

UNIVERZITET U BEOGRADU
FIZIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA METEOROLOGIJU

Albert Ruman

UTICAJ PROMENE BIOSFERE U PANONSKOM
BASENU NA LOKALNU I REGIONALNU
KLIMU TOKOM PROLEĆNIH, LETNJIH I
JESENJIH MESECI

doktorska disertacija

Beograd, 2022

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHYSICS
INSTITUTE OF METEOROLOGY

Albert Ruman

THE INFLUENCE OF BIOSPHERE CHANGE IN
THE PANNONIAN BASIN ON LOCAL AND
REGIONAL CLIMATE DURING
SPRING, SUMMER AND AUTUMN MONTHS

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022

Komisija za pregled i ocenu disertacije:

Mentor: prof. dr Vladimir Đurđević
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet

Članovi Komisije:

1. prof dr Vladimir Đurđević
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet
2. prof.dr Ivana Tošić
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet
3. prof.dr Mirjam Vujadinović Mandić
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet

Datum odbrane: _____

Uticaj promene biosfere u Panonskom basenu na lokalnu i regionalnu klimu tokom prolećnih, letnjih i jesenjih meseci

Rezime

Uticaj kopnene vegetacije na fizičke procese u površinskom i planetarnom graničnom sloju atmosfere je od velikog značaja za izučavanje vremenskih i klimatskih uslova u klimatskom sistemu Zemlje. Kopnena vegetacija, kao sastavni deo klimatskog sistema Zemlje, ima veliki uticaj na razmenu energije između kopna i atmosfere, a usled toga i značajnu ulogu u definisanju vremenskih i klimatskih obrazaca, kako na globalnom, tako i na regionalnom i lokalnom nivou. Međutim, usled konstantnog antropogenog uticaja, ali i zbog sopstvene dinamike, ovaj vegetacioni sistem se stalno menja i veoma ga je komplikovano predstaviti, kao i njegov uticaj na klimatski sistem Zemlje.

Cilj ovog istraživanja je proučavanje uticaja regionalne promene vegetacije na sezonsku temperaturu vazduha u blizini Zemljine površine. Istraživanje je urađeno upotrebom globalnog klimatskog modela MPI-ESM (Max Planck Institute - Earth System Model). Oblast ovog istraživanja je smeštena u Panonskom basenu koji predstavlja jedan od mnogih regiona u kome je antropogeni uticaj na geofizičke promene životne sredine veliki. Vremenski okvir unutar koga su rađeni numerički eksperimenti MPI-ESM modelom je pokrivao period od 2002. do 2011. godine.

Izmena zastupljenosti tipova šumske, travnate i poljoprivredne vegetacije koja je izvedena u istraživanju nedvosmisleno pokazuje da je došlo do povećanja dekadnih vrednosti srednjih sezonskih temperatura vazduha u blizini Zemljine površine (T_{2m}) i temperature vazduha u nižim slojevima atmosfere (T_{lev}), kako na lokalnom tako i na regionalnom nivou. Međutim, došlo je i do značajnih promena u trendovima srednjih sezonskih vrednosti: temperature vazduha u blizini Zemljine površine (Y_{T2m}), fluksa osetne toplote (Y_{Fh}), fluksa latentne toplote (Y_{Fl}), površinskog albeda (Y_a) i oblačnosti (Y_{Ob}). Postignut je trend hlađenja vazduha u letnjoj sezoni, dok je u prolećnoj postignut trend zagrevanja prizemnog vazduha, a za jesenju sezonu dobijeni su trendovi zagrevanja i hlađenja vazduha. Promena trenda Y_{T2m} je uglavnom dobijena usled promene u površinskom albedu, kao i usled promene oblačnosti. Trend hlađenja vazduha za letnju sezonu je zastupljen uglavnom u severnim i centralnim oblastima Panonskog basena dok je u južnoj oblasti zabeležen trend zagrevanja.

Ovim istraživanjem je postignut postavljeni cilj, odnosno potvrđeno je da postoji značajan

antropogeni uticaj na promenu klimatskih uslova, kako na lokalnom, tako i na regionalnom nivou, usled geofizičkih uticaja na kopnenu vegetaciju. Pokazalo se da izmenom vegetacije na površini možemo ublažiti zagrevanje u letnjoj sezoni, kao i da ubrzamo povećanje prizemne temperature vazduha u prolećnoj sezoni, dok je za jesenju sezonu postignuto i hlađenje i zagrevanje.

Ključne reči: cirkulacija atmosfere, biosfera, temperatura, zračenje, klimatski sistem Zemlje, klimatski model MPI-ESM

Naučna oblast: Meteorologija

Uža naučna oblast: Klimatologija i modelovanje klimatskih hazarda

The influence of biosphere change in the Pannonian basin on local and regional climate during spring, summer and autumn months

Abstract

The influence of terrestrial vegetation on developments in the surface and planetary boundary layer of the atmosphere has great importance for the study of weather and climatic conditions in the Earth's climate system. Terrestrial vegetation as an integral part of the Earth's climate system has a great influence on the exchange of energy between the land and the atmosphere and consequently a significant role in defining weather and climate patterns globally, regionally and locally. However, due to the constant anthropogenic impact, this vegetation system is constantly changing and it is very complicated to present it during research as well as its impact on the Earth's Climate System.

The aim of this study is to study the impact of regional vegetation change on the seasonal air temperature near the Earth's surface and was performed using the global climate model MPI-ESM (Max Planck Institute - Earth System Model). The region of our research is located in the Pannonian basin and is one of many regions in which the anthropogenic impact on geophysical changes in the environment is great. The research was conducted for a ten-year period from 2002 to 2011.

The change in the concentration of CF types that we performed in our study unequivocally shows that it has led to an increase in decadal values of mean seasonal air temperatures: near the Earth's surface (T_{2m}) and air temperature in the lower atmosphere (T_{lev}) both locally and at the regional level. However, there were also significant changes in the trends of average seasonal values: air temperature near the Earth's surface ($Y_{T_{2m}}$), sensory heat flux (Y_{F_h}), latent heat flux (Y_{F_l}), surface albedo (Y_a), cloud cover (Y_{Ob}) and soil water content (Y_{SW}). We managed to achieve the trend of air cooling in the summer season, while in the spring we got the trend of heating the ground air, and for the autumn season we got the trend of heating and cooling the air. The change in the $Y_{T_{2m}}$ trend was mainly due to a change in surface albedo as well as due to a change in cloud cover. The trend of air cooling that we received for the summer season is represented mainly in the northern and central areas of the Pannonian basin, while for the southern area we received a trend of warming.

For the spring season, we mainly obtained a mean positive linear correlation between the mean monthly values of air temperature T_{2m} and the mean monthly values of the sensory heat flux F_h . For the summer season we mostly got that medium and strong linear correlation while for the autumn season

we got weak positive and weak negative linear correlation.

Through our research, we have achieved the set goal and shown that there is a significant anthropogenic impact on climate change at both local and regional levels. We have shown that we can mitigate warming in the summer season as well as accelerate the increase in ground air temperature in the spring season while we have achieved both cooling and warming for the autumn season.

Keywords: atmospheric circulation, biosphere, temperature, radiation, Earth climate system, climate model MPI-ESM

Scientific discipline: Meteorology

Scientific subdiscipline: Climatology and numerical modeling

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1 Motivacija	1
1.2 Cilj	2
2. Globalni klimatski model i uslovi eksperimenta	3
2.1 Uticaj kopnene vegetacije na klimu	3
2.2 Numerički modeli klimatskog sistema Zemlje	5
2.3 Globalni klimatski model	6
2.3.1 Globalni cirkulacioni model atmosfere ECHAM6	7
2.3.2 Kopneni površinski model biosfere JSBACH	8
2.3.3 Okeanski globalni cirkulacioni model MPIOM	9
2.3.4 OASIS3-MCT softverski system za povezivanje modela	9
2.4 Parametrizacije u modelu MPI-ESM	10
2.4.1 Toplotni bilans površine Zemlje	10
2.4.2 Fluks neto zračenja u modelu MPI-ESM	10
2.4.3 Fluks latentne i osetne toplote	12
2.4.4 Zračenje u sloju vegetacije	14
2.4.5 Transport površinskih flukseva	14
3 Metodologija i verifikacija eksperimenta	16
3.1 Köppen-Geiger klasifikacija klime	16
3.2 Region istraživanja i početni uslovi	16
3.3 Asimilacija početnih uslova	20
3.4 Metode verifikacije i procene trenda	21
3.4.1 Pirsonov koeficijent korelacije	21
3.4.2 Koren srednje kvadratne greške	22
3.4.3 Srednji bias	23
3.4.4 Linearni trend	23
3.5 Verifikacija modela	24

4. Rezultati	27
4.1 Köppen-Geiger klasifikacija klima u Panonskom basenu	27
4.2 Dekadna vrednost koeficijenta aerodinamičke hrapavosti.....	32
4.3 Dekadna vrednost indeksa lisne površine.....	33
4.4 Trendovi fluksa latentne toplote i sadržaja vlažnosti zemljišta.....	34
4.5 Trendovi fluksa osetne toplote.....	44
4.6 Trendovi površinskog albeda	50
4.7 Trendovi srednje sezone temperature vazduha u blizini Zemljine površine	56
4.8 Dekadna vrednost srednje sezone temperature vazduha u nižim slojevima atmosfere.....	63
4.9 Trendovi oblačnosti.....	68
4.10 Trendovi padavina.....	74
 5. Diskusija	 80
 6. Zaključak	 83
 7. Literatura	 86
 Prilog 1	 93
Prilog 2	96
Prilog 3	101
Prilog 4	104
Prilog 5	107
Prilog 6	113

1. Uvod

Kao sastavni deo klimatskog sistema Zemlje (KSZ), kopnena vegetacija ima veliki uticaj na razmenu energije između kopna i atmosfere, a usled toga i značajnu ulogu u definisanju vremenskih i klimatskih obrazaca, kako na globalnom, tako i na regionalnom i lokalnom nivou. Zahvaljujući razvoju kompleksnih numeričkih klimatskih modela i modela za prognozu vremena, omogućen nam je bolji uvid u istraživanje interakcije kopnenih površina sa atmosferom metodom numeričkih simulacija. Ovom metodom se na brz i ekonomičan način mogu vršiti regionalna ili globalna ispitivanja uticaja površina pod vegetacijom na KSZ.

1.1 Motivacija

Usled povećanja globalne ljudske populacije i njenog uticaja na životnu sredinu sve češće dolazi do promena u geofizičkim karakteristikama kopnenih i vodenih površina u KSZ, koje utiču na promene, kako regionalnih tako i globalnih raspodela vremenskih obrazaca. Ovi uticaji se najviše ogledaju u smanjivanju površina kopna koja su pokrivena visokom i niskom vegetacijom, kao i u isušivanju vlažnih površinskih slojeva zemljišta (Williams 2003, FAO 2016, 2020). U prošlosti su se takve površine uglavnom pretvarale u poljoprivredne površine, dok se u sadašnjosti, usled povećanja ljudske populacije i ekspanzije urbanih sredina pretvaraju i u građevinsko zemljište. Pored direktnog fizičkog uticaja na životnu sredinu ljudska populacija takođe utiče i indirektnim putem preko sagorevanja fosilnih goriva i oslobađanjem ugljen-dioksida (CO_2) kao veoma važnog gasa koji doprinosi efektu staklene bašte.

Konstataciju da je ljudski uticaj na klimu dominantan potvrđuju i izveštaji IPCC AR 5 i 6 (eng. Intergovernment Panel on Climate Change Fifth and Sixth Assessment Report), gde se navodi da je osmotren porast koncentracija najuticajnijih gasova efekta staklene baste, kao što su ugljen-dioksid (CO_2) i metan (CH_4), u toku poslednjeg veka (IPCC 2021). Njihov porast je uzrokovan pre svega sagorevanjem fosilnih goriva, promenom namene korišćenja zemljišta i drugim ljudskim aktivnostima. Ispitivanjem klime 20. veka i direktnim osmatranjem promena sadašnje klime u odnosu na pred-industrijski period (1850-1900. godina), takođe je konstatovan uticaj antropogenog faktora na promene osnovnih klimatskih elemenata, kao što su: globalno zagrevanje prizemnog sloja atmosfere (ljudska aktivnost je do perioda 2017. godine dovela do zagrevanja od oko 1 °C), smanjenje mase snega,

snežnog i ledenog pokrivača, ukupnih padavina, kao i blagi porast nivoa mora (između 0.15 m i 0.2 m). Promene u učestalosti i intenzitetu klimatskih ekstrema posledica su sistematske promene klime, kako na globalnom, tako i na regionalnom nivou.

Tema ove disertacije predstavlja veoma složen problem sa kojim se istraživači susreću tokom izučavanja KSZ, jer vegetacioni pokrivač predstavlja kompleksni sistem. Vegetacioni pokrivač ima značajnu ulogu u razmeni energije između atmosfere i površine kopna, odnosno transportu energije sa površine kopna u atmosferu putem zračenja, kondukcije i konvekcije. Zato nam je veoma bitno da su ovi procesi što preciznije definisani u numeričkim modelima, što doprinosi njihovoj uspešnosti u simuliranju KSZ.

Obim i intezitet antropogenog uticaja na KSZ koji dovode do klimatskih promena na globalnom i regionalnom nivou odredile su oblast i cilj ovog istraživanja.

1.2 Cilj

Metodom numeričkih simulacija želimo da, simuliranjem sadašnjih globalnih klimatskih uslova, uz promenu vegetacionog pokrivača samo u Panonoskom basenu, definišemo koliki bi bio uticaj ove promene na lokalnu i regionalnu klimu. Tokom istraživanja najviše pažnje će se posvetiti uticaju vegetacionog pokrivača na:

1. apsorpciju i refleksiju Sunčevog kratkotalsnog zračenja,
2. apsorpciju i emisiju Zemljinog dugotalasnog zračenja,
3. razmenu latentne i osetne toplote sa atmosferom.

Odnosno, tražimo koliko su ove promene uticale na promene u površinskom bilansu energije između površine kopna i atmosfere, a time i na promenu temperature vazduha u prizemnim slojevima atmosfere. Ovim načinom istraživanja želimo utvrditi: (1) koliko je antropogeni uticaj na promenu životne sredine u Panonskom basenu doprineo promenama klimatskih uslova u region; (2) kakve bi bile posledice dalje promene na lokalnu i regionalnu klimu; (3) da li ove promene mogu da ublaže ili ubrzaju klimatske promene, regionalno gledano. Odgovorima na postavljena pitanja možemo da ponudimo i delimično rešenje u vezi promena koje se dešavaju u regionu. Definisane uticaja promene vegetacionog pokrivača na klimu je od velikog značaja, jer bi tada ljudska populacija svojim direktnim delovanjem na životnu sredinu mogla da utiče na formiranje određenih geofizičkih uslova koji bi doveli do ublažavanja klimatskih promena kako na regionalnom tako i na globalnom nivou.

2. Globalni klimatski model i uslovi eksperimenta

2.1 Uticaj kopnene vegetacije na klimu

Vegetacija ima značajnu ulogu u definisanju površinskog bilansa energije, odnosno na razmenu energije između površine kopna i atmosfere. Kolika je njena uloga u razmeni energije zavisi od tipa vegetacije. Vegetacioni pokrivač u numeričkim modelima je uglavnom podeljen u dva tipa: na visoki i niski.

Pod visokim tipom vegetacije podrazumevamo šumsku, dok se pod niskom smatraju pašnjaci, travnate površine, tundra, žbunovi i poljoprivredni usevi. Uticaj vegetacionog pokrivača na klimatske uslove u numeričkim modelima se najčešće prati preko smanjenja ili povećanja njene procentualne zastupljenosti u određenoj regiji, kao i promenom vrste, odnosno tipa vegetacije. Najveći uticaj na klimu se dešava zbog promena u visokoj vegetaciji, odnosno u promeni površinske zastupljenosti šumske vegetacije, kako na lokalnom, tako i na regionalnom nivou ([Sanchez i dr., 2007](#); [Pitman i dr., 2009](#); [Anav i dr., 2010](#)).

Šumska vegetacija na klimu utiče preko raznih procesa koje možemo podeliti u dve osnovne grupe: bio-geofizičke i biohemijske. Glavni bio-geofizički procesi uključuju transport površinske energije, vlage i flukseva momenta, koji su definisani fizičkim svojstvima vegetacije kao što su albedo, aerodinamička hrapavost i površina lista ([Claussen et al. 2001](#); [Betts 2006](#); [Bonan 2008](#); [Port et al. 2012](#)). Osnovni hemijski procesi uključuju interakciju sa CO₂, ozonom (O₃) i proizvodnju aerosola zbog oslobađanja ugljovodonika ([Arneeth et al. 2010](#)). Svaki od ovih procesa značajno utiče na razmenu energije između kopna i atmosfere, usled čega dolazi do promena u regionalnoj i globalnoj cirkulaciji atmosfere a time i uticaja na KSZ. Na osnovu istraživanja koji su obavili [Matthews i dr. \(2004\)](#); [Brovkin i dr. \(2006\)](#), ove osnovne grupe imaju približno jednaku ulogu u regulaciji temperature u KSZ ([Bathiany i dr., 2010](#)). Tako na primer, šumska vegetacija ima mali albedo usled čega apsorbuje veliki deo dolazećeg kratkotalasnog Sunčevog zračenja. Najveći deo apsorbovanog zračenja se troši na zagrevanje vazduha iznad šumske vegetacije putem dugotalasnog zračenja, provođenjem toplote i konvekcijom ([Betts i Ball, 1997](#)). U oblastima sa vegetacionim pokrivačem jedan od načina da se vazduh hladi u površinskim slojevima je proces evapotranspiracije, koji se sastoji od isparavanja vode sa površine tla i biljaka i oslobađanja vodene pare iz biljaka. Usled prenosa vodene pare u više slojeve atmosfere dolazi do kondenzacije i oslobađanja latentne toplote, a time i do zagrevanja vazduha u tim

slojevima atmosfere. Procesom evapotranspiracije vegetacioni pokrivač učestvuje u proizvodnji vodene pare i time doprinosi zagrevanju i hlađenju vazduha usled efekta staklene baste, jer je vodena para jedan od osnovnih gasova koji učestvuju u ovom efektu. Aerodinamički gledano, šumska vegetacija predstavlja veoma hrapavu površinu koja povećava turbulenciju i smanjuje brzinu vetra u površinskom sloju atmosfere (Rotenberg i Yakir, 2010; Vautard i dr., 2010). Povećanjem turbulencije iznad šumske vegetacije podstiče se konvekcija, a usled toga i formiranje oblaka, kao i učestalost padavina iznad ovih oblasti (Pielke i dr., 2007; Wulfmeyer i dr., 2011; Ellison i dr., 2012). Povećanje oblačnosti iznad šumskih površina dovodi do povećanja albeda oblačnosti, koje dalje utiče na lokalno i regionalno hlađenje vazduha (Pongratz i dr., 2009; Teuling i dr., 2017; Ruman i dr., 2021).

Intezitet i vremenski period trajanja navedenih procesa najviše zavisi od tipa šumske vegetacije, koji možemo predstaviti preko preraspodele i zastupljenosti u odgovarajućim geografskim oblastima. Usled ovakve podele možemo definisati sledeće tipove šumske vegetacije: severne, umerene i tropske šume (Bonan, 2008), pri čemu svaki od ovih tipova šume drugačije deluje na regionalnu i globalnu klimu. Na primer, severne šume usled malog albeda tokom cele godine imaju veliki uticaj na regionalnu temperaturu i u odnosu na druga dva tipa imaju najveći uticaj na globalnu srednju temperaturu, dok je apsorpcija CO₂ i evapotranspiracija u njima manja (Betts, 2006; Bonan, 2008; Lee i dr., 2011). Uticaj umerenih šuma na klimu je dosta kompleksniji zbog njihovog mešovitog sastava i dužine vegetacionog perioda određenih šumskih vrsta (Bala i dr., 2007; Bonan, 2008; Tölle i dr., 2018). Usled toga regionalno i sezonski varira njihov uticaj između hlađenja i zagrevanja vazduha (Teuling i dr., 2010). Ovaj tip šume nam je naročito interesantan jer utiče na ublažavanje uticaja toplotnih talasa tokom dužeg vremena u oblastima centralne i zapadne Evrope (Stéfanon i dr., 2012; Bastos i dr., 2013; Bevan i dr., 2013). Takođe, ovaj tip šume prekriva površine u oblastima gde ljudska populacija veoma utiče na promenu životne sredine menjajući lokane površinske uslove. Uticaj tropskih šuma se najviše manifestuje preko globalnog smanjenja temperature vazduha usled velike evapotranspiracije, koja prevazilazi grejanje površinskog sloja atmosfere procesom transporta fluksa osetne toplote (Bonan, 2008). Takođe, ovaj tip šume apsorbuje veliku količinu CO₂ iz atmosfere tokom cele godine, što dovodi do indirektnog efekta hlađenja usled smanjenja uticaja efekta staklene bašte.

2.2 Numerički modeli klimatskog sistema Zemlje

Numerički modeli za simulaciju KSZ predstavljaju prikaz klimatskog sistema na osnovu fizičkih, hemijskih i bioloških svojstava njegovih komponenti, interakcija i procesa povratnih sprega. Predstavljaju programske sisteme koji izračunavaju ili testiraju scenarija kako bi predvideli šta će se desiti u datoj situaciji, odnosno, predstavljaju pojednostavljenu sliku koja je relevantna karakteristika KSZ. Glavna svrha numeričkih modela ovog tipa je da smanje kompleksnost KSZ, izbegnu detalje koji nisu relevantni za određeno razmatranje, kao i da dobijemo teorijski ili praktični izvodljiv sistem. KSZ se može predstaviti modelima različite složenosti, kroz pojedinačne komponente ili kombinacije njegovih određenih komponenti, a zatim i u smislu složenosti u kojoj meri su fizički hemijski ili biološki procesi eksplicitno predstavljeni, kao i na kom nivou su uključene empirijske parametrizacije. U zavisnosti od cilja koji želimo ostvariti prilikom istraživanja KSZ, možemo koristiti numeričke modele za numeričku prognozu vremena (NPV), regionalne klimatske modele (RKM) ili globalne klimatske modele (GKM).

Modeli za NPV su modeli visoke rezolucije, koje možemo koristiti za istraživanje uticaja vegetacionog pokrivača na lokalno stanje atmosfere u kratkom vremenskom periodu, od nekoliko časova do nekoliko dana. Imaju prostorno razlaganje od nekoliko kilometara, a istraživanja su uglavnom fokusirana na procese od mikro do sinoptičkih razmera. Takva kretanja su na primer turbulencija, razvoj konvektivnih oblaka, pljuskovite padavine, frontovi, cikloni, anticikloni i slično. U ovakvim modelima je vegetacija najčešće predstavljena kao konstantna vrednost tokom integracije modela. Ukoliko želimo da vršimo istraživanja kada su potrebni duži vremenski periodi, tada koristimo GKM ili RKM. Na primer, ove modele možemo koristiti za istraživanje uticaja kopnene vegetacije na regionalnu i globalnu klimu tokom mesečnog, sezonskog, višegodišnjeg ili viševekovnog perioda. Ovakvim tipom modela možemo vršiti istraživanje uticaja vegetacije na procese od mezo do globalnih razmera, kao što su formiranje i kretanje vazдушnih masa, cikloni, anticikloni kao i na istraživanje cirkulacije vazduha i okeana planetarnih razmera. Modeli ovog tipa treba da sadrže komponente u kojima je definisan dinamički razvoj biljne mase. Odnosno, modeli treba da definišu vegetacione cikluse koji sadrže fizičke i hemijske procese preko kojih se numeričkim putem objašnjavaju procesi fotosinteze i evapotranspiracije tokom cele godine. Definisanje vegetacionih ciklusa u GCM i RKM dovodi do preciznije simulacije fizičkih i termodinamičkih uslova koji se dešavaju u vegetacionom sloju i sloju iznad njega.

Takođe, modeli ovog tipa treba da sadrže i sve relevantne fizičke procese koji se dešavaju u

površinskim slojevima zemljišta i atmosfere. Svi ovi procesi su povezani sa transportom energije od površine kopna u atmosferu putem zračenja, provodljivosti i konvekcije, i zato nam je veoma bitno da su ovi procesi što preciznije definisani u numeričkim modelima. Od ovih rešenja zavisi i uspešnost modela u simulaciji globalnog KSZ, odnosno atmosfere, biosfere, hidrosfere i kriosfere, kao i njihove međusobne interakcije.

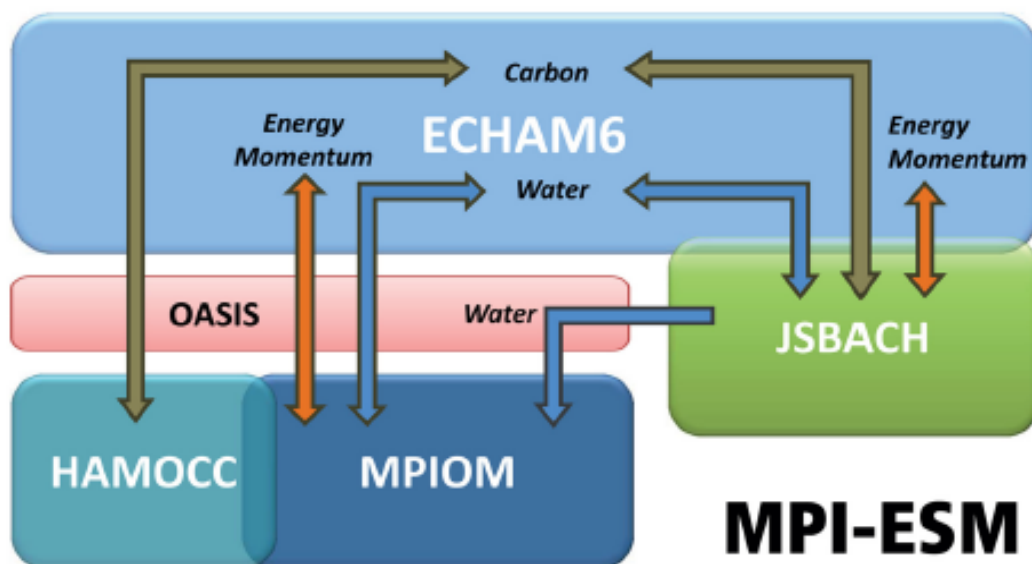
2.3 Globalni klimatski model

Globalni klimatski modeli (GKM) predstavljaju skup matematičkih proračuna baziranih na fizičkim zakonima i principima, koji mogu da se koriste za generisanje kratkoročnih ili dugoročnih klimatskih predviđanja. Pored osnovne namene, gde služe za predikciju klime, oni su i odličan alat za bolje razumevanje i projektovanje raznih uticaja na KSZ kao i za proučavanje klimatskih ekstrema.

Da bi ostvarili cilj našeg istraživanja korišćen je GKM, koji je razvijen u Maks Plank Institutu u Hamburgu MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology) i čiji delovi su integrisani u model MPI-ESM (Max Planck Institute - Earth System Modeling), slika 1. MPI-ESM je jedan od najčešće korišćenih GKM, pomoću kojeg se uspešno vrše klimatske projekcije, analiziraju uticaji raznih parametara i geofizičkih činioca na KSZ, kao i proučavaju razni klimatski ekstremi (Giorgetta i dr., 2013a, 2013b; Stevens i dr., 2013; Schneck i dr., 2011; Pongratz i dr., 2009; Brovkin i dr., 2013a,b; Marković i dr., 2013; Tošić i dr., 2018; Gavrilov i dr. 2018).

Prednost istraživanja metodom numeričkih simulacija korišćenjem modela MPI-ESM je što se za računski relativno kratko vreme, kao i sa manjim brojem procesorskih jedinica, može vršiti serija numeričkih simulacija globalne cirkulacije atmosfere i okeana. Ovim modelom je obuhvaćen veći deo klimatskog sistema na planeti Zemlji, odnosno možemo reći da su obuhvaćeni svi relevantni procesi kojima definišemo globalnu cirkulaciju u atmosferi i okeanima. Za potrebe našeg istraživanja korišćen je MPI-ESM, koji se sastoji od sledećih modela:

- a) globalni cirkulacioni model atmosfere ECHAM6 (European Centre Hamburg 6th generation)
- b) kopneni površinski model biosfere JSBACH (Jena Scheme for Biosfere Atmosphere Coupling in Hamburg)
- c) okeanski globalni cirkulacioni model MPIOM (Max Planck Institute Ocean Models)
- d) OASIS3-MCT (Ocean Atmosphere Sea Ice Soil - Model Coupling Toolkit) softverski sistem za unutrašnju komunikaciju između komponenti modela MPI-ESM.



Slika 1. Šematski prikaz kompletnog MPI-ESM modela.

2.3.1 Globalni cirkulacioni model atmosfere ECHAM6

ECHAM6 (Stevens i dr., 2013) je šesta generacija globalnog cirkulacionog modela atmosfere, koji je razvijen na MPI-M. Kompletni detalji verzije 6 mogu se pronaći u tehničkoj dokumentaciji publikovanoj od strane Giorgetta i dr. (2013a).

Horizontalna rezolucija (prilog 1) ECHAM6 modela predstavljena je sa 192 tačke mreže u zonalnom pravcu (n_{lon}), dok je u meridionalnom pravcu 96 tačaka mreže (n_{lat}), tabela 1. Vertikalna rezolucija ECHAM6 modela je predstavljena sa 47 nivoa rapoređenih na hibridnim sigma koordinatama (Simmons i Burridge, 1981), koja je definisana tako da modelski nivoi u nižoj troposferi prate orografiju, dok nivoi u gornjoj troposferi i stratosferi postaju približno koordinate pritiska sa poslednjim nivoom na $L_{top} = 0.01 \text{ hPa} \approx 80 \text{ km}$. Ovakvim vertikalnim modelskim domenom je obuhvaćena skoro ukupna masa atmosfere. Vremensko diferenciranje prognostičkih jednačina koristi metodu sa vremenskim centriranjem uz korišćenje Asselin filtera za prigušivanje računskog rešenja i polu-implicitnom korekcijom, kako bi se omogućili duži vremenski koraci (Stevens i dr., 2013). Vremenski korak modela je $\Delta t_{atm} = 450 \text{ s}$, dok je vremenski korak za transport zračenja kroz atmosferu $\Delta t_{rad} = 1800 \text{ s}$, tabela 1.

Tabela 1. Prostorna i vremenska rezolucija ECHAM6 i JSBACH modela.

Spektralna rezolucija	Δx na 45° km	Δt_{atm} s	Δt_{rad} s	lon $\times$ lat	nlon $\times$ nlat
T63	147	405	1800	1.875° $\times$ 1875°	192 $\times$ 96

2.3.2 Kopneni površinski model biosfere JSBACH

Kopneni površinski model biosfere JSBACH (Reick i dr., 2013; Schneck i dr., 2013) koristi mešani ili mozaični pristup (Koster i Suarez, 1992), u kome je svaka ćelija u horizontalnoj mreži modela podeljena na pločice, čime je omogućeno pod mrežno predstavljanje heterogenosti vegetacije u posmatranoj ćeliji mreže. Svaka ćelija mreže je podeljena na 11 pločica koje sadrže određeni udeo površinskog pokrivača (CF), (eng. Cover Fraction), tabela 2.

Tabela 2. Tipovi površinskog pokrivača (CF) u modelu JSBACH.

Pločica	CF
1	Tropsko zimzeleno drveće + glečer
2	Tropsko listopadno drveće
3	Umereno širokolisno zimzeleno drveće + zimzeleni četinari
4	Umereno širokolino listopadno drveće + listopadni četinari
5	Zimzeleno žbunje
6	Listopadno žbunje
7	C3 trava + tundra
8	C4 trava
9	C3 pašnjaci
10	C4 pašnjaci
11	C3 usevi + C4 usevi

Svaka od prikazanih pločica ima odgovarajući CF i povezana je sa jednim od 21 vrste površinskog pokrivača (VPP) ili sa 2 VPP ako su sličnih karakteristika, kao što je slučaj sa pločicama 3, 4, 7 i 11, prilog 3, tabela p3.1. Ovde treba napomenuti da je glečer kao VPP stavljen u kombinaciji sa tropskim zimzelenim drvećem u pločici 1 (tabela 2) zbog uprošćavanja rada modela. Svaka pločica predstavlja zasebni deo koji simulira razmenu vode, ugljenika, energije, temperature i brzine vazduha

između kopna i atmosfere (Brovkin i dr., 2013a). Ove razmene se sumiraju za sve pločice i predstavljaju kao ukupna razmena za jednu ćeliju mreže.

U modelu je definisano pet vertikalnih slojeva zemljišta do dubine od približno 10 metara. Horizontalna i vremenska rezolucija kopnenog površinskog modela JSBACH je ista kao kod ECHAM6 modela, tabela 1. Procesi kao što su: albedo, fotosinteza, transpiracija, fenologija, razvoj i dinamika vegetacije u JSBACH modelu su predstavljeni preko određenih modula koji se mogu sekvencijalno uključivati ili isključivati u zavisnosti od cilja istraživanja.

2.3.3 Okeanski globalni cirkulacioni model MPIOM

MPIOM je okeanski globalni cirkulacioni model. Njegov horizontalni domen je definisan sa 256 tačaka mreže u zonalnom i 220 tačaka mreže u meridijalnom pravcu, a tačke su raspoređene na Arakawa C mreži (Arakawa i Lamb, 1977). Ovde treba napomenuti da je severni pol smešten na Grenlandu, a južni pol na Antarktiku. Ovakva mreža tačaka se često naziva dvopolarna. Vertikalna rezolucija je predstavljena sa 40 nivoa u z-koordinatnom sistemu, dok je vremenski korak modela $\Delta t_{oce} = 2700$ s. Tehnički detalji se mogu pronaći u “*The Max-Planck-Institute Global Ocean/Sea-Ice Model MPI-OM*” (Wetzel i dr., 2011).

2.3.4 OASIS3-MCT softverski sistem za povezivanje modela

Paralelno povezivanje pojedinačnih modela MPI-ESM tokom rada je ostvareno softverskim sistemom OASIS3-MCT, koji je razvijen u CERFACS Toulouse (fra. Centre Europeen de Recherche et Formation Avancee en Calcul Scientifique). OASIS3-MCT softver nam omogućava sinhronizovanu razmenu informacija između numeričkih modela koji predstavljaju različite komponente klimatskog sistema, odnosno vrši interpolaciju između različitih tačaka mreže između modela (Valcke, 2013).

2.4 Parametrizacije u modelu MPI-ESM

2.4.1 Toplotni bilans površine Zemlje

U našem istraživanju posmatrali smo kakav uticaj ima CF na glavne fizičke procese koji utiču na razmenu energije između atmosfere i površine Zemlje, a samim tim i na promenu u KSZ. Ovu razmenu energije možemo definisati preko površinskog bilansa energije koja je u modelu MPI-ESM definisana sledećom jednačinom.

$$C_L \cdot \frac{\partial T_S}{\partial t} = F_{\text{net}} + F_l + F_h + F_z$$

gde je:

T_S	površinska temperature,
C_L	toplotni kapacitet sloja,
F_{net}	fluks neto zračenja,
F_l	fluks latentne toplote,
F_h	fluks osetne toplote,
F_z	fluks toplote zemljišta.

Jedan od glavnih indikatora promena u KSZ je površinska temperatura T_s koja predstavlja ključnu veličinu za posmatranje promena u površinskom bilansu energije. Zbog toga smo u našim eksperimentima želeli da odredimo koliki je direktni uticaj promene CF na promene u temperaturi vazduha u blizini Zemljine površine (T_{2m}), odnosno na 2 metra visine od površine Zemlje.

2.4.2 Fluks neto zračenja u modelu MPI-ESM

Fluks neto zračenja F_{net} je predstavljen jednačinom

$$F_{\text{net}} = (1 - a_s) \cdot F_{\text{sr}} + \varepsilon \cdot F_{\text{lr}} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_S^4$$

gde je:

F_{sr}	fluks kratkotalasnog zračenja,
F_{lr}	fluks dugotalasnog zračenja,
a_s	površinski albedo,
ε	emisivnost tela,
σ	Stefan-Boltzmann-ova konstanta.

Fluks kratkotalasnog zračenja F_{sr} je u modelu ECHM6 predstavljen preko dela elektromagnetnog (EM) spektra između talasnih brojeva 820 cm^{-1} i 50000 cm^{-1} . Ovaj opseg Sunčevog kratkotalasnog EM zračenja je predstavljen u modelu preko 14 talasnih grupa (prilog 2, tabela p2.2) i predstavlja ukupno kratkotalasno Sunčevo zračenje koje dospeva na površinu Zemlje. Fluks dugotalasnog zračenja F_{lr} je predstavljen preko dela EM spektra između talasnih brojeva 10 cm^{-1} i 3000 cm^{-1} . Ovaj opseg infracrvenog zračenja IR (eng. Infrared) je predstavljen u modelu preko 16 talasnih grupa (prilog 2, tabela p2.3).

Fluksevi F_{sr} i F_{lr} zavise od sposobnosti atmosfere da vrši apsorpciju, transmisiju i refleksiju EM zračenja. Ova karakteristika transporta zračenja kroz atmosferu je promenljiva osobina jer, usled promenljivosti sastava atmosfere, dolazi i do promena u fluksu F_{net} koji dospeva na površinu. Promena sastava atmosfere se najviše manifestuje u njenim prizemnim slojevima, gde je najveća promena u koncentraciji aerosola i glavnih gasnih apsorbera koji su predstavljeni u prilogu 2, tabela p2.2 i p2.3.

Na slici p2.2 (prilog 2) se jasno vidi da su gasovi kao što su vodena para (H_2O) i CO_2 glavni apsorberi u blisko-infracrvenom delu EM spektra talasnih dužina između $0.7 \text{ }\mu\text{m}$ i $3.0 \text{ }\mu\text{m}$, kao i u infracrvenom delu spektra talasnih dužina većih od $3.0 \text{ }\mu\text{m}$. Od ukupno 16 spektralnih grupa za apsorpciju dugotalasnog zračenja (tabela p2.3), 14 sadrži H_2O u visokoj oblasti atmosferskog pritiska ($p > 100 \text{ hPa}$). Upravo zbog ovih apsorpcionih osobina gasova H_2O i CO_2 možemo pretpostaviti da vegetacija, naročito šumska, preko fizičkih i hemijskih procesa može značajno da utiče na energetski bilans u površinskim slojevima atmosfere usled promene koncentracije ovih gasova, a samim tim i na promenu fluksa neto zračenja F_{net} .

Površinski albedo a_s predstavlja odnos flukseva reflektovanog F_{ref} i dolazećeg kratkotalasnog F_{sr} Sunčevog zračenja nad datom površinom.

$$a_s = \frac{F_{ref}}{F_{sr}} \Rightarrow (1 - a_s) \cdot F_{sr} = F_{sr} - \frac{F_{ref}}{F_{sr}}$$

U modelu JSBACH izračunavanje površinskog albeda a_s prati [Otto i dr., 2011](#), i podeljeno je u dva dela:

- 1) a_{VIS} , VIS (eng. Visible Spectrum), površinski albedo u vidljivom Sunčevom spektru između talasnih dužina $0.3\text{-}0.7 \text{ }\mu\text{m}$.
- 2) a_{NIR} , NIR (eng. Near Infra-Red), površinski albedo u blisko-infracrvenom Sunčevom spektru između talasnih dužina $0.7\text{-}3.0 \text{ }\mu\text{m}$

Jedan od glavnih načina zagrevanja prizemnog sloja vazduha je taj što šume umerenog tipa distribuiraju više toplote u atmosferu jer su tamnije i apsorbuju više Sunčeve svetlosti. One imaju mali albedo i preko procesa zračenja greju okolni vazduh (Betts i Ball, 1997; Lee i dr., 2011). Zatim se ovako zagrejani vazduh procesom turbulentnog transporta površinskog fluksa osetne toplote (F_h) prenosi u niže slojeve vazduha što dalje dovodi do zagrevanja okolnog vazduha. Upravo je zato veoma bitno da sezonski pratimo i što preciznije definišemo promenu površinskog albeda usled izvršenih promena u CF, jer se time dobija precizniji fluks neto zračenja F_{net} , a time i površinski bilans energije.

Prilikom računanja površinskog albeda uzima se u obzir pojedinačno svaki deo pod mrežnog prostora od 11 pločica, odnosno posmatramo tlo bez vegetacije, zatim deo koji zauzima vegetacija i to preko indeksa lisne površine (LAI) (eng. Leaf Area Index), kao i deo koji zauzima sneg na tlu ili na vegetaciji. Zatim se ovi delovi sumiraju i čine ukupan albedo za određenu tačku u mreži modela. Ova vrednost albeda se zatim predaje ECHAM6 modelu gde se dalje koristi u delu modela koji je zadužen za zračenje.

Generalno gledano određivanje površinskog albeda zavisi od LAI (prilog 3). Ova zavisnost je jedan od glavnih problema koji se javljaju u određivanju površinskog albeda a_s , usled prirodne dinamike vegetacije (Vamborg i dr., 2011), kao i zbog antropogenog uticaja na životnu sredinu. Pored ovih problema postoji i problem usled definisanja oblačnosti i promenljivosti koncentracije gasova i aerosola. Svi ovi problemi čine određivanje površinskog albeda a_s veoma kompleksnim i zahteva razne parametrizacije pri njegovom izračunavanju, prilog 3.

2.4.3 Fluks latentne i osetne toplote

Fluks latentne toplote iznad kopna F_l računa se pomoću jednačine

$$F_l = L \cdot \rho \cdot C_h \cdot |\vec{v}_{klev}| \cdot \beta \cdot (q_{v,klev} - h \cdot q_{sat}(T_s))$$

$$\beta \propto \frac{1}{1 + \frac{r_c}{r_a}} \left\{ \begin{array}{l} r_a = \frac{1}{C_h \cdot |\vec{v}_{klev}|} \\ r_c = \frac{r_s}{LAI} \end{array} \right.$$

gde je:

L	koeficijent latentne toplote isparavanja,
ρ	gustina vazduha,
$q_{v,klev}$	specifična vlažnost vazduha na datom vertikalnom modelskom nivou (<i>klev</i>),
q_{sat}	zasićena specifična vlažnost vazduha pri površinskoj temperaturi (T_s),
h	relativna vlažnost vazduha na površini,
$\vec{v}_{klev}$	apsolutna vrednost horizontalne komponente brzine vazduha na datom vertikalnom modelskom nivou,
C_h	koeficijent razmene vlažnosti,
β	transpiracija vegetacije,
r_a	aerodinamički otpor vegetacije,
r_c	otpor vegetacionog pokrivača,
r_s	otpor stomate jednog lista,
LAI	indeks lisne površine.

Fluks osetne toplote F_h dobijamo preko jednačine

$$F_h = \rho \cdot C_h \cdot |\vec{v}_{klev}| \cdot (c_p \cdot T_{klev} + g \cdot z_{klev} - c_p \cdot T_s)$$

gde je:

ρ	gustina vazduha,
C_h	koeficijent razmene toplote,
c_p	specifični toplotni kapacitet vazduha pri konstantnom pritisku,
T_{klev}	tempertura vzduha na datom vertikalnom modelskom nivou,
T_s	temperatura vazduha na površini Zemlje,
g	gravitaciono ubrzanje Zemlje,
z_{klev}	visina iznad površine Zemlje.

Detaljniji opis transporta flukseva je dat u prilogu 4.

2.4.4 Zračenje u sloju vegetacije

Zračenje u sloju vegetacije dobijamo preko jednačine

$$I = I^\downarrow + I^\uparrow + F_0 \cdot e^{-(K \cdot LAI_z)}$$

gde je:

- I difuzno zračenje u vegetativnom sklopu,
- $I^\uparrow, I^\downarrow$ difuzno zračenje, nagore ili nadole u vegetativnom sklopu,
- F_0 direktno zračenje iznad vegetativnog sklopa,
- K optička dubina direktnog zračenja,
- LAI_z LAI meren od vrha ka dole u vegetativnom sklopu.

Iz date jednačine (prilog 3) sledi da na apsorpciju, refleksiju i transmitivnost EM zračenja LAI ima značajn uticaj. [Brown i Gillespie \(1995\)](#) su utvrdili da je uticaj lista na EM zračenje u vidljivom spektru za apsorpciju 80%, refleksiju 10% i trasmitivnost 10%, dok je za IR spektar taj odnos 20%, 50% i 30%, redom (prilog 3, slika p3.1). Iz njihovog istraživanja možemo zaključiti da vegetacija preko LAI ima značajnu ulogu u apsorpciji, refleksiji i transmisiji EM zračenja u vidljivom i u IR zračenju, a samim tim i na karakteristike KSZ.

2.4.5 Transport površinskih flukseva

Površinski fluksevi u ECHAM6 modelu se računaju preko jednačine

$$(\overline{w' \cdot \psi'})_{sfc} = -C_\psi \cdot |\vec{V}| \cdot (\psi_{nlev} - \psi_{sfc})$$

gde je:

- w' turbulentno fluktuacija vertikalne brzine,
- ψ' turbulentna fluktuacija promenljive,
- $(\overline{w' \cdot \psi'})_{sfc}$ Reynolds usrednjavanje površinskog fluksa,
- C_ψ koeficijent razmene za određeni fluks,
- $|\vec{V}|$ apsolutna vrednost razlike između vetra na najnižem modelskom nivou i površine,
- $\psi_{nlev} - \psi_{sfc}$ razlika između najnižeg modelskog nivoa i površinske vrednosti promenljive.

Transport flukseva između atmosferskih modelskih nivoa računa se preko jednačine

$$\overline{(w' \cdot \psi')} = -K_\psi \cdot \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

gde je:

K_ψ koeficijent difuzije.

Za računanje transporta površinskih flukseva do prvog modelskog atmosferskog nivoa, koji se okvirno nalazi na 30 m iznad površine Zemlje, najčešće se u numeričkim modelima koristi teorija sličnosti Monin-Obukov, koja zahteva numerički iterativni metod pri rešavanju. Da bi se izbegao ovakav postupak pri rešavanju transporta površinskih flukseva u modelu ECHAM6 se koristi približni analitički oblik predložen od strane [Louis \(1979\)](#) čije objašnjenje je dato u prilogu 4.

Stabilnost turbulentnog toka izražavamo preko bezdimenzionog Richardson-ovog broja R_i , koji je definisan kao odnos statičke stabilnosti i smicanja između modelskih nivoa, (prilog 4)

$$R_i = \frac{N^2}{S^2}$$

gde je:

N Brunt-Väisälä frekvencija,
 S vertikalno smicanje srednjeg toka.

3. Metodologija i verifikacija eksperimenta

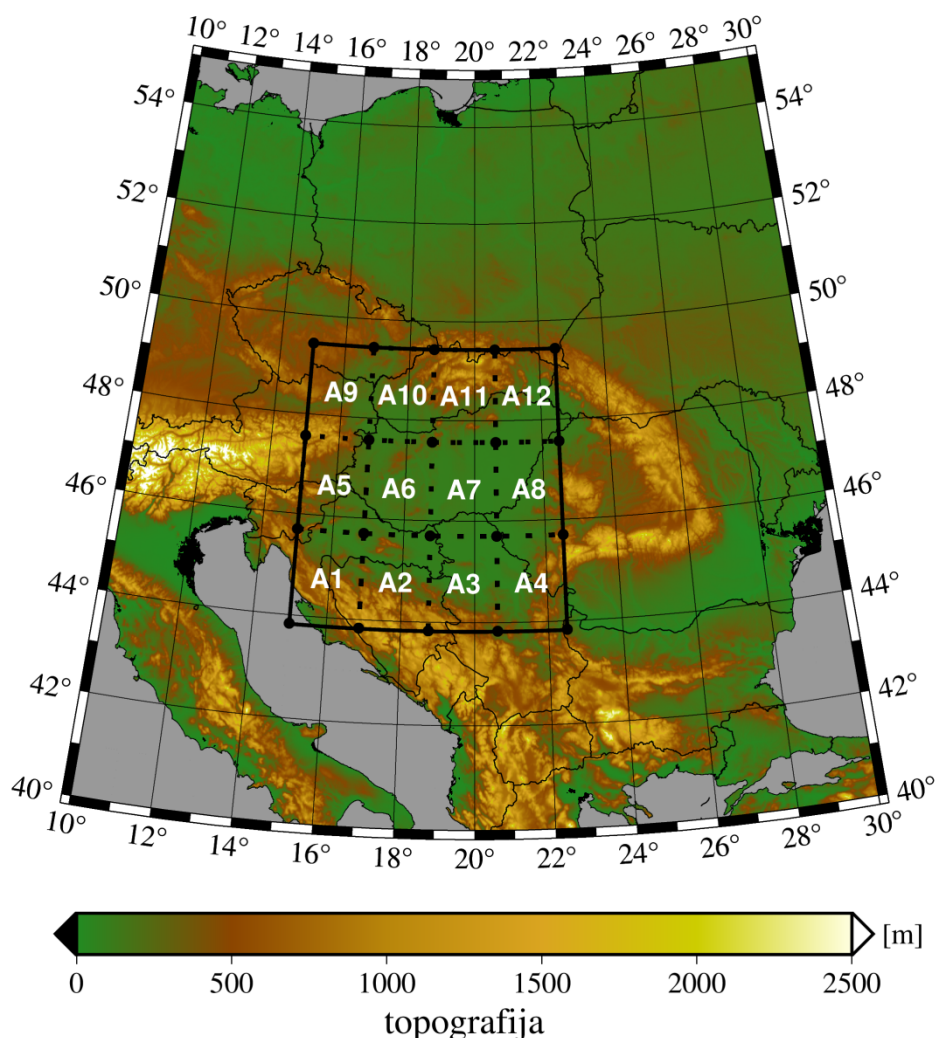
3.1 Köppen-Geiger klasifikacija klime

Prvi deo ovog istraživanja odnosi se na određivanje klimatske klasifikacije koja je dobijena iz podataka CMIP5 i CMIP6 (eng. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 and 6) eksperimentata koji predstavljaju deo globalnog projekta WCRP (eng. World Climate Research Programme). Za određivanje klimatske klasifikacije uzeta je metoda Köppen-Geiger klasifikacije klime, koja je jedna od najčešće korišćenih, a koristi vegetaciju kao okvir za definisanje karakteristika KSZ. Ovom metodom klimatske klasifikacije, nemački naučnik [Wladimir Köppen](#) (1846–1940) je 1900. godine predstavio prvu kvantitativnu klasifikaciju svetske klime. [Rudolf Geiger](#) (1954, 1961) je nadogradio predloženi metod, koji je od tad poznat kao Köppen-Geiger klimatska klasifikacija, prilog 5. U odnosu na vegetaciju, njihova klasifikacija sadrži 5 glavnih klimatskih zona: tropska zona (A), sušna zona (B), umerena zona (C), zona snega (D) i polarna zona (E), a svaka glavna zona sadrži i dve potklasifikacije. Prva potklasifikacija je definisana količinom padavina u datim zonama i predstavljena je drugim slovom dok je druga potklasifikacija definisana površinskom temperaturom vazduha u datim zonama i predstavljena je trećim slovom u nizu glavne klasifikacije (prilog5, tabela p5.1). U ovom istraživanju korišćeni su termini vezani za Köppen-Geiger klasifikaciju klime adaptirani od strane [Kotek i dr.](#) (2006) i [Peel i dr.](#) (2007).

3.2 Region istraživanja i početni uslovi

Drugi deo ovog istraživanja predstavljaju rezultati koji su prikazani u vremenskom i prostornom domenu. Za vremenski domen je uzet sezonski period, dok su u prostornom domenu rezultati prikazani za oblasti na lokalnom i regionalnom nivou (slika 2). Prilikom definisanja sezonskog perioda korišćena je meteorološka definicija za sezonsku vrednost, koja je zasnovana na godišnjem temperaturnom ciklusu. Odnosno, meteorolozi i klimatolozi raščlanjuju sezone u grupe od tri meseca pomoću standardnog civilnog kalendara i to na osnovu godišnjeg temperaturnog ciklusa. Na ovaj način meteorološko proleće uključuje mart, april i maj (MAM); meteorološko leto uključuje jun, jul i avgust (JJA); meteorološka jesen uključuje septembar, oktobar i novembar (SON) a meteorološka zima uključuje decembar, januar i februar (DJF). Srednje sezonske vrednosti nalazimo kao aritmetičku

sredinu između srednjih mesečnih vrednosti koje čine istu sezonu. Višegodišnji, odnosno dekadni prosek definiše se kao aritmetička sredina između svih 10 vremenskih koraka koji čine iste srednje sezone veličine. Zbog trajanja vegetacionog perioda, od marta do novembra za većinu vegetacije u Panonskom basenu, rezultati su prikazani za meteorološko proleće, leto i jesen, odnosno za sezone MAM, JJA i SON.



Slika 2. Geografski položaj regiona Panonskog basena sa lokalnim oblastima označenih sa A1, A2,...,A11 i A12.

Rezultate za lokalne oblasti označene sa A1, A2, A3,..., A11 i A12 (slika 2) dobijamo kao aritmetičku sredinu između 4 susedne modelske tačke označene crnim kružićima. Ove lokalne oblasti, u zavisnosti od geografskog položaja su grupisane na južnu oblast, koju čine lokalne oblasti A1, A2, A3 i A4, centralnu sa A5, A6, A7 i A8 i severnu koju čine A9, A10, A11 i A12. Za regionalnu oblast

rezultati su dobijeni kao aritmetička sredina između svih modelskih tačka koje obuhvataju prostornu oblast istraživanja, a kojih ukupno ima 20, odnosno, region obuhvata oblast od 5x4 modelske tačke, i to 5 u longitudinalnom i 4 u meridionalnom pravcu, slika 2.

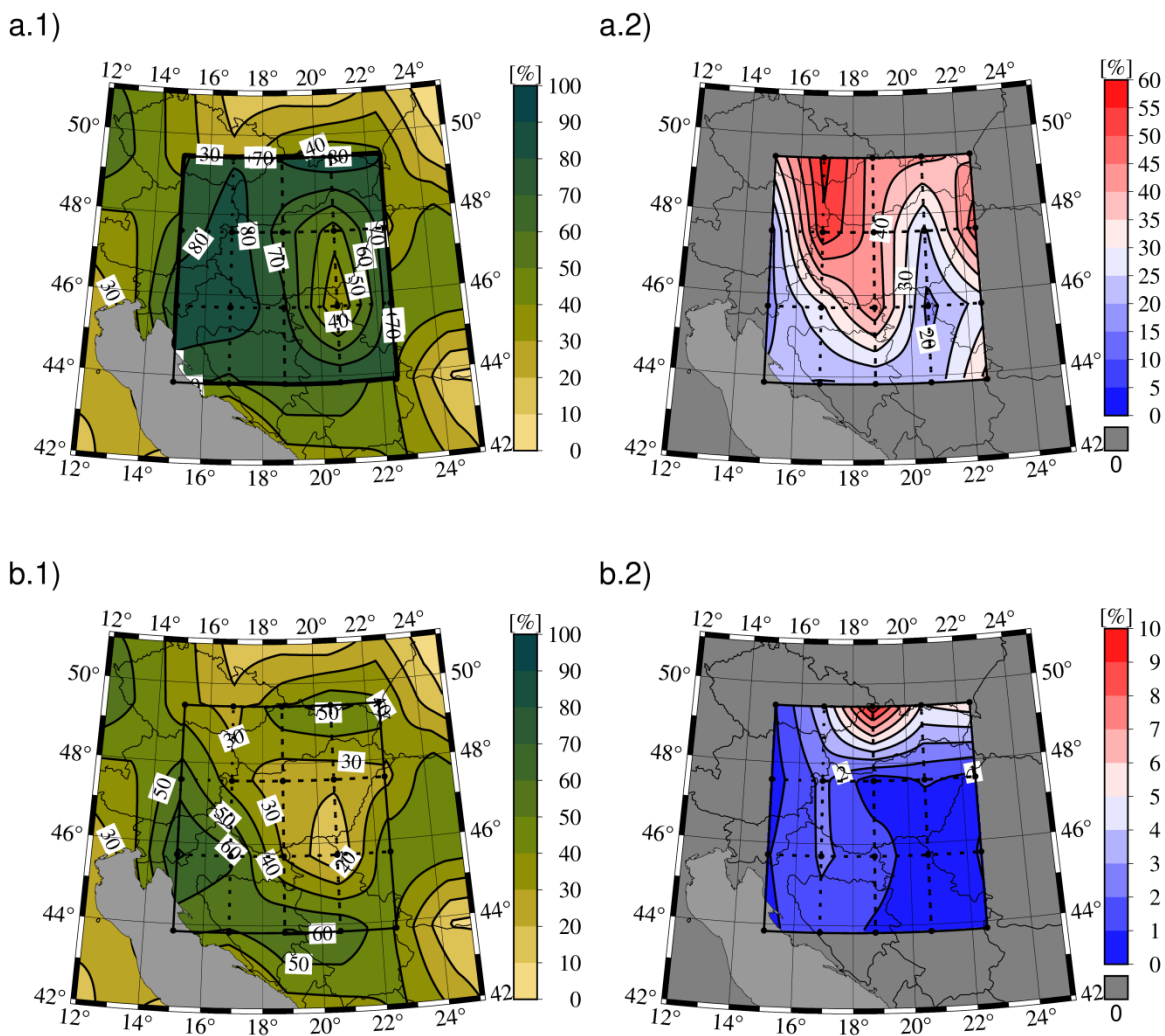
Ovo istraživanje je urađeno za vremenski period od 01.01.2002. do 31.12.2011. godine, odnosno urađen je desetogošnji period numeričkih simulacija. Ukupno su urađena 3 numerička eksperimenta, odnosno celo istraživanje je podeljeno u 3 koraka. U prvom koraku je izvršena numerička simulacija za dati period sa CF iz 2002. godine. Ovim korakom je određen kontrolni eksperiment preko kojeg je definisano odstupanje izlaznih rezultata MPI-ESM od približno realnog stanja. U drugom koraku je umesto CF iz 2002. godine korišćen CF iz perioda 850. godine, dok je u trećem koraku korišćen CF iz perioda 2050. godine. Ove 3 numeričke simulacije su dalje u tekstu označene sa CF₂₀₀₂ (udeo površinskog pokrivača iz 2002. godine) kao prvi korak, CF₈₅₀ (udeo površinskog pokrivača iz 850. godine), kao drugi korak, i CF₂₀₅₀ (udeo površinskog pokrivača iz 2050. godine), kao treći korak u ovom istraživanju.

Treba napomenuti da šumska i poljoprivredna vegetacija čine preko 90% od ukupne zastupljenosti CF, kako na lokalnom, tako i na regionalnom nivou u oblasti Panonskog basena. To znači da su sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ u pločicama 3, 4, 9 i 11 izvršene najveće promene u CF, tabela 3.

Tabela 3. Procentualna zastupljenost CF u pločici 3 (umereno-širokolisni zimzeleni + zimzeleni četinari), pločica 4 (umereno-širokolisni listopadi + listopadni četinari), pločica 9 (C3 pašnjak) i pločica 11 (C3 usev + C4 usev).

Oblast	Pločica 3			Pločica 4			Pločica 9			Pločica 11		
	CF ₂₀₀₂	CF ₈₅₀	CF ₂₀₅₀	CF ₂₀₀₂	CF ₈₅₀	CF ₂₀₅₀	CF ₂₀₀₂	CF ₈₅₀	CF ₂₀₅₀	CF ₂₀₀₂	CF ₈₅₀	CF ₂₀₅₀
A1	4.48	9.20	4.54	57.92	79.73	59.30	5.68	1.67	4.77	29.86	8.64	29.51
A2	4.40	8.65	4.46	49.16	77.10	50.73	6.21	1.78	5.37	37.71	10.48	37.17
A3	4.03	8.79	4.05	40.10	65.86	40.74	5.88	2.64	5.52	45.34	10.78	45.16
A4	4.20	9.81	4.21	39.94	65.82	40.47	5.80	2.72	5.37	44.44	8.45	44.44
A5	5.49	7.78	5.57	54.94	84.71	56.41	5.08	1.45	4.13	32.76	5.59	32.42
A6	1.28	4.93	1.30	35.90	78.36	37.49	6.57	2.01	5.64	53.10	8.56	52.67
A7	3.40	10.96	3.41	20.21	52.55	21.00	5.83	2.32	5.14	63.50	9.87	63.41
A8	4.61	10.98	4.65	26.75	56.14	27.49	4.91	1.93	4.20	55.43	7.46	55.43
A9	8.80	15.70	9.05	36.15	77.16	38.03	5.71	1.70	4.59	48.27	5.10	47.44
A10	2.97	9.18	3.52	28.75	77.82	32.73	5.54	2.00	4.03	61.31	6.42	58.35
A11	3.88	9.74	4.55	32.16	69.72	36.15	4.98	1.62	3.09	55.30	5.89	52.47
A12	3.56	9.66	4.79	34.04	72.17	37.11	5.19	1.54	3.54	52.52	5.47	49.97
Region	5.26	10.79	5.5	41.28	73.84	43.23	5.54	1.93	4.49	45.14	7.38	43.97

Šumska vegetacija je širokolisno zimzeleno i listopadno drveće umerenog tipa + listopadni i zimzeleni četinari, dok je poljoprivredna vegetacija tipa C3 i C4. Tipični prestavnici tipa C3 su pirinač, pšenica, soja, krompir i povrće, dok su biljke tipa C4 uglavnom tropskog porekla i tu pripadaju trave, kukuruz, šećerna trska, proso i sirak. CF kao i njena procentualna zastupljenost izvan regiona Panonskog basena je ista i za CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀, a uzeta je iz kontrolnog perioda, odnosno iz CF₂₀₀₂. Na slici 3 je dat primer kako izgleda izmena CF za pločicu 4.



Slika 3. Promena CF za pločicu 4. Promena za CF₈₅₀ (a.1), razlika CF₈₅₀ i CF₂₀₀₂ (a.2). Promena za CF₂₀₅₀ (b.1), razlika CF₂₀₅₀ i CF₂₀₀₂ (b.2).

Definisanje CF na mozaični način u modelu JSBACH omogućuje da uradimo ovakav tip eksperimenta, odnosno da zamenom CF iz 850. i 2050. godine samo u regionu Panonskog basena ispitamo postoji li uticaj vegetacije na srednje sezonske vrednosti i, ako postoji, koliki je njen uticaj.

Da bi ostvarili postavljeni cilj u ovom istraživanju, model JSBACH je pripremljen sa uključenim modulom za fotosintezu, BETHY (eng. Biosphere Energy Transfer Hydrology) (Knorr, 2000), kao i modulima za dinamički albedo, fenologiju i za dinamiku i razvoj vegetacije. Da bi se ostvarili što bolji uslovi i što preciznije odredio uticaj izmene CF na lokalne i regionalne srednje sezonske vrednosti, modul kojim se definiše dinamika antropogenog uticaja na promenu površinskog prekrivača je bio isključen.

Početni uslovi koji su potrebni za inicijalizaciju modela ECHAM6, JSBACH i MPIOM su isti za sva tri koraka eksperimenta. Podaci koji su korišćeni za inicijalizaciju početnih uslova u modelima ECHAM6 i JSBACH su preuzeti od strane ECMWF (eng. European Centre for Medium Range Weather Forecasts) ERA Interim (Berrisford i dr., 2011). Za definisanje antropogenog uticaja na promenu površinske vegetacije koriste se podaci koji su bazirani na protokolu o usklađivanju korišćenja zemljišta razvijenog od strane Hurtt (Hurtt i dr., 2011), tzv. LUH (eng. Land-Use Harmonization), a koji su deo globalnog projekta CMIP5 (Taylor i dr., 2012). Ovi inicijalni podaci za JSBACH model su dostupni u MPI bazi podataka (Hagemann 2002; Pongratz i dr., 2008).

3.3 Asimilacija početnih uslova

Da bi što preciznije simulirali početne fizičke i termodinamičke uslove, koji se dešavaju u globalnom KSZ, korišćena je četvoro-dimenziona asimilacija podataka zasnovana na metodi Njutnove relaksacije, poznata kao “nudging” metoda (Krishnamurti i dr., 1991; Jeuken i dr., 1996). Njutnov metod relaksacije je postupak koji u datom vremenu i celokupnom prostoru smanjuje odstupanja simuliranih trajektorija od trajektorija dobijenih pomoću osmatranja ili iz simuliranih analiza. Ove projekcije trajektorija mogu predstavljati određene vrednosti stanja atmosfere kao što su: temperatura, vrtložnost, divergencija i logaritam površinskog pritiska (Giorgeta i dr., 2013a). Rešenje jednačine Njutnove relaksacije u modelu ECHAM6 je predstavljeno implicitno i eksplicitno (prilog 1). Za potrebe našeg istraživanja korišćeno je implicitno rešenje sa standardnim periodima vremena relaksacija τ (Lohmann i Hoese, 2009; Rast i dr., 2013):

$\tau=6$ časova za vrtložnost,

$\tau=24$ časova za temperaturu i površinski pritisak,

$\tau=48$ časova za divergenciju.

U sva 3 koraka eksperimenta asimilacija je neprekidno forsirana 4 početna meseca tokom trajanja numeričkih integracija, odnosno od 01.01.2002. do 31.04.2002. godine. U tom periodu numeričke simulacije vršene su uz uključivanje nudging asimilacije atmosferskih podataka, kao što su logaritam površinskog pritiska, divergencija, vrtložnost i temperatura.

3.4 Metode verifikacije i procene trenda

Statistička ocena izlaznih modelskih podataka za CF₂₀₀₂ urađena je pomoću metoda Pirsonovog koeficijenta korelacije, korena srednje kvadratne greške i srednjeg odstupanja.

3.4.1 Pirsonov koeficijent korelacije

Pomoću Pirsonovog koeficijenta korelacije (R) dobijamo analizu jačine i smera povezanosti između dve promenljive. Vrednost R se kreće između 1 i -1 gde pozitivna vrednost R označava postojanje pozitivne linearne povezanosti između dve promenljive, odnosno da je porast jedne praćen porastom druge promenljive. Negativna vrednost R znači da postoji negativna linearna povezanost, gde je porast jedne promenljive praćen smanjenjem druge promenljive. Kada je vrednost R jednaka 0 ili oko 0, kažemo da nema linearne zavisnosti između dve promenljive. Interpretacija jačine pozitivne vrednosti korelacije je ista kao i za vrednost negativne korelacije, definisane kao: slaba linearna povezanost (vrednosti R su između 0 i 0.3), srednja linearna povezanost (vrednosti R su između 0.3 i 0.69) i jaka linearna povezanost (vrednosti R su između 0.7 i 0.99). Potpunu pozitivnu/negativnu korelaciju između dve promenljive dobijamo ako je vrednost R jednaka 1 ili -1. Vrednost R je bezdimenzioni broj, koji se dobija preko sledeće jednačine

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \overline{M}) \cdot (O_i - \overline{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \overline{M})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \overline{O})^2}}$$

gde je:

M	=	vrednost iz modela,
$\overline{M}$	=	srednja vrednost od M ,
O	=	vrednost iz reanalize,
$\overline{O}$	=	srednja vrednost od O ,
N	=	ukupan vremenski niz podataka ($N=10$),
i	=	brojač vremenskog niza podataka ($i=1, 2, 3, \dots, 9, 10$).

3.4.2 Koren srednje kvadratne greške

Koren srednje kvadratne greške (RMSE) (eng. Root Mean Square Error) obično se koristi kao merilo ukupnih performansi modela, odnosno kao mera razlika između modeliranih vrednosti i osmotrenih vrednosti. Vrednosti su uvek pozitivne, imaju opseg od 0 do beskonačnosti, s tim da vrednosti koje su jednake ili približno jednake 0 možemo smatrati kao odlične. RMSE se dobija preko sledeće jednačine.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N} \right)}$$

gde je:

M	=	vrednost iz modela,
O	=	vrednost iz reanalize,
N	=	ukupan vremenski niz podataka ($N=10$),
i	=	brojač vremenskog niza podataka ($i=1, 2, 3, \dots, 9, 10$).

3.4.3 Srednji bias

Srednje odstupanje ili srednji bias (MB) (eng. Mean Bias) predstavlja prosečnu razliku između modelirane M i posmatrane vrednosti O dobijene u domenu trajanja eksperimenata, koji u našem istraživanju traje 10 godina, odnosno $N=10$ i gde je brojač vremenskog niza podataka i ide od 1 do 10.

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$$

Treba napomenuti da primenom metode *MB* na rezultate kontrolnog eksperimenta CF₂₀₀₂ se dobijaju rezultati za srednje sezonske vrednosti iz modelskih reanaliza. Prilikom svakog upoređivanja rezultata iz CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ sa CF₂₀₀₂ izvršeno je upoređivanje rezultata sa podacima iz datih reanaliza.

3.4.4 Linearni trend

Za izračunavanje trenda srednjih sezonskih vrednosti, korišćen je metod najmanjih kvadrata za određivanje linearnog trenda, gde nagib pokazuje prosečnu promenu u vremenskom periodu. Linearni trend je dat jednačinom

$$Y = m \cdot t + c$$

gde nezavisna promenljiva t predstavlja vreme a zavisna promenljiva Y pojavu za koju definišemo trend, dok su c i m koeficijenti regresije, koji se dobijaju preko sledećih jednačina

$$c = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - m \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad m = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N Y_i \cdot t_i - (\sum_{i=1}^N Y_i) \cdot (\sum_{i=1}^N t_i)}{N \cdot \sum_{i=1}^N t_i^2 - (\sum_{i=1}^N t_i)^2}$$

Koeficijent nagiba m (trend) je broj koji opisuje pravac i nagib linije. Što je koeficijent veći to je veći i nagib, odnosno trend je veći, dok manjim vrednostima koeficijenta odgovara niži nagib, odnosno manji trend. Pri tumačenju nagiba uvek treba koristiti odgovarajuće jedinice da bi se videla veza između zavisne (Y) i nezavisne (t) promenljive. Pozitivni koeficijent znači da su dve promenljive pozitivno povezane, odnosno kada se t povećava i Y se povećava, a kada t opada i Y takođe opada. Negativni nagib znači da su Y i t negativno povezane, to jest, kada se t povećava smanjuje se Y . Kada je koeficijent nula, znači da je Y konstantno bez obzira na vrednost t , odnosno grafički gledano, linija je horizontalna. Koeficijent c se može interpretirati kao Y koordinata gde linija trenda preseca y osu.

Prisustvo ili odsustvo trenda određeno je korišćenjem Men-Kendalovog (MK) (eng. Mann-Kendall) testa sa nivoom značajnosti 5% (Mann 1945; Kendall 1975).

3.5 Verifikacija modela

U Tabeli 4 su predstavljeni rezultati za MB , R i $RMSE$ iz CF_{2002} za dekadni prosek T_{2m} . Na regionalnom nivou MB za sezone MAM i JJA iznosi $-1.61\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok je za sezonu SON dobijena najmanja vrednost i iznosi $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$. MB je za sezone MAM i JJA uglavnom negativno, kako na regionalnom, tako i na lokalnom nivou. To znači da je model za MAM i JJA davao niže temperature od reanalize, za razliku od sezone SON, gde je dobijen pozitívni MB . Za sve sezone R je negativan i ukazuje na nedostatak linearne korelacije između vrednosti modela i reanalize za sezone MAM i JJA, dok za sezonu SON postoji slaba linearna korelacija između podataka. Ovakvi rezultati su očekivani jer se zbog dugog vremenskog trajanja eksperimenta ne očekuje jaka ili potpuna linearna povezanost između prognoziranih i dobijenih vrednosti T_{2m} . Treba napomenuti da je posle primene metode MB na rezultate sa CF_{850} i CF_{2050} dobijen R sa slabom negativnom linearnom korelacijom između podataka za sezone MAM i JJA, dok je za sezonu SON dobijena negativna srednja linearna korelacija. Vrednosti $RMSE$ su između 1.5 i 2.4 na regionalnom nivou, dok su na lokalnom između 1.5 i 2.8, tabela 4.

Tabela 4. Srednje odstupanje (MB), Pirsonov koeficijent korelacije (R) i koren srednje kvadratne greške ($RMSE$) za dekadni prosek srednje sezone T_{2m} iz kontrolnog eksperimenta CF_{2002} .

Prostor / Vreme	MAM			JJA			SON		
	MB	R	RMSE	MB	R	RMSE	MB	R	RMSE
A1	-1.17	-0.19	1.94	0.62	0.14	1.81	0.32	-0.48	1.51
A2	-0.25	-0.29	1.63	1.05	0.03	2.17	2.04	-0.52	2.58
A3	-0.96	-0.31	1.93	-0.15	-0.14	1.96	1.59	-0.48	2.27
A4	-2.20	-0.26	2.83	-1.74	-0.26	2.57	0.41	-0.44	1.68
A5	-1.72	-0.16	2.45	-0.65	0.07	1.75	0.51	-0.35	1.54
A6	-1.91	-0.28	2.64	-0.92	-0.02	2.11	0.54	-0.36	1.61
A7	-1.90	-0.25	2.65	-1.24	-0.13	2.33	0.71	-0.32	1.69
A8	-2.08	-0.20	2.84	-1.62	-0.18	2.41	0.56	-0.24	1.64
A9	-2.24	0.02	2.83	-1.87	-0.09	2.38	-0.24	-0.35	1.45
A10	-1.94	-0.06	2.69	-1.54	-0.13	2.23	-0.06	-0.39	1.49
A11	-1.36	-0.05	2.37	-0.93	-0.14	1.89	0.68	-0.35	1.64
A12	-1.87	-0.03	2.80	-1.52	-0.06	2.10	0.34	-0.27	1.54
Region	-1.61	-0.15	2.37	-0.85	-0.08	1.79	0.48	-0.45	1.53

Postojanje trenda za srednju sezonsku temperaturu vazduha na 2 metra visine od tla ($Y_{T_{2m}}$) utvrđeno je preko MK testa za sezone MAM, JJA i SON na nivou značajnosti od 5%. Postojanje trenda $Y_{T_{2m}}$ je potvrđeno za sezonu MAM u većini lokalnih oblasti, kao i na regionalnom nivou, sa eksperimentima CF_{850} i CF_{2050} , tabela 5. Za sezonu JJA postojanje trenda je potvrđeno na regionalnom

nivou i u lokalnim oblastima A6, A7, A9, A10 i A11 sa CF_{850} , tabela 6. Postojanje ovog trenda je takođe potvrđeno i sa eksperimentom CF_{2050} u lokalnoj oblasti A1 i u severnoj oblasti. U sezoni SON je takođe potvrđeno postojanje trenda na regionalnom nivou za oba eksperimenta, dok je na lokalnom nivou sa CF_{850} potvrđeno u većini oblasti a sa CF_{2050} u oblastima u A1, A2, A6, A9, i A10, tabela 7.

Tabela 5. Men-Kendalov test (MK) za sezonu MAM. Za eksperiment CF_{850} (MK statistika S_{850} , normalizovana statistika testa Z_{850} , verovatnoća p_{850} , mera korelacije τ_{850}) i za eksperiment CF_{2050} (S_{2050} , Z_{2050} , p_{2050} , τ_{2050}). Postojanje trenda na nivou značajnosti od 5% predstavljeno je podebljanim brojevima, dok negativni znak Z predstavlja opadajući trend, a pozitivan znak rastući trend.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	Region
S_{850}	50	44	42	48	70	66	58	52	78	72	60	60	64
Z_{850}	2.2	1.9	1.8	2.1	3.1	2.9	2.5	2.3	3.4	3.1	2.6	2.6	2.82
p_{850}	0.02	0.05	0.06	0.03	0.002	0.003	0.01	0.02	0.0006	0.001	0.008	0.008	0.004
τ_{850}	0.28	0.24	0.23	0.27	0.40	0.37	0.32	0.29	0.43	0.40	0.33	0.33	0.36
S_{2050}	82	72	58	44	78	74	68	54	58	64	68	58	60
Z_{2050}	3.62	3.18	2.55	1.92	3.44	3.26	3.0	2.37	2.55	2.82	3.0	2.55	2.64
p_{2050}	0.0003	0.001	0.01	0.05	0.0006	0.001	0.003	0.02	0.01	0.004	0.03	0.01	0.008
τ_{2050}	0.46	0.40	0.32	0.24	0.43	0.41	0.38	0.30	0.32	0.36	0.38	0.32	0.33

Tabela 6. Men-Kendalov test (MK) za sezonu JJA. Za eksperiment CF_{850} (MK statistika S_{850} , normalizovana statistika testa Z_{850} , verovatnoća p_{850} , mera korelacije τ_{850}) i za eksperiment CF_{2050} (S_{2050} , Z_{2050} , p_{2050} , τ_{2050}). Postojanje trenda na nivou značajnosti od 5% predstavljeno je podebljanim brojevima, dok negativni znak Z predstavlja opadajući trend, a pozitivan znak rastući trend.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	Region
S_{850}	6.00	0.00	-6.00	-2.00	-36.00	-46.00	-48.00	-34.00	-78.00	-68.00	-54.00	-30.00	-102.00
Z_{850}	0.22	0.00	-0.22	-0.05	-1.57	-2.02	-2.10	-1.48	-3.44	-2.30	-2.37	-1.30	-2.61
p_{850}	0.82	1.00	0.82	0.96	0.11	0.04	0.03	0.14	0.0006	0.003	0.018	0.19	0.009
τ_{850}	0.03	0.00	-0.03	-0.01	-0.20	-0.26	-0.27	-0.19	-0.43	-0.38	-0.30	-0.17	-0.19
S_{2050}	46.00	40.00	24.00	-2.00	12.00	4.00	-16.00	-40.00	-50.00	-44.00	-44.00	-48.00	-16.00
Z_{2050}	2.01	1.74	1.03	-0.05	0.49	0.13	-0.67	-1.74	-2.19	-1.92	-1.92	-2.10	-0.38
p_{2050}	0.04	0.08	0.30	0.96	0.62	0.89	0.50	0.08	0.02	0.05	0.05	0.03	0.69
τ_{2050}	0.26	0.22	0.13	-0.01	0.07	0.02	-0.09	-0.22	-0.28	-0.24	-0.24	-0.27	-0.03

Tabela 7. Men-Kendalov test (MK) za sezonu SON. Za eksperiment CF_{850} (MK statistika S_{850} , normalizovana statistika testa Z_{850} , verovatnoća p_{850} , mera korelacije τ_{850}) i za eksperiment CF_{2050} (S_{2050} , Z_{2050} , p_{2050} , τ_{2050}). Postojanje trenda na nivou značajnosti od 5% predstavljeno je podebljanim brojevima, dok negativni znak Z predstavlja opadajući trend, a pozitivan znak rastući trend.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	Region
S_{850}	68	46	44	58	50	42	46	64	16	30	44	54	46
Z_{850}	3.0	2.0	1.92	2.55	2.20	1.83	2.0	2.82	0.67	1.3	1.92	2.37	2.0
p_{850}	0.03	0.04	0.05	0.01	0.03	0.06	0.04	0.04	0.5	0.2	0.05	0.02	0.04
τ_{850}	0.38	0.26	0.24	0.32	0.28	0.23	0.26	0.36	0.09	0.17	0.24	0.3	0.26
S_{2050}	-44	-50	-42	-28	-40	-46	-38	-28	-46	-46	-42	-40	-46
Z_{2050}	-1.92	-2.19	-1.83	-1.20	-1.74	-2.0	-1.65	-1.20	-2.0	-2.0	-1.83	-1.74	-2.0
p_{2050}	0.05	0.02	0.06	0.23	0.08	0.04	0.09	0.22	0.04	0.04	0.06	0.08	0.04
τ_{2050}	-0.24	-0.28	-0.23	-0.16	-0.22	-0.26	-0.21	-0.16	-0.26	-0.26	-0.23	-0.22	-0.26

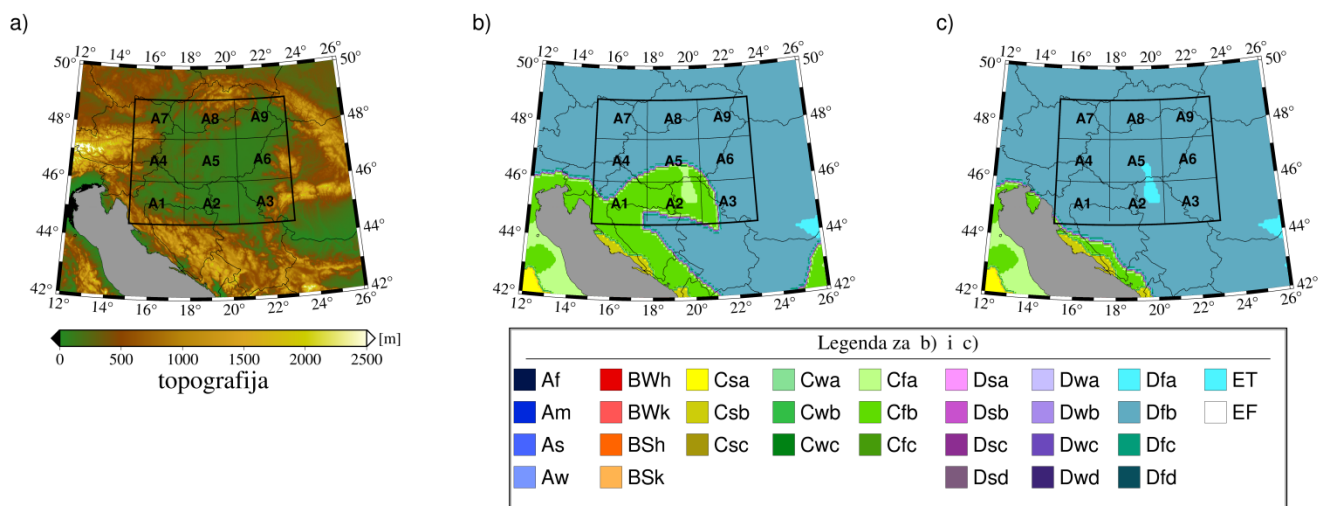
4. Rezultati

Kao što je objašnjeno u odeljku 3.2, rezultati su prikazani u vremenskom i prostornom domenu. Za vremenski domen uzet je sezonski period, dok su u prostornom domenu rezultati prikazani na lokalnom i regionalnom nivou, slika 2. Za potrebe istraživanja definisane su sledeće vrednosti:

- 1) srednja sezonska temperatura vazduha na 2 metra visine od tla (T_{2m}),
- 2) srednja sezonska temperatura vazduha na 13 vertikalnih nivoa atmosfere (T_{lev}),
- 3) srednji sezonski aerodinamički koeficijent hrapavosti (z_0),
- 4) srednji sezonski indeks lisne površine (LAI),
- 5) srednji sezonski površinski albedo (a_s),
- 6) srednji sezonski površinski fluks osetne toplote (F_h),
- 7) srednji sezonski površinski fluks latentne toplote (F_l),
- 8) srednja sezonska oblačnost (Ob),
- 9) srednje sezonske padavine (Pr),
- 10) srednji sezonski sadržaj vlage u zemljištu (SW).

4.1 Köppen-Geiger klasifikacija klime u Panonskom basenu

Korišćenjem rezultata iz CMIP5 (eng. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) eksperimenta [Ruman \(2020\)](#) je pokazao da postoji uticaj vegetacije na klimatsku klasifikaciju u Panonskom basenu. U ovom istraživanju upoređeni su klimatski tipovi iz kontrolnog perioda 1961-1990. godine sa periodom od 2006. do 2100. godine. Korišćena je Köppen-Geiger klasifikacija adaptirana od strane Peel-a, sa tridesetogodišnjim srednjim mesečnim vrednostima ukupnih padavina i temperature vazduha na 2 metra visine. Najviše zastupljeni klimatski tip u oblasti Panonskog basena za kontrolni period je *Dfb* sa 98% (vlažna kontinentalna klima sa toplim letom), dok je sa 2% zastupljen klimatski tip *Dfa* (vlažna kontinentalna klima sa vrućim letom), slika 4 pod c. Ovi rezultati se dobro poklapaju sa klimatskim tipovima dobijenim iz podataka sa glavnih meteoroloških stanica (GMS) tabela p5.2 (prilog 5), koji se nalaze u sastavu Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda Srbije (RHMZS), tabela 8.



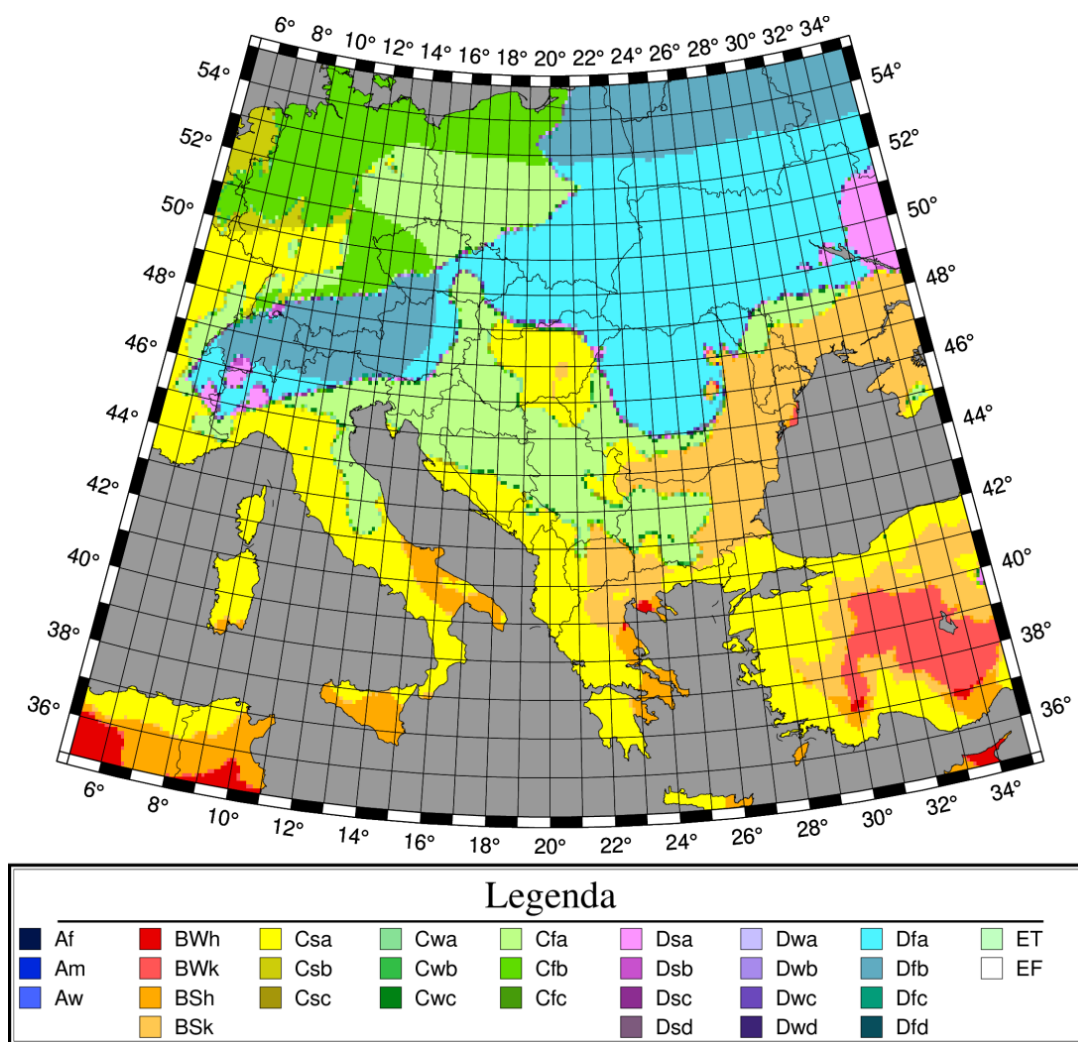
Slika 4. Köppen-Geiger klimatska klasifikacija dobijena iz ECMWF ERA-20C i GPCC podataka za kontrolni period 1961-1990. a) region sa lokalnim oblastima, b) klimatska klasifikacija po [Kotteku i dr. \(2006\)](#), c) klimatska klasifikacija po [Peelu i dr. \(2007\)](#)

Tabela 8. Klimatski tipovi za 4 tridesetogodišnja perioda dobijeni iz GMS (tabela p5.2, prilog 5).

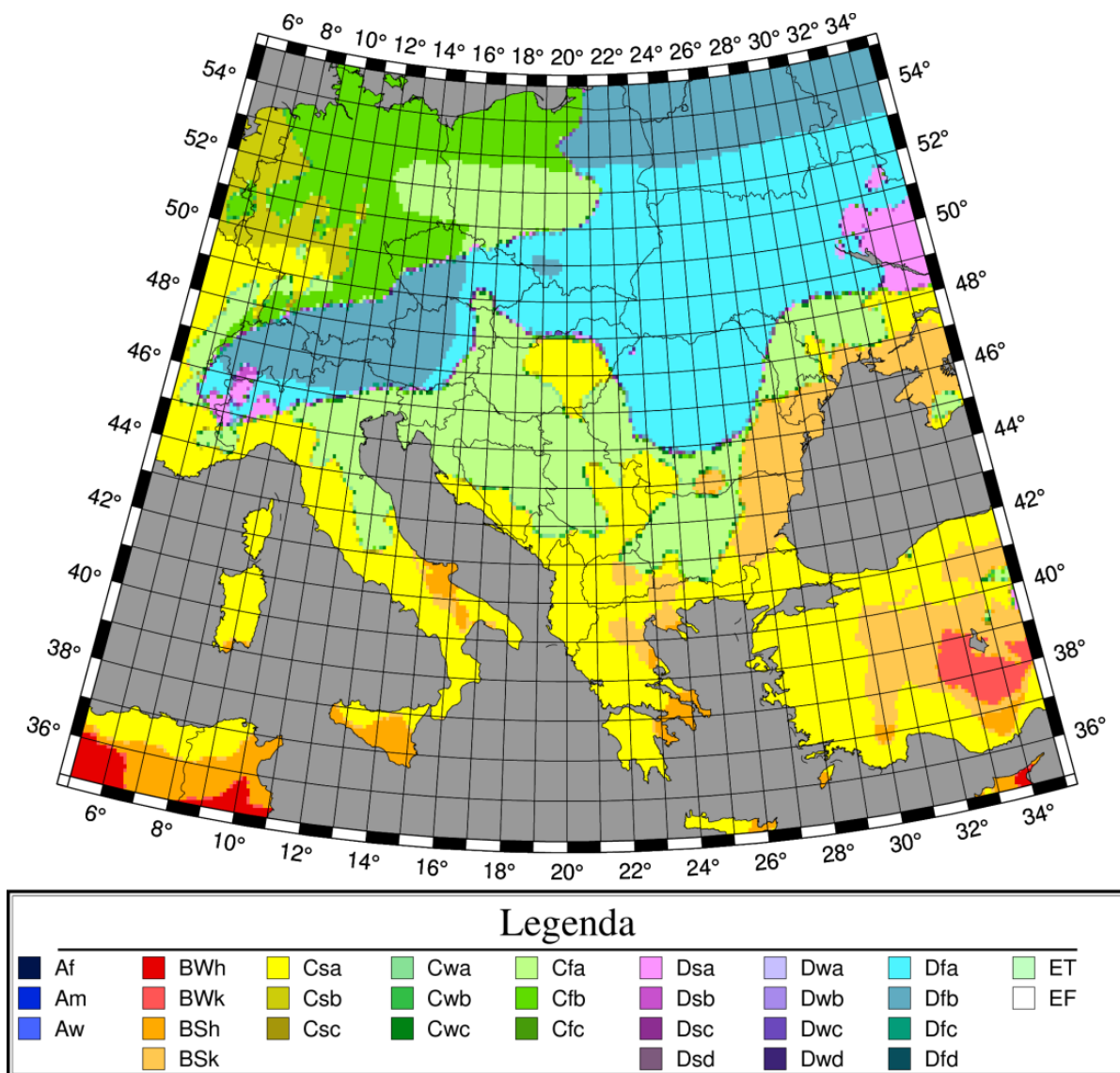
Period	BG	KI	NS	SM	SO	SU	ZR
1951-1980	Cfb	Dfb	Dfb	Dfb	Dfb	Dfb	Dfb
1961-1990	Cfb	Dfb	Dfb	Dfb	Dfb	Dfb	Dfb
1971-2000	Cfa	Dfb	Cfb	Cfb	Dfb	Dfb	Dfb
1981-2010	Cfa	Dfa	Cfb	Cfb	Dfb	Dfa	Cfa

Da bi se utvrdilo postoji li uticaj vegetacije na klimu upoređeni su rezultati klimatskih simulacija za period 2006-2100. godine u kojima je uzet u obzir antropogeni uticaj na promenu vegetacije sa simulacijama koje su tu promenu isključile, odnosno izostavljena je svaka promena posle 2005. godine (prilog 5, tabele p5.3 i p5.4). Emisija gasova staklene bašte je ista za obe simulacije i definisana je preko scenarija RCP8.5 (eng. Representative Concentration Pathway), prilog 2, tabela p2.1. Klimatske simulacije bez antropogenog uticaja na vegetaciju u okviru CMIP5 eksperimenta nalaze se pod nazivom LUCID (eng. Land-Use and Climate, Identification) i fokusirane su na biogeofizičke efekte na klimu ([Brovkin i dr., 2013b](#)). Definisanje klimatskih tipova je urađeno korišćenjem podataka iz klimatskih simulacija koje su izvedene pomoću GKM MPI-ESM.

Upoređivanjem rezultata sa slike 5 i slike 6 može se primetiti da je u okviru LUCID eksperimenta došlo do redukcije oblasti sa klimatskim tipom *Csa* u predelu centralnog i jugoistočnog dela Panonskog basena, i to najviše tokom perioda 2071-2100. Ova redukcija je uglavnom izvršena zamenom sa klimatskim tipom *Cfa*. Klimatski tip *Cfa* karakterišu vruća i vlažna leta, odnosno leta bez sušnih sezona, te se zato često naziva i vlažna suptropska klima. Klimatski tip *Csa* predstavlja mediteransku klimu sa toplim i sušnijim letima, gde je barem jedan mesec sa prosečnom temperaturom iznad 22 °C.



Slika 5. Klimatski tipovi dobijeni korišćenjem podataka za tridesetogodišnji period 2071-2100 iz MPI-ESM integracije sa uključenim antropogenim uticajem



Slika 6. Klimatski tipovi dobijeni korišćenjem podataka za tridesetogodišnji period 2071-2100 iz MPI-ESM integracije sa isključenim antropogenim uticajem

Što se tiče padavinskih uslova za *Csa*, moraju se ispuniti uslovi da padavine u letnjem periodu za najsušniji mesec ne prelaze 40 mm/m^2 , kao i da je ta količina padavina najmanje 3 puta manja od ukupnih padavina za najvlažniji mesec u zimskom periodu. Oba klimatska tipa pripadaju glavnoj klimatskoj zoni *C*, koju karakterišu blage zime, odnosno gde je temperatura tokom cele godine za najhladniji mesec u proseku između 0°C i 18°C , dok je prosečna vrednost najtoplijeg meseca veća od

10 °C, tabela p5.1. Treba napomenuti da je sa LUCID eksperimentom, pored spomenute redukcije *Csa* i transformacije u *Cfa*, takođe izvršen i prelazak klimatskog tipa *Bsk* u *Csa* u centralnim i jugoistočnim predelima Panonskog basena u periodu 2071-2100. godine (slike 5 i 6). Klimatski tip *Bsk* predstavlja polusušnu ili klimu hladne stepe, koja prima količinu padavina manju od potencijalne evapotranspiracije, ali ne toliko malu kao kod pustinjske klime. Ovako dobijenim rezultatima [Ruman \(2020\)](#) je pokazao da klimatske simulacije u kojima je bio uključen antropogeni uticaj na vegetaciju, dovode do toplije i sušnije klime krajem 21. veka, dok je u simulacijama koje su isključile antropogeni uticaj uglavnom došlo do redukcije oblasti sa sušnijom i toplijom klimom, kao i nestanka stepske klime u Panonskom basenu. [Ruman \(2020\)](#) je zaključio da je Köppen-Geiger metoda za određivanje klimatskih tipova dobro osmišljena jer upravo koristi vegetaciju za definisanje klimatskih zona i tipova. Zato je ova metoda vrlo korisna i aktuelna, jer je antropogeni uticaj na životnu sredinu veoma zastupljen.

Takođe, [Ruman i Ruman \(2022\)](#) su pokazali da korišćenjem podatka iz CMIP6 (eng. Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) eksperimenta ([O'Neill i dr., 2016](#)) dolazi do formiranja *Bsk* i povećanja oblasti sa *Csa* klimatskim tipom u centralnim delovima Panonskog basena na kraju 21. veka. Ova studija je rađena po Köppen-Geiger metodi za klimatsku klasifikaciju primenom Kottek i Peel pristupa a korišćeni su podaci sa simulacijama u kojima je bio uključen antropogeni uticaj na vegetaciju. Studija je pokazala da je određeni broj GKM simulirao pojavljivanje klimatskih tipova *Bsk* (oko 6%) i *Csa* (između 10% i 30%), slika p5.1 i p5.2 (prilog 5). U ovom istraživanju GKM su lokalne oblasti A5 i A6 prepoznali kao delove Panonskog basena (slika p5.1 i p5.2) koji su najpodložniji promenama, od vlažne do sušne klime, i za koje se predviđa da bi na kraju 21. veka mogli biti najsušniji u regionu, odnosno sa *Bsk* klimatskim tipom.

4.2 Dekadna vrednost koeficijenta aerodinamičke hrapavosti

Početne izmene vrednosti CF sa CF_{850} , dovele su do začajne promene vrednosti koeficijenta aerodinamičke hrapavosti na regionalnom i lokalnom nivou, a koja je okvirno povećana između 50% i 85% za sve sezone, tabela 9. Za CF_{2050} to povećanje je znatno manje i kreće se oko 6% za MAM, 2% za SON, a za JJA iznosi 0% na regionalnom nivou, dok je na lokalnom zabeleženo blago smanjenje i to uglavnom u južnoj oblasti, što je u skladu sa početnim uslovima za ovaj korak eksperimenta. Ove promene aerodinamičkog koeficijenta hrapavosti su bitne jer se njime indirektno pokazuje povećanje ili smanjenje procesa turbulentnog transporta flukseva sa površine ka atmosferi, prilog 4. Takođe, veća aerodinamička hrapavost pri površini Zemlje, usled povećanja šumske vegetacije, smanjuje brzinu vetra i ujedno menja njegov smer, a dovodi i do povećanja turbulentnog transporta površinskih flukseva (Rotenberg i Yakir, 2010; Vautard i dr., 2010).

Tabela 9. Dekadna vrednost koeficijenta aerodinamičke hrapavosti (z_0) po sezonama.

Vreme/Prostor	MAM			JJA			SON		
	$Z_0(2002)$	$Z_0(850)$	$Z_0(2050)$	$Z_0(2002)$	$Z_0(850)$	$Z_0(2050)$	$Z_0(2002)$	$Z_0(850)$	$Z_0(2050)$
A1	0.88	1.22	0.87	1.28	1.67	1.23	0.98	1.34	0.95
A2	0.69	1.08	0.69	1.03	1.47	1.00	0.76	1.17	0.75
A3	0.52	0.84	0.51	0.83	1.21	0.80	0.59	0.93	0.57
A4	0.47	0.79	0.46	0.81	1.21	0.78	0.55	0.92	0.54
A5	0.71	1.07	0.72	1.23	1.69	1.20	0.90	1.27	0.86
A6	0.38	0.87	0.40	0.66	1.27	0.64	0.43	0.95	0.41
A7	0.20	0.60	0.21	0.37	0.84	0.34	0.19	0.62	0.18
A8	0.29	0.65	0.30	0.54	0.98	0.52	0.33	0.72	0.32
A9	0.38	0.83	0.42	0.81	1.48	0.83	0.58	1.05	0.54
A10	0.22	0.76	0.29	0.52	1.26	0.59	0.30	0.88	0.34
A11	0.29	0.73	0.35	0.62	1.19	0.69	0.36	0.84	0.42
A12	0.30	0.78	0.37	0.68	1.29	0.74	0.41	0.90	0.46
Region	0.49	0.90	0.52	0.87	1.34	0.87	0.60	1.03	0.61

4.3 Dekadna vrednost indeksa lisne površine

Za dobijanje produkcije LAI, uslov je bio da se u JSBACH modelu izvrši uključivanje modula za fenologiju koji se koristi za dobijanje vrednosti LAI. Najveće povećanje LAI je dobijeno sa CF₈₅₀ kako na lokalnom, tako i na regionalnom nivou, i okvirno iznosi između 5% do 40%, tabela 10, što je u saglasnosti sa početnim uslovima, tabela 3. Sa CF₂₀₅₀ je uglavnom zabeleženo blago smanjene LAI koje iznosi od -2% do -12% za JJA i SON, dok je za MAM dobijeno povećanje od 10%. Vrednosti LAI su veoma bitne jer se taj indeks koristi za određivanje površinskog albeda (prilog 3), a samim tim i za određivanje fluksa neto zračenja, odnosno preko ovog indeksa može se vršiti uticaj na toplotni bilans površine Zemlje. Treba napomenuti da se LAI menja usled promena sadržaja vlažnosti zemljišta (SW) kao i usled promena sezona. Povezanost između SW i LAI su u svom istraživanju pokazali [Liu i dr., \(2016\)](#), gde su utvrdili da se SW povećava/smanjuje kada se LAI povećava/smanjuje. Njihov zaključak se odnosi na glinoviti tip zemljišta, a dobijena je pozitivno srednja korelaciona povezanost između LAI i SW.

Tabela 10. Dekadna vrednost indeksa lisne površine (LAI) po sezonama.

Vreme / Prostor	MAM			JJA			SON		
	LAI ₂₀₀₂	LAI ₈₅₀	LAI ₂₀₅₀	LAI ₂₀₀₂	LAI ₈₅₀	LAI ₂₀₅₀	LAI ₂₀₀₂	LAI ₈₅₀	LAI ₂₀₅₀
A1	1.37	1.58	1.42	2.66	2.76	2.52	1.35	1.54	1.34
A2	1.26	1.50	1.30	2.58	2.66	2.41	1.20	1.43	1.19
A3	1.08	1.35	1.11	2.53	2.57	2.35	1.05	1.30	1.03
A4	0.93	1.22	0.97	2.60	2.64	2.44	1.07	1.30	1.04
A5	0.92	1.15	1.02	2.76	2.94	2.71	1.31	1.44	1.24
A6	0.92	1.28	1.00	2.52	2.67	2.37	0.95	1.24	0.87
A7	0.90	1.33	0.96	2.34	2.39	2.14	0.73	1.13	0.70
A8	0.83	1.23	0.92	2.50	2.55	2.34	0.89	1.21	0.85
A9	0.52	0.80	0.67	2.57	2.91	2.63	1.24	1.29	1.12
A10	0.54	0.95	0.68	2.53	2.81	2.50	0.95	1.13	0.84
A11	0.65	1.06	0.77	2.56	2.72	2.49	0.91	1.18	0.88
A12	0.61	1.03	0.74	2.66	2.83	2.59	1.00	1.22	0.96
Region	0.87	1.18	0.96	2.60	2.76	2.52	1.23	1.32	1.08

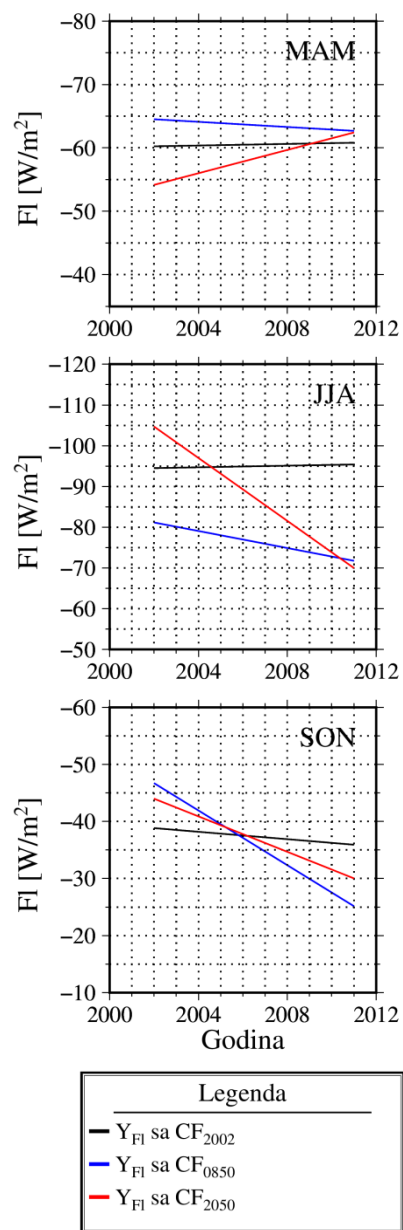
4.4 Trendovi fluksa latentne toplote i sadržaja vlažnosti zemljišta

Da bi se postiglo hlađenje prizemnog vazduha putem evapotranspiracije, potrebno je bilo da se u eksperimentima dobiju pozitivni trendovi fluksa latentne toplote (Y_{FI}). Pored značajnog povećanja šumskog prekrivača i očekivanog povećanja evapotranspiracije u ovim eksperimentima su uglavnom dobijeni negativni trendovi Y_{FI} , kako na lokalnom tako i na regionalnom nivou, slika 7, 8, 9 i 10.

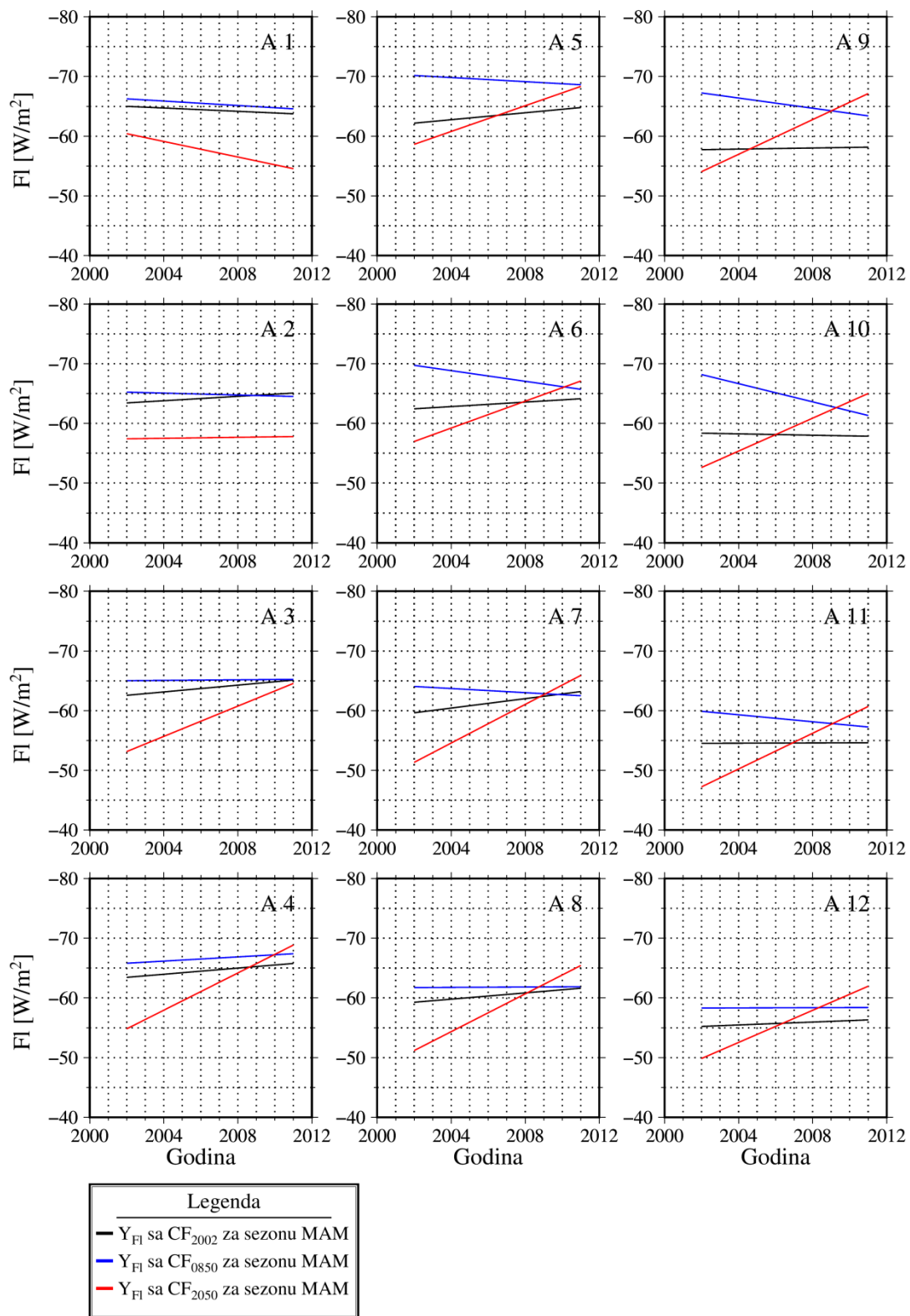
Pozitivni trend Y_{FI} je dobijen za sezonu MAM (slike 7 i 8), i to sa CF_{2050} na regionalnom i lokalnom nivou, dok je sa CF_{850} zabeležen mali pozitivan trend u lokalnim oblastima A2, A3, A4, A8 i A12. Na regionalnom nivou sa CF_{850} je dobijen negativan trend Y_{FI} od $-0.2 \text{ Wm}^{-2}/\text{godina}$ dok je sa CF_{2050} dobijen pozitivan trend od $0.92 \text{ Wm}^{-2}/\text{godina}$, (prilog 6, tabela p6.1).

Za sezonu JJA uglavnom je dobijen negativan trend Y_{FI} (slike 7 i 9), dok je pozitivan jedino zabeležen u lokalnim oblastima A9 i A10 sa CF_{850} . Na regionalnom nivou dobijeni su trendovi Y_{FI} od $-1.05 \text{ Wm}^{-2}/\text{godina}$ i $-3.86 \text{ Wm}^{-2}/\text{godina}$ sa CF_{850} i CF_{2050} , redom. Treba napomenuti da je za sezonu JJA sa CF_{850} i CF_{2050} uglavnom dobijena negativna linearna povezanost trenda Y_{FI} sa trendom dobijenim iz CF_{2002} .

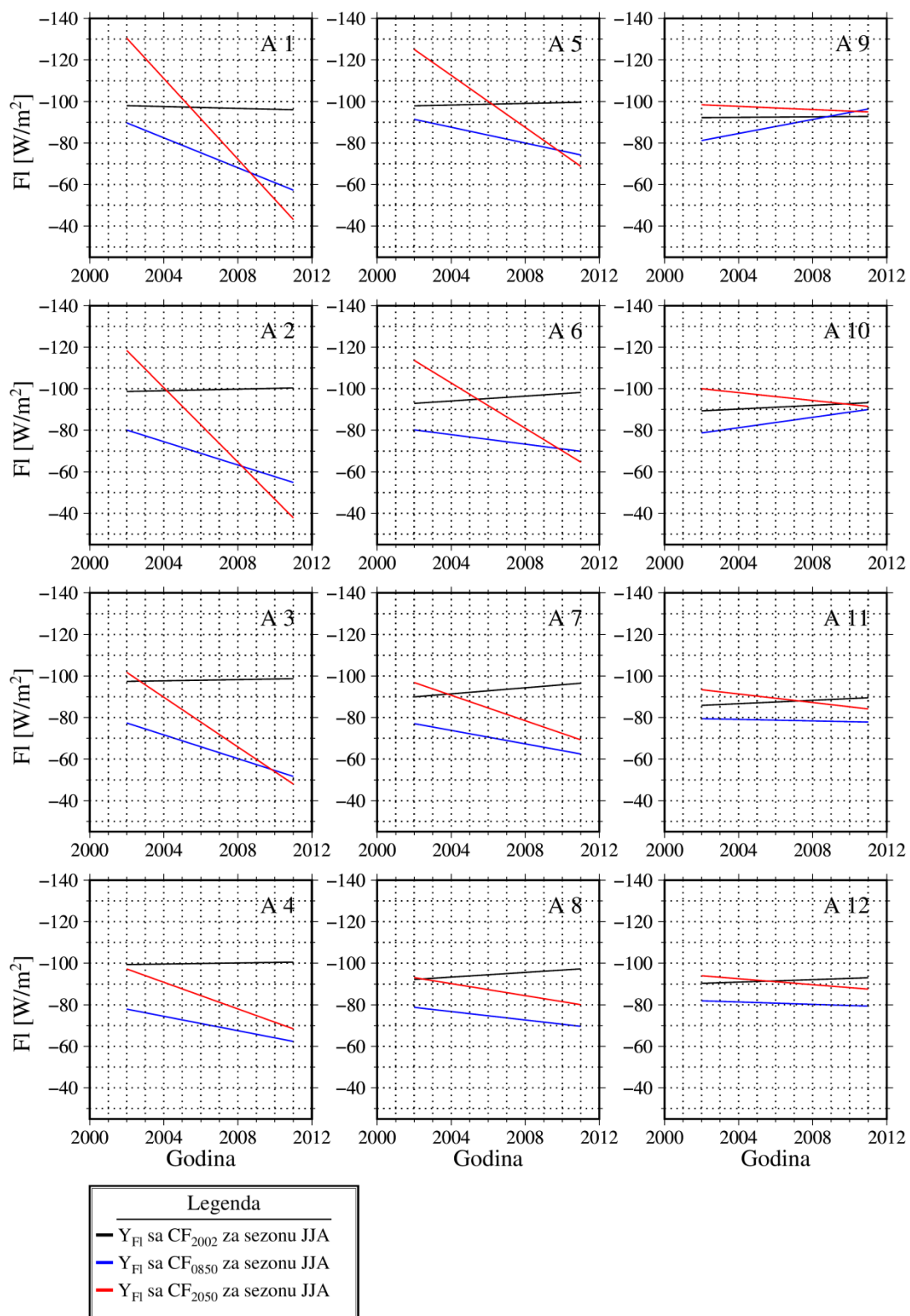
Sezonu SON takođe karakteriše negativan trend Y_{FI} (slike 7 i 10), kako na regionalnom tako i na lokalnom nivou, i koji na regionalnom nivou iznose $-2.4 \text{ Wm}^{-2}/\text{godina}$ i $-1.55 \text{ Wm}^{-2}/\text{godina}$ sa CF_{850} i CF_{2050} , redom (prilog 6, tabela p6.1). Za ovu sezonu dobijena je pozitivna linearna povezanost trendova između CF_{850} , CF_{2050} i CF_{2002} , odnosno sezonu SON karakteriše smanjenje i prestanak procesa transpiracije, tako da je negativan trend Y_{FI} karakterističan za datu sezonu.



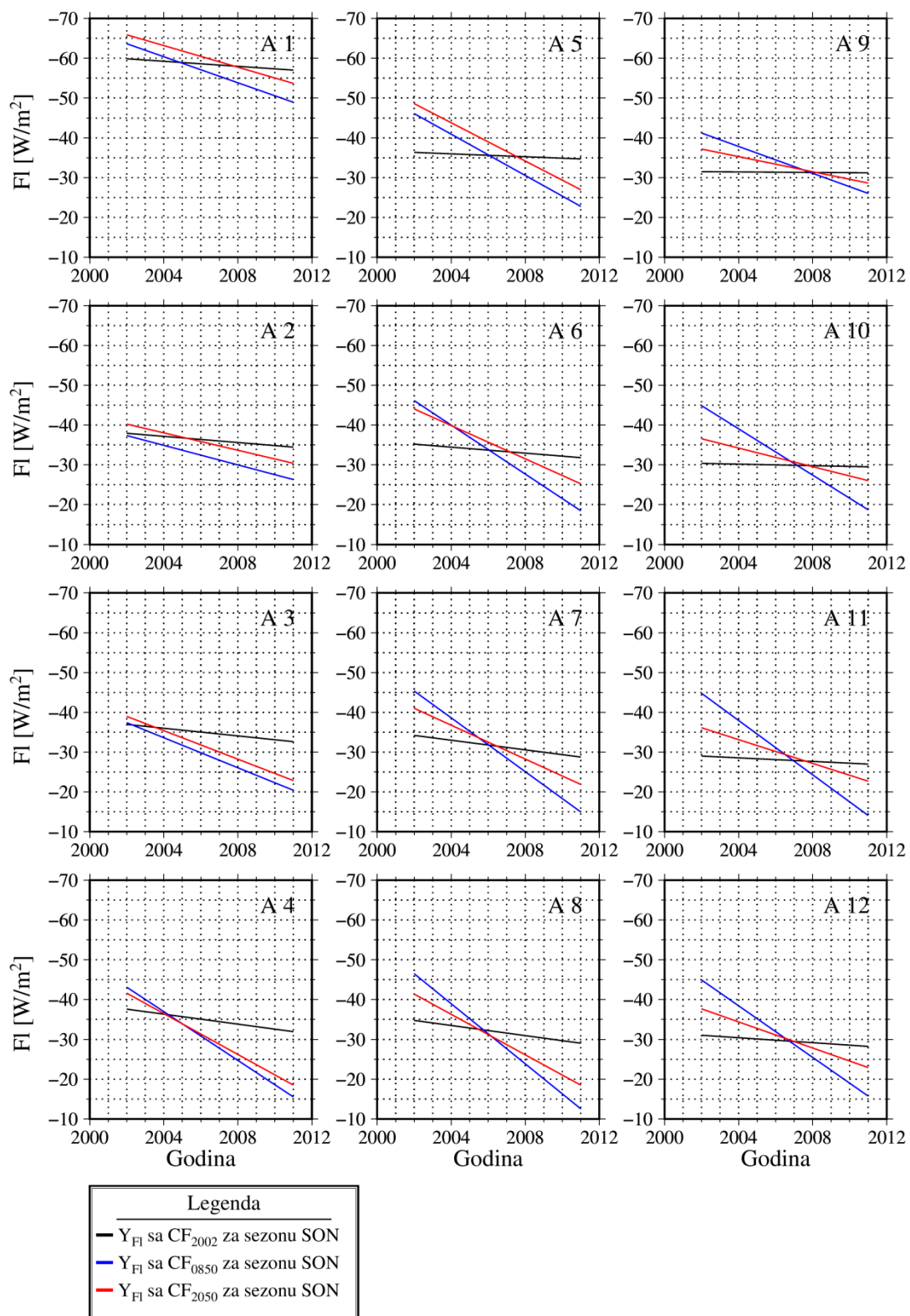
Slika 7. Regionalni trend fluksa latentne toplote Y_{F_l} po sezonama



Slika 8. Lokalni trend fluksa latentne toplote Y_{F_l} za sezonu MAM

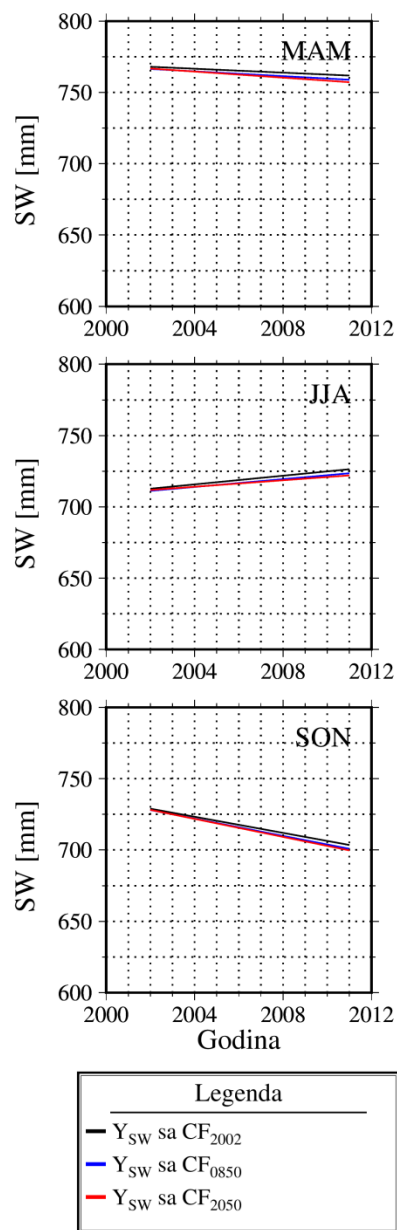


Slika 9. Lokalni trend fluksa latentne toplote Y_{Fl} za sezonu JJA

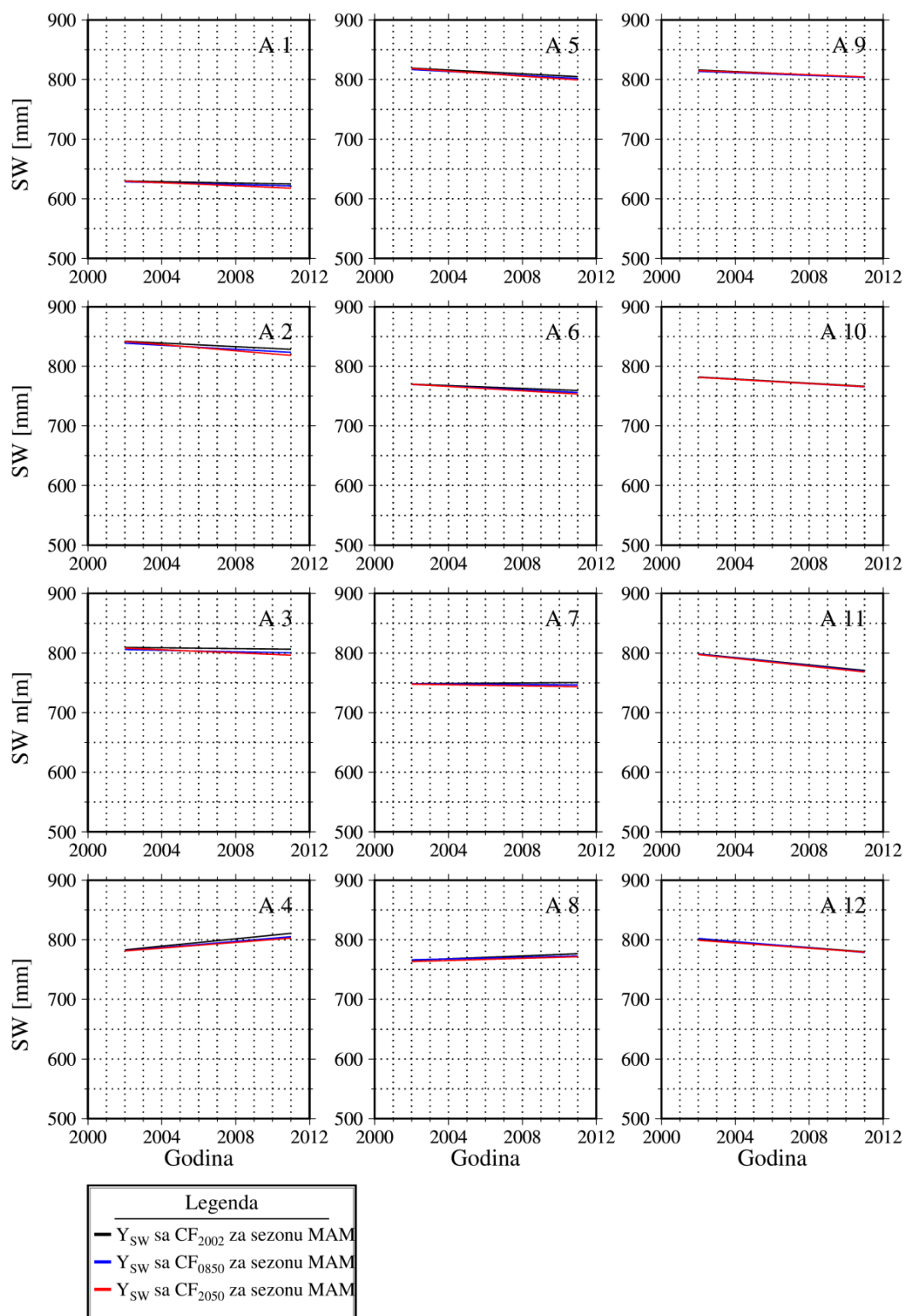


Slika 10. Lokalni trend fluksa latentne toplote Y_{F_l} za sezonu SON

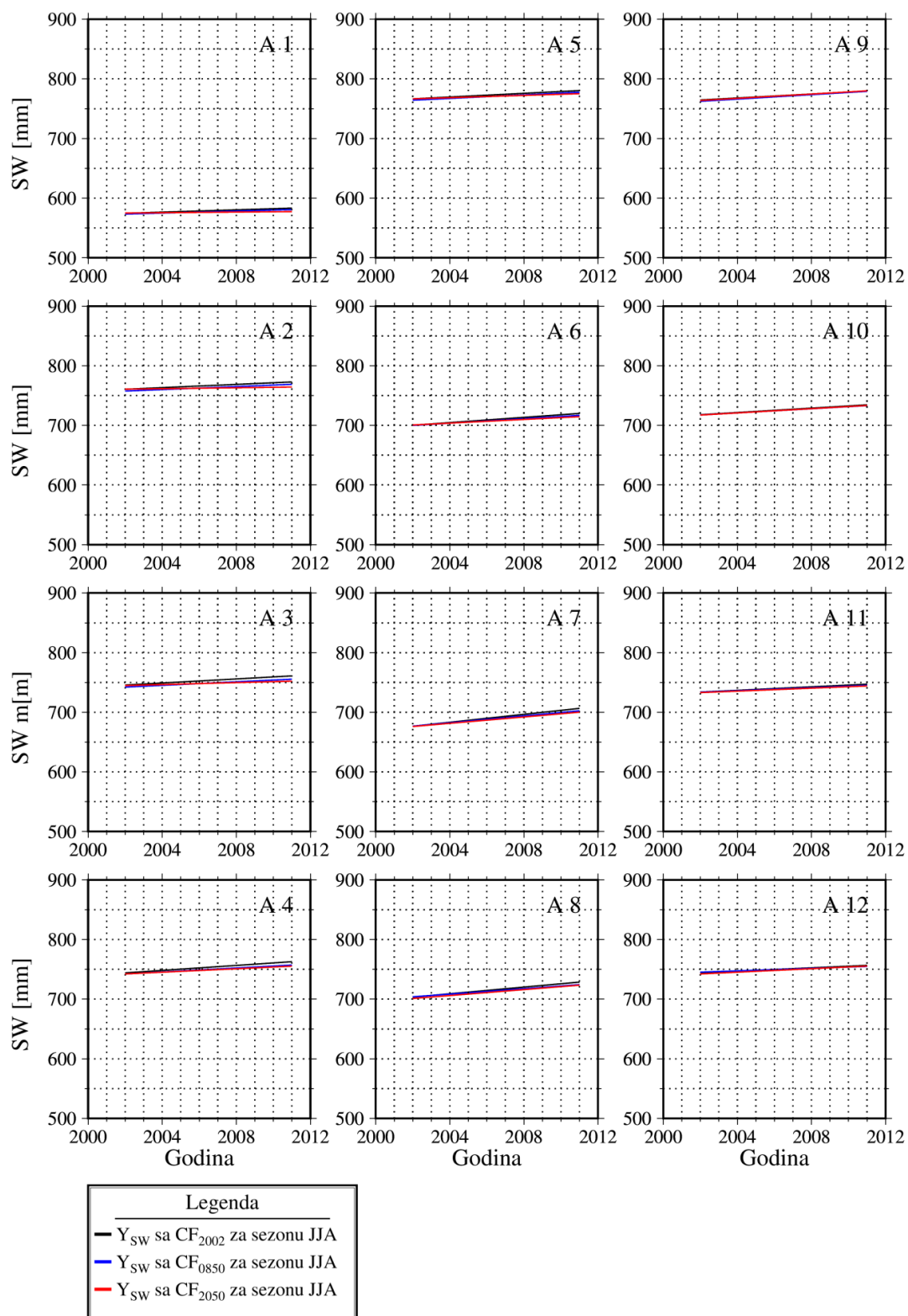
Smanjenje evapotranspiracije, koje je dobijeno u eksperimentima sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀, može se povezati sa sadržajem vlage u zemljištu (SW). Sadržaj vlage u zemljištu ukazuje na količinu vode prisutne u tlu i obično se izražava kao količina vode prisutna u dubini zemljišta od jednog metra. Za potrebe ovog istraživanja SW je prikazan kao ukupan sadržaj visine vode u milimetrima do dubine od 2.5 m. Na slikama 11, 12, 13 i 14 se jasno vidi da su sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ dobijeni skoro identični trendovi sadržaja vlage u zemljištu (Y_{sw}) kao trend kontrolnog ekperimenta CF₂₀₀₂ za sve sezone na lokalnom i regionalnom nivou (prilog 6, tabela p6.2). To znači da, i pored promena koje su izvršene u vegetacionom pokrivaču, nije došlo do značajne izmene sadržaja vlage u zemljištu tokom vremenskog trajanja ovih eksperimenta.



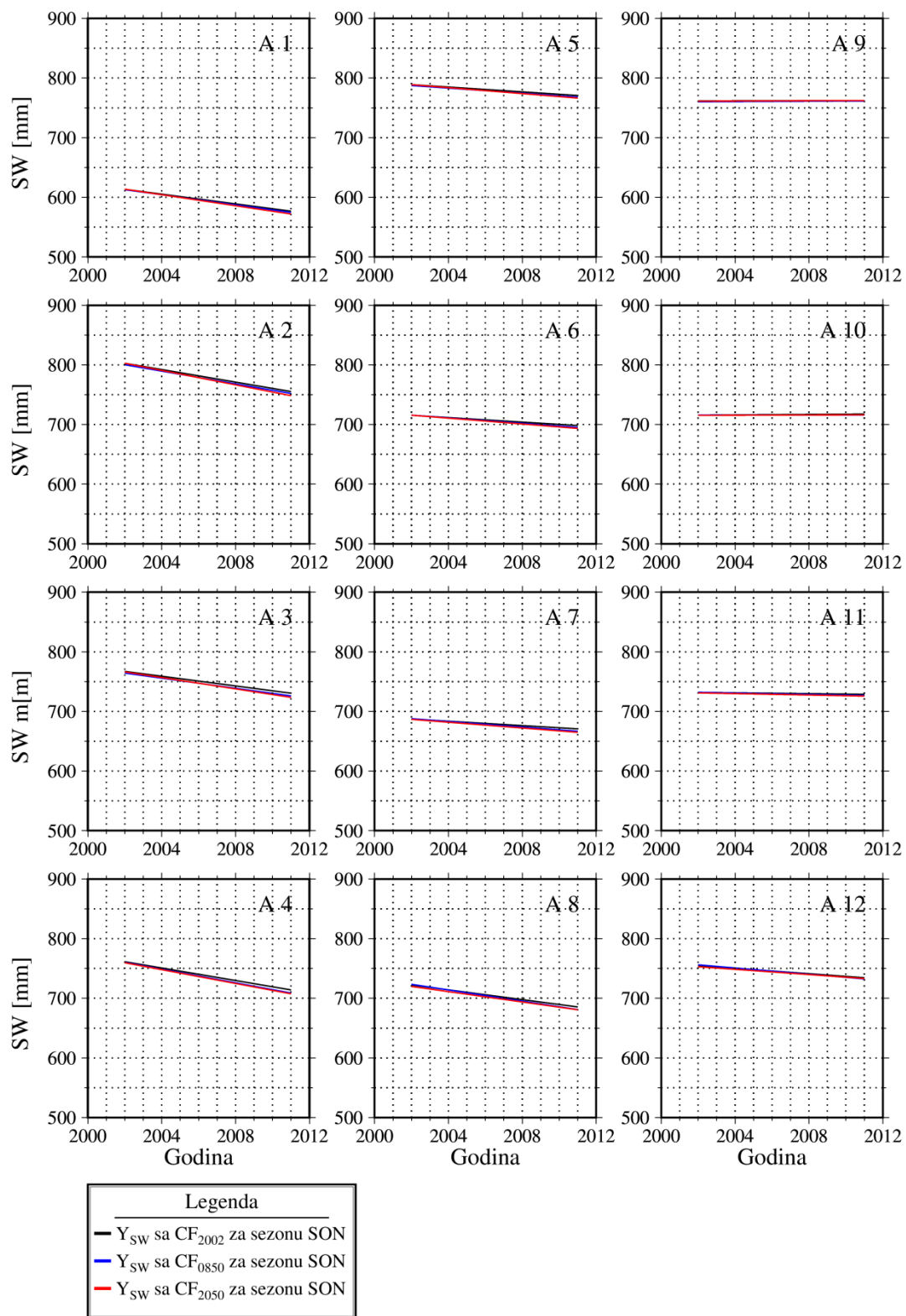
Slika 11. Regionalni trend sadržaja vlage u zemljištu Y_{SW} po sezonama



Slika 12. Loalni trend sadržaja vlage u zemljištu Y_{SW} za sezonu MAM



Slika 13. Lokalni trend sadržaja vlage u zemljištu Y_{SW} za sezonu JJA



Slika 14. Lokalni trend sadržaja vlage u zemljištu Y_{SW} za sezonu SON

4.5 Trendovi fluksa osetne toplote

Uticaj promene turbulentnog transporta usled dobijenih vrednosti z_0 (tabela 9), kao i promena površinskog albeda usled dobijenih vrednosti LAI (tabela 10) direktno su dovele do promene F_h , kako na regionalnom, tako i na lokalnom nivou, kao jednog od ključnih procesa kojim šume mogu da utiču na temperaturu vazduha, slike 15, 16, 17 i 18.

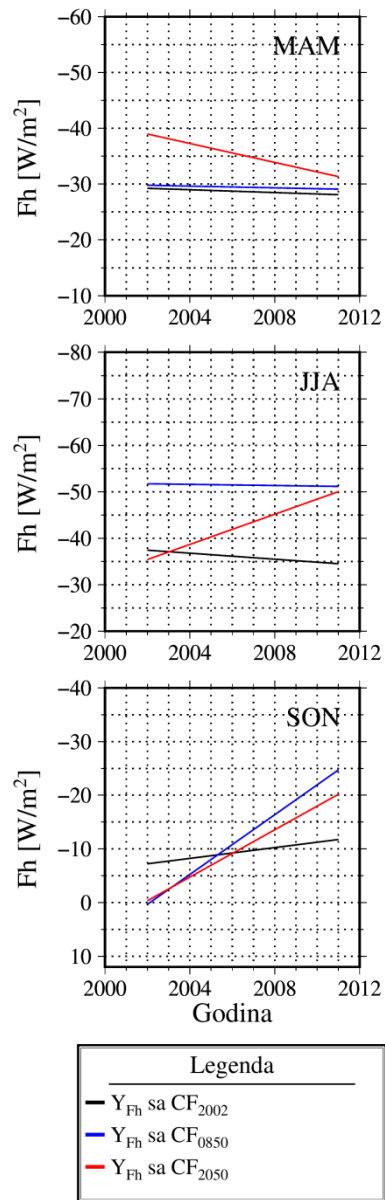
Sa CF_{850} za sezonu MAM na regionalnom nivou vrednost R je u opsegu slabe linearne povezanosti, dok na lokalnom nivou imamo slabu i srednju. Ako posmatramo trendove Y_{F_h} za sezonu MAM (slike 15 i 16), vidimo da su negativni na regionalnom nivou, dok su pozitivni samo u lokalnim oblastima A10, A11 i A12. Vrednosti R se kreću u okviru srednje linearne povezanosti, odnosno u ovim lokalnim oblastima jedan od procesa koji dovode do zagrevanja vazduha je upravo proces turbulentnog transporta F_h . Sa CF_{2050} je dobijena slaba pozitivna i negativna linearna povezanost na lokanom i regionalnom nivou. Jedino je u lokalnim oblastima A1 i A2 dobijena pozitivna srednja linearna povezanost, a ujedno u tim oblastima je i pozitivan trend Y_{F_h} , odnosno postoji zagrevanje vazduha.

Za sezonu JJA (slika 17), gledano na lokalnom nivou, nagib trenda fluksa osetne toplote (Y_{F_h}) vrlo sličan nagibu trenda srednje sezone temperature vazduha u blizini zemljine površine ($Y_{T_{2m}}$) (slika 25), i to naročito u severnoj i južnoj oblasti gde je ta sličnost najizraženija. Odnosno, između srednjih sezonskih vrednosti T_{2m} i F_h dobijena je pozitivna linearna povezanost korelacije R i to srednja od 0.62 za CF_{850} na regionalnom nivou, dok se na lokalnom nivou vrednost R kreće između srednje i jake (tabela 11). Sa CF_{2050} dobijen je R u opsegu jake linearne zavisnosti od 0.77 na regionalnom nivou, dok se na lokalnom ta vrednost kreće između 0.62 i 0.85, odnosno između srednje i jake linearne povezanosti.

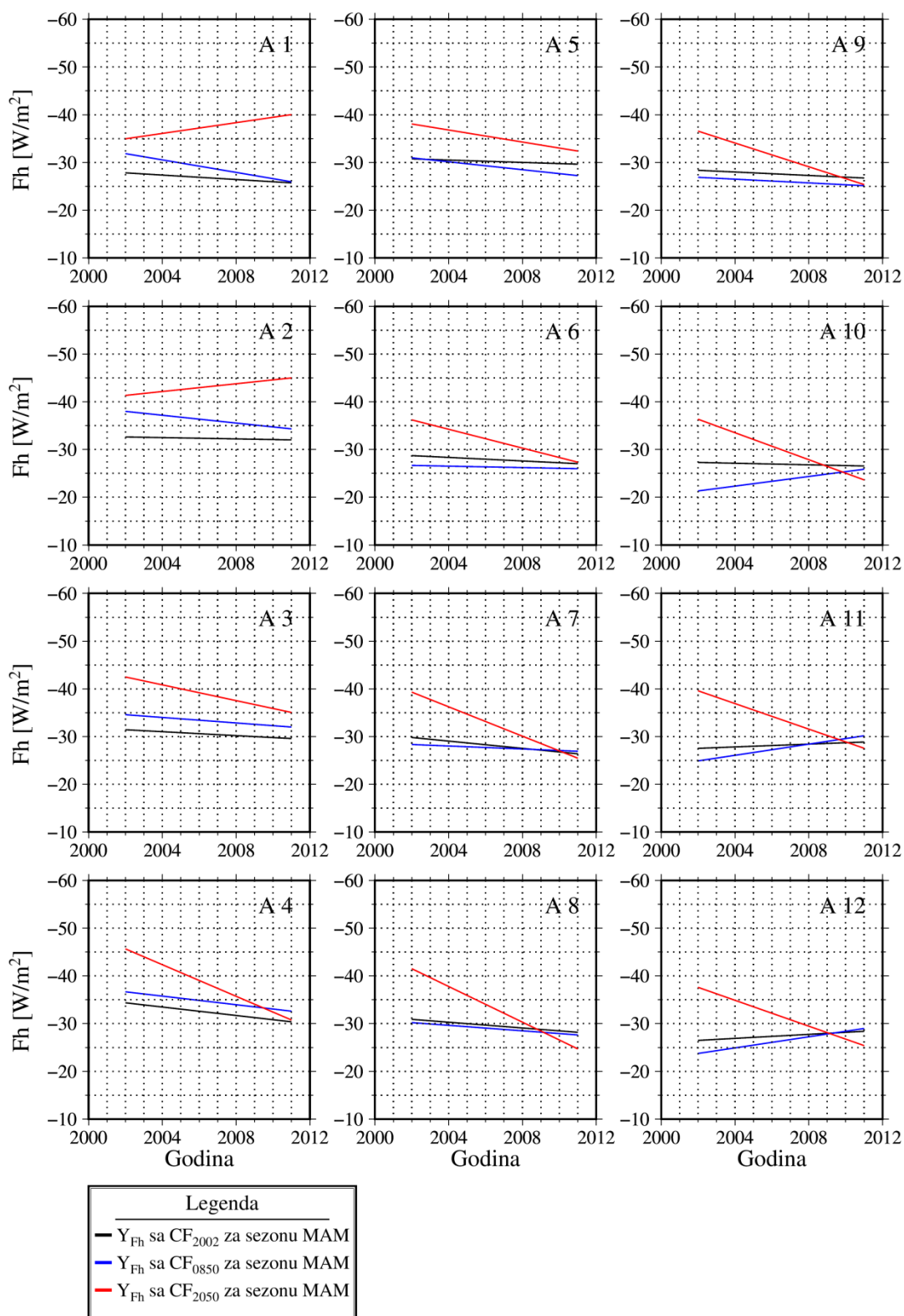
Sezonu SON (slike 15 i 18) sa CF_{850} karakteriše uglavnom slaba pozitivna i slaba negativna linearna povezanost na regionalnom i lokalnom nivou, dok je u oblastima A4, A7, A8 i A10 zabeležen R kojim se definiše pozitivna srednja linearna povezanost između srednjih sezonskih vrednosti T_{2m} i F_h . Trendovi Y_{F_h} (slika 18) i $Y_{T_{2m}}$ (slika 26) za sezonu SON su pozitivni, kako na lokalnom, tako i na regionalnom nivou. Sa CF_{2050} je uglavnom dobijena srednja pozitivna linearna povezanost između srednjih mesečnih vrednosti T_{2m} i F_h na lokalnom i regionalnom nivou. Kompleksnija situacija je ako se posmatraju trendovi $Y_{T_{2m}}$ i Y_{F_h} , odnosno trendovi $Y_{T_{2m}}$ su negativni, dok su trendovi Y_{F_h} pozitivni. U ovakvoj situaciji vidimo da i pored porasta F_h ipak postoji pad T_{2m} na lokalnom i regionalnom nivou.

Tabela 11. Pirsonov koeficijent korelacije R između srednjih mesečnih vrednosti T_{2m} i F_h .

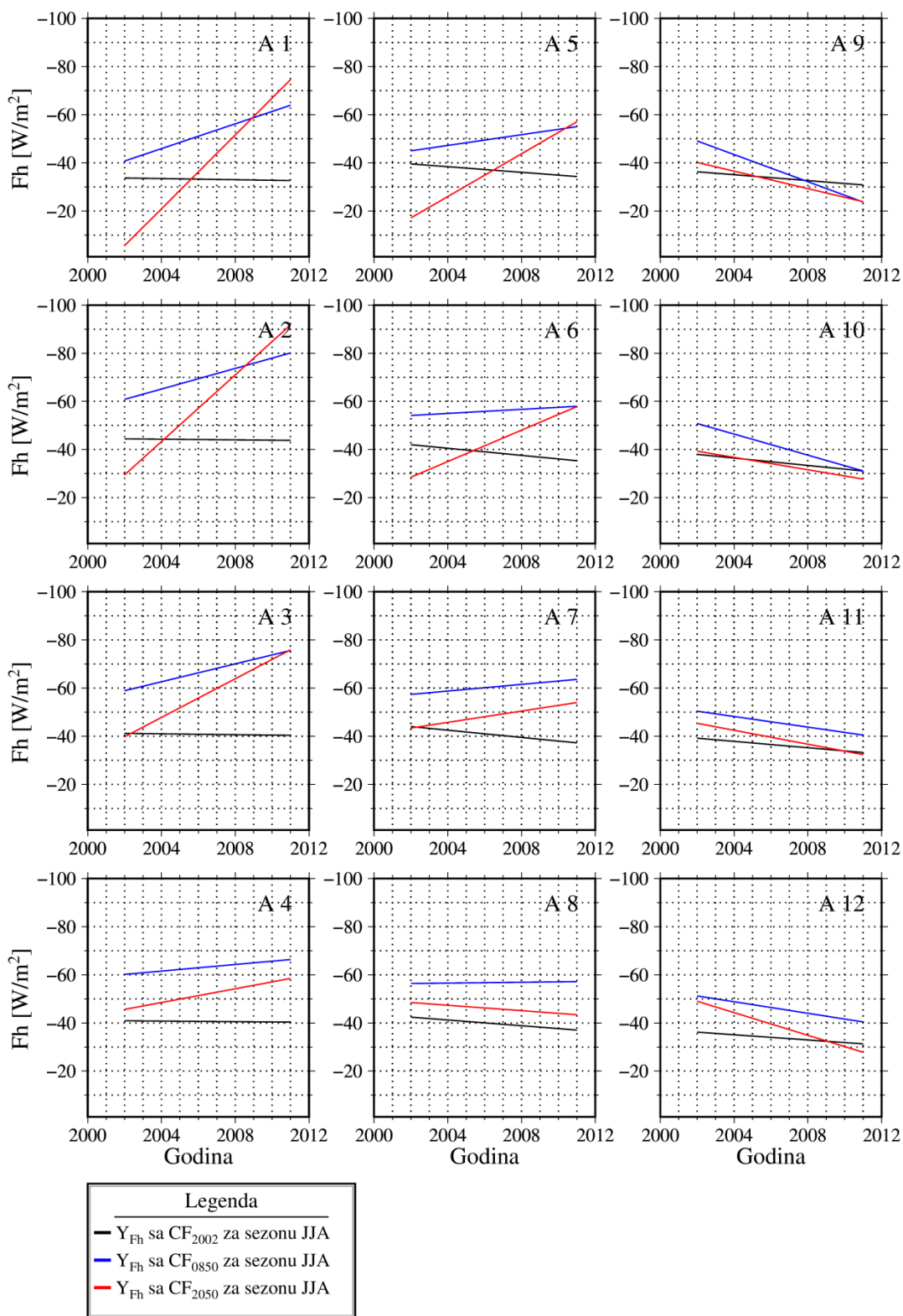
Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	R ₂₀₀₂	R ₈₅₀	R ₂₀₅₀	R ₂₀₀₂	R ₈₅₀	R ₂₀₅₀	R ₂₀₀₂	R ₈₅₀	R ₂₀₅₀
A1	0.09	0.45	0.28	0.86	0.71	0.82	-0.33	-0.12	-0.11
A2	0.31	0.32	0.22	0.85	0.71	0.79	-0.15	-0.03	0.12
A3	0.50	0.17	0.05	0.81	0.69	0.79	-0.19	0.23	0.33
A4	0.59	0.14	0.1	0.71	0.72	0.81	-0.17	0.45	0.52
A5	0.40	0.40	-0.03	0.83	0.48	0.71	-0.03	0.18	0.18
A6	0.63	0.47	0.11	0.87	0.61	0.78	-0.06	0.23	0.26
A7	0.78	0.36	0.01	0.83	0.69	0.84	-0.02	0.31	0.32
A8	0.76	0.19	-0.23	0.74	0.82	0.84	-0.09	0.37	0.49
A9	0.46	0.28	-0.15	0.71	0.39	0.62	-0.13	0.25	0.41
A10	0.70	0.56	0.03	0.80	0.43	0.71	-0.03	0.30	0.44
A11	0.76	0.46	-0.09	0.73	0.64	0.80	-0.08	0.29	0.39
A12	0.72	0.29	-0.25	0.62	0.85	0.85	-0.07	0.23	0.50
Region	0.61	0.28	-0.03	0.81	0.62	0.77	-0.17	0.24	0.32



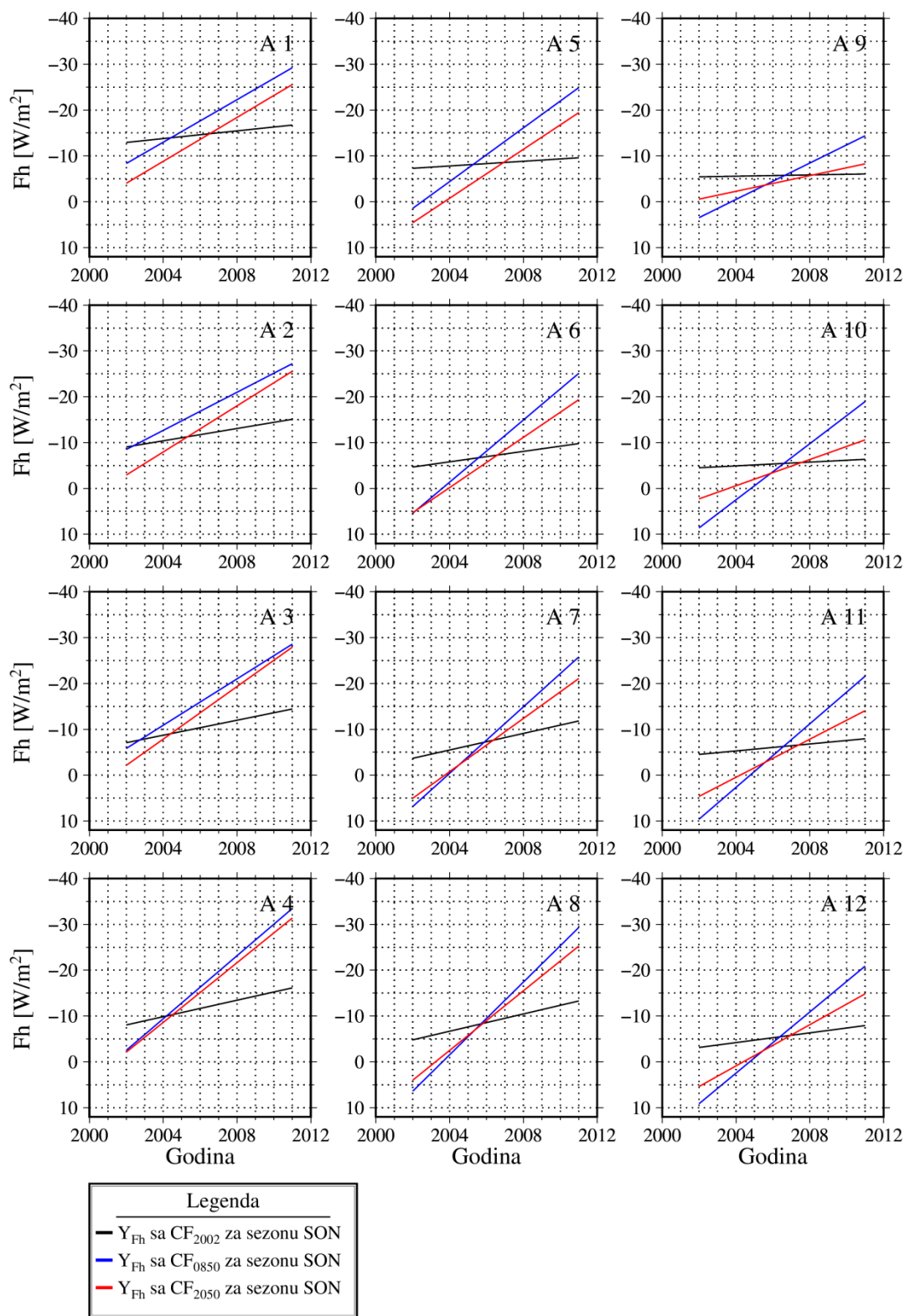
Slika 15. Regionalni trend fluksa osetne toplote Y_{Fh} po sezonama



Slika 16. Lokalni trend fluksa osjetne toplote Y_{F_h} za sezonu MAM



Slika 17. Lokalni trend fluksa osetne toplote Y_{F_h} za sezonu JJA



Slika 18. Lokalni trend fluksa osetne toplote Y_{F_h} za sezonu SON

Posmatranjem linearne povezanosti između srednjih mesečnih vrednosti T_{2m} i F_h , kao i njihovih trendova $Y_{T_{2m}}$ i Y_{F_h} , može se zaključiti da postoje i drugi fizički procesi kojim vegetacija utiče na promenu temperature vazduha. Jedan od takvih fizičkih procesa je i površinski albedo. Da bi bolje procenili uticaj F_h na promenu srednjih sezonskih vrednosti T_{2m} posmatračće se i trend površinskog albeda (Y_a) izražen u procentima.

4.6 Trendovi površinskog albeda

Albedo šume umerenog tipa se okvirno kreće od 0.15 do 0.18 (Barry i Chorley, 1992; Houldcroft i dr. 2008), što znači da se u atmosferu vrati između 15% i 18% ukupnog dolazećeg kratkotalasnog Sunčevog zračenja. U istraživanju sa CF_{850} je dobijena vrednosti površinskog albeda koja na regionalnom nivou po sezonama MAM, JJA i SON okvirno iznosi oko 13.8%, 12.7% i 15.6%, redom (tabela 12), dok je sa CF_{2050} dobijeno da je 13.2%, 12.9% i 15.0%. Iz tabele 12 se vidi da je uglavnom postignuto smanjene površinskog albeda u odnosu na CF_{2002} koja za sezonu MAM iznosi -3.5% sa CF_{850} i -7.7% sa CF_{2050} na regionalnom nivou.

Za sezonu JJA to smanjenje iznosi -5.9% i -4.4%, dok je za sezonu SON smanjenje -1.9% sa CF_{2050} i povećanje od +1.9% sa CF_{850} .

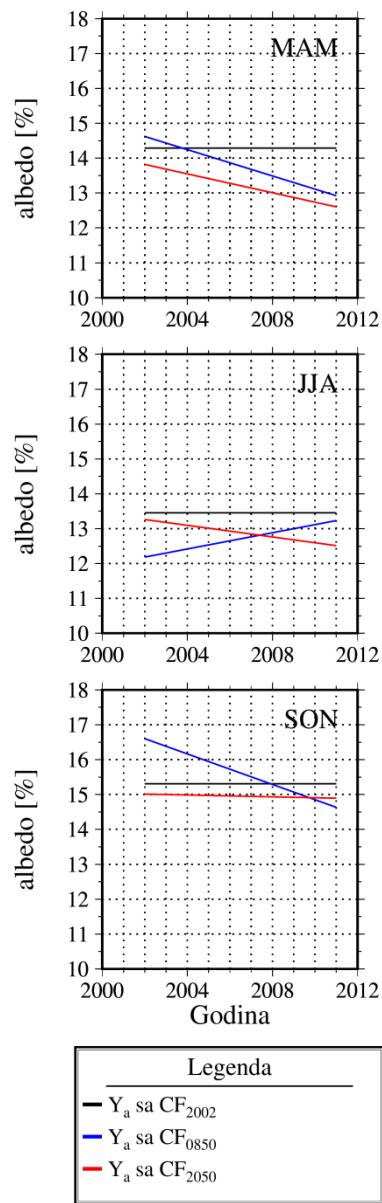
Tabela 12. Dekadna vrednost površinskog albeda (a_s) po sezonama.

Vreme / Prostor	MAM			JJA			SON		
	a_{2002}	a_{850}	a_{2050}	a_{2002}	a_{850}	a_{2050}	a_{2002}	a_{850}	a_{2050}
A1	0.114	0.113	0.113	0.109	0.104	0.102	0.116	0.120	0.115
A2	0.141	0.138	0.138	0.132	0.126	0.126	0.151	0.156	0.150
A3	0.153	0.153	0.151	0.144	0.136	0.137	0.171	0.179	0.171
A4	0.152	0.149	0.144	0.142	0.134	0.136	0.165	0.173	0.164
A5	0.138	0.135	0.133	0.130	0.125	0.126	0.144	0.145	0.140
A6	0.157	0.158	0.156	0.148	0.139	0.141	0.175	0.182	0.172
A7	0.164	0.168	0.163	0.155	0.145	0.146	0.186	0.199	0.184
A8	0.154	0.157	0.149	0.145	0.135	0.138	0.169	0.179	0.166
A9	0.143	0.133	0.126	0.134	0.128	0.132	0.147	0.140	0.138
A10	0.160	0.156	0.147	0.150	0.141	0.144	0.176	0.176	0.168
A11	0.163	0.154	0.143	0.154	0.144	0.146	0.182	0.188	0.177
A12	0.150	0.144	0.133	0.141	0.132	0.135	0.163	0.167	0.158
Region	0.143	0.138	0.132	0.135	0.127	0.129	0.153	0.156	0.150

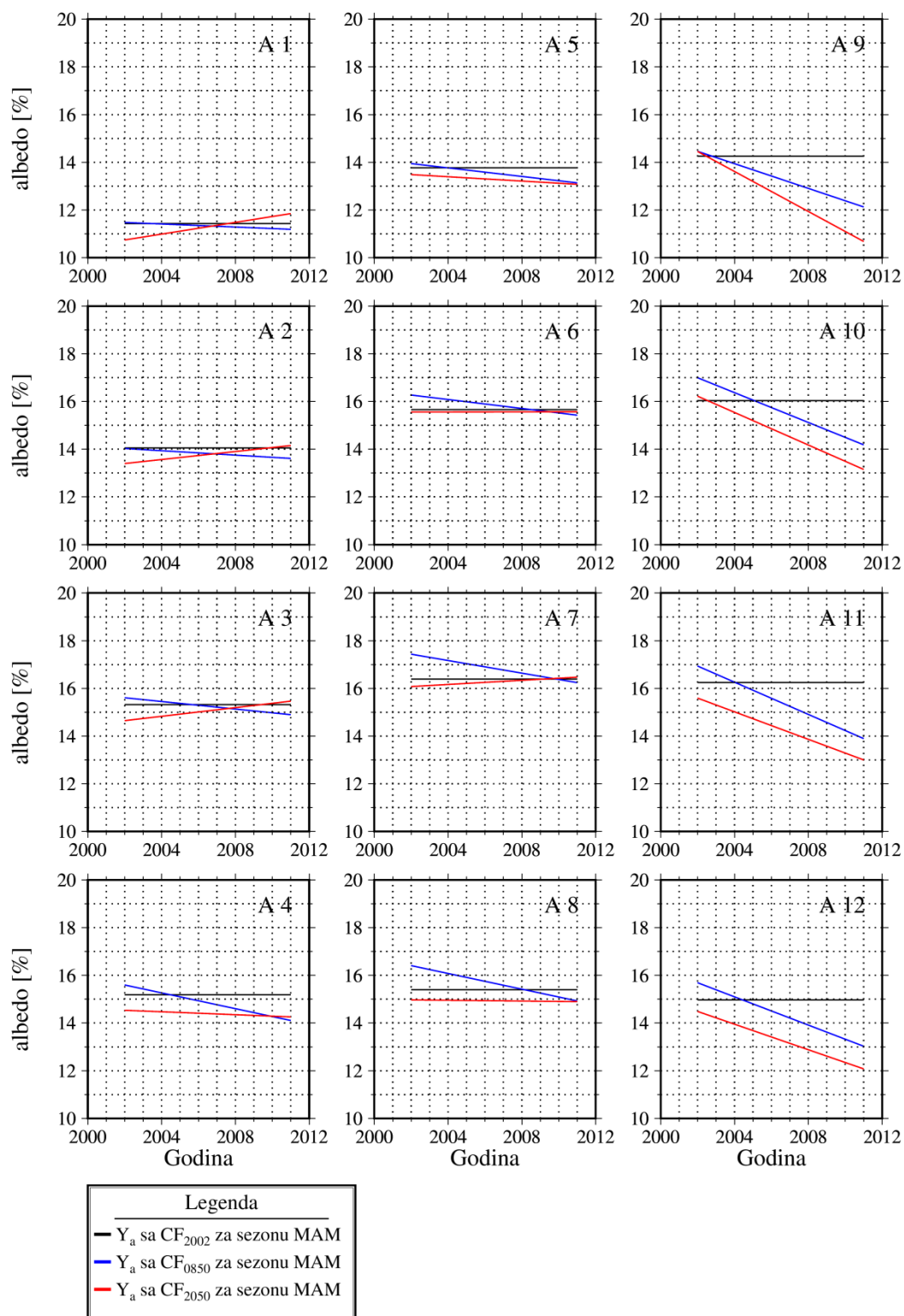
Za sezonu MAM i sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ je dobijen negativni trend Y_a na regionalnom nivou (slika 19). Na lokalnom nivou (slika 20) uglavnom je dobijen negativni trend Y_a koji je najveći za severnu oblast i okvirno se kreće između -0.3 %/godina i -0.4 %/godina (prilog 6, tabela p6.4). Ovi rezultati su u skladu sa uslovima eksperimenta, jer je upravo u severnoj oblasti izvršena najveća promena vegetacije (slika 3 pod a.2), koja, usled početka vegetacionog ciklusa u sezoni MAM, počinje da smanjuje površinski albedo. Trend smanjenja površinskog albeda je takođe zastupljen u centralnoj i južnoj oblasti, dok je pozitivan trend jedino zabeležen u lokalnim oblastima A1, A2, A3, A6 i A7, gde je izvršena najmanja promena vegetacije i to sa CF₂₀₅₀.

Za sezonu JJA sa CF₈₅₀ je dobijen pozitivan trend Y_a (slika 21), koji je najveći u severnoj oblasti i koji se kreće između 0.13 %/godina i 0.29 %/godina. U centralnoj oblasti ovaj trend je manji i iznosi okvirno oko 0.06 %/godina, dok je najmanji trend u južnoj oblasti i kreće se između 0.001 %/godina i 0.06 %/godina, odnosno dobijeno je najmanje povećanje površinskog albeda (prilog 6, tabela p6.4). Ovaj trend povećanja površinskog albeda je u saglasnosti sa rezultatima trenda Y_{Fh} za severnu oblast u kojoj je negativan, dok na primer u centralnoj i južnoj oblasti nije zabeležen negativan trend Y_{Fh} , iako je dobijen pozitivan trend Y_a u datim oblastima. U prilogu 6, tabela p6.3 može se videti da je trend Y_{Fh} za sezonu JJA u centralnoj oblasti najmanji i kreće se između 0.08 Wm⁻²/godina i 1.1 Wm⁻²/godina, dok je za južnu oblast ta vrednost veća i kreće se između 0.7 Wm⁻²/godina i 2.6 Wm⁻²/godina. Sa CF₂₀₅₀ za sezonu JJA je dobijen negativan trend Y_a koji na regionalnom nivou iznosi oko -0.08 %/godina (slika 19), dok je na lokalnom nivou (slika 21) između -0.04 %/godina i -0.17 %/godina (prilog 6, tabela p6.4).

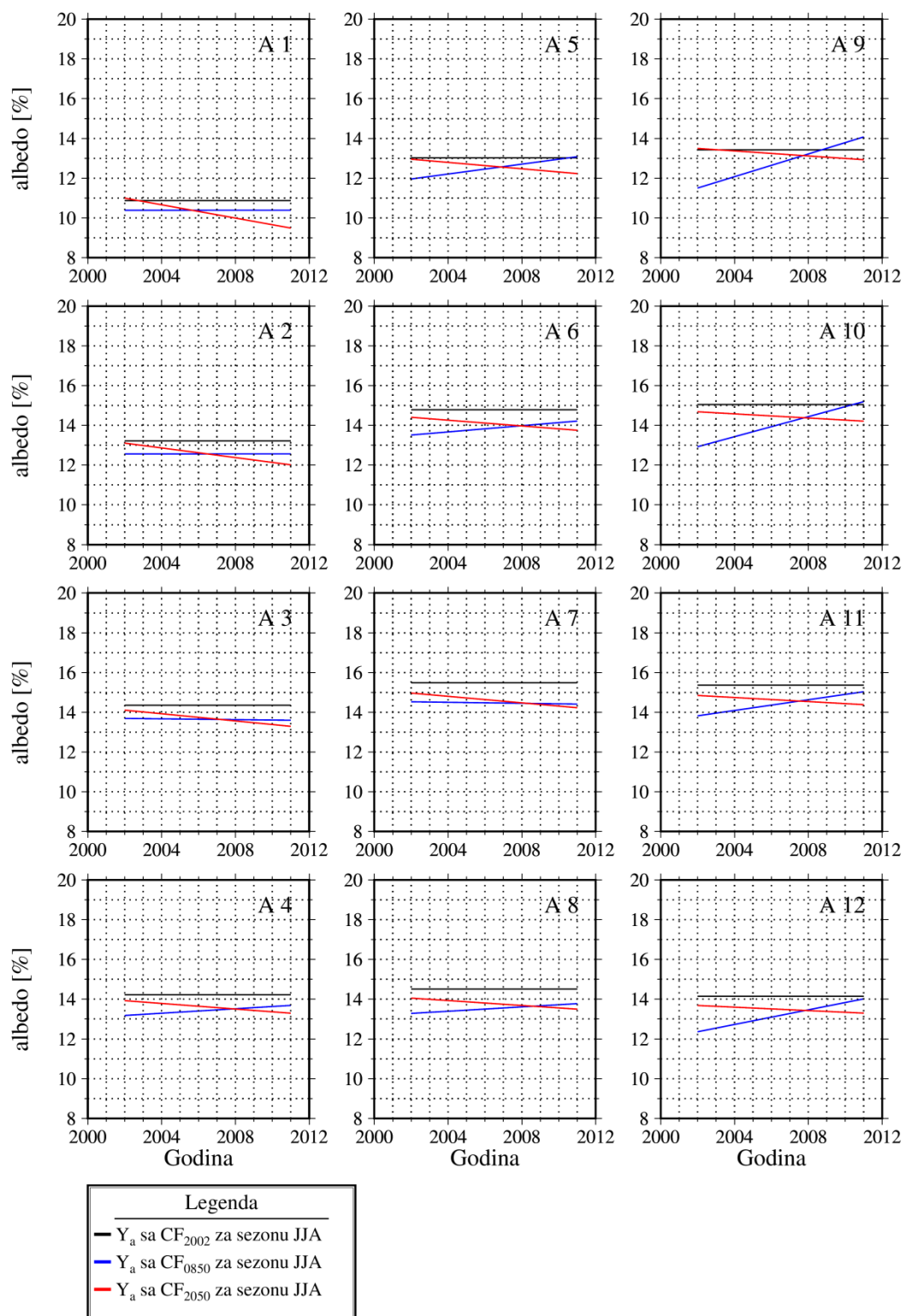
Negativan trend Y_a je takođe uglavnom zabeležen za sezonu SON (slike 19 i 22), kako na regionalnom tako i na lokalnom nivou, dok je jedino sa CF₂₀₅₀ u oblastima A9 i A10 zabeležen pozitivan trend.



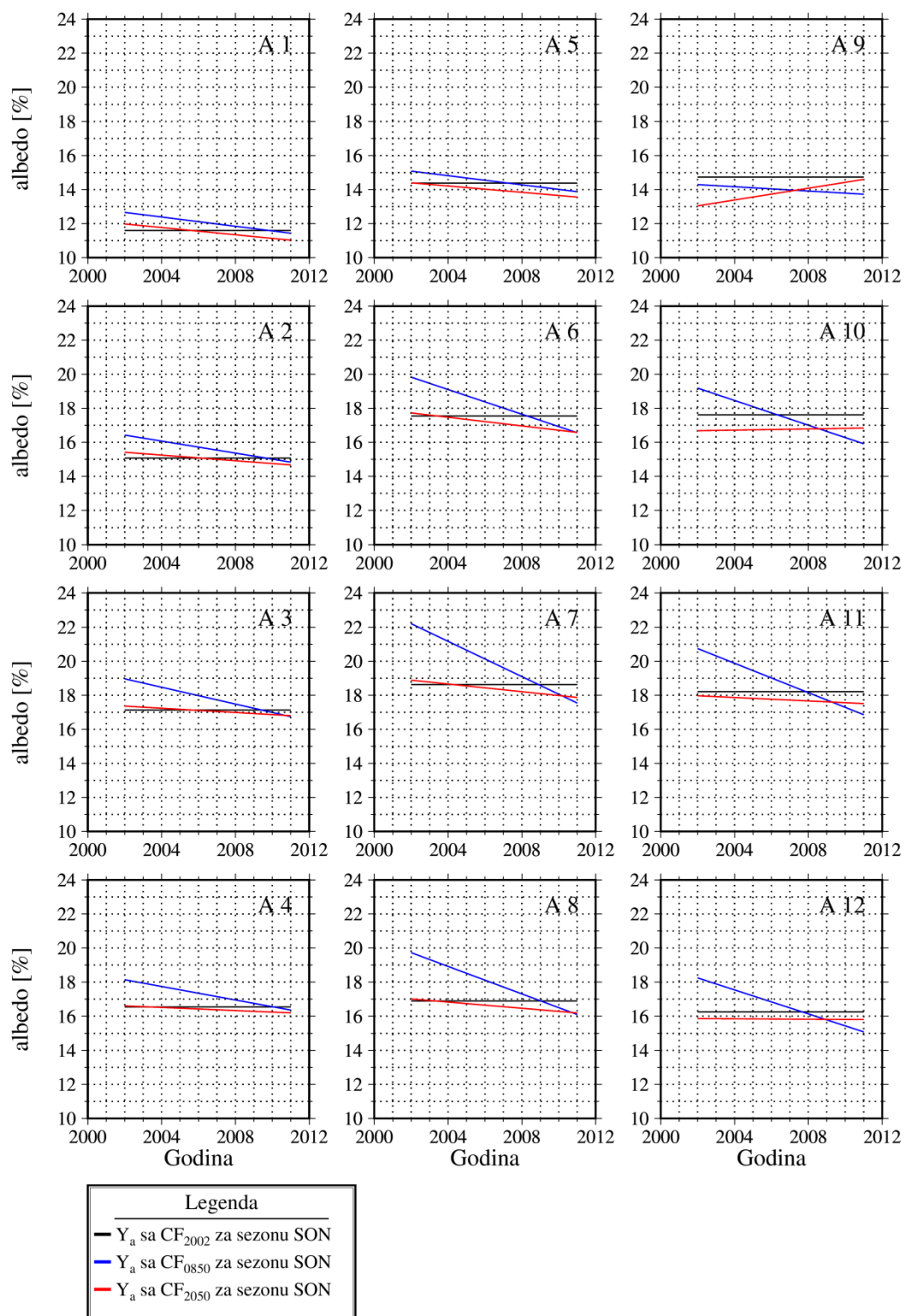
Slika 19. Regionalni trend površinskog albeda Y_a po sezonama



Slika 20. Lokalni trend površinskog albeda Y_a za sezonu MAM



Slika 21. Lokalni trend površinskog albeda Y_a za sezonu JJA



Slika 22. Lokalni trend površinskog albeda Y_a za sezonu SON

Dakle, ovde površinski albedo ima značajnu ulogu u regulaciji zagrevanja površinskog vazduha. Međutim, ovde se indirektno pojavljuje drugi proces koji hladi vazduh u sezoni JJA usled porasta površinskog albeda a trebalo bi da povećanjem vegetacije nastaje smanjenje albeda a samim tim i zagrevanje površinskog vazduha.

4.7 Trendovi srednje sezone temperature vazduha u blizini Zemljine površine

Za potrebe istraživanja definisan je srednji sezonski trend T_{2m} (Y_{T2m}), čije su vrednosti prikazane sezonski po oblastima, na lokalnom i regionalnom nivou (tabela 13), dok je grafički prikaz dat na slikama 23, 24, 25 i 26.

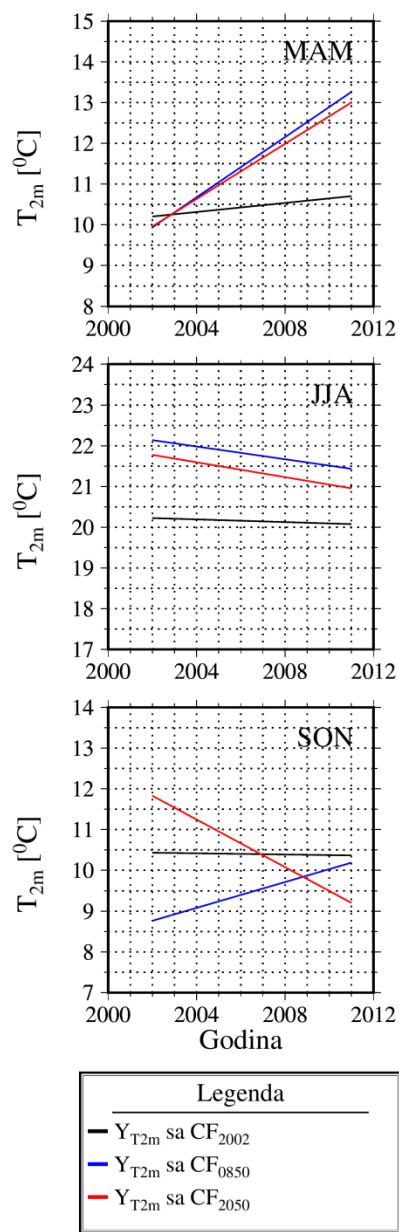
Na slikama 23 i 24 primećuje se da je trend Y_{T2m} za sezonu MAM pozitivan, a to znači da tokom ove sezone dolazi do povećanja T_{2m} , kako na regionalnom, tako i na lokalnom nivou. Intezitet zagrevanja je najmanji u južnoj oblasti, nešto veći je u centralnoj, dok je najveći intezitet dobijen u severnoj oblasti, tabela 13. Razlika između trendova Y_{T2m} dobijenih sa CF_{850} i CF_{2050} je mala i kreće se između 0.02 °C/godina i 0.16 °C/godina na lokalnom nivou, što prouzrokuje da imaju skoro iste intezitete zagrevanja T_{2m} . Na regionalnom nivou ta razlika je neznatna i iznosi 0.03 °C/godina, što dovodi do skoro identičnog trenda zagrevanja za datu sezonu, tabela 13.

Za sezonu JJA (slike 23 i 25) trend Y_{T2m} je negativan na regionalnom nivou kao i u većini lokalnih oblasti, a to znači da dolazi do smanjenja T_{2m} , to jest postoje procesi koji dovode do hlađenja vazduha. Ovo smanjenje se dešava u severnoj oblasti gde je i najveće, odnosno dolazi do bržeg hlađenja vazduha, koje okvirno iznosi oko -0.3 °C/godina, tabela 13. U centralnoj oblasti postoji hlađenje, ali je manjeg inteziteta, oko -0.1 °C/godina. Jedino je u lokalnoj oblasti A5 sa CF_{2050} zabeležen pozitivan trend, odnosno u ovoj oblasti dolazi do malog zagrevanja vazduha sa datim eksperimentom od oko 0.06 °C/godina. Što se tiče južne oblasti uglavnom je dobijen pozitivan trend Y_{T2m} , odnosno postoji zagrevanje T_{2m} . Jedino je u lokalnoj oblasti A4 sa CF_{2050} malo smanjenje T_{2m} od -0.03 °C/godina. Na regionalnom nivou (slika 23) sa CF_{850} i sa CF_{2050} dobijen je negativan trend sa neznatnom razlikom od 0.01 °C/godina između ova dva eksperimenta, što ukazuje da je za JJA sezonu dobijen skoro identičan trend hlađenja T_{2m} .

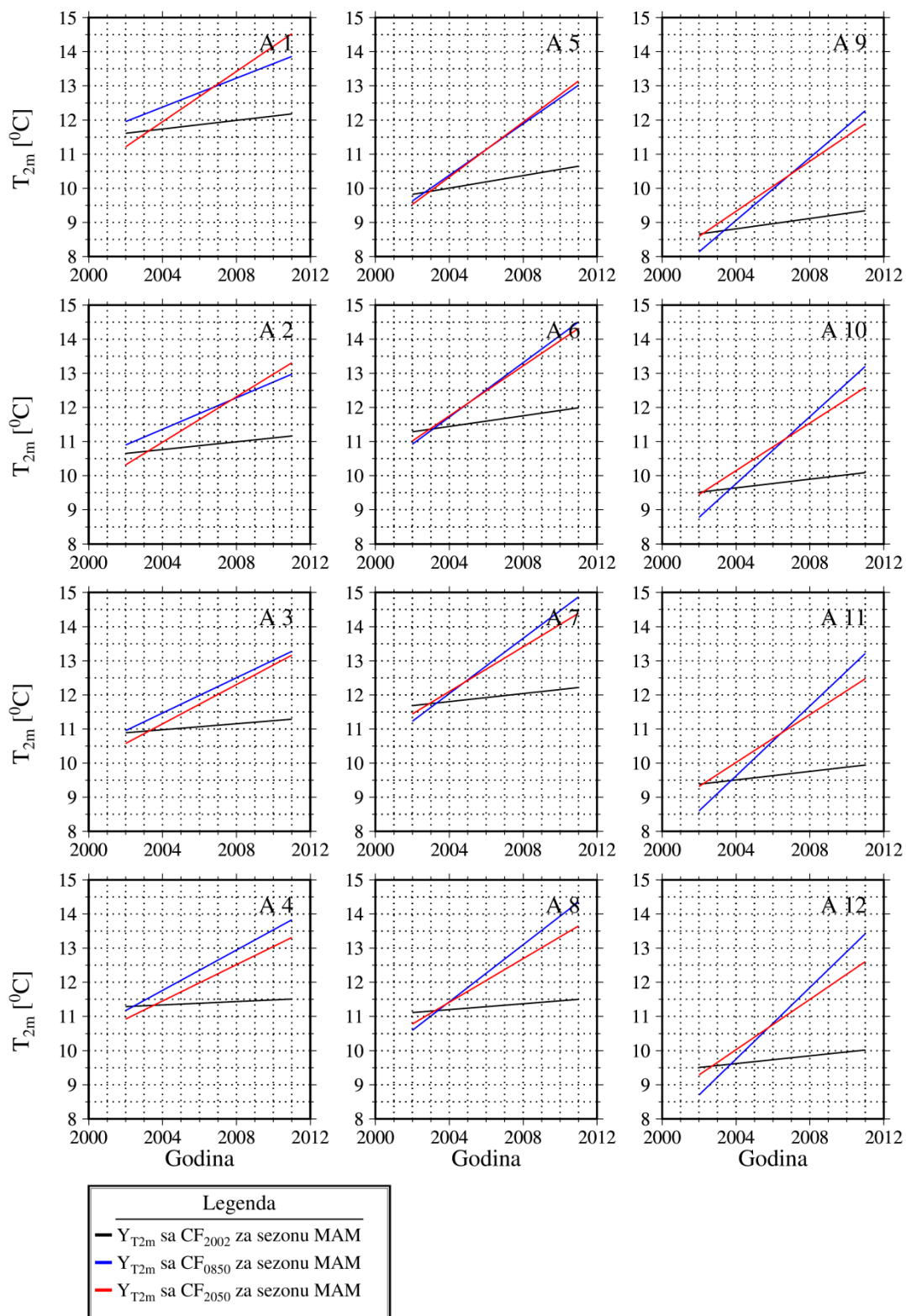
Za sezonu SON (slike 23 i 26) na regionalnom i lokalnom nivou sa CF_{850} je dobijen pozitivan trend $Y_{T_{2m}}$, a intezitet zagrevanja T_{2m} je najveći za lokalne oblasti A4 i A8 i iznosi oko 0.25 °C/godina, dok je najmanji za A9 i A10 sa 0.04 °C/godina i 0.1 °C/godina. Sa CF_{2050} je dobijen negativan trend sa skoro indetičnim intezitetom hlađenja na lokalnom nivou od oko -0.3 °C/godina i koji je najmanji za lokalnu oblast A4 a najveći za A10, tabela 13. Sa dobijenim trendovima za T_{2m} za sezonu SON postoji i zagrevanje (sa CF_{850}) i hlađenje (sa CF_{2050}) T_{2m} , kako na regionalnom, tako i na lokalnom nivou. Treba napomenuti da je u lokalnoj oblasti A9 razlika između trendova $Y_{T_{2m}}$ sa CF_{850} i CF_{2050} najmanja.

Tabela 13. Koeficijent trenda za srednju sezonsku temperaturu vazduha na 2m visine od tla ($Y_{T_{2m}}$ °C/godina) po sezonama. Podebljani brojevi označavaju postojanje trenda prema Man-Kendall testu.

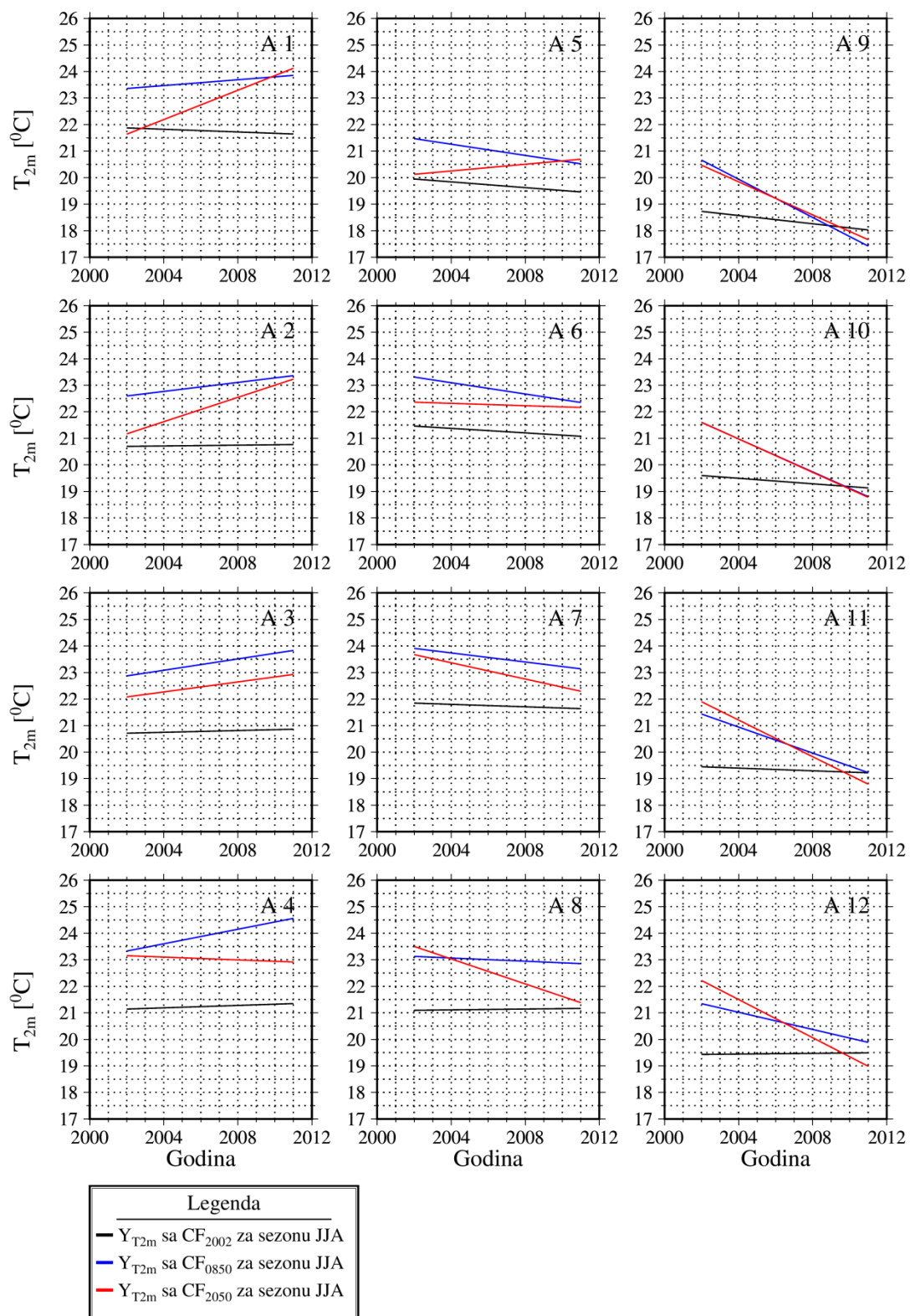
Prostor / Vreme	MAM			JJA			SON		
	CF_{2002}	CF_{850}	CF_{2050}	CF_{2002}	CF_{850}	CF_{2050}	CF_{2002}	CF_{850}	CF_{2050}
A1	0.06	0.21	0.37	-0.03	0.05	0.28	-0.04	0.14	-0.29
A2	0.06	0.23	0.33	0.01	0.09	0.23	-0.04	0.13	-0.33
A3	0.04	0.26	0.29	0.02	0.11	0.09	-0.02	0.18	-0.28
A4	0.02	0.30	0.27	0.02	0.14	-0.03	0.004	0.26	-0.21
A5	0.09	0.38	0.40	-0.05	-0.11	0.06	-0.03	0.12	-0.25
A6	0.08	0.40	0.37	-0.04	-0.11	-0.02	-0.04	0.13	-0.31
A7	0.06	0.40	0.33	-0.02	-0.09	-0.15	-0.02	0.18	-0.30
A8	0.04	0.42	0.32	0.01	-0.03	-0.24	-0.003	0.24	-0.25
A9	0.08	0.46	0.37	-0.08	-0.36	-0.31	0.0003	0.04	-0.30
A10	0.06	0.49	0.35	-0.05	-0.31	-0.31	-0.001	0.10	-0.34
A11	0.06	0.51	0.35	-0.03	-0.25	-0.35	0.01	0.17	-0.33
A12	0.06	0.52	0.37	0.01	-0.16	-0.36	0.01	0.20	-0.33
Region	0.06	0.37	0.34	-0.02	-0.08	-0.09	-0.007	0.16	-0.29



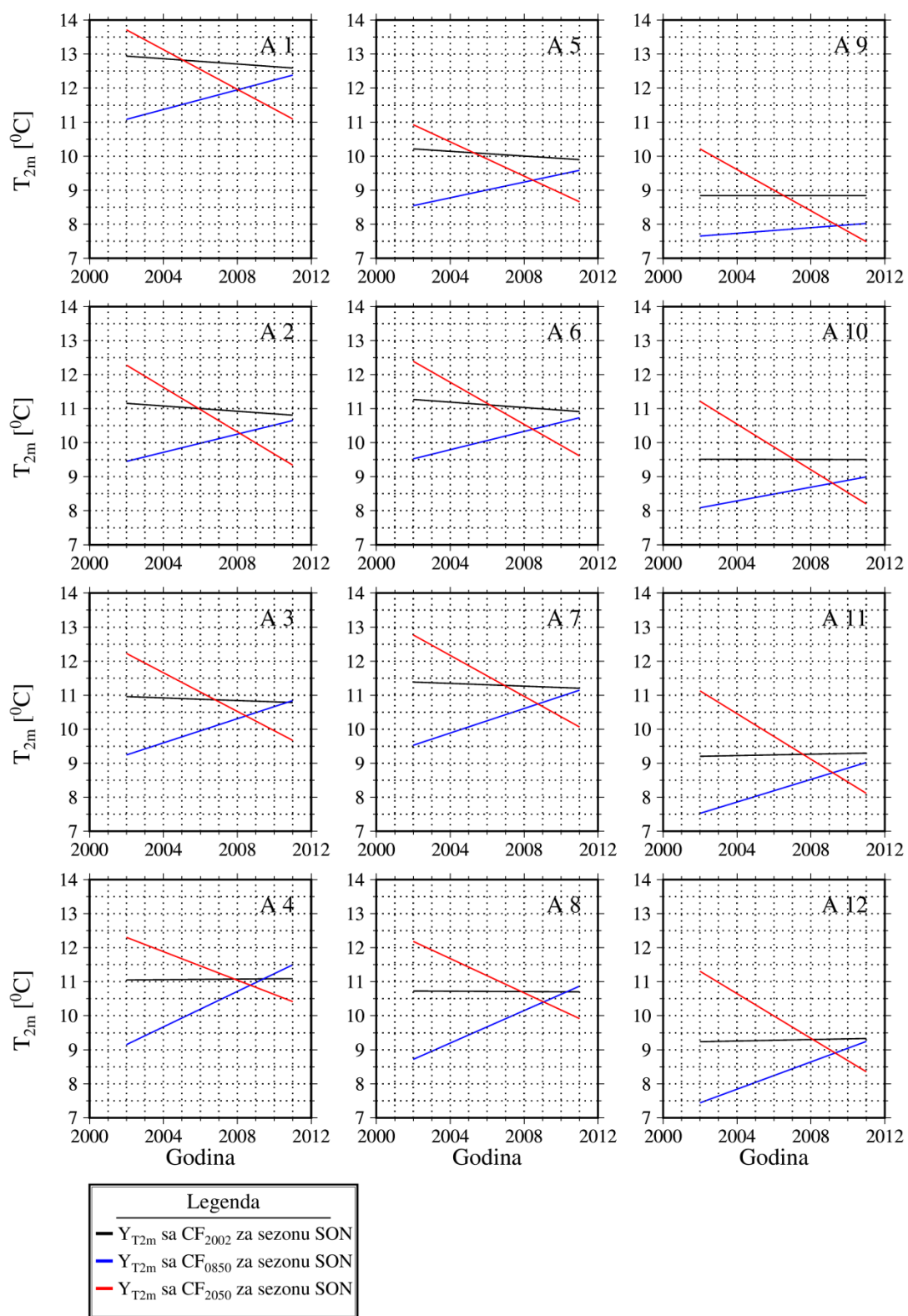
Slika 23. Regionalni trend Y_{T2m} po sezonama



Slika 24. Lokalni trend $Y_{T_{2m}}$ za sezonu MAM



Slika 25. Lokalni trend $Y_{T_{2m}}$ za sezonu JJA



Slika 26. Lokalni trend $Y_{T_{2m}}$ za sezonu SON

Što se tiče dekadnog proseka srednje sezone temperature T_{2m} (tabela 14) na regionalnom i lokalnom nivou, za sezonu MAM je dobijeno povećanje temperature za oko 1 °C, kako za CF₈₅₀ tako i za CF₂₀₅₀, uz postojanje trenda povećanja (slike 23 i 24). Za sezonu JJA je ovo povećanje nešto veće i sa CF₂₀₅₀ iznosi 1.3 °C na regionalnom nivou, dok se na lokalnom nivou to povećanje kreće od 0.7 °C do 1.8 °C. Sa CF₈₅₀ dobijeno je povećanje od 1.7 °C na regionalnom nivou, dok se na lokalnom kreće između 0.6 °C i 2.6 °C. Povećanja su realna samo za južnu oblast jer je dobijen pozitivan trend $Y_{T_{2m}}$ sa CF₈₅₀ (slika 25), odnosno trend porasta T_{2m} , dok je za centralnu i severnu oblast dobijen negativan trend $Y_{T_{2m}}$, odnosno trend smanjenja T_{2m} . Za sezonu SON dobijeno je smanjenje od 0.9 °C na regionalnom nivou i to sa CF₈₅₀, dok se na lokalnom kreće između 0.8 °C i 1.1 °C uz napomenu da postoji trend porasta T_{2m} , slika 26. Sa CF₂₀₅₀ je dobijeno neznatno povećanje od 0.1 °C na regionalnom, a na lokalnom nivou između 0.1 °C do 0.5 °C. Jedino u A1 i A2 postoji mali pad od oko -0.3 °C.

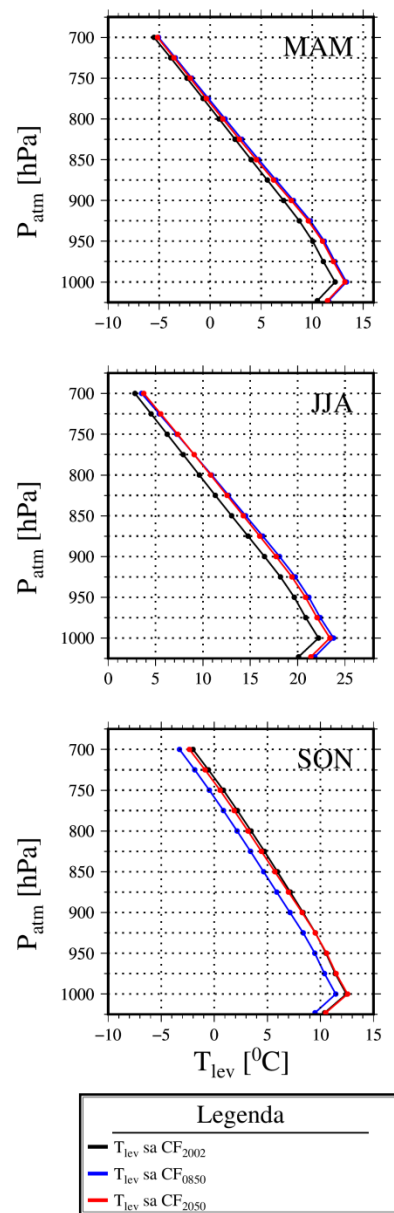
Tabela 14. Dekadni prosek srednje sezone vrednosti temperature vazduha na 2m visine od tla (T_{2m} °C).

Prostor / Vreme	MAM			JJA			SON		
	T ₂₀₀₂	T ₈₅₀	T ₂₀₅₀	T ₂₀₀₂	T ₈₅₀	T ₂₀₅₀	T ₂₀₀₂	T ₈₅₀	T ₂₀₅₀
A1	11.9	12.9	12.9	21.8	23.6	22.9	12.8	11.7	12.4
A2	10.9	11.9	11.8	20.7	23.0	22.2	11.0	10.1	10.8
A3	11.1	12.1	11.9	20.8	23.4	22.5	10.9	10.0	10.9
A4	11.4	12.5	12.1	21.2	23.9	23.0	11.1	10.3	11.4
A5	10.2	11.3	11.3	19.7	21.0	20.4	10.1	9.1	9.8
A6	11.6	12.7	12.7	21.6	22.8	22.3	11.1	10.1	11.0
A7	12.0	13.1	12.9	21.7	23.5	23.0	11.3	10.3	11.4
A8	11.3	12.5	12.2	21.1	23.0	22.4	10.7	9.8	11.0
A9	9.0	10.2	10.2	18.4	19.0	19.1	8.8	7.8	8.9
A10	9.8	11.0	11.0	19.4	20.2	20.2	9.5	8.5	9.7
A11	9.7	10.9	10.9	19.3	20.3	20.3	9.3	8.3	9.6
A12	9.8	11.1	10.9	19.5	20.6	20.6	9.3	8.3	9.8
Region	10.5	11.6	11.5	20.1	21.8	21.4	10.4	9.5	10.5

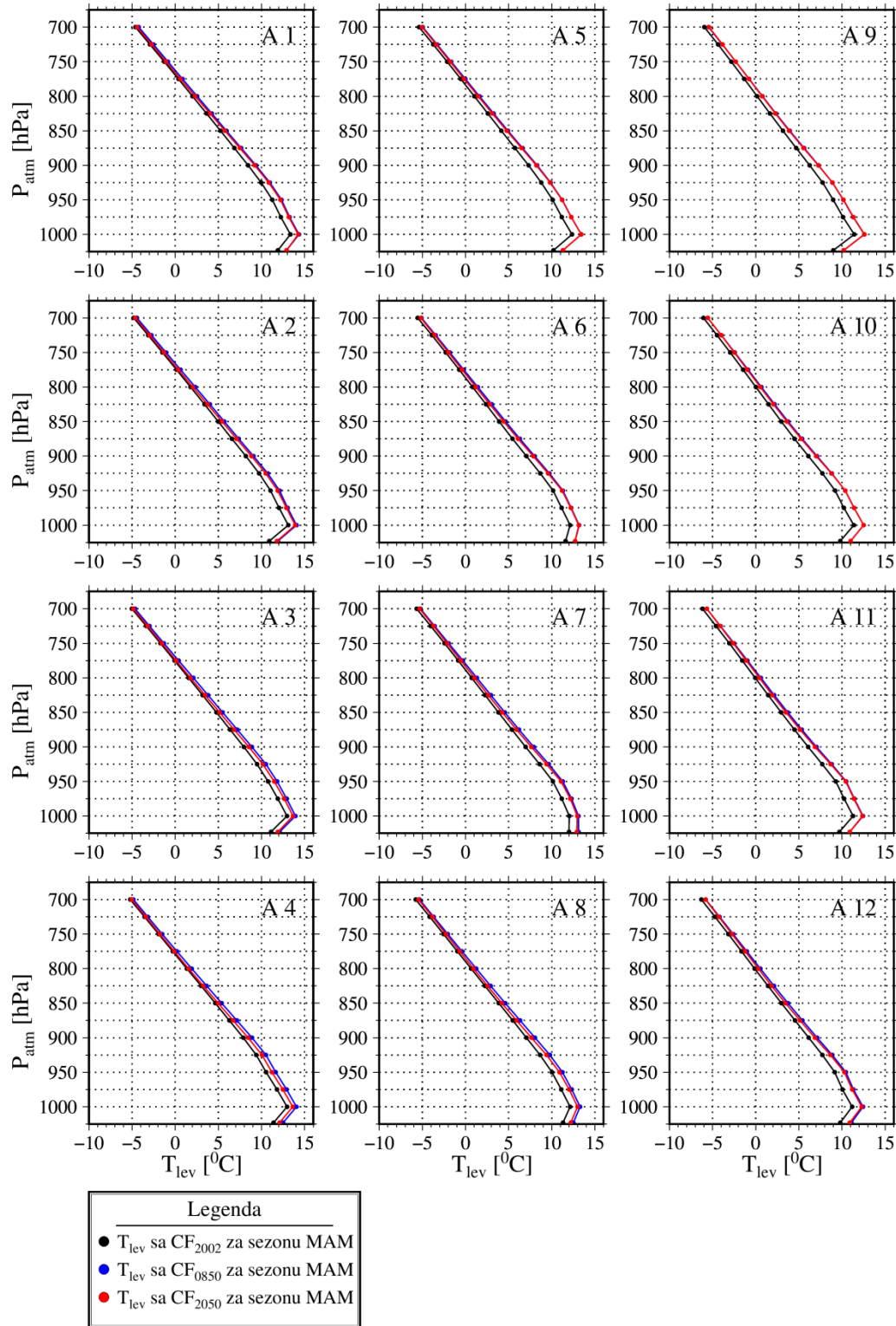
Razlika dekadnog proseka T_{2m} između CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ za sezonu MAM je neznatna i kreće se između 0.1 °C i 0.4 °C na lokalnom, i 0.1 °C na regionalnom nivou, dok je poklapanje dobijeno u severnoj oblasti, kao i u A1, A5 i A6, Tabela 14. Za sezonu JJA je ova razlika nešto veća i iznosi između 0.1 °C i 0.9 °C na lokalnom, i 0.4 °C na regionalnom nivou, a poklapanje je dobijeno u severnoj oblasti. Razlika za sezonu SON je negativna, odnosno sa CF₈₅₀ su dobijene manje temperature od CF₂₀₅₀. Na lokalnom nivou ta razlika iznosi između -1.1 °C i -1.7 °C, a na regionalnom -1 °C. Treba napomenuti da će se ova razlika promeniti usled postojanja pozitivnog trenda za CF₈₅₀ i negativnog za CF₂₀₅₀.

4.8 Dekadna vrednost srednje sezone temperature vazduha u nižim slojevima atmosfere

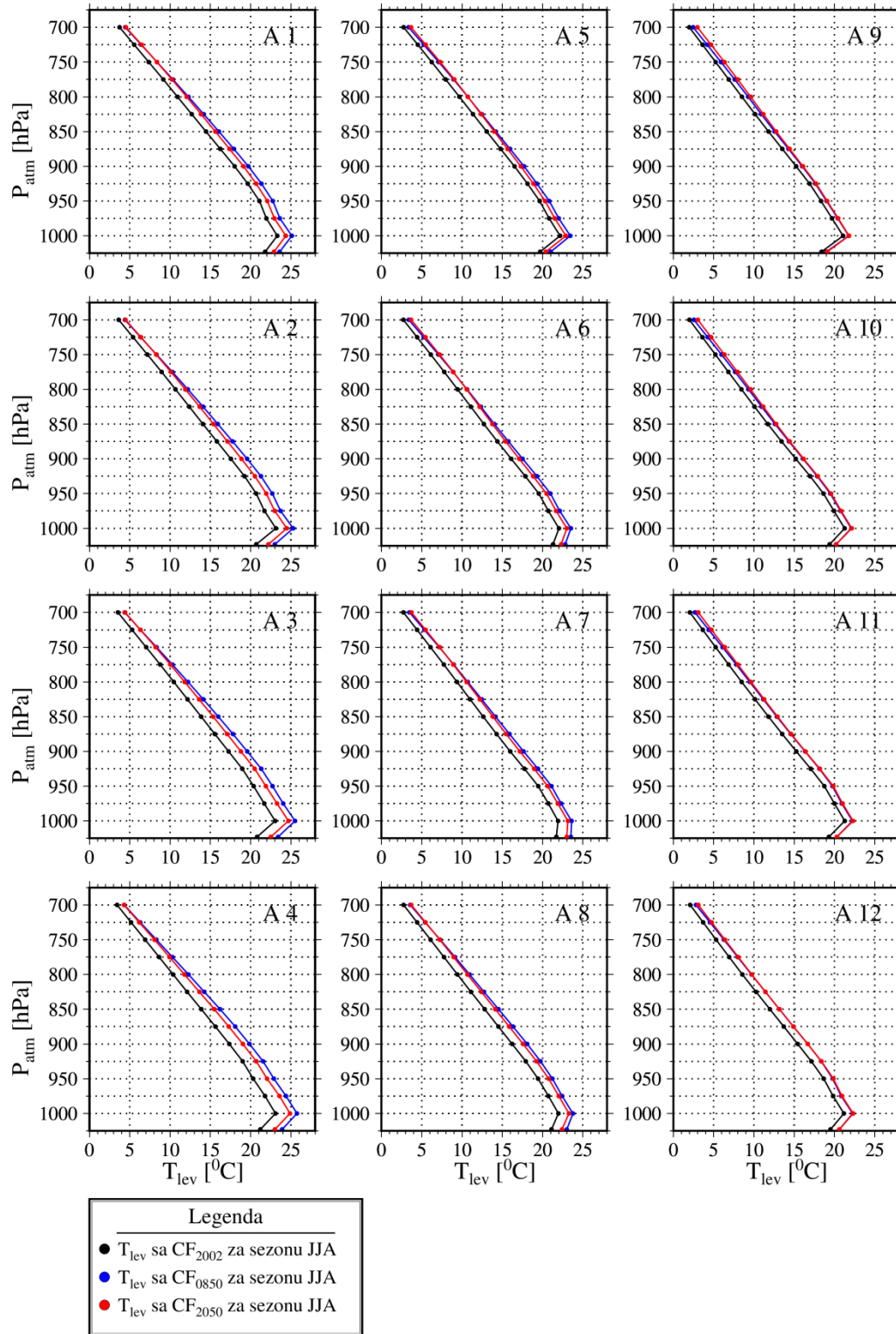
Dekadni proseci srednjih sezonskih vrednosti temperature vazduha u nižim slojevima atmosfere (T_{lev}) su prikazani na slikama 27, 28, 29 i 30, a predstavljeni su na 13 vertikalnih nivoa, preko izobarskih površina od 1000 hPa do 700 hPa, sa vertikalnim inkrementom od -25 hPa. Ovde treba napomenuti da je na izobarskoj površini od 1025 hPa predstavljena vrednost dekadnog proseka T_{2m} zbog jednostavnosti i uprošćavanja prikaza. Na datim slikama se vidi da dekadni prosek T_{lev} do 900 hPa izobarske površine prati odnos temperature, kao što je dato sa dekadnim prosekom T_{2m} po sezonama između CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀, dok se na površinama višim od 900 hPa T_{lev} polako izjednačuje između datih eksperimenata. Takođe je primećeno izjednačavanje po svim nivoima, i to najviše za sezonu MAM u severnoj i centralnoj, a za sezonu JJA u severnoj oblasti. Odnos razlika koja je dobijena za dekadne proseke T_{2m} (tabela 14) između CF₂₀₀₂ sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ je veoma slično zastupljen i za dekadne proseke T_{lev} u sloju atmosfere između 1000 hPa i 900 hPa izobarske površi. Posle ovog sloja taj odnos razlika se polako smanjuje i teži ka izjednačavanju.



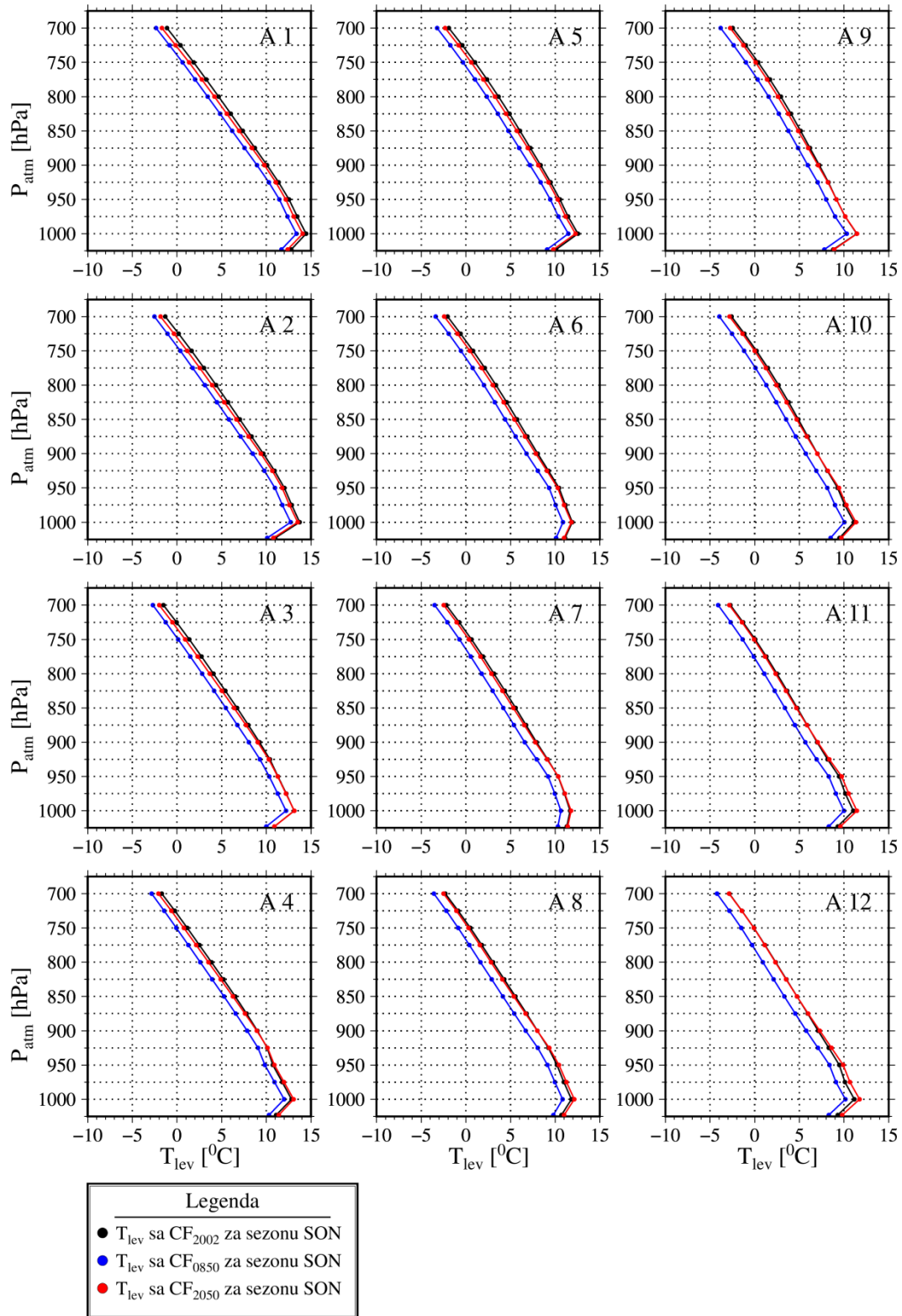
Slika 27. Regionalni dekadni prosek T_{lev} i $T_{2\text{m}}$ po sezonama



Slika 28. Dekadni prosek T_{lev} i T_{2m} za sezonu MAM



Slika 29. Dekadni prosek T_{lev} i T_{2m} za sezonu JJA



Slika 30. Dekadni prosek T_{lev} i T_{2m} za sezonu SON

4.9 Trendovi oblačnosti

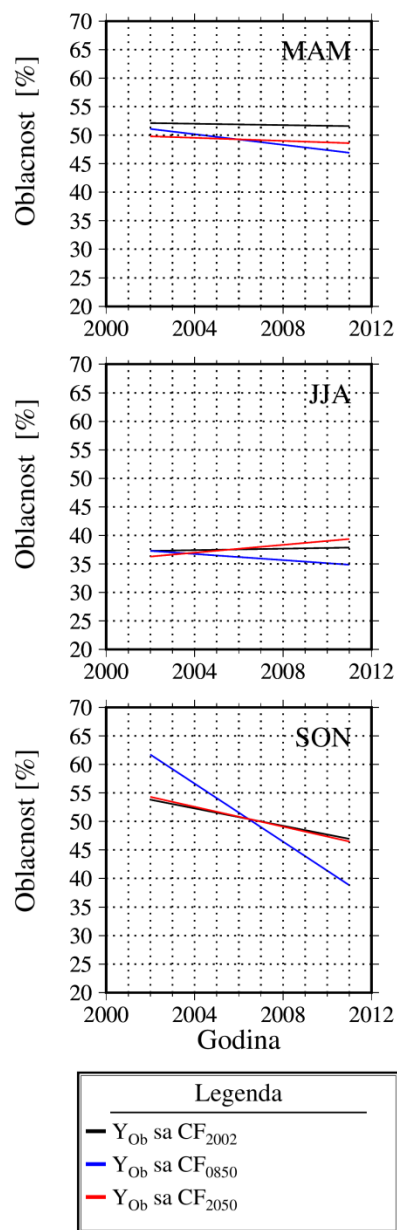
Hlađenje vazduha koje je dobijeno za sezonu JJA uglavnom se desilo usled povećanja oblačnosti iznad šumskih površina u severnoj i centralnoj oblasti i koje je dovelo do pozitivnog trenda Y_a (slika 21), a time i do negativnog trenda Y_{T2m} (slika 25), odnosno hlađenja površinskog vazduha. Oblačnost je izražena u procentima (slike 31, 32, 33 i 34) i čini ukupni oblačni pokrivač izračunat iz svih tipova oblaka koji se pojavljuju na različitim vertikalnim nivoima modela kroz atmosferu koji se potom predstavlja na jednom nivou radi lakšeg prikaza.

Negativni trend Y_{Ob} je dobijen za sezonu MAM na regionalnom, a uglavnom i na lokalnom nivou (slike 31 i 32). Pozitivni trend je dobijen u lokalnim oblastima A1, A4 i A5 sa CF_{850} , dok je sa CF_{2050} jedino dobijen pozitivan trend Y_{Ob} u oblasti A8, (prilog 6, tabela p6.5).

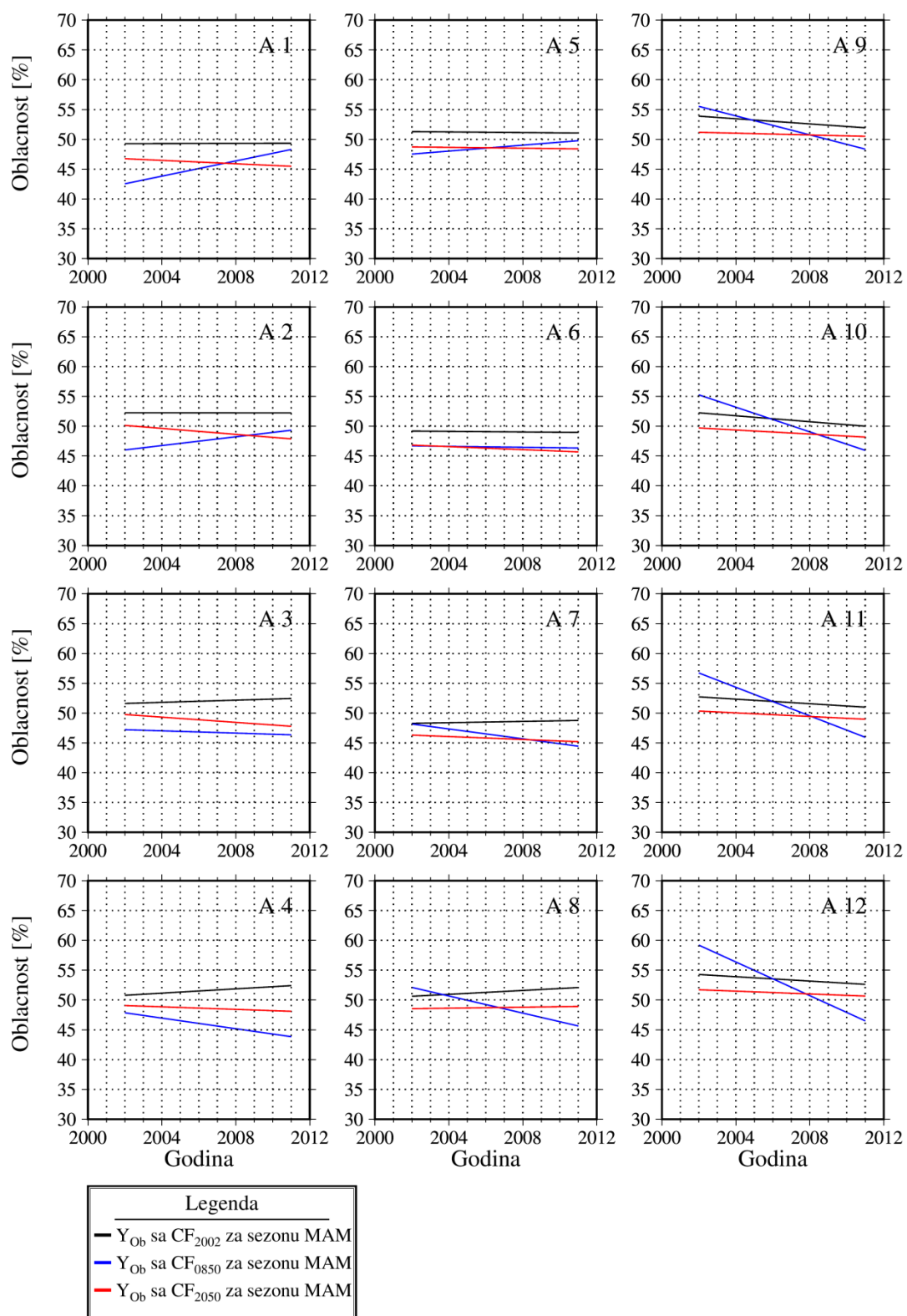
Za sezonu JJA sa CF_{850} i CF_{2050} je dobijen pozitivan trend oblačnosti (Y_{Ob}) za severnu oblast (slika 33) koji iznosi oko 0.8 %/godina i 1.0 %/godina, redom. Za centralnu oblast taj trend sa CF_{2050} je manji i uglavnom pozitivan i iznosi oko 0.1 %/godina, dok je sa CF_{850} negativan i iznosi oko -0.4 %/godina, (prilog 6, tabela p6.5). Južnu oblast karakteriše negativan trend Y_{Ob} koji iznosi oko -1.2 %/godina i -0.3 %/godina sa CF_{850} i CF_{2050} , redom.

Za sezonu SON trend Y_{Ob} (slike 31 i 34) takođe je negativan, ali veći, i okvirno se kreće oko -2.6 %/godina i -0.9 %/godina na regionalnom nivou sa CF_{850} i CF_{2050} , redom.

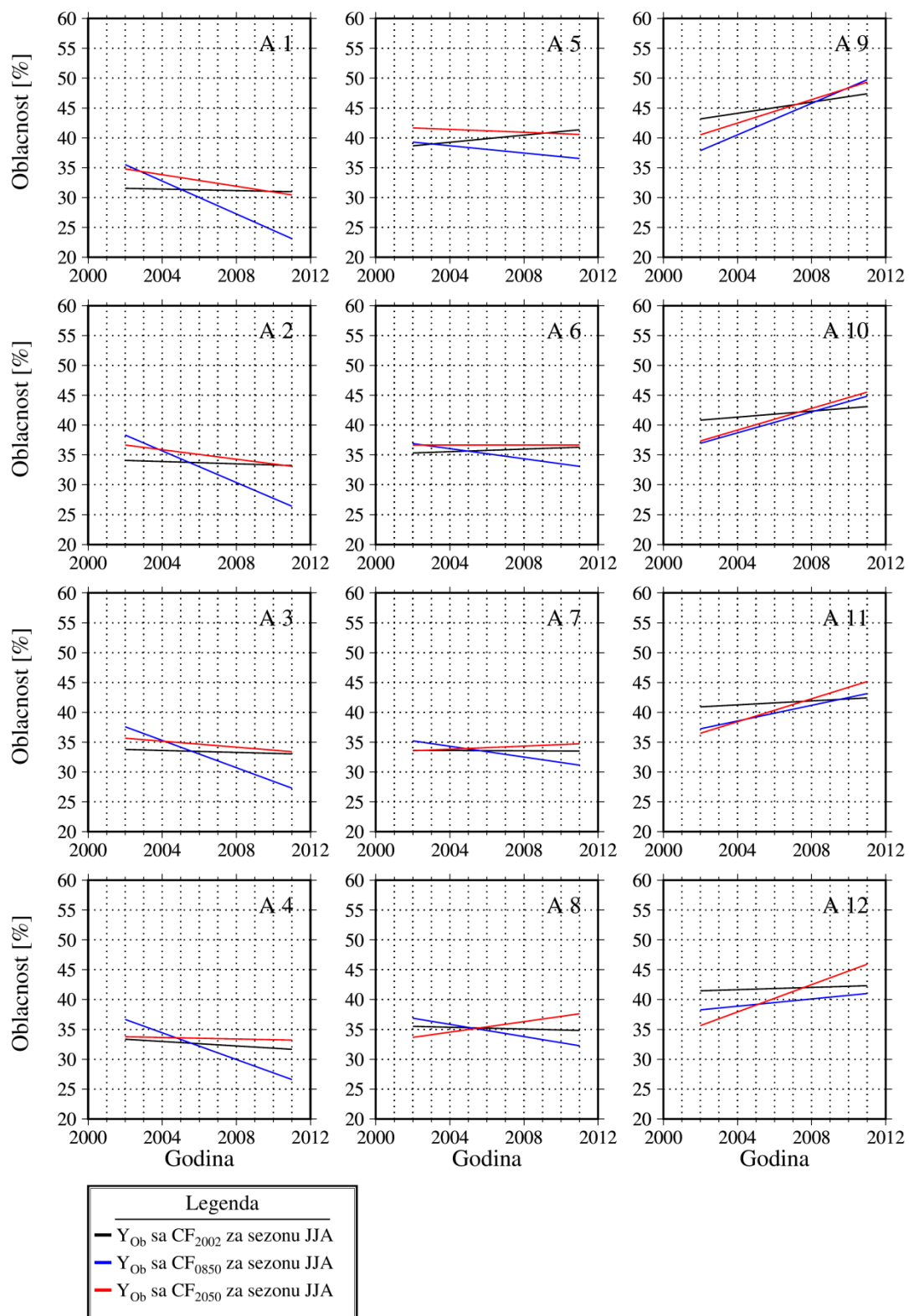
Treba napomenuti da su trendovi Y_{Ob} dobijeni sa CF_{850} i CF_{2050} uglavnom pozitivno linearno povezani sa trendom Y_{ob} koji je dobijen sa CF_{2002} . Pozitivna povezanost trendova je najviše zastupljena u sezonama JJA (slika 33) i SON (slika 34), dok za sezonu MAM (slika 32) postoji i negativna povezanost (prilog 6, tabela p6.5).



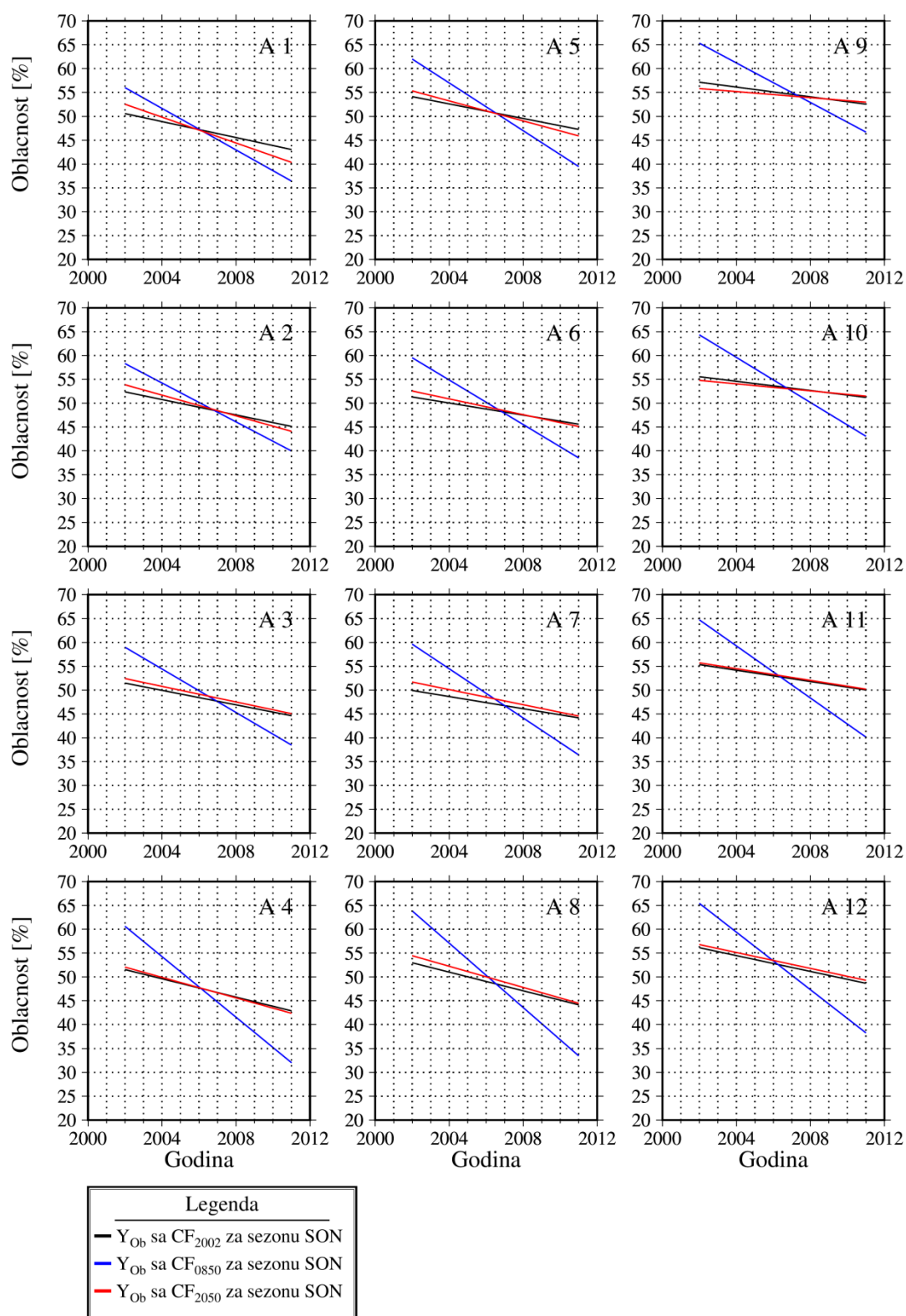
Slika 31. Regionalni trend oblačnosti Y_{Ob} po sezonama



Slika 32. Lokalni trend oblačnosti Y_{Ob} za sezonu MAM



Slika 33. Lokalni trend oblacnosti Y_{Ob} za sezonu JJA



Slika 34. Lokalni trend oblacnosti Y_{Ob} za sezonu SON

Dekadni prosek srednje sezonske ukupne oblačnosti *Ob* (prilog 6, tabela p6.6) na lokalnom nivou za sezonu MAM beleži blagi pad, a najizraženiji je u južnoj oblasti i u proseku iznosi oko 4.9% sa CF₈₅₀ i oko 3.2% sa CF₂₀₅₀. Za centralnu oblast je oko 2.4% i 2.7%, dok je za severnu oblast oko 0.7% i 2.2%. Na regionalnom nivou je takođe dobijeno smanjenje oblačnosti za 2.8% i 2.6% sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀, redom.

Sezonu JJA takođe karakteriše smanjenje *Ob* sa CF₈₅₀ za oko 15.5%, 1% i 1.5% za južnu, centralnu i severnu oblast, redom, dok je sa CF₂₀₅₀ dobijeno smanjenje u južnoj i severnoj oblasti od oko 16.7% i 0.7%, a u centralnoj postoji porast od 0.7%. Na regionalnom nivou smanjenje *Ob* sa CF₈₅₀ iznosi oko 1.4%, dok sa CF₂₀₅₀ postoji povećanje od 0.3%.

Sezonu SON uglavnom karakteriše približna identičnost rezultata *Ob* na lokalnom i regionalnom nivou između eksperimenta (prilog 6, tabela p6.6). Jedino je blagi porast zabeležen u centralnoj oblasti od oko 0.4% i 0.5% sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀, redom.

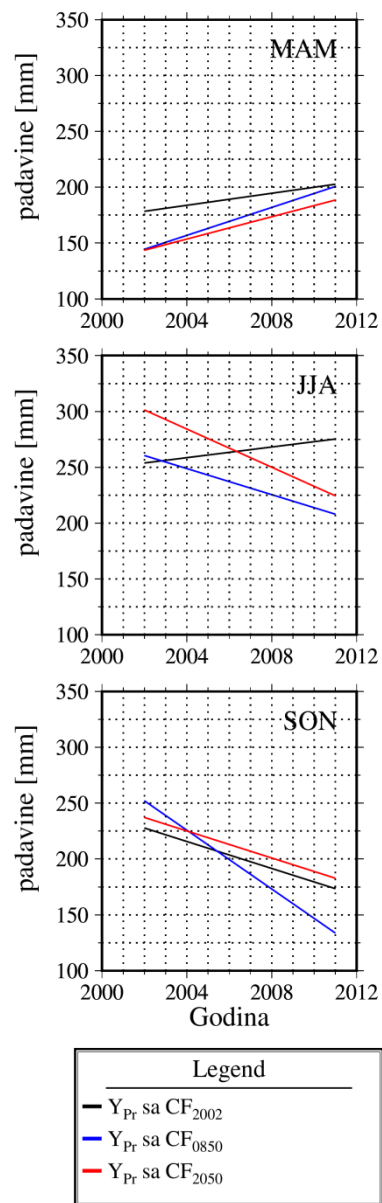
4.10 Trendovi padavina

Uglavnom negativni trend Y_{Fl} , kao i nepromenljivost trenda Y_{sw} , su doveli i do smanjenja ukupnih sezonskih padavina čiji trend (Y_{Pr}) se može videti na slikama 35, 36, 37 i 38.

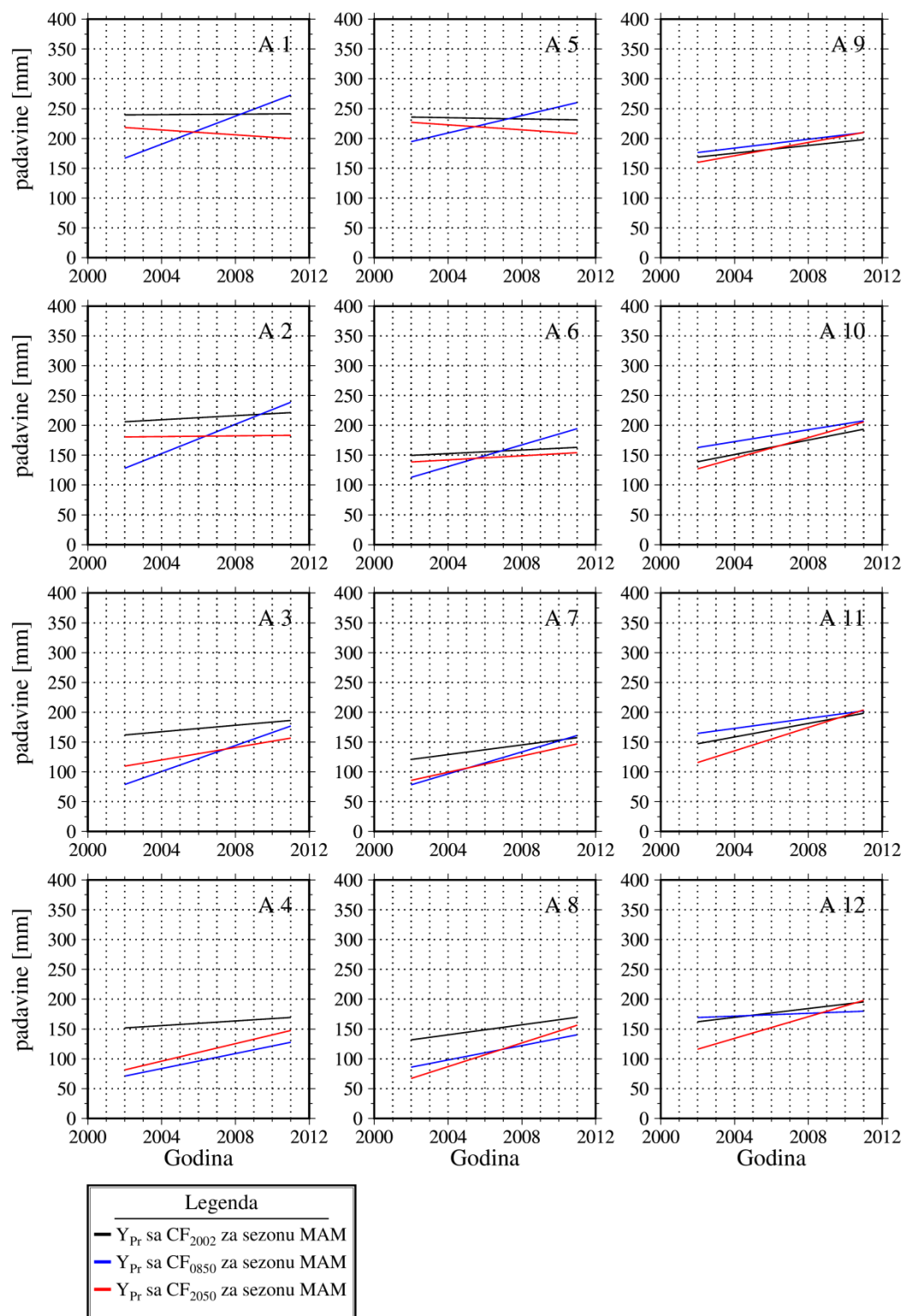
Za sezonu MAM dobijen je pozitivan trend Y_{Pr} na regionalnom nivou (slika 35), dok je na lokalnom nivou (slika 36) dobijen uglavnom pozitivan. Najveći trend Y_{Pr} je dobijen u južnoj oblasti i to sa CF_{850} , koji u proseku iznosi 10 mm/godina (prilog 6, tabela p6.7). Za centralnu oblast iznosi oko 8 mm/godina, dok je za severnu oko 4 mm/godina. Sa CF_{2050} najveći trend Y_{Pr} je dobijen za severnu oblast i iznosi oko 8 mm/godina, za centralnu oko 5 mm/godina, dok je za južnu oblast taj iznos oko 3 mm/godina. Na regionalnom nivou trendovi Y_{Pr} su približni i iznose 6.3 mm/godina i 5.0 mm/godina za CF_{850} i CF_{2050} , redom. Trendovi su uglavnom pozitivno linearno povezani dok je negativna povezanost dobijena u lokalnim oblastima A5 i A8 sa CF_{850} i u A8 sa CF_{2050} .

Za sezonu JJA (slika 37) uglavnom su dobijeni negativni trendovi Y_{Pr} , dok su pozitivni jedino dobijeni u lokalnim oblastima A9 i A10 sa CF_{850} i CF_{2050} i u lokalnoj oblasti A12, ali samo sa CF_{2050} . Najveći negativni trendovi su dobijeni za južnu oblast i u proseku iznose oko -12 mm/godina sa CF_{850} i -19 mm/godina sa CF_{2050} . Za centralnu oblast taj prosek je manji, dok je za severnu oblast najmanji (prilog 6, tabela p6.7). Za datu sezonu uglavnom je dobijena pozitivna povezanost trendova, dok je u lokalnim oblastima A5, A6, A8, A11 i A12, kao i na regionalnom nivou, dobijena negativna povezanost između trendova dobijenih sa CF_{850} i CF_{2002} , kao i između CF_{2050} i CF_{2002} , izuzev lokalne oblasti A12 u kojoj je dobijena pozitivna povezanost.

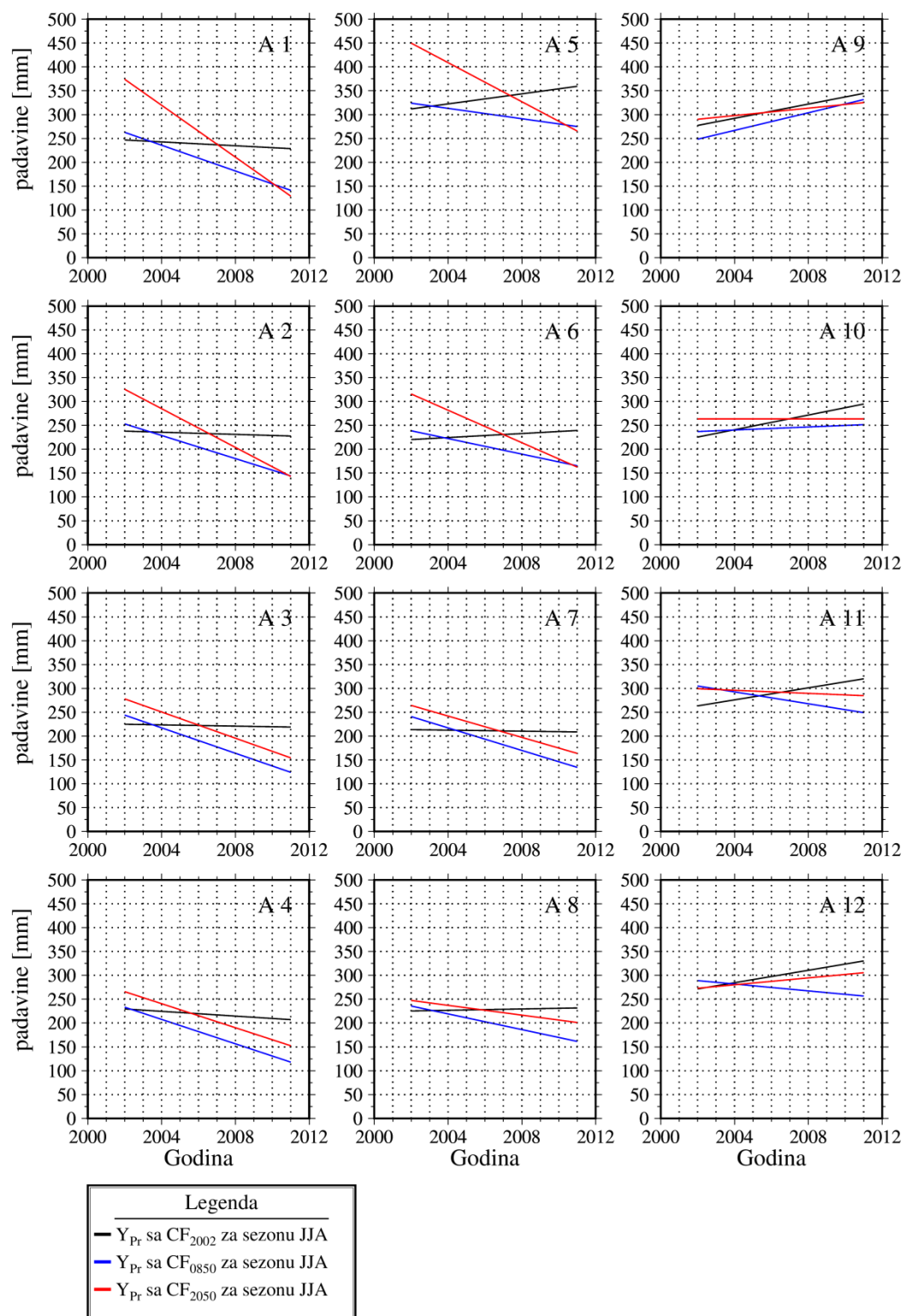
Sezonu SON (slika 35) takođe karakteriše negativni trend Y_{Pr} koji na regionalnom nivou iznosi -13 mm/godina i -6 mm/godina za CF_{850} i CF_{2050} , redom. U odnosu na trend sa CF_{2002} , na lokalnom nivou (slika 38) veći negativni trend je dobijen sa CF_{850} , dok je sa CF_{2050} dobijen znatno manji (prilog 6, tabela p6.7). Pozitivna povezanost trendova CF_{850} i CF_{2050} sa trendovima CF_{2002} je dobijena na lokalom i regionalnom nivou.



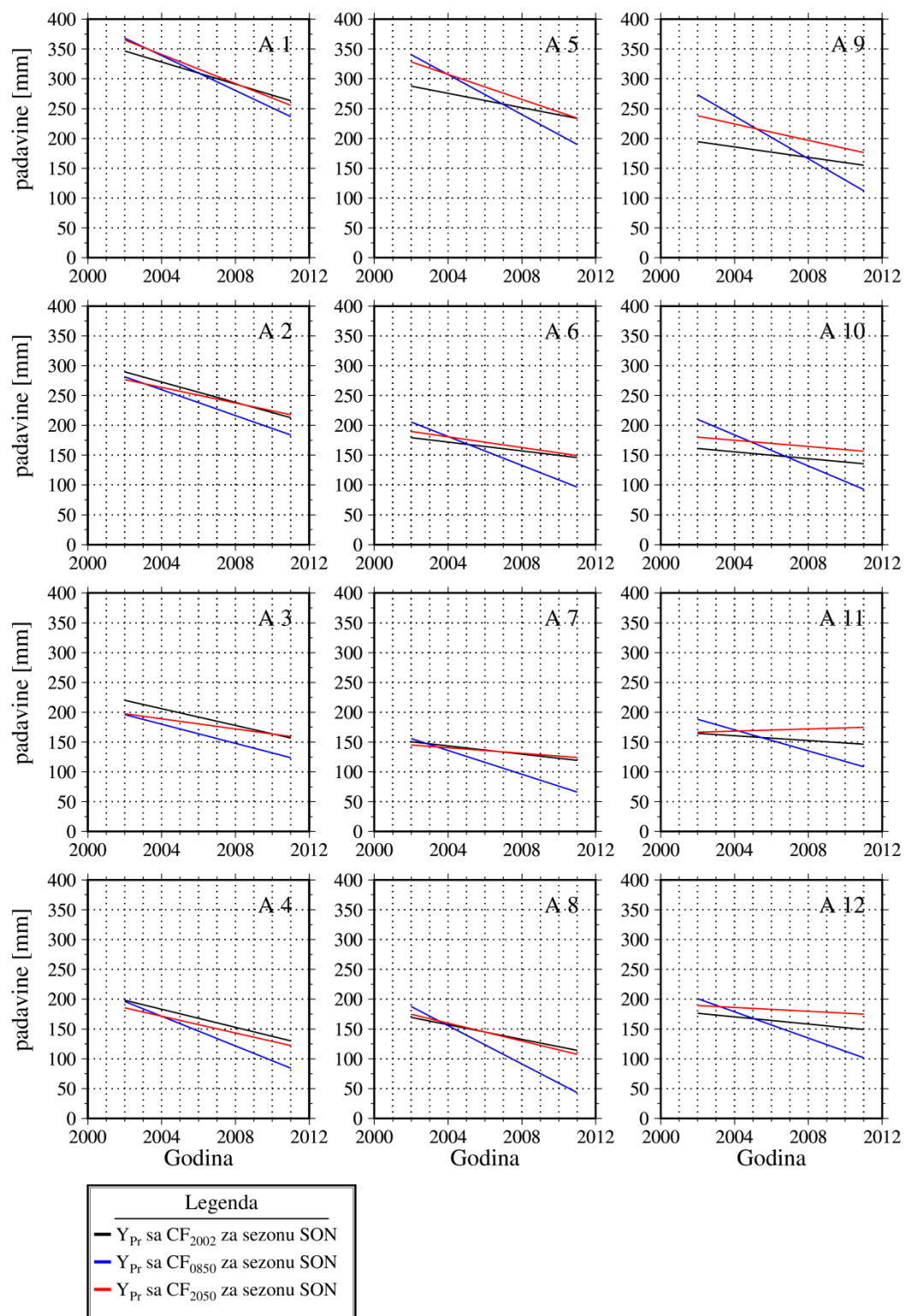
Slika 35. Regionalni trend ukupnih padavina Y_{Pr} po sezonama



Slika 36. Lokalni trend ukupnih sezonskih padavina Y_{Pr} za sezonu MAM



Slika 37. Lokalni trend ukupnih sezonskih padavina Y_{Pr} za sezonu JJA



Slika 38. Lokalni trend ukupnih sezonskih padavina Y_{Pr} za sezonu SON

Dekadni prosek ukupnih sezonskih padavina Pr (prilog 6, tabela p6.8) za sezonu MAM je smanjen za oko 41.7 mm/godina i 16.2 mm/godina u južnoj i centralnoj oblasti sa CF_{850} , redom, dok je sa CF_{2050} dobijeno slično smanjenje i iznosi oko 42.7 mm/godina i 21.7 mm/godina. Povećanje Pr od 9 mm/godina je dobijeno u severnom delu jedino sa CF_{850} , dok je sa CF_{2050} dobijeno smanjenje od 8.2 mm/godina. Na regionalnom nivou je dobijeno smanjenje od 19 mm/godina i 24 mm/godina sa CF_{850} i CF_{2050} , redom.

Sezonu JJA karakteriše smanjenje Pr u južnoj, centralnoj i severnoj oblasti od oko 37.7 mm/godina, 29 mm/godina i 20 mm/godina sa CF_{850} , redom. Sa CF_{2050} su dobijeni skoro identični rezultati za južnu i severnu oblast u odnosu na CF_{2002} , dok je u centralnoj dobijeno povećanje od 7.5 mm/godina. Na regionalnom nivou je dobijeno smanjenje od 31 mm/godina sa CF_{850} i 3 mm/godina sa CF_{2050} .

U sezoni SON je dobijeno smanjenje Pr koje u južnoj oblasti iznosi oko 18.3 mm/godina i 5 mm/godina sa CF_{850} i CF_{2050} , redom. U centralnoj oblasti sa CF_{850} postoji smanjenje od 14.7 mm/godina, dok je za severnu oblast dobijen skoro identični rezultat u odnosu na CF_{2002} . Sa CF_{2050} postoji povećanje u centralnoj i severnoj oblasti koje iznosi 6.3 mm/godina i 25.5 mm/godina, respektivno. Na regionalnom nivou je došlo do smanjenja Pr od 8 mm/godina sa CF_{850} i povećanja od 9 mm/godina sa CF_{2050} .

5. Diskusija

Brojna istraživanja pomoću klimatskih modela ukazuju na to da šume umerenog tipa hlade vazduh u poređenju sa površinama na kojima su pašnjaci ili poljoprivredni zasadi, dok druga istraživanja pokazuju suprotno (Jackson i dr., 2008, Anav i dr., 2010). Neke od ovih kontradikcija mogu se povezati sa sezonom, dostupnošću vode i sadržajem vlage u zemljištu. Ove kontradikcije su zastupljene i u našem istraživanju, gde je dobijeno da po sezonama imamo tendencije zagrevanja ili hlađenja vazduha. Tako na primer, za sezonu SON sa CF_{850} postoji trend zagrevanja, a sa CF_{2050} hlađenje prizemnog vazduha (slike 23 i 26). Takođe je dobijeno da u određenoj sezoni postoji i zagrevanje i hlađenje. Ova kontradiktornost je primećena u sezoni JJA gde je trend zagrevanja samo u južnoj oblasti dok u centralnoj i severnoj postoji trend hlađenja (slika 25).

Za trend hlađenja vazduha koji je dobijen na regionalnom nivou u sezoni JJA (slika 23), kao i u centralnoj i severnoj oblasti (slika 25), može se reći da se dešava usled povećanja šumske vegetacije umerenog tipa. Odnosno, u centralnoj i severnoj oblasti sa CF_{850} je izvršeno povećanje udela CF u pločici 4 između 30% i 60%, dok je za južnu oblast to povećanje između 15% i 25%, tabela 3. Sa CF_{2050} ovo povećanje je znatno manje i kreće se od 2% do 10% u severnoj oblasti, a za centralnu i južnu iznosi od 1% do 3%. Na regionalnom nivou u pločici 4 izvršeno je povećanje udela CF za 33% sa CF_{850} , a 2% sa CF_{2050} . Bez obzira na ove razlike između CF_{850} i CF_{2050} postignuti su skoro isti trendovi hlađenja vazduha (tabela 13) na regionalnom nivou za JJA i iznose -0.08 °C/godina i -0.09 °C/godina, redom. Takođe treba napomenuti da je na regionalnom nivou približno dobijen i trend zagrevanja za sezonu MAM i iznosi 0.37 °C/godina i 0.34 °C/godina za CF_{850} i CF_{2050} , redom. To znači da se i sa manjim povećanjem šumske vegetacije postigao približno isti trend zagrevanja, odnosno hlađenja vazduha na regionalnom nivou za sezone MAM i JJA, redom. Na lokalnom nivou je dobijeno da su koeficijenti trendova zagrevanja i hlađenja u sezonama MAM i JJA najveći u severnoj oblasti (tabela 13), što je u skladu sa postavkom eksperimenata, jer se u toj oblasti izvršila najveća promena šumske vegetacije (tabela 3).

U sezonama MAM i JJA trendovi Y_{T2m} su uglavnom pozitivno korelisani. Za sezonu SON postoji kontradiktornost, odnosno između CF_{850} i CF_{2002} je negativna korelacija trendova, gde je sa CF_{850} dobijen pozitivan trend od 0.16 °C/godina, dok je sa CF_{2002} dobijen -0.007 °C/godina, gledano na regionalnom nivou. Između CF_{2050} i CF_{2002} korelacija trendova je pozitivna i dovodi do hlađenja vazduha od -0.29 °C/godina sa CF_{2050} , tabela 13.

Takođe treba napomenuti da je za letnju sezonu sa CF_{850} i CF_{2050} dobijeno približno jednako

povećanje dekadne vrednosti srednje sezone T_{2m} , koje okvirno iznosi između 1.7 °C i 1.3 °C na regionalnom nivou (tabela 14), dok se povećanje na lokalnom nivou kreće između 0.6 °C i 2.6 °C. Ovo povećanje temperature vazduha je uglavnom prouzrokovano smanjenjem površinskog albeda (prilog 6, tabela p6.4), koje je dobijeno promenama sa CF u eksperimentima. Tako na primer u severnoj oblasti sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ su izvršena najveća povećanja šumske vegetacije (slika 3, a.2 i b.2), a dobijeno je najmanje povećanje dekadne vrednosti srednje sezone mesečne T_{2m} za oko 0.87 °C sa CF₈₅₀ i 0.9 °C sa CF₂₀₅₀. Za centralnu oblast sa CF₈₅₀ i CF₂₀₅₀ povećanje iznosi oko 1.5 °C i 1 °C dok je za južnu oblast, u kojoj je izvršeno najmanje povećanje šumske vegetacije, povećanje najveće i iznosi oko 2.3 °C i 1.5 °C, redom. Za sezonu MAM na regionalnom nivou ovo povećanje iznosi 1.1 °C sa CF₈₅₀ i 1 °C sa CF₂₀₅₀ (tabela 14). Smanjenje dekadne vrednosti srednje mesečne T_{2m} dobijeno je za sezonu SON oko -0.9 °C/dekada sa CF₈₅₀ dok je sa CF₈₅₀ dobijeno povećanje od oko 0.1 °C/dekada.

Hlađenje vazduha koje se dešava u sezoni JJA, kao i zagrevanja tokom prolećne sezone usled uticaja povećanja šumske vegetacije, su u svom istraživanju zabeležili i [Tölle i dr., \(2018\)](#). Takođe, dobijeni rezultati su u skladu i sa daljinskim i sa površinskim osmatranjima koji su nađeni za prostor srednje Evrope ([Alkama i Cescatti, 2016](#); [Bright i dr., 2017](#)). Koristeći satelitske podatke za približno isti period [Tang i dr. \(2018\)](#) su pokazali da postoji razlika između površina pod šumskom vegetacijom i otvorenog zemljišta u sezonskim varijacijama maksimalne i minimalne površinske temperature vazduha na Evropskom kontinentu. Uočeno je da šumske površine imaju trend hlađenja površinske temperature vazduha tokom letnje sezone i zagrevanja tokom zimske. Takođe su pokazali da se ovi trendovi povećavaju kako se ide od nižih do viših geografskih širina što je u skladu sa dobijenim rezultatima u ovoj disertaciji.

Povećanje oblačnosti, koje je dobijeno u ovom istraživanju, tokom letnje sezone nad površinama prekrivenim šumskom vegetacijom je u skladu sa rezultatima koje su dobili [Teuling i dr. \(2017\)](#). Oni su u svom istraživanju dobili da je za sezonu JJA povećana učestalost formiranja oblaka iznad šuma umerenog tipa u određenim regionima zapadne Evrope i iznosi između 5% i 15%. Rezultati u disertaciji se slažu sa njihovim rezultatima vrednosti albeda koje su dobili, kao i sa vrednostima fluksa osetne toplote iznad šumske vegetacije umerenog tipa.

Hlađenje prizemnog vazduha putem evapotranspiracije nije postignuto pomoću povećanja šumske vegetacije, iako su takvi rezultati bili za očekivanje. Na slikama 11, 12, 13 i 14 se jasno vidi da izmenama vegetacije nije došlo do značajne promene sadržaja vlage u zemljištu, a samim tim je prouzrokovao negativan trend Y_{FI} u letnjoj i jesenjoj sezoni, slike 6, 8, 9 i 10. Takođe, u letnjoj i jesenjoj sezoni je zabeležen i negativan trend ukupnih sezonskih padavina, slike 35, 37 i 38. Problem se

može potražiti u malom vremenskom roku istraživanja, jer za vreme od 10 godina izmena vegetacije nije uspela da postigne povećanje vlage u zemljištu, kao ni povećanje ukupnih sezonskih padavina, iako je bilo za očekivati ta povećanja. Jedan od eksperimenta gde je vremenski rok bio veliki izvršili su [Port i dr. \(2012\)](#) sa modelom MPI-ESM. U njemu je pokazano da promenom vegetacije dolazi do blage promene klime na globalnom nivou, dok je na regionalnom nivou ova promena izraženija. Njihovo istraživanje obuhvata period između 1850. i 2300. Godine, a u periodu posle 2050. godine zabeležili su povećanje površina pod šumskom vegetacijom, koja su dovela do blagog povećanja padavina, kao i do povećanja sadržaja vode u zemljištu u regionu zapadne i centralne Evrope.

Promene srednjih sezonskih temperatura T_{2m} i T_{lev} koje su dobijene u eksperimentima CF₈₅₀, CF₂₀₀₂ i CF₂₀₅₀ su prouzrokovane promenom energetskog bilansa na površini Zemlje u Panonskom basenu kao posledica smanjenja površinskog albeda usled značajnog povećanja šumske vegetacije i smanjenja poljoprivrednih i travnatih površina sa CF₈₅₀, dok je ova promena sa CF₂₀₅₀ manjeg obima. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa rezultatima koje su dobili [Duveiller i dr. \(2018\)](#), istražujući uticaj promene vegetacije na površinski energetski bilans Zemlje u sličnom periodu. Pokazali su da je u periodu od 2000. do 2015. godine usled promena u površinskom bilansu energije, koje su prouzrokovane promenama u vegetaciji, došlo do porasta površinske temperature od 0.23 ± 0.3 °C gde je došlo do smanjenja šumske vegetacije. Dobijeni rezultati su takođe u saglasnosti i sa istraživanjem koje su uradili [Pongratz i dr. \(2009\)](#), a koji su utvrdili da na regionalnom i lokalnom nivou postoji značajan uticaj na klimu usled promena površinskog energetskog bilansa u predindustrijskom periodu (od 800. do 1900. godine) usled antropogenog uticaja na životnu sredinu. Antropogeni uticaj se najviše ispoljavao kroz ekspanziju poljoprivrede koja je dovela do smanjenja šumskih površina, a time i do promena u površinskom albedu. Takođe su [Brovkin i dr. \(2013b\)](#) došli do zaključka da je u oblastima na regionalnom nivou, gde je bila izvršena značajna promena u površinskom vegetacionom pokrivaču, došlo do promene u površinskom albedu, odnosno u površinskom bilansu energije, što je u skladu i sa rezultatima dobijenim u disertaciji.

6. Zaključak

Glavni cilj doktorske disertacije je bio da se metodom numeričkih simulacija korišćenjem sadašnjih globalnih klimatskih uslova, uz promenu zastupljenosti vegetacionog pokrivača samo u Panonoskom basenu, istraži koliki bi uticaj ove promene bio na lokalnu i regionalnu klimu. Da bi ostvarili glavni cilj doktorske disertacije korišćen je globalni klimatski model MPI-ESM. Ovakav tip eksperimenta nije još rađen za region Panonskog basena, tako da su rezultati ove doktorske disertacije veoma značajni i korisni za dalje istraživanje klimatskih promena u regionu. Ovom metodom se pokazalo da je moguće izvođenje istih ili sličnih eksperimenata u cilju boljeg razumevanja uticaja životne sredine na lokalnu i regionalnu klimu.

Bio-geofizičke promene koje su izvedene u našim eksperimentima direktno su prouzrokovale promenu energetskeg bilansa na površini Zemlje. Izmena zastupljenosti tipova CF u ovom istraživanju pokazuje da je dovelo do:

1. Povećanja dekadne vrednosti koeficijenta aerodinamičke (z_0) hrapavosti koje se okvirno kreće između 50 % i 85 % za sve sezone sa CF_{850} , dok je sa CF_{2050} 6%, 2% i 0% za sezone MAM, SON i JJA, redom.

2. Povećanje dekadne vrednosti indeksa lisne (LAI) površine između 5% i 40% sa CF_{850} za sve sezone, dok je sa CF_{2050} oko 10% sa sezonu MAM, a dobijeno je smanjenje od oko -2% za sezonu JJA i -12% za sezonu SON.

3. Dobijeni su uglavnom negativni trendovi fluksa latentne toplote (Y_{Fl}) za sezone JJA i SON, dok je pozitivan trend je postignut za sezonu MAM sa CF_{2050} a sa CF_{850} je dobijen samo u 5 lokalnih oblasti.

4. U eksperimentima nije došlo do značajne promene sadržaja vlage u zemljištu.

5. Najveća sličnost u nagibu trenda fluksa osetne toplote (Y_{Fh}) i trenda srednje sezonske temperature vazduha u blizini zemljine površine (Y_{T2m}) je dobijena za sezonu JJA i to severnoj i južnoj oblasti.

6. Pozitivan trend površinskog albeda (Y_a) je dobijen u sezoni JJA sa CF_{850} i iznosi između 0.13% %/godina i 0.29 %/godina za severnu oblast, a 0.06 %/godina za centralnu i 0.001 %/godina za južnu oblast, dok je sa CF_{2050} je dobijen negaivan trend Y_a na regionalnom i lokalnom nivou. Za sezonu SON dobijeni su negativni trendovi Y_a , dok su za sezonu MAM uglavnom dobijeni negativni trendovi, gde je jedino sa CF_{2050} u 5 lokalnih oblasti zabeležen pozitivan trend Y_a .

7. Negativan trend $Y_{T_{2m}}$ je dobijen za sezonu JJA koji u severnoj oblasti iznosi oko -0.3 °C/godina, dok je u centralnoj oblasti -0.1 °C/godina. Negativan trend $Y_{T_{2m}}$ je dobijen za sezonu SON na regionalnom i lokalnom nivou ali samo sa CF_{2050} eksperimentom.

8. Povećanje dekadne vrednosti srednjih sezonskih temperatura vazduha u blizini Zemljine površine (T_{2m}) je u proseku 1 °C za sezonu MAM sa CF_{850} i CF_{2050} , za sezonu JJA oko 1.7 °C sa CF_{850} i 1.3 °C sa CF_{2050} , za sezonu SON je 0.1 °C sa CF_{2050} , dok je sa CF_{850} dobijeno smanjenje od -0.9 °C.

9. Za sezonu JJA sa CF_{850} i CF_{2050} je dobijen pozitivan trend oblačnosti (Y_{Ob}) za severnu oblast i iznosi oko 0.8 %/godina i 1.0 %/godina, redom. Za centralnu oblast taj trend sa CF_{2050} je manji i uglavnom pozitivan i iznosi oko 0.1 %/godina, dok je sa CF_{850} negativan i iznosi oko -0.4 %/godina. Južnu oblast karakteriše negativan trend Y_{Ob} koji iznosi oko -1.2 %/godina i -0.3 %/godina sa CF_{850} i CF_{2050} , redom. Sezonu MAM i SON uglavnom karakteriše negativni trend Y_{Ob} .

10. Pozitivan trend ukupnih padavina (Y_{Pr}) je uglavnom dobijen za sezonu MAM, a najveći je dobijen u južnoj oblasti, oko 10 mm/godina sa CF_{850} , za centralnu oko 8 mm/godina, a za severnu oko 4 mm/godina. Sa CF_{2050} najveći trend Y_{Pr} je dobijen za severnu oblast i iznosi oko 8 mm/godina, za centralnu oko 5 mm/godina, dok je za južnu oblast taj iznos oko 3 mm/godina. Za sezonu JJA uglavnom su dobijeni negativni trendovi Y_{Pr} , dok sezonu SON takođe karakteriše negativni trend.

Eksperimentima je dobijen trend hlađenja vazduha u letnjoj sezoni a u jesenjoj sezoni trend hlađenja je dobijen jedino sa eksperimentom CF_{2050} , dok prolećnu sezonu karakteriše trend zagrevanja prizemnog vazduha. Promena trenda $Y_{T_{2m}}$ je uglavnom dobijena usled promene u površinskom albedu kao i usled promene oblačnosti. Ovim istraživanjem postignut je postavljeni cilj i pokazano je da postoji značajan antropogeni uticaj na klimatske promene kako na lokalnom tako i na regionalnom nivou. Pokazano je da se može ublažiti zagrevanje u letnjoj sezoni u određenim oblastima, kao i da se ubrza povećanje prizemne temperature vazduha u prolećnoj sezoni, dok je za jesenju sezonu postignuto hlađenje i zagrevanje.

Postignuti su rezultati koji su u skladu sa većinom istraživanja rađenih na ovu temu. Kao i u većini istraživanja koja su izvršena za slični geografski položaj na temu uticaja šumske vegetacije umerenog tipa na klimatske elemente, dobijeni su kontradiktorni rezultati u jesenjoj sezoni kao posledica složenog uticaja šumske vegetacije ovog tipa u oblasti srednjih geografskih širina.

Potvrdu da vegetacioni sistem ima značajnu ulogu u određivanju klimatskih uslova u regionu u ovoj doktorskoj disertaciji je prikazana i preko dobijenih rezultata za klimatske tipove pomoću metode Köppen–Geiger klimatske klasifikacije. Pomoću ove metode pokazalo se da je, sa klimatskim

simulacijama koje su isključile antropogeni uticaj na vegetaciju, došlo do redukcije oblasti sa toplim letnjim mediteranskim klimatskim tipom (*Csa*) u predelu centralnog i jugoistočnog dela Panonskog basena u periodu 2071-2100 godine. U istom periodu je takođe došlo i do zamene hladnog sušnog klimatskog tipa (*Bsk*) sa *Csa* u centralnim i jugoistočnim predelima Panonskog basena. Dok su klimatske simulacije, koje nisu isključile antropogeni uticaj na vegetaciju, dovele do formiranja većih oblasti pod *Csa* i *Bsk* klimatskim tipom.

Literatura:

Alkama R. and Cescatti A. (2016) Biophysical climate impact of recent changes in global forest cover. *Science*, 351, 600–604, doi: 10.1126/science.aac8083.

Anav A., Ruti P. M., Artale V., Valentini R. (2010) Modelling the effects of land-cover changes on surface climate in the Mediterranean region. *Climate Research*, 41, 91-104.

Arakawa A. and Lamb V. R. (1977) Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods Computational Physics*, 17, 173–265.

Arneth A., Sitch S., Bondeau A., Butterbach-Bahl K., Foster P., Gedney N., de Noblet-Ducoudré N., Prentice I. C., Sanderson M., Thonicke K., Wania R. and Zaehle S. (2010) From biota to chemistry and climate: towards a comprehensive description of trace gas exchange between the biosphere and atmosphere. *Biogeosciences*, 7, 121-149.

Balla G., Caldeira K., Wickett M., Phillips T. J., Lobell D. B., Delire C., Mirin A. (2007) Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings National Academy Sciences*, 104, 6550–6555.

Barry R. G. and Chorley R. J. (1992) *Atmosphere, Weather & Climate*, 6th edn. Routledge, London. 392pp.

Bastos A., Gouveia M. C., Trigo M. R., Running W. S. (2013) Analysing the spatio-temporal impacts of the 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. *Biogeosciences*, 11, 3421–3435, 2014, doi:10.5194/bg-11-3421-2014.

Bathiany S., Claussen M., Brovkin V., Raddatz T., Gayler V. (2010) Combined biogeophysical and biogeochemical effects of large-scale forest cover changes in the MPI earth system model. *Biogeosciences*, 7, 1383-1399, <https://doi.org/10.5194/bg-7-1383-2010>, 2010.

Berrisford P, Dee D. P., Poli P., Brugge R., Fielding K., Fuentes M., Kållberg P. W., Kobayashi S., Uppala S., Simmons A. (2011) The ERA interim archive, <http://www.ecmwf.int/publications/>.

Betts R. A. (2006) Forcings and feedbacks by land ecosystem changes on climate change. *Journal of Physics IV France*, 139, 123-146, doi:10.1051/jp4:2006139009.

Betts A. K. and Ball J. H. (1997) Albedo over the boreal forest. *Journal of Geophysics Research*, 102, 28901-28910, doi:10.1029/96JD03876.

Bevan L. S., Los O. S., North J. R. P. (2013) Response of vegetation to the 2003 European drought was mitigated by height. *Biogeosciences*, 11, 2897–2908, 2014, doi:10.5194/bg-11-2897-2014.

Bonan G. B. (2008) *Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks and the Climate Benefits of Forests*. *Science* 320, 1444, doi:10.1126/science.1155121.

- Bright R., Davin E., O'Halloran T. et al. (2017) Local temperature response to land cover and management change driven by non-radiative processes. *Nature Climate Change*, 7, 296–302, <https://doi.org/10.1038/nclimate3250>.
- Brinkop S. and Roeckner E. (1995) Sensitivity of a general circulation model to parameterizations of cloud-turbulence interactions in the atmospheric boundary layer. *Tellus*, 47A, 197–220.
- Brovkin V., Claussen M., Driesschaert E., Fichet T., Kicklighter D., Loutre M. F., Matthews H. D., Ramankutty N., Schaeffer M., Sokolov A. (2006) Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six earth system models of intermediate complexity. *Climate Dynamics*, 26, 587–600.
- Brovkin V., Boysen L., Raddatz T., Gayler V., Loew A., Claussen M. (2013a) Evaluation of vegetation cover and landsurface albedo in MPI-ESM CMIP5 simulations. *Journal of Advance Modeling Earth Systems*, 5, 48–57, doi:10.1029/2012MS000169.
- Brovkin V., Boysen L., Pongratz J., et al. (2013b) Effect of Anthropogenic Land-Use and Land-Cover Changes on Climate and Land Carbon Storage in CMIP5 Projections for the Twenty-First Century. *Journal of Climate*, 6859–6881, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00623.1.
- Brown R. D., Gillespie T. J. (1995) *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. Wiley, New York.
- Claussen M., Brovkin V., Ganopolski A. (2001) Biogeophysical versus biogeochemical feedbacks of large-scale land cover change. *Geophysical Research Letters*, 28, 1011–1014, doi: 10.1029/2000GL012471.
- Copernicus Marine Service (CMS). <https://marine.copernicus.eu/>
- Duveiller G., Hooker J., Cescatti A. (2018) The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance. *Nature Communications*, doi: 10.1038/s41467-017-02810-8.
- Ellison D., Futter M., Bishop K. (2012) On the forest cover – water yield debate: From demand-to supply-side thinking. *Global Change Biology*, 18, 2677–2680, doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02703.x.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2016) *Global forest resources assessment 2015 second edition*. ISBN 978-92-5-109283-5.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2020) *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome <https://doi.org/10.4060/ca9825e>.
- Gavrilov B. M., Marković B. S., Schaetzl J. R., Tošić I., Zeeden Ch. Obrecht I., Sipos G., Ruman A., Putniković S., Emunds K., Perić Z., Hambach U., Lehmkuhl F. (2018) Prevailing surface winds in Northern Serbia in the recent and past time periods; modern- and past dust deposition. *Aeolian Research*, 31, 117–129, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.07.008>.
- Geiger Rudolf (1954) *Klassifikation der Klimate nach W. Köppen (Classification of climates after W. Köppen)*. Landolt-Börnstein–Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie. Berlin: Springer. 3. pp. 603–607.

Geiger Rudolf (1961) Überarbeitete Neuauflage von Geiger, R.: Köppen-Geiger / Klima der Erde. (Wandkarte 1:16 Mill.) – Klett-Perthes, Gotha.

Giorgetta A. M., Roeckner E., Mauritsen T., Stevens B., Bader J., Crueger T., Esch M., Rast S., Kornbluh L., Schmidt H., Kinne S., Möbis B., Krismer T. (2013a) The atmospheric general circulation model ECHAM6, Model description. Technical note, Reports on Earth System Science, ISSN 1614-1199.

Giorgetta A. M., et al. (2013b) Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advance Modeling Earth Systems*, 5, 572–597, doi:10.1002/jame.20038.

Hagemann S. (2002) An improved land surface parameter, dataset for global and regional climate models, Max Planck Institute for Meteorology, Report 336.

Heck P., Lüthi D., Wernli H., Schär C. (2001) Climate impacts of European-scale anthropogenic vegetation changes: A sensitivity study using a regional climate model. *Journal of Geophysics Research*, <https://doi.org/10.1029/2000JD900673>.

Houldcroft C. J et al. (2008) New Vegetation Albedo Parameters and Global Fields of Soil Background Albedo Derived from MODIS for Use in a Climate Model. *American Meteorological Society Journal of hydrometeorology*, doi: 10.1175/2008JHM1021.1.

Hurt G. C., et al. (2011) Harmonization of land-use scenarios for the period 1500–2100: 600 years of global gridded annual land-use transitions, wood harvest, and resulting secondary lands. *Climate Change*, 109, 117–161, doi:10.1007/s10584-011-0153-2.

Iacono M. J., Delamere J. S., Mlawer E. J., Shephard M. W., Clough S. A., Collins W. D. (2008) Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *Journal of Geophysics Research*, 113, D13103, doi:10.1029/2008JD009944.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors LS, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis IM, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews RBJ, Maycock KT, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B. ISBN 978-92-9169-158-6.

Jackson R. B., et al. (2008) Protecting climate with forests. *Environmental Research Letters*, 3, 044006, doi:10.1088/1748-9326/3/4/044006.

Jeuken A., Siegmund P., Heijboer L., Feichter J., Bengtsson L. (1996) On the Potential of assimilating meteorological analyses in a global climate model for the purposes of model validation. *Journal of Geophysics Research*, 101, 16 939–16 950.

Kendall M. G. (1975) *Rank Correlation Methods*. New York, NY: Oxford University Press.

- Knorr W. (2000) Annual and interannual CO₂ exchanges of the terrestrial biosphere: Process-based simulations and uncertainties. *Global Ecology and Biogeography*, 9, 225–252, doi: 10.1046/j.1365-2699.2000.00159.x
- Koster R. D., and Suarez J. M. (1992) A comparative analysis of two land surface heterogeneity representations, *J. Clim.*, 5, 1379–1390, American Meteorological Society. Krishnamurti N. T., Xue J., Bedi S. H., Ingles K. and D. Oosterhof (1991). Physical initialization for numerical weather prediction over the tropics. *Tellus*, 43AB:53–81.
- Kotték M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate updated Article in *Meteorologische Zeitschrift*, 15, No. 3, 259-26, doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Köppen W. (1900) Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt (Attempted climate classification in relation to plant distributions). *Geogr. Zeitschrift*, 6, 593-611, 657-679.
- Krishnamurti N. T., Xue J., Bedi S. H., Ingles K., Oosterhof D. (1991) Physical initialization for numerical weather prediction over the tropics. *Tellus*, 43AB:53–81, 1991.
- Lee X., Goulden M. L., Hollinger Y. D., et al. (2011) Observed increase in local cooling effect of deforestation at higher latitudes. *Nature*, 479, 384-387, doi:10.1038/nature10588.
- Liu L., Zhang R. and Zuo Z. (2016) The Relationship between Soil Moisture and LAI in Different Types of Soil in Central Eastern China. American Meteorological Society, *Journal of hydrometeorology*, doi: 10.1175/JHM-D-15-0240.1.
- Lohmann U. and Hoose C. (2009) Sensitivity studies of different aerosol indirect effects in mixed-phase clouds. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 8917–8934, doi:10.5194/acp-9-8917-2009, 2009.
- Lohmann U. and Hoose C. (2009) Sensitivity studies of different aerosol indirect effects in mixed-phase clouds. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 8917–8934, <https://doi:10.5194/acp-9-8917-2009>, 2009.
- Louis J. F. (1979) A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Boundary-Layer Meteorology*, 17, 187–202.
- Mann H. B. (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245–259. <https://doi:10.2307/1907187>
- Marković B. S., Ruman A., Gavrilov B. M., Stevens T., Zorn M., Komac B., Perko D. (2013) Modelling of the Aral and Caspian seas drying out influence to climate and environmental changes. *Acta geographica Slovenica*, 54-1, 2014, 143–161, doi: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS54304>.
- Matthews H. D., Weaver A. J., Meissner K. J., Gillet N. P., Eby M. (2004) Natural and anthropogenic climate change: incorporating historical land cover change, vegetation dynamics and the global carbon cycle. *Climate Dynamics*, 22, 461–479, 2004.

- Nordeng T. E. (1994) Extended versions of the convective parameterization scheme at ECMWF and their impact on the mean and transient activity of the model in the tropics. Technical Memorandum 206, ECMWF, Reading, UK.
- O'Neill B. C., Tebaldi C., van Vuuren D. P., Eyring V., Friedlingstein P., Hurtt G., Knutti R., Kriegler E., Lamarque J. F., Lowe J., Meehl A. G., Moss R., Riahi K., Sanderson M. B. (2016) The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9, 3461–3482, 2016, doi:10.5194/gmd-9-3461-2016.
- Otto J., Raddatz T., Claussen M. (2011) Strength of forest-albedo feedback in mid-Holocene climate simulations. *Climate of the Past*, 7, 1027–1039, 2011, doi:10.5194/cp-7-1027-2011.
- Peel M. C, Finlayson B. L, McMahon T. A. (2007) Updated world map of the Köppen Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 11, 1633–1644, 2007, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.
- Pielke R. A., Adegoke J., Beltran-Przekurat A., Hiemstra C. A., Lin J., Nair U. S., Niyogi D., Nobis T. E. (2007) An overview of regional land-use and landcover impacts on rainfall. *Tellus*, 59, 587–601, doi:10.1111/j.1600-0889.2007.00251.x.
- Pitman A. J., Cruz T. F., Brovkin V., de Noblet-Ducoudre N., et al. (2009) Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study. *Geophysics Research Letters*, 36, L14814, doi:10.1029/2009GL039076.
- Pongratz J. et al. (2008) A reconstruction of global, agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB3018, doi:10.1029/2007GB003153.
- Pongratz J., Raddatz T., Reick H. C., Esch M., Claussen M. (2009) Radiative forcing from anthropogenic land cover change since A.D. 80. *Geophysical Research Letters*, 36, L02709, doi:10.1029/2008GL036394.
- Port U., Brovkin V., Claussen M. (2012) The influence of vegetation dynamics on anthropogenic climate change. *Earth System Dynamics*, 3, 233–243, 2012, doi:10.5194/esd-3-233-2012.
- Rast S., Brokopf R., Cheedela S-K., Esch M., Gayler V., Kirchner I., Kornblüh L., Rhodin A., Schmidt H., Schulzweida U., Wieners K-H. (2013) User manual for ECHAM6. Reports on Earth System Science, ISSN 1614-1199, version echam-6.1.06p3-guide-1.3.
- Reick C. H., Raddatz T., Brovkin V., Gayler V. (2013) Representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM. *Journal of Advanced Modeling Earth Systems*, 5, 459–482, doi:10.1002/jame.2002.
- Riahi K., Krey V., Rao S., Chirkov V., Fischer G., Kolp P., Kindermann G., Nakicenovic N., Rafai P. (2011) RCP-8.5 Exploring the consequence of high emission trajectories. *Climate Change*, 109, 33–57, doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Rotenberg E. and Yakir D. (2010) Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327, 451-454.

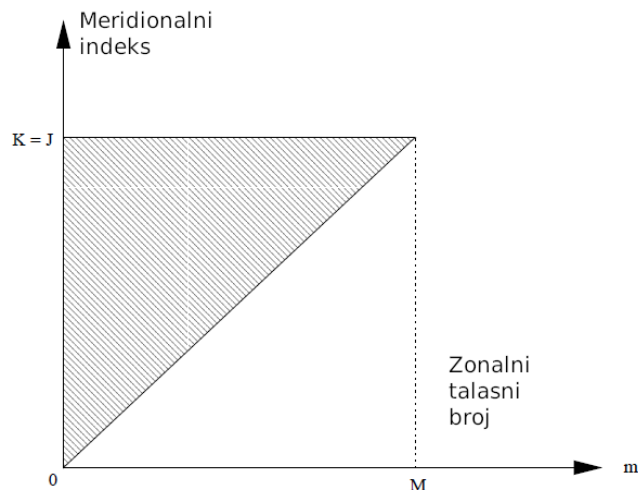
- Ruman A. (2020) Modelling climate types in South Pannonian Basin, Serbia by applying the Köppen–Geiger climate classification. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6:1303–1313, <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00773-2>.
- Ruman Albert, Ruman Anna (2021) Influence of vegetation cover change on the summer air temperature trend in the Pannonian Basin from 2002 to 2011. *Theoretical and Applied Climatology*, <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03815-6>.
- Ruman Albert, Ruman Anna (2022) Köppen–Geiger climate classification in the Pannonian basin according to SSP5-8.5 scenario. *Poslat u Theoretical and Applied Climatology*.
- Sanchez E., Gaertner M.A., Gallardo C., Padorno E., Arribas, A., Castro, M. (2007) Impacts of a change in vegetation description on simulated European summer present-day and future climates. *Climate Dynamics*, 29, 319–332.
- Schneck R. and Mosbrugger V. (2011) Simulated climate effects of Southeast Asian deforestation: Regional processes and teleconnection mechanisms. *Journal of Geophysics Research*, 116, D11116, doi:10.1029/2010JD015450.
- Schneck, R., Reick C. H., Raddatz T. (2013) Land contribution to natural CO₂ variability on time scales of centuries. *Journal of Advanced Modeling Earth Systems*, 5, 354–365, doi:10.1002/jame.20029.
- Simmons, A. J. and Burridge, D. M. (1981) An energy and angular-momentum conserving vertical finite difference scheme and hybrid vertical coordinates. *Monthly Weather Review*, 109, 758–766.
- Stéfanon M., Drobinski P., D’Andrea F., de Noblet-Ducoudré N. (2012) Effects of interactive vegetation phenology on the 2003 summer heat waves. *Journal of Geophysical Research*, 117, D24103, doi:10.1029/2012JD018187, 2012.
- Stevens B., Giorgetta M., Esch M., Rast S., et al. (2013) Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. *Journal of Advanced Modeling Earth Systems*, 5, 146–172, doi:10.1002/jame.20015.
- Tang B., Zhao X., Zhao W. (2018) Local Effects of Forests on Temperatures across Europe. *Remote Sensing*, 529; doi:10.3390/rs10040529.
- Teuling A. L., Seneviratne I. S. et al. (2010) Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves. *Nature Geoscience*, 3, 722–727, doi:10.1038/ngeo950.
- Taylor K.E., Stouffer J.R., Meehl A.G. (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485–498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1
- Teuling A. L., Seneviratne I. S., Stöckli R., Reichstein M., Moors E., Ciais P., Luyssaert S., Ammann C., van den Hurk B., Bernhofer C., Dellwik E., Gianelle D., Gielen B., Grünwald T., Klumpp K., Montagnani L., Moureaux C., Sottocornola M., Wohlfahrt G. (2010) Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves. *Nature Geoscience*, 3:722–727. <https://doi.org/10.1038/ngeo950>.

- Teuling A. L., Taylor M. C., et al. (2017) Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Journal Nature Communications*, 8:14065, doi:10.1038/ncomms14065.
- Tiedtke M. (1989) A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Monthly Weather Review*, 117(8), 1779–1800.
- Tölle H. M., Brell M., Radtke K., Panitz H. J. (2018) Sensitivity of European Temperature to Albedo Parameterization in the Regional Climate Model COSMO-CLM Linked to Extreme Land Use Changes. *Front. Environmental Sciences*, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00123>.
- Tošić I., Putniković S., Gavrilov M. B., Marković B. S., Ruman A. (2018) Seasonal prevailing surface winds in Northern Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 131. 1273-1284, doi 10.1007/s00704-017-2044-6.
- Valcke S. (2013) The OASIS3 coupler: a European climate modelling community software. *Geoscientific Model Development*, 6, 373-388, doi:10.5194/gmd-6-373-2013.
- Vamborg F. S. E., Brovkin V., Claussen M. (2011) The effect of a dynamic background albedo scheme on Sahel/Sahara precipitation during the mid-Holocene. *Climate of the Past*, 7, 117–131, doi:10.5194/cp-7-117-2011.
- Vautard R., Cattiaux J., Yiou P., Jean-Noël Thépaut, Ciais P. (2010) Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nature Geoscience*, doi:10.1038/NGEO979.
- Wetzel P., Haak H., Jungclaus J., Maier-Reimer E. (2011) Technical Note: The Max-Planck-Institute Global Ocean/Sea-Ice Model MPI-OM.
- Williams M. (2002) *Deforesting the Earth from prehistory to global crisis*. University of Chicago Press.
- Wulfmeyer V., Flamant C., Behrendt A., Blyth A., Brown A., Dorninger M., Illingworth A., Mascart P., Montani A., Weckwerth T. (2011) Advances in the understanding of convective processes and precipitation over low-mountain regions through the Convective and Orographically-induced Precipitation Study (COPS). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 1–2, doi:10.1002/qj.799.

Prilog 1.

Prostorne i vremenske rezolucije ECHAM6 modela

Za definisanje horizontalne rezolucije ECHAM6 model koristi trouglasto odsecanje koje je kompletno definisano preko 3 parametra M , J i K , slika p1.1, (Giorgetta i dr.,2013a).



Slika p1.1 Trouglasto odsecanje.

Trouglasto odsecanje koristi uslov $M = J = K$ gde je:

$$N = J + |m|, \text{ ako je } J + |m| \leq K$$

$$N = K, \text{ ako je } J + |m| > K$$

Standardno trouglasto odsecanje u ECHAM6 modelu nudi sledeće horizontalne rezolucije (tabela p1.1) sa talasnim brojevima: 31, 63, 127 ili 255.

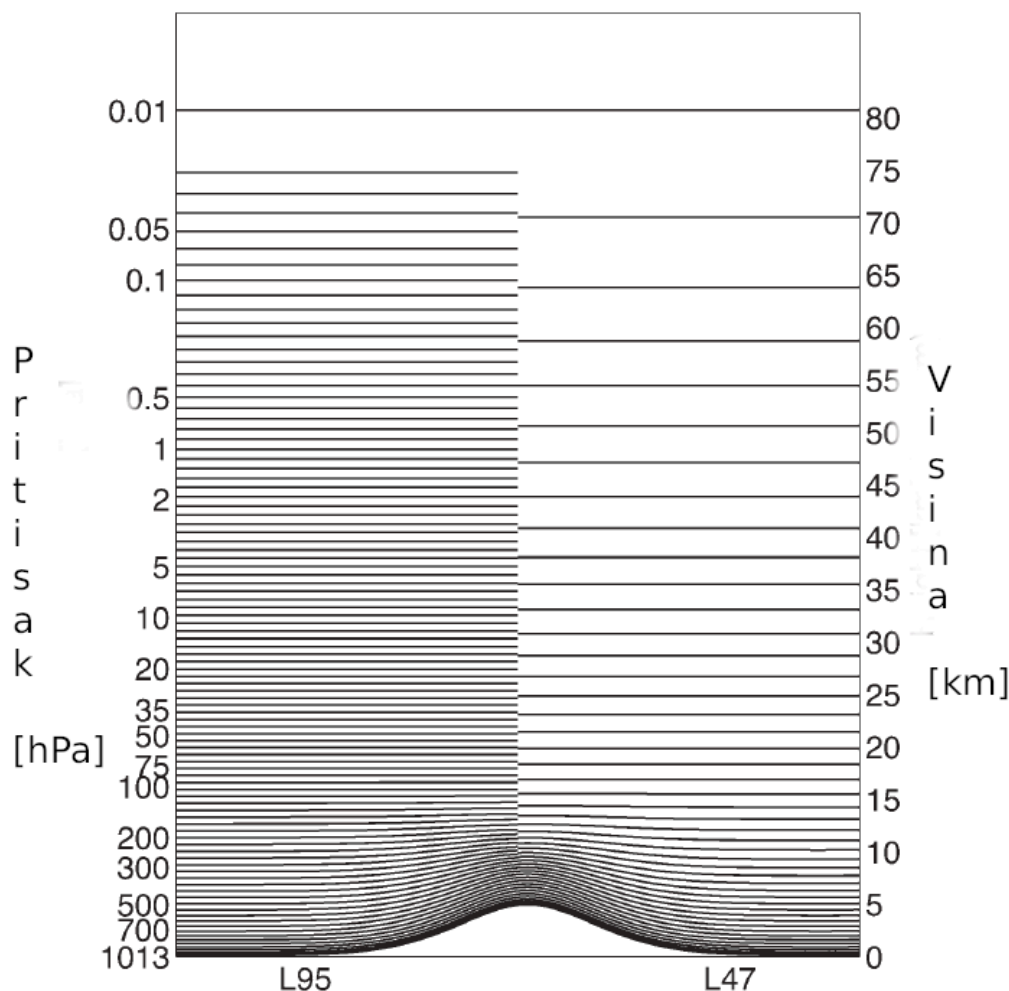
Tabela p1.1 Rezolucija ECHAM6 modela

talasni broj	lon $\times$ lat	nlon $\times$ nlat
T31	$3.8^\circ \times 3.8^\circ$	96×48
T63	$1.875^\circ \times 1.875^\circ$	192×96
T127	$0.94^\circ \times 0.94^\circ$	384×192
T255	$0.5^\circ \times 0.5^\circ$	768×384

Vertikalna rezolucija je predstavljena preko hibrid sigma-pritisk koordinata. Temperatura, vlažnost i brzina vetra se računaju na punim nivoima, dok se turbulentna energija, fluksevi toplote, vlage i momenta kretanja računaju na polu-nivoima (međunivoima). Pritisak na polu-nivou je dat formulom

$$P_{k+\frac{1}{2}} = A_{k+\frac{1}{2}} + \left(B_{k+\frac{1}{2}} \right) \cdot p_s$$

gde je p_s površinski pritisak, A i B su konstante koje definišu vertikalne koordinate (Giorgetta i dr.,2013a). Pritisak na punom nivou je aritmetička sredina polunivoa. Na rezoluciji od 47 modelskih nivoa (L47), najniži polu-nivo se nalazi na površini, dok se najniži puni novo nalazi na oko 30 m od površine. Sledeći nivo je postavljen na oko 120 m visine, a do visine od 3 km u odnosu na površinu nalazi se ukupno 10 modelskih nivoa.



Slika p1.2 Vertikalna rezolucija ECHAM6 modela.

Njutnov metod relaksacije je metoda koja u datom vremenu t i celokupnom prostoru S , smanjuje odstupanja simuliranih trajektorija $t \mapsto \vec{\xi}_t$ od ponuđenih trajektorija. Ove projekcije trajektorija mogu predstavljati određene vrednosti stanja atmosfere kao što su: temperatura, vrtložnost, divergencija i logaritam površinskog pritiska. Pretpostavljamo da trajektorije poštuju sledeću diferencijalnu jednačinu opisujući Njutnovu relaksaciju za komponente $\vec{\xi}, \vec{\zeta}$.

$$\frac{d}{dt}(\xi_t - \zeta_t) = \frac{-1}{\tau} \cdot (\xi_t - \zeta_t)$$

Za potrebe eksperimenata rešenje date jednačine je predstavljeno implicitno

$$\xi_{t+\Delta t} = \frac{\tau}{\tau+\Delta t} \cdot \xi_{t+\Delta t}^* + \frac{\Delta t}{\tau+\Delta t} \cdot \zeta_{t+\Delta t}$$

gde je:

- Δt vremenski korak modela,
- τ vreme relaksacije,
- $\xi_{t+\Delta t}^*$ prognoza bez bilo kakve korekcije od strane Njutnove relaksacije,
- $\xi_{t+\Delta t}$ prognozirana vrednost.

Ovde je $\xi_{t+\Delta t}$ predstavljeno kao linearna kombinacija prognoze $\xi_{t+\Delta t}^*$ i asimiliranih podataka $\zeta_{t+\Delta t}$ u datom vremenu.

U integracijama su korišćeni standardni periodi za vreme relaksacije (Lohmann i HoeseI, 2009):

- $\tau=6$ časova za vrtložnost,
- $\tau=24$ časova za temperature i površinski pritisak,
- $\tau=48$ časova za divergenciju.

Takođe, u ECHAM6 modelu je ponuđeno i eksplicitno rešenje, u formi:

$$\xi_{t+\Delta t} = \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau}\right) \cdot \xi_{t+\Delta t}^* + \frac{\Delta t}{\tau} \cdot \zeta_{t+\Delta t}$$

Prilog 2.

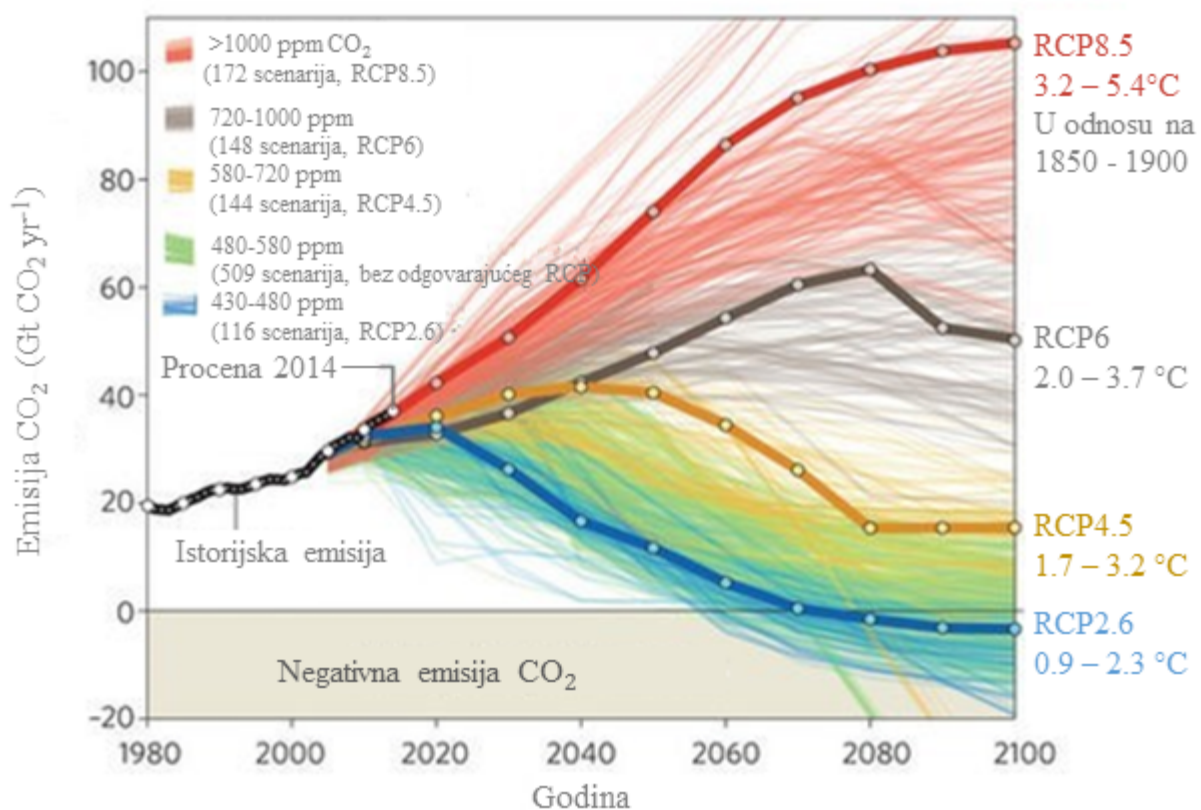
IPCC scenariji i spektralne grupe gasova atmosfere

Na osnovu rezultata istraživanja, IPCC AR5 konstatuje se da su ljudske aktivnosti u periodu od 1750. do danas dovele do merljivih promena energetskeg bilansa atmosfere. Usled antropogenih i prirodnih faktora uvećan je efekat staklene bašte za 2.9 W/m^2 u periodu posle 1750. godine, pri čemu se samo 0.12 W/m^2 pripisuje uticaju prirodnih faktora, tj. promeni solarne energije. Kao mera poremećaja energetskeg bilansa atmosfere Zemlje koristi se radijaciono forsiranje ili klimatsko forsiranje, koje predstavlja kvantifikaciju razlike između prispelog kratkotalasnog Sunčevog zračenja i dugotalasnog zračenja emitovanog u kosmos, a izražava se u vatima po metru kvadratnom [W/m^2]. Ako je dolazeće zračenje veće od odlazećeg, radijaciono forsiranje je tada pozitivno, odnosno imamo grejanje KSZ. Ako je odlazeće zračenje veće od dolazećeg, radijaciono forsiranje je tada negativno, odnosno imamo hlađenje KSZ. IPCC AR5 je ponudio 4 moguća scenarija (RCP, eng. Representative Concentration Pathway) za koncentraciju gasova staklene bašte do 2100. godine, tabela p2.1.

Tabela p2.1 IPCC scenariji za koncentraciju gasova stalene bašte. Povećanje koncentracije CO_2 , radijacionog forsiranja i temperature su dati u odnosu na pred-industrijski period, od 1850-1900. godine.

RCP scenario	Povećanje CO_2 [ppm]	Radijaciono forsiranje [W/m^2]	Povećanje temperature [$^{\circ}\text{C}$]	Publikacije
RCP2.6	490	2.5	$0.9 \Leftrightarrow 2.3$	van Vuuren i dr., (2006; 2007)
RCP4.5	650	4.5	$1.7 \Leftrightarrow 3.2$	Smith i Wigley (2006) Clarke i dr., (2007) Wise i dr., (2009)
RCP6.0	850	6.0	$2.0 \Leftrightarrow 3.7$	Fujino i dr., (2006) Hijioka i dr., (2008)
RCP8.5	1370	8.5	$3.2 \Leftrightarrow 5.4$	Riahi i dr., (2007) Rao i Riahi (2006)

Na slici p2.1 data je informacija o osmotrenoj koncentraciji CO₂ (Fuss i dr., 2014) izdata od strane CDIAC (eng. Carbon Dioxide Information Analysis Center) koji je deo globalnog monitoringa ugljenika GCP (eng. Global Carbon Project). Na slici su predstavljeni uporedo mereni podaci i mogući scenariji predloženi od strane IPCC AR5.



Slika p2.1 RCP scenariji sa mogućim povećanjem globalne temperature i CO₂, (Fuss i dr., 2014).

Dimenzija talasnog broja, spektralnih grupa koje se koriste u ECHAM6 modelu, je izražena u *cgs* sistemu (centimeter-gram-second) i predstavlja broj talasnih ponavljanja u jedinici dužine (*cm*), tabele p2.2 i p2.3.

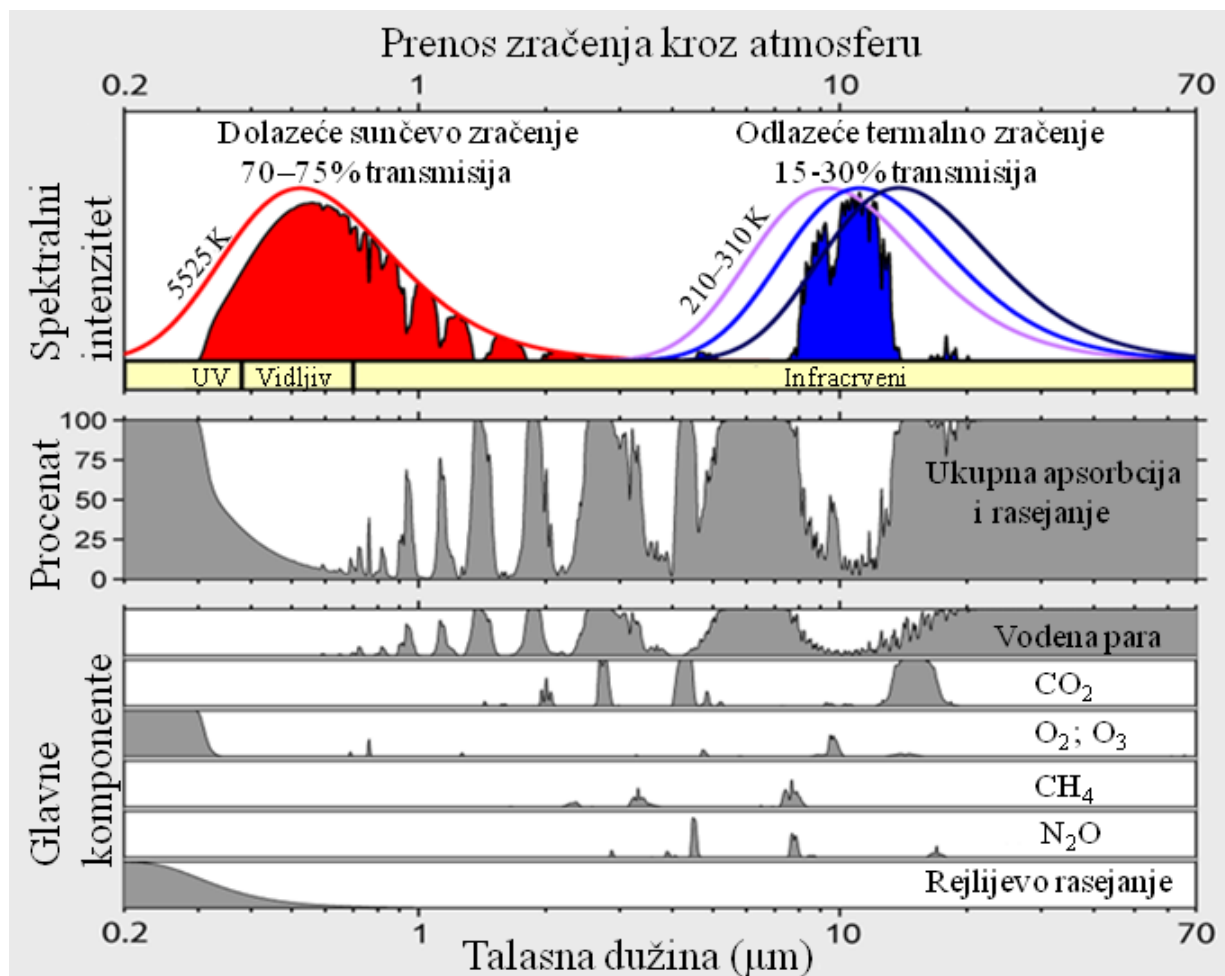
Tabela p2.2 Spektralne grupe za prenos kratkotalasnog zračenja. Talasni broj u grupi (λ_b^{-1}), broj grupe (*b*), broj g tačaka za svaku grupu (N_b) (Iacono i dr., 2008), gasni apsorberi korišćeni u oblasti visokog ($p > 100\text{hPa}$) i niskog ($p < 100\text{hPa}$) atmosferskog pritiska. *SC* i *FC* označavaju sopstveni i strani kontinuum (neprekidnu sredinu).

λ_b^{-1} [cm ⁻¹]	<i>b</i>	N_b	Apsorberi $p > 100\text{hPa}$	Apsorberi $p < 100\text{hPa}$
820-2600	29	12	H_2O, CO_2, SC, FC	H_2O, CO_2
2600-3250	16	6	H_2O, CH_4, SC, FC	CH_4
3250-4000	17	12	H_2O, CO_2, SC, FC	H_2O, CO_2
4000-4650	18	8	H_2O, CH_4, SC, FC	CH_4
4650-5150	19	8	H_2O, CO_2, SC, FC	CO_2
5150-6150	20	10	H_2O, SC, FC	H_2O
6150-7700	21	10	H_2O, CO_2, SC, FC	H_2O, CO_2
7700-8050	22	2	H_2O, O_2, SC, FC	O_2
8050-12850	23	10	H_2O, SC, FC	-
12850-16000	24	8	H_2O, O_2, O_3, SC, FC	H_2O, O_2, O_3, SC, FC
16000-22650	25	6	H_2O, O_3	O_3
22650-29000	26	6	-	-
29000-38000	27	8	O_3	O_3
38000-50000	28	6	H_2O, O_2, O_3, SC, FC	H_2O, O_2, O_3, SC, FC

Tabela p2.3 Spektralne grupe za prenos dugotalasnog zračenja. Talasni broj u grupi (λ_b^{-1}), broj grupe (b), broj g tačaka za svaku grupu (N_b) (Iacono i dr. 2008), gasni apsorberi korišćeni u oblasti visokog ($p>100\text{hPa}$) i niskog ($p<100\text{hPa}$) atmosferskog pritiska. SC i FC označavaju sopstveni i strani kontinuum (neprekidnu sredinu).

λ_b^{-1} [cm ⁻¹]	b	N_b	Apsorberi p>100hPa	Apsorberi p<100hPa
10-250	1	8	H ₂ O,SC,FC	H ₂ O,FC
250-500	2	14	H ₂ O,SC,FC	H ₂ O,FC
500-630	3	16	H ₂ O,CO ₂ ,N ₂ O,SC,FC	H ₂ O,CO ₂ ,N ₂ O,FC
630-700	4	14	H ₂ O,CO ₂ ,SC	O ₃ ,CO ₂
700-820	5	16	H ₂ O,CO ₂ ,SC	O ₃ ,CO ₂
820-980	6	8	H ₂ O,CO ₂ ,CFC11,CFC12,SC	CFC11,CFC12
980-1080	7	12	H ₂ O,O ₃ ,CO ₂ ,SC	O ₃ ,CO ₂
1080-1180	8	8	H ₂ O,CO ₂ ,CFC12,CFC22,N ₂ O,SC	O ₃ ,CO ₂ ,CFC12,CFC22,N ₂ O
1180-1390	9	12	H ₂ O,CH ₄ ,N ₂ O,SC	CH ₄
1390-1480	10	6	H ₂ O	H ₂ O
1480-1800	11	8	H ₂ O,SC	H ₂ O
1800-2080	12	8	H ₂ O,CO ₂ ,SC	-
2080-2250	13	4	H ₂ O,N ₂ O,SC	-
2250-2380	14	2	CO ₂ ,SC	CO ₂
2380-2600	15	2	CO ₂ ,N ₂ O,SC	-
2600-3000	19	2	H ₂ O,CH ₄ ,SC	-

U tabeli p2.2 treba napomenuti da je grupa $b=29$, koja se tretira od strane rešenja za transport kratkotalsnog zračenja, van kratkotalsnog opsega. To je zato što je ova grupa kasnije dodata da tretira doprinos iz Sunčevog izvora u oblastima obuhvaćenim dugotalasnim opsezima između grupa 6 i 15 (Giorgetta i dr., 2012). ECHAM6 koristi paket brzog radijacionog prenosa RRTM-G (eng. Rapid Radiation Transfer Models for General circulation modeling) (Iacono i dr., 2008) za prenos kratkotalsnog i dugotalasnog zračenja kroz atmosferu.



Slika p2.2 Apsorpcija EM zračenja od strane sledećih gasova atmosfere: H₂O, CO₂, O₂, O₃, CH₄, N₂O.

<i>Crvena površina</i>	delovi EM spektra koji stižu do površine.
<i>Plava površina</i>	delovi EM spektra koji nesmetano odlaze u svemir.
<i>Siva površina</i>	delovi EM spektra koje apsorbuje atmosfera.

Prilog 3.

JSBACH model

Tabela p3.1 Vrsta površinskog prekrivača (VPP) raspoređenih u 11 pločica podmrežnog dela modela JSBACH

Pločice	Indetifikacioni Broj	VPP
1	1	Glečeri
	2	Tropsko zimzeleno drveće
2	3	Tropsko listopadno drveće
3	4	Van-tropsko zimzeleno drveće
4	5	Van-tropsko listopadno drveće
	6	Umereno širokolisno zimzeleno drveće
	7	Umereno širokolisno listopadno drveće
	8	Četinarsko zimzeleno drveće
	9	Četinarsko listopadno drveće
5	10	Zimzeleno žbunje
6	11	Listopadno žbunje
7	12	C3 trava
8	13	C4 trava
	14	Pašnjaci
9	15	C3 pašnjaci
10	16	C4 pašnjaci
	17	Tundra
	18	Močvare
	19	Usevi
11	20	C3 usevi
	21	C4 usevi

Površinski albedo svake pločice α_i^k ($i=1,..11$, $k=VIS, NIR$) se računa preko:

α_{leaf}	albedo lišća,
α_{soil}	albedo površine kopna,
$\alpha_{snow,s}$	albedo površine kopna pokrivenog snegom,
$\alpha_{snow,c}$	albedo lišća pokrivenog snegom.

Veza između površinskog albeda i indeksa lisne površine (LAI) data je jednačinama:

površinski albedo za nisku vegetaciju (trava, poljoprivredni usevi, žbunasto rastinje)

$$\alpha_i^k = \left(f_{bare} + (1 - f_{bsre}) \cdot e^{\frac{-A_i}{2}} \right) \cdot (1 - f_{snow,s}) \cdot \alpha_{soil} \\ + (1 - f_{bsre}) \cdot \left(1 - e^{\frac{-A_i}{2}} \right) \cdot (1 - f_{snow,s}) \cdot \alpha_{leaf} \\ + f_{snow,s} \cdot \alpha_{snow}$$

površinski albedo za visoku vegetaciju (šume)

$$\alpha_i^k = \left(f_{bare} + (1 - f_{bsre}) \cdot e^{\frac{-(A_i + stem)}{2}} \right) \\ \cdot \left((1 - f_{snow,s}) \cdot \alpha_{soil} + f_{snow,s} \cdot \alpha_{snow} \right) \\ + (1 - f_{bsre}) \cdot \left(e^{\frac{-A_i}{2}} - e^{\frac{-(A_i + stem)}{2}} \right) \cdot \left((1 - f_{snow,c}) \cdot \alpha_{soil} + f_{snow,c} \cdot \alpha_{snow,c} \right) \\ + (1 - f_{bsre}) \cdot \left(1 - e^{\frac{-A_i}{2}} \right) \cdot \left((1 - f_{snow,c}) \cdot \alpha_{leaf} + f_{snow,c} \cdot \alpha_{snow,c} \right)$$

gde je:

A_i	LAI, indeks lisne površine u određenoj pločici,
$f_{snow,s}$	deo kopna pokriven snegom,
$f_{snow,c}$	deo vegetacije pokriven snegom,
f_{bare}	deo kopna bez vegetacije,
stem	deo koji zauzimaju stabla i grane biljaka bez lišća.

Zračenje u vegetativnom sklopu je dato preko sledeće jednačine

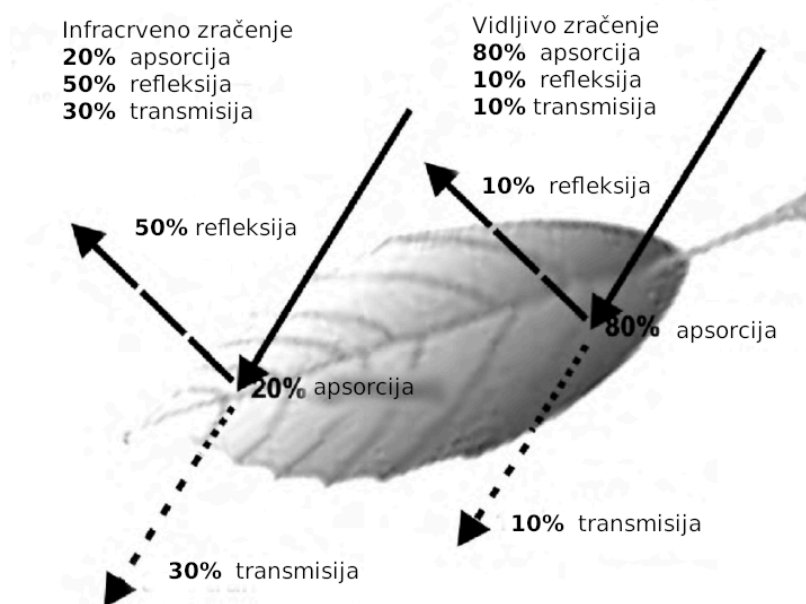
$$\frac{dI^\downarrow}{d\Lambda_z} = \frac{-1}{\mu} \cdot [1 - (1 - \beta) \cdot \omega] \cdot I^\downarrow + \frac{\omega}{\mu} \cdot \beta \cdot I^\downarrow + \omega \cdot F_0 (1 - \beta_0) \cdot e^{-K \cdot \Lambda_z} \\ \frac{dI^\uparrow}{d\Lambda_z} = \frac{-1}{\mu} \cdot [1 - (1 - \beta) \cdot \omega] \cdot I^\uparrow + \frac{\omega}{\mu} \cdot \beta \cdot I^\downarrow + \omega \cdot F_0 \cdot \beta_0 \cdot e^{-K \cdot \Lambda_z}$$

gde je:

$I^\uparrow, I^\downarrow$	difuzno zračenje, nagore i nadole,
F_0	direktni snop zračenja koji stiže na vrh vegetacije,
Λ_z	LAI mereno od vrha vegetacije na dole,
$K(\gamma)$	optička dubina F_0 ,
β	parametar difuznog rasejanja na gore,
β_0	parametar difuznog rasejanja F_0 ,
ω	koeficijent rasejanja lista,
μ	optička dubina inverznog rasejanja.

Integraljenjem i sabiranjem datih jednačina dobijamo da je zračenje u vegetativnom sklopu

$$I = I^\uparrow + I^\downarrow + F_0 \cdot e^{-K \cdot \Lambda_z}$$



Slika p3.1 Uticaj lista na apsorpciju, refleksiju i transmitivnost zračenja (Brown i Gillespie 1995).

Prilog 4.

Transport površinskih flukseva u modelu ECHAM6

Da bi se izračunao koeficijent razmene flukseva C_ψ po metodi koju je predložio Louis (1979), ovaj koeficijent se predstavlja kao proizvod koeficijenta i univerzalne funkcije (Giorgetta i dr., 2013a)

$$C_\psi = C_{N,\psi} \cdot f_\psi$$

gde je:

$C_{N,\psi}$ neutralni koeficijent razmene,
 f_ψ empirijska funkcija stabilnosti površinskog sloja.

Promenljivu veličinu ψ delimo na:

ψ_m longitudinalna i latitudalna komponenta brzine vazduha (u,v),
 ψ_h skalarne veličine.

Neutralni koeficijent razmene zavisi samo od visine trenja (hrapavosti površine) i od visine najnižeg atmosferskog modelskog nivoa.

$$C_{N,m} = \frac{\kappa^2}{\left[\ln \left(\frac{z}{z_{0m}} + 1 \right) \right]^2}$$

$$C_{N,h} = \frac{\kappa^2}{\ln \left(\frac{z}{z_{0m}} + 1 \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_{0h}} + 1 \right)}$$

gde je:

κ von Karmanova konstanta,
 z visina najnižeg modelskog nivoa,
 z_{0m} visina trenja za komponente brzine vazduha (u,v),
 z_{0h} visina trenja za skalarne veličine.

Na visini trenja $z_{0m,h}$ se završava viskozni sloj a počinje sloj konstantnog fluksa, u kome su osnovni načini prenosa flukseva molekularna difuzija i vertikalni turbulentni transport, i čiji je zbir konstantan. Visina trenja iznad površine kopna zavisi od orografije i vegetacije i u modelu je određena preko globalne mape, a na površinama prekrivenim vegetacijom važi uslov $z_{0h} \leq 1 \text{ m}$.

Univerzalna funkcija stabilnosti površinskog sloja f_ψ zavisi od Ričardsonovog broja R_i .

$$R_i = \frac{N^2}{S^2}$$

Jednačina za dobijanje Ričardsonovog broja

$$R_i = \frac{\frac{g}{\theta_v} \cdot \left(A \cdot \frac{\partial \theta_l}{\partial z} + \theta \cdot D \cdot \frac{\partial q_t}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2}$$

gde je:

bez oblaka:

$$A = 1 + \varepsilon \cdot q$$

$$D = \varepsilon$$

sa oblacima:

$$A = 1 + \varepsilon \cdot q_t - \frac{L \cdot q_s}{R_v \cdot T} \cdot \frac{\left(\frac{L}{c_{pd} \cdot T} (1 + \varepsilon \cdot q_t) - \frac{R_v}{R_d} \right)}{\left(1 + \frac{L^2 \cdot q_s}{R_v \cdot c_{pd} \cdot T^2} \right)}$$

$$D = \frac{L}{c_p \cdot T} \cdot A - 1$$

gde je:

Specifična vlažnost q_v ,

Sadržaj tečne vode u oblacima q_l ,

Sadržaj leda u oblacima q_i ,

Specifična toplota vlažnog vazduha

na konstantnom pritisku $c_p \rightarrow c_p = c_{pd} \cdot (1 + (\delta - 1) \cdot q_v)$,

Specifična toplota suvog vazduha

na konstantnom pritisku c_{pd} ,

Potencijalna temperatura $\theta = T \cdot \left(\frac{p_{00}}{p} \right)^{\frac{R_d}{c_{pd}}}$,

Referentni pritisak $p_{00} = 10^5 \text{ Pa}$,

Konstanta $\varepsilon = \frac{R_v}{R_d} - 1$,

Virtuelna potencijalna temperatura $\theta_v = \theta \cdot [1 + \varepsilon \cdot q_v - q_l - q_i]$,

Ukupni sardžaj vode $q_t = q_v + q_l + q_i$,

Monin-Obukov razmera dužine $L = \frac{-u^3 \cdot \bar{\theta}_v}{\left[\kappa \cdot g \cdot (w' \cdot \theta'_v)_{sfc} \right]}$,

von Karmanova konstanta $\kappa = -0.4$.

U neutralnoj i stabilnoj stratifikaciji površinskog sloja $R_i \geq 0$ univerzalne funkcije jednake su:

$$f_m = \frac{1}{1 + 2 \cdot c \cdot R_i \cdot (\sqrt{1 + R_i})^{-1}}$$

$$f_h = \frac{1}{1 + 2 \cdot c \cdot R_i \cdot \sqrt{1 + R_i}}$$

gde je konstanta $c=5$

U nestabilnoj stratifikaciji atmosfere $R_i \leq 0$

$$f_m = 1 - \frac{2 \cdot c \cdot R_i}{1 + 3 \cdot c^2 \cdot C_{N,m} \cdot \sqrt{-R_i \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,m}} + 1 \right)}}$$

$$f_h = 1 - \frac{3 \cdot c \cdot R_i}{1 + 3 \cdot c^2 \cdot C_{N,m} \cdot \sqrt{-R_i \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,m}} + 1 \right)}}$$

Površinski fluks specifične vlažnosti iznad kopna dat je sledećom jednačinom

$$(\overline{w' \cdot q_v'})_{sfc} = -C_h \cdot |\vec{V}| \cdot [\beta(z) \cdot q_v(z) - \beta_{sfc} \cdot q_{v,sfc}]$$

Površinski fluks suve statičke energije (virtuelna)

$$(\overline{w' \cdot h_v'})_{sfc} = -C_h \cdot |\vec{V}| \cdot [\beta(z) \cdot h_v(z) - \beta_{sfc} \cdot h_{v,sfc}]$$

Površinski fluks longitudinalne komponente brzine

$$(\overline{u' \cdot w_v'})_{sfc} = \sum_{i=1}^3 F_i \cdot (C_m \cdot |\vec{V} - \vec{V}_{sfc,i}|)_i \cdot (u(z) - u_{sfc,i})$$

Površinski fluks latitudinalne komponente brzine

$$(\overline{v' \cdot w_v'})_{sfc} = \sum_{i=1}^3 F_i \cdot (C_m \cdot |\vec{V} - \vec{V}_{sfc,i}|)_i \cdot (v(z) - v_{sfc,i})$$

Površinski fluks suve statičke energije (virtuelna)

$$(h' w')_{sfc} = \sum_{i=1}^3 F_i \cdot (C_h \cdot |\vec{V} - \vec{V}_{sfc,i}|)_i \cdot (h(z) - h_{sfc,i})$$

gde je:

i	tip površine (kopno, okean, morski led),
F_i	procentualni deo od površinskog tipa,
$\vec{V}_{sfc,i} = (u_{sfc,i}, v_{sfc,i}) = 0$	komponentne brzine vetra iznad kopna i morskog leda,
$\vec{V}_{sfc,i} = (u_{sfc,i}, v_{sfc,i})$	komponente brzine vetra iznad okeana, jednaka je brzini površinskih okeanskih struja.

Prilog 5.

Köppen-Geiger klasifikacija klime

Tabela p5.1 Kompletan Köppen-Geiger klasifikacija klimatskih zona i tipova (Peel i dr., 2007).

Klasifikacija	Opis zone	Kriterijum zone
A	Tropska zona	$T_{\text{hladno}} \geq 18$
f	- Tropska prašuma	$P_{\text{suvo}} \geq 60$
m	- Monsoon	Nije (Af) i $P_{\text{suvo}} \geq 100 - \text{SGT}/25$
w	- Savana	Nije (Af) i $P_{\text{suvo}} < 100 - \text{SGT}/25$
B	Sušna zona	$\text{SGP} < 10 \times P_{\text{prag}}$
W	- Pustinja	$\text{SGP} < 5 \times P_{\text{prag}}$
S	- Stepa	$\text{SGP} \geq 5 \times P_{\text{prag}}$
h	- Toplo	$\text{SGT} \geq 18$
k	- Hladno	$\text{SGT} < 18$
C	Umerena zona	$T_{\text{toplo}} > 10$ i $0 < T_{\text{hladno}} < 18$
s	- Suva leta	$P_{\text{Lsuvo}} < 40$ i $P_{\text{Lsuvo}} < P_{\text{Zvlažno}}/3$
w	- Suva zima	$P_{\text{Zsuvo}} < P_{\text{Lvlažno}}/10$
f	- Bez suvih sezona	Nije (Cs ili Cw)
a	- Vruća leta	$T_{\text{toplo}} \geq 22$
b	- Topla leta	Nije (a) i $T_{10\text{meseci}} \geq 4$
c	- Hladna leta	Nije (a ili b) i $1 \leq T_{10\text{meseci}} < 4$
D	Hladna zona	$T_{\text{toplo}} > 10$ i $T_{\text{hladno}} \leq 0$
s	- Suva leta	$P_{\text{Lsuvo}} < 40$ i $P_{\text{Lsuvo}} < P_{\text{Zvlažno}}/3$
w	- Suva zima	$P_{\text{Zsuvo}} < P_{\text{Lvlažno}}/10$
f	- Bez suvih sezona	Nije (Ds ili Dw)
a	- Vruća leta	$T_{\text{toplo}} \geq 22$
b	- Topla leta	Nije (a) i $T_{10\text{meseci}} \geq 4$
c	- Hladna leta	Nije (a ili b ili d)
d	- Veoma hladna zima	Nije (a ili b) i $T_{\text{hladno}} < -38$
E	Polarna zona	$T_{\text{toplo}} < 10$
T	- Tundra	$T_{\text{toplo}} > 0$
F	- Led	$T_{\text{toplo}} \leq 0$

gde je:

T_{hladno} = temperatura najhladnijeg meseca,

T_{toplo} = temperatura najtoplijeg meseca,

$T_{10\text{meseci}}$ = broj meseci gde je temperatura veća od 10 °C,

SGT= srednja godišnja temperatura,

P_{suvo} = padavine najsušnijeg meseca,

$P_{Z\text{suvo}}$ = padavine najsušnijeg meseca tokom zime,

$P_{L\text{suvo}}$ = padavine najsušnijeg meseca tokom leta,

$P_{L\text{vlažno}}$ = padavine najvlažnijeg meseca tokom leta,

$P_{Z\text{vlažno}}$ = padavine najvlažnijeg meseca tokom zime,

SGP= srednje godišnje padavine,

P_{prag} = padavinski prag i zavisi od sledećih pravila:

ako se 70% od SGP dešava u toku zime $P_{\text{prag}} = 2 \times \text{SGP}$,

ako se 70% od SGP dešava u toku leta $P_{\text{prag}} = 2 \times \text{SGP} + 28$,

za sve preostale slučajeve je $P_{\text{prag}} = 2 \times \text{SGP} + 14$.

Letnji meseci na severnoj hemisferi su: april, maj, jun, jul, avgust, septembar.

Zimski meseci na severnoj hemisferi su: oktobar, novembar, decembar, januar, februar, mart.

Letnji meseci na južnoj hemisferi su: oktobar, novembar, decembar, januar, februar, mart.

Zimski meseci na južnoj hemisferi su: april, maj, jun, jul, avgust, septembar.

Pri definisanju Köppen-Geiger klimatskih zona, temperatura se odnosi na površinsku temperaturu vazduha u stepenima Celzijusa [°C], odnosno na temperaturu vazduha izmerenu na 2 metra visine od površine tla. Padavine su definisane na mesečnom nivou i predstavljaju ukupne padavine za dati mesec izražene u milimetrima po metru kvadratnom [mm/m²].

Tabela p5.2 Globalna pozicija glavnih meteoroloških stanica (GMS) i trajanje osmatranja

Ime stanice	Skraćeno ime	Globalna pozicija [Lon; Lat]	Nadmorska visina [m]	Osmatranje [godina]	Trajanje [godina]
Beograd	BG	20°28'E; 44°48'N	132	1888-2017	130
Kikinda	KI	20°28'E; 45°51'N	81	1948-2017	70
Novi Sad	NS	19°51'E; 45°20'N	84	1948-2017	70
Sremska Mitrovica	SM	19°33'E; 45°06'N	82	1925-2017	93
Sombor	SO	19°09'E; 45°46'N	88	1949-2017	69
Subotica	SU	19°46'E; 46°06'N	102	1948-2017	70
Zrenjanin	ZR	20°25'E; 45°22'N	80	1948-2017	70

Tabela p5.3 Klimatski tipovi za 30-godišnje periode dobijenih iz modela MPI-ESM-LR | MPI-ESM-MR za geografske lokacije na kojima su pozicionirane glavne meteorološke stanice (GMS), tabela p5.2.

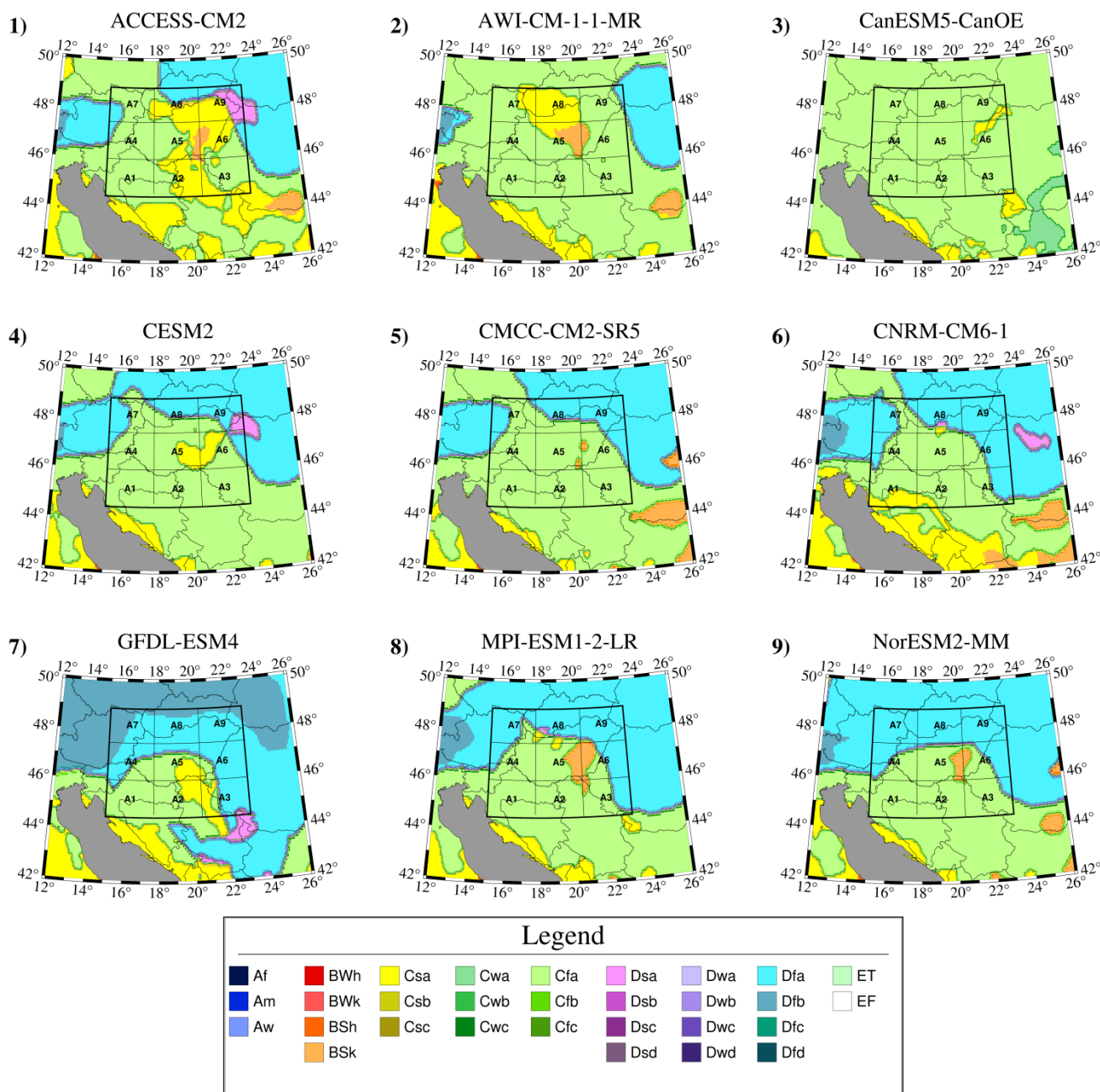
Period	BG	KI	NS	SM	SO	SU	ZR
2011-2040	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa	Cfa Cfa
2021-2050	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa
2031-2060	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2041-2070	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2051-2080	Cfa Cfa	Csa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2061-2090	Cfa Cfa	Csa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Csa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2071-2100	Cfa Cfa	Csa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Csa Cfa	Csa Csa

Tabela p5.4 Klimatski tipovi za 30_godišnje periode dobijenih iz modela MPI-ESM-LR | MPI-ESM-LR_LUCID sa uključenim | isključenim antropogenim uticajem za geografske lokacije na kojima su pozicionirane glavne meteorološke stanice (GMS), tabela p5.2. Promena klimatskih tipova usled LUCID eksperimenta je označena podebljanim slovima.

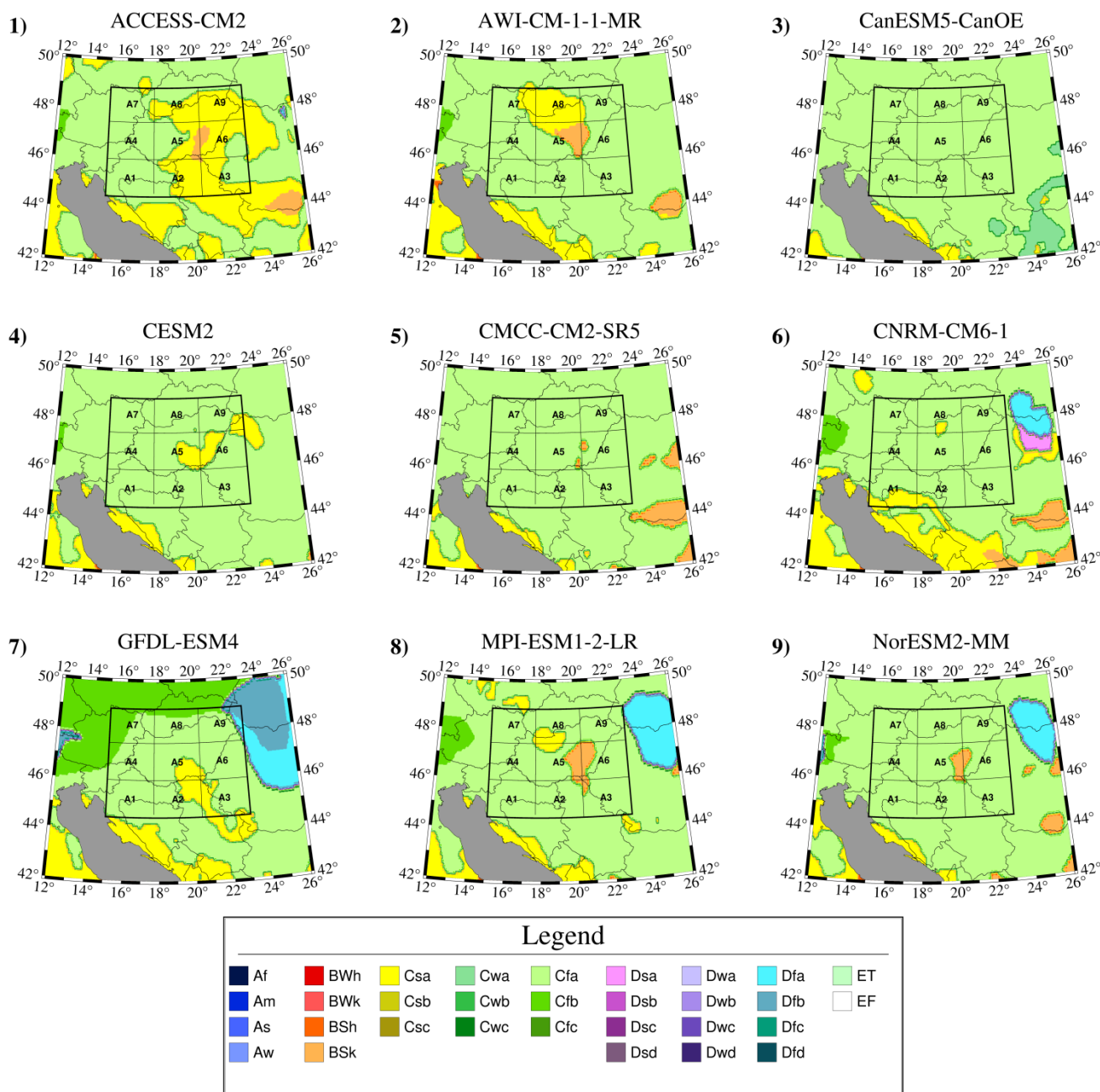
Period	BG	KI	NS	SM	SO	SU	ZR
2011-2040	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfb Dfa	Dfa Dfa	Cfa Cfa
2021-2050	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa	Cfa Cfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa	Cfa Dfa
2031-2060	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2041-2070	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2051-2080	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa
2061-2090	Csa Cfa	Csa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Csa Cfa
2071-2100	Csa Cfa	Csa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Cfa Cfa	Csa Cfa	Csa Csa

Table p5.4 Grupe modela iz “Coupled Model Intercomparison Project of the sixth phase experiments“ (CMIP6) korišćenih u istraživanju [Ruman i Ruman \(2022\)](#), gde N predstavlja redni broj modela, MB MAT srednje odstupanje za srednju godišnju temperaturu, MB MAP srednje odstupanje za srednju godišnju količinu padavina. Odstupanja MB MAT i MB MAP su rađena za srednju vrednost 30-godišnjeg perioda od 1961. do 1990. godine.

Model	N	Ustanova gde je Model razvijen	Modelska Rezolucija	MB MAT	MB MAP
ACCESS-CM2	1	CSIRO-ARCCSS (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science)	aerosol: 250 km, atmosfera: 250 km, kopno: 250 km, okean: 100 km, morski led: 100 km	-0.7	10
AWI-CM-1-1-MR	2	AWI (Alfred Wegener Institute)	atmosfera: 100 km, kopno: 100 km okean: 25 km, morski led: 25 km	1.7	-0.3
CanESM5-CanOE	3	CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis)	aerosol: 500 km, atmosfera: 500 km, atmos. hemija: 500 km, kopno: 500 km, led na kopnu: 500 km, okean: 100 km, okean biohemija: 100 km, morski led: 100 km	0.8	-7.7
CESM2	4	NCAR (National Center for Atmospheric Research)	aerosol: 100 km, atmosfera: 100 km, atmos. hemija: 100 km, kopno: 100 km, led na kopnu: 5 km, okean: 100 km, okean biohemija: 100 km, morski led: 100 km	2.8	-6.8
CMCC-CM2-SR5	5	CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici)	aerosol: 100 km, atmosfera: 100 km, kopno: 100 km, okean: 100 km, morski led: 100 km	3.0	-6.5
CNRM-CM6-1	6	CNRM-CERFACS (National Center for Meteorological Research, Météo-France and CNRS laboratory, Climate Modeling and Global change)	aerosol: 250 km, atmosfera: 250 km, atmos. hemija: 250 km, kopno: 250 km, okean: 100 km, morski led: 100 km	1.6	-5.8
GFDL-ESM4	7	NOAA-GFDL (National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)	aerosol: 100 km, atmosfera: 100 km, atmos. hemija: 100 km, kopno: 100 km, led na kopnu: 100 km, okean: 50 km, okean biohemija: 50 km, morski led: 50 km.	-0.1	11.5
MPI-ESM1-2-LR	8	MPI-M AWI (Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), AWI (Alfred Wegener Institute))	aerosol: 250 km, atmosfera: 250 km, kopno: 250 km, okean: 250 km, okean biohemija: 250 km, morski led: 250 km	0.9	-3.8
NorESM2-MM	9	NCC (Norwegian Climate Centre)	aerosol: 100 km, atmosfera: 100 km, atmos. hemija: 100 km, kopno: 100 km, led na kopnu: 100 km, okean: 100 km, okean biohemija: 100 km, morski led: 100 km	2.2	-6.7



Slika p5.1 Köppen-Geiger klimatski tipovi po Peelu i dr. (2007) za tridesetogodišnji period (2071-2100). Podaci su korišćeni iz CMIP6 eksperimenta za 9 globalnih klimatskih modela



Slika p5.2 Köppen-Geiger klimatski tipovi po Kotteku i dr. (2006) za tridesetogodišnji period (2071-2100). Podaci su korišćeni iz CMIP6 eksperimenta za 9 globalnih klimatskih modela

Prilog 6.

Tabelarni prikaz rezultata

Tabela p6.1 Koeficijent trenda fluksa latentne toplote, Y_{FI} [$Wm^{-2}/godina$] za proleće (MAM), leto (JJA) i jesen (SON).

Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	Y_{FI2002}	Y_{FI850}	Y_{FI2050}	Y_{FI2002}	Y_{FI850}	Y_{FI2050}	Y_{FI2002}	Y_{FI850}	Y_{FI2050}
A1	-0.14	-0.19	-0.65	-0.22	-3.60	-9.71	-0.32	-1.64	-1.36
A2	0.18	0.08	0.04	0.19	-2.81	-8.96	-0.39	-1.23	-1.09
A3	0.28	0.02	1.27	0.14	-2.86	-5.98	-0.48	-1.89	-1.79
A4	0.26	0.18	1.56	0.13	-1.73	-3.20	-0.63	-3.06	-2.57
A5	0.29	-0.17	1.08	0.19	-1.91	-6.26	-0.18	-2.59	-2.40
A6	0.19	-0.45	1.13	0.59	-1.15	-5.44	-0.38	-3.08	-2.09
A7	0.39	-0.17	1.62	0.73	-1.62	-3.07	-0.60	-3.38	-2.13
A8	0.26	0.02	1.58	0.57	-1.01	-1.45	-0.64	-3.77	-2.54
A9	0.05	-0.43	1.45	0.06	1.69	-0.38	-0.03	-1.69	-0.95
A10	-0.06	-0.76	1.38	0.44	1.25	-0.94	-0.10	-2.91	-1.17
A11	0.01	-0.29	1.50	0.41	-0.18	-1.03	-0.22	-3.41	-1.49
A12	0.12	0.01	1.34	0.30	-0.28	-0.72	-0.31	-3.24	-1.64
Region	0.06	-0.20	0.92	0.10	-1.05	-3.86	-0.32	-2.40	-1.55

Tabela p6.2 Koeficijent trenda sadržaja vlažnosti zemljišta Y_{SW} [m/godina] za proleće (MAM), leto (JJA) i jesen (SON). Ukupna dubina zemljišta za date podatke je oko 2.5 metra.

Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	Y_{SW2002}	Y_{SW850}	Y_{SW2050}	Y_{SW2002}	Y_{SW850}	Y_{SW2050}	Y_{SW2002}	Y_{SW850}	Y_{SW2050}
A1	-0.56	-0.78	-1.31	0.96	0.83	0.27	-4.1	-4.22	-4.63
A2	-1.51	-1.69	-2.58	1.36	1.26	0.40	-5.27	-5.35	-6.03
A3	-0.35	-0.62	-1.31	1.70	1.48	0.83	-4.07	-4.26	-4.76
A4	3.08	2.63	2.40	2.08	1.65	1.45	-5.25	-5.72	-5.79
A5	-1.58	-1.66	-2.14	1.55	1.48	0.96	-2.02	-2.15	-2.50
A6	-1.19	-1.50	-1.83	2.18	1.87	1.54	-1.91	-2.27	-2.46
A7	0.24	-0.21	-0.46	3.32	2.86	2.68	-1.85	-2.34	-2.42
A8	1.23	0.72	0.89	2.78	2.26	2.48	-4.10	-4.70	-4.35
A9	-1.36	-1.12	-1.17	1.67	1.87	1.79	0.06	0.15	0.12
A10	-1.72	-1.78	-1.71	1.84	1.74	1.78	0.19	0.01	0.08
A11	-3.08	-3.19	-3.24	1.46	1.28	1.24	-0.35	-0.59	-0.59
A12	-2.35	-2.63	-2.21	1.37	1.06	1.48	-2.26	-2.62	-2.20
Region	-0.68	-0.84	-1.07	1.52	1.37	1.14	-2.83	-3.02	-3.16

Tabela p6.3 Koeficijent trenda fluksa osetne toplote, Y_{Fh} [$Wm^{-2}/godina$] za proleće (MAM), leto (JJA) i jesen (SON).

Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	Y_{Fh2002}	Y_{Fh850}	Y_{Fh2050}	Y_{Fh2002}	Y_{Fh850}	Y_{Fh2050}	Y_{Fh2002}	Y_{Fh850}	Y_{Fh2050}
A1	-0.23	-0.66	0.56	-0.12	2.58	7.66	0.42	2.32	2.39
A2	-0.07	-0.41	0.41	-0.07	2.14	6.92	0.67	2.08	2.52
A3	-0.21	-0.29	-0.82	-0.09	1.86	4.02	0.82	2.53	2.87
A4	-0.44	-0.45	-1.65	-0.06	0.69	1.43	0.90	3.44	3.25
A5	-0.12	-0.41	-0.63	-0.58	1.11	4.44	0.26	2.93	2.67
A6	-0.19	-0.08	-0.99	-0.74	0.42	3.26	0.57	3.39	2.74
A7	-0.38	-0.16	-1.54	-0.75	0.70	1.17	0.91	3.63	2.90
A8	-0.30	-0.29	-1.87	-0.60	0.08	-0.56	0.94	3.97	3.25
A9	-0.18	-0.19	-1.24	-0.61	-2.82	-1.81	0.07	1.98	0.85
A10	-0.08	0.51	-1.41	-0.77	-2.19	-1.29	0.20	3.06	1.43
A11	0.15	0.59	-1.34	-0.66	-1.10	-1.44	0.38	3.47	2.08
A12	0.21	0.58	-1.36	-0.54	-1.20	-2.35	0.53	3.34	2.25
Region	0.13	-0.08	-0.85	-0.32	-0.06	1.62	0.50	2.78	2.20

Tabela p6.4 Koeficijent trenda površinskog albeda, Y_a [%/godina] za proleće (MAM), leto (JJA) i jesen (SON).

Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	Y_{a2002}	Y_{a850}	Y_{a2050}	Y_{a2002}	Y_{a850}	Y_{a2050}	Y_{a2002}	Y_{a850}	Y_{a2050}
A1	0.0	-0.03	0.12	0.0	0.001	-0.17	0.0	-0.14	-0.11
A2	0.0	-0.05	0.08	0.0	0.001	-0.12	0.0	-0.18	-0.08
A3	0.0	-0.08	0.01	0.0	0.01	-0.09	0.0	-0.25	-0.06
A4	0.0	-0.17	-0.03	0.0	0.06	-0.07	0.0	-0.2	-0.05
A5	0.0	-0.09	-0.05	0.0	0.12	-0.08	0.0	-0.13	-0.09
A6	0.0	-0.09	0.001	0.0	0.08	-0.07	0.0	-0.36	-0.13
A7	0.0	-0.13	0.04	0.0	-0.01	-0.08	0.0	-0.52	-0.11
A8	0.0	-0.16	-0.01	0.0	0.05	-0.06	0.0	-0.40	-0.09
A9	0.0	-0.26	-0.42	0.0	0.29	-0.06	0.0	-0.06	0.17
A10	0.0	-0.31	-0.34	0.0	0.25	-0.05	0.0	-0.36	0.02
A11	0.0	-0.33	-0.29	0.0	0.13	-0.05	0.0	-0.43	-0.05
A12	0.0	-0.30	-0.27	0.0	0.18	-0.04	0.0	-0.35	-0.006
Region	0.0	-0.19	-0.14	0.0	0.12	-0.08	0.0	-0.22	-0.01

Tabela p6.5 Koeficijent trenda oblačnosti, Y_{Ob} [%/godina] za proleće (MAM), leto (JJA) i jesen (SON). Ukupni oblačni pokrivač je zadat na jednom nivou koji je dobijen od svih oblaka koji se pojavljuju na različitim nivoima modela kroz atmosferu.

Vreme / Prostor	MAM			JJA			SON		
	Y_{Ob2002}	Y_{Ob850}	Y_{Ob2050}	Y_{Ob2002}	Y_{Ob850}	Y_{Ob2050}	Y_{Ob2002}	Y_{Ob850}	Y_{Ob2050}
A1	0.01	0.6	-0.1	-0.06	-1.4	-0.5	-0.85	-2.2	-1.4
A2	0.0	0.4	-0.25	-0.1	-1.3	-0.4	-0.81	-2.0	-1.1
A3	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-1.1	-0.2	-0.8	-2.3	-0.8
A4	0.2	-0.4	-0.1	-0.2	-1.1	-0.1	-1.0	-3.2	-1.1
A5	-0.03	0.3	-0.04	0.3	-0.3	-0.1	-0.8	-2.5	-1.1
A6	-0.03	-0.04	-0.1	0.1	-0.4	0.0	-0.6	-2.3	-0.8
A7	0.1	-0.4	-0.1	-0.01	-0.4	0.1	-0.6	-2.6	-0.8
A8	0.2	-0.7	0.05	-0.1	-0.5	0.4	-1.0	-3.4	-1.1
A9	-0.2	-0.8	-0.1	0.5	1.3	1.0	-0.5	-2.1	-0.3
A10	-0.3	-1.0	-0.2	0.3	1.0	0.9	-0.5	-2.4	-0.4
A11	-0.2	-1.2	-0.1	0.2	0.7	1.0	-0.6	-2.7	-0.6
A12	-0.2	-1.4	-0.1	0.1	0.3	1.1	-0.8	-3.0	-0.8
Region	-0.1	-0.5	-0.1	0.1	-0.3	0.3	-0.8	-2.6	-0.9

Tabela p6.6 Dekadni prosek ukupne oblačnosti, Ob [%/godina] za proleće (MAM), leto (JJA) i jesen (SON).

Prostor / Vreme	MAM			JJA			SON		
	Ob_{2002}	Ob_{0850}	Ob_{2050}	Ob_{2002}	Ob_{0850}	Ob_{2050}	Ob_{2002}	Ob_{0850}	Ob_{2050}
A1	49.3	45.4	46.1	31.2	29.3	32.6	46.8	46.2	46.4
A2	52.2	47.7	49.0	33.6	32.4	34.8	48.7	49.1	48.9
A3	52.0	46.8	48.7	33.4	32.4	34.5	48.0	48.7	48.7
A4	51.6	45.8	48.6	32.5	31.6	33.4	47.2	46.3	47.2
A5	51.1	48.6	48.5	40.0	37.9	41.0	50.7	50.7	50.6
A6	49.0	46.5	46.2	35.8	34.9	36.6	48.4	49.0	48.8
A7	48.5	46.3	45.7	33.6	33.2	34.1	47.1	48.0	48.1
A8	51.3	48.9	48.7	35.2	34.6	35.6	48.6	48.6	49.5
A9	52.9	51.9	50.8	45.3	43.8	44.9	54.8	56.0	54.4
A10	51.1	50.6	48.9	41.9	40.9	41.4	53.4	53.7	53.1
A11	51.9	51.3	49.7	41.7	40.2	40.8	52.7	52.4	52.9
A12	53.4	52.8	51.1	41.8	39.6	40.7	52.4	51.8	53.0
Region	51.8	49.0	49.2	37.5	36.1	37.8	50.4	50.3	50.4

Tabela p6.7 Koeficijent trenda ukupnih sezonskih padavina, Y_{Pr} [mm/godina].

Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	Y_{Pr2002}	Y_{Pr850}	Y_{Pr2050}	Y_{Pr2002}	Y_{Pr850}	Y_{Pr2050}	Y_{Pr2002}	Y_{Pr850}	Y_{Pr2050}
A1	0.2	11.8	-2.0	-2.0	-13.5	-27.2	-9.3	-14.6	-12.2
A2	1.7	12.3	0.3	-1.1	-12.1	-20.3	-8.5	-10.8	-6.6
A3	2.7	10.9	5.2	-0.7	-13.3	-13.7	-7.0	-8.0	-4.2
A4	2.0	6.3	7.3	-2.5	-12.8	-12.6	7.6	-12.4	-7.0
A5	-0.5	7.3	-2.1	5.3	-5.4	-20.5	-6.0	-16.7	-10.5
A6	1.5	9.1	1.7	2.1	-8.2	-17.0	-3.7	-12.1	-4.5
A7	4.1	9.2	6.8	-0.5	-11.8	-11.2	-3.5	-10.0	-2.3
A8	-6.1	6.0	10.0	4.2	-8.2	-5.1	-6.1	-16.0	-7.5
A9	3.3	3.7	5.6	7.5	9.2	3.9	-4.4	-17.9	-6.9
A10	6.1	5.0	8.7	7.7	1.6	0.0	-2.9	-13.0	-2.6
A11	5.7	4.2	9.8	6.3	-6.2	-1.6	-2.0	-8.8	0.9
A12	3.7	1.2	9.1	6.5	-3.6	3.6	-3.0	-11.0	-1.6
Region	2.70	6.25	5.00	2.40	-5.84	-8.60	-6.0	-13.2	-6.00

Tabela p6.8 Dekadni prosek ukupnih sezonskih padavina, Pr [mm/godina].

Vreme /	MAM			JJA			SON		
Prostor	Pr_{2002}	Pr_{850}	Pr_{2050}	Pr_{2002}	Pr_{850}	Pr_{2050}	Pr_{2002}	Pr_{850}	Pr_{2050}
A1	240	220	209	238	202	252	305	302	310
A2	214	183	182	233	198	234	251	233	247
A3	174	128	133	222	184	216	188	160	178
A4	161	99	114	218	176	209	164	140	153
A5	233	227	218	335	300	358	261	265	281
A6	156	154	146	230	202	239	163	151	169
A7	139	120	116	211	188	214	135	111	135
A8	151	113	112	229	199	224	142	115	141
A9	183	193	185	311	290	308	175	193	207
A10	166	185	166	260	244	264	148	151	168
A11	173	184	160	292	277	292	156	148	171
A12	179	175	157	301	273	289	163	151	182
Region	190	171	166	265	234	262	201	193	210