

HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD CRNE GORE  
PODGORICA



Analiza distribucije i promjene meteoroloških parametara  
u slivu rijeke Morače nakon izgradnje HE na Morači

\* \* \*

Promjena sezonskih temperatura  
i akumuliranih padavina na slivu rijeke Morače  
po A1B scenariju promjene klime

PODGORICA, 2009.

# **Analiza distribucije i promjene meteoroloških parametara u slivu rijeke Morače nakon izgradnje HE na Morači**

## **Uvod**

Izgradnjom hidroelektrana na rijeci Morači doći će do potapanja dijela teritorije i promjene topografije zemljišta što će izazvati i određene promjene u životnoj sredini koje zahtijevaju analizu vremenskih i klimatskih karakteristika. Procjena mjere promjena vremenskih i klimatskih prilika može se dobiti korišćenjem numeričkih modela atmosfere koji imaju veoma važnu ulogu u prognozi vremena kao i u istraživanjima vezanim za klimatske promjene .

Metodom numeričkog modeliranja izvršena je analiza meteoroloških elemenata, za prostor sliva rijeke Morače za 2002., 2003. i 2004. godinu, a zatim i simulacija za isti vremenski period sa izmijenjenom topografijom. Ideja projekta je da se eksperimentalnim putem, korišćenjem numeričkog NMM modela, utvrdi vjerovatnoća da će promjena topografije, odnosno stvaranje vještačke hidroakumulacije na rijeci Morači, usloviti promjenu vrijednosti određenih meteoroloških parametara.

U ovom izvještaju izloženi su rezultati numeričke integracije za oblast sliva rijeke Morače u slučaju bez i sa vještačkom hidroakumulacijom i grafičkim putem su prikazane promjene meteoroloških parametara: temperature, relativne vlažnosti, akumuliranih mjesečnih padavina i sniježnog pokrivača.

## **Opis modela**

NMM je nehidrostatički model mezo razmjera sa hidrostatičkom opcijom (Janjić et al. 2001, Janjić 2003a, b) koji koristi metod mreže tačaka na polurazmaknutoj Arakavinoj E mreži (Arakawa and Lamb 1977) i vertikalnom hibridnom  $\sigma$ -p koordinatom koja prati teren. Vremensko diferenciranje je eksplicitno sa rascjeppljivanjem (Mesinger 1977; Janjić 1979) pomoću naprijed-nazad i implicitne šeme. Za horizontalno prostorno diferenciranje koristi se Adams-Bashforth-ova, a za vertikalno Crank-Nicholson-ova šema. Turbulentna kinetička energija se računa u svakom drugom koraku. U horizontalnoj advekciji model ima ugrađenu kontrolu nelinearne kaskade energije (Janjić 1984). Bočna difuzija je drugog reda sa difuznim koeficijentom koji zavisi od deformacije i turbulentne kinetičke energije. Difuzija se dijeli na horizontalnu i vertikalnu. Vertikalna difuzija u planetarnom graničnom sloju (oko 1km) i u slobodnoj atmosferi parametrizuje se površinskom šemom i bočnom parametrizacijom (šema Janjić 1996a, 1996b, 2002a, 2002b). Za bočnu difuziju korišćen je nelinearni pristup Smagorinskog (Janjić 1990) gdje je kontrolni parametar horizontalne difuzije kvadrat konstante Smagorinskog. Horizontalna komponenta divergencije je filtrirana (Sadourny 1975) i onda kada se primjenjuje tehnika povezivanja elementarnih podmreža iz E mreže (Janjić 1979).

## Fizika modela

Za mikrofiziku se u modelu koristi Eta Ferrier šema koja je operativna u NCEP-u (National Center for Environment Prediction, USA). Dugotalasno i kratkotalasno zračenje računa se pomoću radijacione šeme NMC (National Meteorological Center, USA), verzije GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory). U integraciji za planetarni granični sloj koristi se parametrizaciona šema Melor-Jamada nivoa 2.5 (Vager and Zilitinkevitch 1968; Zilitinkevitch 1970; Mellor and Yamada 1974, 1982; Janjić 1990, 1994). Za "prizemni" sloj se koristi Monin-Obuhova teorija sličnosti sa plitkim dinamičkim turbulentnim slojem na dnu (Janjić 1990, 1994) i viskoznim podslojem. U model su uključeni i prizemni procesi, kao što su isparavanje, snijeg, topljenje snijega, hidrologija i dr. (Janjić 1990, 1994) u okviru NOAA (N: National Centers for Environmental Prediction (NCEP), O: Oregon State University (Dept of Atmospheric Sciences), A: Air Force (both AFWA and AFRL - formerly AFGL, PL), H: Hydrologic Research Lab - NWS (now Office of Hydrologic Dev -- OHD) -LSM (Land Surface Model) modela. Parametrizacija konvekcije vrši se modifikovanom Bets-Miler-Janjić šemom za plitku i duboku konvekciju (Betts 1986; Betts and Miller 1986), a takođe su uključene i padavine velikih razmjera.

## Numerička integracija

Numeričko diferenciranje vršeno je za oblast sliva rijeke Morače za vremenski period od 2002 - 2004. godine. Korišćen je naprijed opisani nehidrostatički model NMM sa horizontalnim razlaganjem od ~ 4 km, za oblast 2.4 x 2.8 stepeni (250 km x 300 km) na 37 vertikalnih sigma nivoa. Topografija i dimenzije buduće vještačke akumulacije na rijeci Morači uslovlili su izbor rezolucije modela od ~4 km što je sa gledišta računarskih kapaciteta veoma zahtjevan uslov. Postojeća analizirana meteorološka polja data su na rezoluciji oko 50km, tako da je bilo potrebno izvršiti dinamičko skaliranje od grubih (50km) ka finim (~4km) rezolucijama u više etapa.

Početni i bočni granični uslovi dobijeni su iz reanaliziranih polja ECMWF-a (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA (Re-analysis Data Archive) na rezoluciji 50km, na 14 standardnih nivoa pritiska i u šestočasovnim intervalima, a podaci su dobijeni dekodiranjem WMO GRIB formata.

Vršena je integracija za oblast Jugoistočne Evrope i Mediterana na rezoluciji 30km sa početnim i bočnim graničnim uslovima iz reanaliziranih polja ECMWF-a korišćenjem NMM-30km modela. Dobijena su meteorološka polja za godine 2002, 2003 i 2004, a izlazni rezultati zapisivani su na standardnim nivoima pritiska i na hibridnim nivoima, na svaka 3 sata.

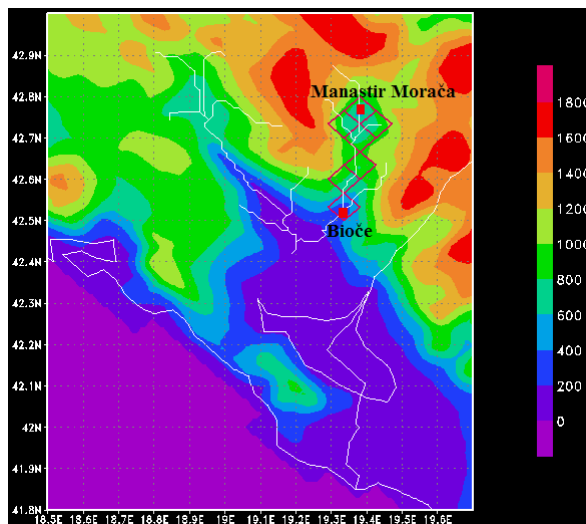
Ugnježdeni NMM-12km model korišćen je za isti period za oblast zapadnog Balkana i Jadranskog mora sa graničnim i početnim uslovima dobijenim iz NMM-30km modela. Izlazna meteorološka polja zapisivana su za svakih sat vremena, na standardnim nivoima pritiska i hibridnim sigma-p nivoima. Podaci dobijeni na ovaj način iz NMM-12km modela korišćeni su dalje kao početni i granični uslovi za konačnu integraciju sa NMM~4km za oblast Crne Gore bez vještačke akumulacije tj. sa standardnim setom geografskih podataka. Izlazni podaci dati su na sat vremena. Za ovaj model je urađena i verifikacija srednjih mjesečnih temperatura i kumulativnih padavina za Podgoricu i Kolašin, a rezultati verifikacije su dati u posebnom poglavlju.

Na kraju, da bi se procijenio uticaj vještačkog jezera na okolinu urađena je simulacija poslednjeg ciklusa pomoću modela NMM~4 km za istu oblast, pod jednakim uslovima, koristeći iste početne i granične uslove iz NMM-12km modela sa modifikovanom topografijom tako što je ubačeno vještačko jezero prilagođeno rezoluciji modela. Temperatura vode se ne mijenja u toku dana, ali se uzima u obzir njena sezonska promjena. Ovo se opravdava činjenicom da je dnevna amplituda temperature vodene površine u stvarnosti znatno manja u odnosu na sezonsku i u odnosu na dnevnu temperaturnu amplitudu čvrstog tla.

Ukupan ciklus operacionalizacije naprijed navedenih modela je iziskivao 17 dana procesorskog CPU vremena, na 8 procesora generacije Intel (R) Xeon od 2.83 GHz.

## Prezentacija vještackog jezera u modelu

Na osnovu projekcije položaja buduće vještačke hidroakumulacije na rijeci Morači u modelu su izvršene odgovarajuće promjene. Modifikovana je topografija tako što je u 7 boksova mreže realno tlo zamijenjeno vodenom površinom sa prilagođenom temperaturom. Sistem od četiri jezera je predstavljen jednim jezerom. Geografski položaj jezera u modelu određen je tako da predstavlja zadovoljavajuću aproksimaciju realnog budućeg položaja jezera gledano iz ugla geometrije modela.



Slika1.1: Oblast integracije sa topografijom i ucrtanom površinom vještačkog jezera gdje se u centrima kvadrata koji predstavljaju oblast akumulacionog jezera nalaze tačke koje su predstavljene karakteristikama vode

## Rezultati analize promjene parametara usled umetanja vještačkog jezera

Analiza se zasniva na razlikama polja meteoroloških parametara bez akumulacionog jezera i sa akumulacionim jezerom tako što se pravila numerička razlika (sa jezerom – bez jezera) za sve parametre po mjesecima za period 2002-2004. godina. Treba napomenuti da je period od 3 godine minimalni vremenski interval za reprezentativnost analize. Analiza je urađena za temperaturu na 2m iznad tla, relativnu vlažnost vazduha na 2 m iznad tla usrednjenih na mjesečnom nivou, za padavine i visinu sniježnog pokrivača kumulativne na mjesečnom nivou.

Na kartama su korištene sledeće skraćenice:

T – temperatura u modelu bez jezera

TJ – temperatura u modelu sa jezerom

RR – količina padavina u modelu bez jezera

RRJ – količina padavina u modelu sa jezerom

RH – relativna vlažnost u modelu bez jezera

RHJ – relativna vlažnost u modelu sa jezerom

S – snijeg u modelu bez jezera

SJ – snijeg u modelu sa jezerom

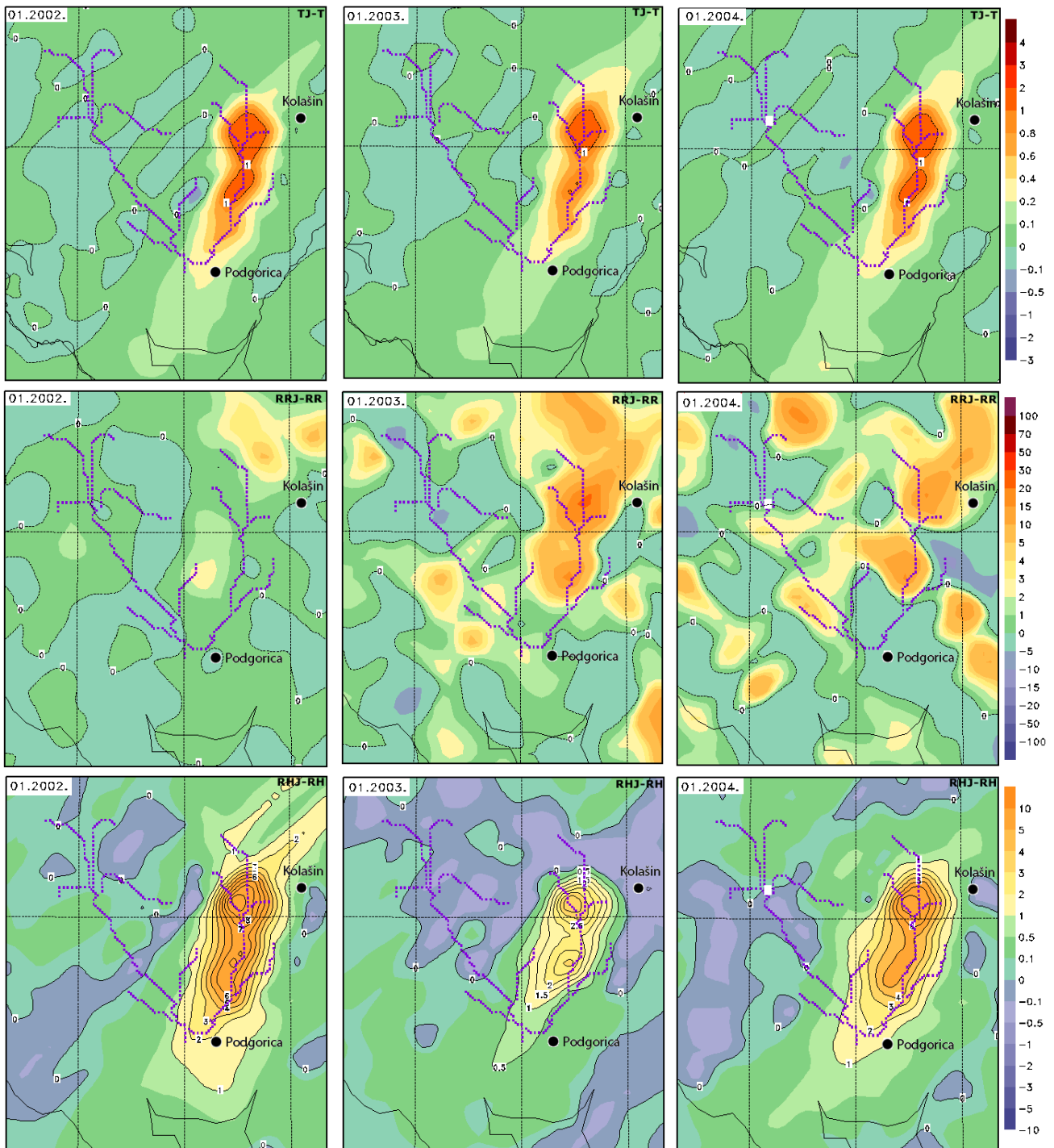
Slijedi prikaz po mjesecima:

## JANUAR

Sa slike 2. za mjesec januar može se zaključiti da u okolini jezera postoji zona sa porastom temperature koja gradijentno opada udaljavajući se od površine jezera. Uticaj vještačke akumulacije na promjenu temperature odražava se razlikama između 0.2 i 0.8 stepeni južno od budućeg jezera u oblasti Podgorice i Skadarskog jezera.

Kumulativne količine kiše su u januaru 2003. i 2004. godine u nekim oblastima i 10 puta veće u odnosu na 2002. godinu. Samim tim razlike u padavinama daleko su izraženije u 2003. i 2004. godini što se ne može tumačiti samo uticajem jezera na režim povećanja padavina.

Sa slike se zapaža da je srednja relativna vlaga za mjesec januar u 2003. godini bila veća u prosjeku za oko 5% u odnosu na januar 2002. i 2004. godine pa je samim tim uticaj jezera veći u januaru 2002. i 2004. godine zbog popunjavanja smanjenja vlažnosti.



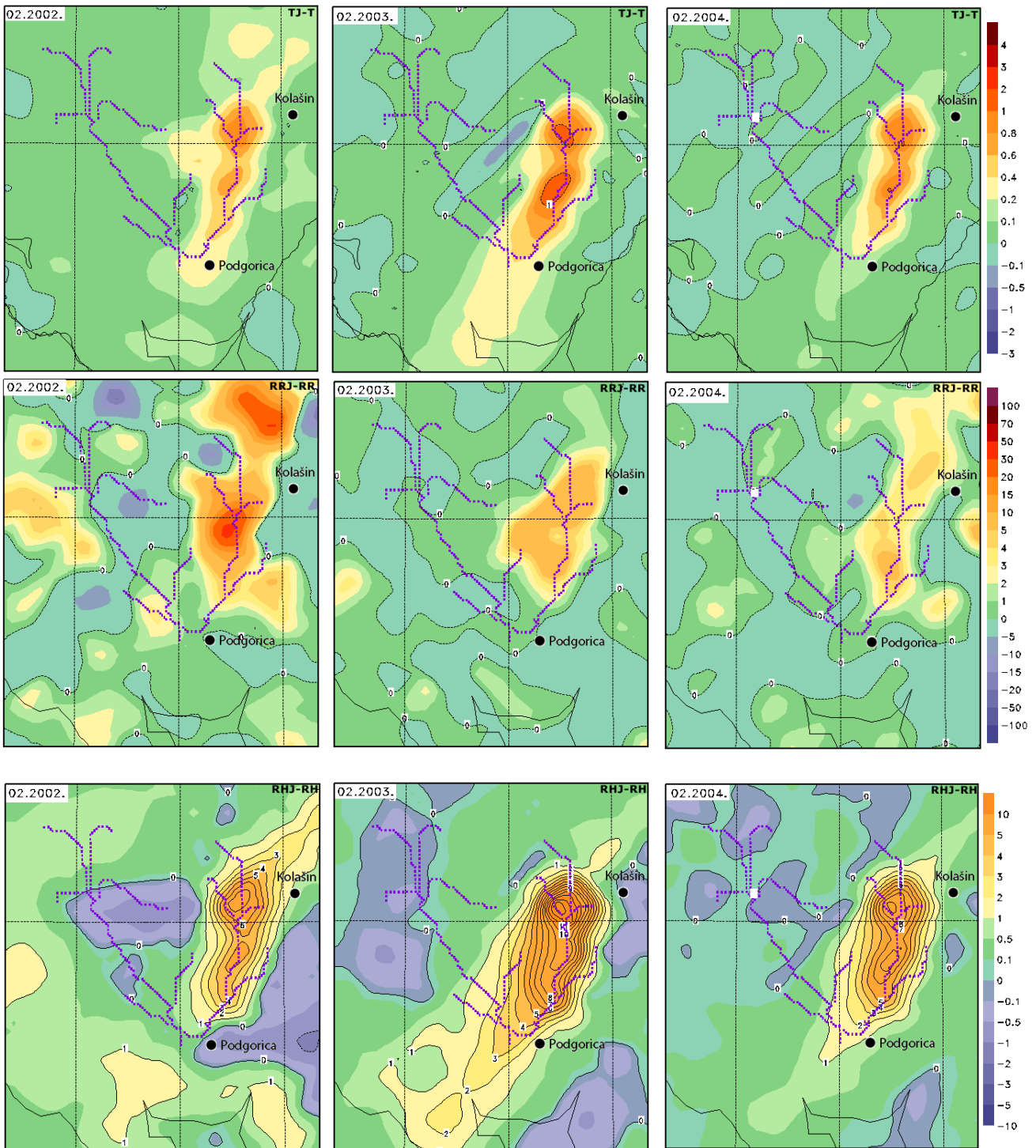
Slika 1.2: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec januar 2002., 2003. i 2004. godine

## FEBRUAR

Februara 2003. i 2004. godine srednja temperatura vazduha bila je znatno niža od srednje temperature u 2002. godini, pa je uticaj „ugrađenog“ jezera na srednju temperaturu u 2002. godini mnogo manje izražen.

U februaru 2002. godine u zoni gdje će biti akumulaciono jezero bilo je više padavina, što se odražava i na veće razlike usled vještačke akumulacije u odnosu na 2003. i 2004. godinu.

Februar 2002. godine bio je vlažniji od februara 2003. i 2004. za oko 10%, pa čak i do 20% u oblasti Podgorice u odnosu na 2003. godinu, pa je samim tim i porast vlažnosti u februaru 2002. godine manji i kreće se od 1 do 7% u okolini jezera.



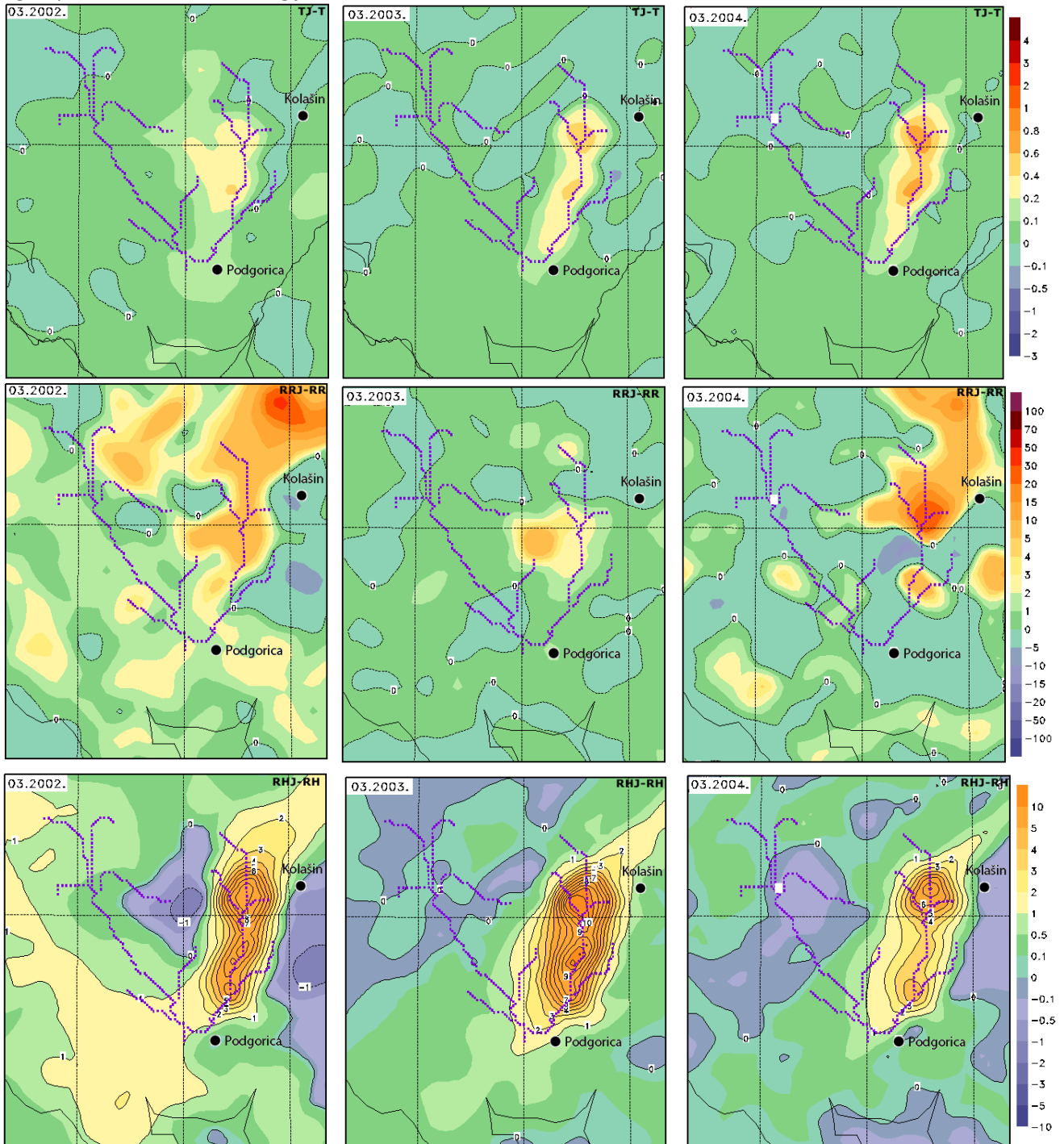
Slika 1.3: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec februar 2002., 2003. i 2004. godine

## MART

Srednja temperatura marta mjeseca 2003. i 2004. godine je takođe bila niža, naročito u sjeveroistočnom dijelu sliva Morače pa su samim tim i razlike temperature izraženije nego u martu mjesecu 2002. godine.

U martu 2002 nema značajnog uticaja jezera na režim padavina. U martu 2003. godine pala je mala količina kiše, najviše na sjeveroistoku oblasti, ali se vidi značajan uticaj akumulacionog jezera na povećanje količine kiše u bližoj okolini jezera. 2004. godine na cijeloj teritoriji Crne Gore kumulativne padavine su se kretale od 150 do 500 mm, a u zapadnom dijelu zone akumulacionog jezera bio je maksimum akumuliranih padavina od 500 mm, tako da se može zaključiti da je uticaj jezera doprinio povećanju količine padavina za oko 6%.

Južno od akumulacionog jezera srednja vlažnost u martu 2002. i 2003. godine bila je za oko 10% niža od srednje vlažnosti u 2004. godini što rezultuje većom pozitivnom razlikom vlage u 2002. i 2003. godini južno i jugozapadno od akumulacionog jezera.



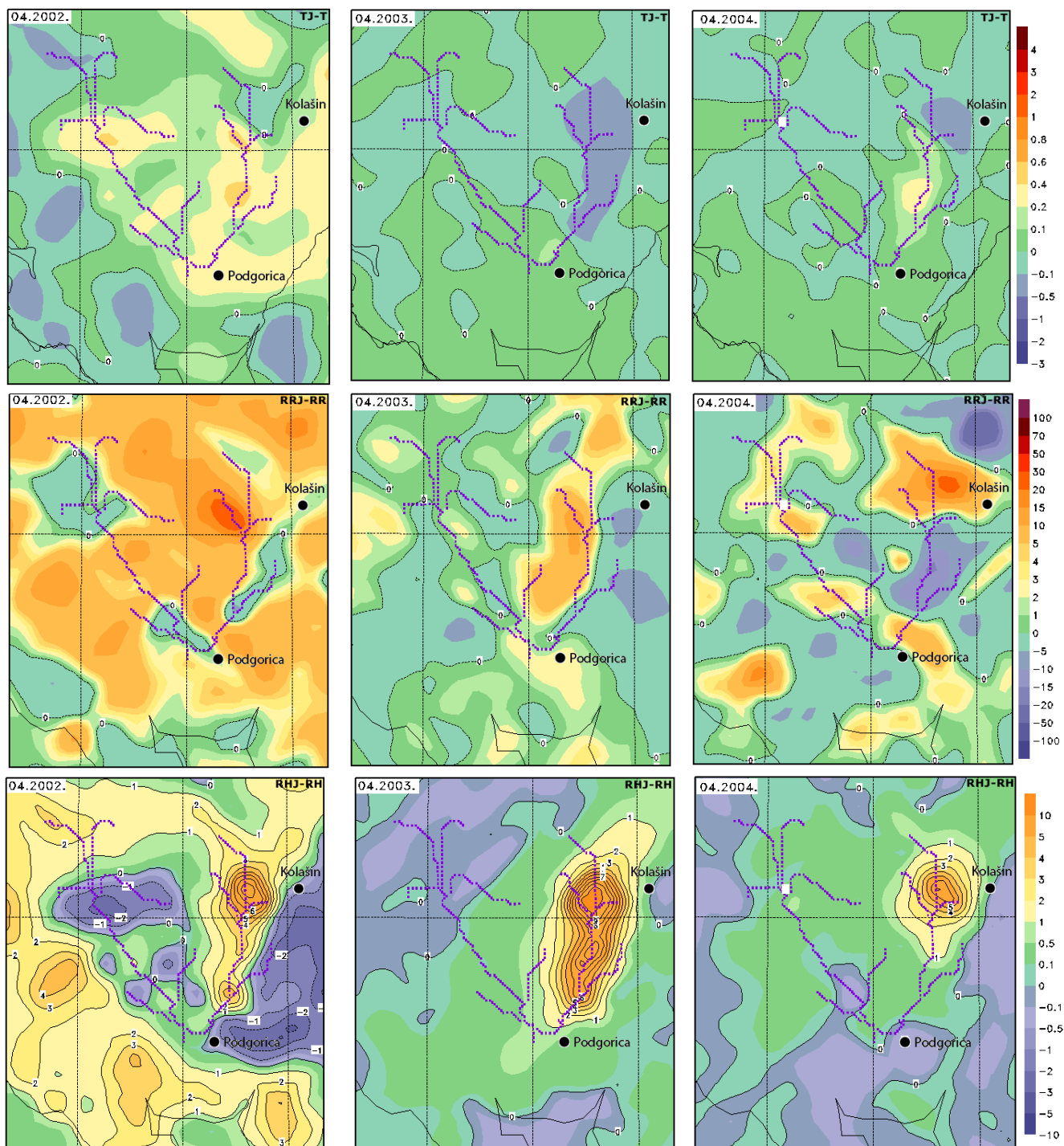
Slika 1.4: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec mart 2002., 2003. i 2004. godine

## APRIL

U aprilu su razlike između srednje mjesečne temperature i temperature jezera male, pa je i promjena u temperaturi usled forsiranja vodenom površinom vještačke akumulacije neznatna.

U aprilu 2002. godine je u zapadnom dijelu zone akumulacionog jezera bio maksimum akumuliranih padavina od 500, a doprinos povećanju količine padavina usled umetanja jezera iznosi oko 5% u odnosu na ukupnu količinu padavina. U 2003. i 2004. godini promjene su slabije izražene.

Što se relativne vlažnosti u oblasti oko jezera, za mjesec april tiče razlike su najizraženije u 2003. godini i iznose oko 10%. U oblastima gde postoje pozitivne razlike u srednjoj mjesečnoj temperaturi u martu i aprilu 2002. godine dolazi do smanjenja vlažnosti, to su oblasti zapadno i istočno od jezera



Slika 1.5: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec april 2002., 2003. i 2004. godine

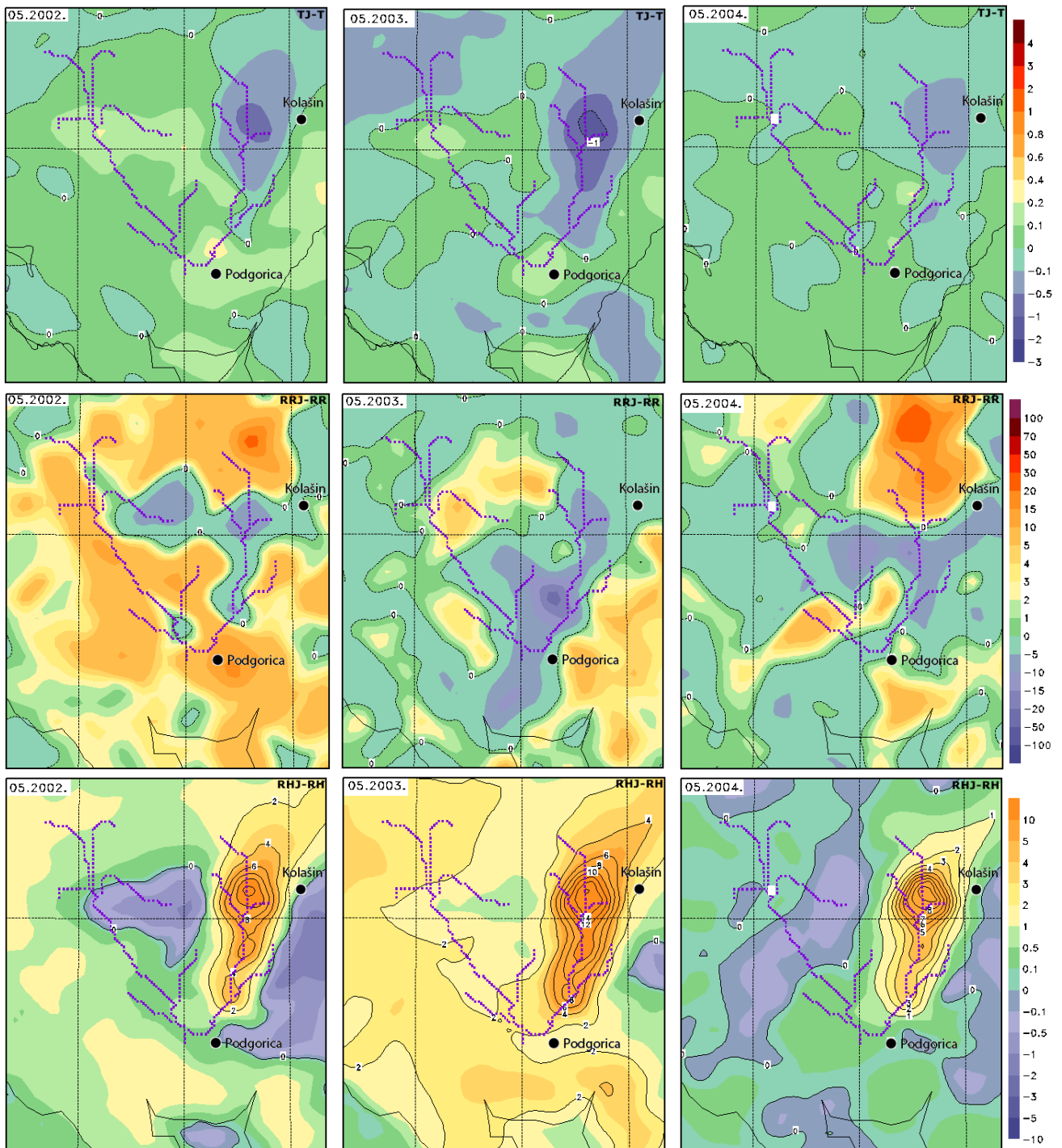


## MAJ

Maj 2003. godine bio je topliji u odnosu na preostale dvije godine, a i promjena srednje mjesečne temperature nastala usled izmjena u topografiji najizraženija je 2003. godine. Zapaža se negativna razlika u okolini jezera zbog više temperature okoline od temperature jezera što dovodi do efekta isparavanja i snižavanja temperature na površini samog jezera i njegove okoline. U maju 2004. godine promjene su najslabije izražene.

Za maj mjesec u okolini jezera akumulirane mjesečne padavine u 2002. godini iznose od 100 do 200 mm, a u 2003. od 30 do 100 mm, hlađenje je između 0,1 i 1 stepen što je za posledicu imalo smanjenje padavina od 5 do 20 mm. U 2004. godini količina akumulirane mjesečne kiše je znatno veća i u oblasti akumulacionog jezera iznosi i preko 400 mm, što ne daje znatno veće razlike u odnosu na prethodne dve godine.

Razlika za RH u okolini jezera u 2003. ima veće vrijednosti nego u maju 2002. i 2004. godine za oko 4%.



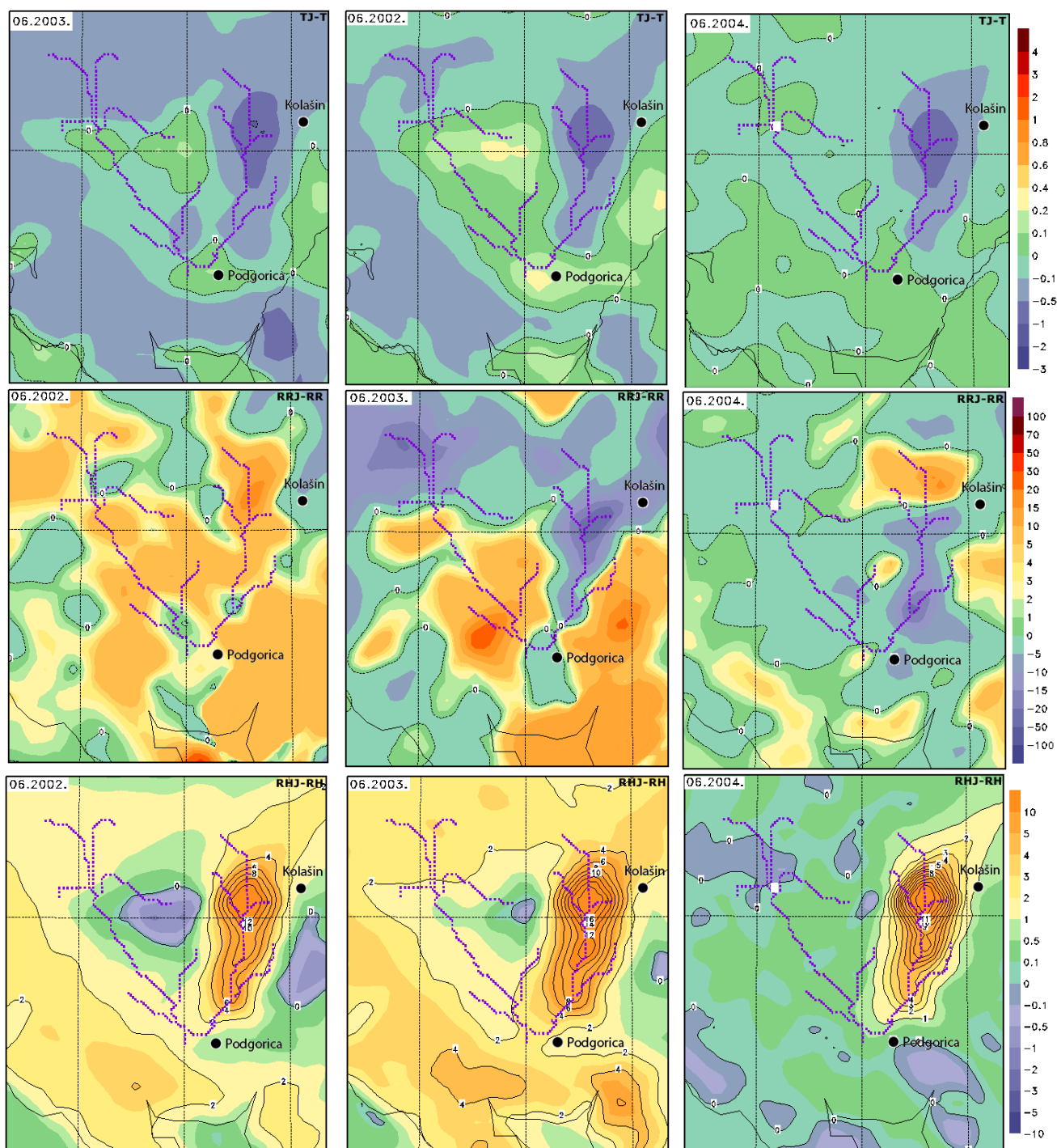
Slika 1.6: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec maj 2002., 2003. i 2004. godine

## JUN

Promjene u srednjoj mjesečnoj temperaturi za jun su slabo izražene u vidu hlađenja u okolini jezera do 0,5 stepeni.

Kumulativna količina padavina u junu 2002. godine u zoni akumulacionog jezera iznosila je od 100 do 150 mm i postoji porast padavina u samoj zoni do 15 mm. U 2003. godini u oblasti jezera akumulirane mjesečne padavine vrijednosti oko 100 mm i hlađenje u toj oblasti za oko 1 stepen za posledicu daju smanjenje padavina od 5 do 20 mm. U 2004. godini nema izraženih razlika u količinama padavina izazvanih umetanjem vještačkog jezera.

Polja srednje mjesečne relativne vlažnosti su veoma slična za mjesec jun u 2002. i 2003. godini, pa se može uočiti i da su same razlike u relativnoj vlažnosti u okolini jezera veoma slične. U 2004. godini su razlike slabije izražene u odnosu na prethodne dvije godine.



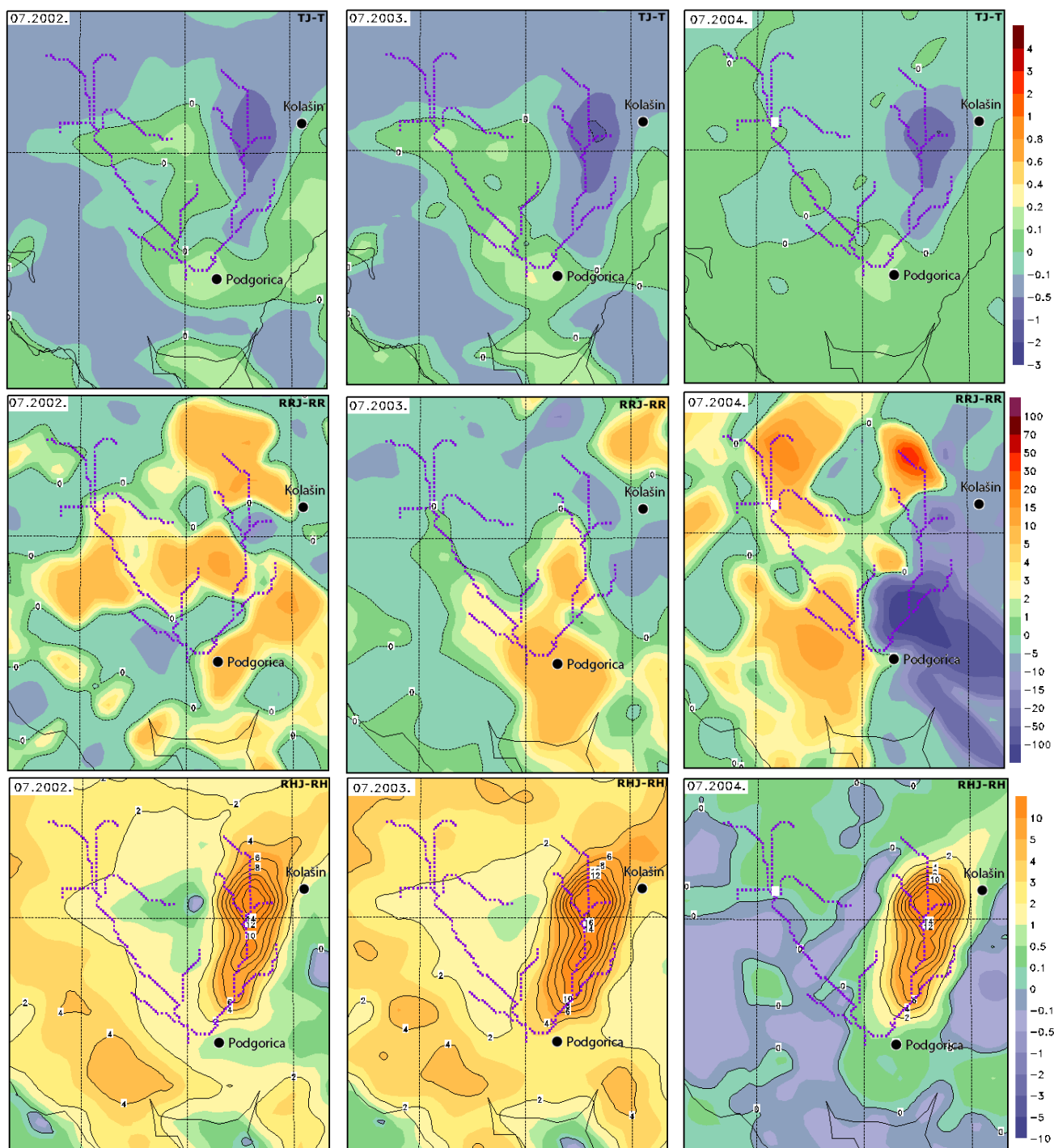
Slika 1.7: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec jun 2002., 2003. i 2004. godine

## JUL

Promjene u srednjoj mjesečnoj temperaturi za jul su slabo izražene u vidu hlađenja u okolini jezera do 0,5 stepeni.

U julu 2002. godine sjeverno, zapadno i istočno od zone akumulacionog jezera kumulativne mjesečne padavine su bile oko 100 mm i u tim zonama postoji mali porast padavina do 10mm. 2003. godine jul je bio veoma sušan sa najvećom vrijednosti kumulativnih padavina do 100 mm na sjeveroistoku i javlja se smanjenje padavina oko oblasti sa umetnutim jezerom i porast u oblasti Podgorice koji iznosi do 10mm.

U julu je srednja relativna vlažnost veća u prosjeku za 15% u 2002. godini u odnosu na 2003. godinu pa su i razlike samim tim veće u 2003. godini u prosjeku za oko 2%. U 2004. godini u julu postoji povećanje vlage u samoj okolini jezera koje iznosi do 14%.



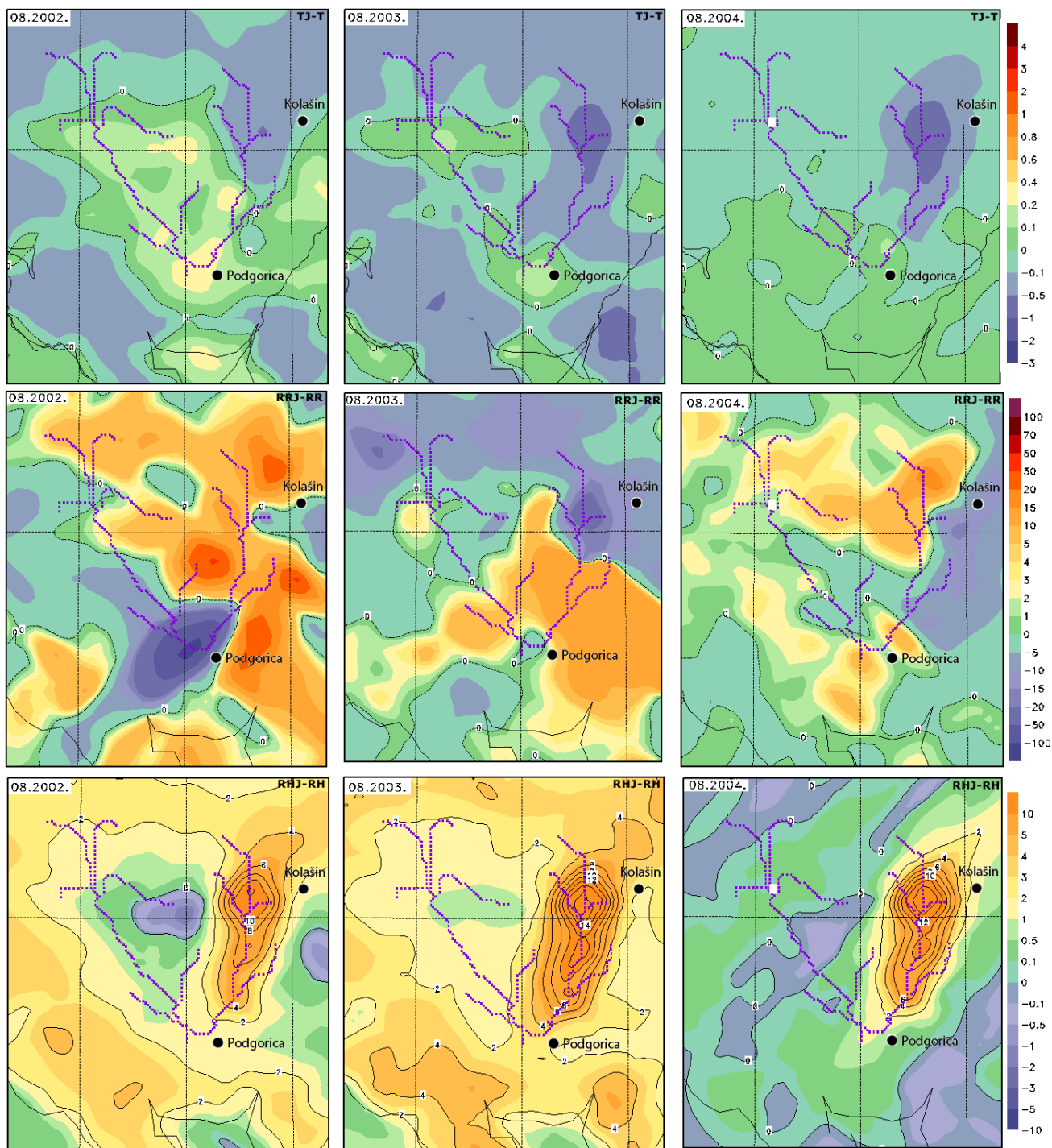
Slika 1.8: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec jul 2002., 2003. i 2004. godine

## AVGUST

U avgustu su u blizini jezera srednje mjesečne temperature vazduha za tri do 4 stepena više od okoline što kao posledicu ima veće hlađenje na samoj površini i bliskoj okolini jezera koja iznosi oko jedan stepen.

Avgust 2002. se karakteriše zonom padavina u cijeloj oblasti akumulacionog jezera od 200 do 300 mm, a u zoni samog akumulacionog jezera postoji i porast padavina. Jugozapadno od akumulacionog jezera postoji izrazit pad u temperaturi i kao posledica toga u istoj oblasti je velika zona smanjenja padavina koji iznosi do 100 mm.

Za avgust su razlike u srednjoj mjesečnoj relativnoj vlažnosti u 2003. i 2004. godini u samoj zoni akumulacionog jezera u odnosu na 2002. godinu u prosjeku za oko 4 % veće. U 2004. godini je oblast u kojoj se javlja porast vlage sužena u odnosu na prethodne dvije godine.



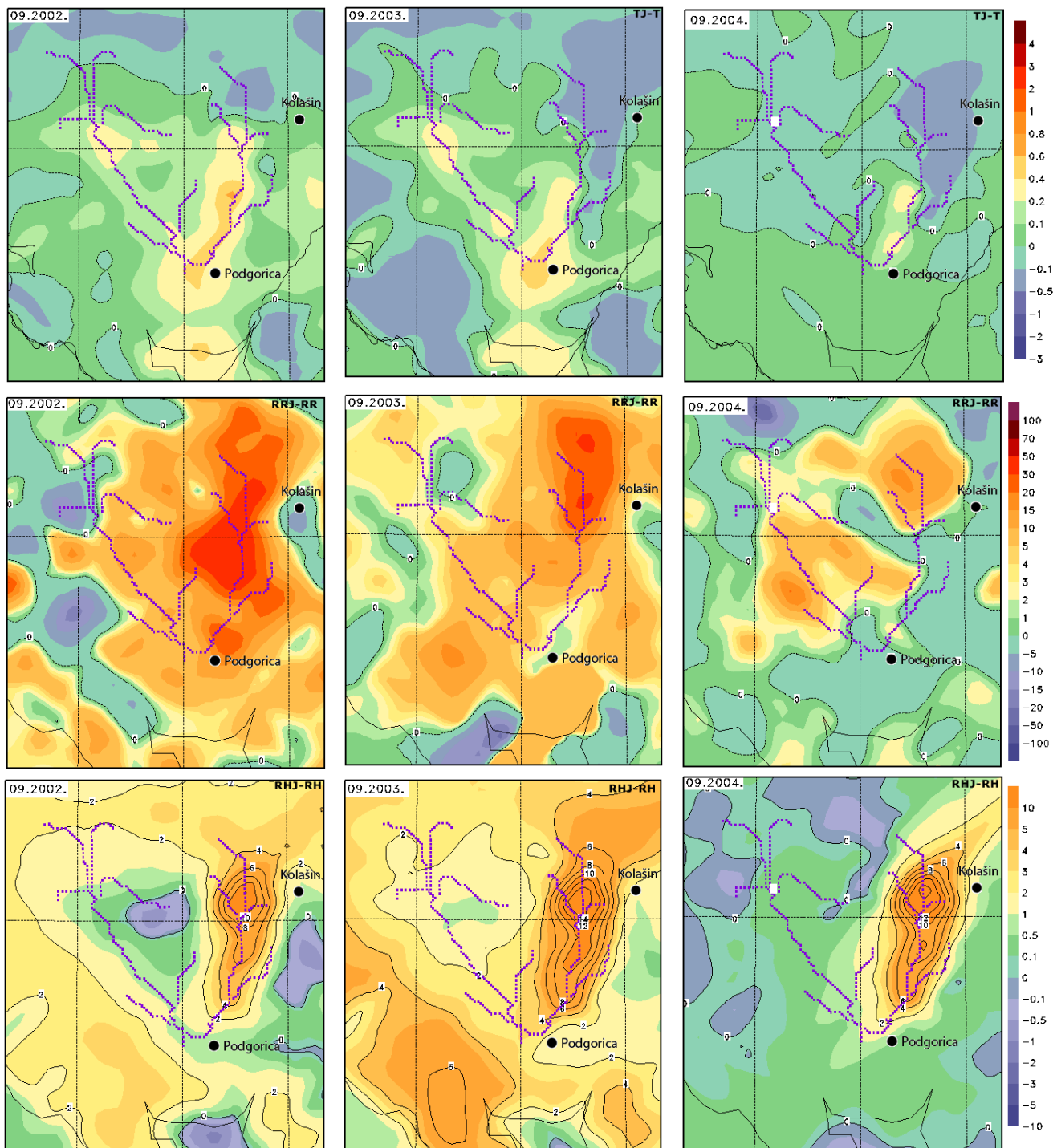
Slika 1.9: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec avgust 2002., 2003. i 2004. godine

## SEPTEMBAR

Za septembar su polja srednje mjesečne temperature za 2002., 2003. i 2004. godinu veoma slična i efekat jezera se u sva tri slučaja generalno slabo primećuje.

Za septembar mjesec najizraženija promjena u količini padavina javlja se u 2002. godini i iznosi do 50 mm. Primjetna je i promjena količine padavina u septembru 2003. sjeverno od sliva.

U septembru 2003. godine je u sjeveroistočnom dijelu oblasti srednja mjesečna vlažnost niža za oko 10 % u odnosu na 2002. godinu, što utiče i na veće pozitivne razlike i širu oblast uticaja akumulacionog jezera u 2003. godini u odnosu na 2002. U 2004. godini iz istih razloga postoje veće pozitivne razlike na sjeveroistoku oblasti.



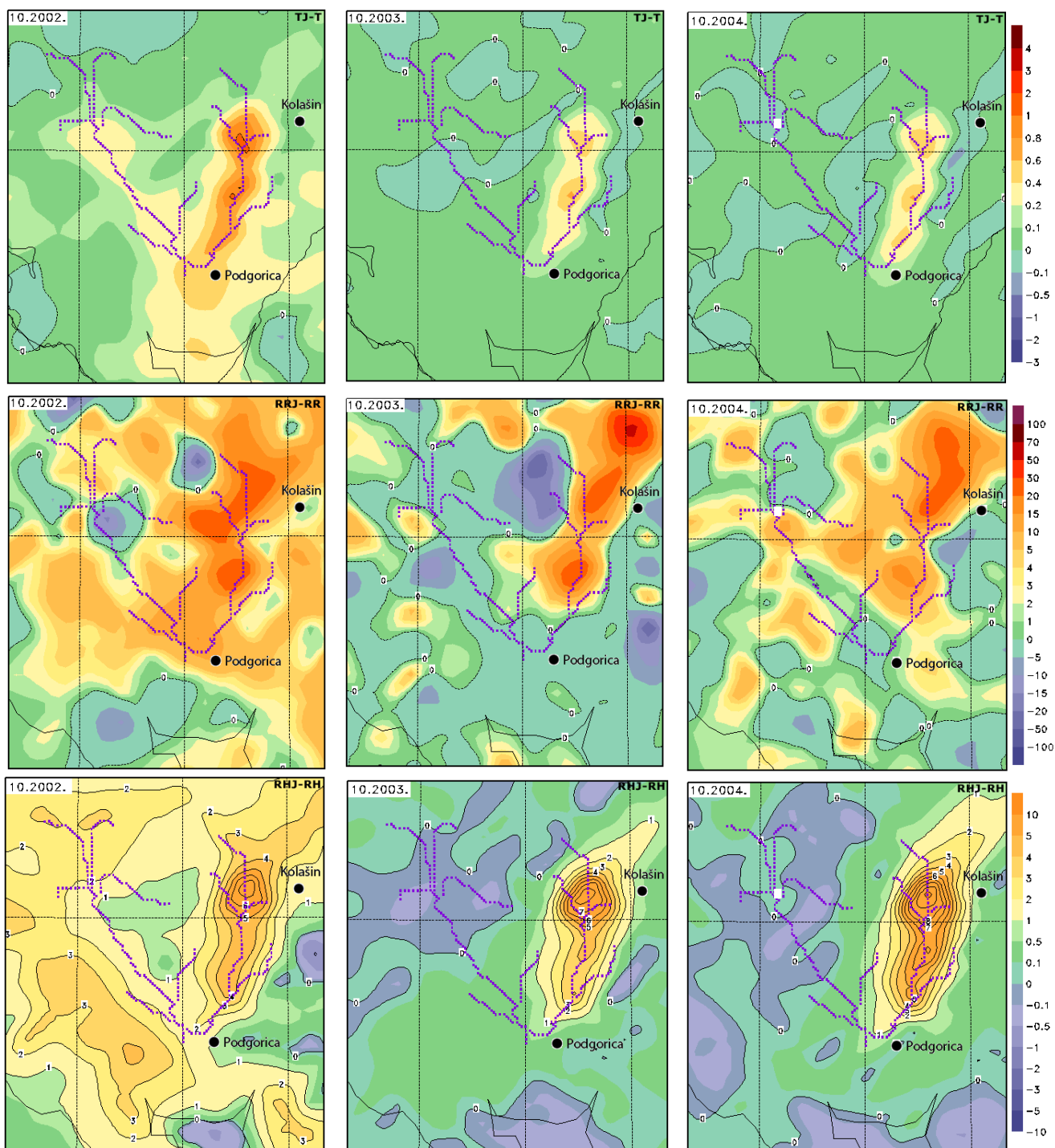
Slika 1.10: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec septembar 2002., 2003. i 2004. godine

## OKTOBAR

U oktobru polja srednje mjesečne temperature za sve tri godine su veoma slična. U 2002. godini postoji nešto veći uticaj jezera i zagrijevanje u intervalu od 0.4 do 0.8 stepeni u širem području oko oblasti umetnutog jezera i duž dolina rijeka.

U oblasti jezera u oktobru postoji centar maksimuma akumuliranih mjesečnih padavina do 500 mm za 2002. do 1000 mm za 2003. godinu. Sa slike se vidi da postoji doprinos ukupnim mjesečnim padavinama oko 5 % za 2002. i od 1 do 2 % za 2003. godinu. U 2004. godini promjene u akumuliranim padavinama ne prelaze 50 mm i najizraženije su u samoj zoni sa jezerom.

U oktobru promjena srednje mjesečne relativne vlažnosti izražena je u oblasti jezera i iznosi od 1 do 8%.



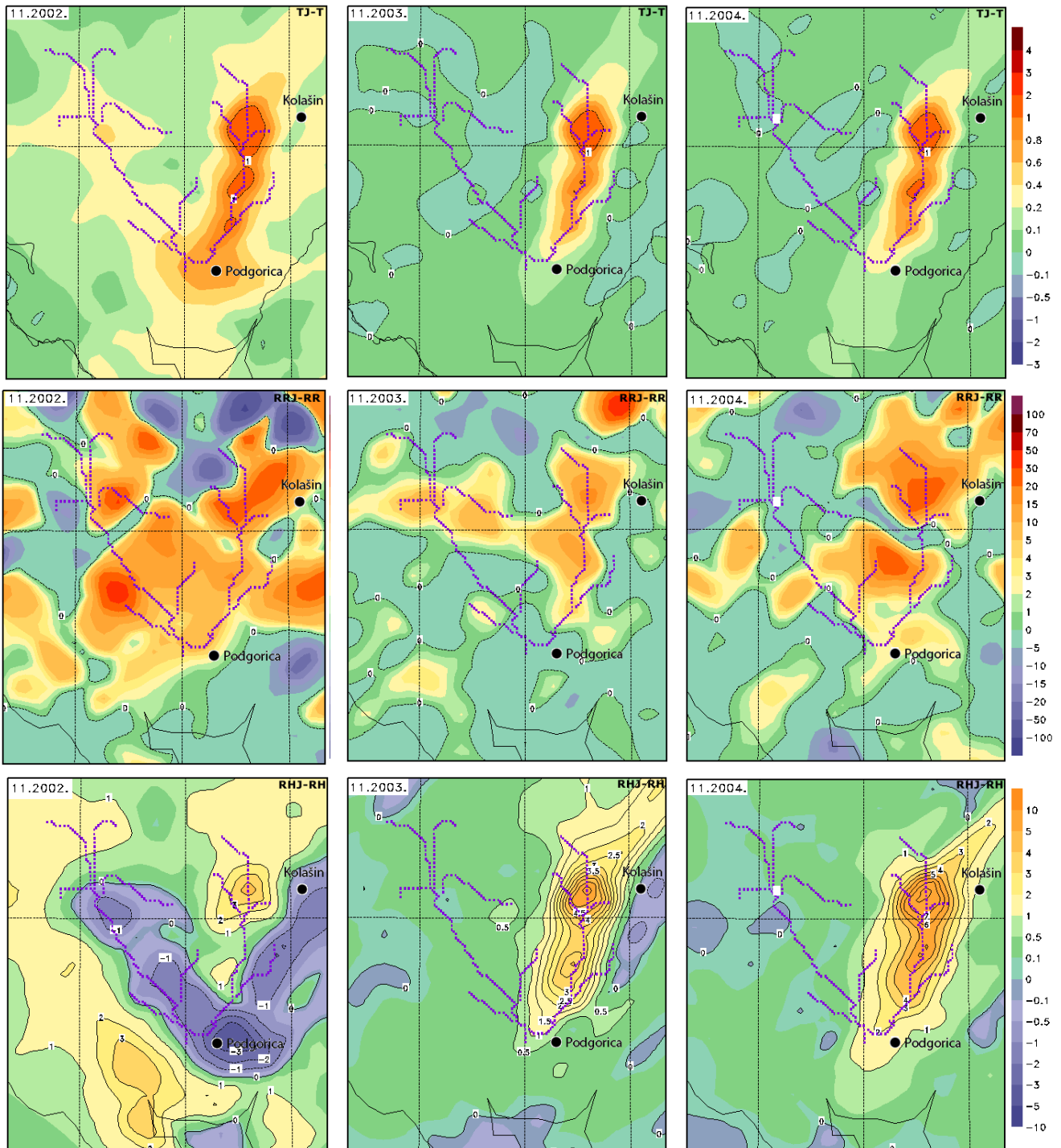
Slika 1.11: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec oktobar 2002., 2003. i 2004. godine

## NOVEMBAR

Tokom sve tri analizirane godine oblast u kojoj se primjećuje promjena temperature uslovljena umetnutim jezerom ima vrlo sličan oblik. U samoj zoni jezera povrast srednje mjesečne temperature je oko 1 stepen dok se u Podgorici kreće od 0.2 stepena 2003. i 2004. do 0.8. stepeni 2002.

Maksimalne akumulirane mjesečne padavine u novembru iznose do 500 mm za 2002, do 600 mm za 2003. godinu, a centar maksimuma nalazi se u oblasti akumulacije i postoji doprinos od oko 5 % za 2002 i oko 3% za 2003. godinu. U 2004. godini razlika iznosi do 30mm.

U novembru 2002. godine u oblasti Podgorice i duž dolina reka postoji izražen porast vlažnosti, koji iznosi do 3 %. U 2003. i 2004. takav porast ne postoji i zona uticaja akumulacionog jezera na povećanje vlažnosti sužena je i vrijednosti se kreću od 1 do 8%.



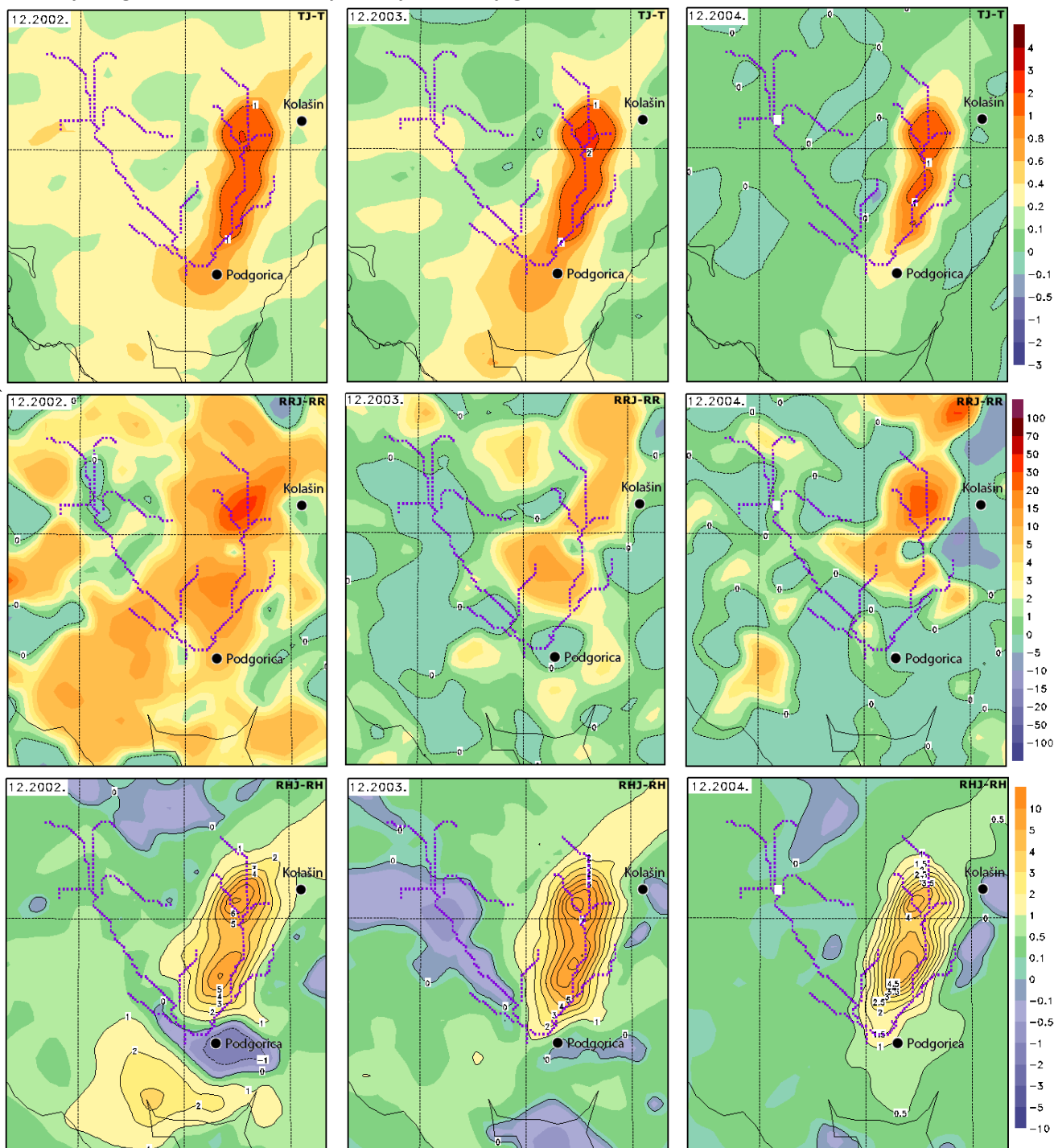
Slika 1.12: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec novembar 2002., 2003. i 2004. godine

## DECEMBAR

U decembru postoje tek neznatne razlike u rasporedu srednje mjesečne temperature u oblasti, što je rezultovalo neznatnim razlikama po godinama u zagrevanju u okolini jezera. Zagrijavanje iznosi između 1 i 2 stepena u blizini same površine jezera i između 0.2 i 0.8 stepeni u njegovoj okolini.

Centar maksimuma akumuliranih padavina od 500mm za decembar 2002. godine i 400mm za decembar 2003. godine je u oblasti akumulacionog jezera, a doprinos je 3% porast za 2003. i oko 12% za 2002. godinu. 2004. godina imala je najveću količinu akumuliranih mjesečnih padavina, a razlike usled vještačke akumulacije ne prelaze 50 mm.

Polja srednje mjesečne relativne vlažnosti veoma su slična u decembru mjesecu za 2002. i 2003. godinu, pa je samim tim i porast vlage izražen u jednakoj meri i iznosi do 7%. U decembru 2004. godine jezero utiče na povećanje vlage do 5 % i to u oblasti jezera i južno od njega.



Slika 1.13: Promjena srednje mjesečne temperature, kumulativne količine padavina i relativne vlažnosti uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za mjesec decembar 2002., 2003. i 2004. godine



## Zaključak

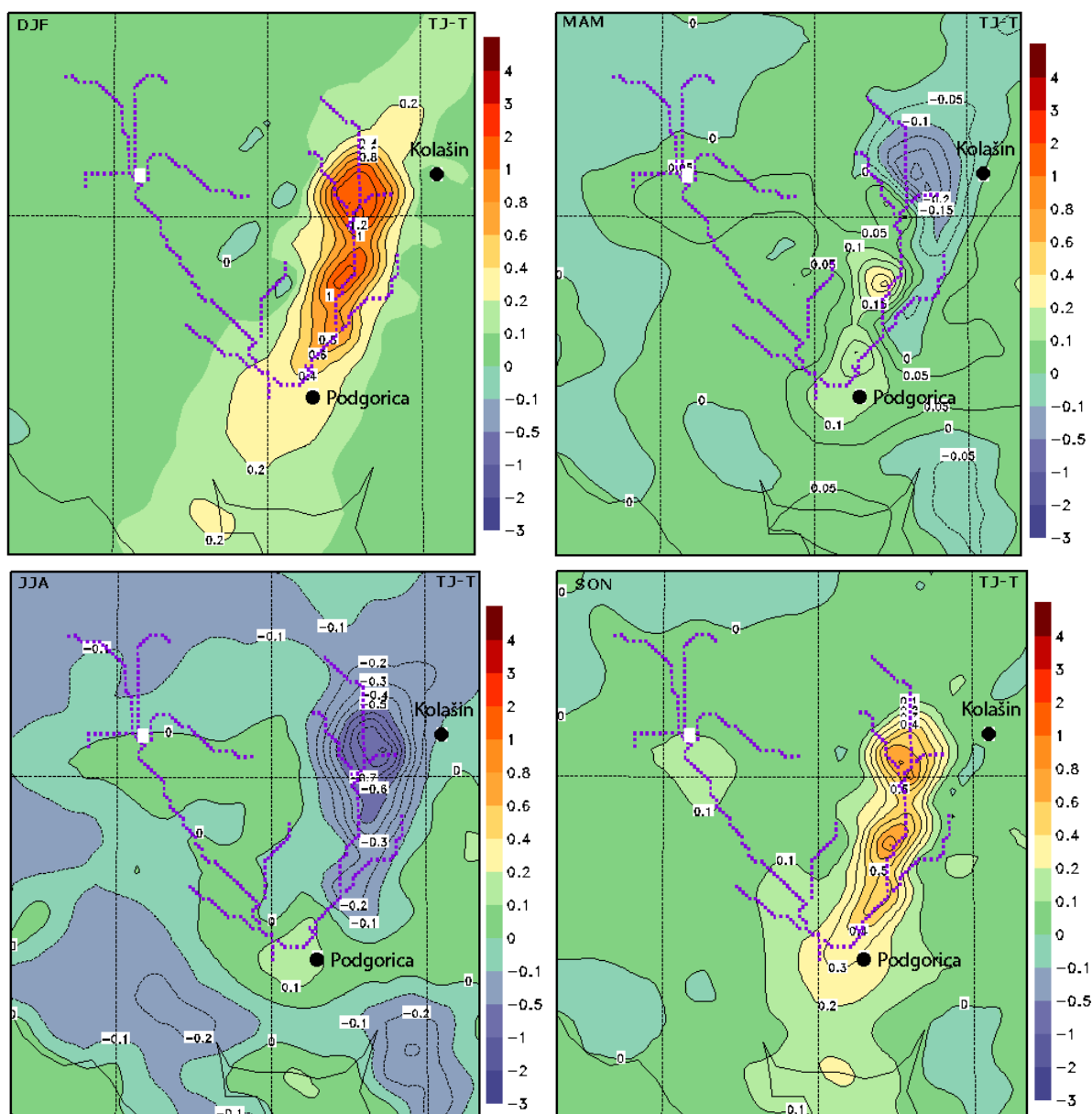
Bolja slika o uticaju umetnutog jezera na vrijednosti meteoroloških parametara dobija se predstavljanjem promjena po sezonama i na kraju ukupnom trogodišnjom slikom promjena.

U najhladnijem tromjesečju (DJF-december, januar, februar) u nešto široj zoni akumulacionog jezera postoji zagrijavanje od 0.2 do 1.2, a oko 2 stepena u samoj oblasti jezera. Do maksimalnog zagrijavanja od 3 stepena, uslijed umetanja jezera, došlo je u decembru 2003. godine. Ovakva promjena temperaturnog režima u oblasti od interesa tumači se znatno toplijom površinom vodenog ogledala akumulacionog jezera.

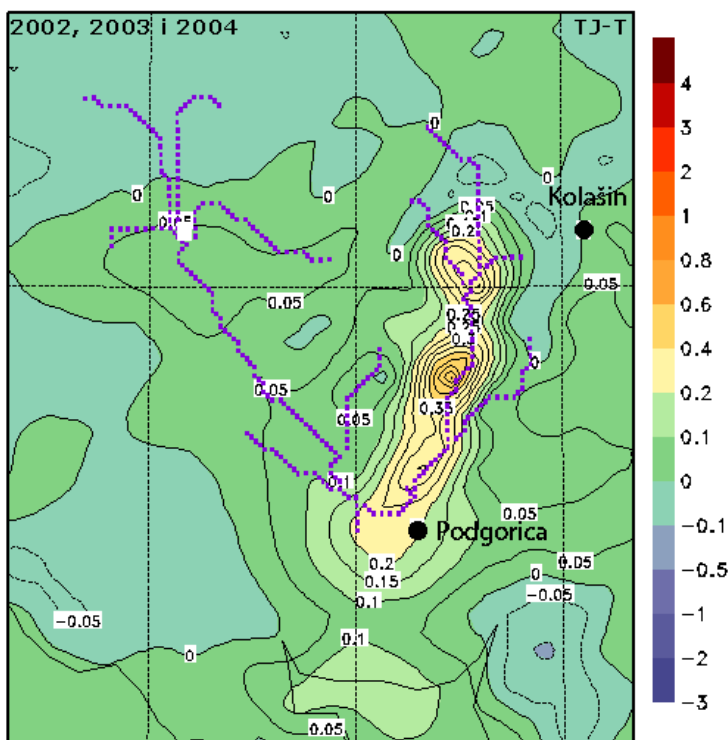
U drugom tromjesečju srednje razlike za mart, april i maj (MAM) u samoj oblasti jezera ukazuju na temperaturni deficit (pad) od 0.2 stepena sjeverno od jezera, a u zoni oko Bioča porast do 0.2 stepena. Razlog tome je da su prosječne temperature bliske temperaturi akumulacionog jezera.

Za treće tromjesečje, jun, jul i avgust (JJA) izražen je pad koji iznosi do 0.9 stepeni, zato što je u tom tromjesečju temperatura jezera niža od temperature okoline i od temperature kopna koje je „zamijenjeno“ vodenom površinom.

U četvrtom tromjesečju srednje razlike za septembar, oktobar i novembar ukazuju na blagi porast u temperaturama do 0.8 stepeni što je posledica veće zagrijanosti vodenog ogledala u odnosu na okolinu i u odnosu na „zamijenjenu“ kopnenu površinu.



Slika 1. 14: Sezonske promjene srednje temperature uzrokovane umetanjem vještačkog jezera u prostor sliva rijeke Morače za 2002., 2003. i 2004. godinu

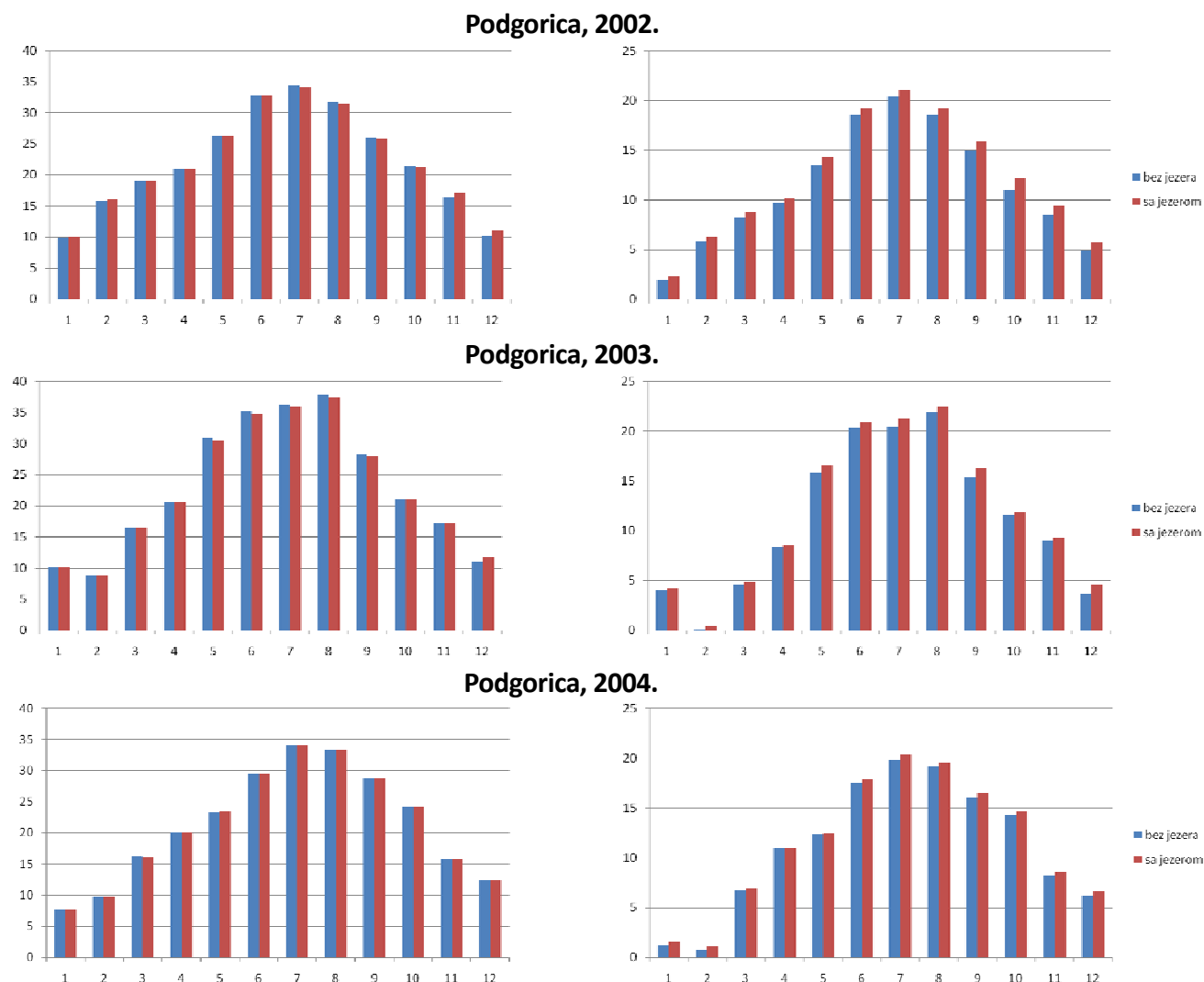


Nakon tri godine, odnosno nakon 1096 dana, ispostavlja se da umetnuto jezero na godišnjem nivou dovodi do porasta srednje temperature od 0.3 do 0.6 stepeni iznad samog jezera i neposrednog okruženja.

U području Podgorice umetnuto jezero dovodi do porasta srednje temperature od oko 0.2 stepena.

Iz priloženih grafika (slika 1.16) je vidljivo je da su srednje mjesečne minimalne temperature (desno) iz mjeseca u mjesec više u situaciji sa umetnutim jezerom. Osjetno je manji uticaj umetnutog jezera na srednje mjesečne maksimalne temperature (lijevo) i primjetan je samo u ljetnim mjesecima. U najtoplijem dijelu godine umetnuto jezero uzrokuje nešto niže srednje maksimalne temperature.

Slika 1.15: Srednja godišnja promjena temperature uslovljena umetnutim jezerom



Slika 1.16: Srednja mjesečne Tmax (lijevo) i Tmin (desno) u Podgorici u situaciji bez i sa umetnutim jezerom.

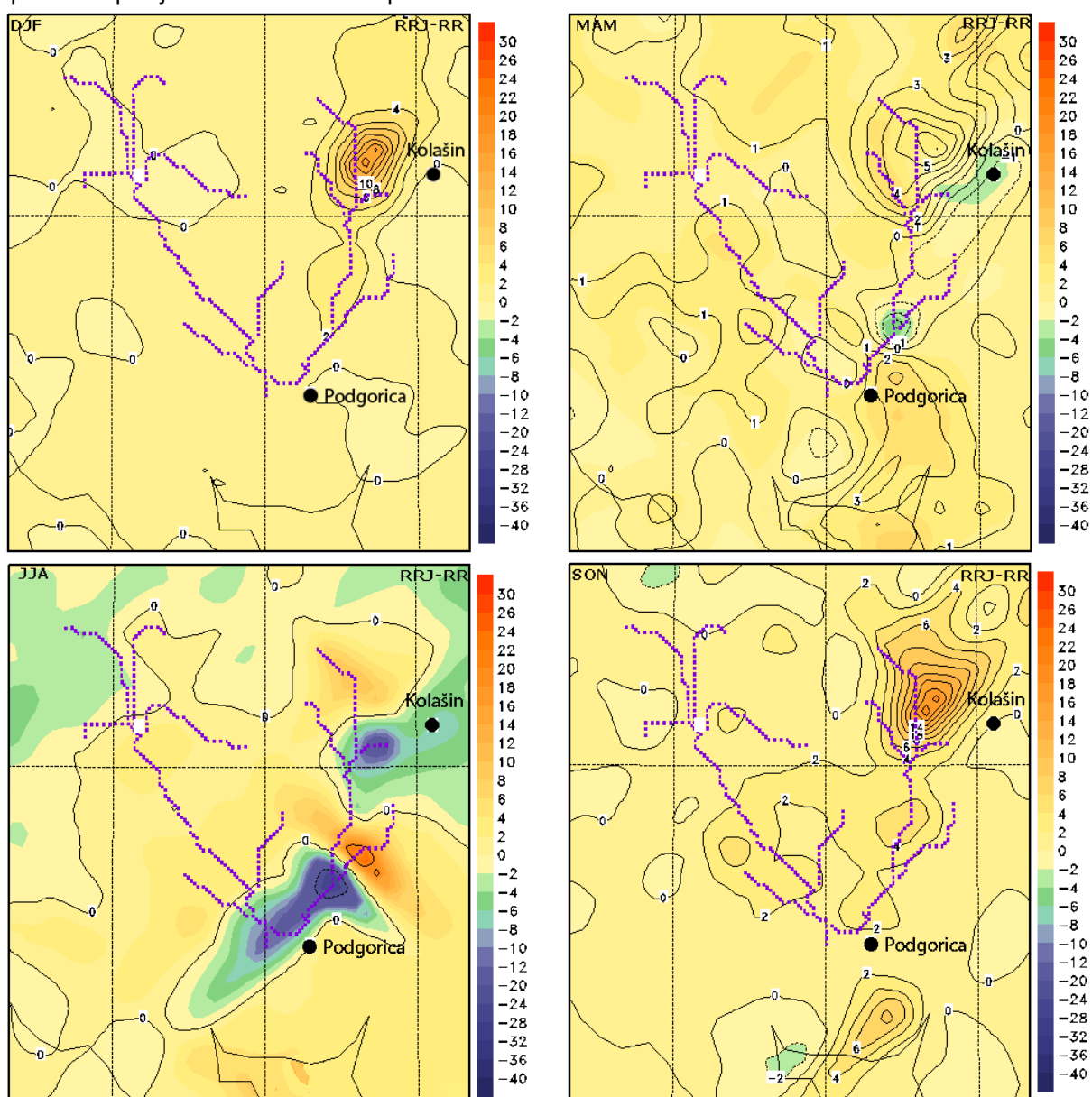
Uvođenje jezera nije bitnije uticalo na količinu padavina iznad i u široj okolini jezera. Najveći porast je uočen u septembru 2002. i iznosi do 50 mm, zatim u septembru i oktobru 2003. do 20mm, odnosno do 40mm. Zone sa smanjenjem u padavinama se javljaju u maju 2003. do 20mm i u junu i julu 2004. godine do 15mm. Treba pomenuti da od mjeseca do mjeseca ima određenog pomjeranja zone razlika u akumuliranim padavinama.

Za najhladnije tromjesečje (DJF) u veoma uskoj zoni sjeverno od same akumulacije postoji porast padavina do 14%. Analizom broja kišnih dana (u prosjeku 2 dodatna kišna dana u situaciji sa umetnutim jezerom) ispostavlja se da će porastu doprinositi i novi kišni dani i veća prosječna dnevna količina padavina.

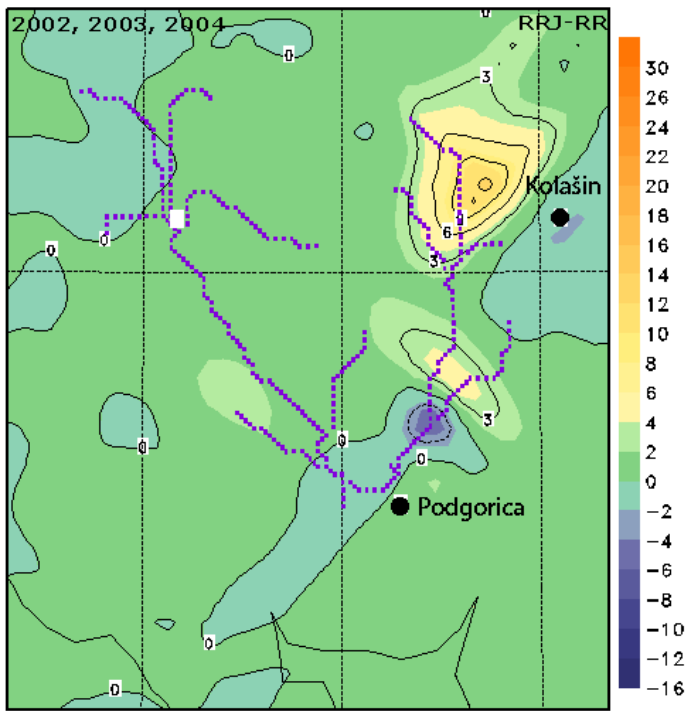
Za drugo tromjesečje, mart, april i maj može se smatrati da je doprinos padavinama u slučaju umetnutog jezera toliko malog reda veličine da je zanemarljiv. Ni broj kišnih dana u ovom tromjesečju se ne mijenja umetanjem jezera.

U ljetnjim mjesecima javlja se pad u oblasti oko Manastira Morače i na južnoj granici akumulacije, dok porast padavina imamo jugoistočno od akumulacije. Očito, povećano isparavanje i orografija ključno djeluju na promjenu padavina od tačke do tačke. Ipak, imajući u vidu da su ljetnje količine padavina u ovom području male, promjena bilo u plusu ili minusu za desetak procenata nije velika u količinskom smislu.

Za tromjesečje SON (septembar, oktobar, novembar) u veoma uskoj zonina sjevernim granicama same akumulacije postoji porast padavina do 16%, što je je dijelom uslovljeno porastom broja kišnih dana (1 do 3), a dijelom porastom prosječne dnevne količine padavina.



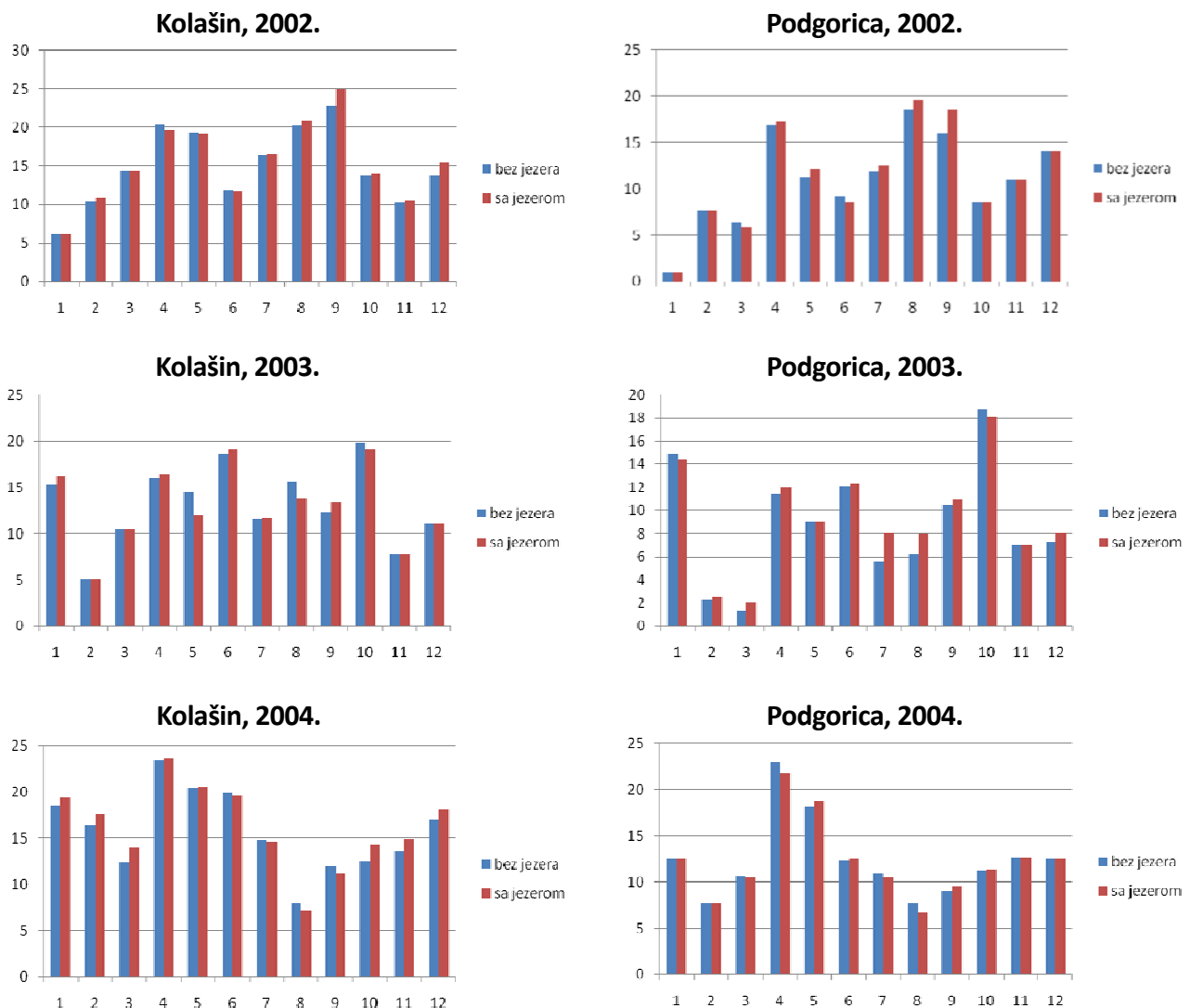
Slika 1.17: Promjena količine padavina po sezonama (u %) uslovljena umetnutim jezerom



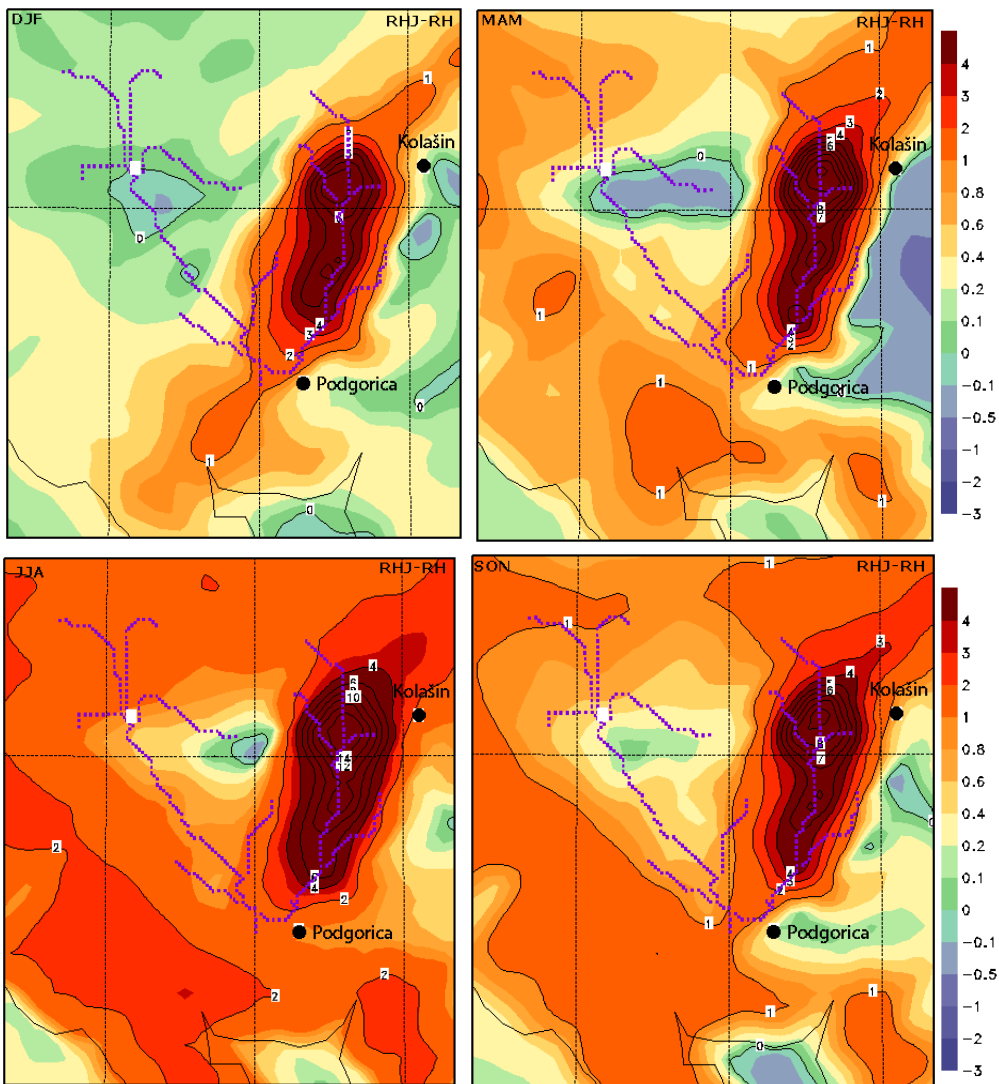
Sa slike 1.18 vidi se da je najveće povećanje u količini padavina sjeverno od manastira Morača i zapadno od Kolašina i iznosi do 10%. Najizrazitije razlike u padavinama (od tačke do tačke) uočene su u letnjim mjesecima, pa se nameće zaključak da jezero u ljetnjim mjesecima direktno utiče na konvekciju, što opet na godišnjem nivou ne utiče u velikoj mjeri na ukupnu količinu akumuliranih padavina.

Iz priloženih grafika na slici 1.19 se uočava da na godišnjem nivou prisustvo jezera neznatno povećava broj kišnih dana u Podgorici i Kolašinu (3 dana u prosjeku). No, ne postoji nijedan mjesec u kome je sve tri godine u oba mjesta povećan broj kišnih dana usled umetanja jezera.

Slika 1.18: Srednja godišnja promjena količine padavina (%) uslovljena umetnutim jezerom



Slika 1.19: Srednji broj kišnih dana po mjesecima bez i sa umetnutim jezerom

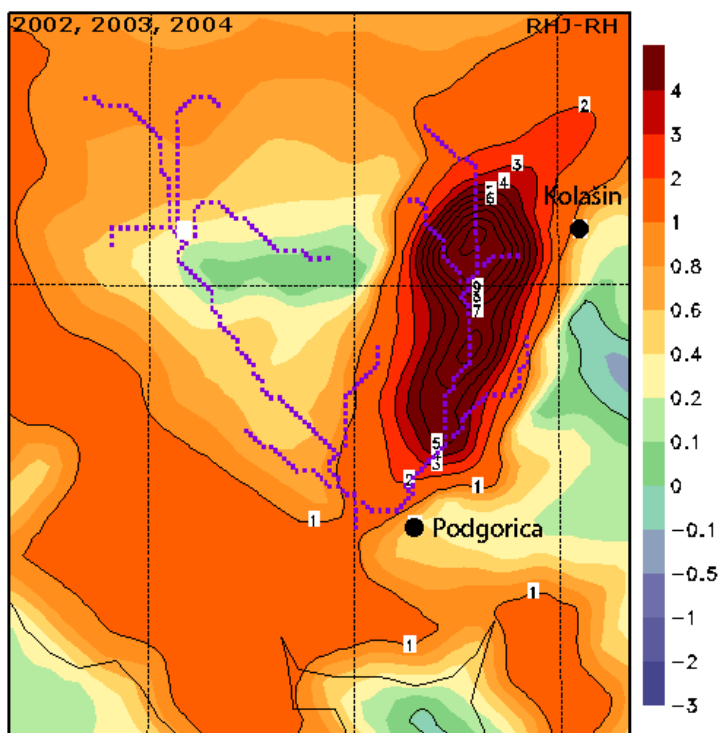


Što se tiče promjene relativne vlažnosti ona se zapaža neposredno iznad samog jezera, ali u nešto manjoj mjeri i u široj zoni umetnutog akumulacionog jezera.

Sa slike 1.20 je vidljivo da u decembru, januaru i februaru (DJF) povećanje relativne vlažnosti na 2 metra iznosi do 7%, za mart, april i maj do 10%, za jun, jul i avgust do 14%, a za septembar, oktobar i novembar do 9%.

Na području Podgorice povećanje relativne vlažnosti ni u jednom tromjesečju ne prelazi 2%.

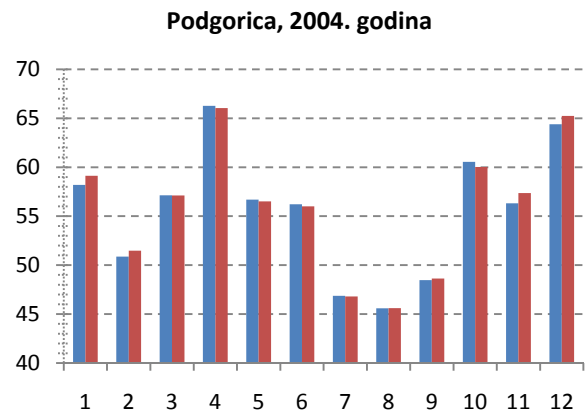
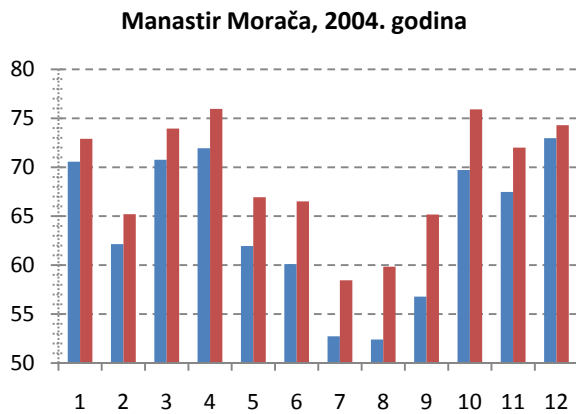
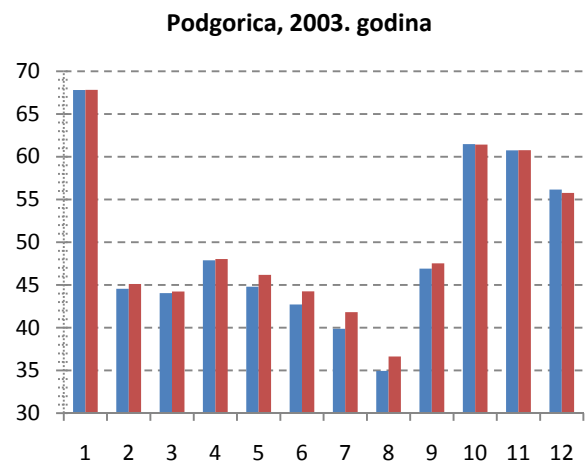
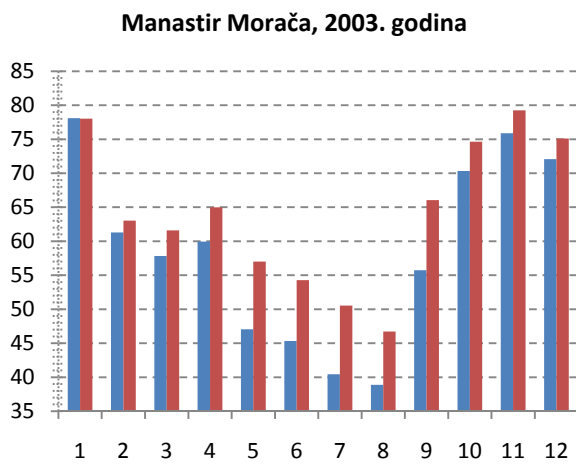
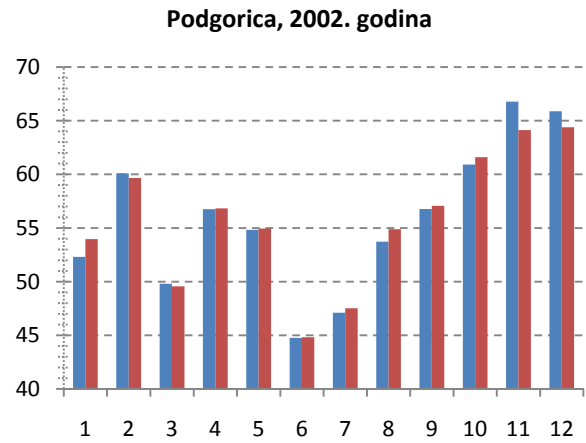
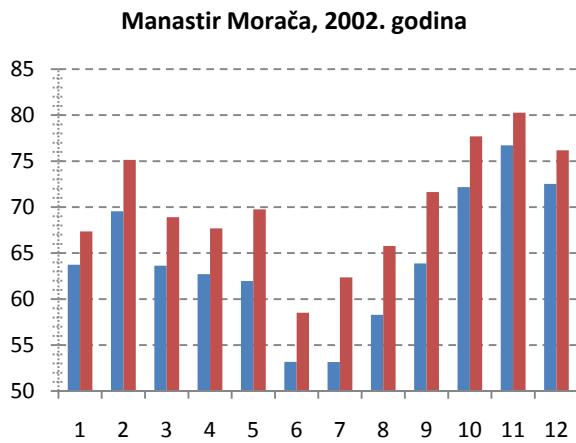
Slika 1.20: Promjena relativne vlažnosti na 2m po sezonama (u %) uslovljena umetnutim jezerom



Promjena relativne vlažnosti na 2 metra iznad jezera i u njegovoj neposrednoj okolini na godišnjem nivou kreće se od 2 do 10% (Slika 1.21, dolje).

Najmanji uticaj umetnuto jezero na godišnjem nivou (kao i u svim tromjesečjima) ima u zaleđu planinskih lanaca koji sa zapada i istoka omeđavaju umetnuto jezero.

Slika 1.21: Srednja godišnja promjena relativne vlažnosti na 2m (u %) uslovljena umetnutim jezerom



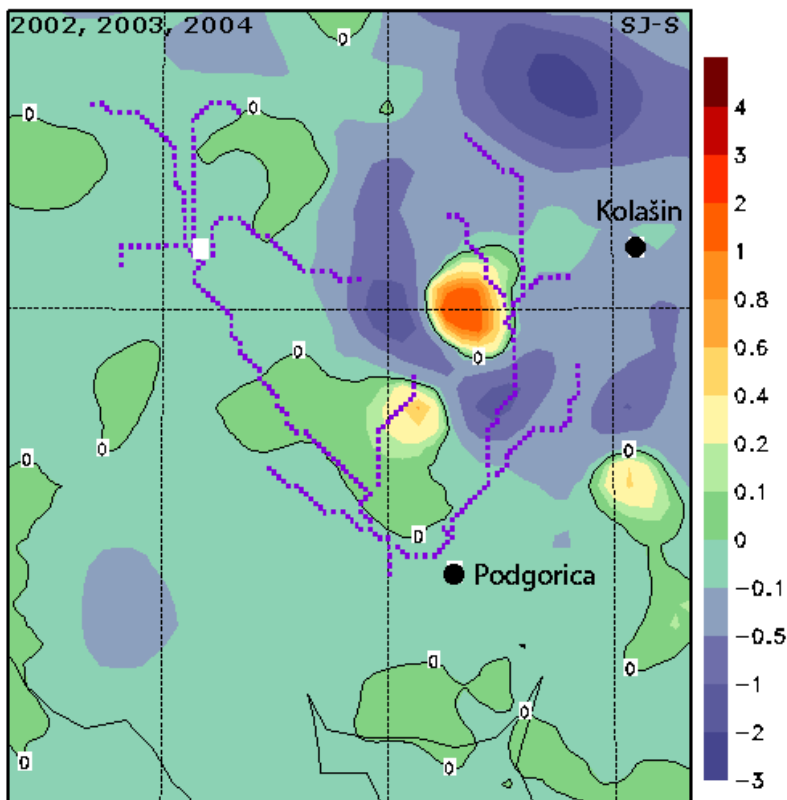
■ bez jezera ■ sa jezerom

■ bez jezera ■ sa jezerom

Slika 1.22: Srednja relativna vlažnost (u %) na 2m po mjesecima bez i sa umetnutim jezerom

Iz priloženih grafika (slika 1.22) je uočljiv porast relativne vlažnosti u rejonu Manastira Morače tokom sve tri godine. Porast je osjetno izraženiji tokom toplijeg dijela godine i kreće se od 6 do 10%, dok se u hladnijem dijelu godine taj porast kreće oko 5%.

U Području Podgorice promjena relativne vlažnosti vazduha je zanemarljiva.



Promjena visine sniježnog pokrivača nije u većoj mjeri indukovana umetanjem jezera. Najveća pozitivna srednja promjena sniježnog pokrivača (izražena u  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) na nivou od tri godine opaža se u maloj ograničenoj oblasti iznad i zapadno od jezera, dok se smanjenje javlja u široj oblasti oko jezera i sjeverozapadno od Kolašina.

Viša temperatura jezera od okoline u zimskim mjesecima (DJF) omogućava isparavanje u veoma plitkom sloju iznad jezera i vlaga se veoma brzo kristalizuje tako da se količina snijega povećava uz samu površinu jezera

Ipak, treba naglasiti da promjena od 4 kg na 1000 kg je 0.25% što je ispod granice greške osmatranja

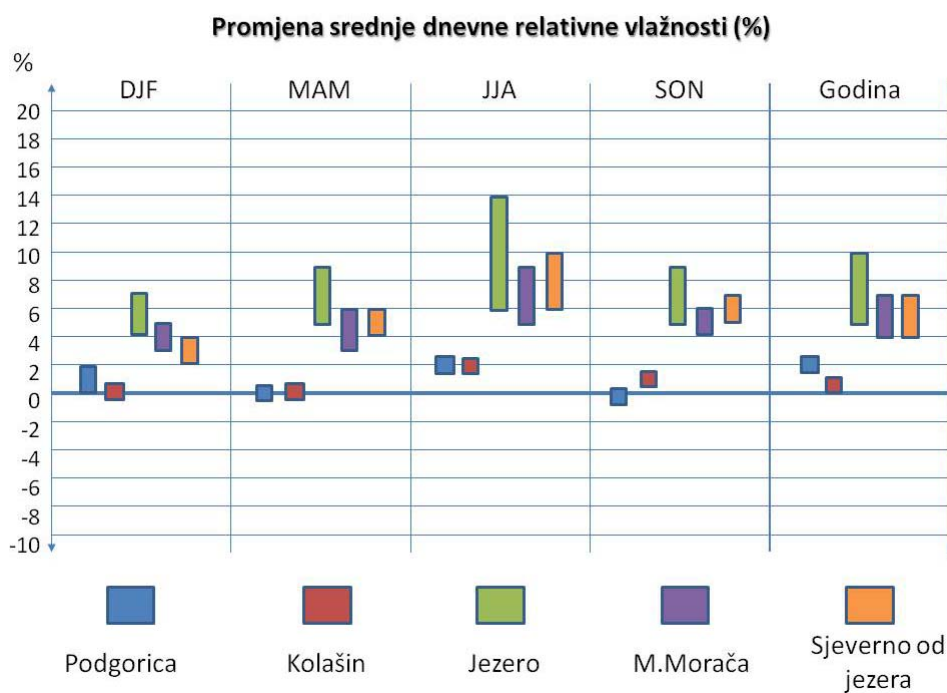
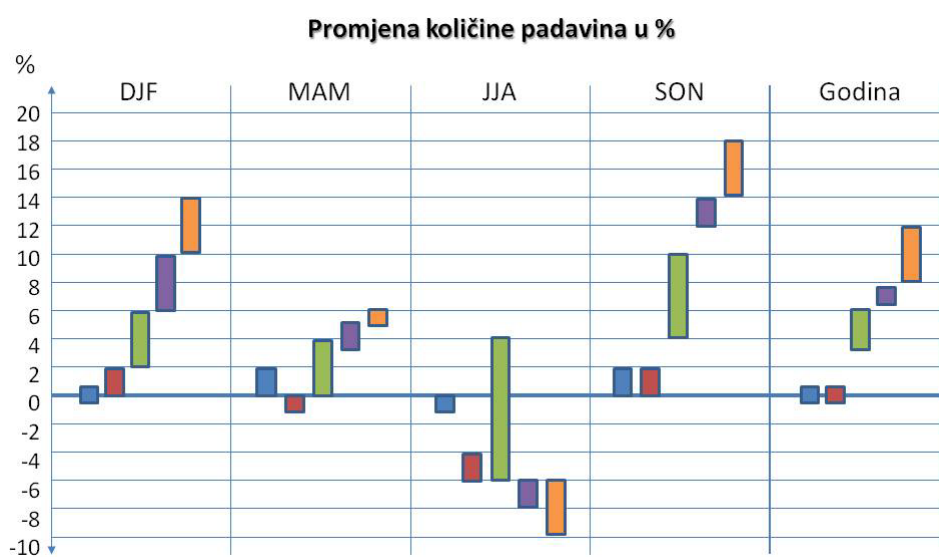
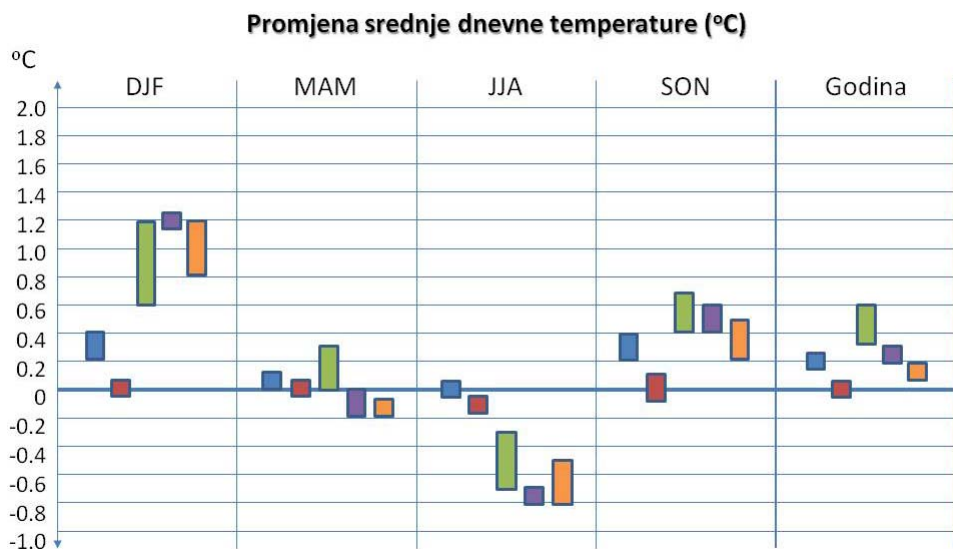
Slika 1.23: Promjena sniježnog pokrivača - *weasd* (Water Equivalent of Accumulated Snow Depth) u  $\text{kg}/\text{m}^3$

U svim mjesecima, nezavisno postoji li porast ili smanjenje količine padavina, imamo pozitivno odstupanje tj. povećanje relativne vlažnosti vazduha kao posljedicu prisustva vještačke akumulacije. Pozitivna odstupanja, ipak, ograničena su usko na lokaciju akumulacije i prisustvo akumulacije što se vlage tiče ne reflektuje se direktno na širu okolinu. Primjera radi u Podgorici uticaj vještačke akumulacije kad je relativna vlažnost vazduha u pitanju praktično i ne osjeća. U rejonu Manstira Morače porast vlažnosti, usled prisustva jezera, u zimskom dijelu godine je na mjesečnom nivou uglavnom ispod 5%, dok se u toplijem dijelu godine taj porast kreće do 10%. No, ni uz taj porast, srednja mjesečna relativna vlažnost tokom toplijeg dijela godine ne prelazi 75%.

Povećana produkcija vlage uslovljena umetanjem jezera reflektovaće se na padavine, na način što će povećana vlaga katalizirati proces kondenzacije, a samim tim i ranije će biti ispunjeni uslovi-kriterijumi da se dostigne tačka rose što znači da će početak kiše biti nešto ranije u odnosu na slučaj da nije prisutan efekat koji proizvodi akumulacija. Ovo će imati za posljedicu povećanje količine padavina u najužoj oblasti akumulacije u ljetnjim mjesecima, a na planinskim padinama sjeverno od akumulacije u ostalom dijelu godine. Van tih područja jezero ni ju jednom godišnjem dobu ne utiče bitno na promjenu količine padavina.

Što se temperature tiče umetnuto jezero utiče na njeno povećanje u najužoj zoni jezera za 0.3 do 0.6 stepeni, a potom duž toka Morače se uticaj umetnutog jezera smanjuje, pa se u Podgorici jedva osjeća i to prvenstveno kroz porast minimalnih temperatura (za 0.2 stepena).

Naprijed opisana numerička simulacija umetanja vještačkog jezera zbog ograničenja rezolucije od ~4km imala je veću površinu akumulacionog jezera nego što bi to bilo u prirodi, pa se može smatrati da su dobijena odstupanja na gornjoj granici. Rezultate ovog numeričkog eksperimenta treba uzeti sa razumnom dozom rezerve i posmatrati ih kao indiciju, odnosno pokazatelj u kom pravcu će se kretati promjene meteoroloških parametara nakon eventualnog potapanja dijela teritorije u slivu Morače i stvaranja vodenih površina. Svaka godina ili višegodišnji niz ima svojih specifičnosti, pa bi još precizniji i pouzdaniji rezultati bili dobijeni produžavanjem niza za koji bi bio izveden eksperiment (idealno na period od 30 godina) i numeričkom integracijom sa finijom rezolucijom (~2km) kako bi se jezero moglo još realnije predstaviti. S obzirom na već usvojenu metodologiju i izvršene pripreme kontrole, dekodiranja i unosa ulaznih podataka, angažovanje jačih računarskih resursa bi omogućilo realizovanje takvog projekta u razumnom roku.



Slika 1.24: Grafički prikaz promjena srednje dnevne temperature, količine padavina i relativne vlažnosti nastalih umetanjem vještačke akumulacije (jezera) u model



| Promjena srednje dnevne temperature (°C) |     |       |     |       |     |       |     |      |        |       |
|--|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|------|--------|-------|
|  | DJF |       | MAM |       | JJA |       | SON |      | Godina |       |
| <b>Vještačko jezero</b>                  | od  | 0.6   | od  | 0.0   | od  | -0.7  | od  | 0.4  | od     | 0.3   |
|  | do  | 1.2   | do  | 0.3   | do  | -0.3  | do  | 0.7  | do     | 0.6   |
| <b>Sjeverno od jezera</b>                | od  | 0.8   | od  | -0.2  | od  | -0.8  | od  | 0.2  | od     | 0.1   |
|  | do  | 1.2   | do  | -0.1  | do  | -0.5  | do  | 0.5  | do     | 0.2   |
| <b>Manastir Morača</b>                   | od  | 1.15  | od  | -0.2  | od  | -0.7  | od  | 0.4  | od     | 0.2   |
|  | do  | 1.25  | do  | 0.0   | do  | -0.8  | do  | 0.6  | do     | 0.3   |
| <b>Kolašin</b>                           | od  | -0.05 | od  | -0.05 | od  | -0.15 | od  | -0.1 | od     | -0.05 |
|  | do  | 0.05  | do  | 0.05  | do  | 0.05  | do  | 0.1  | do     | 0.05  |
| <b>Podgorica</b>                         | od  | 0.2   | od  | 0.0   | od  | -0.05 | od  | 0.2  | od     | 0.15  |
|  | do  | 0.4   | do  | 0.1   | do  | 0.05  | do  | 0.4  | do     | 0.25  |

| Promjena količine padavina (%) |     |      |     |      |     |       |     |      |        |      |
|--------------------------------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|------|--------|------|
| Padavine                       | DJF |      | MAM |      | JJA |       | SON |      | Godina |      |
| <b>Vještačko jezero</b>        | od  | 2.0  | od  | 0.0  | od  | -6.0  | od  | 4.0  | od     | 3.0  |
|                                | do  | 6.0  | do  | 4.0  | do  | 4.0   | do  | 10.0 | do     | 6.0  |
| <b>Sjeverno od jezera</b>      | od  | 10.0 | od  | 5.0  | od  | -10.0 | od  | 14.0 | od     | 8.0  |
|                                | do  | 14.0 | do  | 6.0  | do  | -6.0  | do  | 18.0 | do     | 12.0 |
| <b>Manastir Morača</b>         | od  | 6.0  | od  | 3.0  | od  | -8.0  | od  | 12.0 | od     | 6.5  |
|                                | do  | 10.0 | do  | 5.0  | do  | -6.0  | do  | 14.0 | do     | 7.5  |
| <b>Kolašin</b>                 | od  | 0.0  | od  | -1.0 | od  | -6.0  | od  | 0.0  | od     | -0.5 |
|                                | do  | 2.0  | do  | 0.0  | do  | -4.0  | do  | 2.0  | do     | 0.5  |
| <b>Podgorica</b>               | od  | -0.5 | od  | 0.0  | od  | -1.0  | od  | 0.0  | od     | -0.5 |
|                                | do  | 0.5  | do  | 2.0  | do  | 0.0   | do  | 2.0  | do     | 0.5  |

| Promjena relativne vlažnosti (%) |     |      |     |      |     |      |     |      |        |      |
|----------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|--------|------|
| Rel.vlažnost                     | DJF |      | MAM |      | JJA |      | SON |      | Godina |      |
| <b>Vještačko jezero</b>          | od  | 4.0  | od  | 5.0  | od  | 6.0  | od  | 5.0  | od     | 5.0  |
|                                  | do  | 7.0  | do  | 9.0  | do  | 14.0 | do  | 9.0  | do     | 10.0 |
| <b>Sjeverno od jezera</b>        | od  | 2.0  | od  | 4.0  | od  | 6.0  | od  | 5.0  | od     | 4.0  |
|                                  | do  | 4.0  | do  | 6.0  | do  | 10.0 | do  | 7.0  | do     | 7.0  |
| <b>Manastir Morača</b>           | od  | 3.0  | od  | 3.0  | od  | 5.0  | od  | 4.0  | od     | 4.0  |
|                                  | do  | 5.0  | do  | 6.0  | do  | 9.0  | do  | 6.0  | do     | 7.0  |
| <b>Kolašin</b>                   | od  | -0.5 | od  | -0.5 | od  | 1.5  | od  | 0.5  | od     | 0.0  |
|                                  | do  | 0.5  | do  | 0.5  | do  | 2.5  | do  | 1.5  | do     | 1.0  |
| <b>Podgorica</b>                 | od  | 0.0  | od  | -0.5 | od  | 1.5  | od  | -0.5 | od     | 1.5  |
|                                  | do  | 2.0  | do  | 0.5  | do  | 2.5  | do  | 0.5  | do     | 2.5  |

Tabela 1.1: Tabela prikaz promjena srednje dnevne temperature, količine padavina i relativne vlažnosti nastalih umetanjem vještačke akumulacije (jezera) u model

## Literatura

Arakawa, A., and V. R. Lamb, 1977: Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, 17, Academic Press, 173-265.

Betts, A. K., 1986: A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 677–691..

Betts, A. K, and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 693–709..

Janjić, Z. I., 1979: Forward–backward scheme modified to prevent two–grid–interval noise and its application in sigma coordinate models. *Contrib. Atmos. Phys.*, 52, 69–84.

Janjić, Z. I., 1984: Non–linear advection schemes and energy cascade on semi–staggered grids. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1234–1245.

Janjić, Z. I., 2001: Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model. NCEP Office Note No. 437, 61 pp. Janjić, Z. I., 2002a: A Nonhydrostatic Model Based on a New Approach. EGS XVIII, Nice France, 21-26 April 2002. Janjić, Z. I., 2002b: Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model, NCEP Office Note, No. 437, 61 pp.

Janjić, Z. I., J. P. Gerrity, Jr. and S. Nickovic, 2001: An Alternative Approach to Nonhydrostatic Modeling. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1164-1178.

Janjić, Z. I., 2003a: A Nonhydrostatic Model Based on a New Approach. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82, 271-285. (Online: <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-001-0587-6>). Janjić, Z. I., 2003b: The NCEP WRF Core and Further Development of Its Physical Package. 5th International SRNWP Workshop on Non-Hydrostatic Modeling, Bad Orb, Germany, 27-29 October.

Janjić, Z., T. Black, M. Pyle, H. Chuang, E. Rogers and G. DiMego, 2004: An Evolutionary Approach to Nonhydrostatic Modeling. Symposium on the 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction, College Park, MD, Amer. Meteor. Soc.

Mellor, G. L., and T. Yamada, 1974: A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers, *J. Atmos. Sci.*, 31, 1791-1806.

Mesinger, F. M., 1977: Forward–backward scheme, and its use in a limited area model. *Contrib. Atmos. Phys.*, 50, 200–210.

Sadourny, R., 1975: The dynamics of finite difference models of the shallow water equations. *J. Atmos. Sci.*, 32 :680-689.

Zilitinkevich, S.S., 1970: Dynamics of the Atmospheric Boundary Layer, Gidrometeoizdat, Leningrad, 292 pp.

## Verifikacija NMM-12km modela

Urađena je verifikacija NMM modela za 2003. godinu za područje od značaja u projektu. Na slikama koje slijede prikazani su rezultati poređenja izmjerenih jednosatnih vrijednosti temperature i padavina sa podacima dobijenim numeričkom integracijom za nekoliko gradova koji se nalaze na području sliva rijeke Morače. Sve verifikacije se odnose na 12 km NMM model.

Ocjene prognoze temperature: srednja greška (Mean Error), srednja apsolutna greška (Mean Absolute Error), korijen srednje kvadratne greške (Root Mean Square Error), koeficijent korelacije (Correlation Coefficient) i koeficijent efikasnosti (Efficiency Coefficient).

Srednja greška (ME) ili bias je najprostiji metod statističke korekcije. Jednaka je srednjoj vrijednosti razlike prognoziranih i osmotrenih vrijednosti. Računa se pomoću formule:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - y_i)$$

gde su  $f_i$  prognozirane, a  $y_i$  osmotrene vrednosti.

Srednja apsolutna greška (MAE) je srednja vrijednost apsolutnih razlika između prognoziranih i osmotrenih vrijednosti. Računa se pomoću formule:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|$$

gde su  $f_i$  prognozirane,  $y_i$  izmerene vrednosti, a  $e_i = f_i - y_i$  apsolutna greška.

Korijen srednje kvadratne greške (RMSE) se često koristi kao mjera razlike vrijednosti prognoziranih modelom i osmotrenih vrijednosti. Definiše se kao kvadratni korijen srednje kvadratne greške:

$$RMSE = \sqrt{MSE(f_i)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - y_i)^2}$$

Koeficijent korelacije je statistička mjera povezanosti prognoziranih i osmotrenih vrijednosti, računa se pomoću matematička formule:

$$cor = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

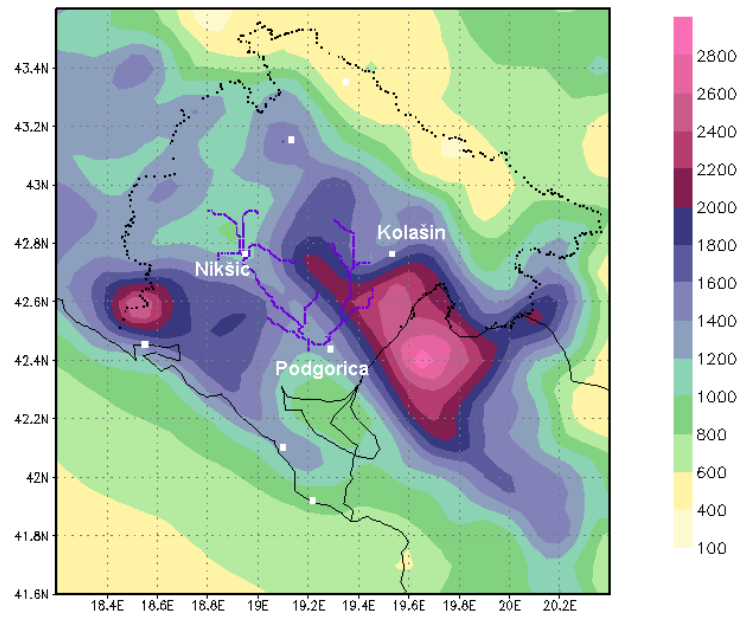
Idealna vrijednost koeficijenta je 1.

Koeficijent efikasnosti se dobija pomoću formule:

$$cef = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

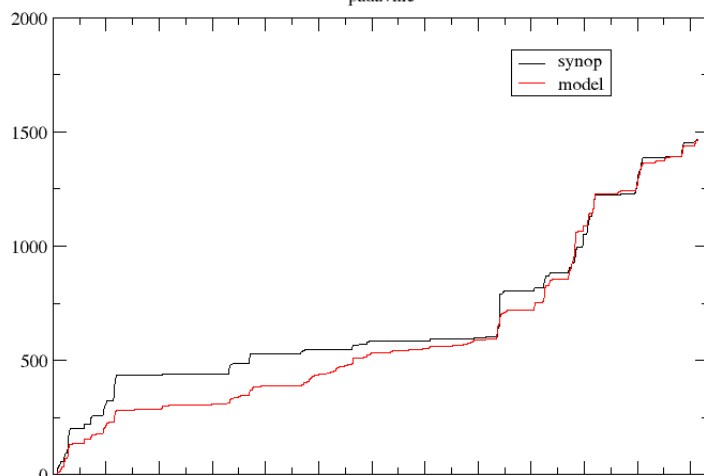
Koeficijent efikasnosti vrijednosti 1 odgovara idealnom poklapanju modelskih i osmotrenih podataka, tj. što je koeficijent efikasnosti modela bliži vrednosti 1, to je model tačniji.

## Padavine



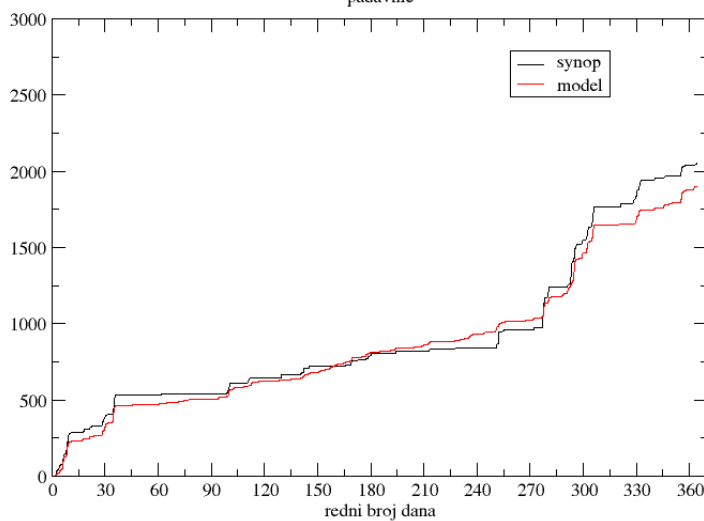
Slika A: Kumulativna količina padavina za 2003. godinu za oblast Crne Gore

### Podgorica - 2003 padavine



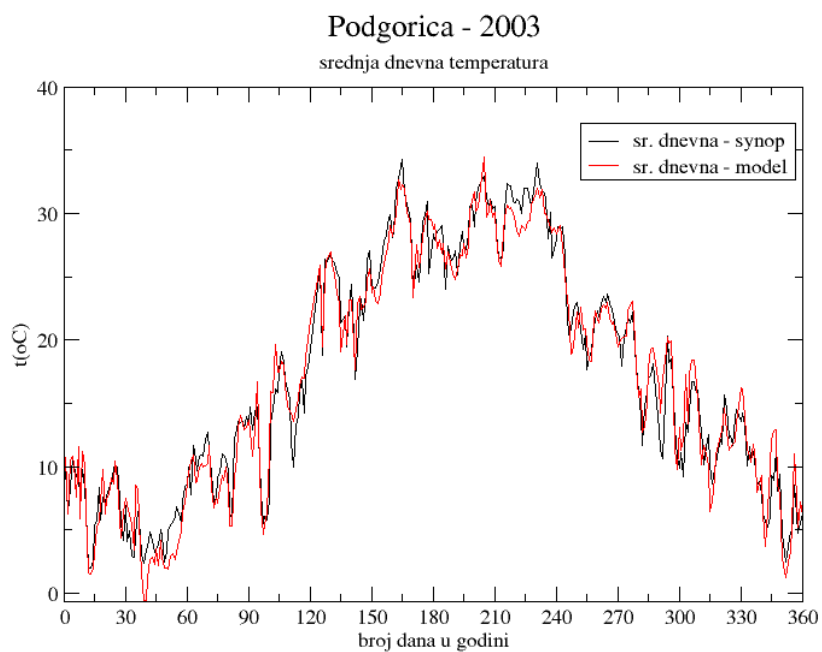
Slika B: Kumulativna količina padavina za 2003. godinu za Podgoricu: crnom linijom prikazane su akumulirane izmjerene, a crvenom vrijednosti dobijene numeričkom integracijom

### Kolašin - 2003 padavine

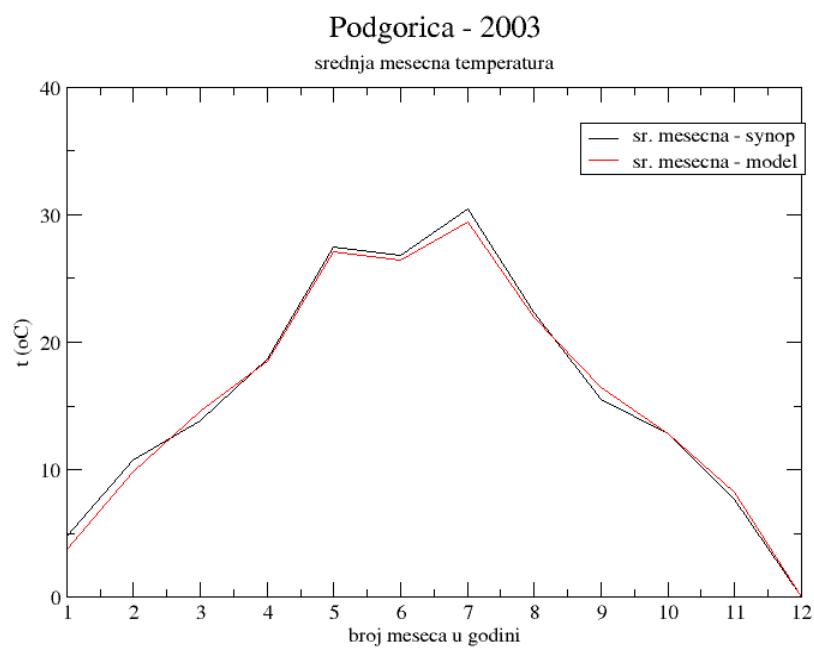


Slika C: Kumulativna količina padavina za 2003. godinu za Kolašin: crnom linijom prikazane su akumulirane izmjerene, a crvenom vrijednosti dobijene numeričkom integracijom

## Temperatura



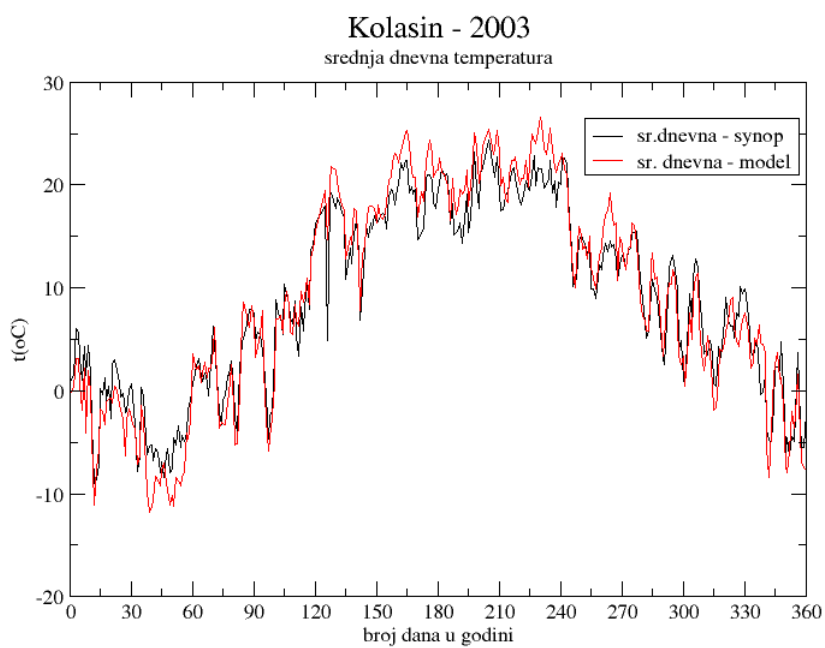
Slika D: Srednja dnevna temperatura vazduha za Podgoricu za 2003. godinu



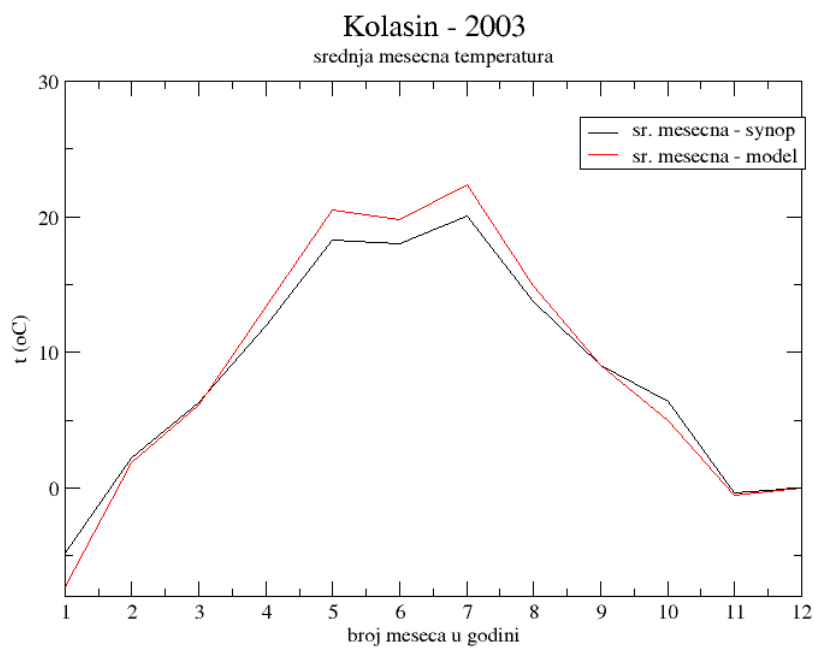
Slika E: Srednja mjesečna temperatura za Podgoricu za 2003. godinu

Tabela 1: Ocjene prognoziranih vrijednosti za temperaturu

|             |               |      |
|-------------|---------------|------|
| PODGORICA   | broj termina: | 7939 |
| srednje osm | 17.06         |      |
| ME          | -0.18         |      |
| MAE         | 2.14          |      |
| RMSE        | 2.77          |      |
| cor         | 0.96          |      |
| cef         | 0.92          |      |



Slika F: Srednja dnevna temperatura vazduha za Kolašin za 2003. godinu



Slika G: Srednja mjesečna temperatura za 2003. godinu

Tabela 2: Ocjene prognoziranih vrijednosti za temperaturu

|             |               |      |
|-------------|---------------|------|
| KOLAŠIN     | broj termina: | 5861 |
| srednje osm | 8.78          |      |
| ME          | 0.16          |      |
| MAE         | 2.75          |      |
| RMSE        | 3.53          |      |
| cor         | 0.94          |      |
| cef         | 0.87          |      |

# Promjena sezonskih temperatura i akumuliranih padavina na slivu rijeke Morače po A1B scenariju promjene klime

Regionalni klimatski modeli predstavljaju osnovni alat za dinamičko skaliranje rezultata globalnih klimatskih modela i procjenu budućih klimatskih promjena uslovljenih povećanjem prisustva gasova staklene bašte u zemljinoj atmosferi. Pristup regionalnog modeliranja klime razvijen je početkom devedesetih godina prošlog vijeka (Georgi and Bates 1989; Georgi 1990). Kontinualni razvoj kao i opsežno verifikovanje rezultata ovih modela za simulacije osmotrene klime doveli su do podizanja stepena povjerenja u ovaj pristup, tako da danas ovi modeli predstavljaju osnovni metod za analizu promjene klime na regionalnom nivou koja je uzrokovana antropogenim uticajem. Redovni izvještaji IPCC-a, kao i mnoga druga klimatska istraživanja svoje analize baziraju na rezultatima ovakvih modela.

U ovom izvještaju biće predstavljeni rezultati regionalnog klimatskog modela EBU-POM prema scenariju A1B za periode 2001-2030 i 2071-2100 za oblast sliva rijeke Morače, dobijeni korišćenjem graničnih uslova iz globalnog klimatskog modela SX-G (Gualdi et al., 2003a, 2003b). Naravno, u ovom klimatskom modelu neće biti uzimana u obzir izmjena topografije, jer će potencijalne akumulacije biti isuviše male da bi bile tretirane u modelima grublje rezolucije, a za potencijalne akumulacije potrebni su modeli sa finijom rezolucijom.

Vrijednosti koncentracije CO<sub>2</sub>, jednog od gasova staklene bašte, na kraju dvadeset prvog vijeka za scenario A1B kreću se oko 690 ppm<sup>1</sup> što u grubom predstavlja približno dva puta veću vrijednost u odnosu na aktuelnu (2009. godina) vrijednost od 387 ppm. Izvještaj će biti usmjeren na promjene dva osnovna prizemna meteorološka parametra, temperature na 2 metra i akumuliranih padavina. Promjene ovih parametara po sezonama biće prikazane u odnosu na srednje vrijednosti istih iz baznog perioda 1961-1990.

## EBU-POM regionalni model

EBU-POM je regionalni, povezani klimatski model, koji predstavlja sistem dva regionalna modela, jednog za atmosferu i jednog za okean [Djurđević and Rajković, 2008a, 2008b, Gualdi et al. 2008]. Razlog za uključivanje okeanske komponente u sistem je posledica činjenice da tokom dugih vremenskih razmjera kao što su klimatske, interakcija atmosfere i mora igra presudnu ulogu u definisanju stanja oba sistema pojedinačno. Međusobna interakcija naročito postaje važna u neposrednoj blizini velikih vodenih masa, a to je upravo slučaj u regionu od interesa, Euro-Mediterranskoj oblasti, kojoj pripada i Crna Gora.

Atmosferska komponenta modela je Eta/NCEP model za ograničenu oblast. Horizontalno razlaganje modela je 0.25 stepeni (približno 25 km). U vertikalnom pravcu model ima 32 nivoa sa prvim nivoom na ~20m i poslednjim na ~12000m. S obzirom da standardni model za sunčevu radijaciju koji je dio Eta modela pretpostavlja da je koncentracija gasova staklene bašte konstantna tokom integracije, model za radijaciju je bio zamijenjen naprednijim, koji omogućava da se koncentracija konstituenata atmosfere tokom integracije mijenja. Ovo je bilo neophodno uraditi kako bi tokom integracije mogli da ispoštujemo promjenu GHG-gasova kako je to definisano odabranim IPCC/SRES scenarijom. Novi paket za sunčevu radijaciju je dobijen ljubaznošću dr Carlos Pérez-a iz Barcelona Supercomputing Center i dr Slobodana Ničković-a [Perez et al, 2006]. Pored ovog dijela modela koji rešava problem transfera sunčeve radijacije kroz atmosferu, tzv. paket za radijaciju, u atmosferskom modelu su definisani ostali procesi i interakcije koje su bitne za pravilno opisivanje klimatskog sistema. Na prvom mjestu tu je paket za rešavanje dinamike atmosfere, u koji su uključeni procesi geostrofskog podešavanja i advekcije, kako horizontalne tako i vertikalne. Zatim paket za difuziju, kao i niz paketa kojima se parametrisu tzv. podmrežni procesi, kao što su turbulencija i konvektivne padavine. Takođe, u atmosferskom modelu se nalazi i paket za opisivanje procesa u i na tlu kao i međusobne

---

<sup>1</sup> Podatak predstavlja broj molekula CO<sub>2</sub> podijeljen sa brojem molekula u vazduhu, uključujući CO<sub>2</sub>, nakon eliminisanja vodene pare. Molekulska frakcija je iskazana kao djelici po milionu (parts per million, ppm). Primjer: 0.000400 se predstavlja kao 400 ppm.

interakcije između atmosfere i tla. Ovim paketom obuhvaćeni su svi ključni procesi koji određuju temperaturu i vlagu tla tokom integracionog perioda.

Treba napomenuti da dio paketa za računanje sunčeve radijacije u sebi sadrži podpaket kojim se određuje vrijednost upadnog ugla tokom perioda integracije, za datu longitudu i latitudu unutar domena modela. Promjena vrijednosti upadnog ugla tokom vremena mijenja se u saglasnosti sa položajem Zemlje u odnosu na Sunce, tako da su varijacije vezane za astronomske promjene uzete explicitno u obzir, međutim ove promjene u zračenju koje su opisane Milankovićevim ciklusima, dešavaju se u vremenskim razmjerama znatno većim (reda veličine hiljade godina) od vremenskih razmjera (stotine godina) na kojima se razmatra antropogeni uticaj na klimu izazvan povećanje gasova staklene bašte.

Okeanska komponenta sistema je Pristonski Okeanski Model (POM). POM je trodimenzionalni model okeana, baziran na sistemu primitivnih jednačina. Detaljni opis modela može biti nađen u uputstvu za korišćenje ovog modela (Mellor, 2002).

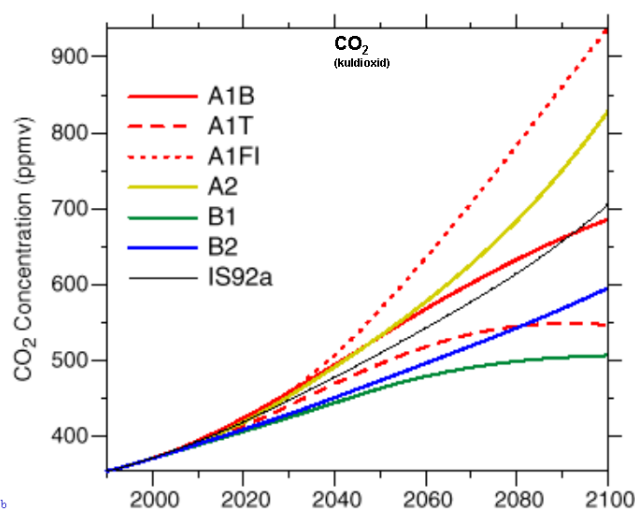
Važan dio svakog povezang atmosfera-okean modela je metod za razmjenu informacija između dvije sredine. S obzirom na veoma različitu geometriju dva izbrana modela razvijen je specijalan softver za rešavanje ovog problema. Modeli razmjenjuju površinske atmosferske flukseve i temperaturu površine mora poslije svakog koraka tokom integracije, fizičkog paketa atmosferskog modela, odnosno posle svakog računanja površinskih atmosferskih flukseva. Za posmatranu konfiguraciju modela ovo vrijeme razmjene je iznosilo 360 sekundi.

## A1B scenario

Specijalni izvještaj IPCC-a o emisijama (The Special Report on Emissions Scenarios (SRES, Nakicenovic and Swart, 2000)) dio je trećeg izvještaja IPCC-a (Third Assessment Report, TAR). Ovaj izvještaj definiše moguće buduće emisije, odnosno koncentracije gasova staklene bašte kao posledice budućeg tehnološkog, socijalnog i ekonomskog razvoja, zasnovanog na ljudskim aktivnostima. Ovi tzv. SRES scenariji korišćeni su za poslednji, četvrti izvještaj IPCC-a. U okviru njih definisane su četiri familije scenarija, A1, B1, A2 i B2, a svaka od njih uključuje odgovarajući opisni dio scenarija tzv. "storyline". Evo kratkog opisa scenarija A1B uzetog iz trećeg izvještaja IPCC-a.

*'A1B pretpostavlja izbalansiranu mješavinu tehnologije i korišćenja osnovnih resursa, sa tehnološkim unapređenjima koja omogućavaju izbjegavanje korišćenja samo jednog izvora energije. Implikacije ovakvog mogućeg razvoja društva u budućnosti odraziće se na emisije gasova staklene bašte, u opsegu od veoma intenzivne karbonske emisije do mogućnosti dekarbonizacije emisija, barem onoliko kolika je varijabilnost drugih uslovljavajućih faktora važnih za ovaj SRES scenario.'*

Scenariji buduće emisije gasova staklene bašte, služe kao osnova za procjenu budućih koncentracija gasova staklene bašte, koji se računaju korišćenjem biohemijskih modela. Ove izračunate koncentracije služe kao ulazni podatak za regionalni klimatski model u kome predstavljaju unutrašnje "forsiranje" za odabrani SRES eksperiment.



Slika 2.1. Promjena koncentracije CO<sub>2</sub> prema različitim SRES scenarijima do kraja 21. vijeka.

U odnosu na ostale scenarije A1B scenario, kako vidimo sa slike 2.1, spada u grupu tzv. umjerenih scenarija. Pored njega, koji je verovatno najviše korišćeni scenario u numeričkim eksperimentima promjene



klime, još dva često korišćena scenarija su B2, koji pripada grupi “optimističkih” scenarija i A2 koji pripada grupi “pesimističkih”. U tom smislu A1B scenario odgovara sredini mogućih ekstrema, koji bi bili posledica različitog tehnološko-socio-ekonomskog razvoja u budućnosti koji bi uzrokovali različite emisije gasova staklene bašte.

Inače trenutno osmotrena vrijednost koncentracije CO<sub>2</sub> iznosi 387 ppm dok je vrijednosti za 2009. godinu definisana A1B scenarijom, 388 ppm. Ovo pokazuje da su scenariji definisani krajem prošlog vijeka dobro predskazali buduće promjene koncentracija gasova staklene bašte.

### A1B scenario, period 2001-2030

Rezultati modela za A1B SRES scenario u periodu 2001-2030 za promjene temperature na 2 metra i akumuliranih padavina prikazane su na slikama 2.2 i 2.3. Svaka slika sadrži četiri panela. Paneli na slici 2.2 su promjene temperature, a paneli na slici 2.3 su promjene padavina. Tridesetogodišnje srednje anomalije izračunate su za period 2001-2030. u odnosu na bazni period 1961-1990. U Tabelema 2.1., 2.2. i 2.3. promjene temperature su date u °C, a promjene akumuliranih padavina u % i projektovana srednja količina padavina po sezonama u mm, odnosno litrima po kvadratnom metru.

Na osnovu modelske reprezentacija posmatranog područja, sliv Morače je nezavisno od drugih mogućih raspodjela ove oblasti i same rijeke izvedenih iz različitih karakteristika, podijeljen u tri područja, sjeverni dio (sjeverno od manastira Morača), zatim centralni (od manastira Morača do Bioča) i južni (od Bioča do Podgorice). Svako od ovih područja predstavljeno je u modelu jednom modelskom tačkom koja je reprezent oblasti od ~900 kvadratnih kilometara.

Prema rezultatima modela promjene srednje sezonske temperature tokom posmatranog tridesetogodišnjeg perioda 2001-2030. se kreću u opsegu od 0.6°C do 1.3°C, u zavisnosti od sezone i oblasti vezane za sliv Morače. Izuzev SON (septembar-oktobar-novembar) sezone, uočljivo je da su promjene temperature značajnije za sjeverni dio sliva. Najveće promjene su tokom sezone JJA (jun-jul-avgust) sa vrijednostima od +0.9 do +1.3°C.

Iz slika promjena padavina vidimo da rezultati modela pokazuju i negativne i pozitivne promjene ove veličine u zavisnosti od dijela sliva i sezone. Pozitivne promjene padavina, odnosno njihovo povećanje, mogu se videti za sezonu JJA (jun-jul-avgust) i to za sjeverni dio sliva. Ove pozitivne promjene su jako male i kreću se do 5% u odnosu na vrijednosti količine padavina u baznom periodu, 1961-1990. U drugim oblastima tokom sezona DJF i MAM modelski rezultati pokazuju smanjenje padavina, za 0 do 10%. Sezonu SON (septembar-oktobar-novembar) karakteriše najveći deficit padavina, dakle smanjenje za 15 do 20%, preko većeg dijela sliva.

Tabela 2.1. Promjena temperature u slivu Morače na 2m u periodu 2001-2030 u odnosu na bazni period 1961-1990

| promjena u °C       | dec-jan-feb   | mar-apr-maj   | jun-jul-avg   | sep-okt-nov   |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Sjeverni dio sliva  | od 0.8 do 0.9 | od 1.0 do 1.1 | od 1.2 do 1.2 | od 0.6 do 0.7 |
| Centralni dio sliva | od 0.6 do 0.7 | od 0.9 do 1.1 | od 1.2 do 1.3 | od 0.6 do 0.7 |
| Južni dio sliva     | od 0.5 do 0.6 | od 0.6 do 0.7 | od 0.9 do 1.1 | od 0.6 do 0.7 |

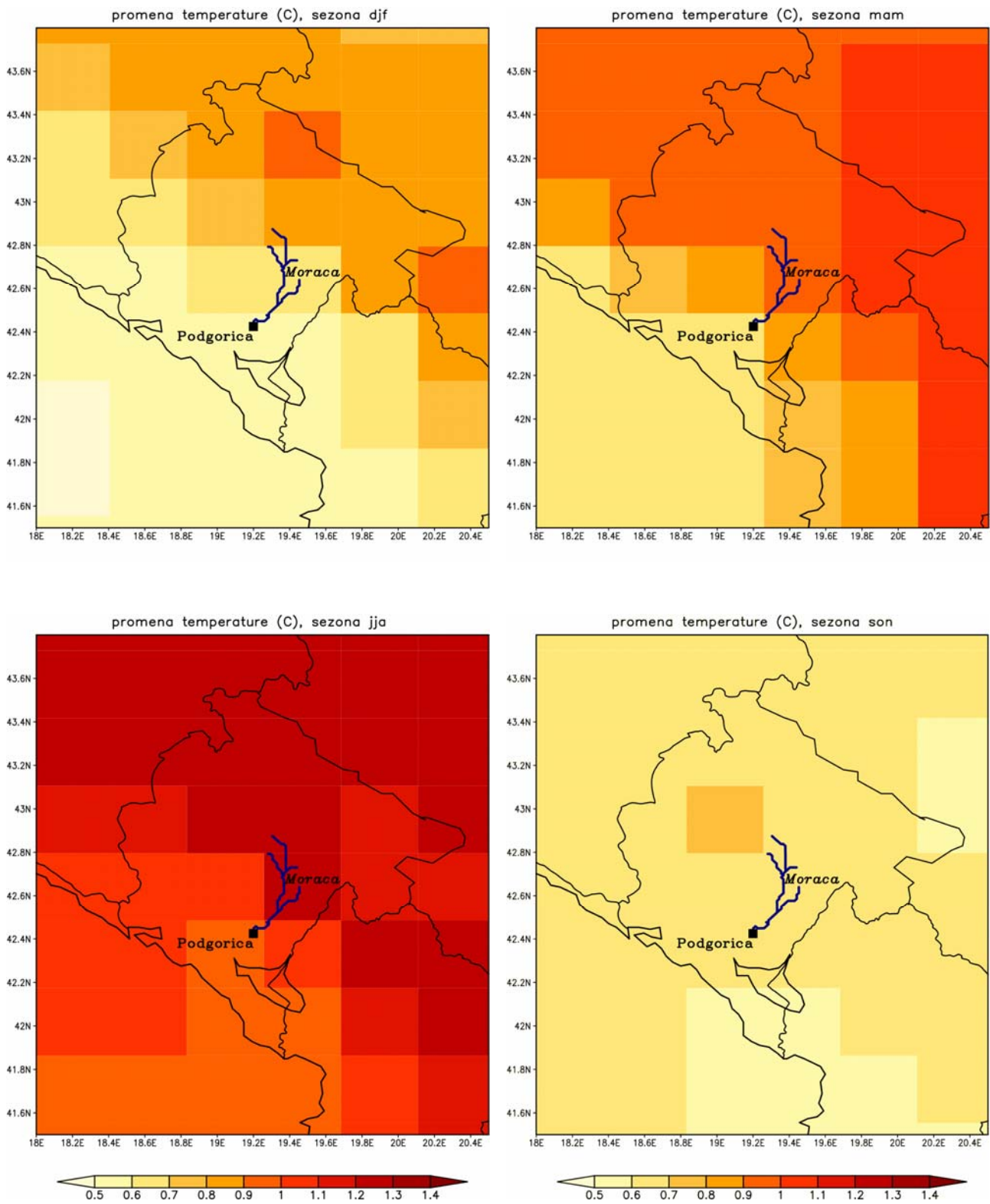
Tabela 2.2. Promjena količine padavina (%)u slivu Morače u periodu 2001-2030 u odnosu na bazni period 1961-1990

| promjena količine padavina | dec-jan-feb | mar-apr-maj | jun-jul-avg | sep-okt-nov |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | %           | %           | %           | %           |
| Sjeverni dio sliva         | -5 do -10   | 0 do -5     | 0 do 5      | -15 do -20  |
| Centralni dio sliva        | -5 do -10   | 0 do -5     | 0 do -5     | -15 do -20  |
| Južni dio sliva            | -5 do -10   | 0 do -5     | -10 do -15  | -10 do -15  |

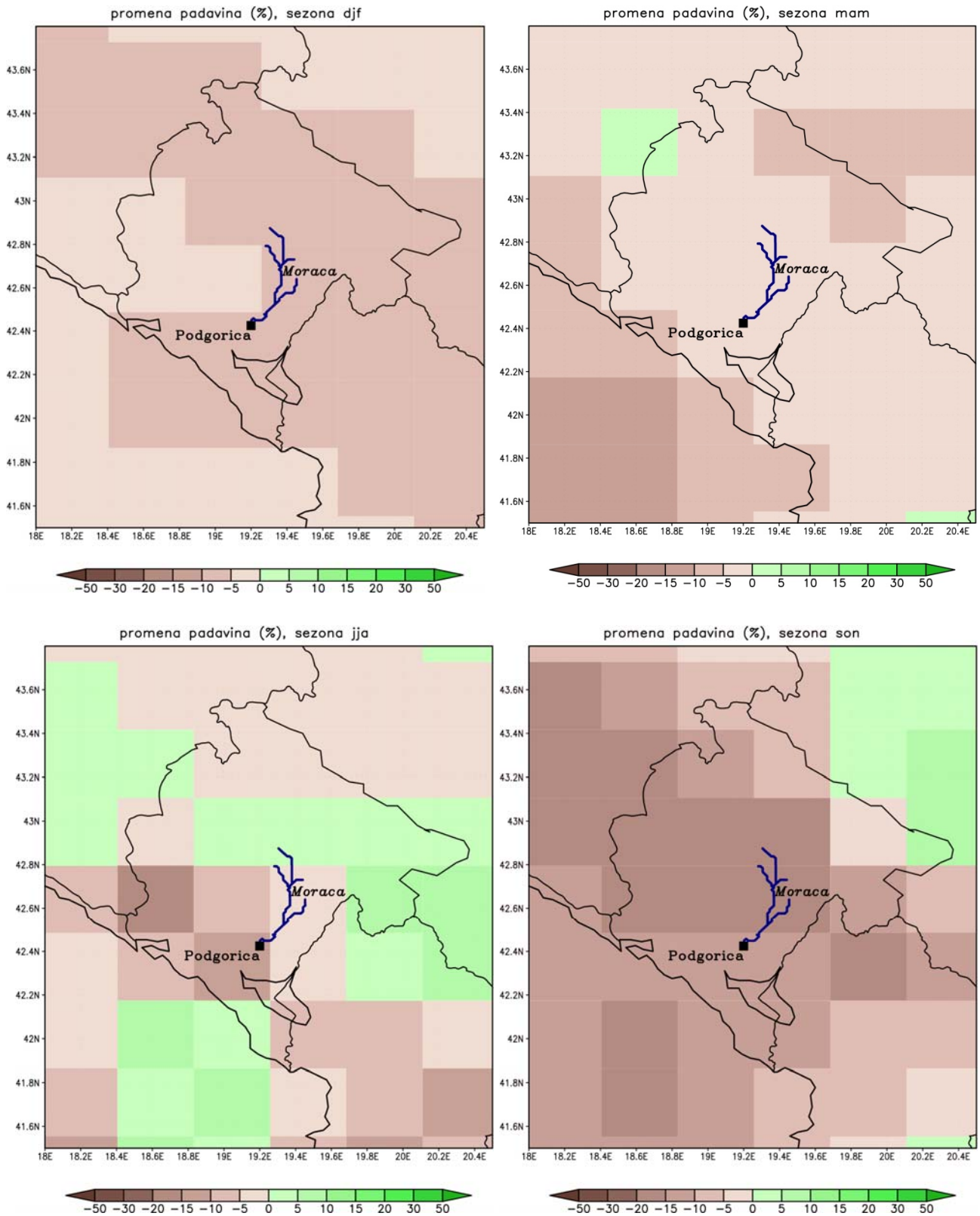
Tabela 2.3. Projektovana količina padavina (mm)u slivu Morače u periodu 2001-2030<sup>2</sup>

|                     | dec-jan-feb | mar-apr-maj | jun-jul-avg | sep-okt-nov |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | mm          | mm          | mm          | mm          |
| Sjeverni dio sliva  | 605 do 665  | 450 do 500  | 235 do 270  | 490 do 535  |
| Centralni dio sliva | 570 do 630  | 410 do 460  | 185 do 225  | 465 do 510  |
| Južni dio sliva     | 530 do 560  | 375 do 395  | 150 do 160  | 465 do 495  |

<sup>2</sup> Projektovana količina padavina je dobijena na osnovu prognoziranog odstupanja i podataka Hidrometeorološkog zavoda o raspodjeli količina padavina po sezonama u periodu 1961-1990.



Slika 2.2. Promjena temperature (°C) po tromjesečjima u periodu 2001-2030 u odnosu na bazni period 1961-1990



Slika 2.3. Promjena količine padavina (u %) po tromjesečjima u periodu 2001-2030 u odnosu na bazni period 1961-1990

## A1B scenario, period 2071-2100

Rezultati za scenario A1B u periodu 2071-2100 prikazani su na slikama 2.4 i 2.5. Raspored panela sezone/parametri isti je kao u prethodnom odjeljku za period 2001-2030.

Kod ovih rezultata, za posljednjih 30 godina dvadesetprvog vijeka, vidimo da je prostorna struktura promjene odgovarajućih parametara slična kao za prethodno posmatrani period 2001-2030., ali sa većom amplitudom promjena. Ovaj put promjena dvometarske temperature se kreće u opsegu od 1.6°C do 3.4°C. Najveće promjene su ponovo za sezonu JJA (jun-jul-avgust) od 3.4°C. Tokom zimske sezone (DJF) jasno je uočljiv gradijent od juga ka sjeveru sliva, sa povećanjem temperature od 1.6°C u južnom delu sliva do 2.4°C na sjeveru. Za MAM i SON sezone ove promjene se kreću od 1.8°C do 2.4°C.

Tokom ovog perioda ne postoji niti sezona, niti oblast koja je okarakterisana pozitivnom anomalijom padavina. Za sezonu DJF (decembar-januar-februar) unutar većeg dijela sliva imamo negativnu anomaliju padavina od -30%. Sezona MAM (mart-april-maj) okarakterisana je uniformnim padom u vrijednostima od približno -10% na cijeloj teritoriji. Značajno smanjenje tokom sezone JJA (jun-jul-avgust) uočljivo je u oblasti oko Podgorice, dok u centralnim i sjevernim djelovima se kreće oko -20%. Za sezonu SON (septembar-oktobar-novembar) modelski rezultati takođe pokazuju značajno smanjenje padavina od -30 do -50%.

Tabela 2.4. Promjena temperature u slivu Morače na 2m u periodu 2071-2100 u odnosu na bazni period 1961-1990

| promjena u °C       | dec-jan-feb   | mar-apr-maj   | jun-jul-avg   | sep-okt-nov   |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Sjeverni dio sliva  | od 2.2 do 2.4 | od 2.4 do 2.6 | od 3.2 do 3.4 | od 2.2 do 2.4 |
| Centralni dio sliva | od 1.8 do 2.0 | od 2.4 do 2.6 | od 3.2 do 3.4 | od 2.0 do 2.2 |
| Južni dio sliva     | od 1.6 do 1.8 | od 1.8 do 2.0 | od 2.4 do 2.6 | od 1.8 do 2.0 |

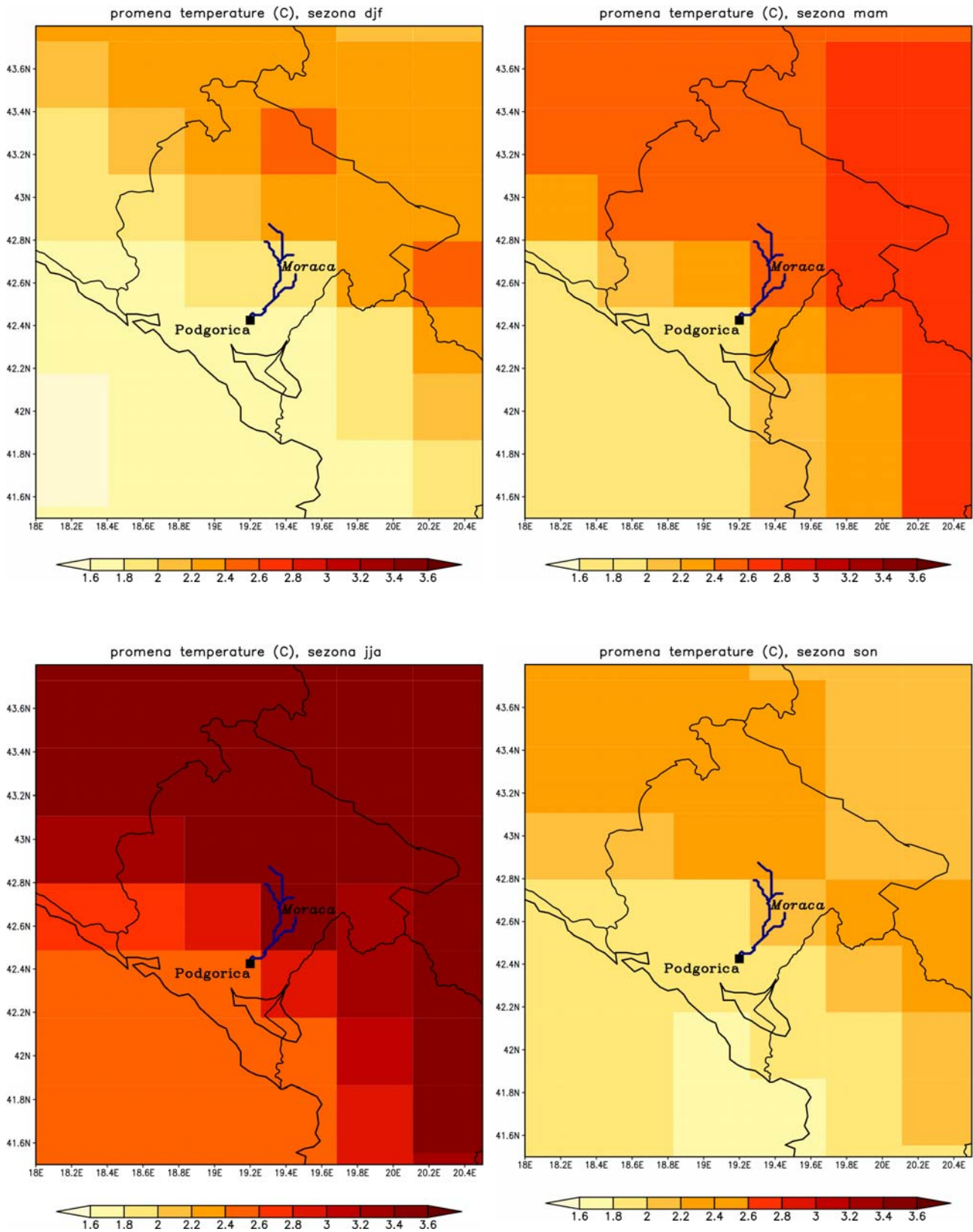
Tabela 2.5. Promjena količine padavina (%)u slivu Morače u periodu 2071-2100 u odnosu na bazni period 1961-1990

| promjena količine padavina | dec-jan-feb | mar-apr-maj | jun-jul-avg | sep-okt-nov |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | %           | %           | %           | %           |
| Sjeverni dio sliva         | -20 do -30  | -5 do -10   | -20 do -30  | -30 do -50  |
| Centralni dio sliva        | -20 do -30  | -5 do -10   | -20 do -30  | -30 do -50  |
| Južni dio sliva            | -15 do -20  | -10 do -15  | preko -70   | -30 do -50  |

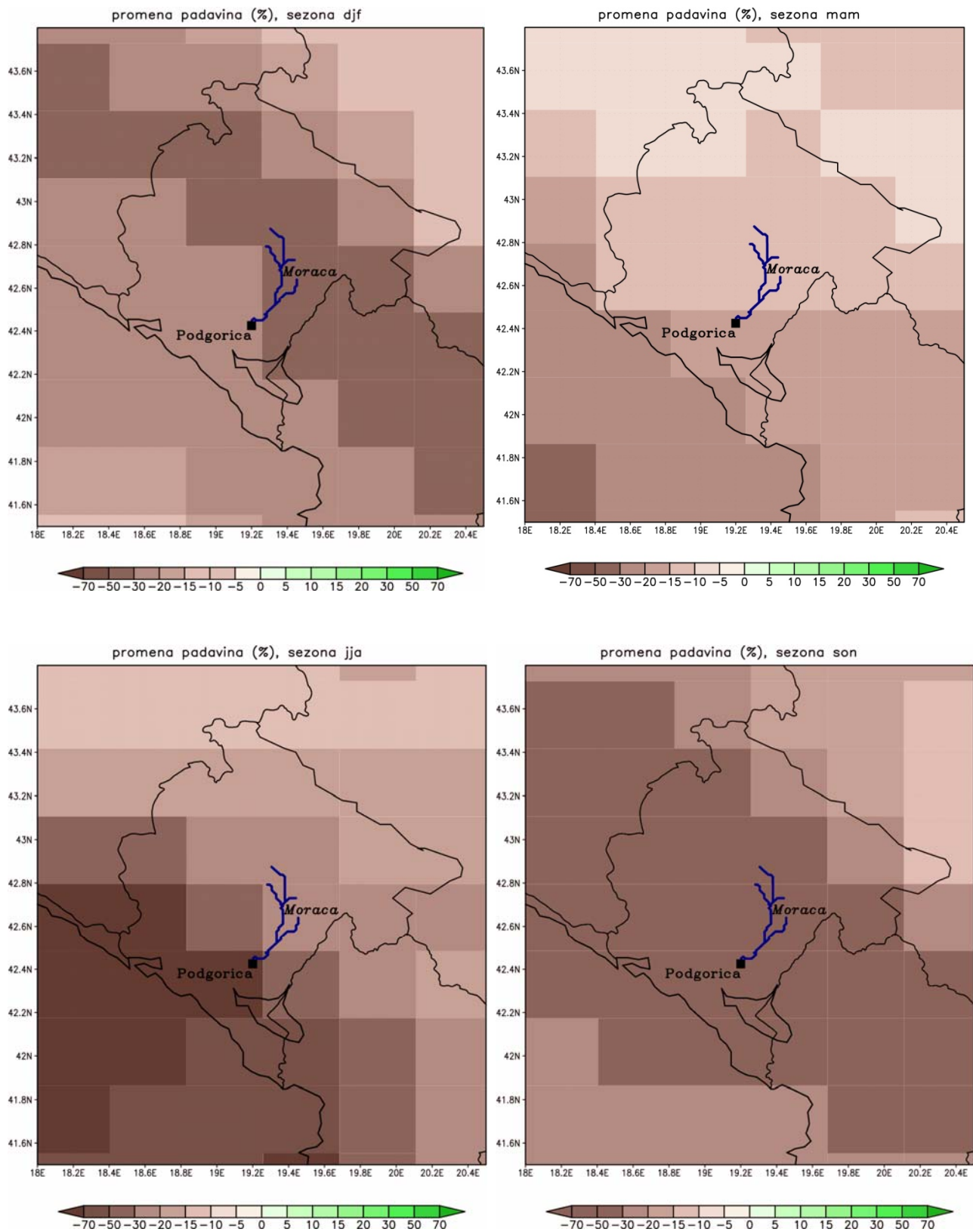
Tabela 2.6. Projektovana količina padavina (mm)u slivu Morače u periodu 2071-2100<sup>3</sup>

|                     | dec-jan-feb | mar-apr-maj | jun-jul-avg | sep-okt-nov |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | mm          | mm          | mm          | mm          |
| Sjeverni dio sliva  | 470 do 560  | 425 do 475  | 165 do 205  | 305 do 440  |
| Centralni dio sliva | 405 do 480  | 390 do 440  | 145 do 180  | 290 do 420  |
| Južni dio sliva     | 440 do 470  | 335 do 355  | do 55       | 275 do 385  |

<sup>3</sup> Projektovana količina padavina je dobijena na osnovu prognoziranog odstupanja i podataka Hidrometeorološkog zavoda o raspodjeli količina padavina po sezonama u periodu 1961-1990.



Slika 2.4. Promjena temperature (°C) po tromjesečjima u periodu 2071-2100 u odnosu na bazni period 1961-1990



Slika 2.5. Promjena količine padavina (u %) po tromjesečjima u periodu 2071-2100 u odnosu na bazni period 1961-1990

## Literatura

Durdjevic, V. and Rajkovic B., 2008a: Verification of a coupled atmosphere-ocean model using satellite observations over the Adriatic Sea., *Ann. Geophys.*, 26, 1935-1954.

Djurdjevic, V. and Rajkovic B. 2008b: Air-sea interaction, Fluid mechanics of environmental interfaces. Editors: Gualtieri C. and Mihajlovic T. D., Taylor and Francis.

Giorgi, F., and G.T. Bates, 1989: The climatological skill of a regional model over complex terrain. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2325-2347.

Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model, *J. Clim.*, 3, 941-963.

Gualdi, S., E. Guilyardi, A. Navarra, S. Masina, and P. Delecluse 2003a: The interannual variability in the tropical Indian Ocean as simulated by a CGCM, *Clim. Dyn.*, 20, 567-582.

Gualdi, S., A. Navarra, E. Guilyardi, and P. Delecluse 2003b: Assessment of the tropical Indo-Pacific climate in the SINTEX CGCM, *Ann. Geophys.*, 46, 1-26.

Gualdi S., B Rajkovic., V. Djurdjevic., S. Castellari, E. Scoccimarro, A. Navarra. M. Dacic (2008): Simulations of climate change in the Mediterranean Area, FINAL SCIENTIFIC REPORT [http://www.earthprints.org/bitstream/2122/4675/1/SINTA\\_Final%20Science%20Report%20\\_October%202008.pdf](http://www.earthprints.org/bitstream/2122/4675/1/SINTA_Final%20Science%20Report%20_October%202008.pdf).

Mellor, G. L., and Yamada, T., 2002: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, *Rev. Geophys. and Space Phys.*, 20(4), 851–875, 1982.

Mellor, G. L. (Ed.): Users guide for a three-dimensional primitive equation numerical ocean model, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, NJ 08544-0710.

Nakicenovic, N., and R. Swart (eds.), 2000: Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp, Palmer, T.N., and J. Räisänen, 2002:

Pérez, C., S. Ničković, G. Pejanović, J. María Baldasano and E. Özsoy, 2006: Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts *Journal of Geophysical Research*, VOL. 111, D16206, doi:10.1029/2005JD006717.

Winninghoff., F. J. 1968: On the adjustment toward the geostrophic balance in a simple.



**Autori :**

Mr Luka Mitrović, Branko Micev, Angel Marčev - HMZ Crne Gore

Dr Mihailo Burić - Univerzitet Crne Gore

Mirjana Sakradžija - SEWA, Beograd

Momčilo Živković - Agencija za životnu sredinu Srbije, Beograd

Goran Pejanović - HMZ Srbije, Beograd

Dr Lazar Lazić, Mr Vlada Đurđević - Institut za meteorologiju, Fizički fakultet, Beograd

Dušan Jović - NCEP, Washington

Dušan Pavićević - NVO FONDAS, Podgorica