana između 0.6 i 0.8 g/kg. U odnosu na referentnu klimu, promjena vlažnosti je mala – u prosjeku oko 5% do 6%. Najveći porast u ljetnoj sezoni daje RegCM uz rubne uvjete HadGEM2 klimatskog modela, oko 0.6 g/kg, dok je najmanji porast projiciran integracijom uz rubne uvjete Cm5 modela – 0.2 u sjevernoj Hrvatskoj do 0.5 g/kg na Jadranu. Različite rezultate klimatske promjene za istočni dio Hrvatske daju primjerice i rubni uvjeti EC-Earth modela (više od 0.6 g/kg) i MPI-ESM (manje od 0.2 g/kg). U jesen Cm5 rubni uvjeti ne uzrokuju nikakvu promjenu u istočnoj i južnoj Hrvatskoj.

[Pogled do 2070.] Trend porasta specifične vlažnosti nastavlja se i u razdoblju oko sredine 21. stoljeća, 2041.-2070. (P2; Sl. 4.9.20, dolje). U zimi i proljeće očekivani porast je jednolik u čitavoj Hrvatskoj i iznosi oko 0.5 g/kg. U ljeto se u većem dijelu zemlje očekuje porast od 0.6-0.8 g/kg, na Jadranu i nešto veći – od 0.8 do 1.2 g/kg. U jesen je porast u kontinentalnom dijelu nešto manji nego onaj tijekom ljeta (0.5-0.5 g/kg), dok je na Jadranu sličan kao u ljetnoj sezoni.

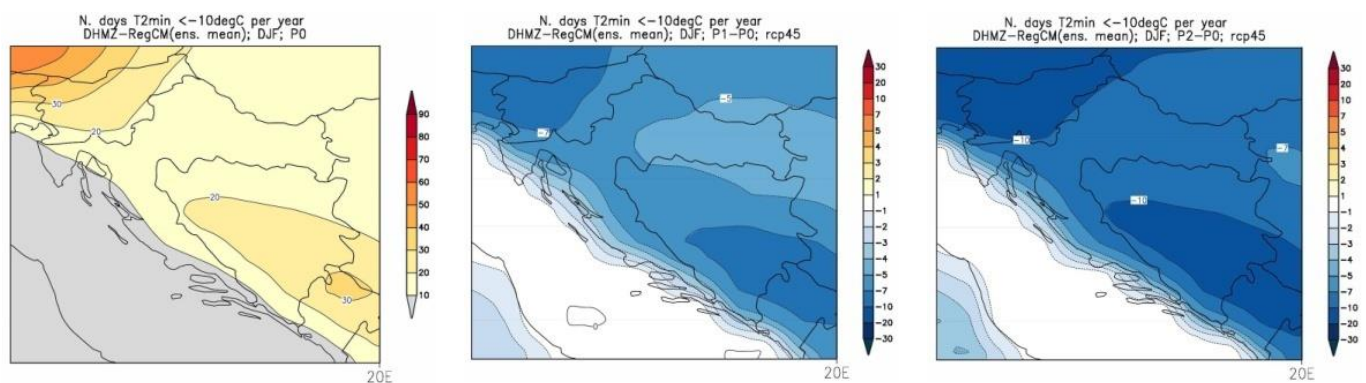
Mjesečne vrijednosti. Ovo je prikazano u odvojenoj Excel datoteci kao vremenski niz za sljedeće lokacije: Zagreb, Osijek, Gospić, Rijeka i Split.



4.9.11 Ekstremni vremenski uvjeti

Ekstremni vremenski uvjeti analizirani su i prikazani za referentnu klimu kao prosječna učestalost, odnosno kao prosječan “broj dana” neke (ekstremne) pojave u jednoj godini, te kao promjena prosječnog “broja dana” u budućim klimatološkim razdobljima u odnosu na referentno razdoblje.

Broj dana kad je minimalna temperatura manja od -10 °C (ledeni dani). Ova varijabla analizirana je samo za zimsko razdoblje. U srednjaku ansambla simulirani broj dana s minimalnom temperaturom manjom od -10 °C je u većem dijelu Hrvatske između 10 i 20 dana, a u primorskom dijelu i zaleđu manje od 10 (Sl. 4.9.21, lijevo). Ovi simulirani rezultati su precijenjeni (previše ledenih dana) u većem dijelu kontinentalne Hrvatske i u primorju, ali se donekle podudaraju s osmotrenim vrijednostima na klimatološkim postajama gorske Hrvatske (Zaninović i sur., 2008). U sjevernoj Hrvatskoj broj dana s minimalnom temperaturom manjom od -10 °C je, primjerice, u Zagrebu 5.8, Varaždinu 8.0, a u Gospiću i Ogulinu 8.9, Parg-Čabru 10.6, te na Zavižanu 20.5. U primorskom dijelu ovakve ekstremne vrijednosti praktički nisu zabilježene.



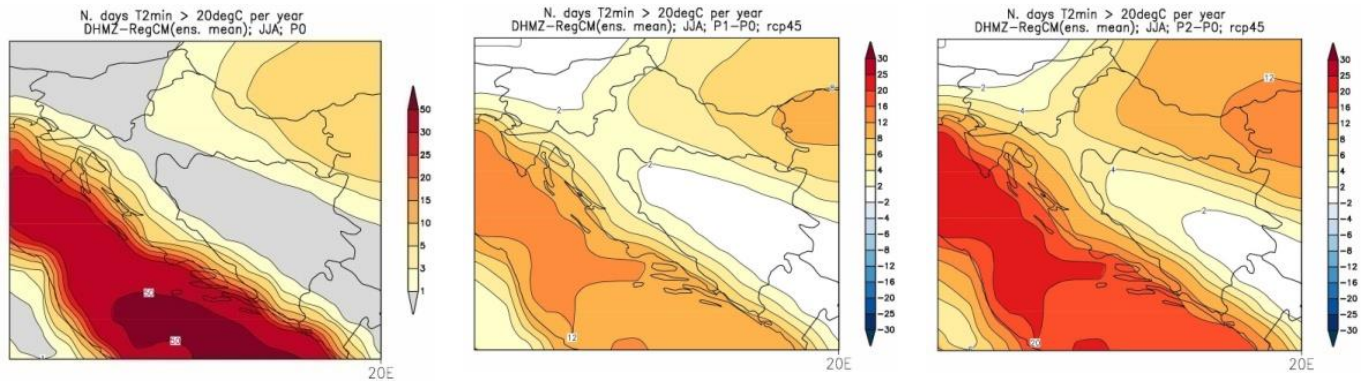
Slika 4.9.21 Broj zimskih dana s minimalnom temperaturom manjom od -10 °C (ledeni dani) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

U budućoj klimi, do 2040., očekuje se smanjenje broja dana s minimalnom temperaturom manjom od -10 °C (Sl. 4.9.21, sredina). Ono bi iznosilo manje od 5 dana u sjevernim i istočnim predjelima i 5-7 dana u zapadnim i gorskim predjelima. Najveću promjenu (smanjenje) broja dana daje integracija RegCM modela uz rubne uvjete HadGEM2 GCM – više od 10 dana u sjevernom dijelu Gorskog Kotara.

[Pogled do 2070.] U razdoblju 2041.-2070. očekuje se daljnje smanjenje broja dana s minimalnom temperaturom manjom od -10 °C (Sl. 4.9.21, desno). U većem dijelu unutrašnjosti broj takvih dana bio bi manji za 7 do 10.

Broj dana kad je minimalna temperatura veća ili jednaka 20 °C (tople noći). Ova varijabla analizirana je samo za ljetnu sezonu. U srednjaku ansambla simulirani broj dana s minimalnom temperaturom većom ili jednakom od 20 °C najmanji je u središnjoj i dijelu gorske Hrvatske – u prosjeku je manji od jednog dana (Sl. 4.9.22, lijevo). Broj dana je povećan do 3 u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i dijelu Slavonije, te prema istoku raste sve do više od 5 dana. Ovakva raspodjela podudara se s opaženim rezultatima – Gospić i Ogulin 0.7 dana, Varaždin 0.3, a Osijek 1.2 dana (Zaninović i sur., 2008) - no, očito su modelirane vrijednosti nešto veće od podataka postaja. Na Jadranu i u njegovu zaleđu simulirani broj dana s minimalnom temperaturom većom od 20 °C postupno raste sve do više od 30. I ovdje nalazimo dobro podudaranje s podacima mjerenja: Rijeka 22, Mali Lošinj 45, Zadar 30, Split 57, Hvar 50, Dubrovnik 58.

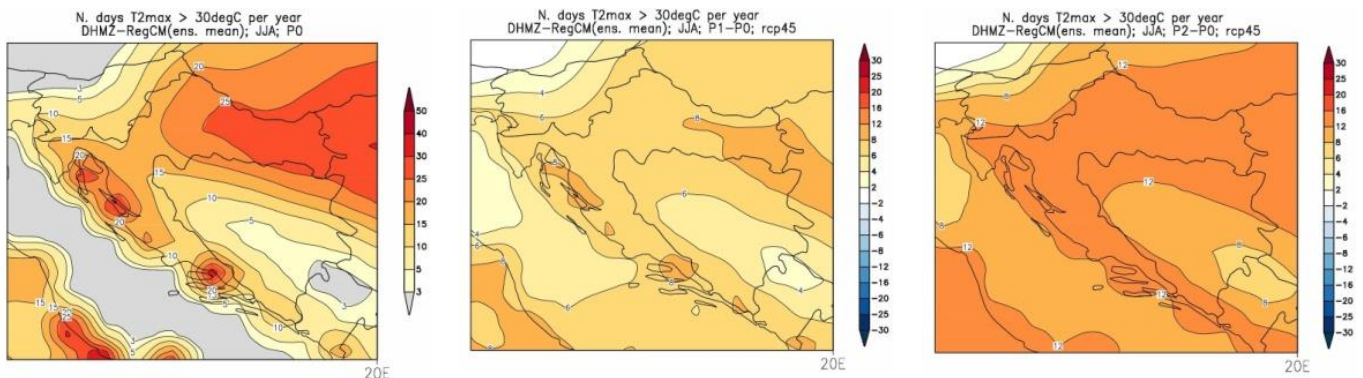
U budućoj klimi do 2040. očekuje se porast broja dana s toplim noćima (Sl. 4.9.22, sredina). Najveći porast projiciran je za područje Jadrana – između 8 i 12 dana na otocima, te 4 i 6 dana u zaleđu. I u nizinskim krajevima istočne Hrvatske porast broja dana s toplim noćima (6-8) bit će gotovo jednak kao u nekim dijelovima primorja.



Slika 4.9.22 Broj ljetnih dana s minimalnom temperaturom većom ili jednakom 20 °C (tople noći) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

[Pogled do 2070.] Do 2070. očekuje se daljnji porast broja dana s toplim noćima (Sl. 4.9.22, desno). Prostorna razdioba tog porasta gotovo je identična onoj za prethodno klimatološko razdoblje (Sl. 4.9.22, sredina), ali je amplituda porasta broja dana sada osjetno veća. Tako se očekuje porast između 16 i 20 dana na otocima, te nešto manje u ostalim primorskim krajevima. U najistočnijim dijelovima porast bi mogao biti i do više od 12 dana.

Broj dana kad je maksimalna temperatura veća od 30 °C (vrući dani). Ova varijabla također je analizirana samo za ljetnu sezonu. U srednjaku ansambla simulirani broj vrućih dana je najmanji u gorskoj i središnjoj Hrvatskoj – između 15 i 20 dana (Sl. 4.9.23, lijevo). Broj vrućih dana povećava se prema istoku i jugu, tako da doseže nešto više od 25 dana u Slavoniji, te između 20 i 25 dana u primorju. U usporedbi s podacima klimatoloških postaja, broj dana s maksimalnom temperaturom većom od 30 °C je relativno dobro simuliran. Tako je u Zagrebu prosječno zabilježeno 14 takvih dana, u Osijeku 23, u Gospiću i Ogulinu 8, u Rijeci i Malom Lošinj 20, Zadru 16, Dubrovniku 19, a u Splitu čak 37 dana (Zaninović i sur., 2008). Izolirana područja s povećanim brojem vrućih dana u obalnom području posljedica su neadekvatnog prikaza kontrasta kopno-more na rezoluciji od 50 km. Naime, elementi (čelije) modela s (nerealno) povećanim brojem vrućih dana u primorju definirane su u modelu kao kopnena područja što onda za posljedicu ima više ljetne temperature (a onda i povećani broj vrućih dana).



Slika 4.9.23 Broj ljetnih dana s maksimalnom temperaturom većom od 30 °C (vrući dani) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Lijevo: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; desno: promjena u razdoblju 2041.-2070.

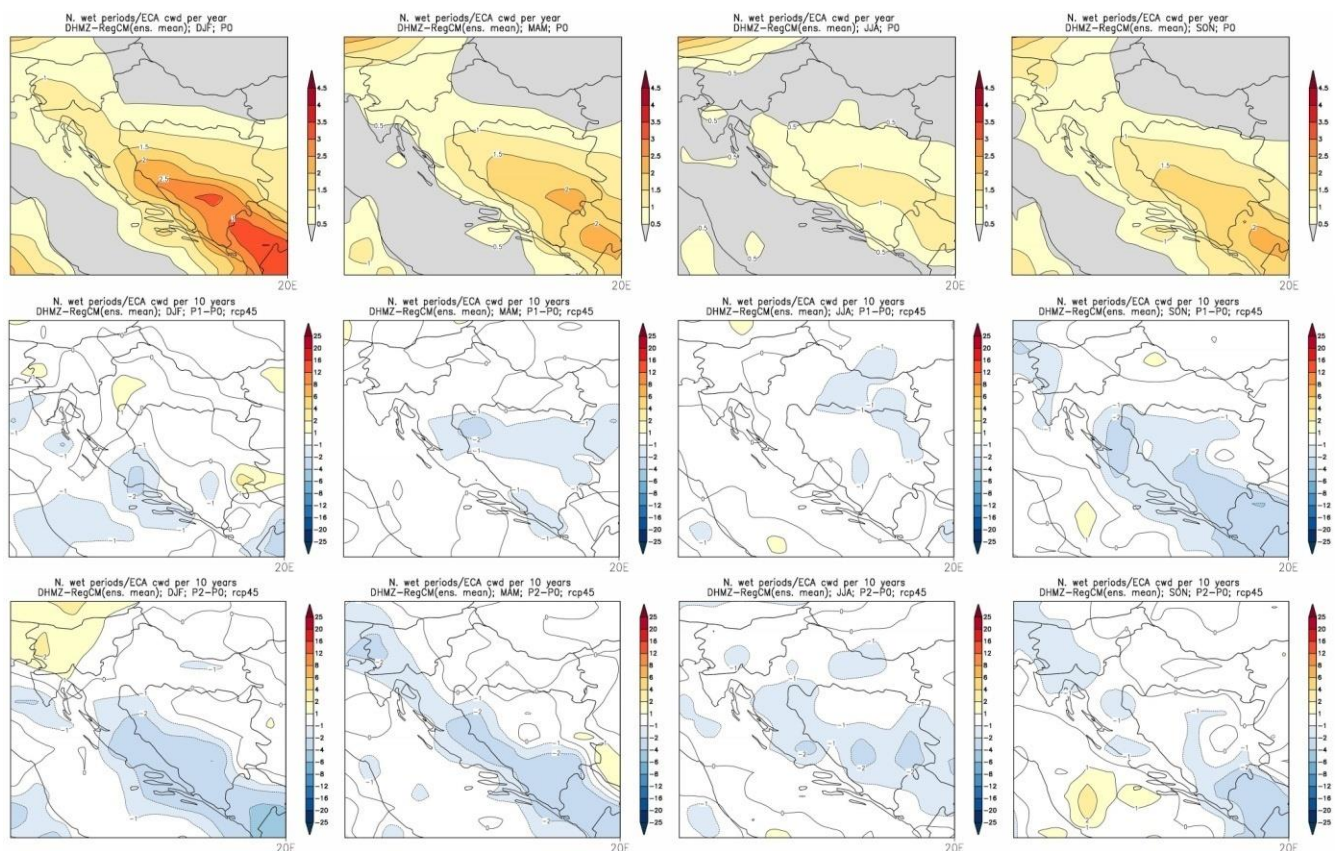
Do 2040. očekuje se porast broja vrućih dana (Sl. 4.9.23, sredina). U većem dijelu Hrvatske to povećanje bilo bi između 6 i 8 dana, te više od 8 dana u istočnoj Hrvatskoj te ponegdje na Jadranu. I u gorskim predjelima bi porast vrućih dana u budućoj klimi bio jednak kao i u većem dijelu zemlje.

[Pogled do 2070.] Porast broja vrućih dana nastavio bi se i u razdoblju 2041.-2070. (Sl. 4.9.23, desno). Ovaj porast u čitavoj Hrvatskoj doseže više od 12 dana što bi u nekim krajevima odgovaralo udvostručenju broja vrućih dana u odnosu na referentno razdoblje.



Broj dana kad je maksimalni vjetar veći od 20 m/s (72 km/h). Ovaj događaj karakterističan je samo za zimsko razdoblje. Simulirani broj dana s ovim događajem u srednjaku ansambla zanemariv je iznad kontinentalnog područja, ali doseže 4-5 dana na otvorenom moru južnog Jadrana. Promjene u budućoj klimi uglavnom su ograničene na otvoreno more, ali bi mogle donekle utjecati i na naše vanjske otoke. U budućoj klimi očekuje se smanjenje broja dana s maksimalnim vjetrom većim od 20 m/s. Ovo smanjenje najveće je na otvorenom moru sjevernog Jadrana (do 7 dana u 10 godina) i podjednako je u oba buduća klimatska razdoblja. Smanjenje broja dana (do najviše 4 dana u 10 godina) moglo bi zahvatiti obalu Istre, kvarnerske otoke, te dijelove sjeverne Dalmacije.

Broj kišnih razdoblja. Kišno razdoblje definirano je kao niz od barem 5 dana kada je količina ukupne oborine veća od 1 mm. Zimi je broj kišnih razdoblja u srednjaku ansambla od 1-1.5 u gorskoj Hrvatskoj, i povećava se prema jugoistoku, tako da je u području Dinare i na krajnjem jugu između 2 i 2.5 (Sl. 4.9.24, gore). Ovo je ujedno i najveći broj kišnih razdoblja tijekom godine. U sjevernoj Hrvatskoj je ovaj broj između 0.5 i 1, a slično vrijedi i za sjeverni dio Jadrana. U proljeće i jesen broj kišnih razdoblja ne prelazi 1 (gorska Hrvatska), dok je u ljetu u većem dijelu zemlje manji od 0.5, te od 0.5-1 u Gorskom Kotaru, Lici, i zaleđu sjeverne Dalmacije.



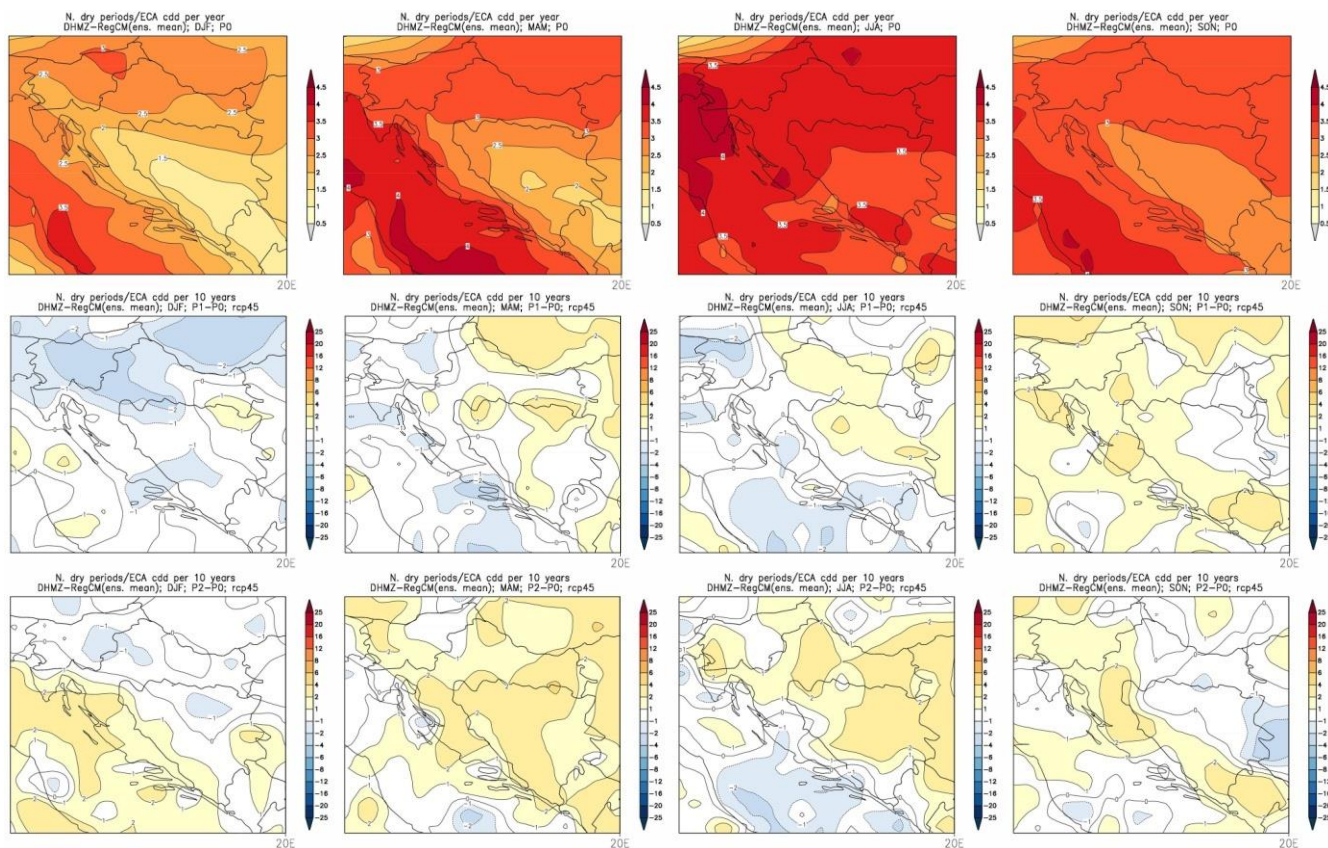
Slika 4.9.24 Broj kišnih razdoblja u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070. Srednji broj razdoblja definiran je u referentnoj klimi za jednu godinu, a u budućoj klimi za 10 godina.

Do 2040. očekivani broj kišnih razdoblja će se u središnjoj Hrvatskoj povećati zimi za jedno kišno razdoblje unutar 10 godina (Sl. 4.9.24, sredina; napomena: zbog vrlo male promjene, srednji broj kišnih razdoblja u budućoj je klimi određen za razdoblje od 10 godina). Istodobno bi se u središnjoj i južnoj Dalmaciji broj kišnih razdoblja smanjio do najviše dva razdoblja u 10 godina. Smanjenje vidimo u proljeće u Lici, u ljetu u Slavoniji, te u jesen ponovno u Lici i cijeloj Dalmaciji sa zaleđem.



[Pogled do 2070.] Smanjenje broja kišnih razdoblja nalazimo i oko sredine 21. stoljeća (Sl. 4.9.24, dolje). Najveće smanjenje je u gorskoj i primorskoj Hrvatskoj u zimi i u proljeće, ali isto tako i u ljeto u dijelu gorske Hrvatske i sjeverne Dalmacije.

Broj sušnih razdoblja. Sušno razdoblje definirano je kao niz od barem 5 dana kada je količina ukupne oborine manja od 1 mm. Najveći broj simuliranih sušnih razdoblja u srednjaku ansambla je ljeti u Istri i na Kvarneru – oko 4. U većini ostalih krajeva je između 3.5 i 4 (Sl. 4.9.25, gore). U proljeće i jesen taj je broj uglavnom između 3 i 3.5, a u zimi je najmanji (manje od 2) u Lici i zaleđu Dalmacije.



Slika 4.9.25 Broj sušnih razdoblja u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Gore: referentno razdoblje 1971.-2000.; sredina: promjena u razdoblju 2011.-2040.; dolje: promjena u razdoblju 2041.-2070. Srednji broj razdoblja definiran je u referentnoj klimi za jednu godinu, a u budućoj klimi za 10 godina.

U razdoblju 2011.-2040. (P1) broj sušnih razdoblja bi se mogao povećati u jesen u gotovo čitavoj zemlji (Sl. 4.9.25, sredina; i ovdje je izračun rađen kroz 10-godišnje razdoblje), te u sjevernim područjima u proljeće i ljeto. U zimi bi se broj sušnih razdoblja smanjio u središnjoj Hrvatskoj, te ponegdje u primorju u proljeće i ljeto.

[Pogled do 2070.] Povećanje broja sušnih razdoblja očekuje se u praktički svim sezonama do konca 2070. (Sl. 4.9.25, dolje). Najizraženije bi bilo u proljeće i ljeto, a nešto manje u zimi i u jesen.



5. ZAKLJUČAK

U ovom izvješću opisani su rezultati klimatskih integracija regionalnim klimatskim modelom RegCM (verzija 4.2), koje su rađene za potrebe projekta “Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike (MZOE) za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama”. Uz simulacije “historijske” klime (razdoblje 1971-2000), prikazane su očekivane promjene (projekcije) za buduću klimu u dva razdoblja, 2011.-2040. i 2041.-2070., uz pretpostavku IPCC scenarija RCP4.5. Također, ukratko su diskutirane i projekcije prema scenariju RCP8.5 koje, zbog ograničenog prostora, nisu bile prikazane u poglavlju 4. Za RegCM integracije korišteni su rubni i početni uvjeti četiri različita GCM koji su participirali u CMIP5 eksperimentima za IPCC AR5 (IPCC, 2013a): model francuske meteorološke službe CNRM-CM5, model nizozemskog konzorcija EC-Earth, model njemačkog Max-Planck instituta za meteorologiju MPI-ESM i model britanske meteorološke službe HadGEM2. Prostorna domena integracija RegCM modelom je prošireno područje Europe, a horizontalna rezolucija je 50 km. Svi izračuni rađeni su na super-računalu VELEbit instaliranom u Sveučilišnom računskom centru (SRCE) u Zagrebu, a koje je nabavljeno od strane MZOE-a za potrebe ovog Projekta. Integracije RegCM modelom, te sve obrade generiranih podataka proveli su stručnjaci iz Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ).

Usporedba simulacija “historijske” (referentne) klime (1971.-2000.) s podacima mjerenja na meteorološkim postajama u Hrvatskoj za isto razdoblje (Zaninović i sur., 2008) pokazuje da su simulirane vrijednosti, za veliku većinu analiziranih klimatoloških varijabli, relativno uspješno reproducirane RegCM regionalnim modelom. Promjene u budućoj klimi nisu jednoznačne i u odnosu na referentnu klimu mogu biti različite za različite klimatološke varijable. Sve promjene u budućoj klimi, kao i stanje modelirane referentne klime, izračunate su kao srednjak ansambla od četiri individualne realizacije RegCM modelom.

Ukupno je analizirano 20 klimatoloških varijabli. Od toga je 17 bilo dostupno iz produkcije RegCM modela, a 3 varijable, koje nisu bile dostupne u RegCM modelu, su varijable tipične za združene (*coupled*) modele atmosfera-ocean (visina morske razine, salinitet i temperatura površine mora). U Tablici 5.1 prikazan je redoslijed klimatoloških varijabli po čestini zahtjeva po svim sektorima ukupno (10 sektora).

Tablica 5.1 Popis analiziranih varijabli i ukupna čestina zahtjeva po svim sektorima.

Redni broj	Klimatološka varijabla	Broj zahtjeva	Sektor
1	Ukupne oborine	9	Svi sektori osim ribarstva
2	Maksimalna dnevna temperatura zraka	7	Poljoprivreda, šumarstvo, turizam, prostorno planiranje i upravljanje obalnim područjem, zdravstvo, upravljanje rizicima, energetika
3	Minimalna dnevna temperatura zraka	6	Poljoprivreda, šumarstvo, turizam, zdravstvo, upravljanje rizicima, energetika
4	Srednja dnevna temperatura zraka	5	Poljoprivreda, hidrologija, upravljanje vodnim i morskim resursima, bioraznolikost, turizam, energetika
5	Maksimalna brzina vjetra na 10 m	5	Bioraznolikost, turizam, zdravstvo, upravljanje rizicima, energetika
6	Evapotranspiracija	4	Poljoprivreda, bioraznolikost, hidrologija, upravljanje vodnim i morskim resursima, energetika
7	Sunčano zračenje	3	Bioraznolikost, turizam, energetika
8	Snježni pokrov	3	Bioraznolikost, zdravstvo, upravljanje rizicima
9	Otjecanje	3	Hidrologija, upravljanje vodnim i morskim resursima, zdravstvo, upravljanje rizicima
10	Relativna vlažnost zraka	2	Bioraznolikost, turizam
11	Tlak zraka	2	Zdravstvo, upravljanje rizicima
12	Naoblaka	2	Bioraznolikost, energetika
13	Brzina vjetra na 10 m	2	Turizam, energetika
14	Vlažnost tla	2	Poljoprivreda, bioraznolikost
15	Površinska temperatura	1	Bioraznolikost
16	Specifična vlažnost zraka	1	Energetika
17	Fluks latentne topline	1	Bioraznolikost
18	Temperatura površine mora	1	Ribarstvo
19	Površinski salinitet	1	Ribarstvo
20	Visina morske razine	1	Prostorno planiranje i upravljanje obalnim područjem



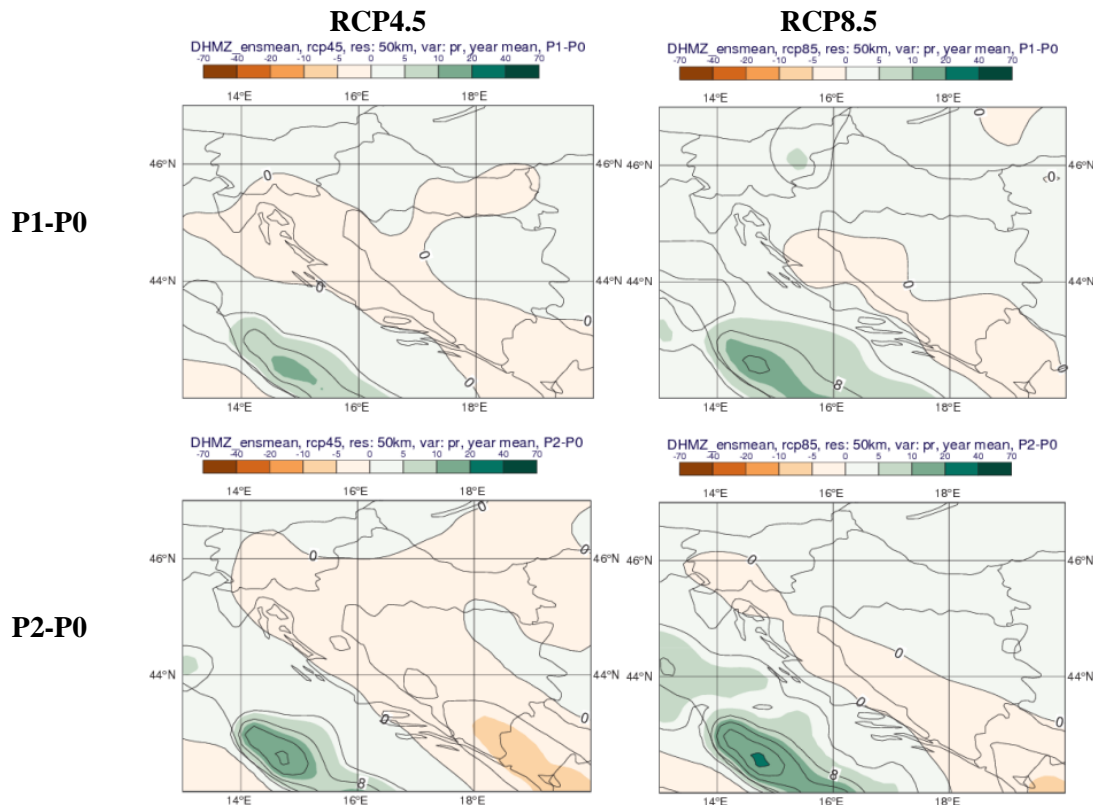
Najvažniji rezultati klimatskih promjena za najčešće tražene klimatološke varijable

- **Oborine**

RCP4.5: U zimi i za veći dio Hrvatske u proljeće očekuje se u razdoblju 2011.-2040. manji porast količine oborine, a u ljeto i jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji. Porast količine oborine je u zimi između 5 i 10% u sjevernim i središnjim krajevima, a u proljeće je porast u zapadnim predjelima još i manji. Najveće ljetno smanjene količine oborine, 5-10%, očekuje se u sjevernoj Dalmaciji i u južnoj Lici, gdje inače ljeti nalazimo najveće količine oborine. U jesen je najveće projicirano smanjenje ukupne količine oborine oko 5% u Gorskom Kotaru i sjevernom dijelu Like, te na krajnjem jugu. Do 2070. očekuje se u svim sezonama osim u zimi smanjenje količine oborine. Najveće smanjenje (malo više od 10%) bit će u proljeće u južnoj Dalmaciji, te u ljeto između 10 i 15% u gorskim predjelima i sjevernoj Dalmaciji. Najveće povećanje količine oborine, između 5 i 10%, očekuje se u jesen na otocima, te u zimi u sjevernoj Hrvatskoj.

RCP8.5: Do 2040. očekuje se, u odnosu na referentnu klimu, povećanje ukupne količine oborine u zimi i u proljeće u većem dijelu zemlje. To povećanje bilo bi najveće u sjevernoj i središnjoj Hrvatskoj, u zimi 8-10%. U ljeti projicirano je prevladavajuće smanjenje ukupne količine oborine, najviše u Lici do 10%, a samo na otocima srednje Dalmacije očekuje se manje povećanje količine oborine. U jesen je očekivano povećanje ukupne količine oborine neznatno. U razdoblju 2041.-2070. projicirano je za zimu povećanje količine oborine u čitavoj Hrvatskoj, a najviše, oko 8-9%, u sjevernim i središnjim krajevima. U ljeti se očekuje smanjenje količine oborine u cijeloj zemlji, najviše u sjevernoj Dalmaciji od 5 do 8%. U proljeće i jesen signal promjene uključuje i povećanje i smanjenje količine oborine. Ipak, u jesen bi prevladavalo smanjenje količine oborine u većem dijelu zemlje osim u sjevernoj Hrvatskoj.

Sažetak: Do 2040. očekuje se na godišnjoj razini uz RCP4.5 scenarij vrlo malo smanjenje ukupne količine oborine (manje od 5%) u većem dijelu zemlje, koje neće imati značajniji utjecaj na ukupnu godišnju količinu (Sl. 5.1, gore). Uz RCP8.5 smanjenje oborine bilo bi ograničeno na središnju i južnu Dalmaciju, dok se u ostatku Hrvatske očekuje blago povećanje oborine, također do najviše 5%. U razdoblju 2041.-2070. očekuje se za RCP4.5 smanjenje ukupne količine oborine gotovo u cijeloj zemlji također do oko 5% (Sl. 5.1, dolje). Za RCP8.5, smanjenje oborine bilo ograničeno samo na veći dio gorske Hrvatske i primorskog zaleđa, a u ostalim krajevima očekuje se manje povećanje ukupne količine oborine (manje od 5%). Dakle, u godišnjem srednjaku očekivane promjene ukupne količine oborine ne prelaze $\pm 5\%$ u odnosu na referentnu klimu (1971.-2000.), ali prostorna razdioba tih promjena ovisi o scenariju i o promatranom budućem klimatskom razdoblju.



Slika 5.1 Promjena srednje godišnje ukupne količine oborine (%) u odnosu na referentno razdoblje 1971-2000 u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Gore: za razdoblje 2011.-2040.; dolje: za razdoblje 2041.-2070. Lijevo: scenarij RCP4.5; desno: scenarij RCP8.5.

• Temperatura zraka

RCP4.5: U razdoblju 2011.-2040. očekuje se (u srednjaku ansambla) porast prizemne temperature zraka u svim sezonama. U zimi i u ljeto najveći projicirani porast temperature je između 1,1 i 1,2°C u primorskim krajevima; u proljeće bi porast mogao biti od 0,7 °C na Jadranu do malo više od 1°C na sjeveru, a u jesen porast temperature mijenjao bi se između 0,9°C u istočnim krajevima do oko 1,2°C, iznimno do 1,4°C na krajnjem zapadu. U razdoblju do 2070. najveći porast srednje temperature zraka, do 2,2°C, očekuje se u priobalnom dijelu u ljeto i jesen. U zimi i proljeće najveći projicirani porast temperature je nešto manji nego u ljeto i jesen – do oko 2,1 odnosno 1,9°C, ali sada u kontinentalnim krajevima.

Projicirane promjene maksimalne temperature zraka do 2040. slične su onima za srednju (dnevnu) temperaturu – očekuje se porast u svim sezonama. Porast bi općenito bio od 1 do 1,5°C. U razdoblju 2041.-2070. očekuje se daljnji porast maksimalne temperature. On je veći nego u prethodnom razdoblju i u odnosu na referentnu klimu doseže do 2,2 °C u ljeto i jesen na otocima. I za minimalnu temperaturu očekuje se porast u budućoj klimi. Do 2040. najveći očekivani porast minimalne temperature je u zimi (1,4 °C) u Gorskom Kotaru, dakle u kraju gdje je inače najhladnije, a najmanji očekivani porast, manje od 1°C, bio bi u proljeće. I do 2070. godine najveći porast minimalne temperature očekuje se u zimi – od 2,1 do 2,4°C u kontinentalnom dijelu. U ostalim sezonama porast minimalne temperature bio bi nešto manji nego zimski.

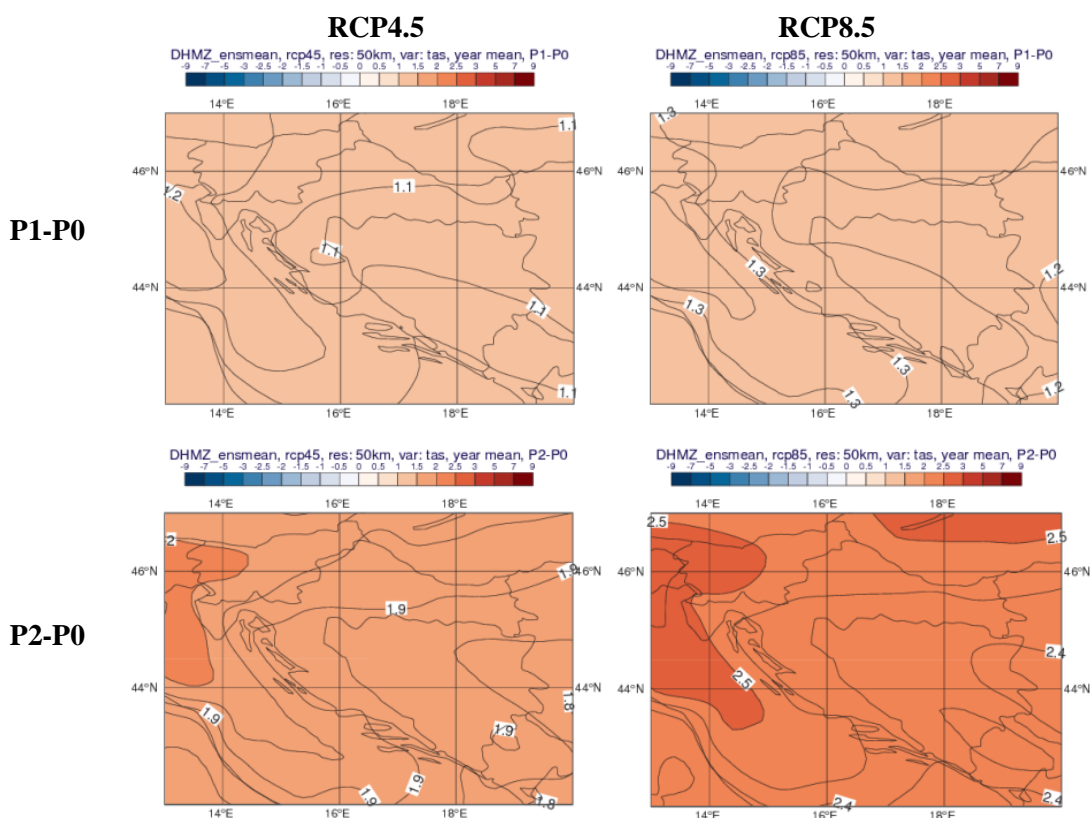
RCP8.5: U razdoblju 2011.-2040. sezonski porast temperature uz ovaj scenarij je u prosjeku veći samo za oko 0,3°C u usporedbi s RCP4.5. Ovakav sličnost rezultata u dva različita scenarija podudara se s projekcijama porasta temperature u globalnim modelima, po kojima su promjene u svim scenarijima u većem dijelu prve polovice 21. stoljeća vrlo slične. Primjerice, na Sl. 2.5 značajnije “razilaženje” u zagrijavanja globalne temperature u dva ekstremna scenarija (RCP8.5 i RCP2.6) počinje tek nakon 2030. S obzirom da su u RCP4.5 scenariju koncentracije stakleničkih plinova veće nego u RCP2.6, za očekivati je da i promjene temperature u RCP8.5 i RCP4.5 scenarijima budu slične



tijekom većeg dijela prve polovice 21. stoljeća. U razdoblju 2041.-2070. porast temperature za RCP8.5 scenarij je između 2,6 i 2,9°C u ljeto, a u ostalim sezonama od 2,2 do 2,5°C.

Za maksimalnu temperaturu do 2040. očekivani sezonski porast u odnosu na referentno razdoblje najveći je u ljeto (do 1,7°C u primorju i na otocima), a najmanji u proljeće (0,9-1,1°C). U zimi i jesen porast maksimalne temperature je između 1,1 i 1,3°C. Oko sredine 21. stoljeća (razdoblje 2041.-2070.) najveći očekivani porast srednje maksimalne temperature je do 3,0 °C u ljeto na otocima Jadrana, a u ostalim sezonama između 2,2 i 2,6°C. Za minimalnu temperaturu najveći projicirani porast u razdoblju 2011.-2040. je preko 1,5°C u zimi u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i u istočnom dijelu Like, te u ljeto u primorskim krajevima. U proljeće i jesen očekivano povećanje je nešto manje, od 1,1 do 1,2°C. Do 2070. minimalna temperatura porasla bi od 2,2 do 2,8°C u zimi, te od 2,6 do 2,8°C u ljeto. U proljeće i jesen povećanje bi bilo nešto manje – između 2,2 i 2,4°C.

Sažetak: U usporedbi s referentnim razdobljem, srednja godišnja temperatura u Hrvatskoj porast će u razdoblju 2011-2040 do 1,1°C u RCP4.5 scenariju, te do 1,3°C u RCP8.5 scenariju (Sl. 5.2 gore). U razdoblju 2041.-2070. očekivani porast temperature za RCP4.5 je do 1,9°C, a za RCP8.5 je osjetno veći - do 2,5°C (Sl. 5.2 dolje).



Slika 5.2 Promjena srednje godišnje temperature zraka (°C) u odnosu na referentno razdoblje 1971.-2000. u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Gore: za razdoblje 2011.-2040; dolje: za razdoblje 2041.-2070. Lijevo: scenarij RCP4.5; desno: scenarij RCP8.5.

Za srednju maksimalnu temperaturu očekivani godišnji porast do 2040. je oko 1,1°C za RCP4.5 scenarij, te 1,3°C za RCP8.5. U razdoblju 2041.-2070. projicirani porast je za RCP4.5 od 1,9 do 2,0°C, a za RCP8.5 od 2,4 do 2,5°C. Srednja godišnja minimalna temperatura porasla bi do 2040. za oko 1,1°C uz RCP4.5 scenarij, te do 1,3°C za RCP8.5. Do 2070. očekivano povećanje u RCP4.5 je oko 1,9°C, dok je uz RCP8.5 znatno veće i iznosi do 2,5°C. Važno je napomenuti da je najveći porast maksimalne temperature u ljeto, dakle onda kad je u referentnoj klimi najtoplije; najveći porast minimalne temperature je u zimi, dakle onda kad je u referentnoj klimi najhladnije.

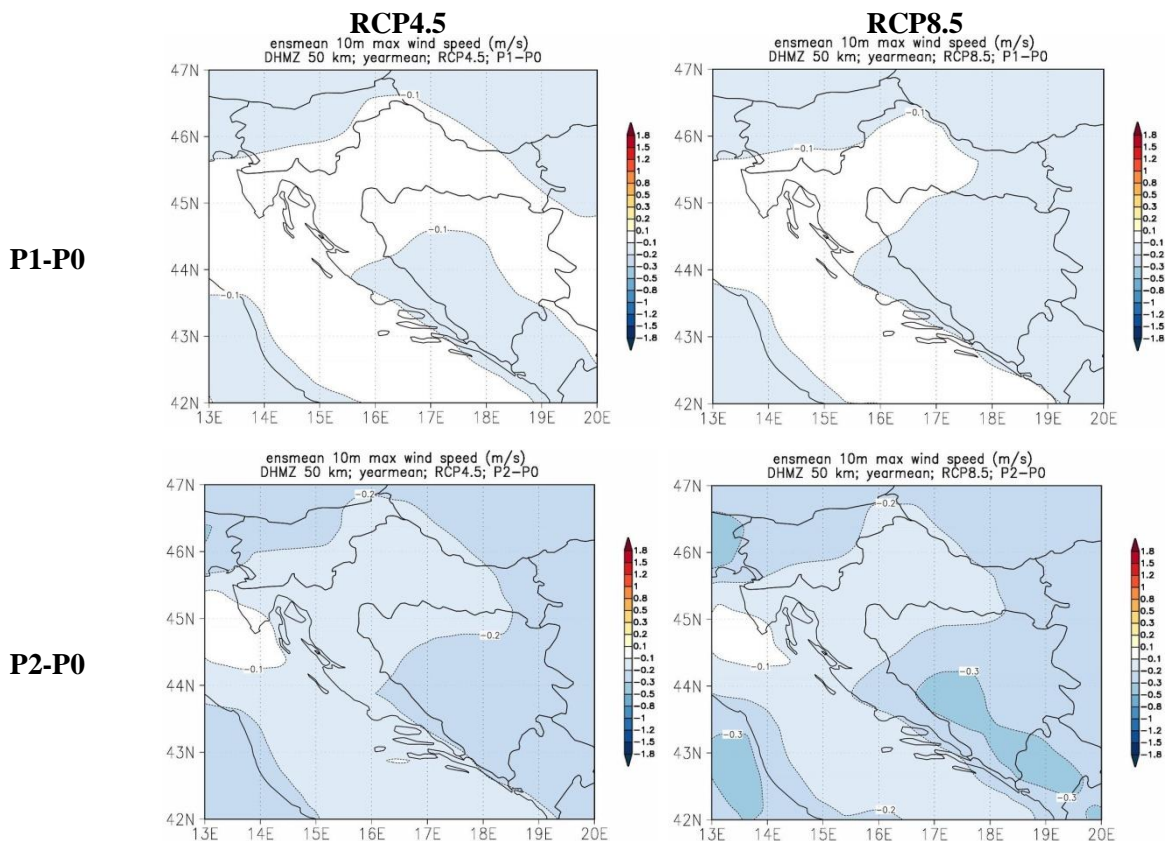


- **Maksimalna brzina vjetra na 10 m**

RCP4.5: U sezonskim srednjacima ne očekuje se neka veća promjena maksimalnih brzina vjetra u srednjaku ansambla, osim u zimi kad bi u razdoblju 2011.-2040. smanjenje bilo od oko 5-10% i to u krajevima gdje je (u referentnoj klimi) vjetar najjači – na južnom Jadranu i u zaleđu srednje i južne Dalmacije. Smanjenje maksimalne brzine vjetra očekuje se u razdoblju 2041.-2070. u svim sezonama osim u ljeto. Valja napomenuti da je 50-km rezolucija nedostatna za precizniji opis varijacija i promjena u maksimalnoj brzini vjetra koje ovise o mnogim detaljima malih skala (orografiji, orijentaciji terena – grebeni i doline, nagibu, vegetaciji, urbanim preprekama, itd.).⁴

RCP8.5: I za ovaj scenarij očekivano smanjenje maksimalnog vjetra do 2040. najveće je u zimi u južnom dijelu Hrvatske. Smanjenje brzine vjetra očekuje se i u proljeće, ali je ono manje nego u zimi, dok u ostatku godine ne bi došlo do promjene. I u razdoblju 2041.-2070. nastavlja se trend smanjenja maksimalne brzine vjetra: ponovno je najveće u zimskoj sezoni kad iznosi oko -10% u odnosu na referentnu klimu.

Sažetak: Projicirana promjena srednje godišnje brzine maksimalnog vjetra na 10 m ukazuje na smanjenja brzine vjetra (Sl. 5.3). To smanjenje je u razdoblju 2011.-2040. relativno malo za oba promatrana scenarija. U razdoblju 2041.-2070. očekuje se nešto jače smanjenje brzine maksimalnog vjetra, nešto izraženije u središnjoj i južnoj Dalmaciji.



Slika 5.3 Promjena srednje godišnje maksimalne brzine vjetra na 10 m (m/s) u odnosu na referentno razdoblje 1971.-2000. u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Gore: za razdoblje 2011.-2040.; dolje: za razdoblje 2041.-2070. Lijevo: scenarij RCP4.5; desno: scenarij RCP8.5.

⁴ Rezultati modeliranja u 12,5-km rezoluciji, koji se očekuju krajem 2017. godine, će dijelom poboljšati ove projekcije. Također, treba istaknuti da model ne daje projekcije o broju dana s vjetrom niti o stalnosti vjetra (npr. parametrima bitnim za vjetroelektrane) nego samo daje projekcije kretanja maksimalnih brzina vjetrova.



- **Evapotranspiracija**

U budućem klimatskom razdoblju 2011.-2040. **očekuje se u većini krajeva povećanje evapotranspiracije od 5-10%**, a povećanje veće od 10% očekuje se samo na vanjskim otocima i u zapadnoj Istri. Do 2070. očekivana promjena je za veći dio Hrvatske slična onoj u razdoblju 2011.-2040. Nešto izraženije povećanje (10-15%) očekuje se u obalnom dijelu i zaleđu, pa sve do oko 20% na vanjskim otocima.

- **Sunčano zračenje**

Projicirane promjene fluksa ulazne sunčane energije u razdoblju 2011.-2040. nisu u istom smjeru u svim sezonama. Dok je zimi u čitavoj Hrvatskoj, a u proljeće samo u zapadnim krajevima projicirano smanjenje fluksa ulazne sunčane energije, u ljeto i jesen, te u sjevernim krajevima u proljeće, očekuje se porast vrijednosti u odnosu na referentno razdoblje. Sve promjene su u rasponu od 2-5%. U ljetnoj sezoni kad je fluks ulazne sunčane energije najveći (u priobalnom pojasu i zaleđu od 250-300 W/m²), projicirani porast je relativno malen. U razdoblju 2041.-2070. očekuje se povećanje fluksa ulazne sunčane energije u srednjaku ansambla u svim sezonama osim u zimi; najveći porast je od 8-12 W/m² u gorskoj i središnjoj Hrvatskoj, a najmanji u srednjoj Dalmaciji.

- **Snježni pokrov**

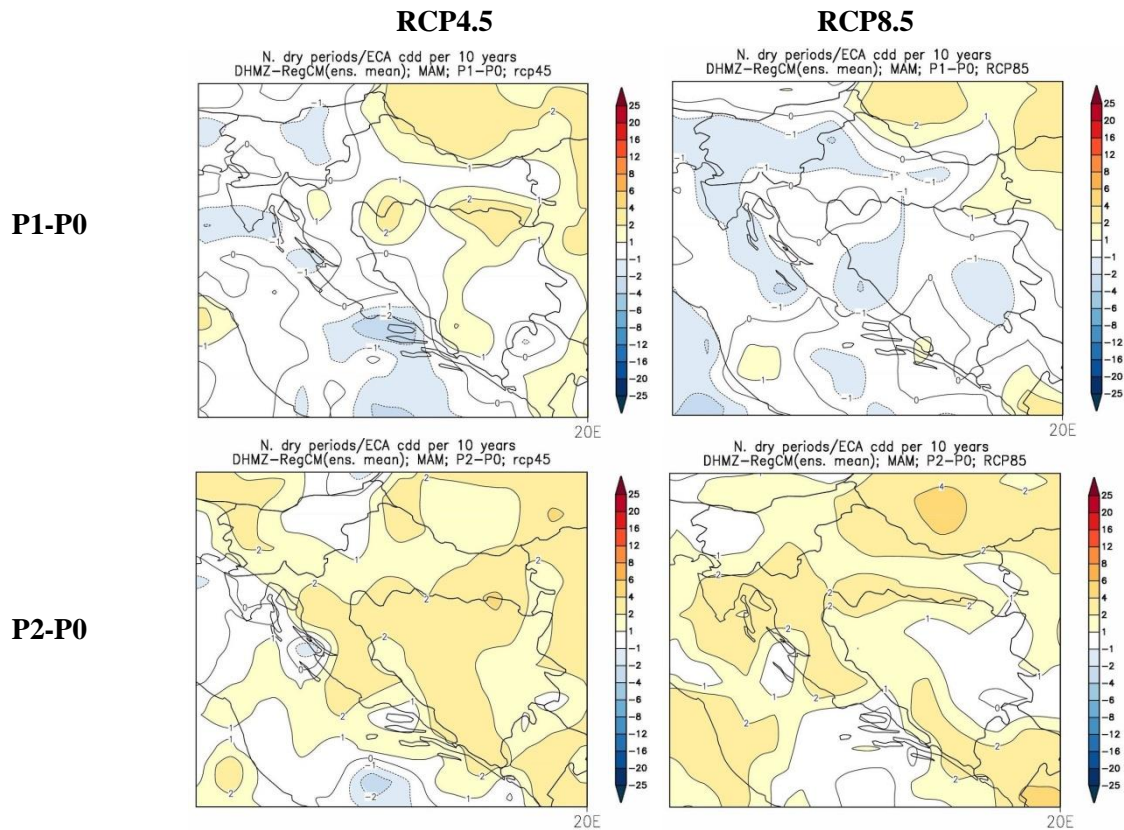
Do 2040. u zimi je projicirano smanjenje ekvivalentne vode snijega, dakle i snježnog pokrova. Smanjenje je najveće u Gorskom Kotaru i iznosi 7-10 mm, što čini gotovo 50% simulirane količine u referentnoj klimi. U razdoblju 2041.-2070. očekuje se u čitavoj Hrvatskoj daljnje smanjenje ekvivalentne vode snijega. Dakle, jače smanjenje snježnog pokrova u budućoj klimi očekuje se upravo u onim predjelima koja u referentnoj klimi imaju najveće količine snijega - u Gorskom Kotaru i ostalim planinskim krajevima.

- **Ekstremne vremenske prilike**

Analizirane su na osnovi učestalosti ili “broja dana” pojave nekog događaja (ekstrema) u sezoni, odnosno promjene učestalosti u budućoj klimi.

RCP4.5: Utvrđeno je da bi u budućoj klimi moglo doći do smanjenja broja ledenih dana (kad je minimalna temperatura manja od -10°C), ali porasta broja dana s toplim noćima (minimalna temperatura veća ili jednaka 20°C) i porasta broja vrućih dana (maksimalna temperatura veća od 30°C). Broj kišnih razdoblja bi se uglavnom smanjio u budućoj klimi, te povećao broj sušnih razdoblja.

RCP8.5: Uz ovaj ekstremni scenarij, očekuje se još veće smanjenje broja ledenih dana, osobito u razdoblju do 2070. U odnosu na RCP4.5 scenarij, projicirani broj dana s toplim noćima samo će malo porasti do 2040.; no značajni porast očekuje se u razdoblju 2041.-2070., osobito u istočnoj Slavoniji i primorskim krajevima. Očekuje se manji porast broja vrućih dana do 2040., a do 2070. taj porast bio bi veći za oko 30% u usporedbi s RCP4.5. U vegetacijski važnoj proljetnoj sezoni do 2040. ne očekuje se značajnija promjena broja sušnih razdoblja (Sl. 5.4, gore), ali bi do 2070. povećanje bilo nešto veće i zahvatilo bi veći dio Hrvatske (Sl. 5.4, dolje).



Slika 5.4 Promjena broja sušnih razdoblja u odnosu na referentno razdoblje 1971.-2000. u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Gore: za razdoblje 2011.-2040.; dolje: za razdoblje 2041.-2070. Lijevo: scenarij RCP4.5; desno: scenarij RCP8.5.

- **Otjecanje**

U budućoj se klimi 2011.-2040. u većini krajeva tijekom godine ne očekuje veća promjena površinskog otjecanja. Međutim, u gorskim predjelima i djelomice u zaleđu Dalmacije moglo bi doći do smanjenja površinskog otjecanja za oko 10%. Do 2070. iznos otjecanja bi se malo smanjio, osobito u proljeće kad bi to smanjenje moglo prostorno zahvatiti čitavu Hrvatsku. Ovo smanjenje otjecanja podudara se sa smanjenjem ukupne količine proljetne oborine sredinom 21. stoljeća.

- **Razina mora**

Zbog potencijalne važnosti, buduće promjene ovog parametra sažete su i u zaključku. Prema rezultatima CMIP5 globalnih modela (IPCC 2013a), za razdoblje oko sredine 21. stoljeća (2046.-2065.) očekivani porast globalne srednje razine mora uz RCP4.5 je 19-33 cm, a uz RCP8.5 je 22-38 cm. U razdoblju 2081.-2100., za RCP4.5 porast bi bio 32-63 cm, a uz RCP8.5 45-82 cm. Ovaj porast globalne razine mora neće se ravnomjerno odraziti u svim područjima. Projekcije promjene razine Jadranskog mora do konca 21. stoljeća daju okvirni porast između 40 i 65 cm. Međutim, valja naglasiti da su uz ove procjene vezane znatne neizvjesnosti, koje već nalazimo i u izračunu razine mora za historijsku klimu.

- **Opće napomene**

Za one klimatološke parametre čija se prostorna varijabilnost ne mijenja značajno (primjerice temperatura - srednja dnevna, maksimalna, minimalna, tlak, evapotranspiracija, insolacija, itd.) horizontalna rezolucija od 50-km u regionalnom klimatskom modelu može biti dostatna da dovoljno dobro opiše stanje referentne klime i očekivane promjene u budućnosti prema unaprijed zadanom klimatskom scenariju. Međutim, za parametre koji imaju veću prostornu varijabilnost (oborine, snježni



pokrov, vjetar, itd.) ili su ovisni o različitim karakteristikama malih prostornih skala (orografija, kontrast kopno-more) poželjna je veća („bolja“, „finija“) horizontalna rezolucija. Zbog kompleksne orografije i osobito velikih razlika i kontrasta u obalnom pojasu, adekvatno numeričko modeliranje klime i klimatskih promjena za područje Hrvatske je vrlo zahtjevno.

Bolja horizontalna rezolucija klimatskog modela omogućava bolje razlučivanje detalja u prostornoj razdiobi klimatoloških varijabli. No, povećanje horizontalne rezolucije donosi neke druge probleme povezanih s fizikom i numerikom modela – eventualne promjene u parametrizacijama nerazlučivih procesa, smanjenje vremenskog koraka integracije, potencijalni problem stabilnosti, itd. Numeričke integracije na većoj horizontalnoj rezoluciji su skuplje u smislu zahtjeva za računalnim resursima (broj procesora, spremni prostor). U vrijeme pisanja ovog izvješća u tijeku su numeričke integracije RegCM klimatskim modelom na 12.5-km rezoluciji na super-računalu VELEbit, koje bi trebale biti dostupne do kraja 2017. godine. Rezultati tih integracija bit će od velike važnosti i koristi za istraživanje budućeg stanje naše klime.

Klimatske promjene i prilagodba klimatskim promjenama su dugoročni procesi. Kako bi se u budućnosti mjere prilagodbe primjereno odredile (jer se vremenom mogu i mijenjati), nužno je i nadalje pratiti promjene buduće klime. S obzirom da klimatski modeli postaju bolji i točniji, potrebno je za nekoliko godina obnoviti naše spoznaje o mogućim projekcijama buduće klime. Numeričke integracije klimatskim modelima valjalo bi ponoviti kad budu dostupni novi rezultati globalnih klimatskih modela i novo izvješće IPCC-ja. Ovakav pristup zahtjeva znatno veće ljudske i tehničke resurse u odnosu na trenutno dostupne. Stoga su potrebna znatna ulaganja u meteorološku i klimatološku struku u Hrvatskoj kako bi se što bolje prilagodili budućim klimatskim promjenama i njihovim posljedicama na sveukupno socio-ekonomsko stanje države i društva. Razvoj klimatskog modeliranja u budućnosti trebao bi ojačati istraživačke kapacitete u RH na temu (1) klimatskog modeliranja na 12.5 km i višim rezolucijama (1-4 km) te (2) združenog modeliranja atmosfera-ocean.



LITERATURA

Barić A, B Grbec, D Bogner (2008), Potential implications of sea-level rise for Croatia. *Journal of Coastal Research*, 24 (2), 299-305.

Branković Č, M Patarčić, L Srnc (2004), Seasonal dynamical downscaling with ERA-40 data: A sensitivity study. *Hrvatski meteorološki časopis*, 39, 15-39.

Branković Č, M Patarčić, I Güttler, L Srnc (2012), Near-future climate change over Europe with focus on Croatia in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Research*, 52, 227-251.

Branković Č, I Güttler, M Gajić-Čapka (2013), Evaluating climate change at the Croatian Adriatic from observations and regional climate models' simulations. *Climate Dynamics*, 41, 2353-2373.

Čupić S, N Domijan, H Mihanović, M Mlinar, N Leder, Z Gržetić (2011), Klimatske promjene, porast razine mora na hrvatskoj obali Jadrana? U: *Zbornik radova 5. Hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena*, Opatija 18. - 21. svibnja 2011., 593-600.

Dee DP, SM Uppala, AJ Simmons, P Berrisford, P Poli, S Kobayashi, U Andrae, MA Balmaseda, G Balsamo, P Bauer, P Bechtold, ACM Beljaars, L van de Berg, J Bidlot, N Bormann, C Delsol, R Dragani, M Fuentes, AJ Geer, L Haimberger, SB Healy, H Hersbach, EV Hólm, L Isaksen, P Kållberg, M Köhler, M Matricardi, AP McNally, BM Monge-Sanz, J-J Morcrette, B-K Park, C Peubey, P de Rosnay, C Tavolato, J-N Thépaut, F Vitart (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137, 553-597.

Dickinson RE, RM Errico, F Giorgi, GT Bates (1989), A regional climate model for the western United States. *Climatic Change* 15, 383-422

Dickinson RE, A Henderson-Sellers, PJ Kennedy (1993), Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Tech. rep. TN-387+STR, 72 pp.

Drobinski P, N Da Silva, G Panthou, S Bastin, C Muller, B Ahrens, M Borga, D Conte, G Fossier, F Giorgi, I Güttler, V Kotroni, L Li, E Morin, B Onol, P Quintana-Segui, R Romera, CZ Torma, (2016), Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios. *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-016-3083-x

Giorgi F (1990), Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *Journal of Climate* 3, 941-963

Giorgi F, MR Marinucci, G Bates (1993a), Development of a second generation regional climate model (RegCM2). I. Boundary layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review* 121, 2794-2813

Giorgi F, MR Marinucci, G Bates, G DeCanio (1993b), Development of a second generation regional climate model (RegCM2). II. Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review* 121, 2814-2832

Giorgi F, LO Mearns (1999), Introduction to special section: regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research* 104, 6335-6352

Giorgi F, E Coppola, F Solmon, L Mariotti, MB Sylla, X Bi, N Elguindi, G T Diro, V Nair, G Giuliani, UU Turuncoglu, S Cozzini, I Güttler, TA O'Brien, AB Tawfik, A Shalaby, AS Zakey, AL Steiner, F Stordal, LC Sloan, C Brankovic (2012), RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7-29.



- Grell GA (1993)**, Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, 121, 764–787.
- Güttler I, Č Branković, L Srnec, M Patarčić (2014)**, The impact of boundary forcing on RegCM4.2 surface energy budget. *Climatic Change*, 125 (1), 67-78.
- Güttler I, Č Branković, T O'Brien, E Coppola, B Grisogono, F Giorgi (2014)** Sensitivity of the regional climate model RegCM4.2 to planetary boundary layer parameterisation. *Climate Dynamics*, 43, 1753-1772.
- Güttler I, I Stepanov, Č Branković, G Nikulin i Jones C (2015)**, Impact of horizontal resolution on precipitation in complex orography simulated by the regional climate model RCA3. *Monthly Weather Review*, 143, 3610-3626.
- Hawkins E i R Sutton (2009)**, The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90, 1095–1107.
- Hawkins E (2011)**, Our evolving climate: communicating the effects of climate variability. *Weather*, 66, 175-179.
- Haylock MR, N Hofstra, AMG Klein Tank, EJ Klok, PD Jones, M New (2008)**, A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 113, D20119
- Holtzlag AAM, EIF de Bruijn, HL Pan (1990)**, A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Monthly Weather Review*, 118, 1561–1575.
- IPCC (2007)**, *Climate change 2007: The physical science basis*. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, 2007, Cambridge University Press, UK
- IPCC (2013a)** *Climate Change (2013): The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2013b)**, Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP4.5 [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Available from www.climatechange2013.org and www.ipcc.ch.
- Kennedy J, C Morice, D Parker & M Kendon (2016)**, Global and regional climate in 2015, *Weather*, 185-192
- Kiel JT, RJ Wolski, BP Briegleb, V Ramanathan (1987)** Documentation of radiation and cloud routines in the NCAR Community Climate Model (CCM1). NCAR Tech. rep. TN-288+1A, 109 pp.
- Orlić M, Z Pasarić (2013)**, Semi-empirical versus process-based sea-level projections for the twenty-first century. *Nature Climate Change*, 3, 735-738.
- Moss RH, JA Edmonds, KA Hibbard, MR Manning, SK Rose, DP van Vuuren, TR Carter, S Emori, M Kainuma, T Kram, GA Meehl, JFB Mitchell, N Nakicenovic, K Riahi, SJ Smith, RJ**



Stouffer, AM Thomson, JP Weyant, TJ Wilbanks (2010), The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, 46, 747–756.

Pal JS, EE Small, EAB Eltahir (2000), Simulation of regional scale water and energy budgets: Influence of a new moist physics scheme within RegCM. *Journal of Geophysical Research*, 105, 29 579–29 594.

Pal JS, F Giorgi, X Bi, N Elguindi and others (2007), Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88, 1395–1409

Palutikof JO, X.Guo, TML Wigley, JM Gregory (1992), Regional changes in climate in the Mediterranean basin due to global greenhouse gas warming. Athens, Greece: United Nations Environmental Programme MAP Technical Report Series 66, 172p.

Pašičko R, Č Branković, Z Šimić (2012), Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. *Renewable Energy*, 46, 224–231.

Patarčić M, Č Branković (2012), Skill of 2-m temperature seasonal forecasts over Europe in ECMWF and RegCM models. *Monthly Weather Review*, 140, 1326–1346.

Patarčić M, M Gajić-Čapka, K Cindrić, Č Branković (2014), Recent and near-future changes in precipitation-extreme indices over the Croatian Adriatic coast. *Climate Research*, 61, 157-176.

Sturm M, B Taras, G E Liston, C Derksen, T Jonas, J Lea (2010), Estimating snow water equivalent using snow depth data and climate classes. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 1380-1394

Tsimplis MN, F Raicich, L Fenoglio-Marc, AGP Shaw, M Marcos, S Somot, A Bergamasco (2012), Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts. *Physics and Chemistry of the Earth*, 40-41, 59–71.

Vautard R, A Gobiet, D Jacob, M Belda, A Colette, M Déqué, J Fernández, M Garica-Díez, K Goergen, I Güttler, T Halenka, T Karakostas, E Katragkou, K Keuler, S Kotlarski, S Mayer, G Nikulin, M Patarčić, J Scinocca, S Sobolowski, M Suklitsch, C Teichmann, E van Meijgaard, K Warrach-Sagi, V Wulfmeyer, P Yiou (2013) The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project. *Climate Dynamics*, 41, 2555–2575

Washington R (2000), Quantifying chaos in the atmosphere, *Progress in Physical Geography* 24,4, 499–514.

Zaninović K, M Gajić-Čapka, M Perčec Tadić, M Vučetić, J Milković, A Bajić, K Cindrić, L Cvitan, Z Katušin, D Kaučić, T Likso, E Lončar, Ž Lončar, D Mihajlović, K Pandžić, M Patarčić, L Srnc, V Vučetić (2008), *Klimatski atlas Hrvatske 1961-1990, 1971-2000*, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Zagreb.