



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA BIOLOGIJU I EKOLOGIJU



Dejan Stojanović

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA VEZIVANJE UGLJENIKA, RAST I BIODIVERZITET BUKOVIH ŠUMA U SRBIJI

-doktorska disertacija-

Novi Sad, 2014. godine

PREDGOVOR

Ova disertacija je plod združene energije i zalaganja većeg broja ljudi iz različitih institucija kroz više projekata. Istraživanja u okviru ove disertacije su sprovedena uz punu podršku i pokroviteljstvo Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Univerziteta u Novom Sadu.

Projekti iz čijih aktivnosti je proistekla ova disertacija su:

Istraživanje klimatskih promena i njihovog uticaja na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje (III43007) – finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru programa integrisanih i interdisciplinarnih istraživanja u periodu 2011-2014.

Modeliranje vegetacije u šumskim ekosistemima u skladu sa scenarijima klimatskih promena – finansiran od strane Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Uprava za šume Republike Srbije u periodu 2012-2014.

COST Action FP0903 - Climate Change and Forest Mitigation and Adaptation in a Polluted Environment – je finansirala moja dva naučna boravka u Institutu za proučavanje uticaja klime (Potsdam, Nemačka) i Centru za ekologiju i funkcionalnu evoluciju francuskog Nacionalnog centra za istraživanje (Monpelje, Francuska).

Zahvaljujem se

prof. dr Saši Orloviću, mentoru ove disertacije, koji mi je pravovremeno ukazao poverenje i omogućio bavljenje naučno-istraživačkim radom u oblasti šumarstva i klimatskih promena i koji me je bezrezervno podržavao,

doc. dr Dubravki Milić na mentorstvu, pozitivnoj energiji i korisnim savetima,

dr Bratislavu Matoviću na rukovođenju doktorskom disertacijom, plodotvornoj saradnji i na ustupljenim podacima,

prof. dr Snežani Radulović na podršci tokom izrade teze i korisnim sugestijama,

prof. dr Anteu Vujiću na pomoći u vezi sa upisom doktorskih studija, kao i na bezrezervnoj podršci tokom izrade doktorske disertacije

doc. dr Vladimiru Đurđeviću na korisnim sugestijama, pripremi klimatskih podataka i drugarskom odnosu,

prof. dr Borivoju Rajkoviću na podršci i učešću u komisiji za ocenu i odbranu doktorske disertacije,

Aleksandri Kržič iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije na stručnoj pomoći prilikom izrade mapa i modeliranja vezanog za Elenbergov klimatski koeficijent,

Petri Lasch, dr Christopher Reyeru, dr Martinu Gutschu i dr Felicitas Suckow iz Instituta u Potsdamu koji su me uputili u tajne 4C modela i pomogli u razumevanju modeliranja rasta šuma u izmenjenim klimatskim uslovima,

dr Anne Duputie iz Univerziteta u Lilu koja mi je pomogla oko prostorno-statističkih analiza,

dr Zoranu Galiću, dr Andreju Pilipoviću i dr Saši Pekeču iz Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu i dr Zoranu Maunagi, dr Vojislavu Dukiću i Branislavu Cvjetkoviću sa Šumarskog fakulteta u Banjoj Luci na popunjenom upitniku za eksperte,

Upravi za šume, javnim preduzećima - NP „Fruška gora“, NP „Tara“, NP „Đerdap“ i „Srbijašume“, nevladinim organizacijama - Mladi istraživači Srbije, Društvo za zaštitu i proučavanje ptica Srbije, Društvo mladih istraživača Bora i KAPD „Balkan” na popunjenom upitniku za zainteresovane strane,

Saši Stamatoviću iz Uprave za šume na sugestijama i ustupljenim podacima,

kolegama iz Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu koji su me od prvog dana srdačno primili u svoj kolektiv i podržavali prilikom izrade teze,

kolegama iz Insektarijuma Departmana za biologiju i ekologiju koji su me podržali pre upisa i tokom doktorskih studija,

porodici na bezrezervnoj podršci,

Mireli na podršci kada je bilo teško i neizvesno.

Novi Sad, 13.02.2014.

Dejan Stojanović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
1. UVOD	4
1.1. Klimatske promene na globalnom nivou	4
1.2. Klimatske promene u Srbiji	12
1.3. Uticaj promene klime na šumske ekosisteme	15
1.4. Šume Srbije.....	17
1.5. Bukva (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	26
1.6. Adaptacija šumarskog sektora na klimatske promene.....	28
1.7. Ciljevi istraživanja	31
2. MATERIJAL I METODE.....	32
2.1. Analize rasta bukovih šuma pomoću 4C modela	32
2.1.1. Proučavane sastojine	32
2.1.2. 4C (<i>FORESEE - FORESt Ecosystems in a Changing Environment</i>) procesni model rasta šuma u promenljivim ekološkim uslovima	35
2.1.3. Simulirane mere gazdovanja	39
2.1.4. Ulazni i izlazni podaci iz modela.....	41
2.1.5. Klimatski podaci	44
2.1.6. Statistička obrada	44
2.1.7. Kalibracija.....	48
2.1.8. Dizajna eksperimenta multifunkcionalnog gazdovanja	48
2.2. Upotreba Elenbergovog indeksa za određivanje donje granice prostiranja bukovih šuma u Srbiji u 21. Veku.....	49
2.2.1. Biometeorološki indeks.....	49
2.2.2. Osmotreni podaci i projekcije klime	49
2.2.3. Prostorne analize	50
2.3. Poređenje rezultata vezano za perspektive bukovih šuma u Srbiji.....	51
3. REZULTATI.....	52
3.1. Simulacije pomoću 4C modela.....	52
3.1.1. Klimatski uslovi u istraživanim sastojinama	52
3.1.2. Rast bukovih šuma u pet klimatskih perioda	56
3.1.3. Gazdovanje bukovim šumama	93
3.2. Donja granica prostiranja bukve u Srbiji na osnovu Elenbergovog koeficijenta (EQ) 108	
3.2.1. Određivanje prediktivne sposobnosti EQ i bioklimatske granice pojavljivanja bukve u Srbiji.....	108

3.2.2. EQ za referentni period 1961-1990.....	110
3.2.3. EQ za period 2001-2030 - A1B scenario	114
3.2.4. EQ za period 2071-2100 - A1B i A2 scenariji.....	115
3.3. Poređenje rezultata dva metoda pristupa (simuliranje procesa-4C model i promene ekoloških niša – EQ koeficijent)	116
4. DISKUSIJA.....	117
4.1. Koji načini gazdovanja obezbeđuju najveće vezivanje ugljenika, očuvanje biodiverziteta i rast svake pojedinačne sastojine?	117
4.2. Budućnost bukve sa aspekta EQ i simulacija 4C modelom	124
4.3. Invazivne vrste u bukovim šumama	128
4.4. Adaptacija na promenu klime i preporuke za gazdovanje.....	135
5. ZAKLJUČAK	139
6. LITERATURA.....	141
PRILOG I – Anketa za eksperte.....	158
PRILOG II – Anketa za zainteresovane strane u procesu gazdovanja bukovim šumama u Srbiji	162
PRILOG III - Metrološke stanice korišćene u kalkulacijama EQ za referentni period 1961-1990 (RHMZ).....	163
PRILOG IV Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast.....	165
Scenario gazdovanja 2 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	165
Scenario gazdovanja 3 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	168
Scenario gazdovanja 4 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	171
Scenario gazdovanja 5 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	174
Scenario gazdovanja 6 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	177
Scenario gazdovanja 7 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	180
Scenario gazdovanja 8 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	183
Scenario gazdovanja 9 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	186
Scenario gazdovanja 10 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	189
Scenario gazdovanja 11 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	192
Scenario gazdovanja 12 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	195

Scenario gazdovanja 13 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	198
Scenario gazdovanja 14 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	201
Scenario gazdovanja 15 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	204
Scenario gazdovanja 16 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	207
Scenario gazdovanja 17 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	210
Scenario gazdovanja 18 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	213
Scenario gazdovanja 19 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda	216
PRILOG V Aktivne temp., sušni, topli i hladni dani	219
Javor (8ab)	219
Zapadna Boranja (27a)	221
Čemernik-Ostrozub (31a)	223
Homoljske planine (33a)	225
Kučajske planine (42ab)	227
Željin (44a)	229
Kukavica (46a)	231
Jastrebac (116a)	233
Istočna Boranja (122a).....	235
PRILOG VI Temperature i padavine 2001-2100	237
Sažeta biografija	239

1. UVOD

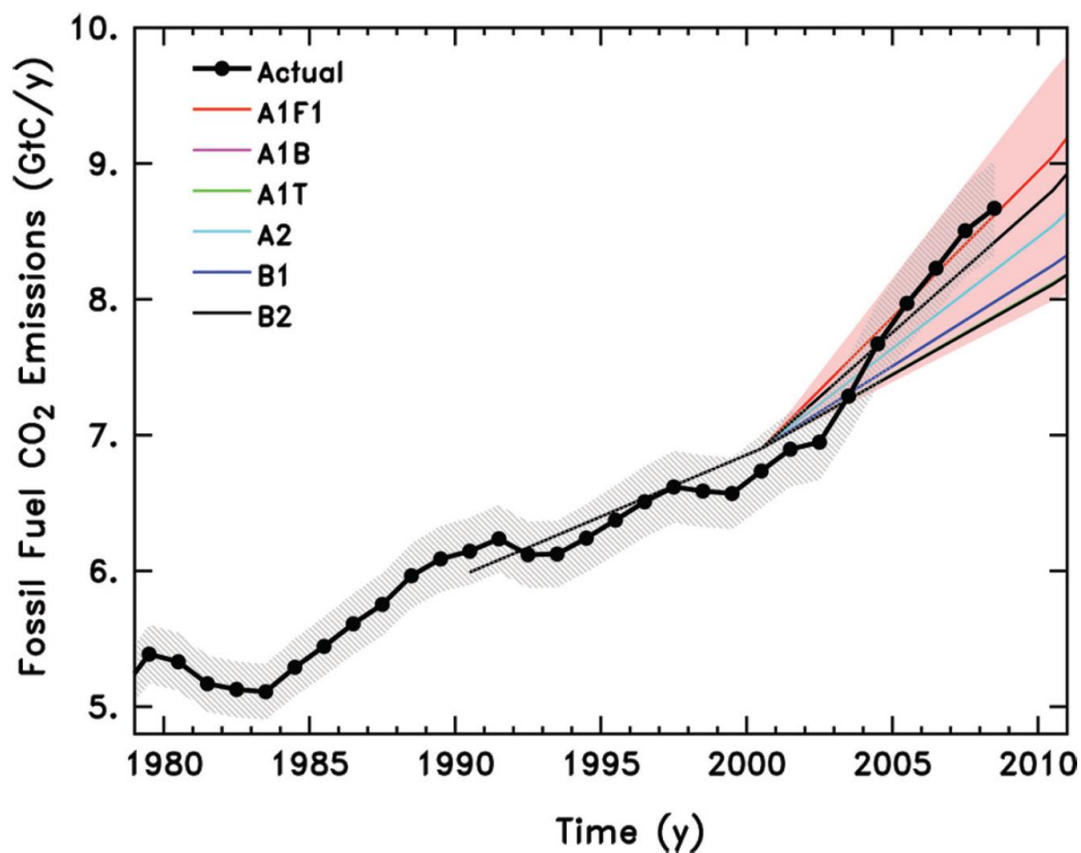
1.1. Klimatske promene na globalnom nivou

Projekcije promena klime u 21. veku su u neposrednoj vezi sa projekcijama razvoja ljudskog društva. Postoji 40 različitih scenarija Međuvladinog panela o klimatskim promenama (Nakićenović i sar., 2000) koji su zasnovani na različitim pretpostavkama vezanim za brzinu ekonomskog rasta, integrisanost sveta, tehnološki razvoj, korišćenje fosilnih goriva i veličinu ljudske populacije. Oni se dele u četiri grupe (A1, A2, B1 i B2), od kojih scenarija iz grupe A imaju fokus na projekcijama ekonomskog rasta, a B scenarija više na životnoj sredini, dok se scenarija iz grupe 1 zasnivaju na globalizaciji sveta, a grupe 2 na regionalizaciji. Bitna činjenica je da su u prvoj deceniji 21. veka emisije ugljen-dioksida iz fosilnih goriva premašile prognoze većine scenarija sačinjenih 2000. godine (Le Quéré i sar., 2009).

U ovom trenutku u svetu postoji saglasnost većeg broja naučnika da se promene klime na zemlji događaju kao posledica ljudske aktivnosti, na prvom mestu zbog porasta nivoa ugljen-dioksida i drugih gasova staklene bašte nastalih najvećim delom sagorevanjem fosilnih goriva (Doran i Zimmerman, 2009). Aktuelni trendovi u korišćenju energije i porastu broja stanovnika na Zemlji će najverovatnije nastaviti da doprinose povećanju efekta staklene bašte i još drastičnijoj promeni klime.

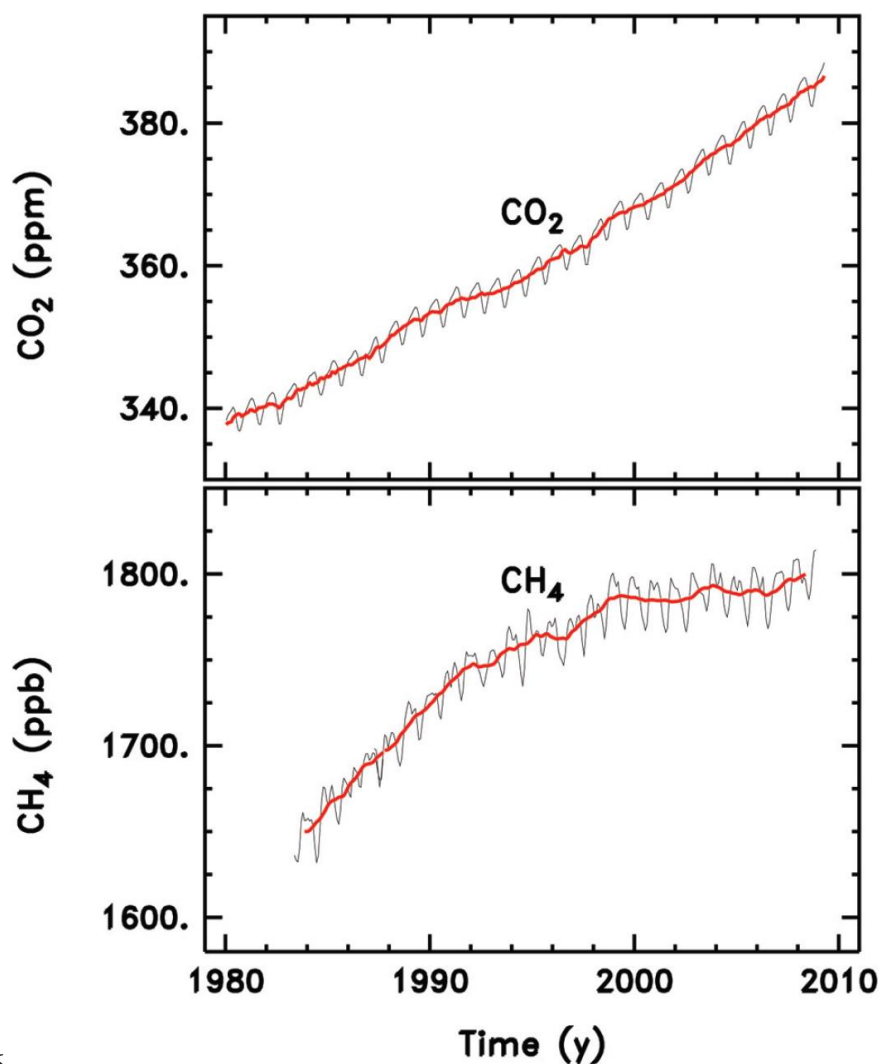
Na globalnom nivou, prosečna temperatura (kopna i okeana) u 21. veku je do 2007. godine bila oko 0,8 °C viša od nivoa u periodu 1850-1899. Temperatura kopna je u proseku bila viša za 1 °C. Brzina rasta prosečne globalne temperature se uvećala sa 0,1 °C po deceniji u proteklom veku na 0,2 °C u prethodnih nekoliko decenija. Zagrevanje u Evropi je bilo više od globalnog proseka. Prosečna godišnja temperatura na evropskom kopnu u 21. veku je do 2007. godine bila 1,2 °C viša od preindustrijskog nivoa. Takođe, osam od dvanaest godina u period 1996.-2007. su bile među 12 najtoplijih godina od 1850. godine u Evropi. Projekcije srednjih godišnjih temperatura, dobijenih pomoću klimatskih modela na osnovu različitih scenarija promene klime, ukazuju da će do kraja ovog veka temperatura na planeti porasti za 1 do 5,5 °C (Confalonieri i sar., 2007; Popović i sar., 2009).

U svrhu bolje ilustracije trenda sagorevanja fosilnih goriva, važno je sagledati vremenske serije emisija ugljen-dioksida na globalnom nivou (Slika 1.).



Slika 1. Aktuelna globalna emisija CO₂ iz sagorevanja fosilnih goriva i proizvodnje cementa zajedno sa scenarijima IPCC-a (Nakićenović i sar., 2000). Crveno zasenčeno je opseg u kome su se kretale vrednosti različitih scenarija (iz Allison i sar., 2011, ilustracija Le Quéré i sar. (2009))

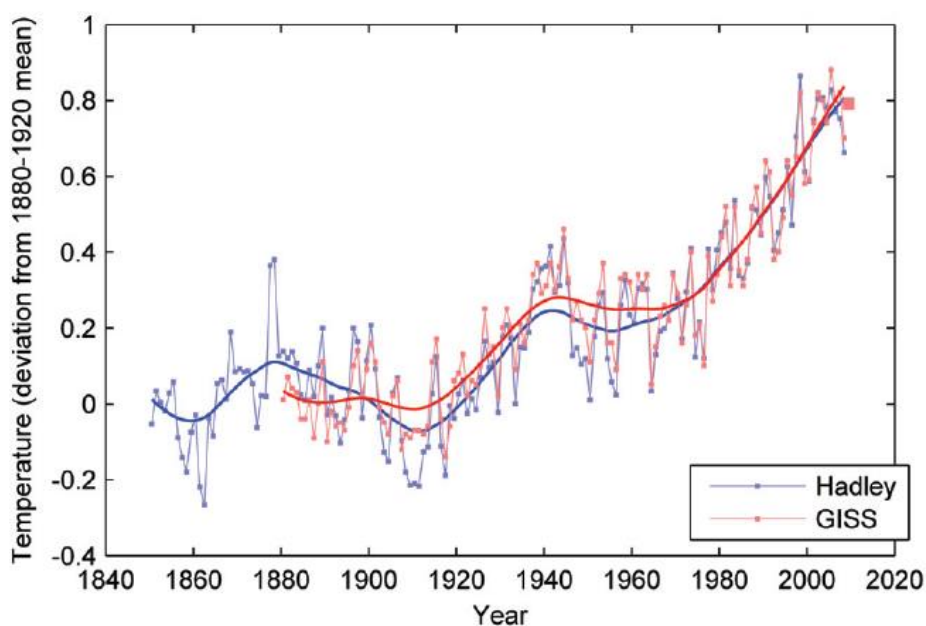
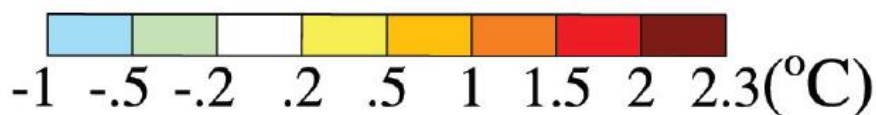
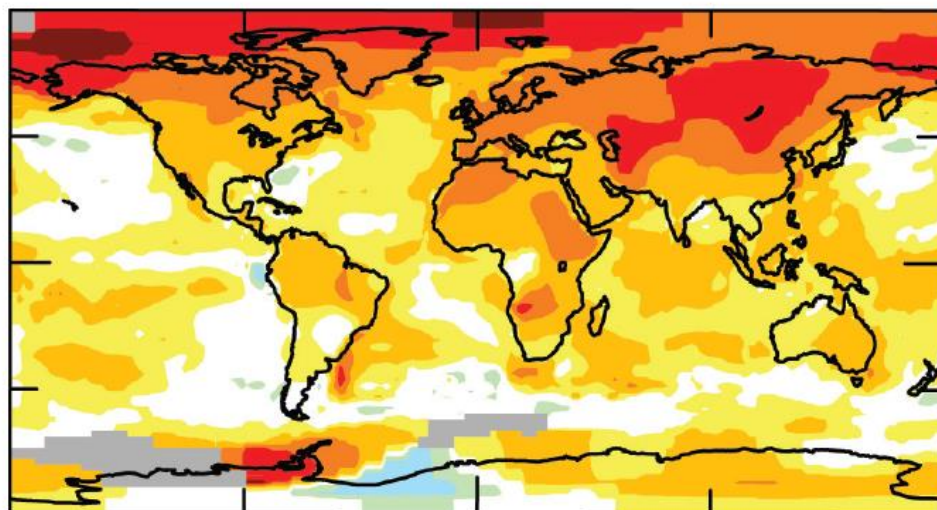
Pored emisije CO₂ od izuzetnog značaja je i predstaviti apsolutni globalni porast dva ključna gasa staklene bašte (ugljen-dioksida i metana) u poslednjih 30 godina (Slika 2).



6

Slika 2. Koncentracije CO₂ (gore) i CH₄ (dole) u atmosferi. Crvena linija predstavlja srednju vrednost koja otklanja sezonske varijacije. (Podaci *Earth System Laboratory of the US National Oceanic and Atmospheric Administration*, Allison i sar. (2011)).

Da klimatske promene nisu samo varijacije u vremenu govori u prilog i Slika 3. na njoj se uočava da su pojedina područja na Zemlji u 21. veku bila čak za dva stepena toplija u odnosu na referentni period 1951-1980.

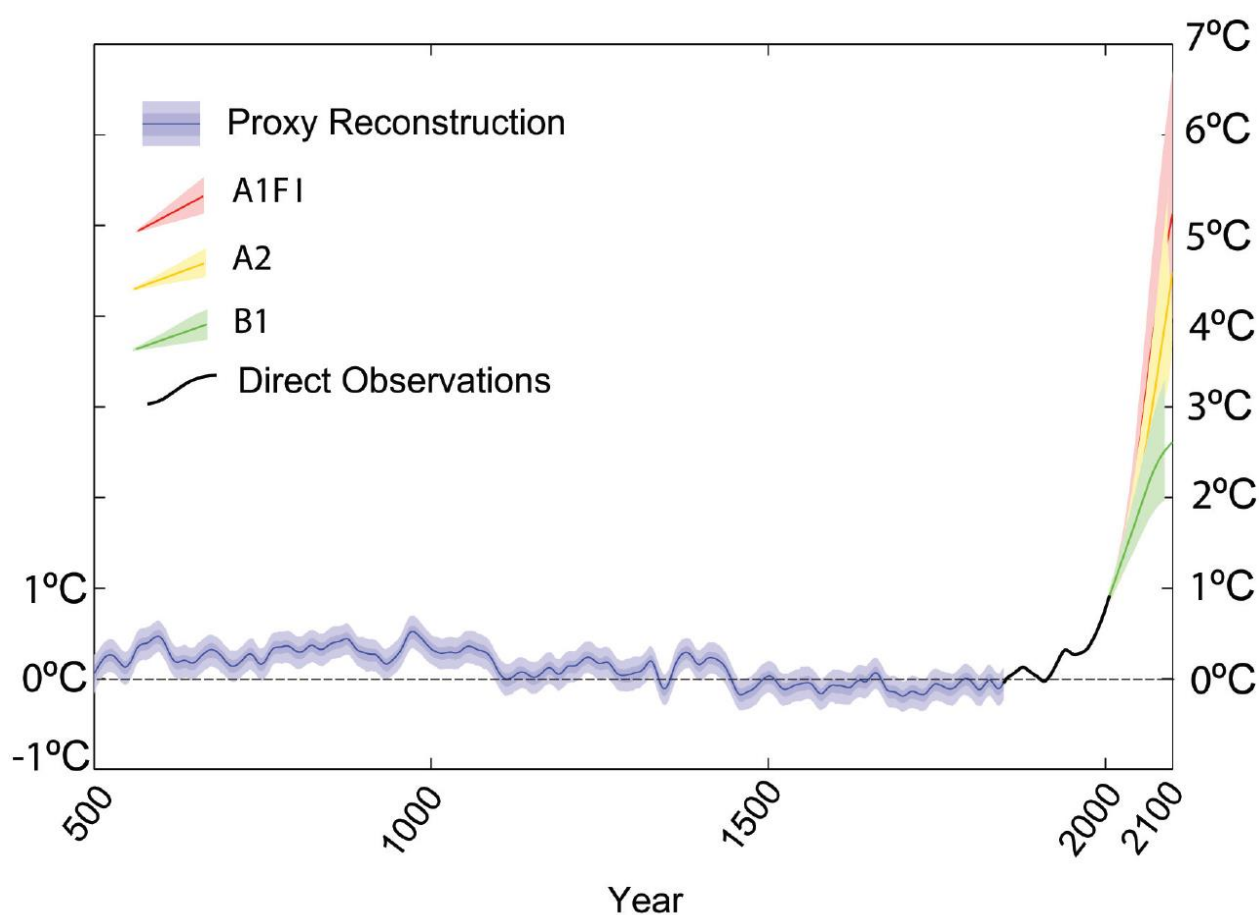


Slika 3. Promene srednje temperature na površini Zemlje (u °C) za period 2001-2007 u odnosu na referentni period 1951-1980 (gornja slika). Porast globalne srednje temperature u poslednjih 100 godina u odnosu na referentni period 1880-1920 (Podaci NASA/GISS i Hadley) (donja slika) Allison i sar. (2011).

Da li globalna temperature pokazuje trend usporenja porasta? Trend povećanja od okvirno 0,2 stepena ustanovljen od strane IPCC(2007) se i dalje nastavlja. Kratkoročne

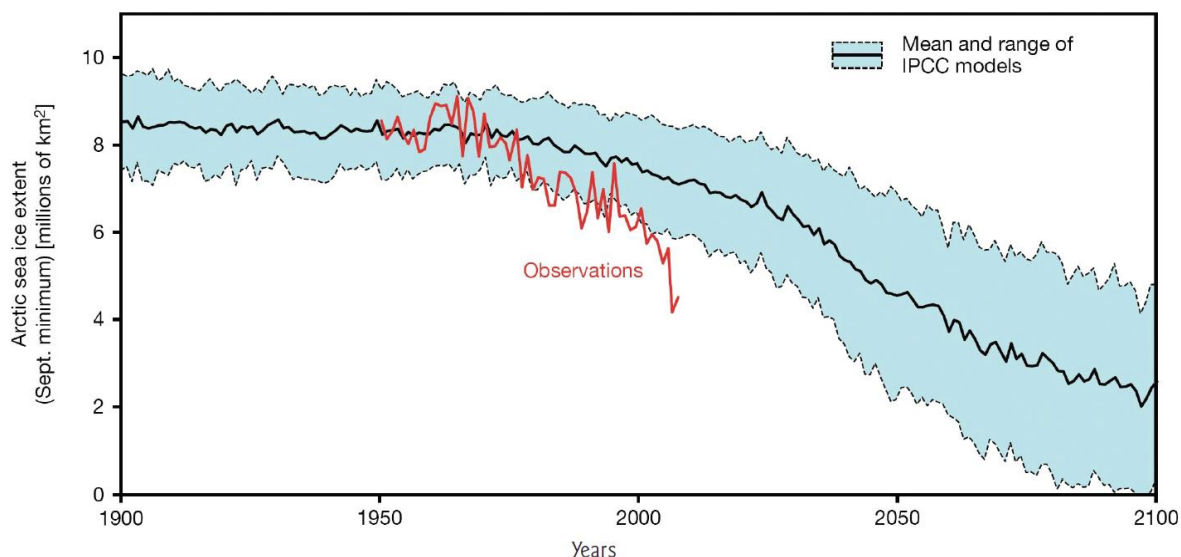
oscilacije koje se javljaju su rezultat južne oscilacija, poznatije kao El Niño. Trend odstupanja temperature u poslednjih 1500 godina od srednje temperature u periodu 1800-1900 nepobitno ide u smeru rasta (Slika 4.).

Global Temperature Relative to 1800-1900 (°C)



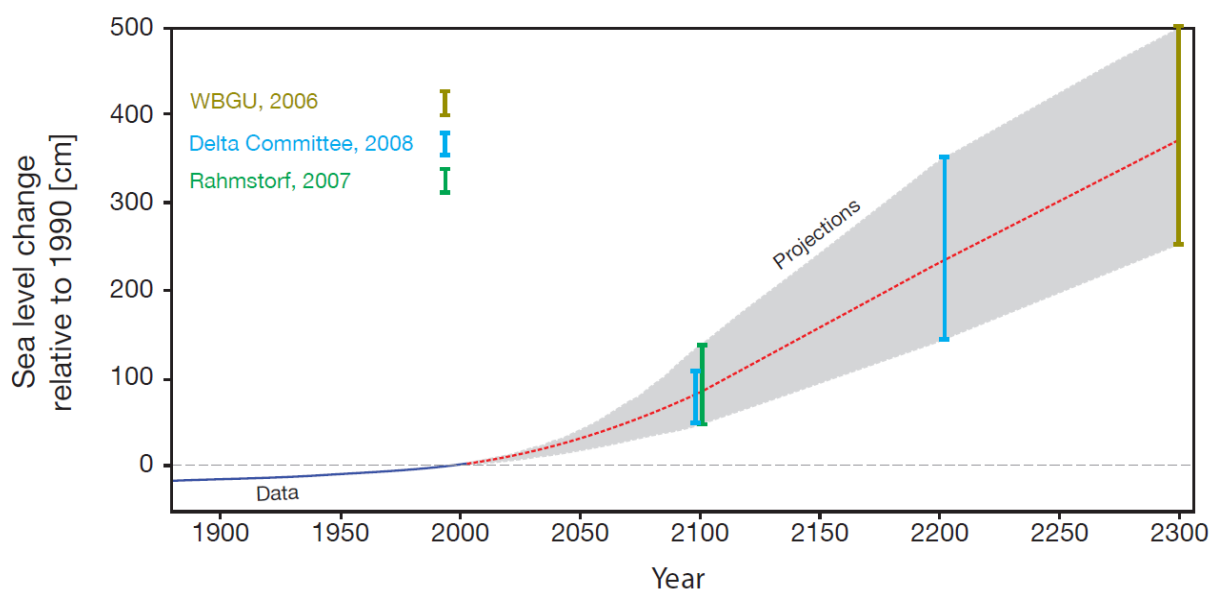
Slika 4. Odstupanje temperature od prosečnih za period 1800-1900. (plava linija je rekonstruisana klima, crna direktna osmatranja, a bojama su predstavljene različite projekcije za 21. vek (Mann i sar. (2008) iz Allison i sar. (2011))

Promena temperature se direktno odražava na smanjenje površine ledenog pokrivača na Arktiku i Antarktiku što dalje utiče na nivo svetskog mora. Osmotrena promena površine ledenog pokrivača na Arktiku je veća u odnosu na projekcije Međuvladinog panela o klimatskim promenama (IPCC, 2007) (Slika 5.).



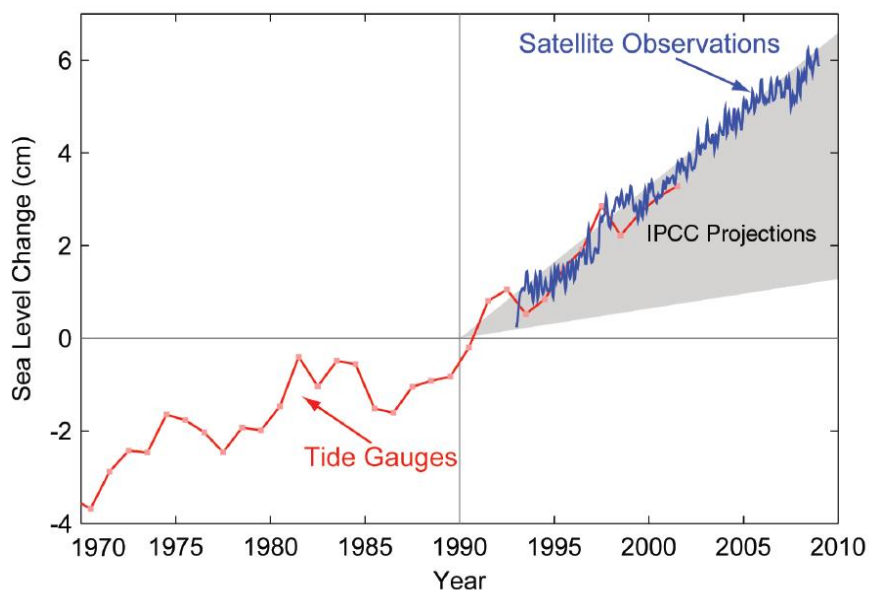
Slika 5. Osmotrena i modelirana površina ledenog pokrivača na Arktiku (crvena linija – osmotrena površina, crna linija – modelirana površina zajedno sa mogućim opsegom varijacije (IPCC, 2007)

Promena površine ledog pokrivača neminovno dovodi do porast nivoa svetskog mora. Projekcije Međuvladinog panela o klimatskim promenama predviđaju rast svetskog mora do 1 m do kraja 21. veka (IPCC, 2007; Slika 6.).



Slika 6. Osmotrena (plava linija) i projektovana promena nivoa svetskog mora (Allison i sar., 2011)

Da projekcije imaju utemeljenje u stvarnosti, potvrđuje i satelitska osmatranja koja pokazuju da porast nivoa svetskog mora prati najekstremnija predviđanja (Slika 7.).

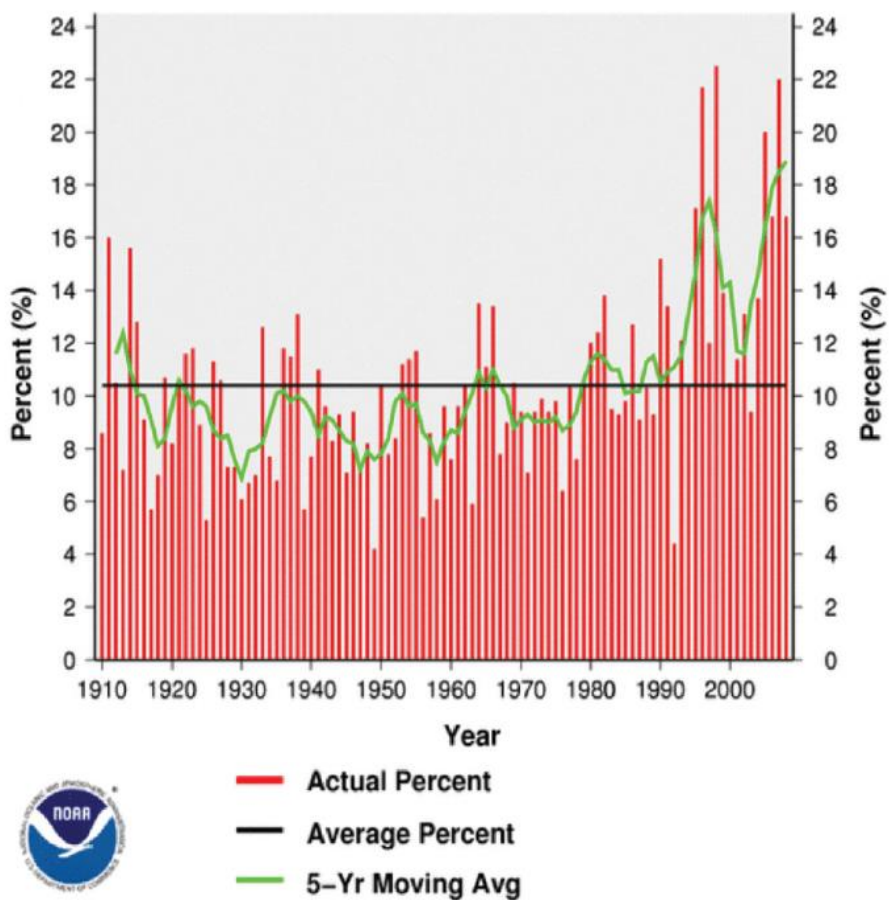


Slika 7. Promena nivoa mora u periodu 1970-2010. Crvenom su obeležena merenja pomoću prostih merača, plavo su satelitska osmatranja, dok sivo predstavlja mogući opseg porasta nivoa na osnovu IPCC projekcija (Allison i sar., 2011)

Da se ne radi o prostom povećanju temperatura i nivoa mora, govore predviđanja da će ekstremni događaji (toplotni talasi, suše, ekstremne padavine, poplave, požari, pojava kilžišta) biti mnogo učestaliji. Povećanje učestalosti ekstremnih padavina u SAD u poslednjih trideset godina govore tome u prilog (Slika 8.) Trend porasta je jasno uočljiv.

U.S. Climate Extremes Index: Step4

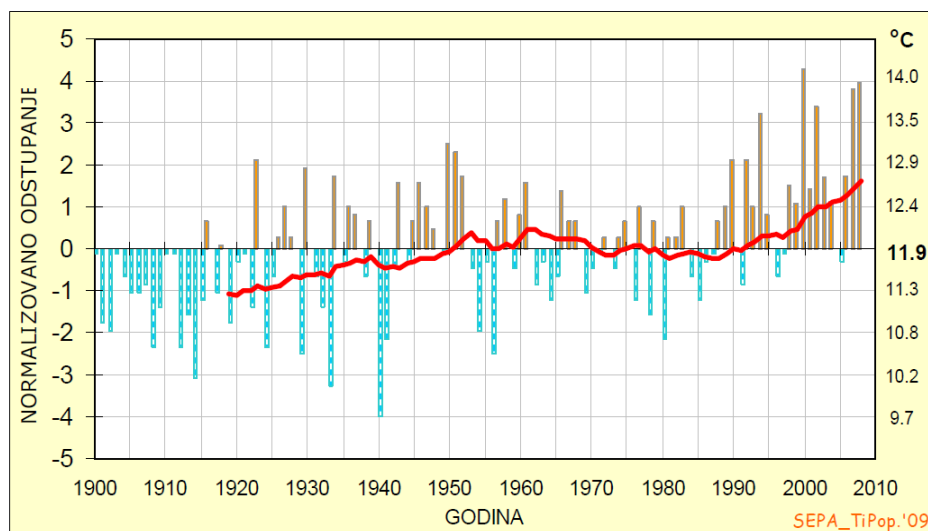
Annual (Jan–Dec)
1910–2008



Slika 8. Pojava ekstremnih padavina u Sjedinjenim Državama (crvena linija predstavlja godišnje vrednosti, crna linija predstavlja prosečni procenat pojave, a zeleno su petogodišnji proseci

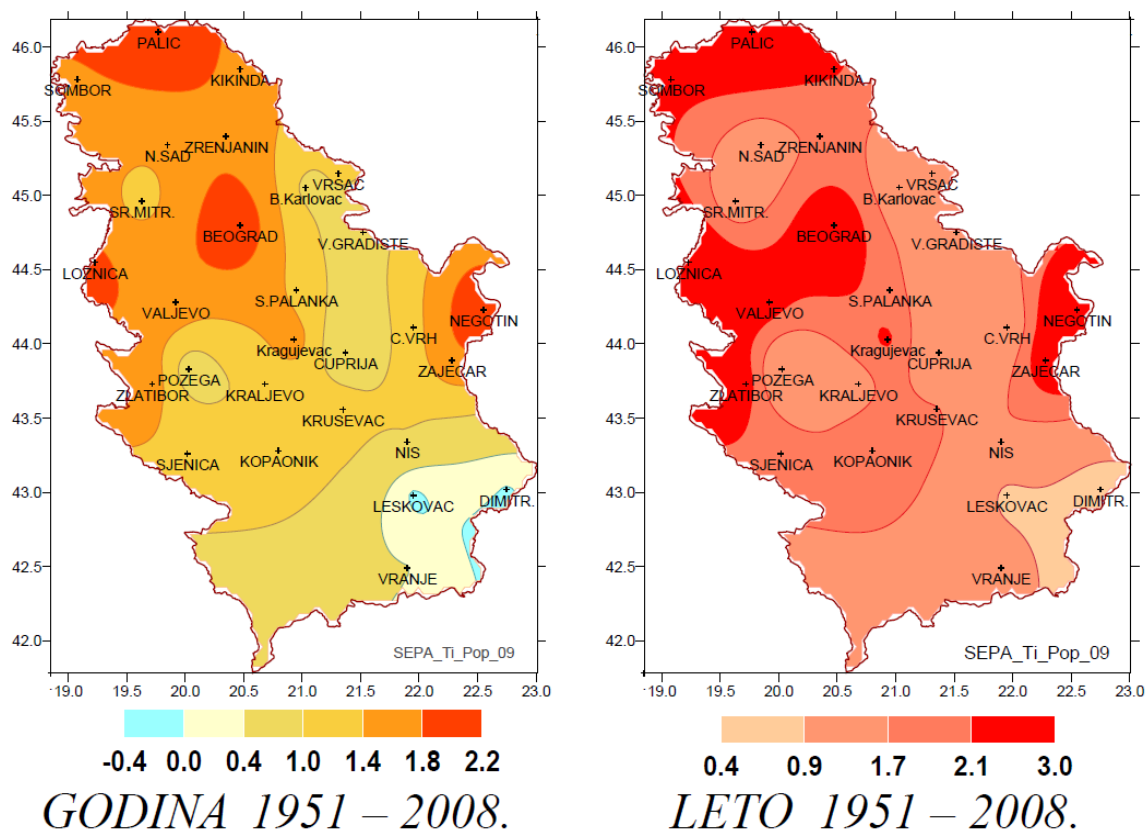
1.2. Klimatske promene u Srbiji

Pored posledica uticaja klimatskih promena na globalnom nivou, očigledne su i slične pojave u Srbiji. Bitan podatak je da je leto 2007. bilo 18. uzastopno leto sa temperaturom većom od prosečnih letnjih vrednosti u Srbiji (Izveštaj Agencija za zaštitu životne sredine, 2008). Očigledan je i trend porasta srednje godišnje temperature u Beogradu (Slika 9.).



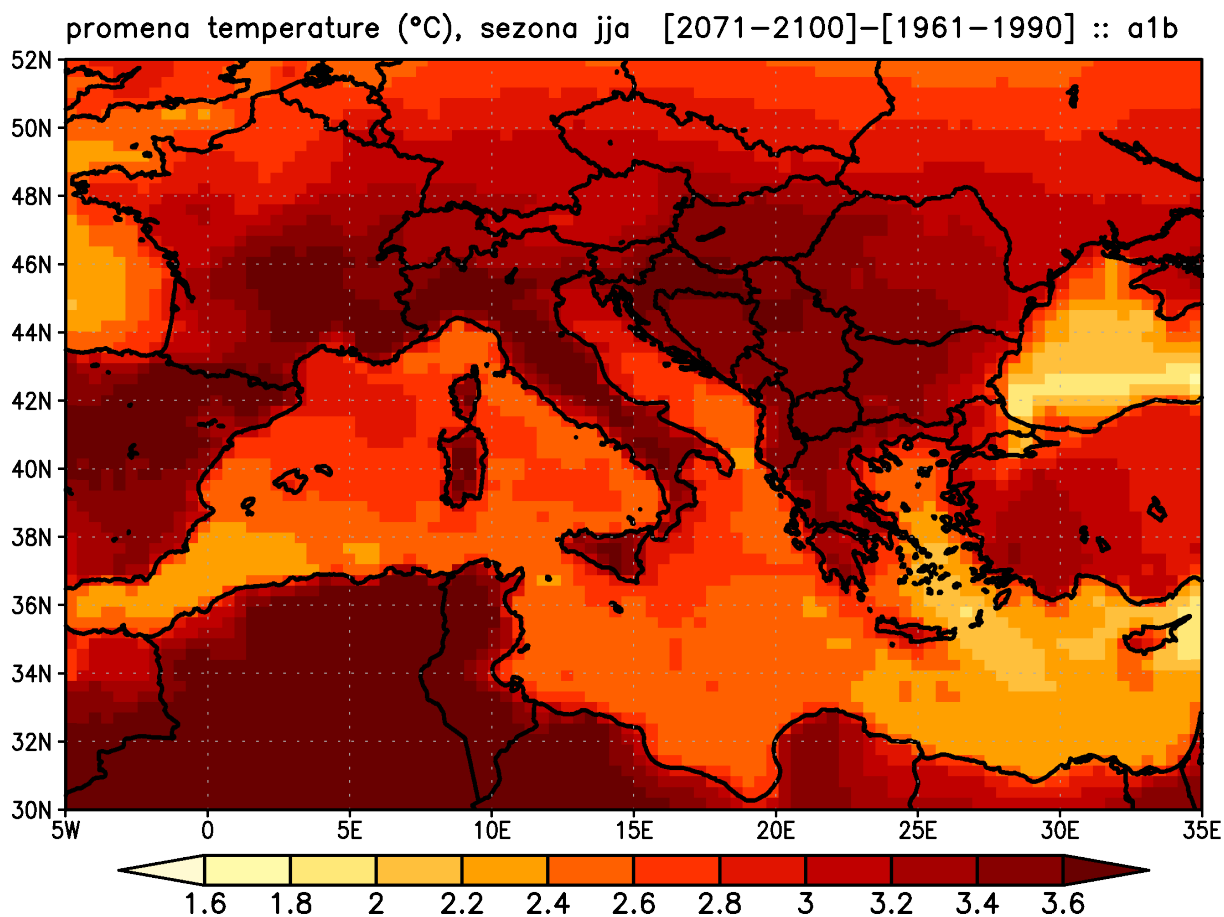
Slika 9. Godišnja temperatura vazduha u Beogradu sa kliznom dvadesetogodišnjom srednjom vrednošću (crvena linija) za period 1900-2008. (Popović i sar., 2009)

Međutim, trend porasta temperature nije izražen samo u Beogradu. Severni delovi Vojvodine, Negotinska krajina i deo Zapadne Srbije su posebno pogođeni promenom temperature. Trend promene srednje godišnje i letnje temperature u Srbiji iznosi nešto više od 2 °C/100 godina, a za najugroženija područja čak i 3°C/100 godina u letnjem period (Slika 10.).



Slika 10. Raspodela trenda godišnje (leva mapa) i letnje (desna mapa) temperature vazduha u $^{\circ}\text{C}/100$ godina, na području Srbije (RHMZ, Popović i sar., 2009)

Da porast temperature može biti još veći do kraja 21. veka govore i projekcije EBU-POM regionalnog klimatskog modela (Djordjević i Rajković, 2008). Porast temperature na osnovu A1B IPCC SRES klimatskog scenarija, koji spada u umerenije, letnje temperature će na području Srbije porasti za 3 do 4 $^{\circ}\text{C}$ (Slika 11).



Slika 11. Povećanje srednje letnje temperature (meseci jun, jul, avgust) u °C za Evropu i Srbiju za period 2071-2100. u odnosu na referentni period 1961-1990 na osnovu A1B scenaria povećanje koncentracije gasova staklene baste (Popović i sar. 2009.)

1.3. Uticaj promene klime na šumske ekosisteme

Sve projekcije promene klime sugerišu da će na prostoru Srbije u 21. veku doći do značajnih promena temperature. Prognoze su da će prosečna godišnja temperatura koja prati A2 ilustrativni scenario, a koji je od IPCC izabran da predstavlja grupu A2 scenarija i predstavlja jedan od ekstremnijih, porasti u proseku za čak 3,8 stepeni celzijusa, kao i da će leta biti duža i toplija, a godine sa većim temperaturnim amplitudama (Božanić i Gasperić, 2010). Porast temperature će neminovno dovesti do promene koncentracije organskog ugljenika u zemljištu, kao i do pomeranja u fenologiji (vegetaciona sezona će ranije počinjati) (Popović i sar., 2009).

Srbija je potpisala Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o promeni klime (UNFCCC, 1992) i Kjoto protokol (1997), u čemu se ogleda njeno jasno opredeljenje da se suoči sa izazovima koje donose klimatske promene. Na te izazove se ne može odgovoriti bez uključivanja svih privrednih i društvenih sektora, u značajnoj meri i šumarstva. Neminovan globalni porast koncentracije CO₂, povećanje temperature i promene režima padavina će nesumnjivo imati uticaj na različite procese u fiziologiji i ekologiji biljaka. Generalno, porast koncentracije CO₂ dovodi do intenziviranja metaboličkih procesa i porasta biomase, povećanje temperatura može imati i pozitivan i negativan efekat na šumske ekosisteme, dok promena režima padavina gotovo bez izuzetka nosi sa sobom negativne posledice po šume (Robeldo i Forner, 2005) (Tabela 1). U ovakvim okolnostima korišćenje modela koji će objediniti međuzavisne i međusobno suprotsavljanje procese je jedna od retkih mogućnosti za iznalaženje odgovora na pitanje šta se može deševati u uslovima promenjene klime 21. veka.

Tabela 1. Sumarni uticaj klimatskih promena na šumske ekosisteme (Meer i sar. 2001 (iz Robeldo i Forner, 2005))

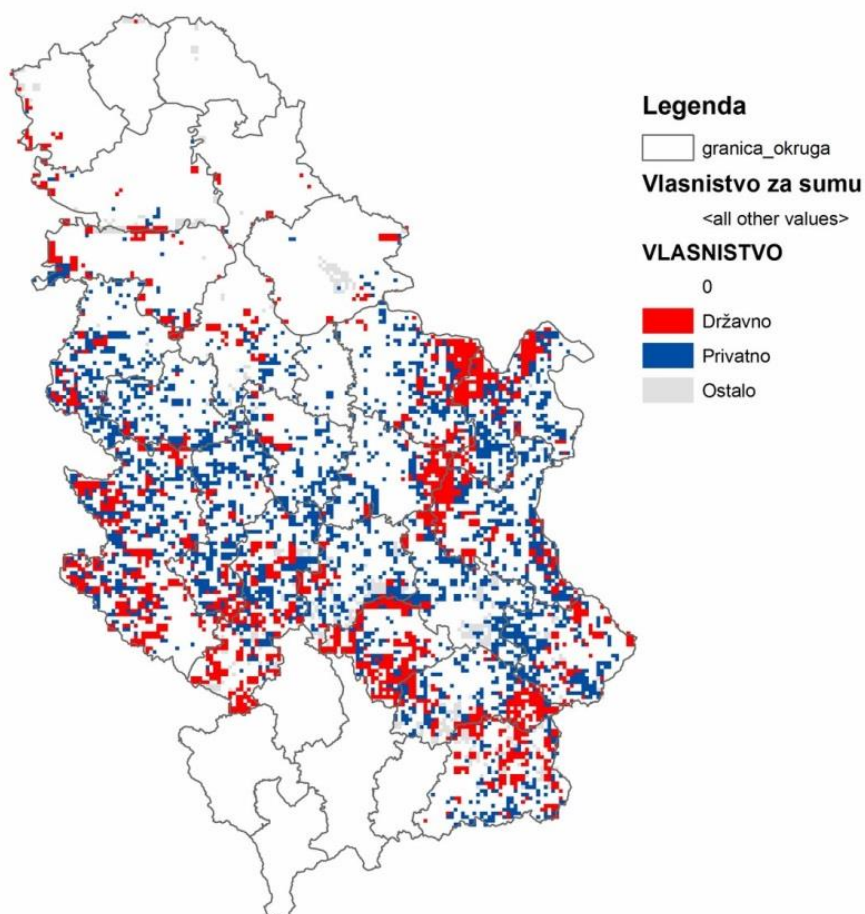
Nivo organizacije/ klimatski faktori	Ćelijski nivo	Nivo organizma	Nivo vrste	Ekosistemi nivo
Povećanje koncentracije CO ₂	Povećanje inteziteta fotosinteze.	Povećanje efikasnosti u korišćenju vode	Smanjen mortalitet semena	Povećanje biomase
	Redukcija stomatalne provodljivosti.	Povećana proizvodnja semena i plodova ili intezivnije plodonošenje.	Brže dostizanje zrelosti jedinke	Promena u kompetitivnim odnosima između vrsta
			Individualne promene u gusitini	Promena u kompoziciji vrsta
Povećanje temperature	Povećanje ili smanjenje inteziteta fotosinteze	Pozitivne ili negativne promene u promarnoj produkciji	Promena u uspešnosti prirodne obnove	Promena u kompetitivnim odnosima između vrsta
	Fotosintetički	Promena u produkciji semena	Moguć porast mortaliteta drveta	Promena odnosa udela vrsta (npr. u mešovitim
			Negativne posledice po	

	period se može produžiti Povećanje transpiracije		vrste senzitivne na promenu temperature	šumama). Povećana mineralizacija zemljišta
Promena u režimu padavina	Smanjenje stope rasta	Smanjena klijavost semena	Povećanje mortaliteta odraslih jedinki	Promena u kompetitivnim odnosima između vrsta. Promena odnosa udela vrsta (npr. u mešovitim šumama).

1.4. Šume Srbije

U ovom poglavlju korišćeni su podaci Nacionalne inventure šuma Republike Srbije (Banković i sar., 2009). Podaci se odnose na Centralnu Srbiju i AP Vojvodinu, dok podaci za AP Kosovo i Metohiju nisu bili dostupni. Srbija se svrstava u srednje šumovite zemlje. Ukupno 29,1% njene teritorije je pokriveno šumama. U Vojvodini je šumovitost veoma niska i iznosi svega 6,51%, dok je u Centralnoj Srbiji taj udeo značajno veći i iznosi 37,6%. Šumovitost u Srbiji je približno jednaka svetskom proseku koji iznosi oko 30%, dok je evropski prosek veći i iznosi 46%. U odnosu na referentnu 1979. godinu, do premera Nacionalne inventure šuma (godine 2004., 2005. i 2006.). procenat šumovitosti se povećao za 5,2%.

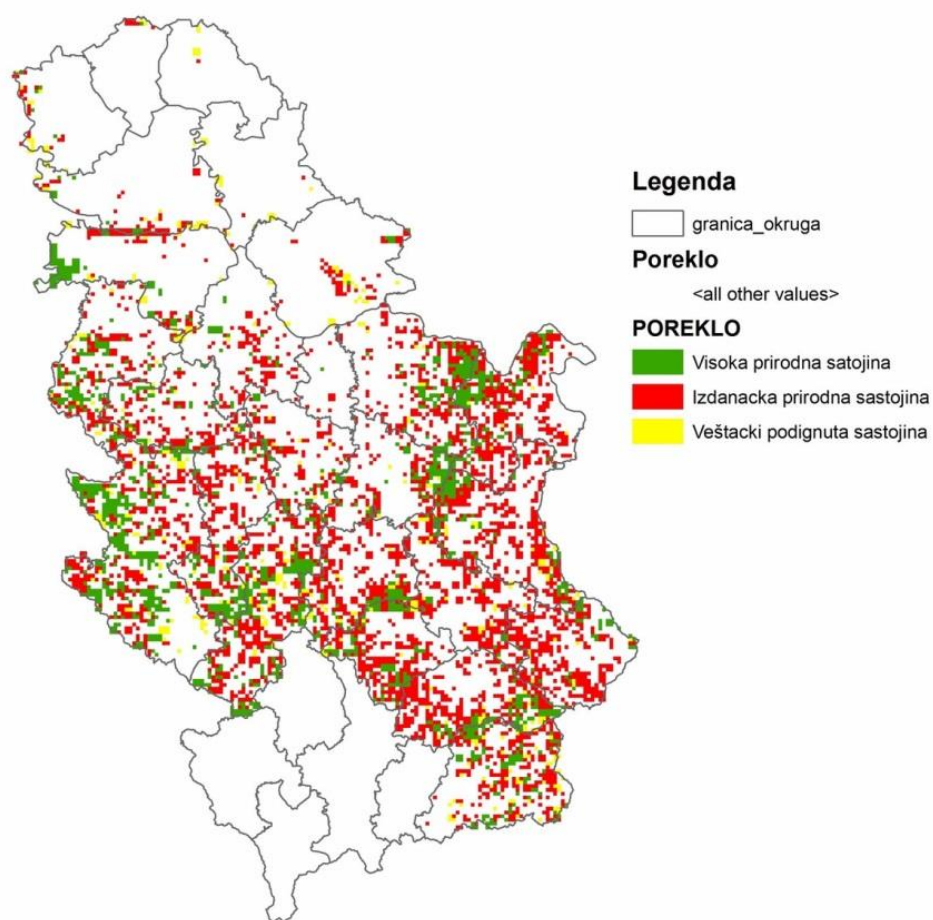
Od ukupna površina pod šumama u Srbiji koja iznosi 2.252.400 ha, u državnom vlasništvu je 1.194.000 ha ili 53,0%, a u privatnom vlasništvu 1.058.400 ha ili 47,0% (Slika 12.).



Slika 12. Vlasništvo nad šumama u Republici Srbiji (crveno – državno vlasništvo, plavo – privatno vlasništvo, sivo – ostalo) (Banković i sar., 2009)

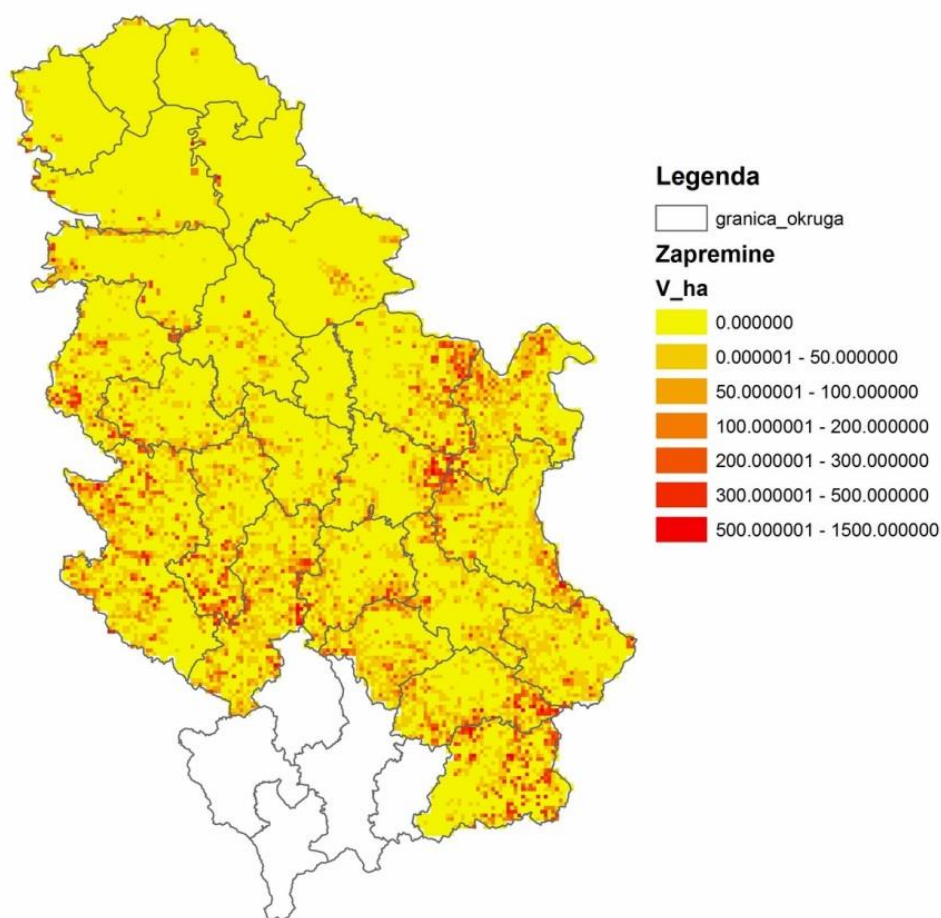
Dok je taj odnos u Srbiji približno pola-pola, u Austriji, Sloveniji, Francuskoj i Finskoj dominiraju privatne šume, a u Hrvatskoj, Bosni i Hercegovini, Češkoj i Rumuniji državne. Smatra se da su državne šume u Srbiji nešto kvalitetnije od onih u privatnom vlasništvu jer imaju veću zapreminu i kvalitetniju strukturu.

U odnosu na površinu koja se nalazi pod šumama u Srbiji sastojine visokog porekla su zastupljene sa 27,5% , sastojine izdanačkog porekla sa 64,7%, veštački podignute sastojine (kulture) sa 6,1%, a plantaže (klonovi topola i vrba) sa 1,7% (Slika 13.).



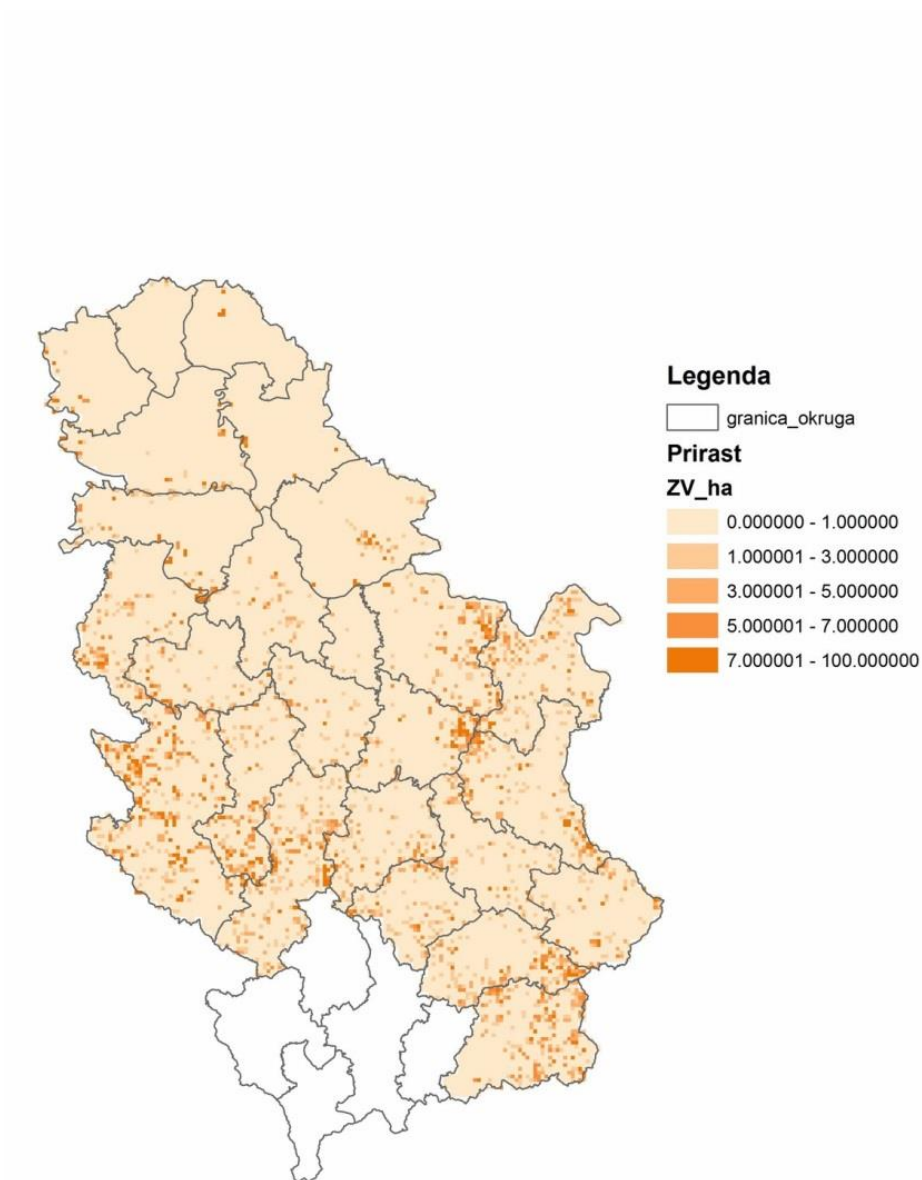
Slika 13. Poreklo šuma u Republici Srbiji (zeleno – visoke prirodne sastojine, crveno – izdanačka prirodna sastojina, žuto – veštački podignuta sastojina) (Banković i sar., 2009)

Prosečne zapremine u visokim šumama iznos $254 \text{ m}^3/\text{ha}$, u izdanačkim šumama $124 \text{ m}^3/\text{ha}$, u klonskim zasadima topola i vrba $172 \text{ m}^3/\text{ha}$, a u kulturama četinarara i lišćara $127 \text{ m}^3/\text{ha}$. (Slika 14.)



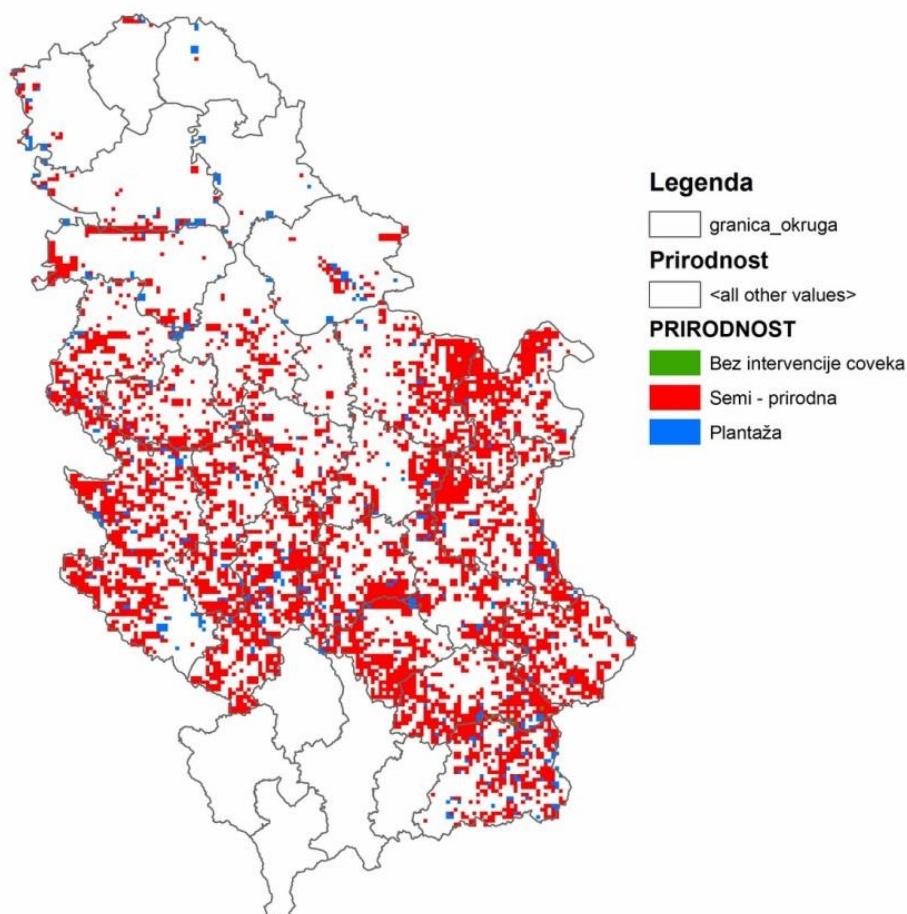
Slika 14. Zapremina šuma u Republici Srbiji (izražena u m^3/ha) (Banković i sar., 2009)

Tekući zapreminski prirast u sastojinama visokog porekla je iznosio $5,5 \text{ m}^3/\text{ha}$, u izdanačkim šumama $3,1 \text{ m}^3/\text{ha}$, u klonskim zasadima $9,0 \text{ m}^3/\text{ha}$, a u kulturama $6,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Slika 15.).



Slika 15. Tekući zapreminski prirast šuma u Republici Srbiji (izražena u m^3/ha) (Banković i sar., 2009)

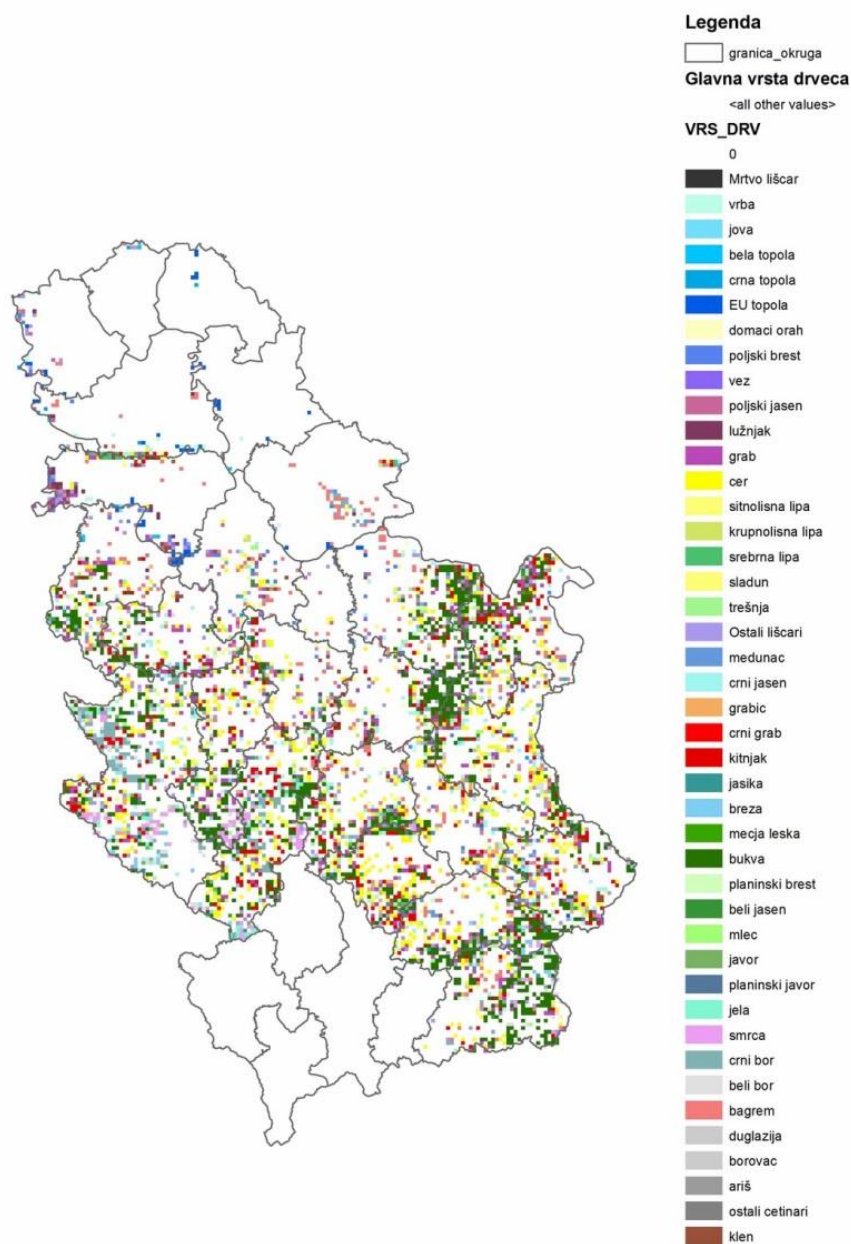
Što se prirodnosti tiče, sve šume su podeljene u tri kategorije: šume bez intervencija čoveka (prašume), semi prirodne šume i veštački podignute sastojine i plantaže mekih lišćara. Najveći udeo zauzimaju semi prirodne šume sa preko 90%, prate ih veštački podignute sastojine i plantaže, dok je prašuma manje od 1% (Slika 16.).



Slika 16. Prirodnost šuma u Republici Srbiji (crveno – semi prirodne šume, plavo – plantaže, zeleno - prašume) (Banković i sar., 2009)

U Nacionalnoj inventuri šuma Srbije prepoznato je 49 vrsta drveća, od toga 40 lišćarskih vrsta i devet četinarskih. Od lišćarskih vrsta u našim šumama dominira bukva koja je u ukupnoj zapremini zauzima 40,5%, sledi cer sa 13,0%, kitnjak sa 5,9%, sladun sa 5,8%, grab sa 4,2%, bagrem sa 3,1%, lužnjak sa 2,5% i poljski jasen sa 1,6%. Od četinara najzastupljenija je smrča sa učešćem u zapremini od 5,2%, beli bor sa 4,5% i jela sa 2,3%.

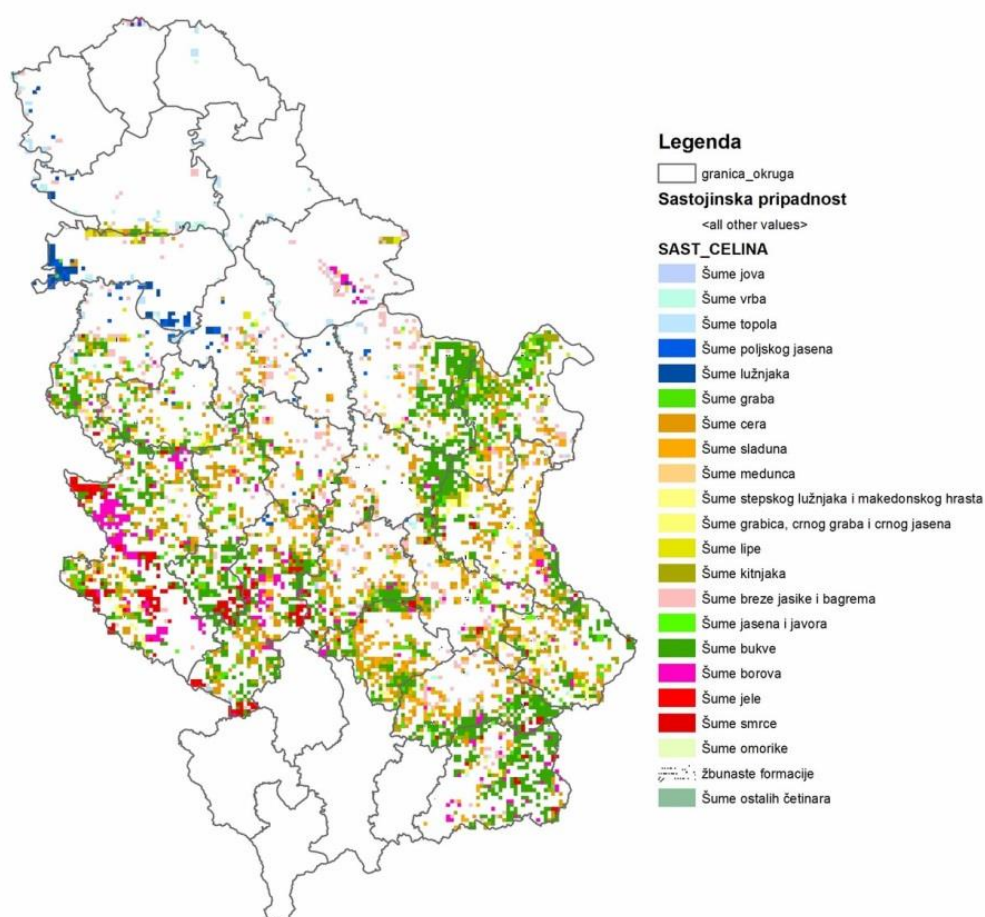
Klonovi euroameričkih topola učestvuju sa 1,7% zapremine. Ostale vrste drveća imaju učešće manje od 1% (Slika 17.).



Slika 17. Glavne vrste drveća u Republici Srbiji (Banković i sar., 2009)

U okviru Nacionalne inventure šuma sve šume su razvrstane po sastojinskim kategorijama koje su definisane prema glavnoj vrsti drveća u sastojini, bez obzira na učešće ostalih vrsta. Dominantna kategorija šuma u odnosu na ovu podelu su šume bukve koje pokrivaju 29,4%, slede šume cera sa 15,3%, šume bagrema, jasike i breze sa ukupno 9,9%,

šume kitnjaka sa 7,7%, šume sladuna sa 7,1%, šume graba sa 5,3%, šume borova sa 5,6% i šume smrče sa 3,8% (Slika 18..). Ostale kategorije imaju znatno manji udeo.

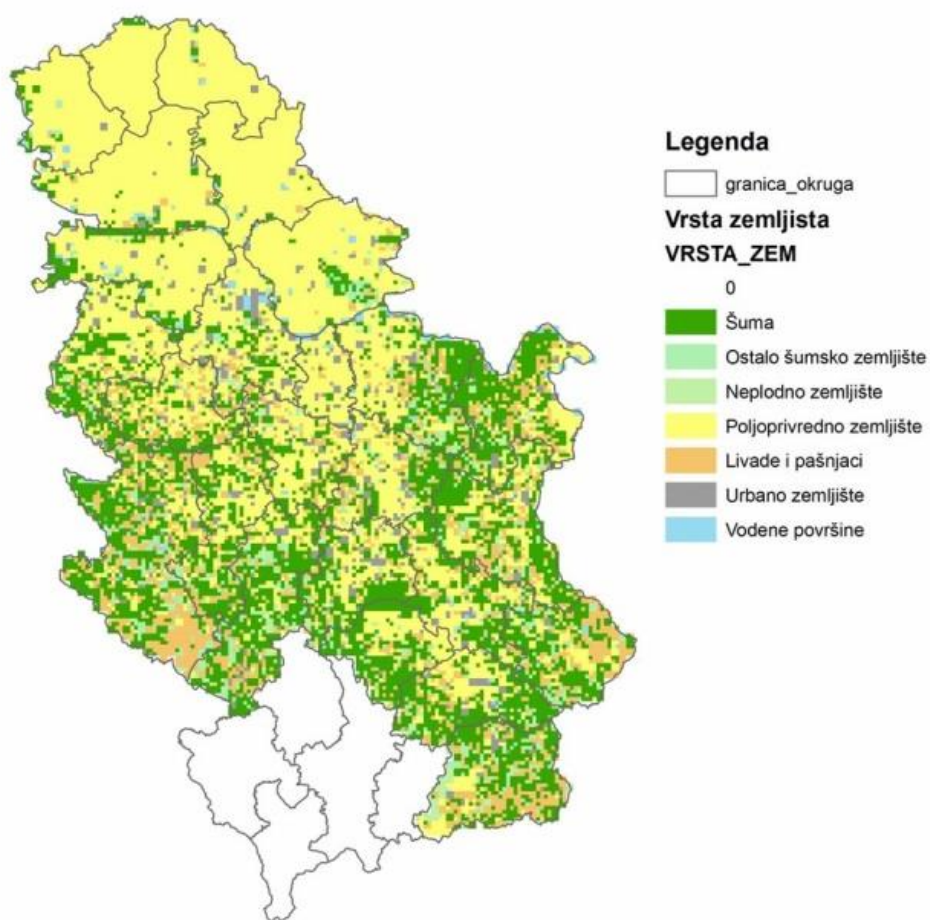


Slika 18. Sastojinska pripadnost šuma u Republici Srbiji (Banković i sar., 2009)

U Srbiji struktura površina prema vrsti, odnosno načinu korišćenja zemljišta je sledeća (Slike 19.):

- šuma (2.252.400,0 ha i 29,1%),
- ostalo šumsko zemljište (382.400,0ha i 4,9%),
- neplodno zemljište (92.000,0 ha i 1,2%),

- poljoprivredno zemljište (3.594.800,0 ha i 46,4%),
- livade i pašnjaci (1.029.600,0 ha i 13,3%),
- urbano zemljište (312.000,0 ha i 4,0%),
- vodene površine (85.200,0 ha i 1,1%),



Slika 19. Struktura površina prema vrsti (načinu korišćenja) zemljišta u Republici Srbiji
(Banković i sar., 2009)

1.5. Bukva (*Fagus sylvatica* L.)

Bukva (*Fagus sylvatica* L.) je jedna od najvažnijih vrsta listopadnih šuma u Evropi, kao i najzastupljenija vrsta potencijalne prirodne vegetacije Centralne Evrope (Ellenberg, 1988). Prostire se od Švedske na severu sve do Balkanskog i Apeninskog poluostrva na jugu, dok je u centralnoj i zapadnoj Evropi široko zastupljena (von Wuehlisch, 2008). Bukva je izuzetno jak komeptitor u zasenčenim uslovima, što se odnosi i na njen podmladak (Ellenberg, 1988). U Tabeli 2. su predstavljene neke od ekoloških granica rasprostranjenja bukve.

Tabela 2. Neki od ekoloških parametara koji određuju granice rasprostranjenja bukve u centralnoj Evropi (Bolte i sar., 2007)

	Padavine (mm)	Temperature	Ostali faktori
De Candolle (1855)	≥ 7 kišovitih dana mesečno	Srednja zimska temperatura > 6,25 °C	- /
Grisebach (1872)			Vegetacioni period ≥ 150 dana
Willkomm (1887)		Minimalne srednja zimska temperatura između -6,25°C i -5°C	
Köppen (1889)		Temperature u januaru > -3°C Temperature u februaru > -2°C	Vegetacioni period ≥ 8 meseci sa temperaturama > 10°C i zimama trajanja ≤ 3 meseca
Mayr (1925)	≥ 250 mm padavina tokom vegetacionog perioda	Srednja godišnja temperatura 7-12°C, a od maja do avgusta 16-18°C	Vlažnost vazduha od maja do avgusta ≥ 70%
Pax (1918)	≥ 660 mm padavina godišnje		
Jedliński (1922)		≤ 3 meseca sa temperaturama <0°C; temperature u maju >8°C, amplituda temperatura u maju <10°C	
Enquist (1929)		> 217 dana sa temperaturama ≥7°C ili > 245 ≥5°C mesečno	
Goetz (1935)	≥ 500 - 750 mm padavina godišnje		Kasni mrazevi, topografija
Hueck (1936)		Temperature u januaru ≥-3°C	
Ilinskij (1937)		Godišnja amplituda temperatura 15-25°C	
Hjelmqvist (1940)	≥ 550 mm padavina godišnje	> 213 dana sa temperaturama ≥7°C ili > 216 ≥6,5°C mesečno	
Tarasiuk (1999)	≥ 320 mm između maja i oktobra	≤141 da sa temperaturama <0°C	
Hofmann (2001)	≥ 550 - 580 mm za	Julske temperature <18-19°C	

(dominacija bukovih šuma) (dominacija bukovih šuma)

Bukva ostvaruje svoju dominaciju na širokom spektru ekoloških uslova. Opstaje na zemljištima različitog pH, od visoko kiselih do baznih (Leuschner et al., 2006). U južnim delovima svog areala na nižim nadmorskim visinama njena rasprostranjenost je ograničena vodnim stresom, gde prednost imaju vrste tolerantnije na sušu (vrste iz rodova *Quercus* i *Pinus*) (Ellenberg, 1988). Ostljivost bukve na sušu se smatra ključnim limitirajućim faktorom rasta i njene distribucije u blizini donje granice u južnoj i jugoistočnoj Evropi (Mátyás et al., 2009). Bukva je vrsta koja se javlja u kasnijim stupnjevima prirodne sukcesije vegetacije. Životni vek joj može biti i do 500-550 godina (Mlinšek, 1967; Piovesan i sar., 2003; Trotsiuke i sar., 2011(iz Matović, 2012), veoma kasno stiže reprodukcionu zrelost (između 40. i 50. godine života), dok joj se plodonošenje karakteriše izrazitom iregularnošću (Ellenberg, 1988). Donje granice rasprostranjenja su determinisane aridnošću klime, a modifikovana lokalnim vodnim režimom zemljišta. Njih je mnogo teže pratiti od gornjih granica (Rasztovits, 2011), ali su donje granice bitnije za bukvu u Srbiji jer je reč o njenom južnom delu areala.

Bukva u Srbiji je danas najrasprostranjenija i najznačajnija vrsta drveta (Stojanović, 2005). Po podacima iz Nacionalne inventure šuma, čiste bukove šume pokrivaju 29,3 % teritorije pod šumom ili 660 400 ha (Banković i sar., 2009). Bukove šume u Srbiji obuhvataju širok pojas nadmorskih visina od 100 do 300 m u zoni hrastova, do 1600 m u zoni subalpske bukve u visoko-planinskim regionima. Može se naći na različitim geološkim podlogama i u različitim razvojnim stadijumima zemljišta, pritom gradeći monodominantne, dvodominantne, trodominantne i polidominantne šumske zajednice (Tomić, 1992).

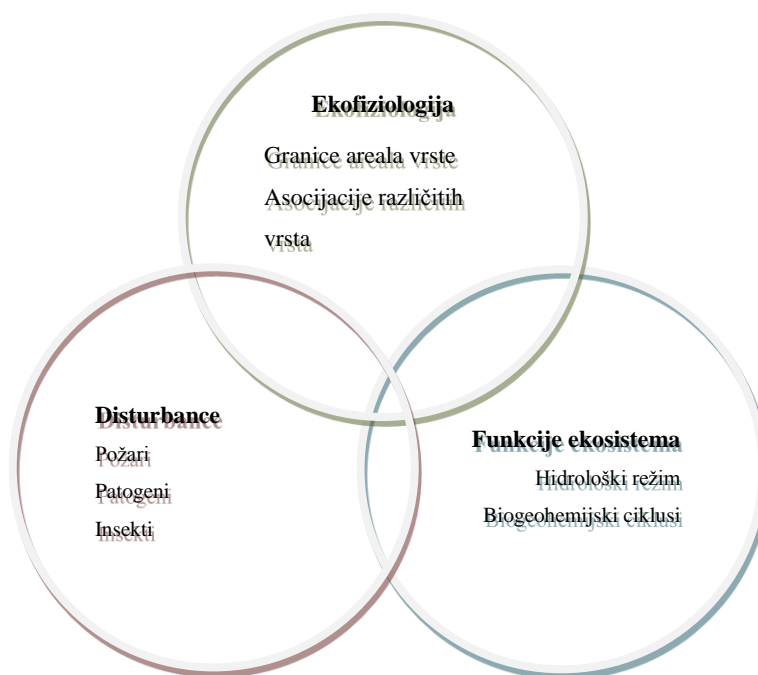
1.6. Adaptacija šumarskog sektora na klimatske promene

Šume pokrivaju 30% ukupne površine kopna na Zemlji. One igraju ključnu ulogu u očuvanju biodiverziteta i pomažu u apsorpciji emisija ugljen-dioksida (Sacquet, 2005). Međutim, mnoge postojeće šume, kao i ona koje se osnivaju danas, suočiće se sa klimatskim uslovima koji se razlikuju od današnjih. U poređenju sa poljoprivredom, danas donete odluke u šumarstvu (npr. izbor vrste drveta) ostaju nepovratane decenijama ili čak vekovima. Preliminarne analize Organizacije Ujedinjenih nacija za hranu i poljoprivredu (*Food and Agriculture Organization*, FAO, 2011) su ukazale da se planovi za prilagođavanje šuma promeni klime retko uključuju u nacionalne planove za adaptaciju. S toga je početo sa sistematskim informisanjem država članica i regionalnih administracije u vezi sa ranjivošću i mogućim opcijama adaptacije u šumarstvu. Na žalost, procene na globalnom nivou su da će štetni uticaji klimatskih promena dovesti do dodatne degradacije šuma i time pospešiti emisiju gasova staklene bašte, koji će za uzvrat povećati globalno zagrevanje (FAO, 2011).

Srbija je srednje šumovita zemlja i na nivou je svetske pošumljenosti, ali je daleko niže od evropske (Banković i sar., 2009). Srbija će zbog svog južnijeg geografskog položaja i toplije klime biti pod većim pritiskom usled otopljanja u odnosu na većinu evropskih zemalja, s toga je nastavak i intenziviranje daljih istraživanja u tom smeru od prioritetnog značaja.

Mnoge današnje odluke u gazdovanju šumama imaju vremenski potencijal da njihova ispravnost bude proverena u uslovima koje će biti mnogo više izmenjeni uticajem promene klime. Upotreba klimatskih modela udruženih sa modelima koji simuliraju rast šuma (Badeck i sar., 2001; Jäger i sar., 2004; Lasch i sar., 2005), kao i modelima koji se zasnivaju na ekološkim nišama (Thuiller, 2003; Kramer i sar., 2010; Czúcz i sar. 2011) mogu pomoći u boljem predviđanju mogućeg uticaja klime na šumske ekosisteme. Međutim, donosioci odluka još ne raspolažu sa dovoljno informacija u vezi sa projektovanim uticajem klimatskih promena na šume, kao i raspoloživim merama adaptivnog gazdovanja kako bi proaktivno delovali i omogućili što bolju adaptacije šuma na promenjene ekološke uslove. Ovo istraživanje je korak u pravcu prevazilaženja ovog problema.

Iz dijagrama (Slika 20.) možemo sagledati glavne procesa i pojava na koje utiče promena klime a koji ujedno predstavljaju i izazova u adaptivnom gazdovanju šumama.



Slika 20. Dijagram glavnih procesa i pojava na koje utiče promena klime (Littell i sar., 2011)

Organizacija za hranu i poljoprivredu (FAO) je u dokumentu „Klimatske promene za kreatore politika u šumarstvu“ (2011), iznela niz mera za smanjenje ranjivosti i jačanje adaptivnog kapaciteta šuma u osetljivim ekosistemima:

- Menadžment šumskim biodiverzitetom
 - Izbor pogodnijih provenijencija (populacija vrsta drveća sa određenog područja) i vrsta koje se bolje mogu adaptirati;
 - Zaštita funkcionalnih grupa i ključnih vrsta (*keystone species*);
 - Sprečavanje fragmentacije šumskih staništa i jačanje ekoloških koridora;
 - Zaštita refugijuma i najugroženijih vrsta izvan njihovih prirodnih staništa;
- Prilagođavanje prakse gazdovanja u šumarstvu
 - Prilagođavanje sistema gazdovanja;
 - Odabir vrsta, priprema zemljišta, sadnja, povećanje mešovitosti šuma (povećanje broja vrsta i njihovog procentualnog udela), itd.
- Smanjenje ranjivosti šumskih ekosistema kroz održavanje zdravlja i vitalnosti šume
 - Kontrola insekata i bolesti;
- Unapređenje sistema za suzbijanje i kontrolu požara

- Integrisani menadžment požara na šumskom i susednom nešumskom zemljištu;
- Smanjenje ranjivosti kroz jačanje adaptivnog kapaciteta lokalnih zajednica zavisnih od šume
 - Jačanje lokalnih mehanizama za suočavanje sa klimatskim promenama;
 - Jačanje upravljačkih kapaciteta lokalnih organizacija;
 - Diverzifikacija proizvoda od drveta i povećanje mogućnosti za zapošljavanje.

Zbog kompleksnosti međudejstva velikog broja abiotičkih i biotičkih faktora odgovor na pitanje: „Kako će promena klime i načini gazdovanja uticati na šume bukve u Srbiji?“, neophodno je tražiti u sferi klimatskih modela, procesnih modela rasta šuma, kao i modela ekoloških niša u koji spada Elenbergov klimatski koeficijent. Razvoj savremenih računara omogućio je kvantifikovanje ključnih procesa kruženja materije i proticanja energije kroz ekosisteme, što je podstaklo i razvoj specijalizovanih modela koji opisuju procese kako u atmosferi i zemljištu, tako i u samoj biljci, otvorivši time jedno potpuno novo polje istraživanja (Daly i sar., 2000; Badeck i sar., 2001; Sitch i sar., 2003; Lasch i sar., 2002; Lasch i sar., 2005).

1.7. Ciljevi istraživanja

Opšti cilj ovog istraživanja je bio da prikaže potencijalni uticaj različitih načina gazdovanja udružen sa uticajem izmenjene klime na neke od sastojinskih karakteristika, na multifunkcionalno gazdovanje u monodominantnim bukovim šuma u Srbiji, kao i da odredi uticaj klimatskih promena na donju granicu rasprostranjenja bukovih šuma u Srbiji.

Specifični ciljevi istraživanja su bili da se kroz projekcije uticaja klimatskih promena i simulacija rasta devet reprezentativnih monodominantnih bukovih sastojina u tri različita klimatska perioda nađu odgovori na pitanja:

1. Kako će promena klime uticati na rast i različite karakteristike bukovih šuma u Srbiji?
2. Koja će mere gazdovanja obezbediti najveće vezivanje ugljenika za svaku od devet istraživanih sastojina?
3. Koje će mere gazdovanja najviše podržati očuvanje biodiverziteta bukovih šuma u Srbiji?
4. Koja će mere gazdovanja dati najveći prinos drveta bukovih šuma u Srbiji?
5. Da li postoje i koje su univerzalne mere gazdovanja koje će obezbediti dostizanje različitih ciljeva (očuvanje biodiverziteta, maksimalne sekvestracije ugljenika i maksimalan prinos) u okviru multifunkcionalnog gazdovanja za različite preferencije zainteresovanih strana?
6. Koje bukove šume u Srbiji će biti najugroženije usled pomeranja donje granice rasprostranjenja u 21. veku na osnovu Elenebergovog koeficijenta?

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Analize rasta bukovih šuma pomoću 4C modela

2.1.1. Proučavane sastojine

Bukove sastojine u Srbiji su uglavnom raznodobne i nastale su prevođenjem prašuma u gazdinski oblik šume (Matović, 2012). Oko 68% bukovih šuma spada u državno vlasništvo. Njihovim najvećim delom upravljaju javna preduzeća „Srbijašume“, i nacionalni parkovi „Đerdap“, „Fruška gora“, „Tara“ i „Kopaonik“. U poređenju sa privatnim šumama, državne šume imaju veću zapreminu i veći godišnji prirast zbog značajnijeg udela visokih šuma (Banković i sar., 2009).

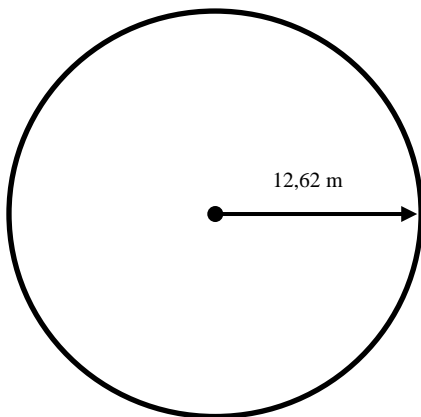
Terenska istraživanja su izvršena u period 2005-2011 na devet sastojina u Srbiji (Slika 21.). Uzet je sistematski uzorak, a istraživane sastojine su pripadale isključivo visokim šumama (Matović, 2012).



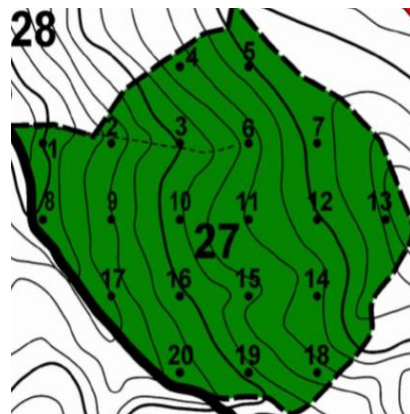
Slika 21. Istraživane sastojine

Izbor ispitivanih objekata je izvršen na način da se izabere dovoljan broj sastojina koje će reprezentovati visoke monodominantne bukove šume u Srbiji. U pripremi istraživanja vodilo se računa da uzorak obuhvati najvažnija staništa na kojima se nalaze visoke monodominantne bukove šume. U uzorak su tom prilikom uključene sastojine različitih geografskih širina i dužina, nadmorskih visina, nagiba terena, ekspozicije, klimatskih specifičnosti, fitocenoza i vrsta zemljišta (Matović, 2012).

4C model je iniciran na osnovu detaljno premerenih 6796 stabala (prsnog prečnika većeg od 5 cm) sa 242 probne površine (oblika kruga i veličine 5 ari) (Slika 22.) dobijenih postavljanjem sistematskog uzorka sa kvadratnim rasporedom probnih površina (100x100 metara) (Slika 23.) u devet sastojina koje reprezentuju monodominantne bukove šume u Srbiji.



Slika 22. Probna površina oblika kruga i veličine pet ari



Slika 23. Raspored probnih površina u sastojini 27a (Matović, 2012)

U simulacijama su korišćene pored sastojinskih karakteristika i detaljne fizičko-hemijske karakteristike zemljišta određene tokom istog istraživanja. Sumarni podaci o lokalitetima su prikazani u Tabeli 3.

Tabela 3. Detaljni opis sastojina na devet istraživanih lokaliteta (Matović, 2012).

Naziv sastojina	8ab	27a	31a	33a	42ab	44a	46a	116a	122a
Lokaliteti	Javor*	Zapadna Boranja	Čemernik -Ostrozub	Homoljske planine	Kučajске planine*	Željjin	Kukavica	Jastrebac	Istočna Boranja
Dominantni tip zemljišta	Ilovača i kiselo-smede zemljište	Pseudoglej	Ilimerizovano kiselo-smede zemljište	Ilimerizovano zemljište na krečnjacima	Humusno-silikatno zemljište	Kiselo-smede zemljište	Kiselo-smede zemljište	Kiselo-smede zemljište	Kiselo-smede zemljište
Geografska dužina	20,07	19,16	22,21	21,61	21,96	20,78	21,90	21,37	19,26
Geografska širina	43,45	44,37	42,84	44,40	44,13	43,50	42,81	43,42	44,34
Nadmorska visina (m)	1270-1380	480-630	880-1060	400-540	920-990	1000-1170	780-1030	530-670	690-830
Ekspozicija	Severozapad	Zapad - jugozapad	Zapad - jugozapad	Zapad - severozapad	Zapad - severozapad	Severozapad	Sever	Istok-severoistok	Sever
Nagib	5-20°	5-40°	5-40°	5-30°	5-20°	15-35°	15-45°	5-40°	5-35°
Veličina satojine (ha)	26,3	20,2	31,6	22,7	28,3	22,6	28,3	32,3	29,5
Broj oglednih površina po sastojini	26	20	32	23	28	23	28	33	29
Veličina oglednih površina (ha)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ukupna veličina uzorka (ha)	1,3	1,0	1,6	1,15	1,4	1,15	1,4	1,65	1,45
Broj stabala/ha	402	246	301	274	333	296	221	315	214
Početna zapremina (m ³ /ha)**	396	346	312	543	398	523	333	308	526
Srednji prečnik (cm)	30,95	33,66	30,12	39,42	35,44	36,57	31,43	29,95	41,59
Dominantna visina (m)	27,31	31,47	30,43	32,14	24,75	33,65	29,11	28,41	35,15

U nekim sastojinama se na malim površinama javljao veći broj tipova zemljišta, čemu je uzrok promena geološke podloge i orografskih faktora, dok se u drugim javljao samo jedan tip zemljišta. S toga su u tabeli pomenuti samo tipovi zemljišta koji su korišćeni u simulacijama.

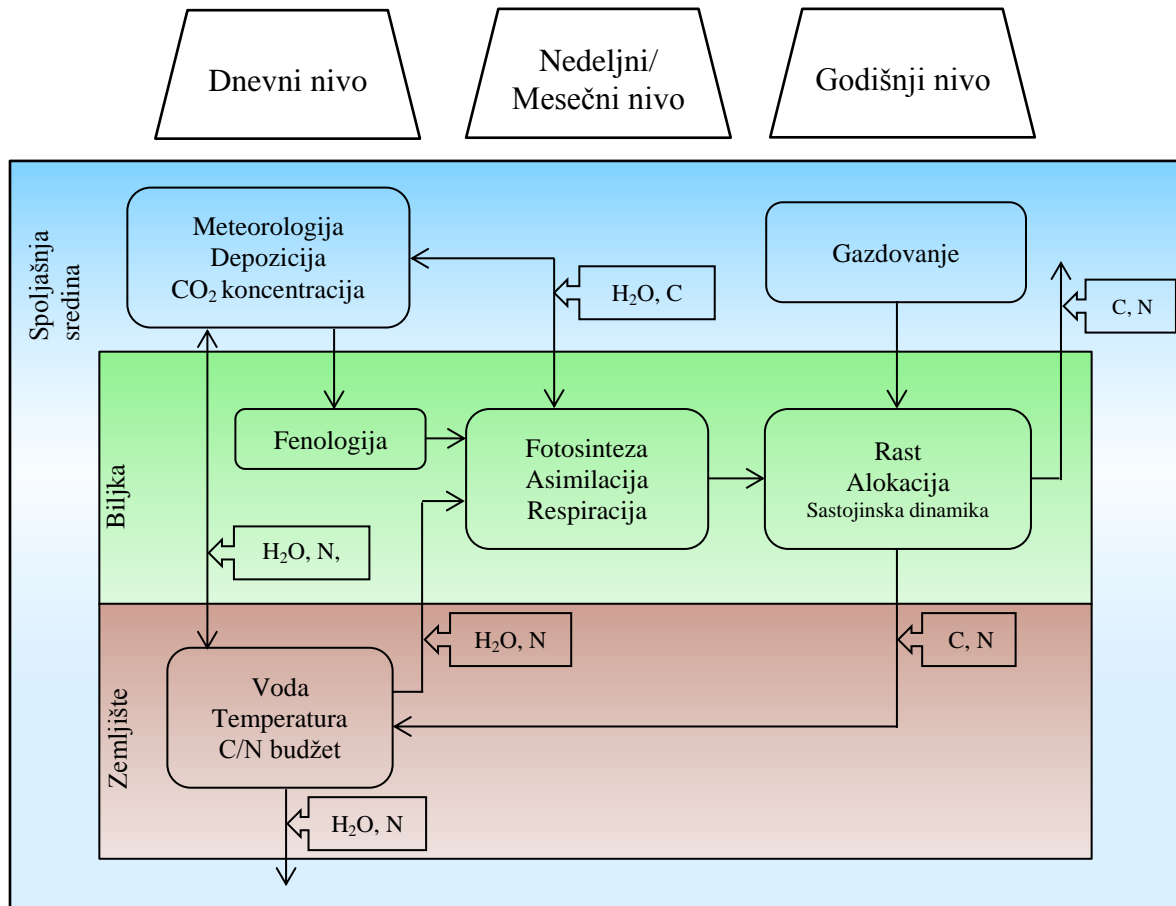
2.1.2. 4C (*FORESEE - FORESt Ecosystems in a Changing Environment*) procesni model rasta šuma u promenljivim ekološkim uslovima

2.1.2.1. Opšte karakteristike modela

Model 4C je razvijen sa ciljem predviđanje dugoročnog efekta promene klime na šume (Lasch i sar., 2005) (Slika 24.). On opisuje procese na nivou pojedinačnih stabala i sastojina koji su bazirani na rezultatima eko-fizioloških istraživanja, dugoročnih osmatranja i fizioloških modela. Sam model u proces uključuje opise kompozicija drvenastih vrsta, strukture šume, ukupnog ekosistemskog ugljenika, kao i indeks lisne površine. Bitne karakteristike modela su:

- Da simulira dostupnost vode i nutrijenata za svako pojedinačno stablo;
- Da izračuna transport toplotne energije i vode kroz više slojeva zemljišta, kao i dinamiku ugljenika i azota baziranoj na dekompoziciji i mineralizaciji organske materije;
- Godišnja primarna produkcija se simulira pomoću mehanističke formulacije neto produkcije fotosinteze kao funkcije uticaja sredine (temperature, dostupnosti azota i vode, radijacije i CO₂), gde je fiziološki kapacitet (maksimalna stopa karboksilacije) računata po optimizacionoj teoriji (modifikovano posle Haxeltine i Prentice, 1996) uz dodatak kalkulaciji ukupne respiracije po konceptu frakcije konstantne godišnje respiracije predloženoj od strane (Landsberg i Waring, 1997);
- Obrazac raspodele godišnje neto primarne produkcije (NPP) na organe i rast drveta se modeluje na osnovu kombinacije teorije „modela cevi“ (Shinozaki i sar., 1964), funkcionalne balansne hipoteze (Davidson, 1969) i nekoliko alometrijskih odnosa proširenih da dinamički odgovore na ograničenja vode i nutrijenata.
- Početak i kraj vegetacionog perioda se određuje na osnovu funkcije temperature vazduha i dužine dana (Schaber i Badeck, 2003).
- Formiranje i mortalitet stabala je baziran na konceptima sugerisanim od strane (Keane i sar., 1996; Loehle i LeBlanc, 1996; Sykes i Prentice, 1996). Gde se mortalitet javlja usled stresa izazvanog višegodišnjim negativnom priraštajem lisnih površina ili usled nekog unutrašnjeg procesa zavisnog od starosti biljke.

Algoritam 4C modela za preračunavanje procesa kruženja vode i ugljenika kroz biljke i životnu sredinu, zasnovan je na istraživanjima (Hexeltine i Prentice, 1996; Hexeltine i sar., 1998), koji su sumirali svo dotadašnje znanje u model BIOME2.



Slika 24. Šema funkcionisanja 4C modela (Kint i sar., 2009)

2.1.2.2. Ključni procesi u modelu

2.1.2.2.1. Predviđanje projektovanog lisnog pokrivača u uslovima vodnog stresa

Lisna površina se može izraziti preko projektovanog lisnog pokrivača (*foliage projective cover*) ili preko indeksa lisne površine (*leaf area index*). Projektovani lisni pokrivač predstavlja površinu zemljišta zastrtu lišćem gledano odozgo. On se može dovesti u vezu sa transpiracijom i presretanjem sunčevih zraka od strane krošnje. Takođe, iz projektovane lisne površine se može aproksimativno preračunati indeks lisne površine preko Lambert-Berovog zakona. Osnovna teorijska postavka ovog segmenta modela je funkcija koja iskazuje zavisnost projektovanog lisnog pokrivača od dostupnosti vlage u zemljištu. Ovaj pristup predstavlja pokušaj pronalaska ravnotežnog stanja između dva suprotna efekta. Prvi je da vegetacija koja se razvija u uslovima vodnog stresa teži povećanju lisne površine u meri u kojoj joj dozvoljava vlaga dostupna u zemljištu. Drugi je da visoka stopa transpiracije, koja je posledica velike lisne površine, teži da redukuje produkciju biomase i smanji vigor biljke. Zbog toga se problem određivanja lisne površine može posmatrati kao problem optimizacije u kome se dobitak u povećanoj količini sunčeva svetlosti koju veća lisna površina može da presretne odigrava na štetu koja nastaje prilikom visoke stope transpiracije. Prirodna „valuta“ u kojoj se izražavaju pomenuta korist i troškovi je NPP. Haxeltine i sar. (1996) su sugerisali da je ovaj pristup konceptualno jednak maksimizaciji NPP-a koja uzima u obzir lisnu površinu, što praktično nameće neophodnost modelovanja kruženja vode i ugljenika.

2.1.2.2.2. Zemljište predstavljeno sa više slojeva

Walter (1971) je na primeru savana razvio hipotezu koja opisuje kompeticiju između travnate i drvenaste vegetacije, gde je zemljište predstavljeno sa dva sloja i gde količina vlage u zemljištu daje prednost jednom tipu. Kada je više vlage u gornjem sloju zemljišta, trave prevladavaju i obrnuto. Kasnije je u svim vegetacionim procesnim modelima upotrebljen koncept zemljišta koje je predstavljeno sa dva ili više slojeva, gde je tekstura zemljišta osnovni parametar koji određuje distribuciju vlage. Model 4C uzima u kalkulaciju dvanaest slojeva zemljišta.

2.1.2.2.3. Odnos neto primarne produkcije i apsorbovane fotosintetičke aktivne radijacije

Čini se da je NPP u terestričnim ekosistemima proporcionalna apsorbovanoj fotosintetičkoj aktivnoj radijaciji (AFAR) (*absorbed photosynthetically active radiation - APAR*) na sezonskom i godišnjem nivou (Haxeltine i sar. 1996). Ovo zapažanje se koristi u „dijagnostičkim“ modelima koji procenjuju NPP na osnovu satelitski dobijenih vegetacionih indeksa. U „prognostičkim“ modelima, koji su zasnovani na simulaciji procesa (kakav je i 4C), modelovanje ugljeničnog fluksa je najčešće integrisano u relacije vezane za indeks lisne površine i druge fotosintetičke parametre. Ovaj pristup ne dovodi do direktne zavisnosti između NPP i AFAR parametara (Haxeltine i Prentice, 1996). Odnos između NPP i AFAR se naziva FAR efikasnost korišćenja (*PAR utilization efficiency*) ili efikasnost upotrebe svetlosti (*light-use efficiency - LUE* ili ϵ). Ispostavilo se da je ϵ grubo konstantna za sve ekosisteme, ali da varira za različite ekološke uslove. Fiziološki stres nastao usled suše, ekstremnih temperatura ili zbog nedostatka nutrijenata može uticati na smanjenje vrednosti konstante ϵ . Relacije koje su upotrebljene u 4C modelu, a koje su razvijene od strane Haxeltine i Prentice (1996), omogućavaju predviđanje efikasnosti upotrebe svetlosti kao funkciju temperature i ambijentalne koncentracije ugljen-dioksida. U cilju poređenja modela efikasnosti upotrebe svetlosti i eksperimentalnih merenja neophodno je bilo proceniti efikasnost upotrebe svetlosti u neto primarnoj produkciji. Ovakav pristup je zahtevao modelovanje energije potrošene u procesu disanja za različite ekosisteme i različita biljna tkiva. Zbog potrebe da se problem pojednostavi, uzet je opšte poznati podatak da čitava respiracija troši od 30 do 70% ugljenika prethodno usvojenog kroz proces fotosinteze.

2.1.3. Simulirane mere gazdovanja

Razvijeno je 19 različitih mera (scenarija) gazdovanja (Tabela 4.).

Tabela 4. Opis mera gazdovanja

Scenario gazdovanja	Vrsta intervencije	Intezitet intervencije (% zapremine)	Interval između intervencija (godine)	Godine u kojima su vršene intervencije
1	Bez mera gazdovanja	0	0	/
2	Seča visokih stabala	10	10	10., 20. i 30.
3	Seča visokih stabala	20	10	10., 20. i 30.
4	Seča visokih stabala	30	10	10., 20. i 30.
5	Seča niskih stabala	10	10	10., 20. i 30.
6	Seča niskih stabala	20	10	10., 20. i 30.
7	Seča niskih stabala	30	10	10., 20. i 30.
8	Selektivna seča	10	10	10., 20. i 30.
9	Selektivna seča	20	10	10., 20. i 30.
10	Selektivna seča	30	10	10., 20. i 30.
11	Seča visokih stabala	5	5	5., 10., 15., 20. i 25.
12	Seča visokih stabala	10	5	5., 10., 15., 20. i 25.
13	Seča visokih stabala	15	5	5., 10., 15., 20. i 25.
14	Seča niskih stabala	5	5	5., 10., 15., 20. i 25.
15	Seča niskih stabala	10	5	5., 10., 15., 20. i 25.
16	Seča niskih stabala	15	5	5., 10., 15., 20. i 25.
17	Selektivna seča	5	5	5., 10., 15., 20. i 25.
18	Selektivna seča	10	5	5., 10., 15., 20. i 25.
19	Selektivna seča	15	5	5., 10., 15., 20. i 25.

Algoritam za mere gazdovanja je napravljen tako da stabla u sastojini podeli u dve grupe na osnovu dimenzije, gde je seča visokih stabala značila uklanjanje stabala iz grupe viših stabala, a seča niskih stabala uklanjanje stabala iz druge grupe. Selektivna seča je osmišljena tako da na osnovu Liokurtovog zakona (DeLiocourt, 1898; Westphal i sar., 2006; Marin-Pageo i Rapp-Arraras, 2013) seče stabla iz različitih debljinskih stepena na način da distribucija debljinske strukture teži polegloj „J“ krivi po formuli (1):

$$Y = ae^{b \cdot X} \quad (1)$$

gde je Y broj stabala u debljinskom stepenu, X prsni prečnik, e matematička konstanta, a a i b koeficijenti dobijeni iz normala za svaku od sastojina (Tabela 5.). Pored Liokurtove funkcije u model je dodata i sečiva zrelost za svaku od sastojina, tako da je model u algoritmu za selektivnu seču otklanjao i sva stabla veća od naznačene sečive zrelosti.

Tabela 5. Sečiva zrelost i koeficijenti za Liokurtovu funkciju

	8ab	27a	31a	33a	42ab	44a	46a	116a	122a
Naziv sastojine	Javor*	Zapadna Boranja	Čemernik -Ostrozub	Homoljske planine	Kučajske planine*	Željin	Kukavica	Jastrebac	Istočna Boranja
Sečiva zrelost (cm)	60	65	65	65	55	70	60	60	70
Koeficijent a	509,875	310,920	341,520	310,393	668,349	260,135	378,072	453,345	233,587
Koeficijent b	-0,072	-0,060	-0,062	-0,060	-0,077	-0,057	-0,064	-0,069	-0,054

Simulacije korišćene u razmatranju promene zapremina, količine mrtvog drveta i prirasta su realizovane u tri tridesetogodišnja klimatska perioda (1961-1990, 2001-2030 i 2071-2100), rezolucije 1 x 1 km za A1B i A2 IPCC SRES scenario, a za razmatranje multifunkcionalnog gazdovanja u periodima 1971-2000, 2011-2040 i 2051-2080, rezolucije 25 x 25 km na osnovu A2 scenarija. Stanje sastojine iz perioda 2005-2007, kada je izvršen premer, je uzeto kao osnova za pokretanje modela u svakom od ispitivanih perioda. Simulirani su zahvati inteziteta 10%, 20% i 30% zapremine u desetogodišnjem intervalu između intervencija koje se vršene u 10., 20. i 30. godini rasta, i inteziteta 5%, 10% i 15% zapremine za petogodišnji interval seče u 5., 10., 15., 20., 25., i 30. godini. U modelu je korišćena i regeneracija koje je simulirana na osnovu brojnosti podmlatka (Tabela 6, na osnovu Matović, 2012 i Čokeša i sar., 2012), na način da je svake godine dodata 1/10 ukupnog podmlatka s obzirom da je Matović(2012) utvrdio da je prosečno 10 godina vreme potrebno podmlatku da porast do prsne visine.

Tabela 6. Brojnost podmlatka za devet sastojina

	8ab	27a	31a	33a	42ab	44a	46a	116a	122a
Naziv sastojine	Javor*	Zapadna Boranja	Čemernik -Ostrozub	Homoljske planine	Kučajске planine*	Željin	Kukavica	Jastrebac	Istočna Boranja
Visine 11-50cm	178545	2548	617	28524	1081	4154	682	2316	3075
Visine 51-130cm	199	2229	896	831	86165	415	341	483	110
Debljine 0-5cm	655	1274	4777	62	4797	738	758	2574	1367
Ukupno	18708	6051	11843	29417	21825	5307	1781	5373	4552

U simulacijama u kojima su klimatski podaci bili 25x25km, a koje su korišćene za kalkulacije multifunkcionalnog gazdovanja za selektivnu seču je uzeta seča podjednakog broja visokih i niskih stabala.

2.1.4. Ulazni i izlazni podaci iz modela

Ulazni podaci u model:

- Sastojinske promenljive
- Pedološke promenljive
- Klimatske promenljive

Izlazni podaci iz modela u ovom istraživanju:

- Konačne vrednosti i vremenske serije različitih promenljivih (biomasa drveta ispod i iznad zemlje, prinos drveta, debljinska struktura, ukupna količina ugljenika u zemljištu, količina mrtvog drveta, suma godišnjih prirasta, zapremina, itd.);

Opšti prikaz ulaznih i izlaznih podataka iz modela su detaljnije predstavljeni u Tabeli 7. i Tabeli 8.

Tabela 7. Sumarni prikaz ulaznih parametara u 4C model

Ulazni podaci

Mreža

Geografske koordinate

Elevacija

Nagib

Zemljište

Fizičke karakteristike

Dubina horizonta

Tekstura zemljišta

Zapremina pora

Gustina

pF-krive

Zasićeni hidraulički konduktivitet

Hemijske karakteristike

N, NH₄, NO₃

Sadržaj C

pH

Ako je dostupno:

[Ca, Mg, K, Fe, Mn, Al, S]

[DOC]

[EC, BCE, ACE]

Sastojinske karakteristike

Datum prve inventura

Površina istraživanog područja

Prečnik na prsnoj visini

Visina pojedinačnih stabala

Ukupna zapremina

Broj stabala

Klimatske promenljive

Temperatura vazduha

Padavine

Relativna vlažnost

Ukupna radijacija

Vazdušni pritisak

Brzina vetra

Dubina snega

Tabela 8. Sumarni izlaznih parametara iz 4C modela

Izlazni podaci

Klima

Sastojinske padavine

Sastojinska temperatura vazduha

Zemljište

Temperatura

Vlaga

Sastojina

Hemijski sastav lišća (N, S, Ca, K, Mg, P)

Inventurni podaci

Gustina drveta

CO₂ i vodeni fluksevi

Fenologija, mortalitet

2.1.5. Klimatski podaci

Rast bukovih šuma je ispitivan na osnovu klimatskih podataka dobijenih downscalingom A1B i A2 klimatskog scenarija iz ECHAM5 globalnog cirkulacionog modela (Hagemann i sar., 2006) pomoću regionalnog klimatskog modela EBU-POM (Djurdjevic i Rajkovic, 2008). Rezolucija klimatskih podataka su iznosile 25km x 25km i 1km x 1km. Za period 1961-1990 je korišćen set interpoliranih osmotrenih klimatskih podataka u rezoluciji 1km x 1km. Klimatski podaci rezolucije 1x1 km su korišćeni prvenstveno u kalkulacijama rasta bukovih šuma (pet klimatskih serija), dok su podaci rezolucije 25x25 km korišćeni prilikom razmatranja multifunkcionalnog gazdovanja (tri klimatske serije). Promenljive koje su dobijene iz klimatskih modela i koje su upotrebljene u simulacijama 4C modelom su minimalne, maksimalne i srednje dnevne temperature, dnevne padavine, vazdušni pritisak, vlažnost vazduha, brzina vetra i sunčeva radijacija.

2.1.6. Statistička obrada

U ovom radu je korišćena multi-kriterijumska analiza ili višekriterijumsko odlučivanje, kao krovni pristup u odlučivanju prilikom gazdovanja prirodnim resursima (Kangas i Kangas, 2005; Mendoza i Martins, 2006) u svrhu dostizanja opšteg cilja koji se ogleda u multifunkcionalnom gazdovanju bukovima šumama.

Opšti cilj je podeljen u specifične ciljeve. Definisana su tri specifična (parcijalna) cilja u gazdovanju važna za šumarstvo u Srbiji:

1. Sekvestracija ugljenika;
2. Očuvanje biodiverziteta;
3. Makimalan prinos.

Nakon toga, izdvojeno je šest izlaznih parametara iz modela:

1. Biomasa (suma biomasa drveta ispod i iznad zemlje po jedinici površine)
2. Prinos drveta (ukupna masa posečenog drveta tokom simuliranog perioda po jedinici površine)
3. Mrtvo drvo (ukupna masa nastalog mrtvog drveta tokom simuliranog perioda)

4. Prirast (suma godišnjih prirasta za ceo simulirani period)
5. Ugljenik u zemljištu (ukupan ugljenik u zemljištu na kraju simuliranog perioda)
6. Ginijev koeficijent (indeks strukturnog diverziteta šume),

Pitanje biodiverziteta je razmatrano na način kako su sugerisali Lexer i sar. (2000), koji su predložili više izlaznih parametara kao indikatore biodiverziteta za modele koji simuliraju rast drveća na nivou sastojina, a od kojih su u slučaju 4C modela dostupni broj debljinskih stepena, njihove dimenzije i količina mrtvog drveta. Uloga Ginijev koeficijent (eng. *Gini coefficient*) je bila da sažme podatke o debljinskoj strukturi sastojine u jedan broj. Koeficijent je računat na osnovu formule (2) iz istraživanja Lexerød i Eid (2006), bazirnog originalno na istraživanju Gini (1912).

$$GC = \frac{\sum_{j=1}^n (2j-n-1)ba_j}{\sum_{j=1}^n ba_j(n-1)}. \quad (2)$$

- Gde je ba_j bazalna površina stabla sa rangom j u m^2/ha ;
- j je je rang stabla u rastućem nizu od 1, ..., n ;
- n je ukupni broj stabala.

Vrednost Ginijevog koeficijenta se kreće između 0 i 1, gde vrednost 1 prezentuje teorijski maskimalni strukturni diverzitet sastojine, a 0 potpuno odsustvo diverziteta. U cilju povezivanja parcijalnih ciljeva sa izlaznim vrednostima iz modela sačinjena je tablica težinskih faktora na osnovu eksperatskih mišljenja pomoću „*pair-wise comparison technique*“ metoda (Saaty, 1988). Formiranju tablice prethodilo je rangiranja izlaznih vrednosti iz modela za različite parcijalne ciljeve od strane osam eksperata iz različitih oblasti šumarstva (Anketa je data u Prilogu I). Rezultati su sumirani i normalizovani pomoću *total performance index*-a (TPI) predloženog od strane Gutsch i sar., (2011), a razvijenog na osnovu istraživanja (Prato, 2007; Prato, 2008), na način da vrednost indeksa uzmu vrednosti od 0 do 1, gde će vrednost 1 biti dodeljena scenariju gazdovanja koji u najvećoj meri doprinosi ostvarenju određenog cilja. Računanje je sprovedeno pomoću sledećih matematičkih formulacija:

- 1) Kalkulacija $X_{max, j, i}$ ($j = 1, \dots, 6$, $i = 1, \dots, 19$), gde je j broj izlaznih promenljivih iz modela, a i je broj scenarija gazdovanja;

2) Kalkulacija maksimalne vrednosti između devetnaest scenarija gazdovanja:

$X_{max,j}$ = maksimalno ($X_{max,j,i}$), za $i = 1, \dots, 19$.

3) Kalkulacija normalizovanih vrednosti $X_{j,i}^n$ za izlazne promenljive j ($j = 1, \dots, 6$) i gazdovanje i ($i = 1, \dots, 19$)

$$X_{j,i}^n = \frac{X_{j,i}}{X_{max,j}} \quad (3)$$

4) Kalkulacija TPI za svaki scenarijo gazdovanja i ($i = 1, \dots, 19$) uz pomoć težinskih faktora w :

$$TPI_i = \frac{\sum_{j=1}^6 w_j X_{j,i}^n}{\sum_{j=1}^6 w_j} \quad (4)$$

5) Vrednosti TPI_i su sračunate za sve parcijalne ciljeve gazdovanja (sekvestracija ugljenika, očuvanje biodiverziteta, makimalan prinos), za svih devet sastojina i tri klimatska perioda (1971-2000, 2011-2040, 2051-2080).

6) Radi lakšeg grafičkog predstavljanja, vrednosti TPI su prekalkulisane na način da unutar istog specifičnog cilja, lokaliteta i perioda, scenariju gazdovanja sa najmanjim vrednostima TPI bude dodeljena vrednost 0, najvećim 1 i da se sve ostale vrednosti nalaze proporcionalno udaljene od tih krajnosti.

Konačno, *overall (total) utility* (formula 4) upotrebljen u studijama Fürstenau i sar. (2006) i Schwenk i sar. (2012) računat je na osnovu TPI -a i težinskih faktora za različita scenarija preferencija zainteresovanih strana (tzv. *stakeholdera*), koji su dobijeni rangiranjem parcijalnih ciljeva takođe pomoću „*pair-wise comparison technique*“ (Saaty, 1988) anketiranjem tri grupe zainteresovanih strana:

1. Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Uprava za šume
2. Upravljači nacionalnim parkovima i nevladine organizacije iz oblasti zaštite prirode
3. Javno preduzeće „Srbijašume“ koje gazduje bukovim šumama

Rangiranje i kalkulacije koeficijenata za parcijalne ciljeve su urađeni pomoću *AHP excel sheet* dokumenta (Goepel, 2013).

$$U_{i,z} = \frac{\sum_{l=1}^9 w_c * TPI_{p=1,l} + w_b * TPI_{p=2,l} + w_t * TPI_{p=3,l}}{9} \quad (5)$$

Gde je i broj scenarija gazdovanja ($i=1, 2, 3, \dots, 19$), l lokalitet ($l=1, 2, 3, \dots, 9$) z jedna od tri grupe zainteresovanih stana ($z=1, 2, 3$), p jedan od tri parcijalna cilja ($p=1, 2, 3$), a w_c , w_b i w_t težinski faktori za za parcijalne ciljeve vezivanje ugljenika, očuvanje biodiverziteta i maksimalan prinos dobijeni anketom zainteresovanih strana. Anketa je data u Prilogu II.

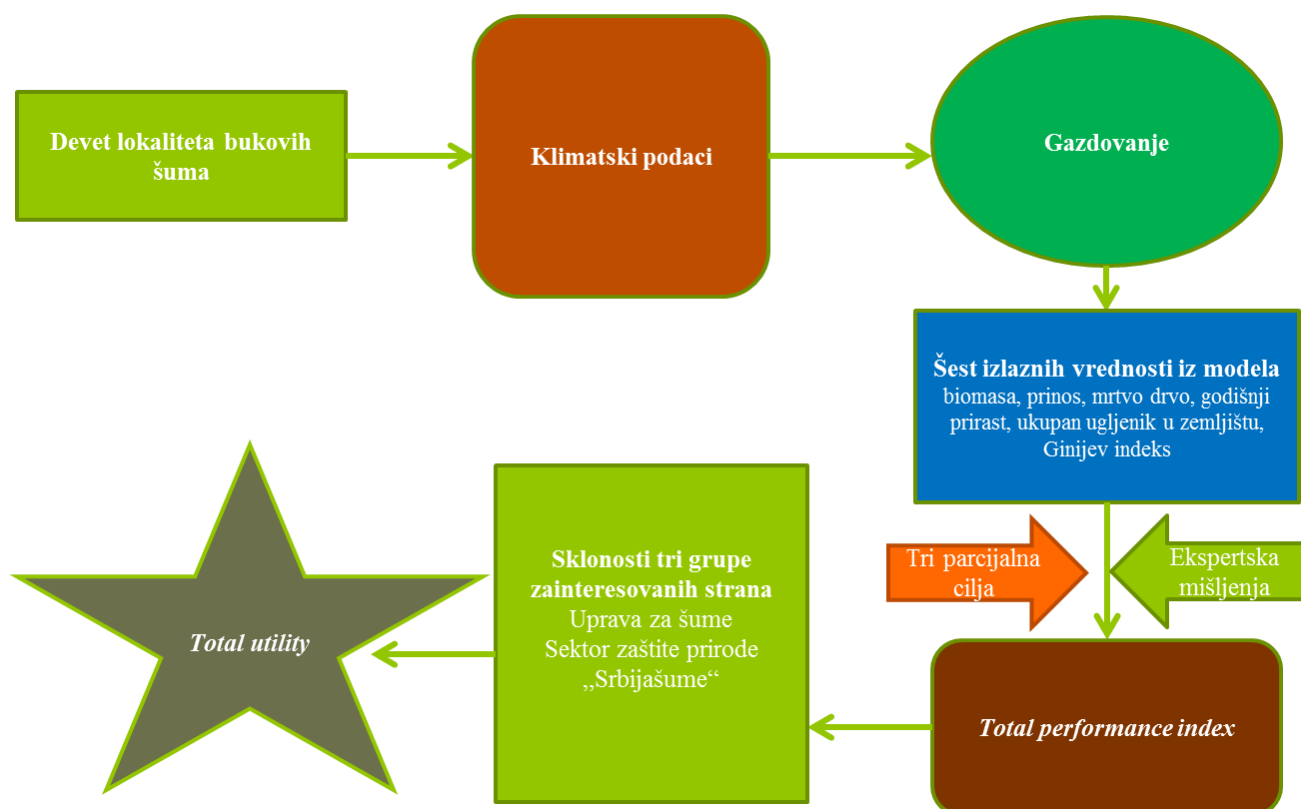
Sve kalkulacije su ponovljene za svaki od tri klimatska perioda (1971-2000, 2011-2040 i 2051-2080). U svrhu boljeg predstavljanje rezultata ovog istraživanja, grafički su prikazane promene zapremine, mrtvog drveta i godišnjeg prirasta u vremenu za sve mera gazdovanja za sve lokalitete i klimatske periode. Kao izlazne vrednosti na kraju simulacije posmatrane su konačne vrednosti zapremina i ugljenika u ekosistemu, kao i kumulativne vrednosti mrtvog drveta, godišnjeg prirasta i prinosa. Svi grafici vremenskih serija i kalkulacije distribucija godišnjih prirasta u godinama sa višim i nižim temperaturama i padavinama su urađeni pomoću R statističkog programa (R Development Core Team, 2012) i paketa „*lattice*“ (Sarkar, 2008).

2.1.7. Kalibracija

Kalibracija modela je izvršena na osnovu podataka dobijenih u okviru istraživanja Matović (2012). Model je podešen na način da poznati desetogodišnji prirast u vremenu premera 2005-2007, bude osnov za povećanje zapremine u periodu 1961-1990 (osmotreni klimatski podaci). S obzirom da klimatski podaci za period posle 2000. nisu bili dostupni, kao ni prirast za period 1961-1990, povećanje zapremine u svakoj od devet sastojina u desetogodišnjem periodu 1995(1996,1997)-2005(2006,2007) je podešeno u modelu da bude u proseku isto na godišnjem nivou za simulirani period 1961-1990. Podešavanja za referentni period su primenjena za simulacije različitih scenarija budućnosti.

2.1.8. Dizajna eksperimenta multifunkcionalnog gazdovanja

Na Slici 25., grafički je prikazan tok unošenja podataka u ekperiment i tok simulacija.



Slika 25. Grafički prikaz toka eksperimenta sa 4C modelom

2.2. Upotreba Elenbergovog indeksa za određivanje donje granice prostiranja bukovih šuma u Srbiji u 21. Veku

2.2.1. Biometeorološki indeks

U cilju potpunijeg sagledavanja uticaja promene klime na bukvu u Srbiji, upotrebljen je i Elenbergov klimatski koeficijent (EQ), prost biometeorološki indeks, koji na jasan način povezuje distribuciju bukve i vlažnost (Ellenberg, 1988). EQ je definisan jednostavnom formulom u kojoj se srednja temperature najtoplijeg meseca u godini (u Srbiji jula) u °C deli sa sumom godišnjih padavina u mm i množi sa 1000 (6).

$$EQ = \frac{T_{jul}}{P_{godišnje}} * 1000 \quad (6)$$

Prostorno predstavljeno, površine sa koeficijentom manjim od 30 se karakterišu vlažnijom klimom i dominacijom bukve, dok se površine sa vrednošću iznad 30 karakterišu sušnijom i toplijom klimom u kojoj dominiraju vrste poput hrasta (Ellenberg, 1988; Jahn, 1991; Fang i Lechowicz, 2006).

2.2.2. Osmotreni podaci i projekcije klime

Osmotreni podaci su uzeti sa 69 meteoroloških stanica širom Srbije za referentni period 1961-1990 (lista stanica - Prilog III). Temperatura i padavine su interpolisani tzv. krigingom, statističko-topografskim modelom za interpolisanje klimatskih podataka na reljefnim mapama (Dingman et al., 1988), pomoću SAGA-GIS softvera u rezoluciji 90m, nakon čega je EQ računat za svaki pojedinačni piksel. Klimatski podaci su obezbeđeni iz regionalnog klimatskog modela Eta Belgrade University–Princeton Ocean Model (EBU-POM) za A1B i A2 SRES scenarije za periode 2001-2030 i 2071-2100. Model se sastoji od Eta/NCEP atmosferskog modula i Princeton Ocean Model (POM) okeanskog modula. Atmosferski modul je povezan sa globalnim modelom sa namerom da obezbedi sezonsku predikciju (Fennessy and Shukla, 1999). Pored *downscaling* studija u SAD (Xue et al., 2007), EBU-POM je korišćen na prostoru Mediterana i južne Evrope (Djurđević i Rajković, 2008).

U cilju prevazilaženja odstupanja između modeliranih i osmotrenih klimatskih podataka, upotrebljen je *delta change approach* (Graham et al., 2007; Ruml et al., 2012). Numerička razlika u temperaturi i padavimana između osmotrenih podataka iz period 1961-1990 (Republički hidrometeorološki zavod; Kržič i sar. 2011) i istog perioda iz 20c3m modelarskog eksperimenta (Djurđević and Rajković, 2008) dodavana je na rezultate klimatskih projekcija 21. veka da bi se greška modela svela na najmanju meru. Nakon ove operacije, EQ je računat za sva tri klimatska perioda 1961-1990, 2001-2030 i 2071-2100.

2.2.3. Prostorne analize

Bukva je bila dominantna vrsta u 1651 od 19371 kvadrata 2x2 km Nacionalne inventure šuma (Banković et al., 2009). Uz pomoć mapa interpolisanih EQ vrednosti za period 1961-1990, ispitano je:

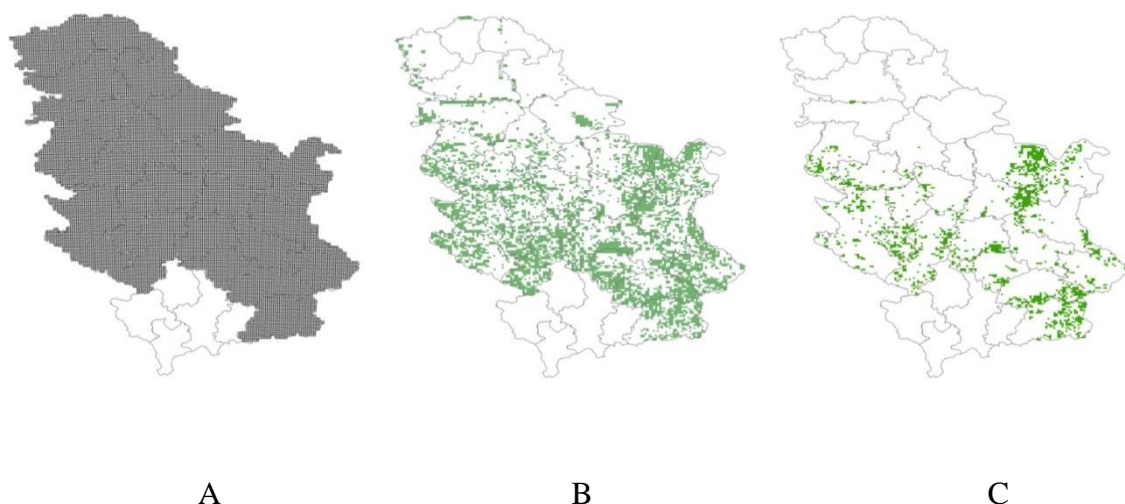
1. Da li je EQ dobar prediktor današnje distribucije bukve?
2. Koja je donja granica rasprostranjenja bukve u Srbiji?
3. Koliko će se distribucija bukve promeniti na osnovu projektovane promene klime za periode 2001-2030 i 2071-2100 scenaria A1B i period 2071-2100 scenaria A2?

U cilju određivanja da li EQ ima dobru moć predikcije upotrebljena je metoda kalkulacije *Area under the Receiver Operating Characteristic curve (AUC)* (Swets, 1988). Da bi odredili donju granicu za referentni period 1961-1990, korišćeni su različiti kriterijumi:

1. Maksimalne kapa vrednosti (Huntley i sar., 1995; Araújo i sar., 2005);
2. Maksimalna senzitivnosti i specifičnosti (Manel i sar., 2001; Czúcz i sar., 2011);
3. Granica ispod koje se nalazi 95% dominantno bukovih probnih površina.

Sve analize su obavljene na dva uzorka (Slika 26.), gde su:

1. Upotrebljena probne površine iz čitave inventure
2. Upotrebljena samo probne površine u kojima se nalaze šume



Slika 26. Mape iz Nacionalne inventure šuma (Banković i sar., 2009) (A – Sve probne površine u inventuri; B – Probne površine polja na kojima se nalaze šume; C – Površine u kojima se nalaze dominantno bukove šume)

Sve analize su sprovedene u R statističkom okruženju (R Development Core Team, 2012). Nakon toga, projekcije buduće distribucije bukve su evaluirane pomoću Elenbergovih granica 20, 30 i 40, kao i na skali gradijenta od dva podeoka. Mape su predstavljene pomoću ArcGIS 9.3.1 programskog paketa. Konačno, grafički je prikazano i diskutovano pomerjenja distribucije bukve kroz kategorije EQ indeksa za različite klimatske periode i scenarija.

2.3. Poređenje rezultata vezano za perspektive bukovih šuma u Srbiji

Nakon završenih analiza i dobijanja rezultata za dva različita metodološka pristupa, poređeni su rezultati i razmatrane perspektive bukve u Srbiji u 21. veku. Poređena je promena EQ i zapremine za ekvivalentne vremeske periode.

3. REZULTATI

3.1. Simulacije pomoću 4C modela

3.1.1. Klimatski uslovi u istraživanim sastojinama

U svrhu boljeg razumevanja rezultat ove studije i njihovog stavljanja u kontekst dešavanja u prirodi, u tabelama (Tabela 9. i 10.) su prikazane srednje vrednosti osmotrene klime za različite periode i scenarije. Klimatski podaci rezolucije 1x1 km su korišćeni prvenstveno u kalkulacijama rasta bukovih šuma, dok su podaci rezolucije 25x25 km korišćeni prilikom razmatranja multifunkcionalnog gazdovanja.

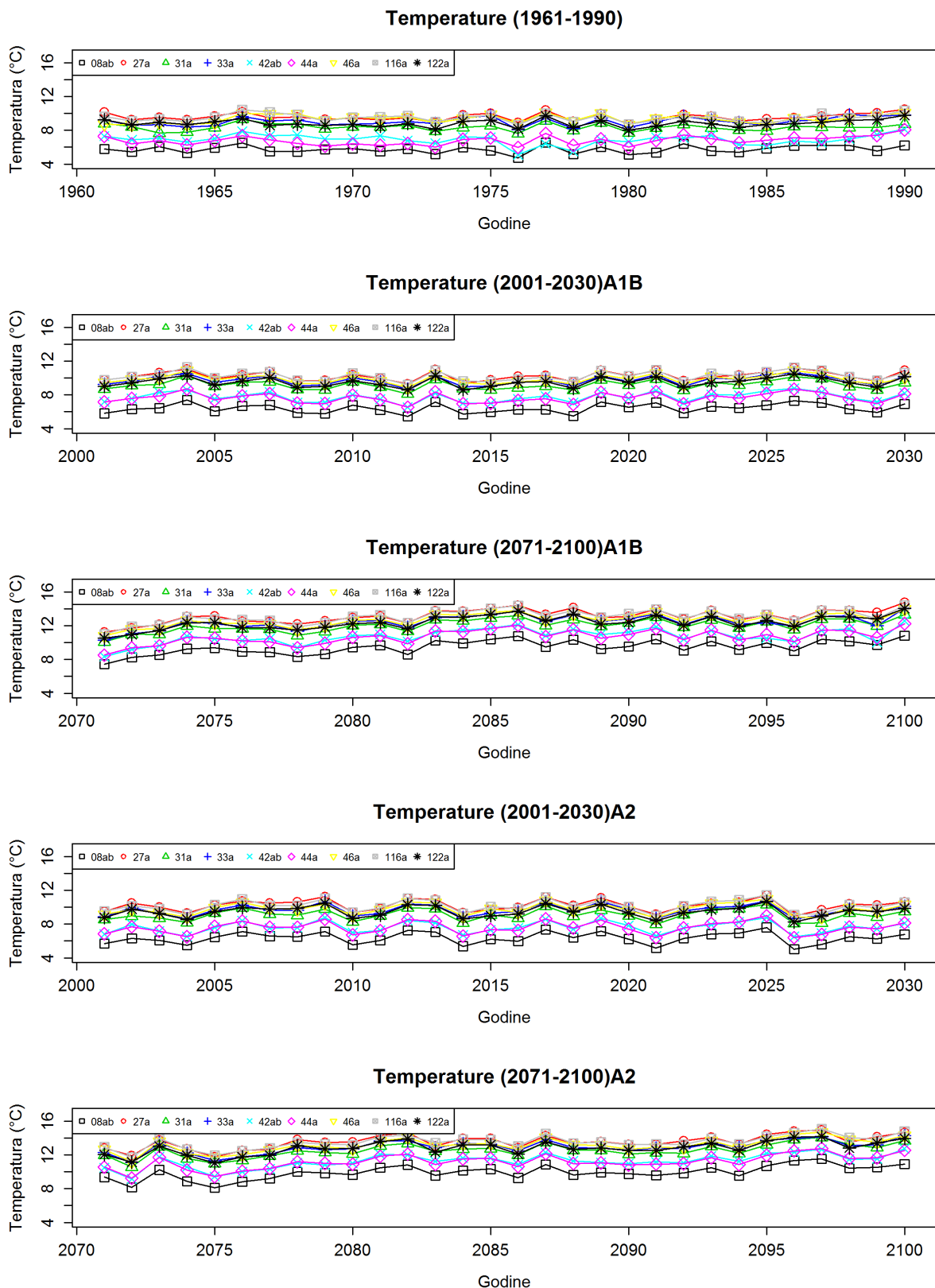
Tabela 9. Srednje temperature za osmotrene i simulirane tridesetogodišnje intervale (RHMZ)

	8ab*	27a	31a	33a	42ab/*	44a	46a	116a	122a
Klimatski periodi	Javor*	Zapadna Boranja	Čemernik- Ostrozub	Homoljske planine	Kučajske planine*	Željin	Kukavica	Jastrebac	Istočna Boranja
1961-1990 (osmotreno 1x1km)	5,7	9,6	8,4	9,0	6,9	6,8	9,3	9,5	8,8
1971-2000 (modelirano 25x25km)	5,9	9,5	8,9	9,3	7,2	9,0	9,7	9,3	9,5
2001-2030 A1B (modelirano 1x1km)	6,4	10,2	9,2	9,7	7,7	7,6	9,9	10,2	9,5
2001-2030 A2 (modelirano 1x1km)	6,4	10,2	9,1	9,7	7,6	7,6	9,8	10,1	9,5
2011-2040 A2 (modelirano 25x25km)	6,2	9,8	9,2	9,5	7,5	9,3	10	9,6	9,8
2051-2080 A2 (modelirano 25x25km)	8,3	11,9	11,2	11,6	9,7	11,3	12	11,7	11,9
2071-2100 A1B (modelirano 1x1km)	9,5	13,1	12,1	12,4	10,7	10,7	12,7	13,1	12,4
2071-2100 A2 (modelirano 1x1km)	9,9	13,6	12,5	12,9	11,3	11,2	13,1	13,5	12,8

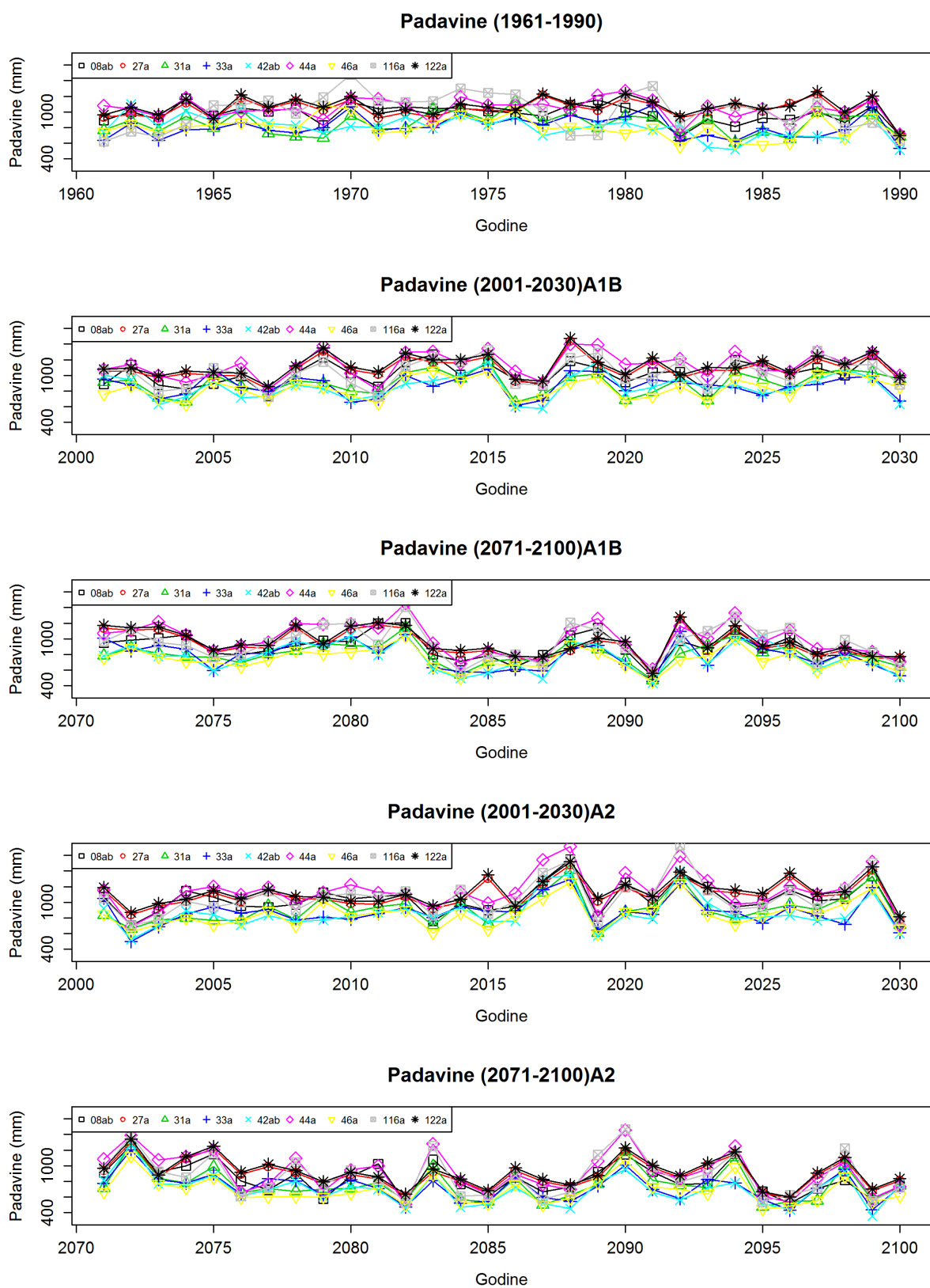
Tabela 10. Srednje sume godišnjih padavina za osmotrene i simulirane tridesetogodišnje intervale (RHMZ)

	8ab*	27a	31a	33a	42ab/*	44a	46a	116a	122a
Klimatski periodi	Javor*	Zapadna Boranja	Čemernik -Ostrozub	Homoljsk e planine	Kučajске planine*	Željin	Kukavica	Jastrebac	Istočna Boranja
1961-1990 (osmotreno 1x1km)	974	1036	852	806	804	1037	800	1008	1068
1971-2000 (modelirano 25x25km)	724	786	606	674	729	709	616	666	786
2001-2030 A1B (modelirano 1x1km)	1020	1086	899	868	854	1132	839	1036	1119
2001-2030 A2 (modelirano 1x1km)	1042	1025	914	877	859	1139	849	1066	1129
2011-2040 A2 (modelirano 25x25km)	802	859	697	786	839	808	712	756	859
2051-2080 A2 (modelirano 25x25km)	709	745	612	667	704	695	616	666	745
2071-2100 A1B (modelirano 1x1km)	898	933	803	791	768	1001	740	948	962
2071-2100 A2 (modelirano 1x1km)	833	895	757	723	694	915	685	871	922

Za sagledavanje klimatskih uslova predstavljene su i vremenske serije prosečnih godišnjih temperatura i sume godišnjih padavina (Slike 27. i 29.). Uočljivo je da su temperature i padavine za svih devet sastojina međusobno varirale od godine do godine po istom obrascu. To se odnosi kako na osmotrne podatke (period 1961-1990), tako i projekcije budućnosti (periodi 2001-2030 i 2071-2100). Što se tiče temperatura, one su rasle idući prema kraju 21. veka, dok su padavine varirale sa većim amplitudama za buduća scenarija što se može videti u Prilogu VI, gde je prikazan čitav stogodišnji niz temperatura i padavina za A1B i A2 scenario.



Slika 27. Vremenske serije srednjih godišnjih temperatura za tri klimatska perioda i devet istraživanih lokaliteta

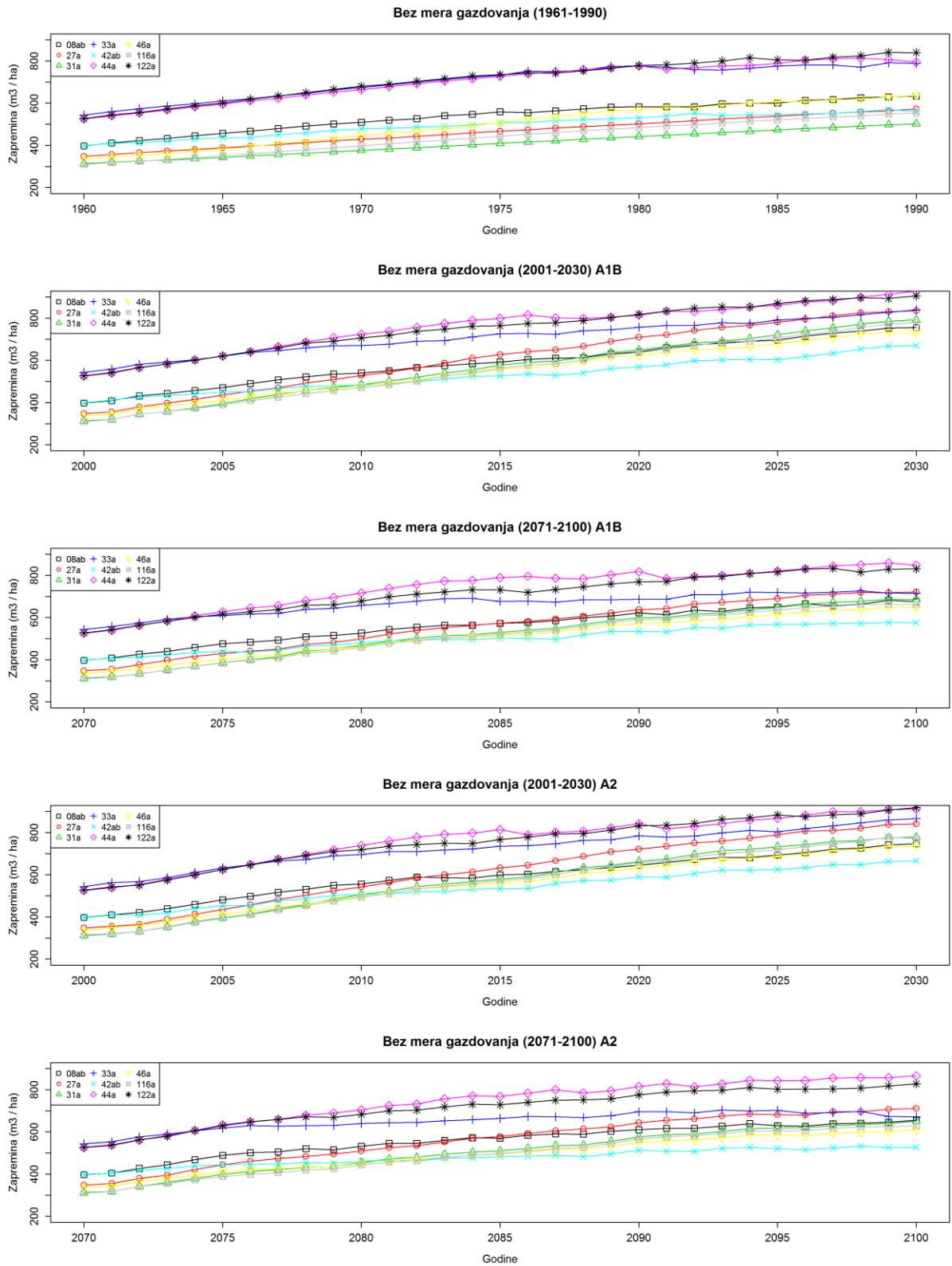


Slika 28. Vremenske serije suma godišnjih padavina za tri klimatska perioda i devet istraživanih lokaliteta

Iz priloženih grafika (Slika 27. i 28.) se vidi da su i temperature i padavine pratile sličan trend za svih devet sastojina. Lokaliteti Javor (08ab), Kučajske planine (42ab) i Željina (44a) su imali očigledno niže temperature u odnosu na ostale lokalitete za sve periode. Padavine su bile više ujednačene, a najviše vrednosti za period osmotrene klime su imale sastojine Željina (44a) i Istočna Boranja (122a) i Zapadna Boranja (27a). Padavine su više varirale između različitih setova klimatskih podataka (Tabela 10., Slika 9.), ali je poredak ostao gotovo isti u svim klimatskim periodima i scenarijima.

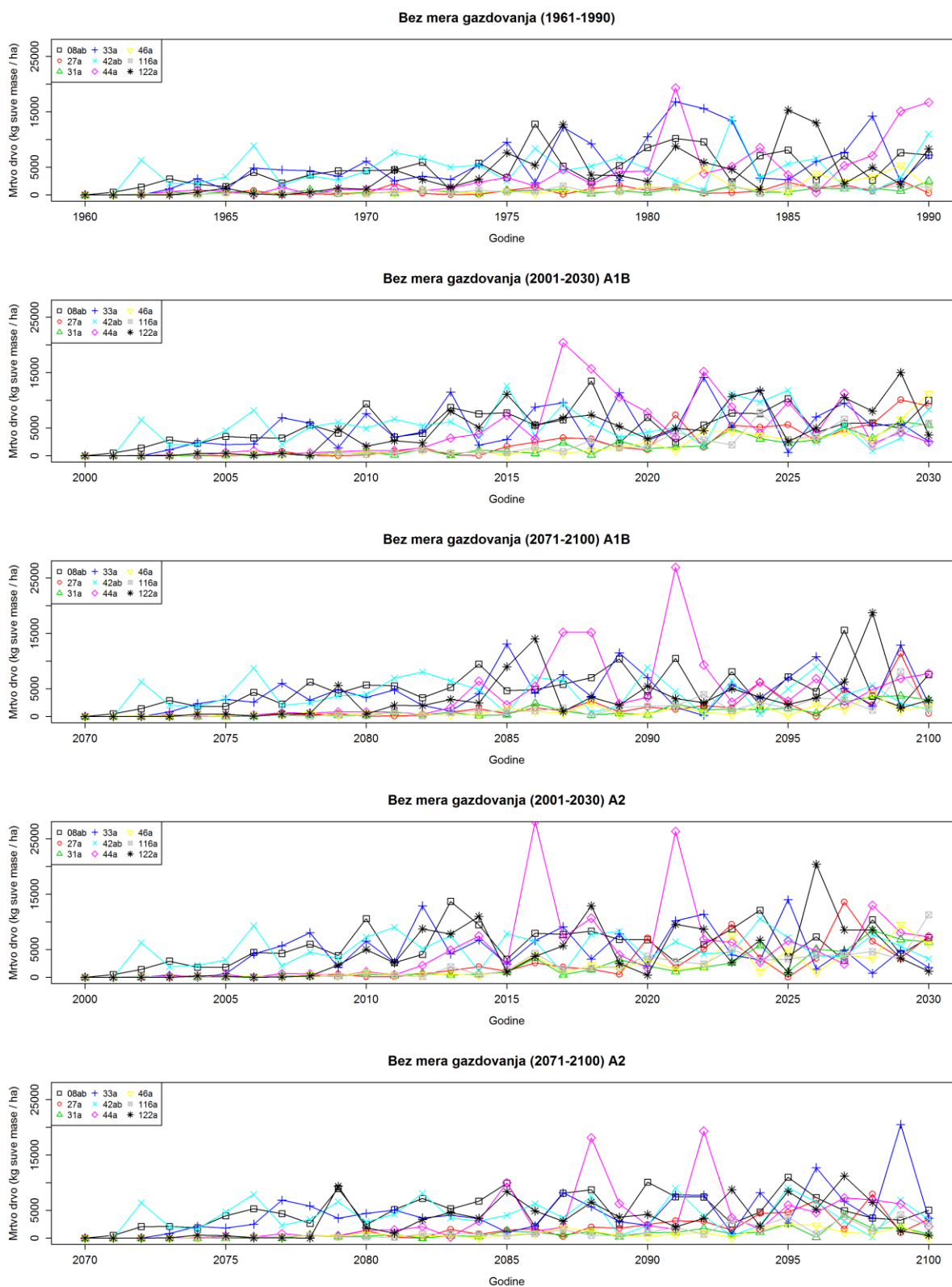
3.1.2. Rast bukovih šuma u pet klimatskih perioda

Pre razmatranja pojedinačnih simuliranih sastojina neophodno je sagledati neke od posmatranih promenljivih u globalu. Generalno, zapremine svih sastojina u scenariju bez mera gazdovanja su porasle u posmatranim periodima (Slika 29.). Porast zapremina je bio najveći u periodu 2001-2030 za oba scenarija, dok su periodi 2071-2100 i 1961-1990 imali slične vrednosti, gde je period sa kraja 21. veka ima prednost. Varijacije između različitih sastojina su bile primetne. Uzimajući u obzir preostalih 18 scenarija gazdovanja u kojima su primenjivane različite mere gazdovanja, uočljive su godine nakon primene različitih mera u kojima se zapremina smanjivale u zavisnosti od inteziteta seča. Scenarija gazdovanja sa intezitetima seča 10 i 20% u destogodišnjem intervalu, kao i scenarija sa intezitetima od 5 i 10% u petogodišnjem intervalu su uglavnom imala veće zapremine na kraju simulacije u odnosu na početnu zapreminu (Prilog IV). Međutim, scenariji gazdovanja koji su podrazumevali algoritam selektivne seče (scenariji broj 8., 9, 10., 17., 18. i 19.) nisu pratili taj obrazac. Iz nekog razloga, u cilju što boljeg praćenja Liokurtove krive definisane funkcijom (formula 1.) i parametrima (Tabela 5.), algoritam je u svakom ciklusu pokazao seču veće zapremine nego što je to bile propisano u kontrolnom fajlu gde se definiše zapremina koja će biti posečena.

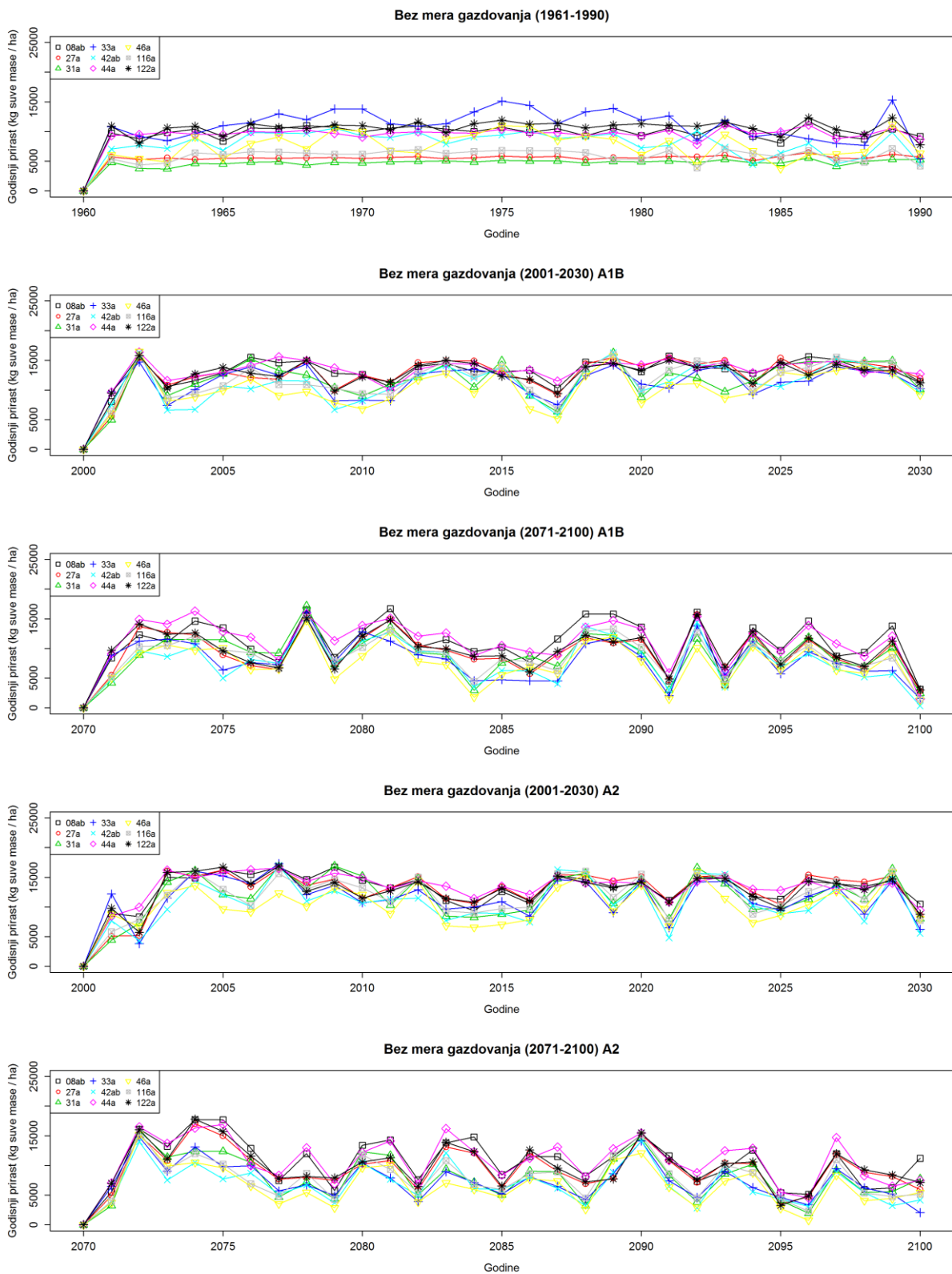


Slika 29. Vremenske serije zapremina devet sastojina u pet klimatskih perioda

Količina mrtvog drveta je varirala za različite lokalitete i klimatske periode (Slika 30.). Načelno, kod sastojina sa većom zapreminom i godišnjim prirastom (Slika 31.), samim tim i većom kompeticijom za resurse, javljale su se i veće količine mrtvog drveta.



Slika 30. Vremenske serije količine mrtvog drveta za devet sastojina u pet klimatskih perioda



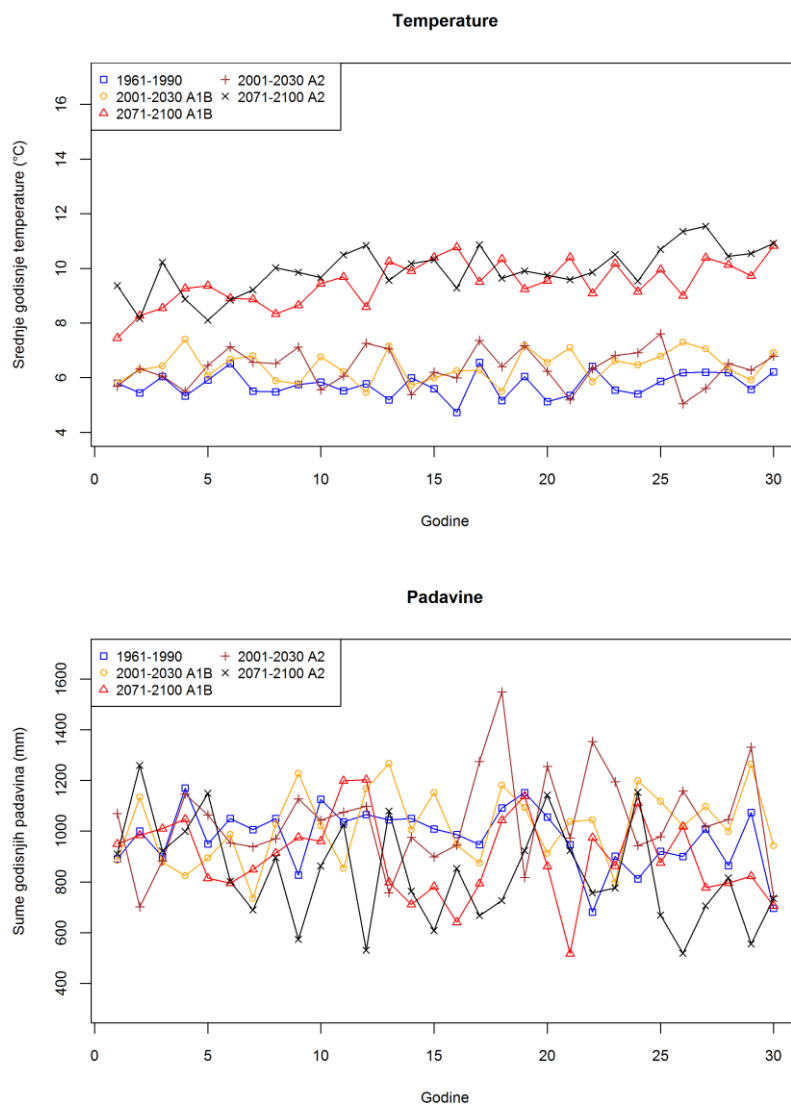
Slika 31. Vremenske serije godišnjeg prirasta za devet sastojina u pet klimatskih perioda

Posmatrajući različita scenarija gazdovanja, količina mrtvog drveta se menjala u skladu sa intezitetima seča. Scenarija gazdovanja koja su podrazumevala češće mere gazdovanja (seče u petogodišnjim intervalima, scenarija od 11. do 19.) su imale ukupno manje mrtvog drveta na kraju simuliranog tridesetogodišnjeg perioda u odnosu na scenarija sa manjom frekvencijom seča (desetogodišnji interval, scenarija od 2. do 10.). Scenariji gazdovanja koji su podrazumevali seče viših stabala su imali nešto više mrtvog drveta od scenarija koja su podrazumevala seču nižih stabala isključujući scenarija najvećeg inteziteta u kojima bilo vrlo malo mrtvog drveta. Razlog zašto su scenarija u kojima su sečena niža stabla imala manje mrtvog drveta krije su u činjenici da je za ispunjavanja kvote od 10 ili 20% procenata zapremine sastojine bilo potrebno poseći veći broj manjih stabala u odnosu na scenarija gde su sečena visoka stabla. Bitno je napomenuti da su stabla koja su se sušila i postajala „mrtvo drvo“ najvećim delom bila stabla koja su bila potčinjena u kompetitivnim odnosima za resurse (svetlost, voda, hranljive materije), a to su mahom bila stabla manjih dimenzija. Godišnji prirast je varirao na način da su na njega najviše uticali ekološki uslovi, a mnogo manje inteziteti i karakteristike mera gazdovanja.

3.1.2.1. Javor (8ab)

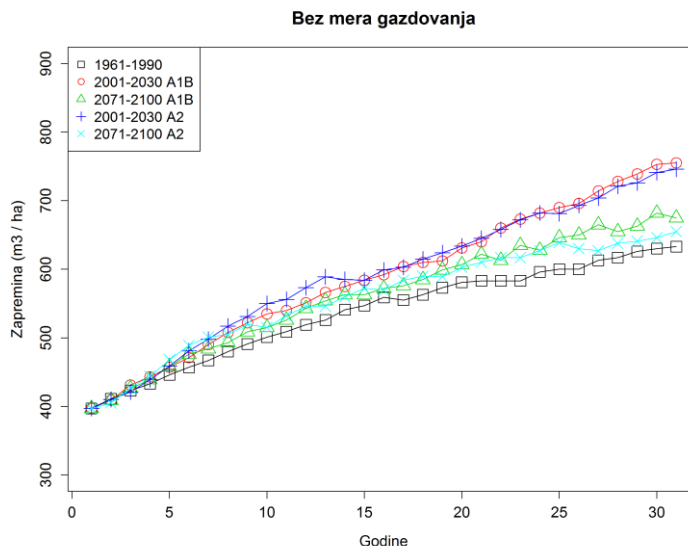
Na lokalitetu Javor su se nalazile dve sastojine (8a i 8b) koje su objedinjene u modelu zbog istih klimatskih ulaznih parametara i zato što je njihovim sabiranjem dobijena nova sastojina koja je po svojoj veličini uporediva sa ostalim simuliranim sastojinama. Ova objedinjena sastojina se nalazi u regionu zapadne Srbije, na nadmorskoj visini od oko 1300m, i poseduje severnu i zapadnu ekspoziciju. U sastojini 8ab dominiraju ilovače i kiselo-smeđe zemljište. Radi se o izrazito mezofilnom staništu u kome dominiraju biljne zajednice *Festuco drymeiae-Fagetum montanum* Jov.1973. i *Vaccinio-Fagetum moesiaca* Fuk. 1969. (Matović, 2012). Godišnja suma padavina u ovoj sastojini za period 1961-1990 je iznosila 974mm, dok je srednja godišnja temperatura imala vrednost 5,7 °C.

Na Slici 32. su prikazane vremenske serije temperatura i padavina korišćenih u simulacijama. Na gornjem delu slike se jasno diferenciraju dve grupe linija. Prva, u koju spada referentni period 1961-1990 i dve linije scenarija perioda 2001-2030 i druga u koju spadaju dve linije scenarija iz period 2071-2100. U prvoj grupi je uočljiva veća varijacija između godina projekcija budućih temperatura u odnosu na referentni period, što govori u prilog prisutnosti većeg broja toplih godina, ali i pojavi izuzetno hladnih godina. Može se reći da se taj obrazac u prvih 13. godina 21. veka pokazao kao tačan, jer je bilo izuzetno toplih i sušnih godina (2000., 2003., 2007., 2011. i 2012.), ali su se javile i godine sa ekstremnim hladnoćama tokom zime (2012.). Druga grupa linija ima jasno uočljiv trend porasta temperatura. Sa praktično prosečnih temperatura od oko 6 °C početkom veka temperature su skočile na 9, odnosno prosečno 10 °C. Potencijalno negativan efekat na šume i celokupno ljudsko društvo može imati i velika varijacija u sumi godišnjih padavina koju vidimo na donjoj slici Slike 32. Projektovani scenariji su imali amplitudu variranja sume godišnjih padavina između različitih godina od čak 700 (period 2071-2100) i 800mm (period 2001-2030), dok je kod referentnog perioda to bilo oko 500mm.



Slika 32. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenarij) za sastoninu Javor (08ab)

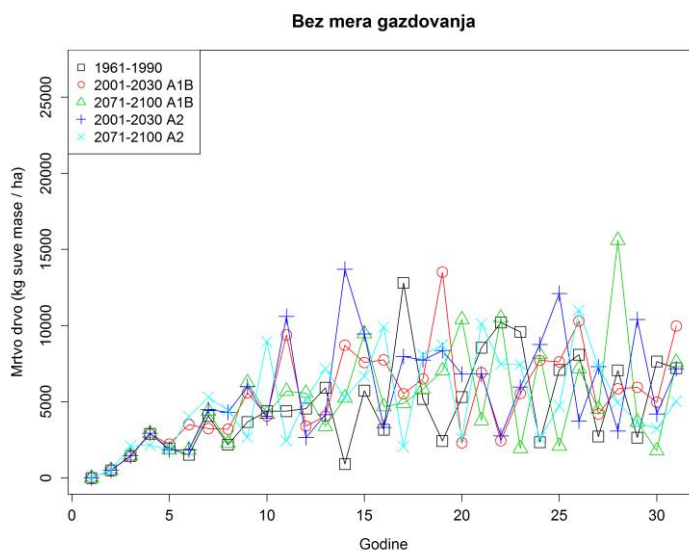
Za simulacije su korišćene pedološke karakteristike kiselo smeđeg i humusno silikatnog zemljišta na osnovu podataka Matović (2012). Zapremine na kraju simuliranih perioda su se kretale u intervalu od 620 do 750 m³/ha (Slika 33.). Generalno, najproduktivniji period je bio 2001-2030 za A1B i A2 scenarije. Pratio ih je period 2071-2100, koji je po produktivnosti bio vrlo sličan referentnom periodu 1961-1990. S obzirom da je sastojina Javor nalazi na velikoj nadmorskoj visini, a da se očekuje da će uticaj klimatskih promena tamo biti manji nego u nizijama, za očekivati je bilo da trend porasta zapremine ne bude manji nego u referentnom periodu. Takođe, srednja temperatura od oko 10 °C i padavine u intervalu od 800 do 900 mm se mogu još smatrati izuzetno povoljnim uslovima za bukvu.



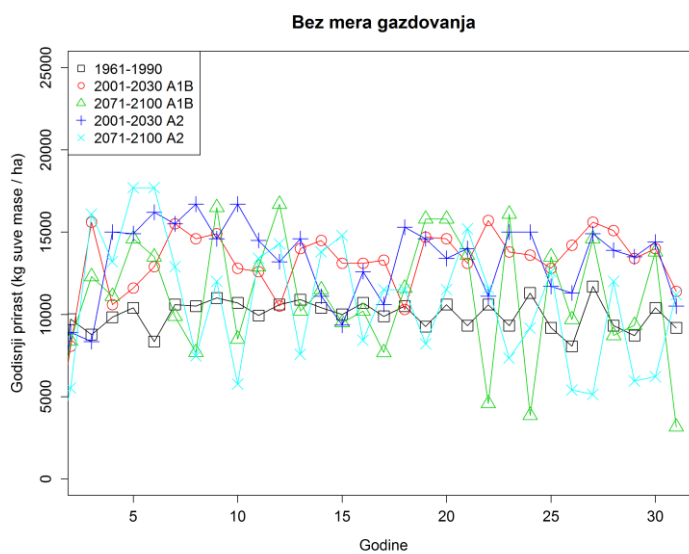
Slika 33. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Javor (08ab)

Udeo mrtvog drveta je varirao bez jasne razlike između klimatskih perioda. Generalno, porast zapremine bez ikakvih mera gazdovanja je dovodio do porasta mortaliteta (Slika 34.). Uočljivo je bilo da intervencije većeg inteziteta dovode do smanjenja nastanka mrtvog drveta jer se na taj način samnjuje kompeticija između stabala (Prilog IV). Amplitude promene godišnjeg prirasta su bile приметne (Slika 35.). Njihovo varirarnje je bilo direktno proporcionalno klimatskim uslovima koji su vladali u pojedinim godinama.

Uočljivo je i manja varijacija u godišnjem prirastu kod osmotrenog klimatskog perioda (1961-1990). Do nje je došlo najverovatnije usled kombinovanja osmotrenih podataka za temperature i padavine sa klimatskim paramertima iz modela za koje praktično nisu bile dostupne vremenske serije iz osmatranja. To su bili vazdušni pritisak, vlažnost vazduha, brzina vetra i sunčeva radijacija. Nije isključena ni pojava greške u modelu ili greška pri realizaciji simulacija.



Slika 34. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Javor (08ab)

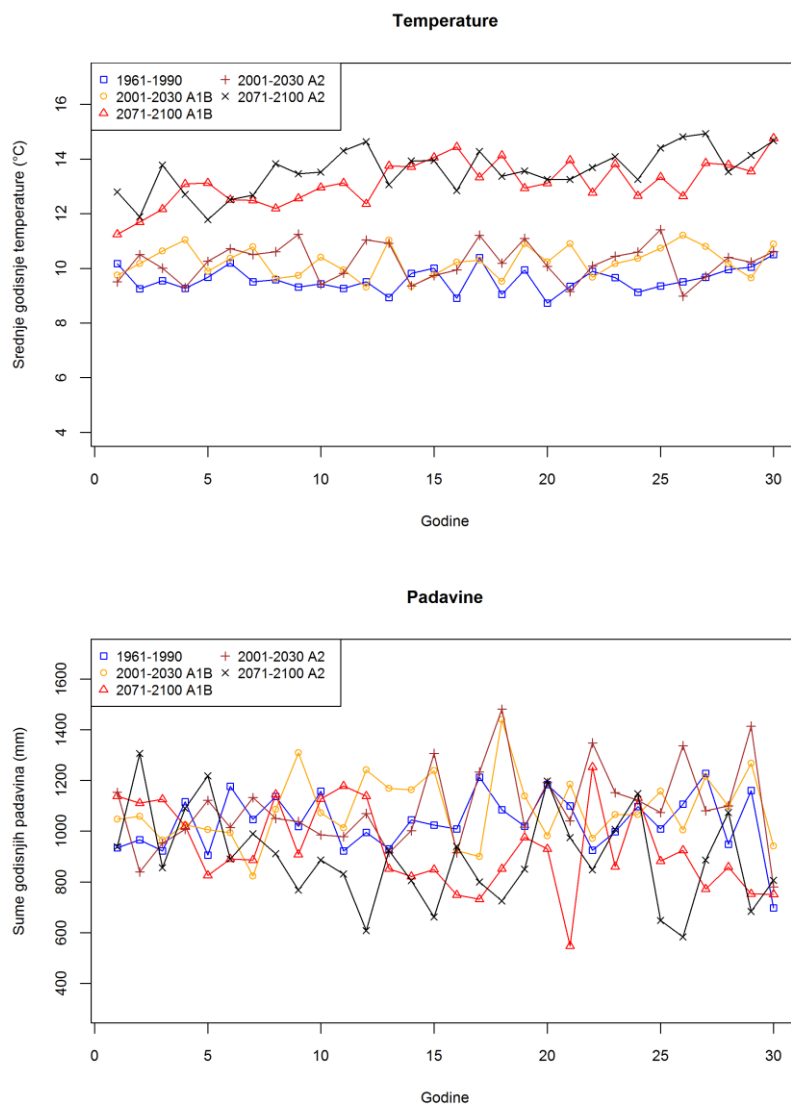


Slika 35. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Javor (08ab)

3.1.2.2. Zapadna Boranja (27a)

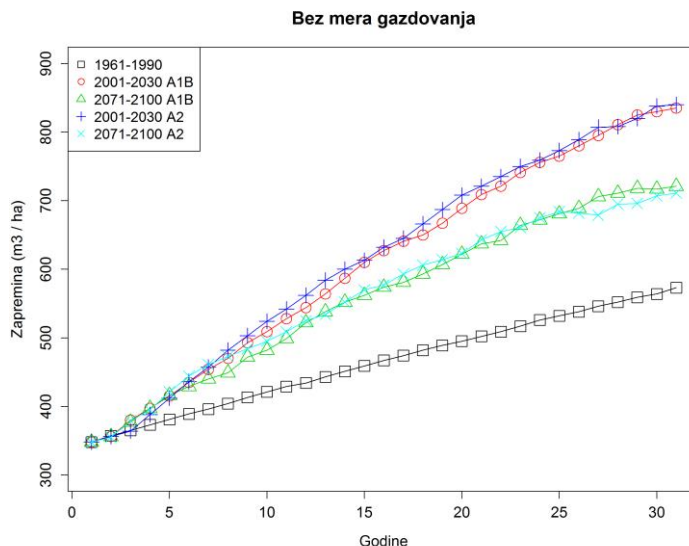
Zapadna Boranja se nalazi u Zapadnoj Srbiji u izrazito mezofilnim uslovima na nadmorskoj visini između 480 i 630m. Ekspozicija sastojine je zapad-jugozapad. Zabeleženi tipovi zemljišta su kiselo-smeđe, pseudoglej i luvisol. Sastojina dominantno pripada zajednici *Fagetum moesiaca montanum* Jov.1953. Ova sastojina je visoko produktivna i kvalitetna (Matović, 2012). Prosečne vrednosti padavina za osmotreni period 1961-1990 su bile 1036mm (Tabela 10.), dok su vremenske serije padavina za buduće simulirane periode varirale, sa tendencijom smanjenja na kraju 20. veka (Slika 36.). Prosečne temperature za tridesetogodišnje periode su varirale od 9,6 do 13,6 °C, na način da su se vrednosti temperatura uvećavale u budućnosti (Tabela 9., Slika 36.).

Kao i slučaju sastojine na planini Javor, vremenske serije temperatura i padavina su pratile isti obrzac. Razlika je ta da je usled manje nadmorske visine na kojoj se nalazi Zapadna Boranja temperatura bila veća za neka 3 stepena u svim vremenskim serijama. Amplitude promena temperatura između godina unutar istog klimatskog perioda i scenarija su opet bile veće kod projektovanih scenarija, a nastavljen je i trend porasta temperatura idući ka kraju 21. veka.



Slika 36. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Zapadna Boranja (27a)

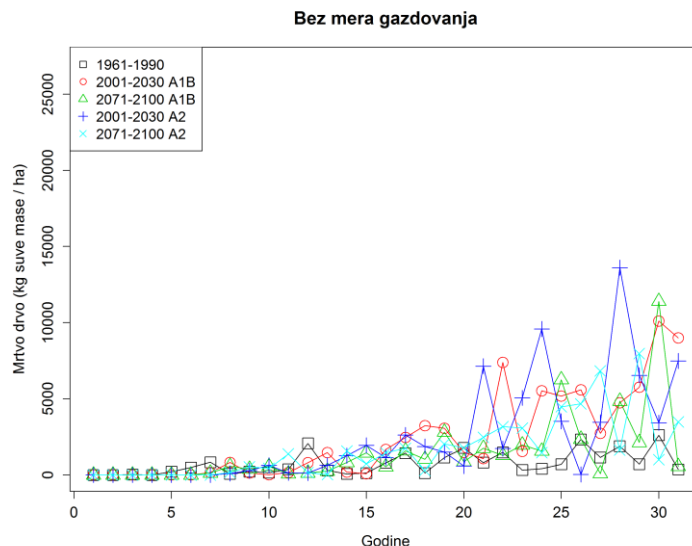
Zapremine na kraju simulacija su bile od $580 \text{ m}^3/\text{ha}$ do $830 \text{ m}^3/\text{ha}$, sa uočljivim porastom produktivnosti u periodima 2001-2030 i smanjenjem u periodima 2071-2100 (Slike 37.).



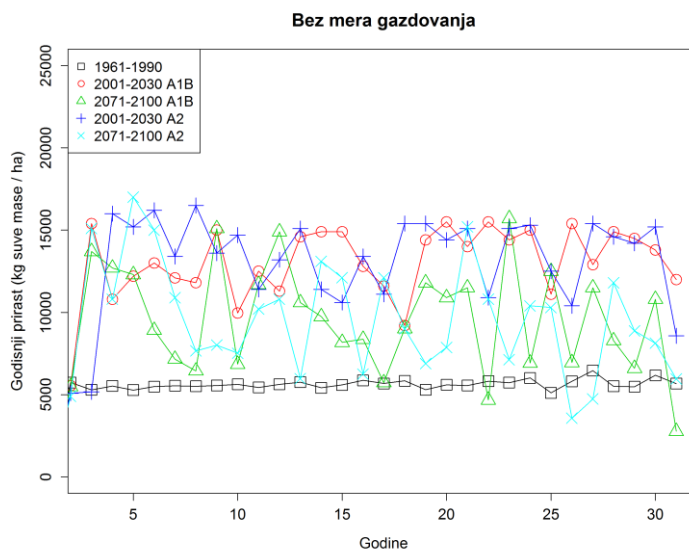
Slika 37. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Zapadna Boranja (27a)

Zapremine od 830 m³/ha su iznad maksimalnih vrednosti za takva staništa u Srbiji. Uzrok tome je nepostojanje maksimalne gornje granice u zapremini sastojine u okviru 4C modela. Iz tog razloga se ne preporučuje njegovo korišćenje u dužim vremenskim intervalima, odnosno preporučuju se oni periodi za koje je izvršena verifikacija modela. Količina mrtvog drveta je posle 20. godine simulacija počela da raste za svih pet klimatskih perioda (Slika 38.). Iz toga proizilazi da je glavni faktor koji je uticao na pojavu mrtvog drveta bila struktura i zapremina sastojine. Režimi gazdovanja koje su podrazumevali intervencije velikog inteziteta su imali najmanje mrtvog drveta, posebno seče niskih stabala i selektivne seče (Prilog IV).

Godišnji prirast je varirao od godine do godine, s tim da su varijacije u periodu 2071-2100 bile značajno veće nego one u period 2001-2030 (Slika 39.). Simulacije za klimatski period 1961-1990, u kome su korišćeni osmotreni klimatski podaci udruženi sa određenim klimatskim promenljivama dobijenim iz modela je pokazala gotovo konstantne vrednosti čiji se uzrok krije u neskladu između podataka ili u nekoj grešci pri izvođenju simulacija. Ta okolnost je nesumnjivo uticala i na simuliranu zapreminu i količinu mrtvog drveta za ovaj period.



Slika 38. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Zapadna Boranja (27a)

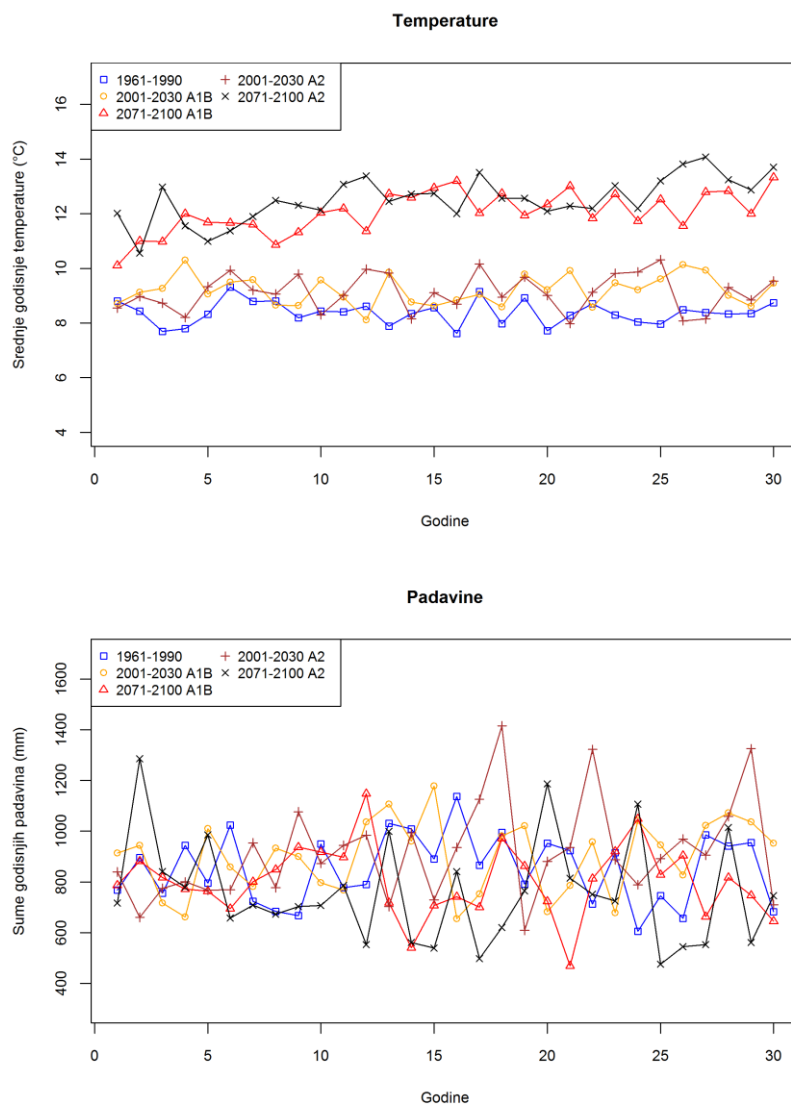


Slika 39. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Zapadna Boranja (27a)

3.1.2.3. Čemernik-Ostrozub (31a)

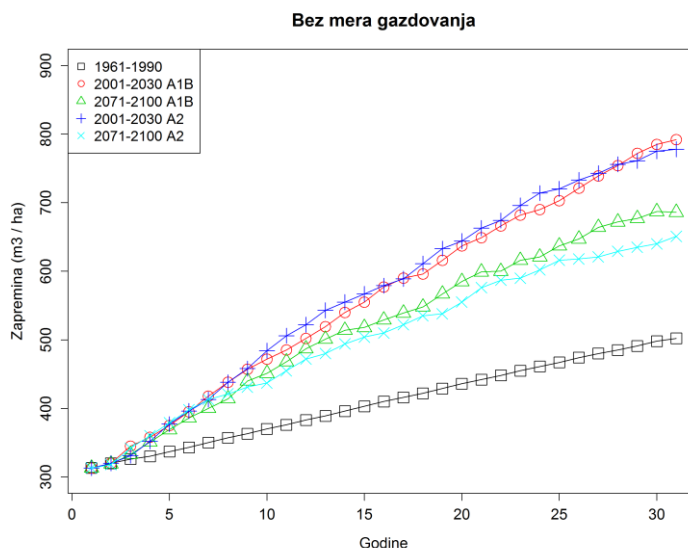
Ova sastojina poseduje izraženu kupiranost terena sa većim brojem grebena i potoka, što je čini izuzetno diverzitetnom. Prostire se na nadmorskoj visini od 880 do 1060 m, dok joj je ekspozicija zapad-severozapad (Tabela 3). Prvenstveno zbog kupiranosti terena u ovoj sastojini nalazimo više tipova zemljišta. Dominantni su kiselo smeđe zemljište i luvisol. Zastupljeno je više biljnih zajednica, od kojih su najvažnije *Fagetum moesiaca montanum* Jov.1953. *typicum*, *Luzulo-Fagetum moesiaca montanum* Miš. et Pop. 1976. i *Vaccinio-Fagetum moesiaca* Fuk. 1969 (Matović, 2012).

Srednja godišnja temperatura za period 1961-1990 je iznosila 8,4 °C, a padavine 852 mm (Tabela 9. i 10.). Simulirane vrednosti temperatura su se kretale u intervalu od 8,9 do 11,2 °C, dok su padavine imale vrednosti od 723 do 914 mm (Slika 40.). Ponovo su bile uočljive dve jasno razdvojene grupe, u kojima su više prosečne temperature i manje padavina imali klimatski periodi u okviru A2 scenarija. Scenariji tipa A2 su imali i veće amplitude u sumi godišnjih padavina u odnosu na scenarije A1B, što je faktor, koji će ako se ispolji, povećati stres i negativno uticati na ekosisteme i ljudsko društvo u celini.



Slika 40. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Čemernik-Ostrozub (31a)

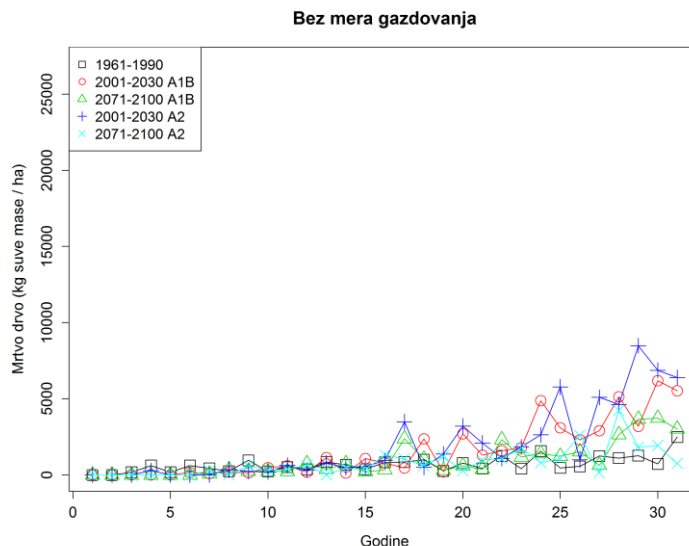
Najveće zapremine na kraju simuliranog perioda su zabeležene u klimatskom periodu 2001-2030 za oba scenarija ($790 \text{ m}^3/\text{ha}$). Period 1961-1990 je ima najnižu zapreminu na kraju simulacije ($595 \text{ m}^3/\text{ha}$), dok je period 2071-2100 imao vrednosti oko $660 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Slika 41.).



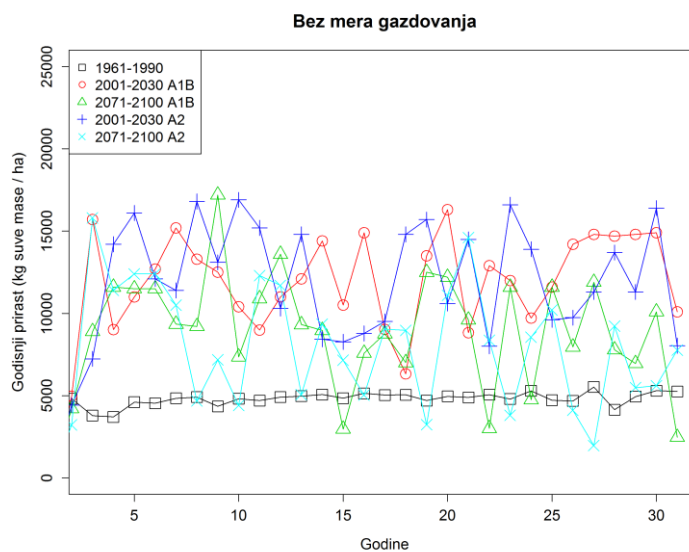
Slika 41. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Čemernik-Ostrozub (31a)

Apsolutne vrednosti zapravo ne treba uzimati sa stoprocentom sigurnošću kao takve, već se treba fokusirati na trendove koje proizilaze iz ovih podataka. Osim nekoliko izraženih pikova u kome su se javljale veće količine mrtvog drveta, značajnijeg odumiranja nije bilo (Slika 42.). Ukupne vrednosti mrtvog drveta govore da je u najproduktivnijem periodu došlo i do pojave najveće količine mrtvog drveta, gotovo dva puta više nego u druga dva scenarija, što se može objasniti izraženijom kompeticijom za resurse.

Godišnji prirast (Slika 43.) je varirao osim za period 1961-1990. Pretpostavka je da je do toga došlo usled nesklada u ulaznom fajlu sa klimatskim podacima gde su minimalne, maksimalne i srednje dnevne temperature, kao i dnevne padavine obezbeđene iz interpolisanih vrednosti za osmotrene podatke sa više meteoroloških stanica u Srbiji (Prilog III), a vazdušni pritisak, vlažnost vazduha, brzina vetra i sunčeva radijacija iz modela, odnosno 20c3m eksperimenta. Praktično, radi se o istom slučaju kao kod sastojine Zapadna Boranja.



Slika 42. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Čemernik-Ostrozub (31a)

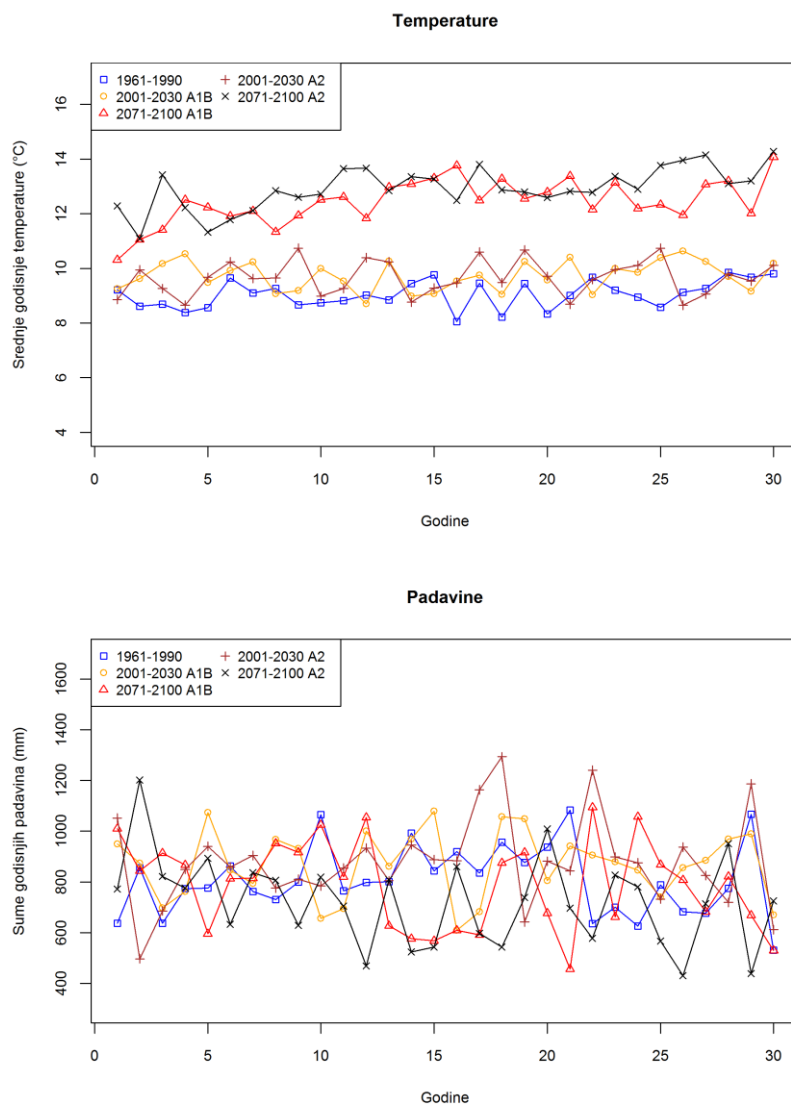


Slika 43. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Čemernik-Ostrozub (31a)

3.1.2.4. Homoljske planine (33a)

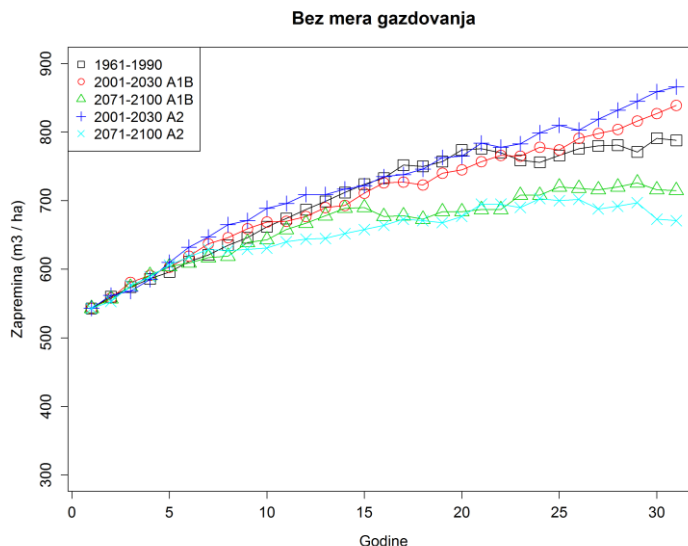
Ova sastojina se nalazi na području Homoljskih planina u pojasu brdskih bukovich šuma na nadmorskoj visini između 400 i 540 m. Ekspozicija sastojine je zapad-severozapad, ali su zbog jake kupiranosti terena mnoge lokacije eksponirane i u drugim pravcima. Dominantna je crnica na krečnjacima. Glavna biljna zajednica je *Fagetum moesiaca submontanum* B. Jov.1976 (Matović, 2012). Prosečna suma godišnjih padavina je za period 1961-1990 iznosila 806 mm dok je prosečna srednja godišnja temperature iznosila 9,0°C. Prosečne godišnje temperature u simuliranim periodima su rasle sve do 12,3 °C a padavine su varirale od 723 do 877 mm (Tabela 9. i 10., Slika 44.).

Sastojina 33a je bila u grupi sa sastojinama koje su imale najviše temperature i najmanje padavina u okviru ove studije. Temperature su pratile isti obrazac kao i kod prethodne tri sastojine. Najniže temperature su bile u referentnom periodu 1961-1990, da bi njihove vrednosti rasle do godina sa prosečnim temperaturama od čak 14 °C. Godine sa najmanje padavina u scenarijima budućnosti su išle do skoro 400 mm, što je retko bio slučaj za referentni period ako si isključi ekstremno suva 1990. godina. Amplitude od 800 mm u tekucem periodu (2001-2030) ukazuju na ozbiljnost trenutnih izazova kao za šumarstvo i celokupno ljudsko društvo, kao i onih koji nas očekuju do 2030. godine. Povećano sušenje šuma u 2013. u Vojvodini govori tome u prilog, s obzirom da su 2011. i 2012. godina bile dve povezane ekstremno sušne godine što se nije dogodilo pre toga u bližoj prošlosti.



Slika 44. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Homoljske planine (33a)

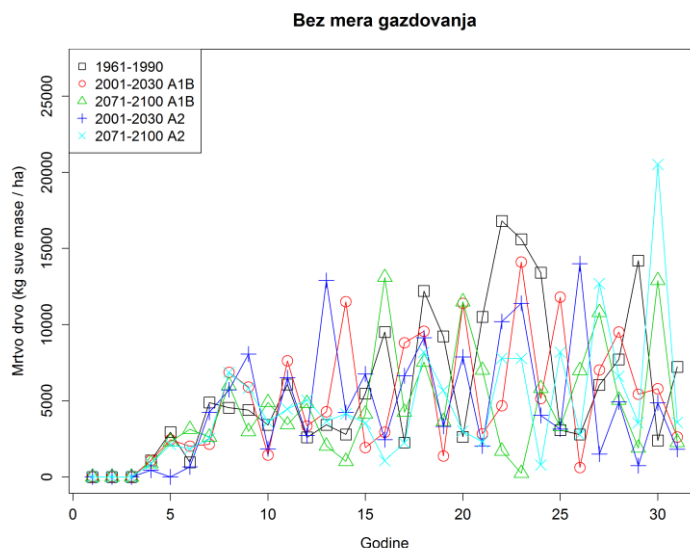
Najveće zapremine na kraju simuliranog perioda su zabeležene u klimatskom periodu 2001-2030 za oba scenarija (oko $850 \text{ m}^3/\text{ha}$). Za period 1961-1990 su zabeležene nešto niže vrednosti dok je period 2071-2100 imao najniže vrednosti (Slika 45.). Simulirane vrednosti zapremine verovatno prevazilaze potencijale staništa na Homoljskim planinama, što je slučaj i za većinu sastojina u ovoj studiji. Razlog tome je pomenuta okolnost da u modelu nisu definisane maksimalne vrednosti zapremine koje neko stanište može da podrži.



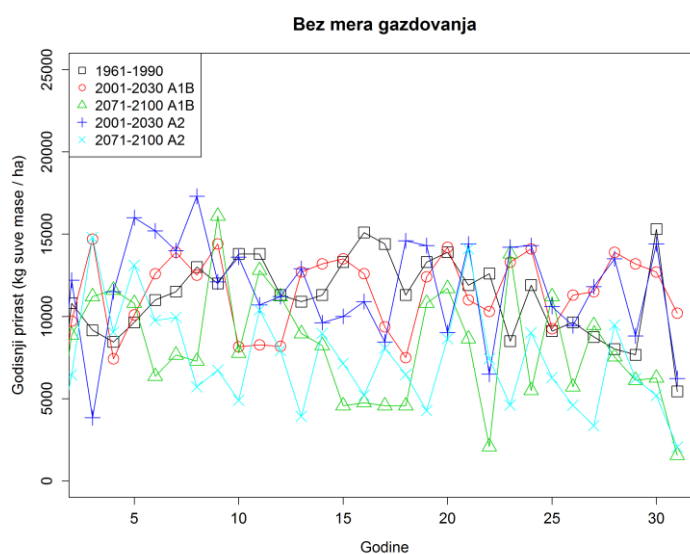
Slika 45. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Homoljske planine (33a)

Inteziviranje pojave mrtvog drveta posle 10. godine za svih pet simuliranih klimatskih setova podataka (Slika 46.) jasno ukazuje na zavisnost pojave mrtvog drveta od strukture sastojine. S obzirom da se radi o sastojini koja poseduje elemente prašumskog karaktera (Matović, 2012), mortalitet usled velike kompeticije za resurse je bio očekivan.

Kao i kod prethodnih sastojina, ukupan prirast za period 2001-2030 je bio najviši (Slika 47.), za period 1961-1990 nešto niži, a za period 207-2100 najniži, što je saglasno sa povećanjem zapremine za ovu sastojinu (Slika 45.).



Slika 46. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Homoljske planine (33a)

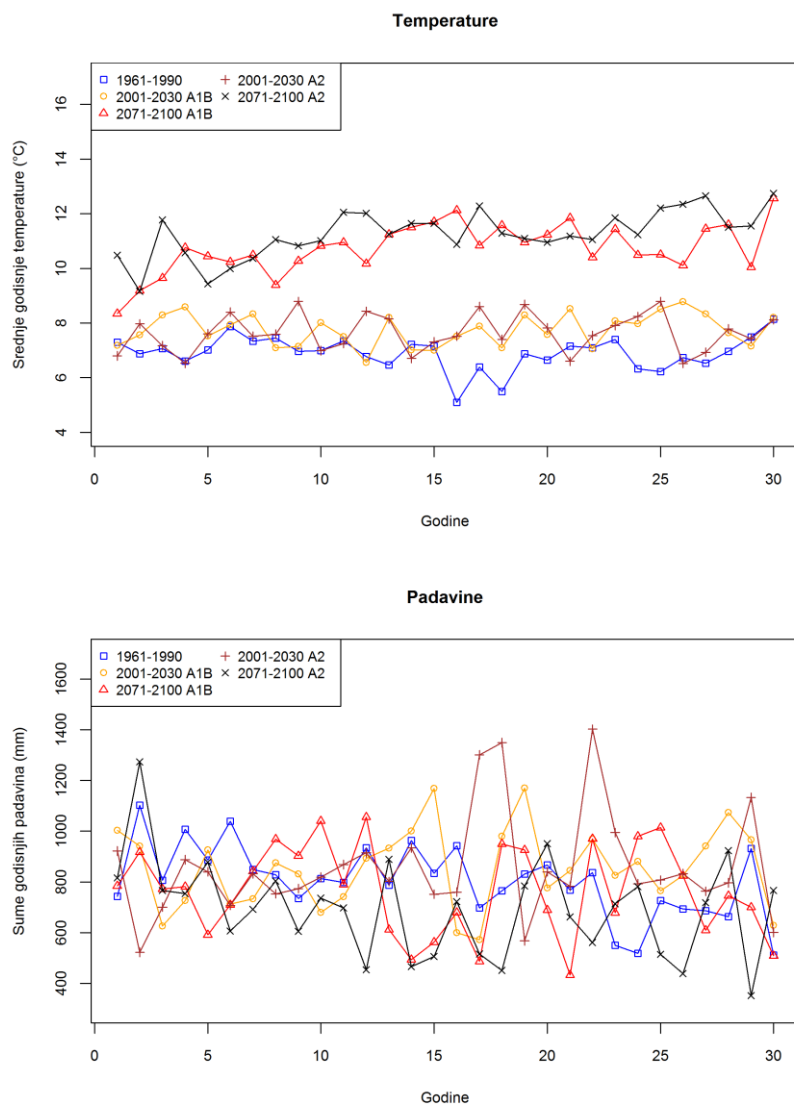


Slika 47. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Homoljske planine (33a)

3.1.2.5. Kučajske planine (42ab)

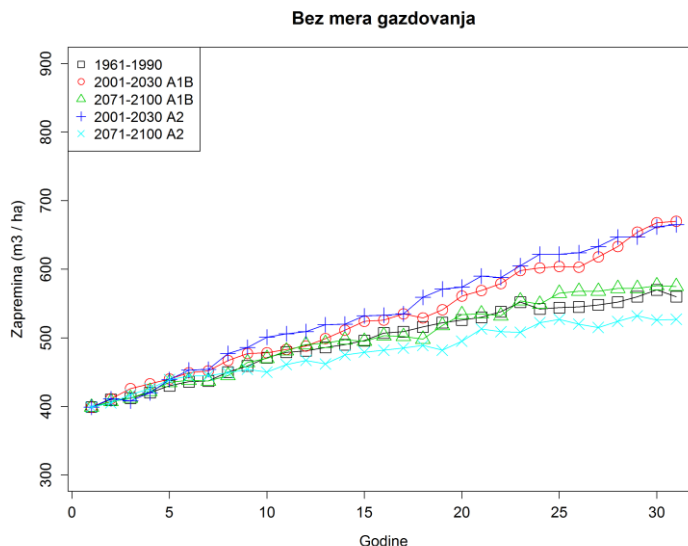
Na lokalitetu Kučajske planine su se nalazile dve sastojine (42a i 42b) koje su objedinjene u modelu zbog istih klimatskih ulaznih parametara i zato što je njihovim sabiranjem dobijena nova sastojina koja je po svojoj veličini uporediva sa ostalim simuliranim sastojinama. Sastojine se nalaze na visini od 920 do 1040m, u blizini Crnog vrha. Ekspozicija sastojina je zapad-severozapad. Zemljište u sastojini je humusno silikatno. Sastojina pripadaju zajednici *Fagetum moesiacaе montanum* Jov.1953 (Matović, 2012).

Osmotrena prosečna godišnja temperatura za ovu sastojinu za period 1961-1990 je iznosila 6,9 °C a prosečna suma godišnjih padavina 804 mm. Periodi 2001-2030 i 2071-2100 su imali više prosečne temperature i veću, odnosno manju sumu padavina kao mahom i sve ostale sastojine (Tabela 9. i 10., Slika 48.). Period 2001-2030 je bio topliji za 0,7 odnosno 0,8 °C od referentnog perioda 1961-1990. Padavine su porasle za 50 mm u periodu 2001-2030 za oba scenarija, da bi do kraja veka pale za 50 mm, odnosno za više od 100 mm za scenario A2 u odnosu na referentni period 1961-1990. Iako je reč o prosečnom smanjenju padavina, vremenske serije pokazuju da su se ekstremno visoke vrednosti padavina pojavljivale mnogo češće u periodu 2071-2100, što je dodatna otežavajuća okolnost po ekosisteme i ljudsko društvo. Naime, pojave ekstremnih padavina imaju potencijale da donesu velike poplave, poveća pritisak na sistem javnog zdravlja, naruši planiranje u hidro-energetskom sistemu, dovede do stvarnja klizišta, odrona i načini velike ekonomske gubitke za privredu jedne zemlje.



Slika 48. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Kučajske planine (42ab)

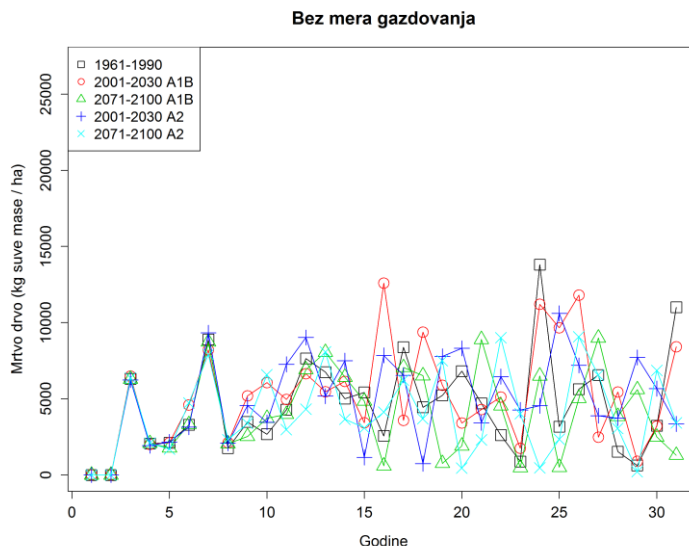
Porast zapremina u simulacijama rasta sastojina na Kučajskim planinama pokazuju sličan trend kao i kod ostalih sastojina gde je povećanje padavina i temperature dovelo do veće konačne zapremine u periodu 2001-2030 (Slika 49.) u odnosu na ostale simulirane periode.



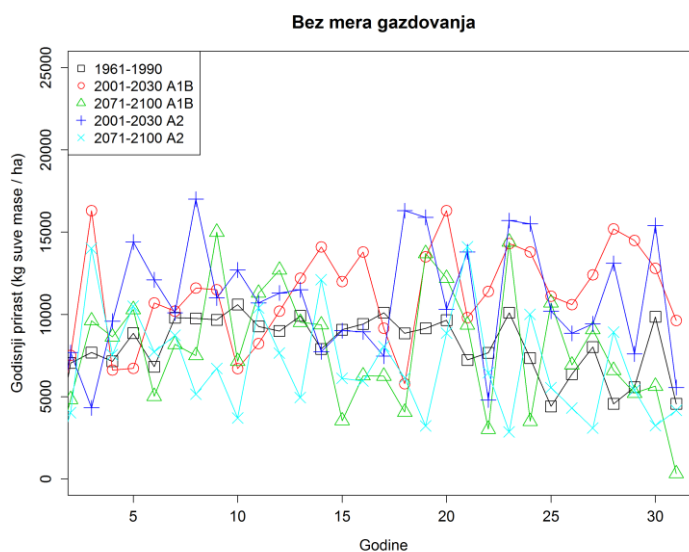
Slika 49. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Kučajske planine (42ab)

U slučaju ove sastojine referentni osmotreni period je pokazao bolje rezultate i veću konačnu zapreminu od simulacije perioda 2071-2100 po A2 scenariju, dok je scenario A1B za isti period bio vrlo približan tom referentnom periodu. Količina mrtvog drveta je varirala od godine do godine, ali je ukupna količina zadržala obrazac po kome je intezivniji rast praćen i intezivnijim odumiranjem stabala usled povećane komepeticije (Slika 50.).

Prirast je bio u saglasnosti sa povećanjem zapremine (Slika 51.). Vrednosti za period 2071-2100 za oba SRES scenarija su imale najveću amplitudu, odnosno najveću varijaciju između različitih godina u okviru tridesetogodišnjeg intervala. Apsolutne vrednosti prirasta su bile iznad vrednosti koje se javljaju u bukovim šumama. Uzroci tome mogu biti nepostojanje adekvatnih podataka za parametrizaciju rasta bukve ili precenjenost produktivnosti zemljišta u simulacijama.



Slika 50. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Kučajske planine (42ab)

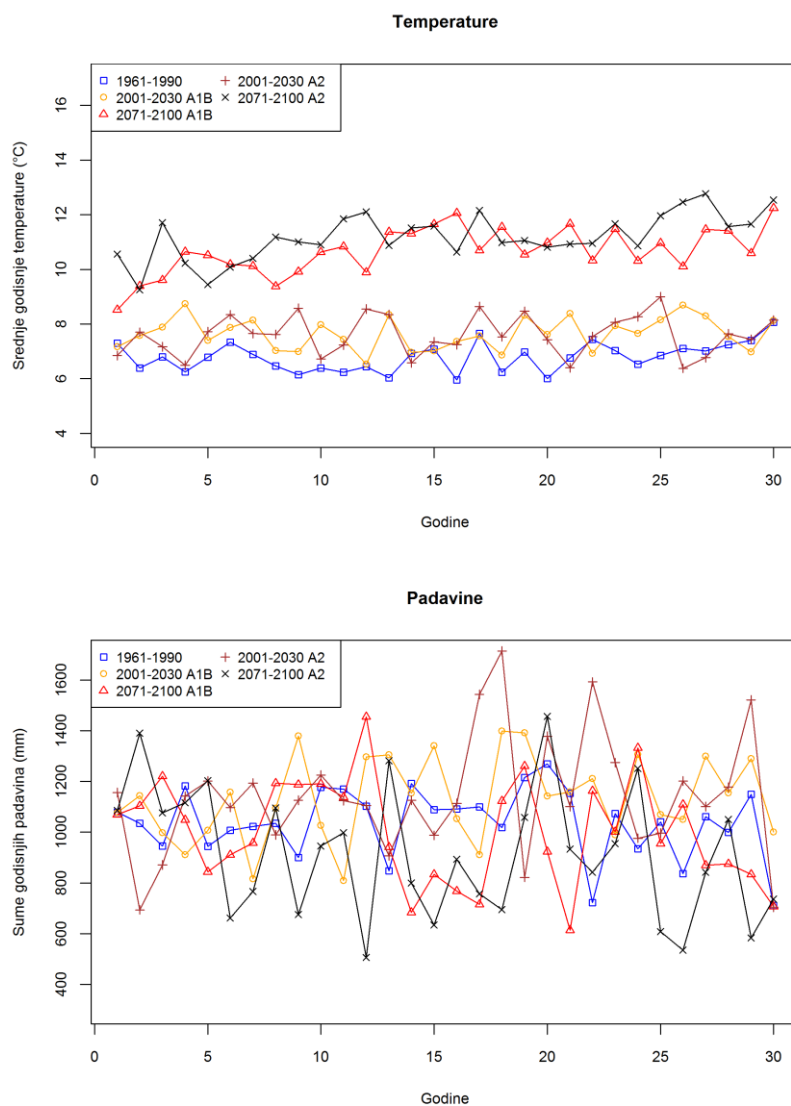


Slika 51. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Kučajske planine (42ab)

3.1.2.6. Željina (44a)

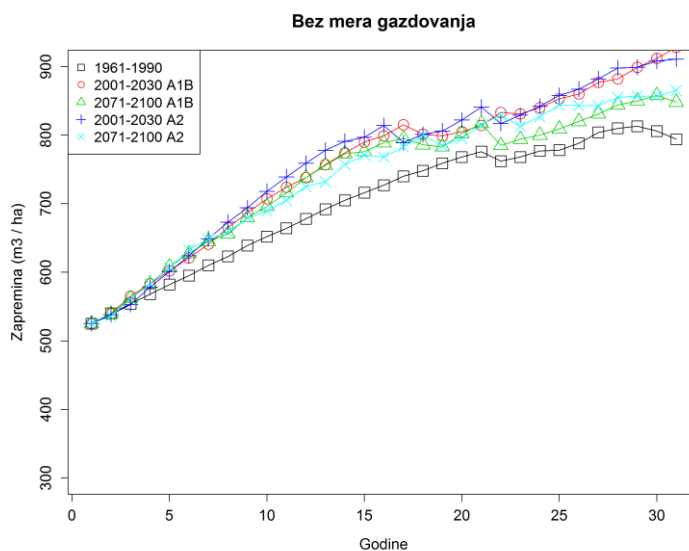
Sastojina na planini Željina se nalazi u Centralnoj Srbiji na nadmorskoj visini od 1000 do 1170m. Ekspozicija sastojine je severozapad. Teren na kome se nalazi je izuzetno kupiran, tako da se pojedini delovi sastojine eksponiraju u drugim pravcima. Ova sastojina se nalazi na kiselo smeđem zemljištu i visoko je produktivna. Biljna zajednica *Fagetum moesiaca montanum* Jov.1953. je dominantna (Matović, 2012).

Prosečna godišnja temperatura za period 1961-1990 je 6,8 °C, a padavine su bile 1037 mm. Amplituda promene temperatura i padavina između tri simulirana klimatska perioda je iznosila oko 4,5°C i 200mm (Tabela 9. i 10., Slika 52.).



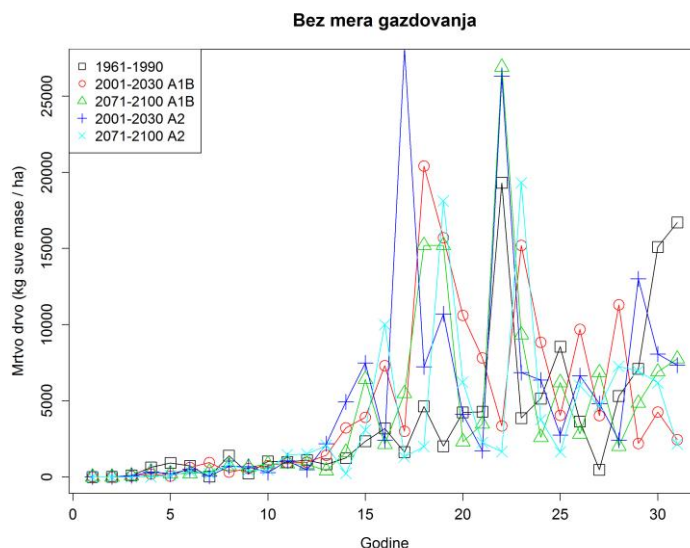
Slika 52. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavina za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Željina (44a)

Zapremina na kraju klimatskog perioda 1961-1990 je bila niža od vrednosti zapremina na kraju perioda 2001-2030 i 2071-2100 (Slika 53.) za oba scenarija. Kao i kod drugih sastojina, period 2001-2030 se pokazao kao najproduktivniji. Pratio ga je period 2071-2100, dok je referentni period 1961-1990 imao najmanje vrednosti zapremine na kraju simulacije.

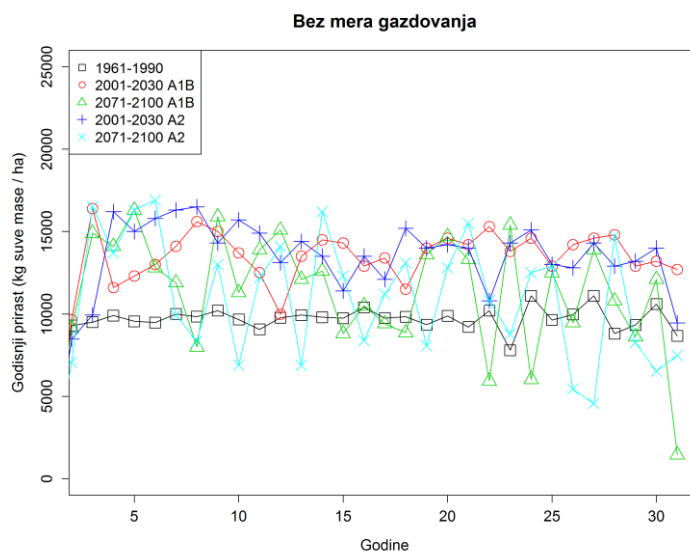


Slika 53. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Željcin (44a)

Povećanja zapremine je praćeno većim ukupnim prirastom za simulacije u periodu 2001-2030 (Slika 55.), što je bilo praćeno i većom količinom mrtvog drveta (Slika 54.). U ovoj sastojini su najveće varijacije u godišnjem prirastu tokom tridesetogodišnjih simulacije ponovo zabeležene za period 2071-2100 za oba scenarija.



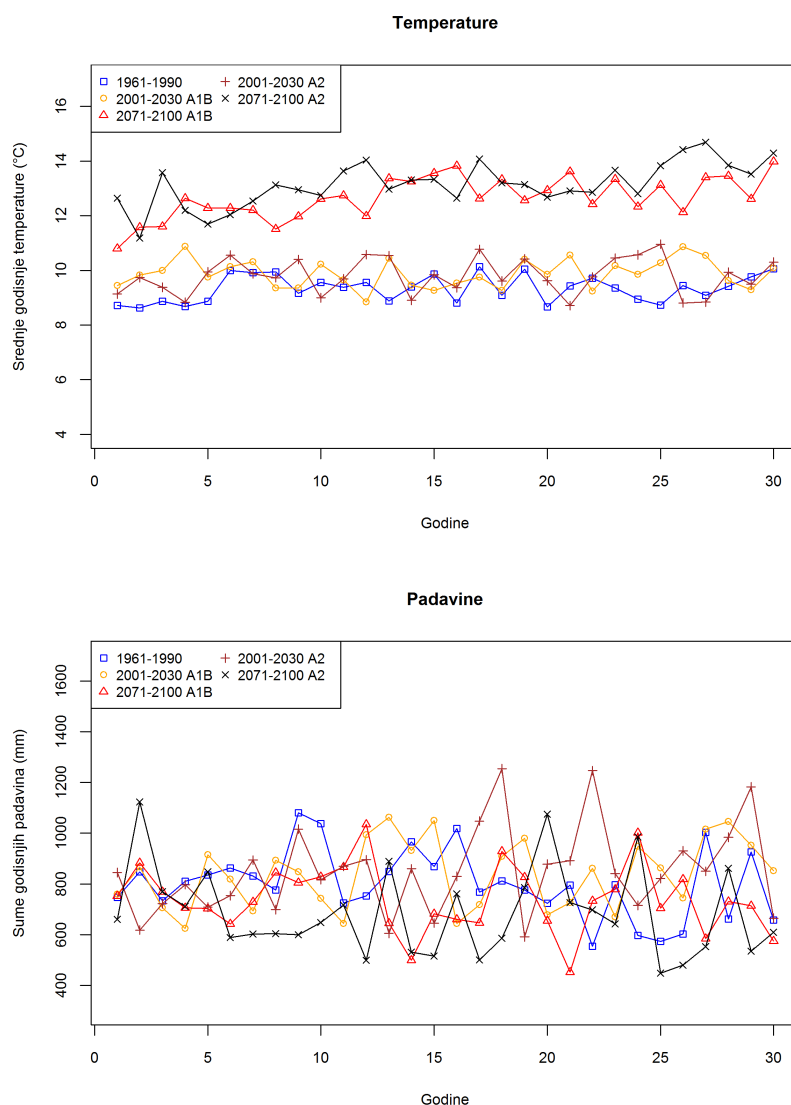
Slika 54. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Željina (44a)



Slika 55. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Željina (44a)

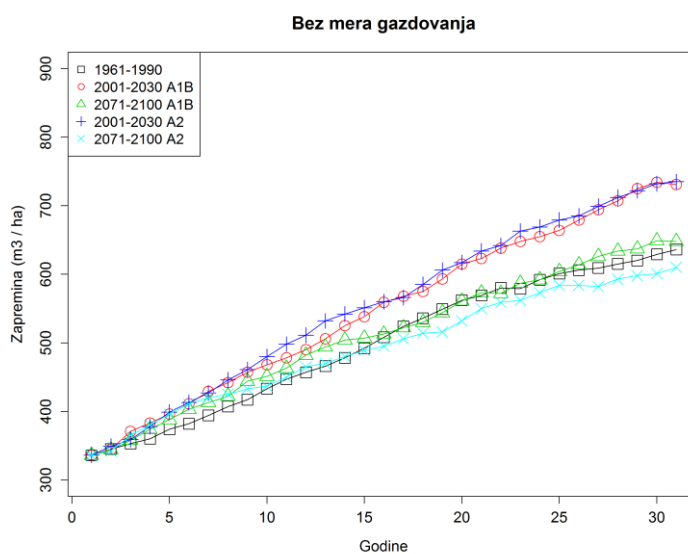
3.1.2.7. Kukavica (46a)

Sastojina 46a je izrazito homogena. Nalazi se na planini Kukavici i zbog izuzetno povoljnih ekoloških uslova smatra se jednim od najpovoljnijih staništa za bukvu u Srbiji. Nadmorska visina sastojine je od 780 do 1030m. Nalazi se na izrazito kupiranom terenu i ima severnu ekspoziciju. Zemljište u sastojini je kiselo smeđe. Dobro je propustljivo i aerisano. Vegetacija dominantno pripada zajednici *Fagetum moesiaca montanum* Jov.1953. (Matović, 2012). Osmotrena prosečna godišnja temperatura u periodu 1961-1990 je iznosila 9,3 °C, a prosečna suma padavina 800 mm (Tabela 9. i 10., Slika 56.).

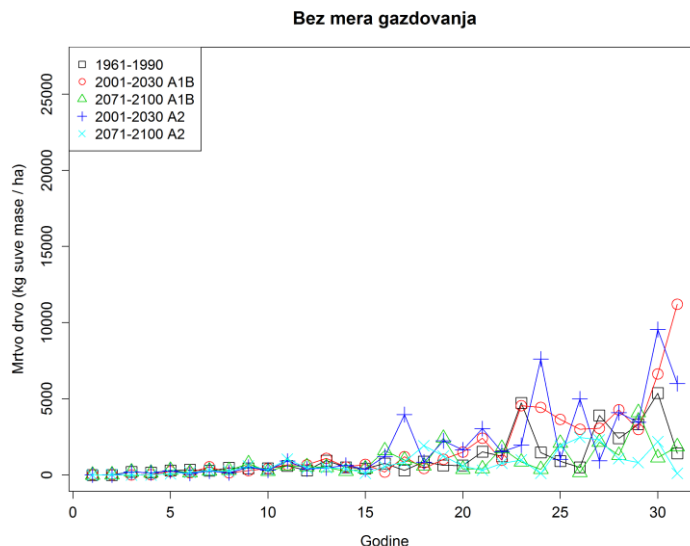


Slika 56. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Kukavica (46a)

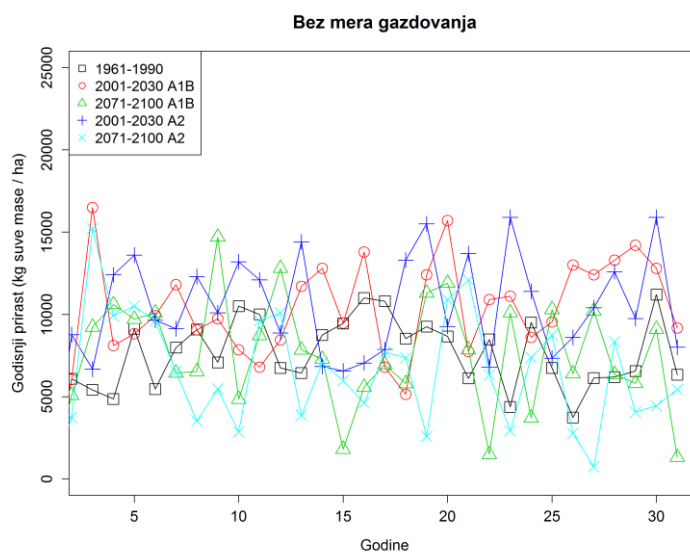
Vremenske serije zapremine (Slika 57.) su ponovo pokazale da je period 2001-2030 koji je imao najviše padavina ponovo pružio najbolje uslove za rast bukve. Periodi 1961-1990 (osmotrena klima) i 2071-2100 su imali sličan porast zapremine, uprkos razlici u temperaturi od oko 4 stepena. Količina mrtvog drveta i (Slika 58.), kao i prirast (Slika 59.) su bili saglasni sa povećanjem zapremine.



Slika 57. Vremenske serije zapremine od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Kukavica (46a)



Slika 58. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Kukavica (46a)

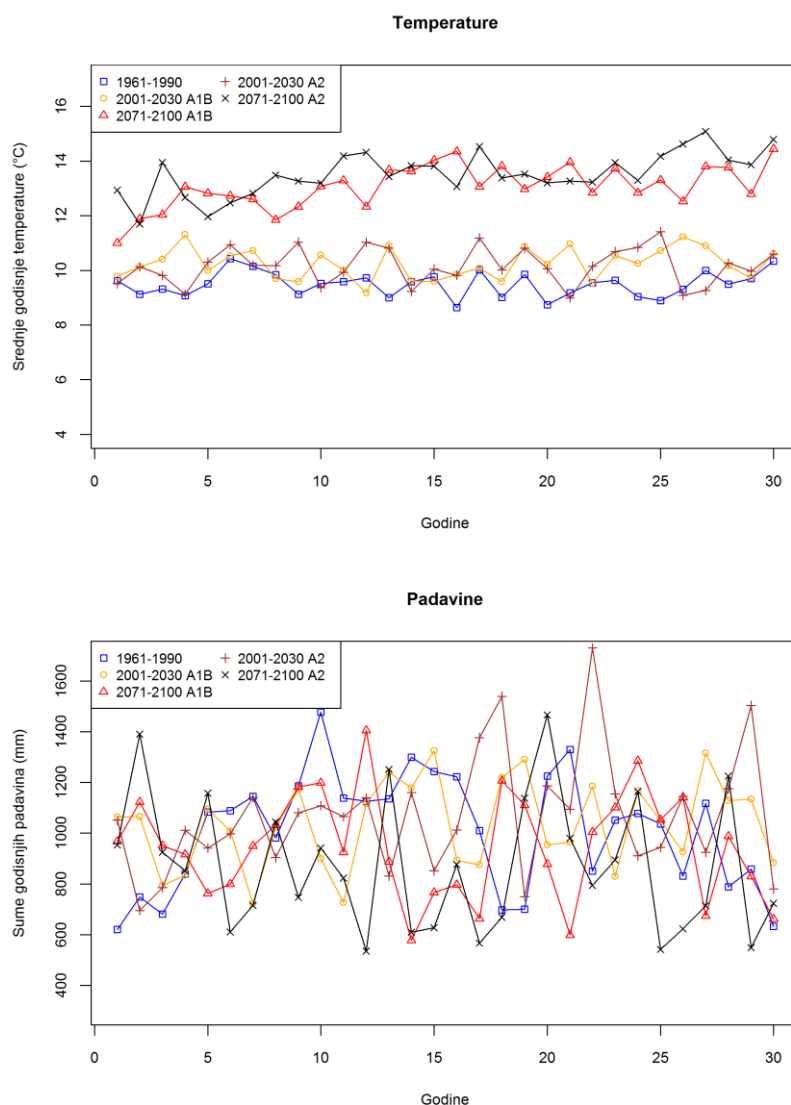


Slika 59. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Kukavica (46a)

3.1.2.8. Jastrebac (116a)

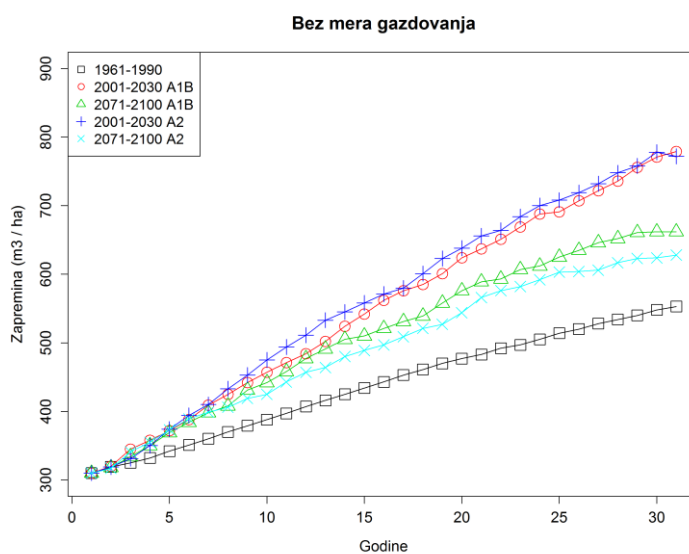
Sastojina 116a se nalazi u slivu Lomničke reke na planini Jastrebac na maloju nadmorskoj visini (530-670m). Nalazi se na izrazito kupiranom terenu sa ekspozicijom istok-severoistok. U sastojini je prisutno samo smeđe kiselo zemljište, dobre vodopropustljivosti i aerisanosti. Dominatna zajednica u ovoj sastojini je *Fagetum moesiacaе montanum* Jov.1953. (Matović, 2012).

Klimatski uslovi u sastojini su izuzetno mezofilni s obzirom da je prosčna suma godišnjih padavina za period 1961-1990 iznosila 1008 mm, a temperatura 9.5 °C (Tabela 9. i 10., Slika 60.).

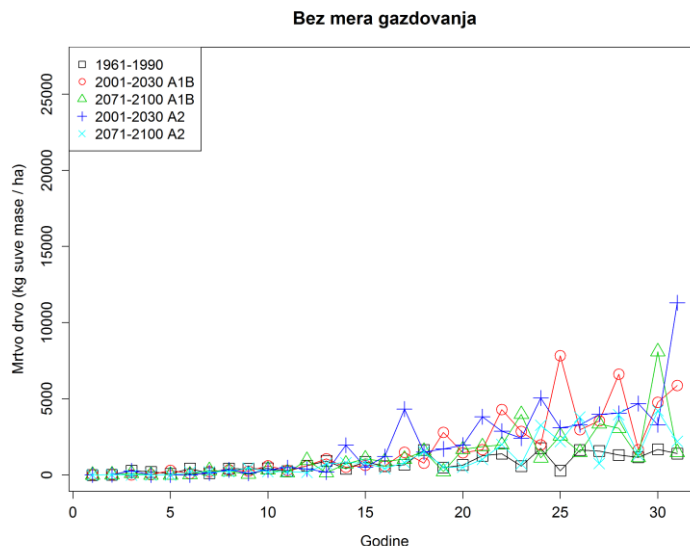


Slika 60. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Jastrebac (116a)

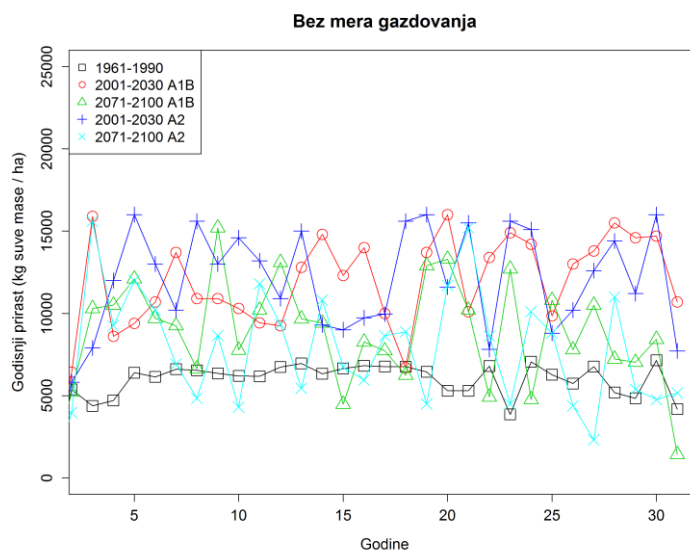
Amplituda temperatura i padavina za simulirane klimatske periode je iznosila oko četiri stepena i 200 mm. U ovoj sastojini, po svojoj produktivnosti, ponovo je dominirao period 2001-2030 za oba scenarija, period 1961-1990 je ima najmanju produktivnost, dok je je period 2071-2100 imao vrednosti između prethodna dva perioda (Slika 61.). Količina mrtvog drveta (Slika 62.) i godišnji prirast (Slika 63.) su pratile isti obrazac kao i u slučaju ostalih sastojina-veći prirast je pratilo i više mrtvog drveta.



Slika 61. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Jastrebac (116a)



Slika 62. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Jastrebac (116a)

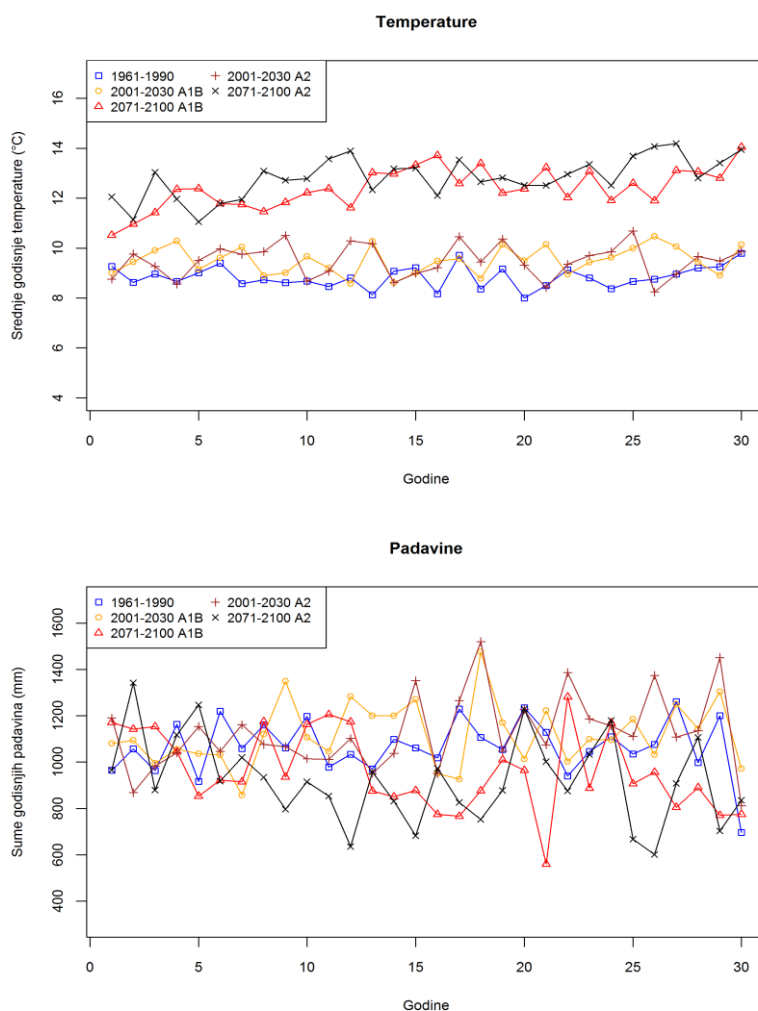


Slika 63. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Jastrebac (116a)

3.1.2.9. Istočna Boranja (122a)

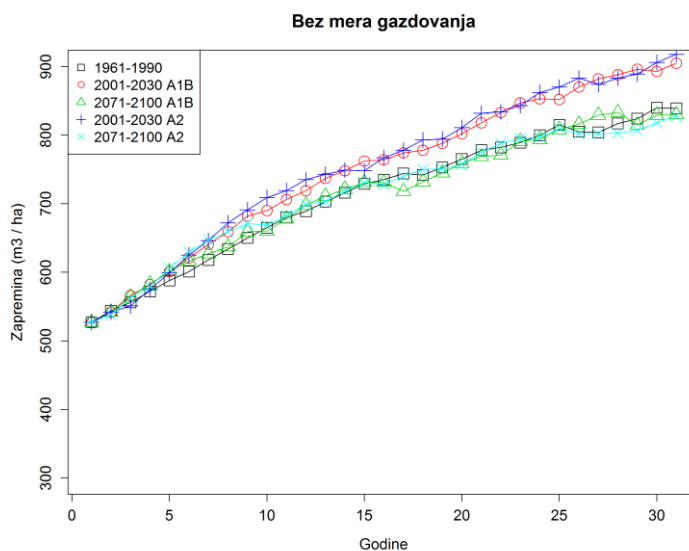
Bukove šume u sastojini Istočna Boranja spadaju u najproduktivnije i najkvalitetnije u Srbiji. Sastojina se nalazi na nadmorskoj visini od 690 do 830m i eksponirana je u pravcu severa. Zbog velike kupiranosti terena, neki delovi sastojine su eksponirani i u drugim pravcima. Sastojina se nalazi na tipičnom kiselo smeđem zemljištu koji ima povoljnu dubinu soluma, dobru aerisanost i vodopropustljivost. Dominantna biljna zajednica je *Fagetum moesiacaе montanum* Jov.1953. (Matović, 2012).

Istočna Boranja se odlikuje velikom humidnošću čemu u prilog govore podaci da je srednja prosečna godišnja suma padavina za period 1961-1990 iznosila 1068 mm, a da je prosečna godišnja temperatura bila 8,8 °C (Tabela 9. i 10., Slika 64.).

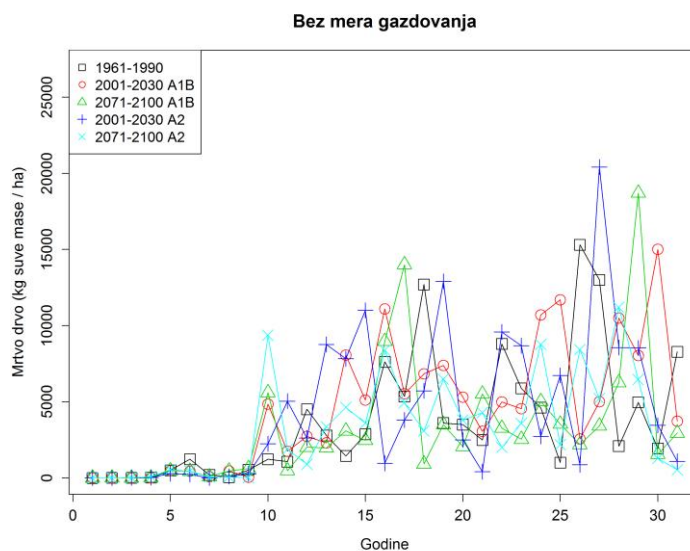


Slika 64. Prikaz vremenskih serija temperatura i padavine za period 1961-1990 (osmotreni podaci) i periode 2001-2030 i 2071-2100 (A1B i A2 scenario) za sastojinu Istočna Boranja (122a)

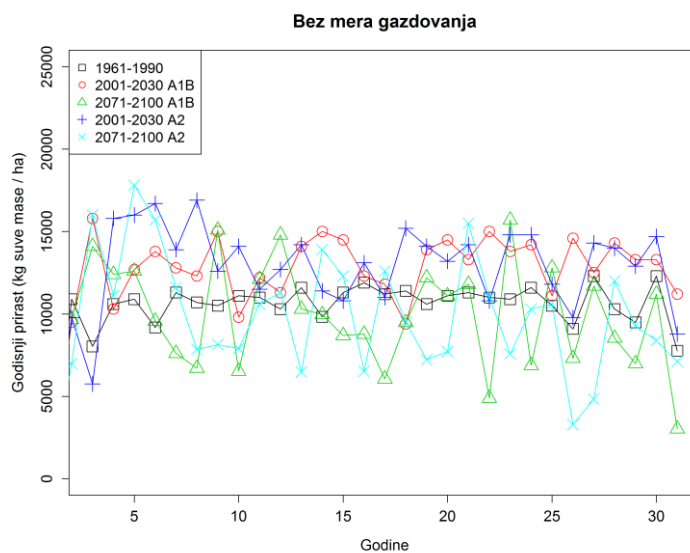
Amplituda promene temperature i padavina je iznosila četiri stepena i oko 200 mm, slično kao i kod ostalih sastojina. Period 2001-2030 se ponovo pokazao kao period sa najpovoljnijim uslovima za rast bukve, dok su se periodi 1961-1990 i 2071-2100 pokazali kao slični za porast zapremine, količinu mrtvog drveta i prirast (Slike 65., 66. i 67.)



Slika 65. Vremenske serije zapremina od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Istočna Boranja (122a)



Slika 66. Vremenske serije mrtvog drveta od početka do kraja simulacija za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Istočna Boranja (122a)



Slika 67. Vremenske serije godišnjeg prirasta od početka do kraja simulacije za pet simuliranih perioda (1961-1990, 2001-2030 A1B, 2001-2030 A2, 2071-2100 A1B, 2071-2100 A2) za sastojinu Istočna Boranja (122a)

3.1.3. Gazdovanje bukovim šumama

Koje su optimalne mere gazdovanja u Srbiji koje će obezbediti istovremeno dostizanje različitih pojedinačnih ciljeva (očuvanje biodiverziteta, maksimalno vezivanje ugljenika i maksimalan prinos)? Pre razmatranja i izbora načina gazdovanja potrebno je bliže definisati vrednost pojedinačnih ciljeva u ovom pitanju. Za očekivati je da različite zainteresovane strane u procesu odlučivanja (participativni pristup) imaju različita viđenja vezano za gazdovanje šumama. Pretpostvka je bila da javno preduzeće „Srbijašume“ ima fokus na proizvodnji drveta, da su nacionalni parkovi i nevladine organizacije iz oblasti zaštite prirode naklonjene zaštiti biodiverziteta, a da Javna uprava želi da objedini zastupljenost svih ekosistemskih usluga i pomiri težnje po stavovima dve suprotstavljene strane. Nakon izvršene ankete i 13 anketiranih kandidata iz više organizacija:

1. Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Uprave za šume
2. Javnih preduzeća nacionalni parkovi: „Fruška gora“, „Tara“ i „Đerdap“
3. Nevladinih organizacija: Mladi istraživači Srbije, Društvo za zaštitu i proučavanje ptica Srbije, Društvo mladih istraživača Bora, KAPD „Balkan“
4. Javnog preduzeća „Srbijašume“ (Direkcija, Biro za planiranje i projektovanje u šumarstvu, Š.G. „Kučevo“)

dobijeni su sledeći rezultati (Tabela 11.)

Tabela 11. Težinski faktori tri kategorije zainteresovanih strana za tri cilja gazdovanja

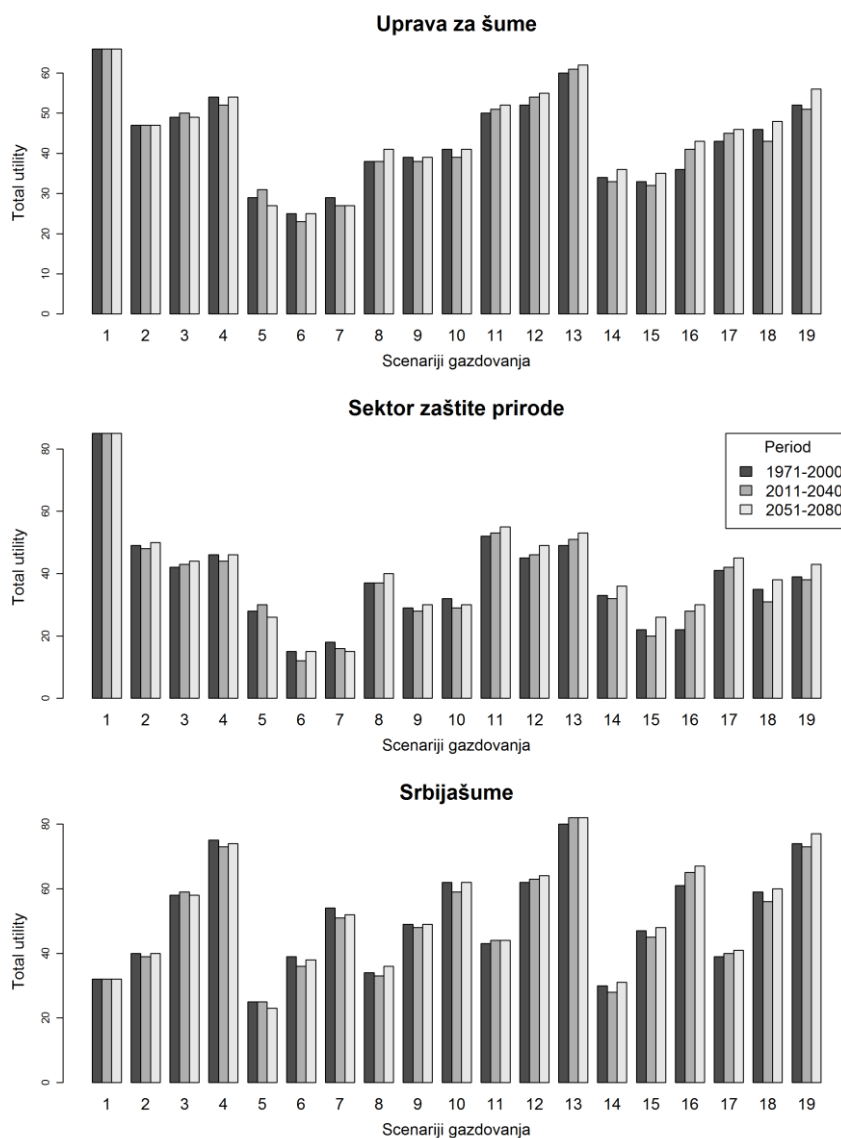
Ciljevi	Javna uprava	Zainteresovane strane	
		Sektor zaštite prirode (Nac.parkovi i NVO)	„Srbijašume“
Maksimalno vezivanje ugljenika	0,33	0,15	0,19
Očuvanje biodiverziteta	0,33	0,70	0,13
Maksimalan prinos	0,33	0,15	0,68

U cilju povezivanja izlaznih vrednosti iz modela za specifičnim ciljevima ove studije anketu je popunilo osam eksperata iz različitih oblasti šumarstva. Dobijene su težinske vrednosti koje povezuju svaki specifični cilj sa svakom promenljivom iz modela (Tabela 12.).

Tabela 12. Težinski faktori za tri cilja gazdovanja i šest izlaznih promenljivih dobijeni na osnovu ekspertskih mišljenja

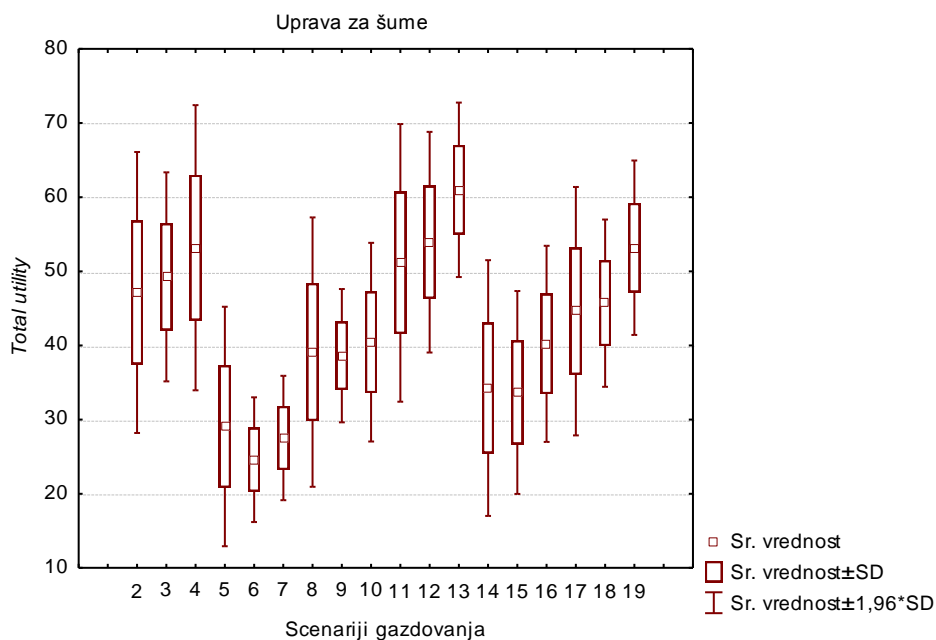
Ciljevi	Promenljive					Gini (strukturni diverzitet)
	Biomasa	Prinos	Mrtvo drvo	Prirast	Ukupan ugljenik u zemljištu	
Maksimalno vezivanje ugljenika	0,25	0,13	0,08	0,30	0,17	0,07
Očuvanje biodiverziteta	0,15	0,07	0,19	0,12	0,14	0,33
Maksimalan prinos	0,16	0,29	0,06	0,30	0,07	0,12

Na Slici 68., prikazane su srednje *Total utility* vrednosti za 19 scenarija gazdovanja za tri različita scenarija preferencija zainteresovanih strana. Generalna tendencija koja se uočava je da su gazdovanja sa češćim intervencijama pružila bolje rezultate za postavljene kriterijume.

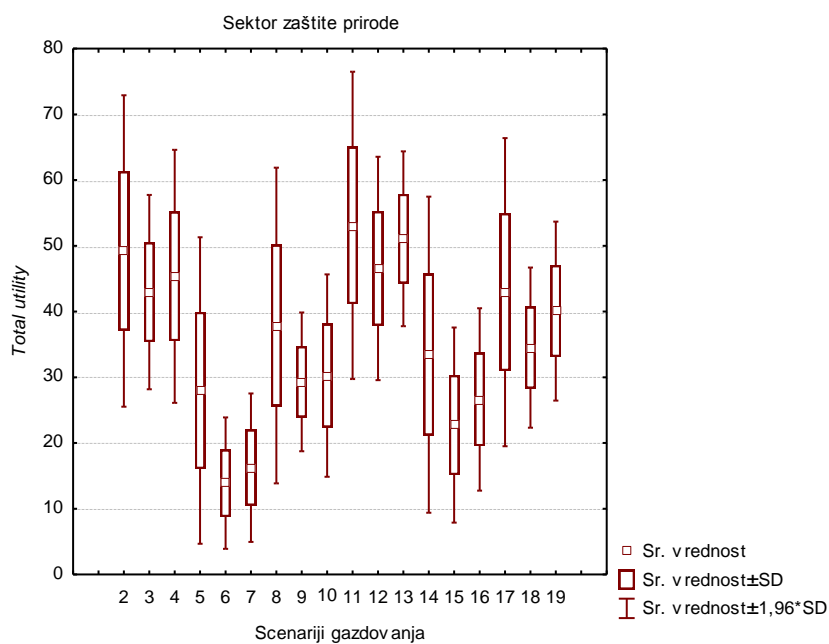


Slika 68. Srednja vrednost *Total utility*-a za devet sastojina, 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana

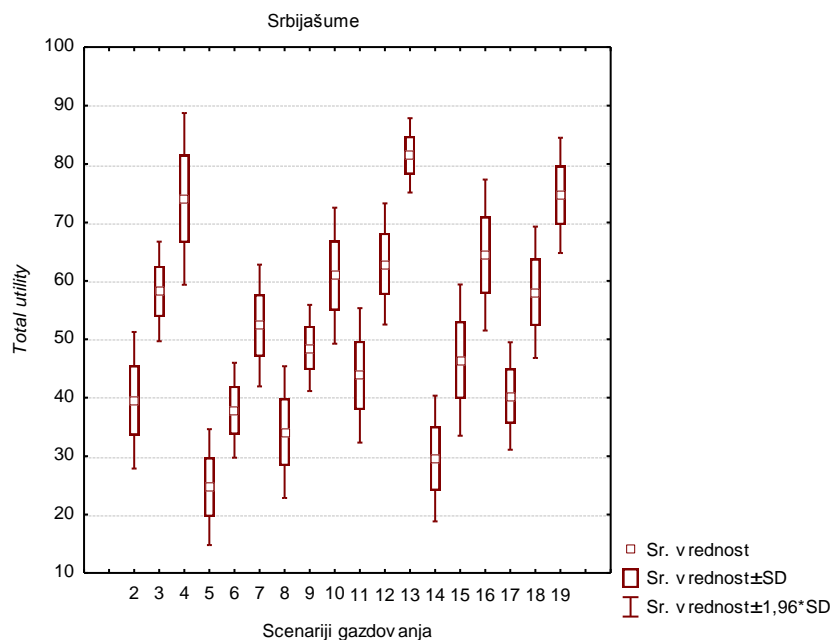
Na slikama 69., 70. i 71. predstavljene su srednje vrednosti *total utility*-a zajedno sa standardnim devijacijama (SD) i intervalom poverenje od 95% ($1,96 \cdot SD$) za tri scenarija preferencija zainteresovanih strana.



Slika 69. Srednje vrednosti, standardne devijacije i intervali poverenja od 95% za scenario preferencija Uprave za šume



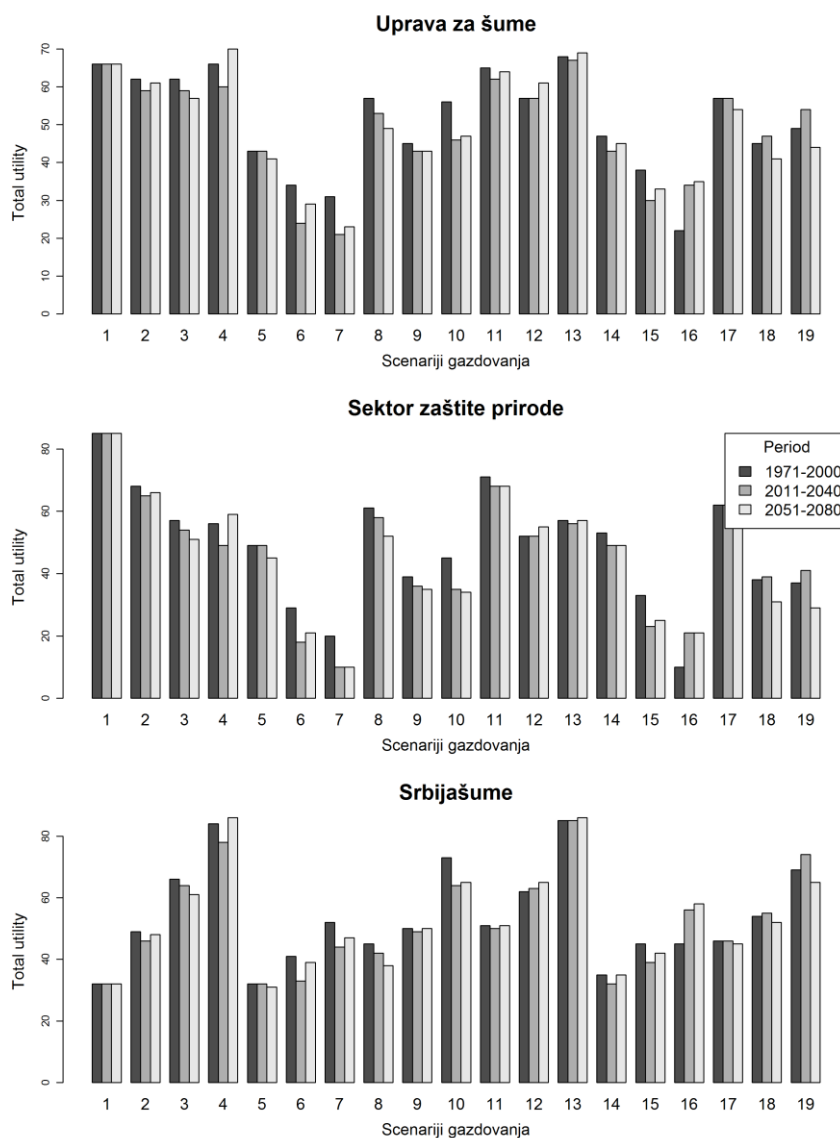
Slika 70. Srednje vrednosti, standardne devijacije i intervali poverenja od 95% za scenario preferencija Sektora zaštite prirode



Slika 71. Srednje vrednosti, standardne devijacije i intervali poverenja od 95% za scenario preferencija JP „Srbijašume”

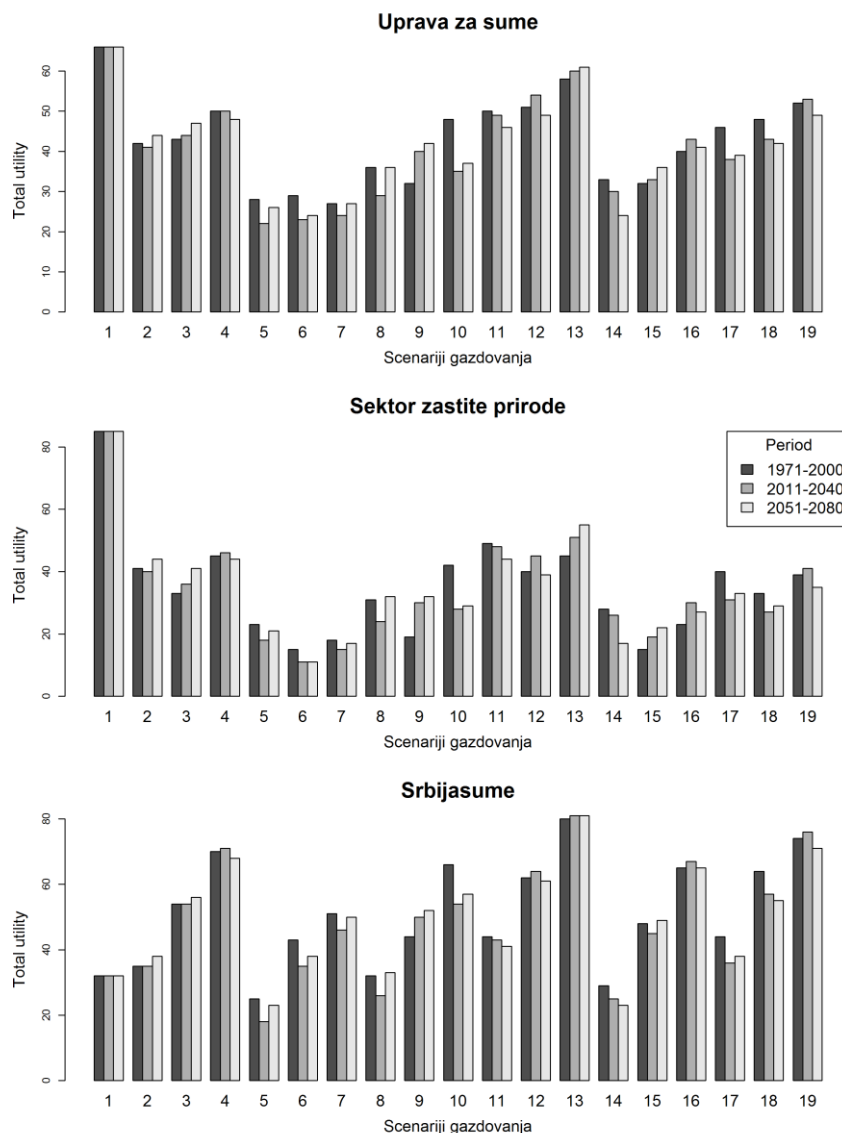
Srednje vrednosti scenarija gazdovanja su varirale više za scenario preferencija Uprave za šume i Sektora zaštite prirode, dok je ta varijacija za scenario preferencija JP „Srbijašume“ bila manja. Scenariji u kome su se vršile iste vrste seča su se međusobno više razlikovali u odnosu na varijaciju unutar pojedinačnih scenarija za različite sastojine.

Radi sticanja boljeg uvida kako su se vrednosti *total utility*-a varirale po različitim sastojinama, predstavljene su njegove vrednosti za svaku od sastojina. Scenariji gazdovanja u sastojini Javor kojima su uklanjana visoka stabla pružile su odlične rezultate za preferencije Uprave za šume i JP „Srbijašume“. Preferencijama sektora zaštite prirode pored kontrolnog scenaria (bez mera gazdovanja), odogovarala su i gazdovanja 2, 8, 11 i 17, što su seče visokih stabala i selektivne seče najnižeg inteziteta. Seče niskih stabala su davale najlošije rezultate (Slika 72.).



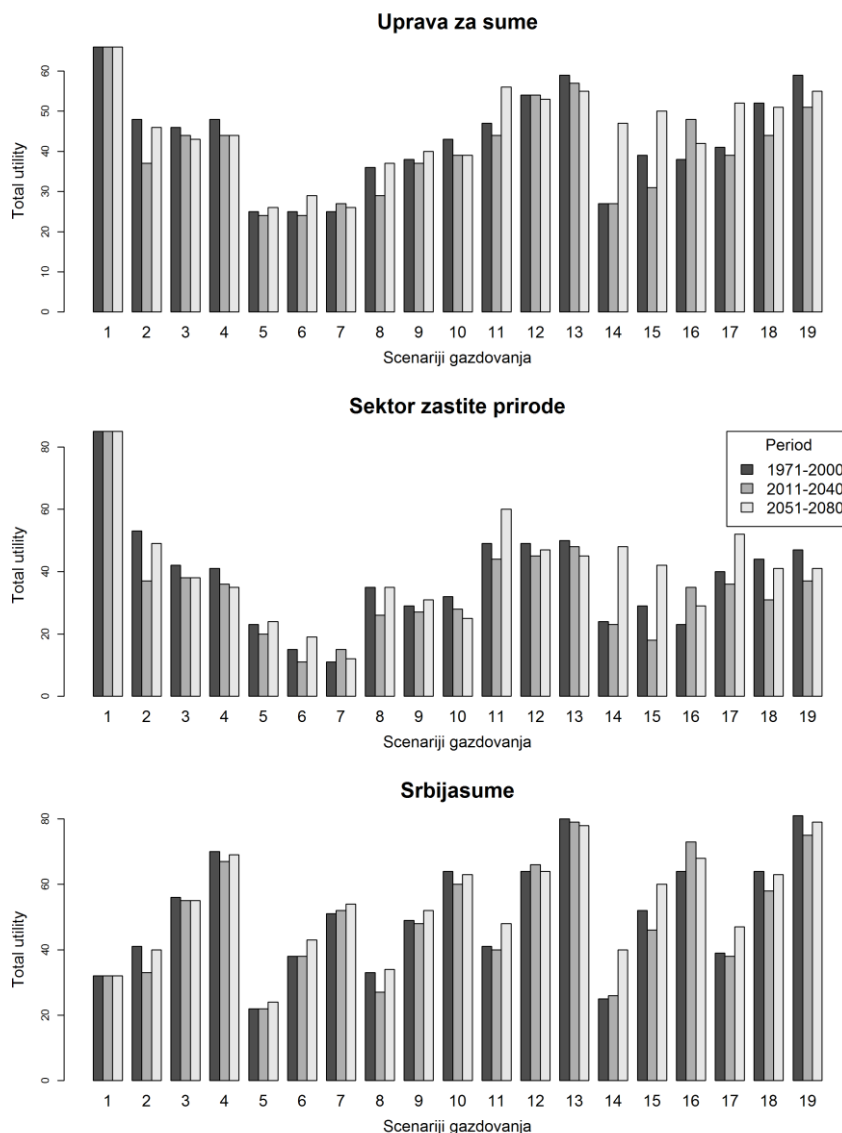
Slika 72. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Javor (08ab)

U sastojini Zapadna Boranja, scenario 13 se isticao zbirno kao najuspešniji. Pratile su ga scenariji gazdovanja 4, 11, 12 i 19 (Slika 73.), što su seče visokih stabala izuzev poslednjeg scenarija.



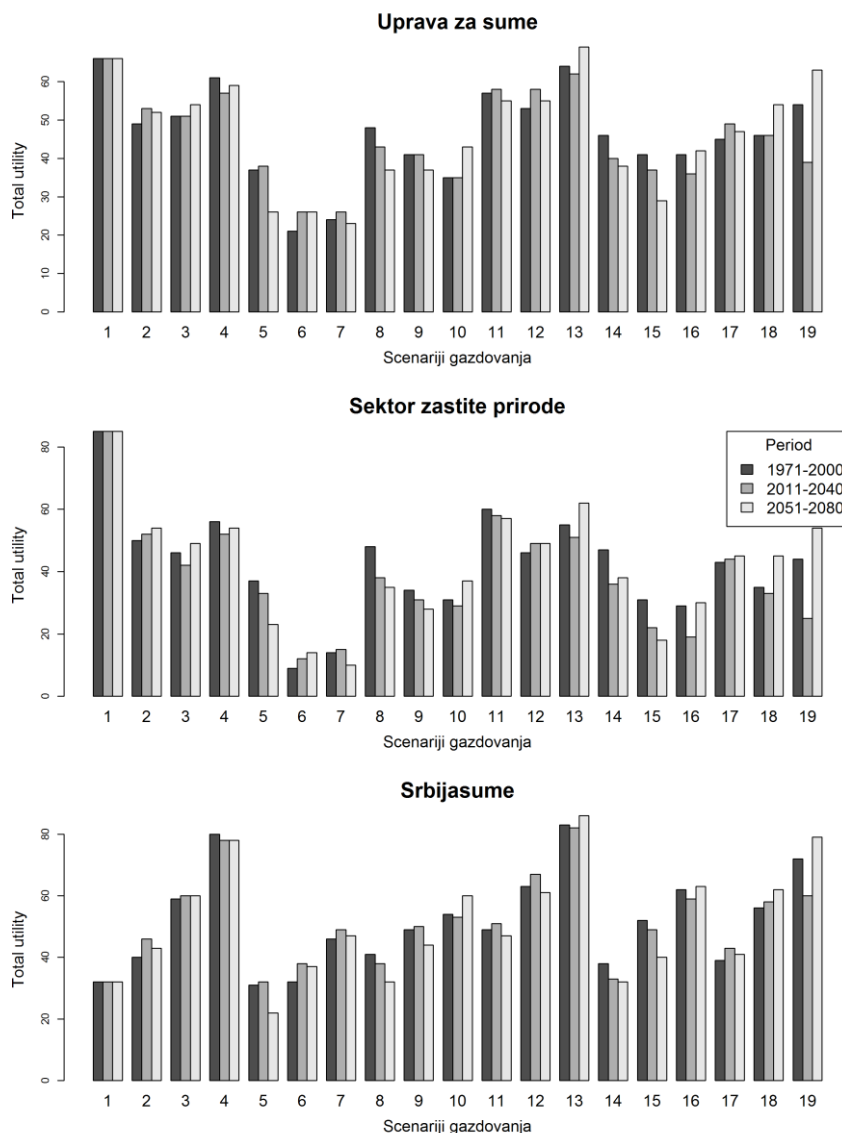
Slika 73. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Zapadna Boranja (27a)

U slučaju sastoji Čemernik-Ostrozub, scenario 13 je nastavio da se ističe kao vodeći scenario koji podrazumeva gazdovanje, a javile su se i značajnije varijacije između klimatskih perioda unutar istog scenarija gazdovanja (Slika 74.). U scenariju 14 i 15 jasno uočavamo tu pojavu. Uzrok toga je veća količina mrtvog drveta i do tri puta u periodu 2051-2080 u odnosu na prethodna dva perioda. Iako se radi o količinama drveta koje su manje nego u svim ostalim sastojinama, ovaj metodološki pristup je pokazao senzitivnost na relativnu razliku između istih promenljivih unutar različitih perioda.



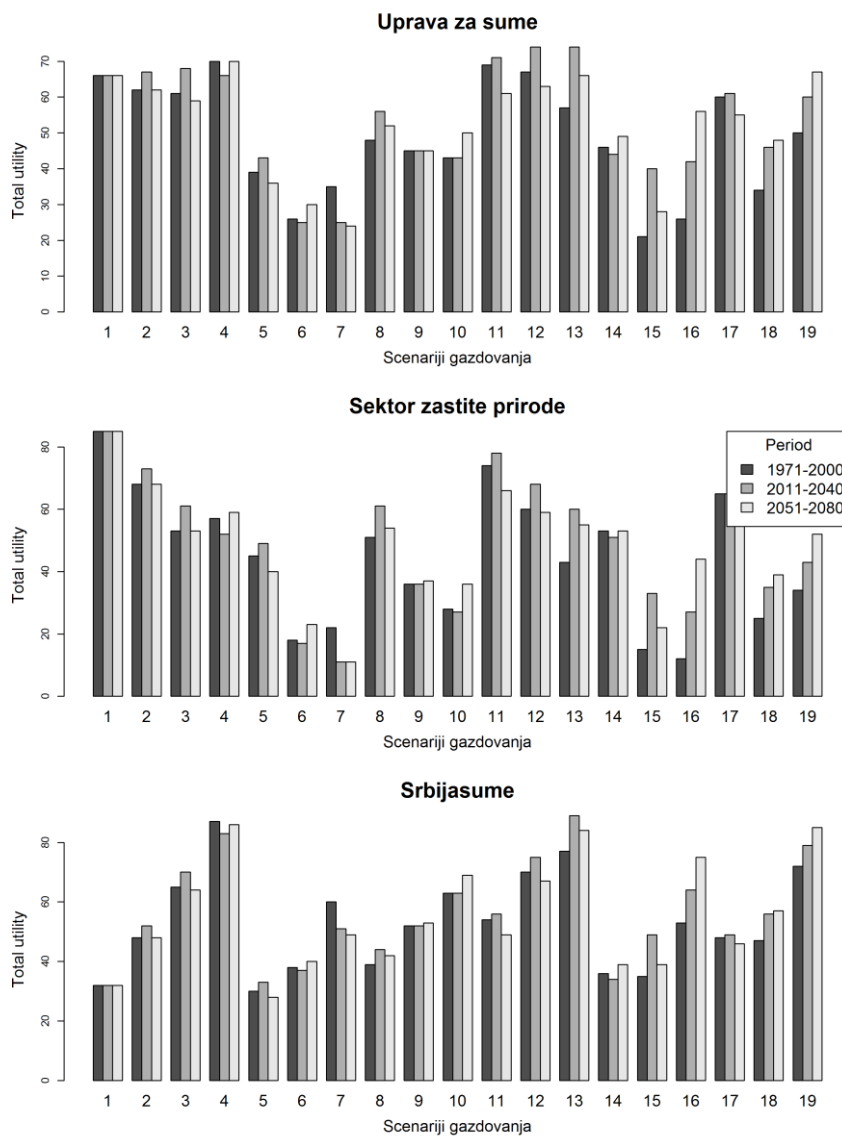
Slika 74. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Čemernik-Ostrozub (31a)

Kod sastojine Homoljske planine, pored dominacije već pomenutih scenarija gazdovanja, ističu se scenariji 6 i 7 kao posebno loši za zaštitu prirode. Uzrok tome je uklanjanje velikog broj nižih stabala i drastično narušavanje strukture sastojine (Slika 75.).



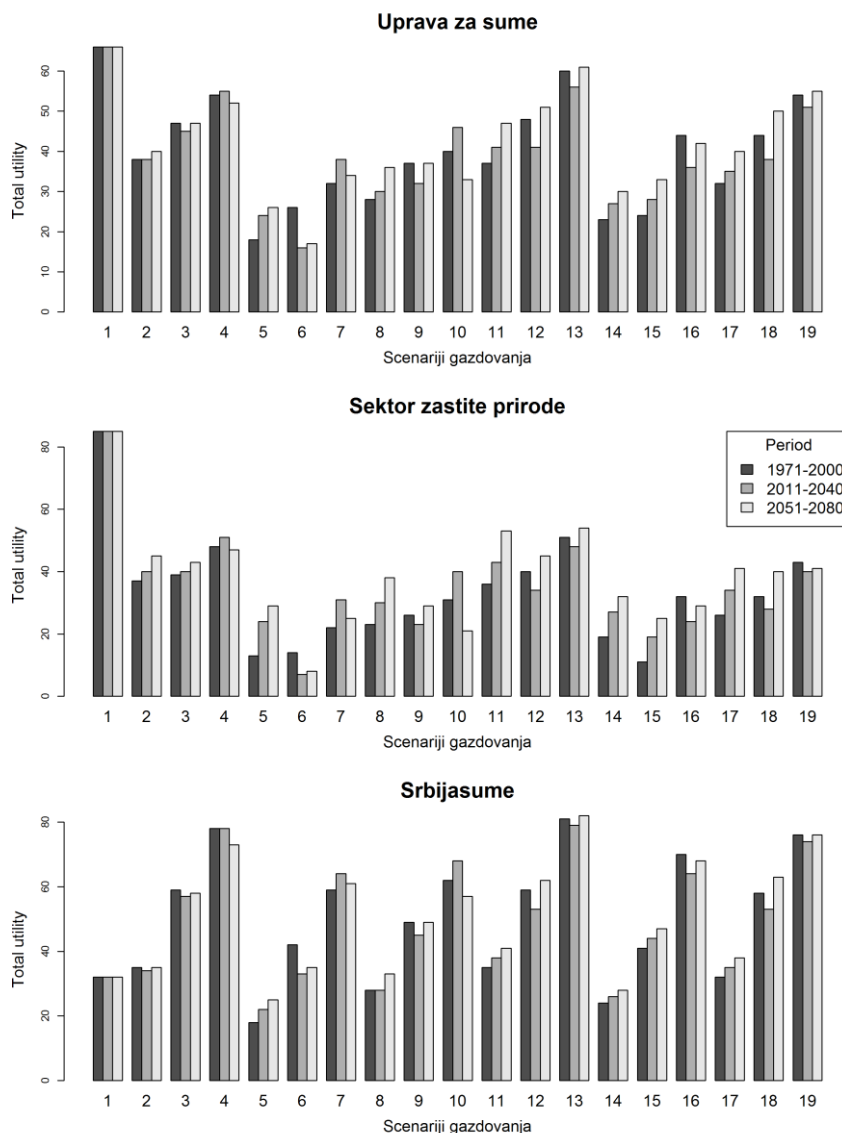
Slika 75. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Homoljske planine (33a)

Za razliku od ostalih lokalitet, za Kučajske planine se scenario gazdovanja 4 jednako dobro rangira kao i scenarija u kojim se koriste češće frekventnije mera gazdovanja za scenario preferenci Uprave za šume i „Srbijašuma“. U zaštiti prirode dominira scenario 1, kao i scenarija sa nižim intezitetima intervencija (2, 11, 17) (Slika 76.).



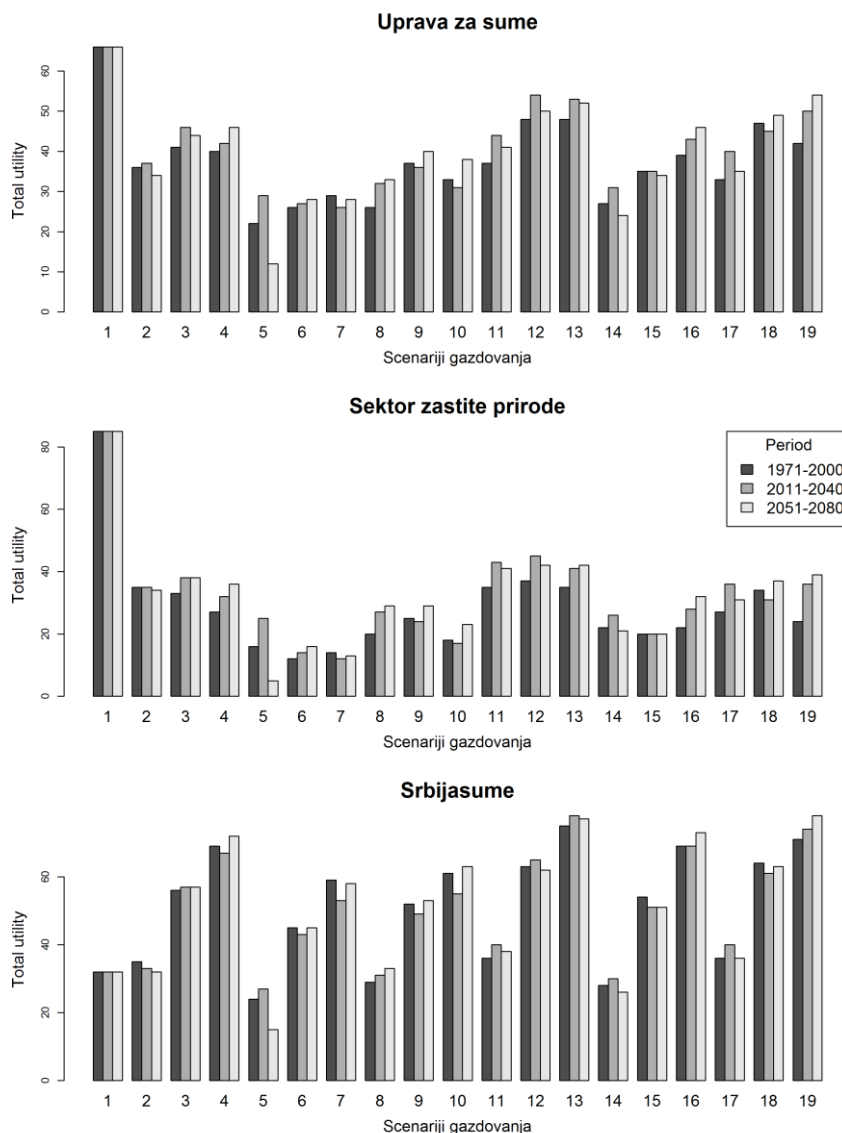
Slika 76. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Kučajske planine(42ab)

Kod sastojine Željina, kao i kod prethodnih sastojina, dominirali su scenariji sa intezivnim merama gazdovanja u kojima su sečema visoka stabla (Slika 77.).



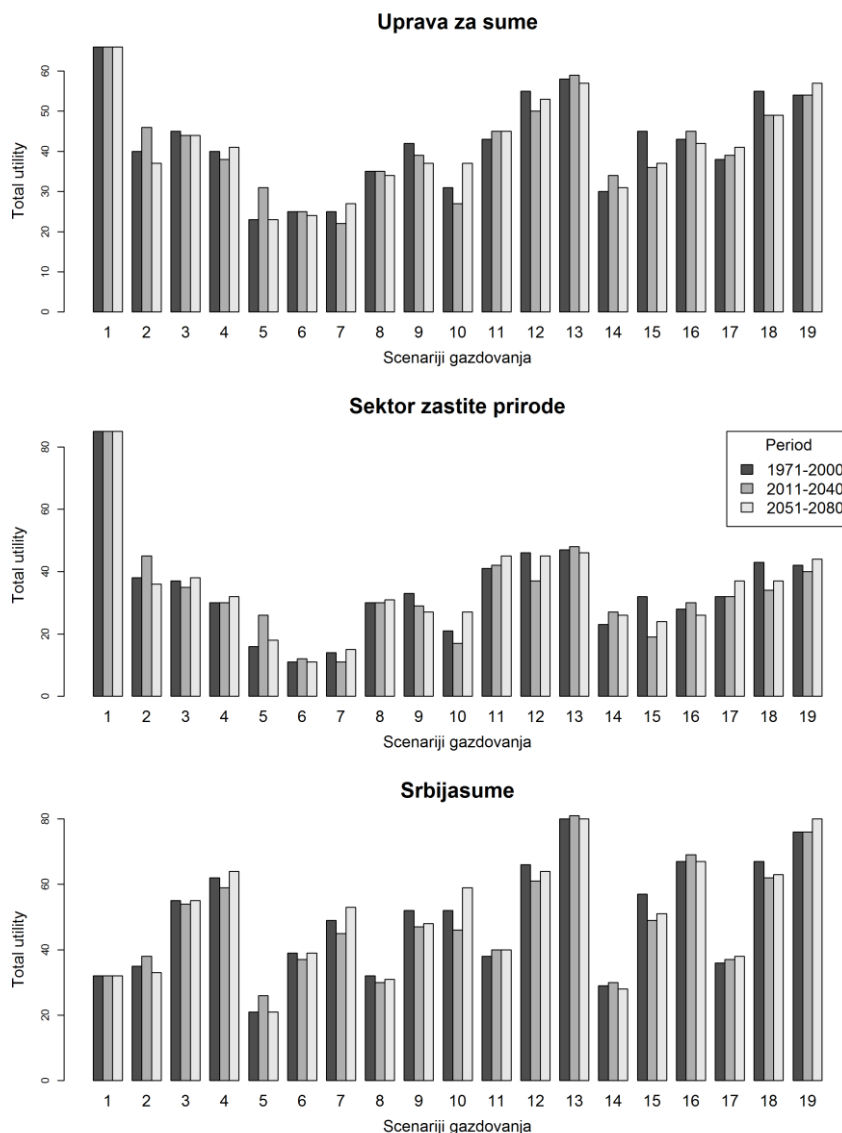
Slika 77. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Željina (44a)

U sastojina Kukavica, generalno bolje rezultate su davali scenarija gazdovanja sa češćim intervencijama (11-19) za scenarija preferencija Uprave za šume i sektora zaštite prirode od njihovih ekvivalenata (scenarija gazdovanja 2-10) (Slika 78.).



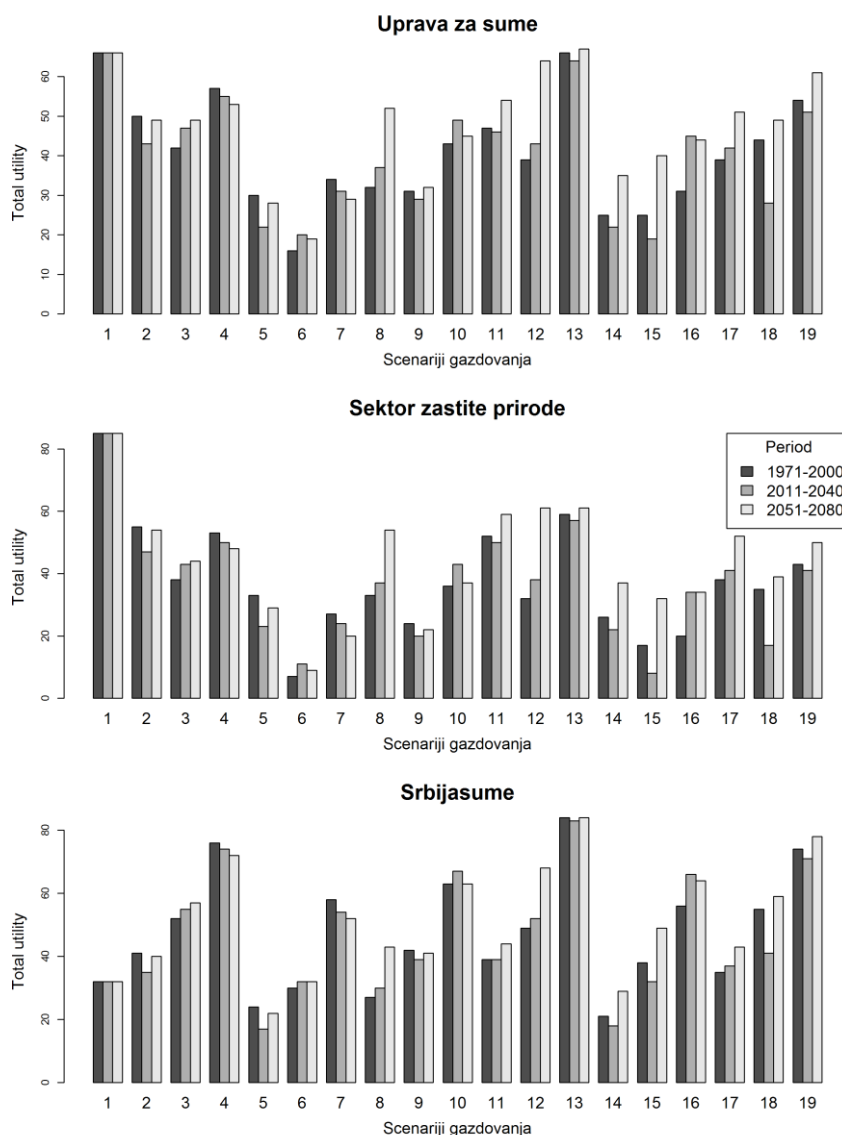
Slika 78. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Kukavica (46a)

U sastojini Jastrebac, scenarija gazdovanja 12, 13, 18 i 19 su se izdvajala za prva dva scenarija preferencija zainteresovanih strana (Slika 79.). Reč je o intervencijama od 10% i 15% zapremine u intervalu od 5 godina u režimu seče visokih stabala i selektivne seče. Kod scenarija preferencija za „Srbijašume“, scenariji sa najvećim intezitetom mera gazdovanja su obezbedili najbolje rezultate, s tim da je interval od pet godina između mera gazdovanja bio vidljivo uspešniji.



Slika 79. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Jastrebac (116a)

Isti trendovi koji su se mahom javili i kod prethodnih osam sastojina, prisutni su i u Istočnoj Boranji. Dominirala su scenarija u kojima su mere gazdovanja bile češće i iz kojih su tim prilikama sečene manje zapremine drveta (Slika 80.). U nekoliko scenarija (8, 12, 15, 15, 18) dominirao je period 2051-2080 zbog većeg relativnog udela mrtvog drveta. Povećan mortalitet je i očekivan u tom periodu s obzirom da je suma toplih dana (broj dana sa preko 35 °C) bio drastično uvećan za taj period.



Slika 80. Total utility za 19 scenarija gazdovanja, tri klimatska perioda i tri scenarija preferencija zainteresovanih strana za sastojinu Istočna Boranja (122a)

Sumarno gledajući, isključujući scenario gazdovanja broj 1, koji bi podrazumevao zaštitu I stepena i zabranu svih intervencija, intezivna seča viših stabala, scenario 13 koji podrazumeva intervencije od 15% zapremine svakih 5 godina je dao odlične rezultate. U svetlu ovih rezultata može se pretpostaviti da je osvetljavanje sastojine (nastalo uklanjanjem stabala većih dimenzija) dovelo do inteziviranja rasta nižih spratova i promocije diverziteta strukture koji postavljen kao pretpostavka diverziteta. Seče stabala manjih dimenzija su pružili najlošije rezultate. Uzrok tome je drastično smanjenje diverziteta koje nastaje u tim scenarijima jer da bi se dostigle seče u zapremini od 10%, 20% i 30% cele sastojine potrebno

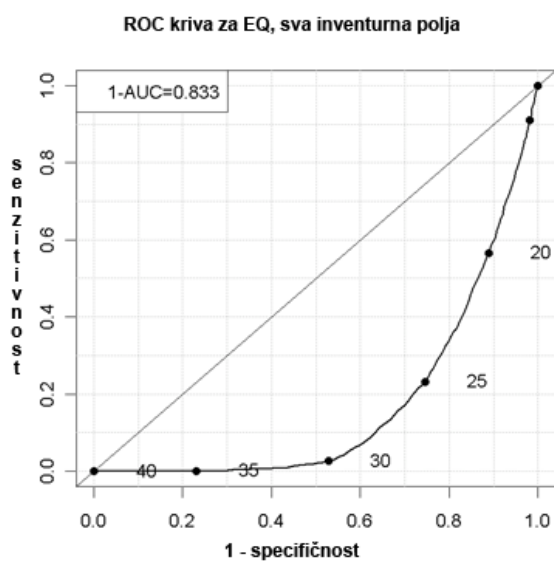
je poseći mnogo veći broj manjih stabla. U intezivnijim scenarijima praktično sva stabla koja su na početku simulacije pripadale grupi stabala sa manjim dimenzijama bivaju posečena.

3.2. Donja granica prostiranja bukve u Srbiji na osnovu Elenbergovog koeficijenta (EQ)

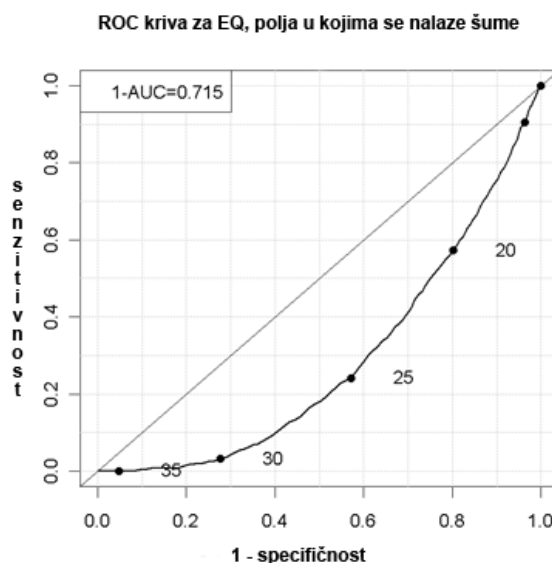
3.2.1. Određivanje prediktivne sposobnosti EQ i bioklimatske granice pojavljivanja bukve u Srbiji

Na osnovu klasifikacije AUC vrednosti prema Swets (1988), EQ ima *dobru* moć predviđanja za distribuciju bukve kada se uzmu u obzir sve probne površine obuhvaćene nacionalnom inventurom šuma (AUC=0,83), a *srednju* kada se računaju samo površine u kojima se nalaze šume (AUC=0,71).

ROC krive imaju reverzan oblik s obzirom da smanjenje EQ indeksa vodi poboljšanju uslova za bukvu (Slika 81. i 82.)



Slika 81. ROC kriva za EQ za sve probne površine



Slika 82. ROC kriva za EQ za površine u kojima se nalaze šume

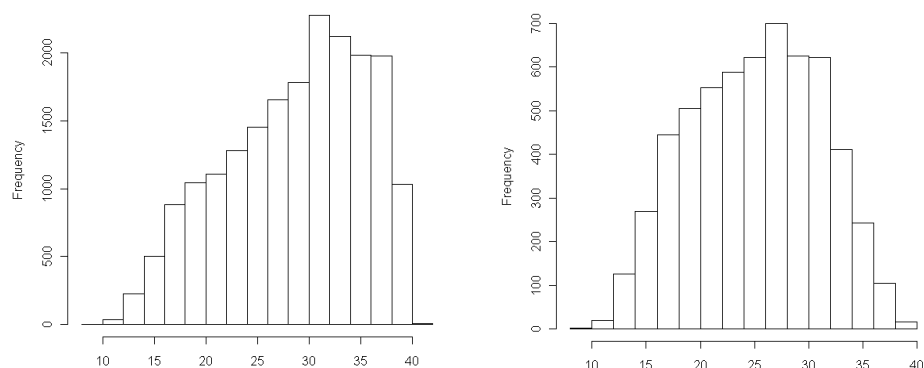
Donja granica za rasprostranjenje bukve po EQ varira u skladu sa različitim kriterijumima za određivanje granične vrednosti (maksimalna kapa vrednosti, maksimalna senzitivnosti i specifičnosti, granica ispod koje se nalazi 95% dominantno bukovih površina) kao i sa vrstom uzorka (sve probne površine, samo površine u kojima se nalaze šume) (Tabela 13.). Granica varira od 20,1 za maksimalnu kapa vrednost do 29,5 za pripadnost unutar 95% pojavljivanja bukve. Suma senzitivnosti i specifičnosti je pružila različite rezultate i u ovom

slučaju, a pokazala je niže vrednosti u poređenju sa istim kriterijumom koji je bio upotrebljen za analizu prediktivno sposobnosti EQ u odnosu na bukove šume u Mađarskoj (EQ=28.9) (Czúcz i sar., 2011). Fang i Lechowicz (2006) and Czúcz i sar. (2011) su sugerisali da granična vrednost EQ za pojavljivanje bukve treba da iznosi oko 29, a Ellenberg (1988) da je ona 30, dok je u našem slučaju prostorna analiza pokazala da niže granične vrednosti imaju bolju predikciju za dva kriterijuma, a da je za treći (95% pojavljivanja) ta granica približno ista. Sva pojavljivanja bukve su zabeležena ispod granice 35,1.

Tabela 13. EQ granične vrednosti za različite kriterijume (Stojanović i sar., 2013)

Kriterijum	Sva inventurne površine	Površine u kojima se nalaze šume
Maksimalna kapa vrednosti	22,3	20,1
Maksimalna senzitivnost i specifičnost	28,0	25,0
95% pojavljivanja bukve	29,3	29,5
100% pojavljivanje bukve	35,1	35,1

Zašto se uzimanje različitog uzorka pravi tako veliku razliku u vrednosti AUC i u graničnim vrednostima? Odgovor na to pitanje se nalazi u činjenici da su gotovo sva područja pod šumama smeštena u područjima sa nižim EQ, što ne predstavlja slučajni poduzorak iz cele inventure. Na slici 83. prikazani su histogrami i medijana, kao i 5% i 95% kvantila distribucije EQ za oba uzorka. Dobijene razlike između različitih kriterijuma za određivanje granice rasporostranjenja, kao i razlike između različitih studija impliciraju veliku opreznost i regionalni pristup prilikom realizacije ovakvih istraživanja u kojem će se biti sagledano što više detalja i mogućnosti.



Sve inventurna polja

Inventurna polja na kojima se nalaze
šume

5% kvantila	16,5	15,1
medijana	29,8	25,4
95% kvantila	38,1	34,5

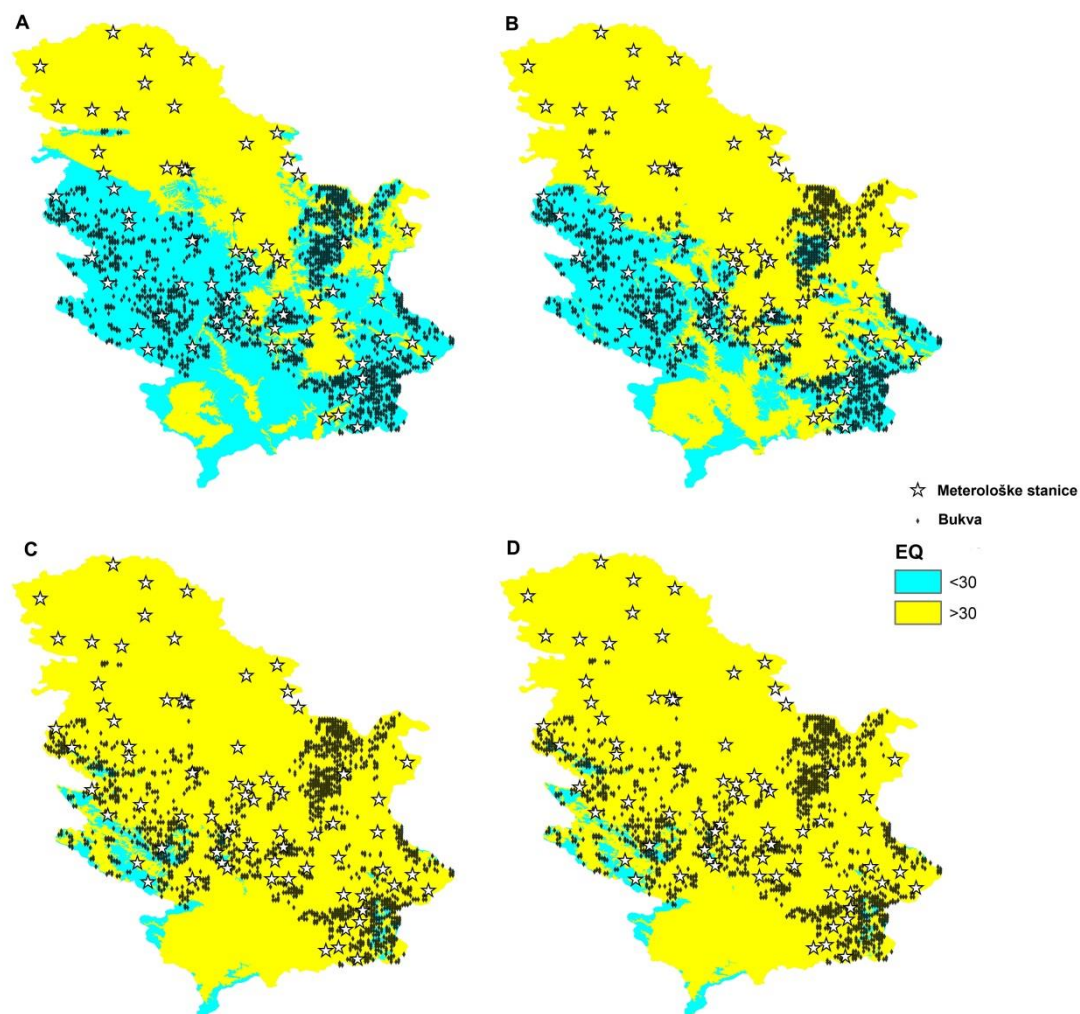
Slika 83. Distribucija EQ za dva uzorka zajedno sa vrednostima 5% i 95% kvantila i medijanom

3.2.2. EQ za referentni period 1961-1990

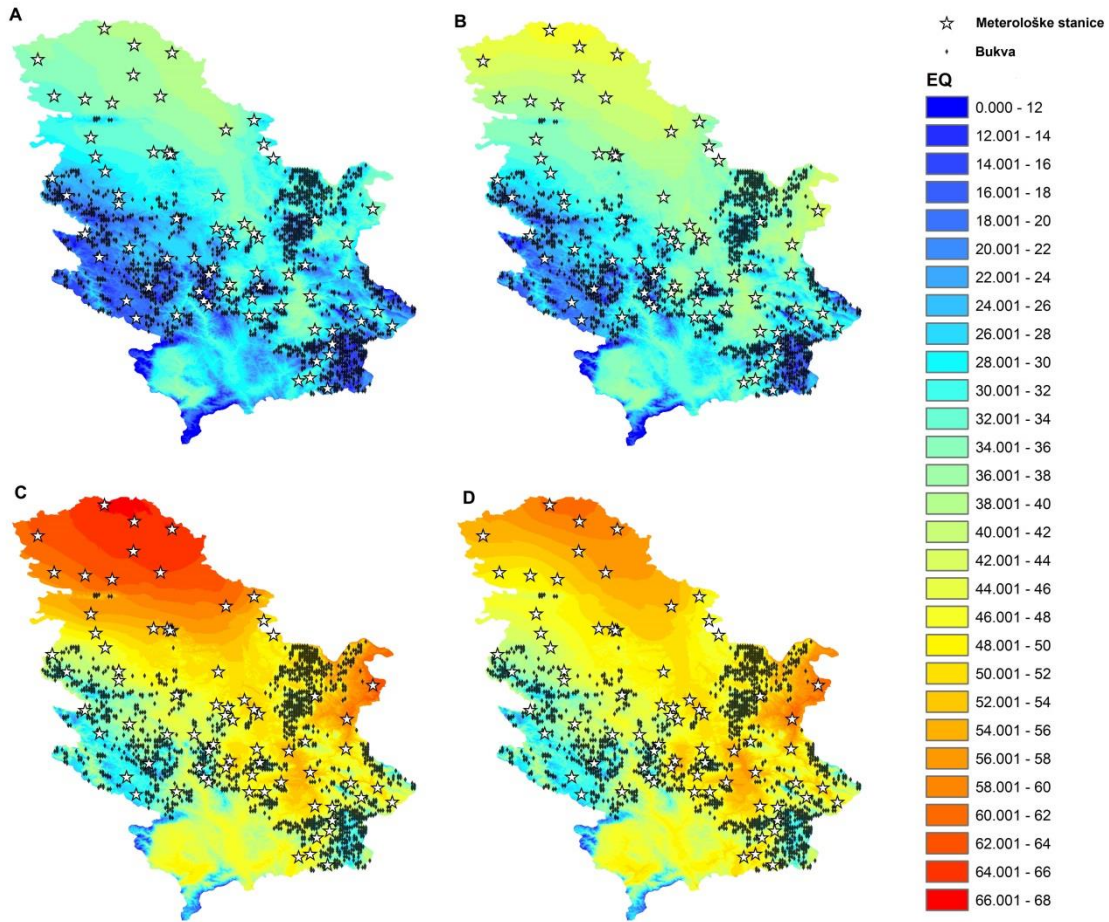
Preklapanjem mapa EQ za referentni period 1961-1990 i sadašnjeg rasprostranjenja bukve otkriveno je da se 43,8% bukovih šuma nalazi u klimatskom pojasu gde se po Ellenberg (1988) očekuje potpuna dominacija bukve ($EQ < 20$), 53,0% bukovih šuma u klimatskom pojasu karakterističnom za mešovite šume bukve i hrasta ($20 < EQ < 30$), što ukupno predstavlja 96,8% (Tabela 14., Slika 84. i 85.). Bitno je napomenuti da se u Srbiji bukva javlja zajedno samo sa hrastom kitnjakom (*Quercus petrea*) i cerom (*Quercus cerris*). Preostala 3,2% pripadaju klimatskom pojasu karakterističnom za šume hrastova ($EQ > 30$). Prisustvo bukovih šuma u klimatskom pojasu hrastova je ispod pet procenata, što je u saglasnosti sa Elenbergovom granicom $EQ < 30$. Analiza distribucije inventornih polja u kojima se nalazi bukva u nizu kategorija EQ pokazao je približno normalnu (Gausovu) raspodelu (Slika 86.). Većina polja dominantno bukovih šuma se našla u intervalu (14,30), u čisto bukovoj i bukovo-hrastovoj klimatskoj zoni.

Tabela 14. Distribucija bukovih šuma u četiri kategorije (modifikovano posle Ellenberg (1988)) za osmotreni period 1961-1990 i tri klimatske projekcije

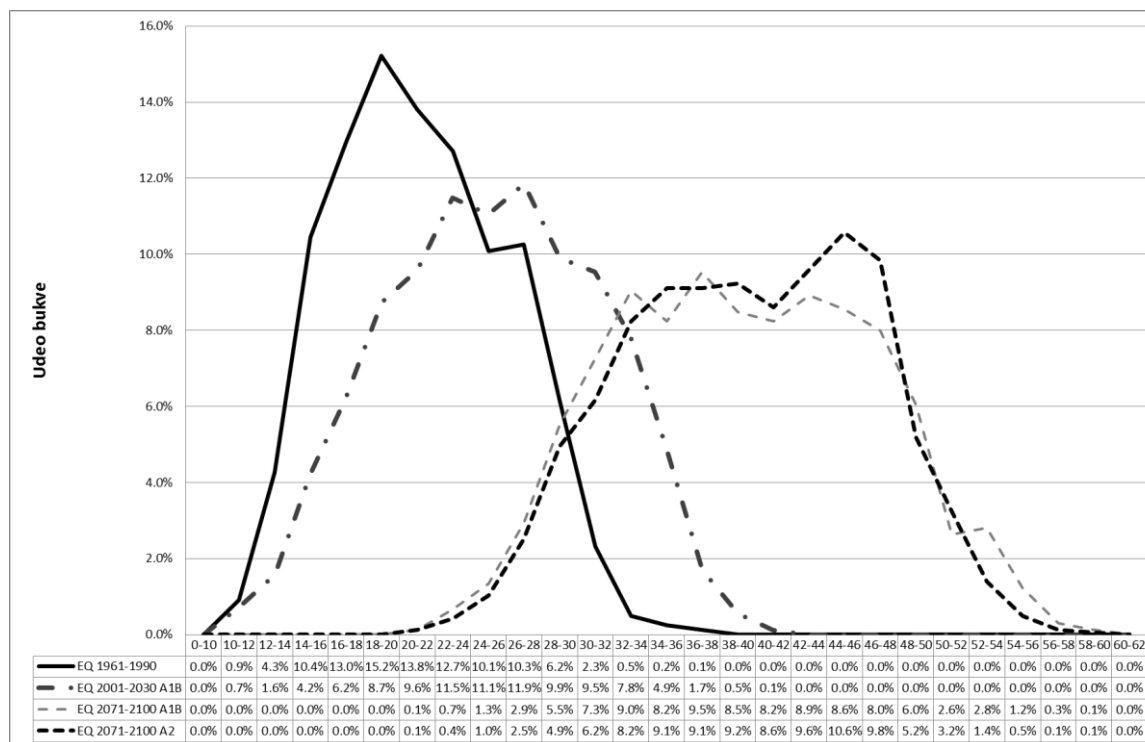
Vremenski period	Zona bukve (<20)	Zona bukve i hrastova (20-30)	Zona hrastova (>30)	Zona mortaliteta bukve i napada patogena (>40)
1961-1990 osmotreni podaci	43.8%	53.0%	3.2%	0.0 %
2001-2030 A1B scenario	21.5 %	53.9 %	24.6 %	0.1 %
2071-2100 A1B scenario	0.0 %	10.6 %	89.4 %	46.9 %
2071-2100 A2 scenario	0.0 %	9.0 %	91.0 %	49.1 %



Slika 84. Mape interpolisanih EQ vrednosti za dve kategorije: (1) klimatska zona pogodna za bukvu – EQ vrednosti ispod 30 (svetlo plavo); (2) klimatska zona pogodna za hrastove – EQ iznad 30 (žuta boja). Sadašnja distribucija bukve je predstavljena sa crnim tačkicama, a meterološke stanice sa zvezdama (A - 1961-1990; B - 2001-2030 - A1B scenario; C - 2071-2100 - A1B scenario; D - 2071-2100 - A2 scenario) (Stojanović i sar., 2013)



Slika 85. Mape interpolisanih EQ vrednosti klasifikovanih u kategorije od dva podeoka sa označenim bukovim šumama i meteorološkim stanicama u Srbiji. A - 1961-1990; B - 2001-2030 A1B scenario; C - 2071-2100 A1B scenario; D - 2071-2100 A2 scenario; (Stojanović i sar., 2013)



Slika 86. Distribucija šuma bukve u nizu EQ kategorija; (Stojanović i sar., 2013)

3.2.3. EQ za period 2001-2030 - A1B scenario

Distribucija bukve u nizu EQ kategorija za period 2001-2030 pokazuje da će se sadašnje bukove šume naći u izmenjenim klimatskim uslovima (Slika 84. B, 85. B i 86.). Oko 22% procenata bukovih šuma će promeniti klimatsku zonu i iz čisto bukove zonu preći bukovo-hrastovu zonu, i približno isti procenat preći iz bukovo-hrastove zone u hrastovu zonu (Tabela 14.).

Podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda (RHMZ) govore da je poslednjih 13 godina prisutan trend u otopljanju. Ekstremne suše su zabeležene u godinama 2000., 2003., 2007., 2011. i 2012. (Tabela 15.), a u 2007. je zabeležen apsolutni maksimum za Srbiju od 44,9 °C.

Tabela 15. Pregled vrednosti temperatura i padavina za nekoliko proteklih ekstremno sušnih godina u Srbiji (Stojanović i sar., 2013)

Godine	Temperature		Padavine		Temperature		Padavine	
	April	– Oktobar	April	– Oktobar	Prosečne	godišnje	Godišnja	suma
	(°C)		(mm)		(°C)		(mm)	
2012.	18,4		367,0		/		/	
2011.	17,1		300,5		10,8		469,8	
2007.	17,0		454,6		11,6		775,3	
2003.	17,1		421,5		10,8		606,3	
2000.	17,7		262,0		11,9		436,8	
1961-1990	15,6		437,1		10,0		690,7	

3.2.4. EQ za period 2071-2100 - A1B i A2 scenariji

U skladu sa očekivanjima, projekcije promene klime za period 2071-2100 predviđaju drastičan porast temperature koje će uzrokovati i značajne promene u EQ. Na osnovu A1B i A2 scenarija približno 90% današnjih bukovih šuma će se naći u zoni sa EQ većim od 30 (Tabela 14., Slika 84. C i D, 85. C i D i 86.). U vezi sa maksimalnom gornjom granicom EQ na kojoj bukva može da opstane, Mátyás i sar. (2010) su otkrili da su nekoliko uzastopnih sušnih godina za koje su EQ vrednosti bile iznad 40 rezultirale mortalitetom bukve i pojavom patogena i insekata. Za istraživani period 2071-2100, pokazalo se da će se približno 50% današnjih bukovih šuma naći u zoni gde će srednje EQ vrednosti prevazići 40 za A1B i A2 scenarije (Tabela 14.). Imajući u vidu da su Mátyás i sar. (2010) posmatrali samo tri do četiri uzastopne godine, može se pretpostaviti da će se negativni uticaji promene klime na bukvu ispoljiti pre kraja 21. veka, tako da je uspostavljanje dugoročnih strategija adaptivnog gazdovanja u istraživanim regionima od izuzetnog značaja.

3.3. Poređenje rezultata dva metoda pristupa (simuliranje procesa-4C model i promene ekoloških niša – EQ koeficijent)

Iako se uzeti klimatski periodi i klimatski scenariji razlikuju (uzrok je nedostupnost podataka za iste periode i scenarije tokom istraživanja), izvršena su određena poređenja. U Tabeli 16. date su vrednosti EQ za devet ispitivanih lokaliteta.

Tabela 16. EQ vrednosti za devet ispitivanih lokaliteta i četiri klimatska perioda

EQ periodi	Lokaliteti								
	8ab*	27a	31a	33a	42ab/*	44a	46a	116a	122a
	Javor*	Zapadna Boranja	Čemernik -Ostrozub	Homoljske planine	Kučajske planine*	Željina	Kukavica	Jastrebac	Istočna Boranja
EQ 1961-1990*	16	18	17	26	25	16	22	16	16
EQ 2001-2030 A1B	17	21	19	31	30	19	23	24	19
EQ 2071-2100 A1B	27	34	34	45	45	32	43	37	34
EQ 2071-2100 A2	27	32	34	44	43	32	39	39	31

*osmotreni podaci

Osam od devet sastojina se našlo u zoni ispod EQ=30 do kraja 21. veka, što je okvirno granica bukve po Ellenbergu u centralnoj Evropi. Vrednost EQ=27 koju je imao Javor na kraju 21. veka se nalazi između maksimalnih vrednosti za senzitivnost i specifičnost dobijenih u ovoj studiji za dva različita uzorka (Tabela 13.). Dva lokaliteta su se našla u zoni od preko 40, gde se očekuje masovni mortalitet. Zbirni rezultati rasta sastojina simuliranih pomoću 4C modela u periodima 1961-1990, 2001-2030 i 2071-2100 su prikazani na slikama 29., 30. i 31. Generalni trend je bio da su sastojine pokazale najveću produktivnost u periodu 2001-2030. Rezultati predikcije buduće pogodnosti staništa za bukvu pomoću EQ indeksa u periodu 2001-2030 za A1B scenario su pokazali da će se neke od devet sastojina približiti graničnoj vrednosti, ali ne da će je i značajno preći, tako da je poboljšanje ekoloških uslova na tim lokalitetima u prvoj polovini 20. veka moguć razvoj događaja. Posebno imajući u vidu trend produženja vegetacione sezone, kao i povećanu vrednost sume aktivnih temperatura (Prilog V), koju EQ koeficijent ne uzima u obzir za razliku od 4C modela.

4. DISKUSIJA

4.1. Koji načini gazdovanja obezbeđuju najveće vezivanje ugljenika, očuvanje biodiverziteta i rast svake pojedinačne sastojine?

Način gazdovanja koji će obezbediti najveće vezivanje ugljenika u ekosistemu je bez izuzetka za svaku od sastojina bio scenario u kome nije bilo intervencije. Da li bi to bio slučaj kada bi posmatrali ukupno vezivanje ugljenika, uključujući drvene produkte? Teško je odgovoriti. Odgovor na to pitanje je usko vezan za tip šume, intezitet intervencija, ekološke uslove, vrstu proizvoda od drveta i njegov život, interval u kome se vezivanje ugljenika posmatra, itd.

Thornley i Cannell (2000) su na osnovu detaljnog teorijskog razmatranja na primeru četinarskih šuma u Škotskoj zaključili da ne postoji prosta obrnuto proporcionalna zavisnost između povećanja prinosa i smanjenje ugljenika u ekosistemu. Njihova sugestija je da režim gazdovanja koji će obezbediti stanje blisko prirodnom i kontinualni šumski pokrivač ima najbolje šanse da obezbedi optimalan odnos prinosa i vezivanja ugljenika.

Lal (2005) je istraživajući stopu vezivanja organskog ugljenika u šumskom zemljištu zaključio da je intezitet vezivanja zavisn od složenog međudejstva između klime, zemljišta, vrste drveta, gazdovanja i hemijske strukture šumske stelje na koju presudno utiče dominantna drvenasta vrsta. Zanemarivanje jednog od pomenutih ekoloških činilaca bi verovatno dovelo do pogrešnog tumačenja prirodnih procesa.

Skog i Nicholson (1998) su procenili da je u SAD $2,7 \times 10^9$ tona ugljenika skladišteno u produktima od drveta (papiru, građevini, ostalim drvenim produktima u upotrebi i na doponijama) dok u šumama i šumskom zemljištu ima $38,5 \times 10^9$ tona ugljenika. Pingoud i sar. (2001) su istraživajući udeo ugljenika u drvnim produktima i građevinarstvu izračunali da se do 1995. u Finskoj (uključujući i izvezene drvene produkte) našlo oko 7% od ukupnog budžeta organskog ugljenika u toj zemlji. Ista studija navodi da je životni vek drveta u građevinarstvu u Finskoj kraći od 40 godina, kao i da je stopa vezivanja ugljenika u periodu 1980-1995. bila sto puta manja od stope oslobađanja ugljenika putem sagorevanja fosilnih goriva u toj zemlji. Pomenute činjenice ukazuje na diskutabilnu učinkovitost vezivanja ugljenika, posebno imajući u vidu glavnu svrhu vezivanja– da smanji nivo CO₂ u atmosferi i ublaži efekte klimatskih promena.

Mnoge zemlje u svetu primenjuju neku od oblika (sistema) tzv. trgovine ugljenikom (*Emission trading*), koja omogućava bolju implementaciju Kjoto protokola. Poznata su dva sistema: kreditni programi i *cap and trade* sistem (Stavins, 2001). Kreditni program funkcioniše tako što emiteri koji smanje svoju emisiju imaju mogućnost da trguju sa količinom emisije koju su smanjili, dok *cap and trade* propisuje određeni nivo emisije za svakog emitera gde onda oni u cilju dostizanja te granice mogu da trguju sa emisijama (kupuju ili prodaju).

Međutim, postoje ozbiljne kritike na račun tih sistema trgovine jer se koncentracija CO₂ u atmosferi i dalje povećava. Avi-Yonah i Uhlmann (2009) sugerišu napuštanje *cap and trade* sistema kao neefikasnog i prihvatnije sistema jačeg oporezivanja svih fosilnih goriva, koje bi sa jedne strane smanjilo njihovu potrošnju a sa druge strane stimulisalo istraživanja obnovljivih izvora energije. Lohmann (2006) zagovara reorganizaciju društva koje bi podrazumevalo prestanak upotrebe fosilnih goriva. Hansen (2011), jedan od najeminentnijih naučnika u oblasti klimatskih promena ide još dalje sa novim predlozima za sistemsko smanjenje CO₂, izmenu „*bussiness as usual*“ ekonomskog sistema, drastično smanjenje upotrebe fosilnih goriva i izradu nove generacije nuklearnih elektrana (sa neuporedivo manje osiromašenog uranijuma kao nus produkta). Po njemu, u slučaju da sve rezerve uglja na Zemlji bude iskorišćene, verovatan je „*runaway greenhouse effect*“ scenario (za koji se veruje da se dogodio na Veneri), u kojem će usled temperatura od preko 100 °C sva voda iz okean ispariti i nestati u Svemiru.

Schulp i sar. (2008) u studiji o budućnosti vezivanja ugljenika u Evropi navode promenu namene korišćenja zemljišta (eng. *land use change*) kao najdinamičniji faktor i faktor koji se nikako ne sme zanemariti prilikom modeliranja vezivanja ugljenika u budućnosti. Ista studija je pokazala da za klimatske scenarije A1, B1 i B2 očekuje povećanje vezivanja ugljenika za 9 do 16% u periodu 2001-2030 u odnosu na referentnu 2000., a da se za scenario A2 očekuje smanjenje od 4% usled promene klime i dodatna 2% usled promene namene korišćenja zemljišta.

S obzirom da nijedan od procesnih modela rasta nije dizajniran za eksplicitno bavljenje pitanjem biodiverziteta u šumskim ekosistemima pod uticajem različitih mera gazdovanja, neophodno je bilo povezati određene karakteristike ekosistema koje su proporcionalne sa ukupnim biodiverzitetom i čija kvantifikacija je moguća pomoću procesnih modela. Lexer i sar. (2000) u studiji o upotrebi modela za procenu biodiverziteta navode niz karakteristika ekosistema koji se mogu dobiti iz procesnih modela rasta, a koji mogu poslužiti kao indikatori biodiverziteta (Tabela 17.)

Tabela 17. Karakteristike ekosistema-indikatora biodiverziteta koje je moguće kvantifikovati pomoću procesnih modela rasta šuma (modifikovano posle Lexer i sar. (2000))

Karakteristika ekosistema	Indikator	Autor
Horizontalna struktura	Indeks agregacije po Klark i Evansu	Clark i Evans (1954)
	Mingling indeks	Füldner (1995)
Veličina stabala	Indeks diferencijacije prečnika	Füldner (1995)
	Distribucija visina	Gini (1912)
	Distribucija prečnika	
Vertikalna struktura	Vertikalni indeks vrste	Pretzsch (1996)
Sastojinski diverzitet	Lorencov indeks	
	Diverzitet vrsta	
	Diferencijacija po udaljenosti	
Starost	Broj starosnih grupa	
Mrtvo drvo	Količina, zapremina, broj trupaca	

Izlazni parametri koje je bilo moguće upotrebiti u cilju evaluacije biodiverziteta u različitim scenarijima gazdovanja, a koji su bili dostupni iz 4C modela su: strukturni diverzitet (veličina stabala na nivou sastojine) i količina mrtvog drveta.

Jedan od najznačajnijih ciljeva današnjice u šumarstvu Evrope je povećanje mešovitosti i strukturne raznovrsnosti sastojina (Matović, 2012). Pommerening (2002) tvrdi da struktura prirodnih šuma predstavlja osnovni i često jedini merljivi indikator u determinaciji specijskog i ekosistemskog diverziteta, dok Kuuluvainen i sar.(1996) zaključuju da struktura šuma združena sa ostalim stanišnim pokazateljima može koristiti kao važan indikator biodiverziteta. Za kvantifikaciju strukturnog diverziteta odabran je Ginijev koeficijent, koji se u studiji (Lexerød & Eid, 2006) pokazao kao najbolji u grupi od nekoliko sličnih indeksa.

Količina mrtvog drveta u gazdovanim šumama je označena kao bitan indikator održivosti i zaštite biodiverziteta na Ministarskoj konferenciji o zaštiti šuma Evrope (MCPFE, 2003).

Sa ekološke tačke gledišta, postoje dva bitna razloga zašto treba povećati količine mrtvog drveta u gazdovanim šumama (Müller i Bütler, 2010):

- i) zato što utiče na povećanje populacija i njihovu gustinu;
- ii) zato što diverzifikuje broj vrsta.

Mrtva i umiruća stabla su se istakla kao ključna staništa za veliki broj organizama. Dickson i sar. (1983) su još pre trideset godina ustanovili da je diverzitet ptica značajno veći na oglednim površinama na kojima je bilo mrtvih stabala u poređenju sa onim bez. Bütler i sar. (2004) su istraživanjem distribucije vrste detlića u šumama Švajcarske i Švedske pronašli da je broj detlića bio u jakoj korelaciji sa prečnikom suvih stabala. Kako je rastao broj suvih stabala tako se i populacija detlića povećavala. Davies i sar. (2008) su iscrpnim pregledom postojeće literature zaključili da ne postoji dovoljno podataka o uticaju specifičnih režima gazdovanja na saprofitne beskičmenjaka u šumskim ekosistemima, ali da se svakako treba držati generalne preporuke očuvanja mikrostaništa kao što je zadržavanje starih stabala i dubećih suvih stabala.

Sullivan i Sullivan (2001) su proučavali dve vrste voluharice i kako različiti režimi gazdovanja utiču na njih u četinarskim šumama. Zanimljivost ove studije je da je njihova hipoteza bila delimično opovrgnuta na način da su intenzivni režimi gazdovanja imali pozitivan uticaj na jednu od voluharica.

Reemer (2005) navodi da je promena režima gazdovanja šumama u Holandiji koji je podrazumevao veću prirodnost i proširenje površina pod šumama imao izuzetno povoljan efekat na osolike muve (*fam. Syrphidae*).

Christensen i sar. (2005) navode da su količine mrtvog drveta u negazdovanim šumama veće za 10 do 20 puta od onih u gazdovanim. Veliki je izazov učiniti mrtvo drvo kvantitativnim indikatorom na način da svaki šumski ekosistem poseduje propisane količine mrtvog drveta koje treba da sadrži. Müller i Bütler (2010) su ispitivali granične vrednosti mrtvog drveta koje bi poslužile kao smenice za gazdovanje evropskim šumama i došli su do vrednosti koje su varirale od 10 do 80 m³/ha. Međutim, njihova studija nije obuhvatila ekosisteme planinske bukve koja je glavni objekat ovog istraživanja. Sa druge strane Christensen i sar. (2005) su istraživali količinu mrtvog drveta u 86 zaštićenih bukovih šuma. Vrednosti koje su oni dobili su varirali od 130 do 550 m³/ha. Planinski rezervati su imali veću količinu mrtvog drveta, takođe i veći broj dubećih suvih stabala. Presudan uticaj na količine mrtvog drveta su imali vetrolomi, kao i period vremena koji je protekao od kada su šume zaštićene.

Temom mrtvog drveta u Srbiji su se bavili Koprivica i sar. (2013). Prosečna vrednost mrtvog drveta za istraživane loklitete kojima se bavi i ova disertacija je bila oko 20 m³/ha, što

je negde između vrednosti koje su obezbedili režimi gazdovanja sa intervencijama od 10% i 20% zapremine u destogodišnjem, i 5% i 10% u petogodišnjem intervalu između intervencija za period od 30 godina.

Prinos predstavlja količinu (zapreminu) drveta koja se ukloni iz šume sečom. S obzirom da su intervencije u modelu definisane zapreminom koja se seče, scenariji koji su bili većeg inteziteta su donosili veći prinos proporcionalno jačini zahvata. Međutim, maksimalni prinosi su u suprotnosti sa očuvanjem biodiverziteta jer mogu da izlože šumski ekosistem većem stresu. Sa vezivanjem ugljenika ne moraju biti u potpunoj suprotnosti. U ovom istraživanju maksimalni prinosi su bili u suprotnosti sa vezivanjem ugljenika jer je posmatran isključivo ugljenik vezan u ekosistemu.

Godišnji prirast se u simulacijama nije umnogome menjao za različita scenarija gazdovanja (Prilog IV). I pored različitih inteziteta intervencija, njegove promene su ostale na nivou statističke greške. Da li bi se tako proces odigrao u prirodi? Teško je reći. Konceptija modela je takva da nakon uklanjanja velikih stabala resursi (svetlost, voda, hranljive materije) bivaju preusmereni na rast preostalih stabala (Lasch i sar., 2005). Model, kao uprošćenje prirodnog procesa, ne oponaša sve fiziološke procese stabala kakarakteristične za njihovu različitu starost. S obzirom da u ovoj studiji nisu bile dostupne starosti svakog pojedinačnog stabla, sva stabla u modelu su bile uniformne starosti i uniformnog fiziološkog mehanizma. Rast i ukupno povećanje biomase u simulacijama je isključivo zavisilo od dimenzija stabala.

Godišnje povećanje zapremine u simuliranom periodu 1961-1990 je bilo ekvivalentno sa povećanjem zapremine u istraživanim sastojinama koje je zabeležio Matović (2012), što je rezultat kalibracije modela (odjeljak 2.1.7.) koja je urađena u pripremi ove studije.

Veliki prepreku u ovakvom tipu istraživanja u Srbiji predstavlja i nedostatak oglednih polja sa kontinuiranim merenjima (inventurni i klimatski podaci) za više decenija, koliko je potrebno da bi se uradila parametrizacija i fino podešavanje procesnih modela na ekološke karakteristike bukve u Srbiji.

Što se tiče multifunkcionalnog gazdovanja šumama sa učešćem zainteresovanih strana, ovo nije prva studija takve vrste. Fürstenau i sar. (2006) su koristeći 4C model na primeru sastojine belog bora i hrastova (lužnjaka i kitnjaka) sproveli studiju u kojoj su parcijalni ciljevi gazdovanja bili vezivanje ugljenika, očuvanje biodiverziteta, proizvodnja drveta, ali i oticaj vode odnosno dopunjavanje podzemnih rezervoara vodom. Ova studija zaključuje da će u slučaju konkretne sastojine u Nemačkoj promena klime dovesti do povećanja produktivnosti tih šuma, te da će ukupan efekat na proizvodnju drveta i očuvanje biodiverziteta biti pozitivan. U SAD-u su Schwenk i sar. (2012) dotakli temu upotrebe multi-kriterijumskih

analiza za obezbeđivanje različitih ekosistemskih usluga. Oni su takođe obrađivali vezivanje ugljenika, proizvodnju drveta i očuvanje biodiverziteta, kao i različita scenarija preferenci zainteresovanih strana. Iskustvo iz drugih istraživanja (Seidl i Lexer, 2013) govore o različitim preferencijama zainteresovanih strana. Kao i slučaju ove teze, zainteresovane strane su imale svoje preferencije, gde su predstavnici preduzeća koje gazduju šumama isticali proizvodnju drveta, a ljudi iz sektora zaštite prirode očuvanje biodiverziteta. U Srbiji su urađene analize preferencija zainteresovanih strana na stratifikovanom uzorku od 800 ljudi, obavljenom pomoću tehnike direktnog anketiranja licem u lice uz korišćenje prethodno pripremljenog materijala. Diferencirane su sledećih devet ekosistemskih usluga (funkcija ekosistema):

1. proizvodnja tehničkog drveta
2. proizvodnja ogrevnog drveta
3. zaštita prirode (u smislu zaštite ugroženih vrsta)
4. rekreacija u šumi
5. sakupljanje nedrvenih šumskih proizvoda
6. lov
7. zaštitne funkcije šuma (bujice, poplave, klizišta i dr.)
8. funkcije u zaštiti zdravlja ljudi (čist vazduh, zaštita od buke i sl.)
9. apsorpcija CO₂ u cilju sprečavanja globalnog zagrevanja

Rezultati anketa su pokazali da su najbolje ocenjene ekosistemске usluge bile: zaštita zdravlja ljudi, zaštita prirode, apsorpcija CO₂ i zaštitne funkcije šuma (Stamatović, u pripremi).

Total utility vrednosti za 19 scenarija gazdovanja za tri različita scenarija preferencija zainteresovanih strana su pokazale da određene mere gazdovanja daju bolje rezultate od ostalih. Generalna tendencija koja je uočena je da su scenarija sa češćim merama gazdovanja (petogodišnji intervali između seča, scenarija gazdovanja od 11. do 19.) pružila bolje rezultate za sve vrste mera (seče visokih stabala, seče niskih stabala i selektivne seče) od scenarija se desetogodišnjim intervalom između seča (scenarija od 2. do 10.). Isključujući scenario gazdovanja broj 1, koji bi podrazumevao zaštitu I stepena i zabranu seče, intezivna seča viših stabala, scenario 13. koji podrazumeva seču od 15% zapremine svakih 5 godina je dao odlične rezultate za preferencije Uprave za šume, koja se kao zakonodavac zalagala za podjednaku zastupljenost svih parcijalnih ciljeva (ekosistemskih usluga) (Slika 68.). U svetlu ovih rezultata može se pretpostaviti da je osvetljavanje sastojine (nastalo uklanjanjem stabala većih dimenzija) dovodilo do inteziviranja rasta nižih spratova i promocije diverziteta strukture koji postavljen kao pretpostavka diverziteta. Seče stabala manjih dimenzija su pružili najlošije

rezultate. Uzrok tome je drastično smanjenje diverziteta koje nastaje u tim scenarijima jer da bi se dostigle seče u zapremini od 10%, 20% i 30% cele sastojine potrebno je poseći mnogo veći broj manjih stabla. U intezivnijim scenarijima praktično sva stabla koja su na početku simulacije pripadale grupi stabala sa manjim dimenzijama bivaju posečena.

Standardne devijacije i interval u kome se nalazi 95% uzorka (Slike 69., 70. i 71.) su pokazali izvesnu varijabilnost u krajnjem rezultatu uzimajući u obzir srednje vrednosti za sve sastojine i klimatske periode, međutim, i pored toga prepoznate tendencije ostaju iste. Generalno gledano, češće intervencije koje su podrazumevale manje zahvate, seče manje zapremine i samim tim manje stabala, su u proseku davale bolje rezultate za sve tri ekosistemske usluge i sva tri scenarija preferencija zainteresovanih strana.

4.2. Budućnost bukve sa aspekta EQ i simulacija 4C modelom

Četvrti izveštaj Međuvladinog panela o klimatskim promenama (IPCC, 2007) predviđa porast u količini padavina na većim geografskim širinama, a smanjenje padavina u regionu Mediterana u 21. veku. Srednja godišnja temperatura u Srbiji za period 2001-2030 po A1B scenariju se predviđa da će porasti za 1°C u odnosu na referentni period 1961-1990. Do kraja veka prognoze su da će temperature po A1B i A2 scenariju porasti za 3°C, odnosno 4°C. Sa druge strane, prognoze su da će godišnje padavine nastaviti da variraju, gde se u bliskoj budućnosti očekuje blagi porast, a smanjenje do kraja veka sa značajnim promenama u sezonskoj distribuciji padavina (Božanić i Gasperič, 2010). Regionalne klimatske projekcije EBU-POM modela pokazuje da će broj tropskih dana biti uvećan, kao i broj uzastopnij sušnih dana u 21. veku (Kržič i sar., 2011).

Iako je Elenbergov koeficijent utemeljen pre skoro pola veka, njegov značaj se povećao sa razvojem klimatskih modela i modernih softverskih alata za evaluaciju prostorno orijentisanih podataka (Thuiller, 2003; Phillips i sar., 2006; Guo i Liu, 2010; Czúcz i sar., 2011;). Pored ovog biometeorološkog indeksa, razvijen je i niz drugih. Jedan od njih indeks suše (Führer i sar., 2011), koji je originalno napravljen za ocenu prinosa, a bazira se na istovetnom principu odnosa između padavina i srednjih mesečnih temperatura. Komparativne studije su pokazale da među većem broju klimatskih promenljivih kojima se može odrediti donja granica rasprostranjenja, EQ se pokazao kao najprecizniji i najpouzadniji (Mátyás et al., 2010; Czúcz et al., 2011).

Novina koju ovo istraživanje donosi je da ispituje prediktivnu sposobnost EQ za region jugo-istočne Evrope u kome se prepliću uticaji kontinentalne i mediteranske klime. Činjenica da su populacije bukve na Balkanu (Srbiji) bile razdvojene od centralno evropskih refugijuma tokom poslednjeg ledenog doba i da nisu učestvovala u rekolonizaciji Centralne i Severne Evrope (Magri i sar., 2006; Magri, 2008) daje ovom istraživanju poseban značaj. Snaga ovog istraživanja je u univerzalnosti pristupa i u mogućnosti da se on primeni i na lokalnoj skali prilikom donošenja odluka u gazdovanju šumama.

Mnoge studije do sad su se bavile različitim aspektima uticaja klime na rast bukovih šuma (Lindner i sar., 2000; Lebourgeois i sar., 2005; Čufar i sar., 2008), kao i na njenu distribuciju (Badeau i sar., 2004; Fang i Lechowicz, 2006; Peñuelas i sar., 2007; Bolte i sar., 2007; Kramer i sar., 2010; Rasztoivits, 2011). Imajući u vidu da je bukva najrasprostranjenija drvenasta vrsta u Srbiji (Banković et al., 2009), kao i da njeno prirodno rasprostranjenje obuhvata mnoge mediteranske zemlje, kao što su Španija, Francuska, Italija, Slovenija,

Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Crna Gora, Albanija i Grčka (von Wuehlisch, 2008), istraživanje njene donje granice je od izuzetnog značaja kako za šumarstvo kao privrednu granu, tako i za očuvanje biodiverziteta i ostale ekosistemke funkcije.

Nakon izuzetno suvog leta 2003., Granier i sar. (2007) su uočili negativnu fiziološku reakciju bukve i smanjenje rasta, što je argument više za upotrebu Ellenbergovog koeficijenta (Ellenberg, 1988) koji zapravo određuje pogodnost staništa u odnosu na vlažnost. Za istraživane periode, uočeni su velike potencijalne promene u arealu bukve. Do kraja ovog veka, oko 90% današnjih bukovih šuma se može naći izvan ekoloških niša koje su zauzimale u 20. veku, a skoro 50% u zoni $EQ > 40$, u kojoj se očekuje sušenje. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa rezultatima Czúcz i sar. (2011), koji su korišćenjem bioklimatskog modela zaključili da će se 56 do 99% postojećih bukovih šuma naći izvan svojih bioklimatskih niša u Mađarskoj do 2050. Rezultati dobijeni primenom najsavremenijih statističkih i procesnih model predstavljeni od strane Kramer i sar. (2010), govore u prilog smanjenja areala buke u Evropi. Njihovi rezultati su konzistentni sa rezultatima ovog istraživanja dobijenim pomoću EQ za region Srbije, sa tim da je novina koju ovo istraživanje donosi veća rezolucija koja povećava mogućnost upotrebe ovih rezultata u šumarskoj praksi.

Ekstremna suša 2003. godine u Evropi je dovela do brojnih poremećaja u funkcionisanju šumskih ekosistema, što je razmatrano od strane većeg broja autora (Granier i sar., 2007; Betsch i sar., 2011), sa generalnim zaključkom da je verovatno da će se takve ekstremne pojave u budućnosti dešavati mnogo češće. U Mađarskoj su Lakatos i Molnár (2009) zabeležili masovno sušenje bukovih šuma u periodu 2000.-2004. Raftoyannis i Radoglou (2002) su uočili da je vitalnost bukve opala u poređenju sa hrastom kitnjakom u prirodnim mešovitim sastojinama u Grčkoj tokom ekstremno sušnog leta 1998. godine. Oni su takođe uočili da je uzrok tome smanjena fotosinteza i stomatalna provodljivost što se kod bukve odrazilo i na smanjeni vodeni potencijal. Ovi rezultati ukazuju na to da se u mešovitim bukovo-hrastovim šumama sa povećanjem suše može doći do zamene bukve hrastom (kitnjakom ili cerom). Lebourgeois i sar. (2005) su kroz proučavanje veza između klime i rasta pomoću dendrohronoloških metoda zaključili da je bukva posebno osetljiva na sušu na početku vegetacione sezone i da promena klime može dovesti da promene kompetitivnih odnosa na štetu bukve, a u korist kserofitnijih vrsta kao što su hrastovi. Nakon analiza klimatskih podataka Rennenberg i sar. (2004) su sugerisali da bukva možda nema svetlu budućnost u južnom delu Centralne Evrope. Međutim, Ammer i sar. (2005) su kritikovali to istraživanja ističući kao argument njegove metodološke slabosti. U prilog potencijalnom

negativnom efektu suše na bukvu govore i Jump i sar. (2007), koji su prepoznali temperaturu kao kritični ekološki faktor za uspešnu regeneraciju bukve u regionu Mediterana.

Uprkos očekivanjima da će se bukva adaptirati na nove uslove, postoje istraživanja koja sugerišu da bukve možda nema taj potencijal. Huntley i sar. (1989) su poredili uticaj klime na distribuciju bukve (*Fagus spp.*) u Evropi i Severnoj Americi tokom Holocena gde su otkrili isti odgovor na promenu klimatskih uslova iako se razdvajanje tih populacija dogodilo pre 10 do 25 miliona godina. Ta činjenica ukazuje na oklonost da se fundamentalna fiziološka ograničenja u odnosu na klimatske uslove u rodu *Fagus* nisu bitno promenila pod uticajem evolutivnih procesa u periodu od više miliona godina.

Sa druge strane, postoje dokazi da se marginalne populacije bukve mogu bolje prilagoditi na uslove suše (Rose i sar., 2009) i da populacije bukve u južnim delovima areala pokazuju bolji ekofiziološki adaptivni kapacitet nego populacije iz Centralne Evrope (Fotelli i sar., 2009), što ublažava generalno nepovolje prognoze u vezi sa njenim opstankom. Sprovedeno istraživanje nije našlo značajan broj bukovih šuma izvan granice EQ=30 za referentni period 1961-1990. Do danas, nisu zabeležena masovna sušenja bukovih šuma u Srbiji iako je u poslednjih 35 godina bilo devet ekstremno sušnih godina (1982., 1983., 1990., 1993., 2000., 2003., 2007., 2011. i 2012.).

Modelirane vrednosti prirasta i porasta zapremine u bukovim šumama u budućim scenarijima (2001-2030 i 2071-2100) pomoću 4C modela prevazilaze trenutnu produktivnost bukovih šuma u Srbiji. Uzrok tome može biti i potencijalna precenjenost produktivnosti zemljišta, kao i potencijalno neprecizne parametrizacije bukve u modelu za uslove u Srbiji.

Jedan od primarnih ciljeva ove studije je bio da pokaže kako promena klime može uticati na različite karakteristike bukovih šuma, što je i glavna snaga procesnih modela rasta. Ovi rezultati su prvenstveno namenjeni strateškom planiranju i razmatranju različitih opcija vezano za gazdovanje šuma u Srbiji u 21. veku. Za precizniju evaluaciju prirasta koja se može koristiti u desetogodišnjem planiranju gazdovanja pogodniji su empirijski linearni modeli.

Od rezultata bitno je razmotriti da iako su temperature između period 1961-1990 i perioda 2071-2100 više i do četiri stepena, konačne zapremine su često bile veće u periodu na kraju 21. veka. Pitanje je kompleksnije nego što na prvi pogled izgleda. Procesni modeli rasta opisuju procese stvaranje organske materije i ugrađivanje u biomasu iz koje je izvedena zapremina sastojine. U ovom slučaju radi se o kalkulacijama na dnevnom nivou. Jedna od bitnih razlika između dva perioda je datum otvaranja pupoljaka koji prethodi listanju. U proseku, svaka vegetaciona sezona u period 2071-2100 počinje 15 dana ranije nego u periodu

1961-1990. U ovom slučaju, sučeljavaju se dva faktora na koji klimatske promene imaju značajan uticaj a čiji efekti se sabiraju dajući konačnu rezultantu:

1. **Suša** kao posledica povećane temperature i posledično evapotranspiracije koja dovodi do smanjenja rasta;
2. **Dužina vegetacione sezone** čije produžavanje sa porastom temperatura omogućava povećanje rasta.

Pitanje kompromisa između ova dva procesa i različitih pretpostavki na kojima su zasnovani sa jedne strane procesni modeli rasta, a sa druge strane modeli ekoloških niša¹ (zasnovani na statističkim korelacijama između ekoloških faktora) dajući tako različite odgovore na isto pitanje sa pravom razmatraju Kramer i sar. (2012). Modeli ekoloških niša su zasnovani na pretpostavci da su današnje granice rasprostranjenja vrsta iste granice koje će ograničavati distribuciju tih vrsta u budućnosti. Međutim, trajanje vegetacione sezone i promene u fenologiji nije do kraja opravdano zanemariti (što se dešava u modelima ekoloških niša), jer je postojanje tih procesa nesumnjivo a njihova rezultanta je usmerena suprotno od one koju proizvodi suša.

U Prilogu V predstavljene su sume aktivnih temperatura, kao i sume hladnih, toplih i sušnih dana. Navedene promenljive mogu pomoći u boljem razumevanju promene klimatskih uslova i njihovih složenih uticaja na različite segmente i funkcije šumskih ekosistema. Suma aktivnih temperatura predstavlja sumu svih srednjih dnevnih temperatura većih od biološkog minimuma koja za različite biljne vrste iznosi 5, 10 odnosno 15 °C. U ovoj studiji korišćena je suma aktivnih temperatura sa pragom od 5°C. Hladni dani su bili dani sa temperaturama ispod 0 °C. Topli dani su bili dani sa temperaturama iznad 30 °C, a sušni oni bez padavina.

Generalne tendencije za buduće periode su bile povećanje sume aktivnih temperatura, povećanje sume toplih dana, smanjenje hladnih dana sa izraženim ekstremima u periodu 2001-2030 i generalno variranje u sumi sušnih dana.

¹) Modeli ekoloških niša - *ecological niche models* ili *bioclimatic envelope models* (Wiens i sar., 2009)

4.3. Invazivne vrste u bukovim šumama

Za dosadašnja razmatranja invazivnih vrsta u Srbiji korišćena je opšteprihvaćene definicija prema IUCN (*International Union for Conservation of Nature*): invazivne vrste su "biljke, životinje i drugi organizmi introdukovani od strane čoveka izvan granica svog prirodnog rasprostranjenja, gde su se oni uspostavili i dalje se šire delujući negativno na lokalne ekosisteme i vrste" ili drugačije rečeno "invazivne vrste su one koje ugrožavaju biodiverzitet određenog područja na genskom, specijskom i ekosistemskom nivou". Neophodno je termin invazivne vrste razlikovati od šireg termina strane vrste (alohtone vrste ili egzote) koje mogu sadržati pomenute karakteristike invazivnih vrsta, ali i ne moraju (Lazarević i sar., 2012).

Širenje invazivnih vrsta najčešće povezujemo sa antropogenim aktivnostima i klimatskim promenama (Mooney i sar., 2000; Hellmann i sar., 2008; Obratov i sar., 2009). Na osnovu DAISIE (*Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe*) (Vilà i sar., 2009), biološke invazije alohtonih vrsta spadaju u najveće pretnje ekološkoj i ekonomskoj dobrobiti čovečanstva, a invazivne vrste su i jedna od šest ključnih oblasti u Strategiji zaštite biodiverziteta u EU (*EU 2020 Biodiversity Strategy*, 2011; Lazarević i sar., 2012).

Stručnjaci iz Zavoda za zaštitu prirode Srbije su sastavili preliminarni spisak invazivnih vrsta biljaka, vodozemaca, gmizavaca, riba, sisara i ptica. Pored toga oni su predložili i niz opštih mera za njihovu kontrolu i suzbijanje (Lazarević i sar., 2012). Na osnovu postojeće botaničke baze i geografskog informacionog sistem koje poseduje Zavod, izrađena je preliminarna lista invazivnih biljnih vrsta Srbije koje su svrstane u tri kategorije prema skali invazivnosti:

1. Jako invazivne:

- *Acer negundo* - jasenolosni javor
- *Asclepias syriaca* - cigansko perje
- *Ambrosia artemisiifolia* - ambrozija
- *Aster lanceolatus* - zvezdica
- *Bidens frondosa* - kozji rogovi
- *Erigeron annuus* - krasolika
- *Erigeron canadensis* - repušnjača
- *Helianthus tuberosus* - čičoka, morska repa
- *Solidago gigantea* - golema zlatica

- *Echinocystis lobata* - divlji krastavac
- *Echinochloa crus galli* - veliki muhar
- *Paspalum distichum* - /
- *Elodea canadensis* - vodena kuga
- *Elodea nuttallii* - Nutalova vodena kuga
- *Amorpha fruticosa* - bagremac
- *Robinia pseudoacacia* - bagrem
- *Reynoutria japonica* - reinutrija
- *Ailanthus altissima* – pajasen, kiselo drvo

2. Sporadično invazivne:

- *Azolla filiculoides* - azola
- *Impatiens glandulifera* - /
- *Impatiens parviflora* - -
- *Artemisia verlotiorum* - -
- *Aster × versicolor* - raznobojni zvezdan
- *Galinsoga ciliata* - konica
- *Galinsoga parviflora* - konica
- *Rudbeckia laciniata* - /
- *Solidago canadensis* - štap svetoga Jozefa
- *Xanthium italicum* – zelena boca
- *Armoracia rusticana* - ren
- *Sorghum halepense* - koštan
- *Fraxinus americana* – američki jasen
- *Fraxinus pennsylvanica* – pensilvanski jasen
- *Oenothera biennis* - žuti noćurak
- *Phytolacca americana* - vinobojka
- *Reynoutria sachalinensis* – /
- *Celtis occidentalis* – američki kopriivić
- *Ulmus pumila* – sitnolisni brest
- *Prunus padus* - sremza
- *Prunus serotina* - kasna sremza
- *Parthenocissus quinquefolia* - petolisni bršljan
- *Vitis riparia* - /

3. Potencijalno invazivne:

- *Amaranthus retroflexus* - štir, đipan
- *Impatiens noli-tangere* - prskavac
- *Aster novi-belgii* - /
- *Aster × salignus* - zvezdica
- *Aster tradescantii* - /
- *Conyza albida* - /
- *Conyza sumatrensis* - /
- *Helianthus decapetalus* - /
- *Iva xanthifolia* - iva
- *Matricaria discoidea* - žuta kamilica
- *Xanthium spinosum* - mali čičak
- *Xanthium strumarium* - zelena boca
- *Cuscuta campestris* - vilina kosica
- *Bryonia dioica* - tikva
- *Cyperus strigosus* - /
- *Euphorbia maculata* - /
- *Cenchrus incertus* - /
- *Eleusine indica* - /
- *Juncus tenuis* - zukva
- *Broussonetia papyrifera* - dunovac
- *Oenothera depressa* - /
- *Oxalis stricta* - zečja soca
- *Reynoutria x bohemica* - /
- *Veronica persica* - kokošija ljubica
- *Datura stramonium* - tatula
- *Lycium barbarum* - živa ograda
- *Solanum elaeagnifolium* –

U Novom Sadu, na Prirodno-matematičkom fakultetu, Departmanu za biologiju i ekologiju, Anačkov i sar.(2011) su sastavili „Listu invazivnih vrsta na području AP Vojvodine“. Lista je dostupna i u elektronskom obliku u formi baze podataka koju je moguće pretraživati na osnovu više kriterijuma na sajtu <http://iasv.dbe.pmf.uns.ac.rs/>.

Matović (2012) je napravio pregled zabeleženih vrsta u bukovim šumama Srbije:

- *Acer campestre* L.
- *Acer platanoides* L.
- *Acer pseudoplatanus* L.
- *Actaea spicata* L.
- *Aegopodium podagraria* L.
- *Ajuga reptans* L.
- *Allium ursinum* L.
- *Anemone nemorosa* L.
- *Anemone ranunculoides* L.
- *Arum maculatum* L.
- *Asarum europaeum* L.
- *Asperula taurina* L.
- *Asplenium viride* Huds
- *Athyrium filix-femina* (L.)Roth.
- *Atropa bella-dona* L.
- *Betula pendula* Roth.
- *Campanula patula* L.
- *Campanula persicifolia* L.
- *Cardamine bulbifera* (L.) Crantz.
- *Cardamine enneaphyllos* (L.)
- *Cardamine flexuosa* With.
- *Carduus personata* (L.)Jacq.
- *Carex pendula* Huds.
- *Carex pilosa* Scop.
- *Carex sylvatica* Huds.
- *Carpinus betulus* L.
- *Cephalanthera longifolia* (L.)
- *Chaerophyllum temulum* L.
- *Chelidonium majus* L.
- *Chrysosplenium alternifolium* L.
- *Circea lutetiana* L.
- *Coryllus avellana* L.
- *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott

- *Epilobium montanum* L.
- *Euphorbia amygdaloides* L.
- *Evonymus europaeus* L.
- *Fagus sylvatica* L.
- *Festuca drymeia* Mert. et Koch
- *Festuca ovina* L.
- *Fragaria vesca* L.
- *Galeopsis ladanum* L.
- *Galium album* L.
- *Galium odoratum* (L.) Scop.
- *Galium rotundifolium* L.
- *Galium sylvaticum* L.
- *Galium verum* L.
- *Geranium macrorrhizum* L.
- *Geranium robertianum* L.
- *Glechoma hederacea* L.
- *Glechoma hirsuta* W. & K.
- *Hedera helix* L.
- *Helleborus odorus* Waldst. et Kit.
- *Hieracium murorum*
- *Hypericum perforatum* L.
- *Ilex aquifolium*
- *Lamiastrum galeobdolon* (L.) E.&P.
- *Lembrotropis nigricans* (L.) Griseb.
- *Lunaria rediviva* L.
- *Luzula luzuloides* (Lam.) D. et W.
- *Luzula sylvatica* (Huds.) Gaud.
- *Melica uniflora* Retz.
- *Mercurialis perennis* L.
- *Moehringia trinervia* (L.) Clairv.
- *Mycelis muralis* (L.) Dum.
- *Oxalis acetosella* L.
- *Paris quadrifolia* L.
- *Phyteuma spicatum* L.

- *Platanthera bifolia* (L.)
- *Poa nemoralis* L.
- *Polygonatum odoratum* (Mill.) D.
- *Polygonatum verticilatum* (L.) All.
- *Polypodium vulgare* L.
- *Polystichum aculeatum*
- *Polystichum setiferum* (Forsk.) M.
- *Polytrichum commune*
- *Populus tremula* L.
- *Prenanthes purpurea* L.
- *Prunus avium* L.
- *Pteridium aquilinum* (L.) K. & D.
- *Pulmonaria officinalis* L.
- *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.
- *Rosa canina* L.
- *Rubus canescens*
- *Rubus hirtus* Wald. & Kit.
- *Ruscus hypoglossum*
- *Salix caprea* L.
- *Salvia glutinosa* L.
- *Sambucus ebulus* L.
- *Sambucus nigra* L.
- *Saxifraga rotundifolia* L.
- *Scrophularia nodosa* L.
- *Senecio nemorensis* L.
- *Sorbus torminalis* L.
- *Stachys silvatica* L.
- *Stellaria media* (L.) Vill.
- *Stellaria nemorum* L.
- *Symphytum tuberosum* L.
- *Telekia speciosa* (Schr.) Baumg.
- *Tilia tomentosa* Moench.
- *Urtica dioica* L.
- *Vaccinium myrtillus* L.

- *Veronica chamaedrys* L.
- *Veronica officinalis* L.
- *Viola odorata* L.
- *Viola silvestris* Lam.

U istraživanim bukovim šumama u Srbiji nije uočeno prisustvo invazivnih vrsta. U blizini tih šuma su uočene sađene šume bagrema (*Robinia pseudoacacia*). S obzirom da se bagrem svrstava u jako invazivne vrste postoji potencijalna ugroženost bukovih šuma na nižim nadmorskim visinama pogotovo imajući u vidu trend otopljanja usled klimatskih promena. Pored bagrema, invazivne vrste koje se mogu javiti u bukovim šumama su i kiselo drvo (*Ailanthus altissima*) i jasenolosni javor (*Acer negundo*). Uzimajući obzir dosadašnja istraživanja, Listu invazivnih vrsta na području AP Vojvodine, kao i stanje na terenu, bukove šume u ovom trenutku nisu ugrožene od strane invazivnih vrsta.

4.4. Adaptacija na promenu klime i preporuke za gazdovanje

Imajući u vidu da se na području Mediterana očekuju najizraženije negativne posledice po vegetaciju uzrokovane klimatskim promenama (IPCC, 2007), da je bukva u tom regionu široko rasprostranjena (von Wuehlisch, 2008) istraživanja o tome kakav će biti odgovor bukve na promenjenu klimu u Jugoistočnoj Evropi su brojna (Raftoyannis i Radoglou, 2002; Mátyás i sar., 2009; Fotelli i sar., 2009; Mátyás i sar., 2010; Rasztoivits, 2011; Stojanović i sar., 2012; Stojanović i sar., 2013). Mahom, sve studije ističu ugroženost bukve u određenim područjima u ovom trenutku i u većini istraživanih područja u budućnosti.

Ciais i sar. (2005), Rennenberg i sar. (2006), kao i Granier i sar. (2007) su razmatrali uticaj ekstremno sušne 2003. na primarnu produkciju, fiziološke i procese u zemljištu u evropskim šumama. Njihovi rezultati su pokazali da sušne godine generalno loše utiču na sve aspekte vitalnosti šuma. Jedna od glavnih vrsta koja se istakla po svojoj ranjivosti na sušu u tim studijama je bila bukva.

Da veza između klime i rasta bukovih šuma nije nimalo jednostavna, govori istraživanje Lenzion i Leuschner (2008), koje beleži drastičan pad produktivnosti i biomase kod podmlatka bukve u prirodi i tokom eksperimenta u uslovima smanjenog pritiska vodene pare u vazduhu.

Archaux i Wolters (2006) su razmatrali uticaj suše na biodiverzitet i napravili pregled dosadašnjih naučnih spoznaja, konstatujući, takođe sušu i klimatske promene kao realnu pretnju za biodiverzitet šumskih ekosistema.

Još su Dale i sar. (2001) ukazali na moguć uticaj klimatski promena na stabilnost šuma (režime disturbanci) navodeći da one mogu promeniti intezitet, trajanje i vreme nastanka požara, suše, gradacije insekata i patogena, vetroloma, ledenih oluja, kao i klizišta.

Kasnije je objavljen veći broj studija koje su ukazale na povećanje rizika od požara usled promena klime u Evropi i svetu (Schumacher i sar., 2006; Krawchuk i sar., 2009; Bowman i sar., 2011; Flannigan i sar., 2013; Amraoui i sar., 2013; San-Miguel-Ayanz i sar., 2013).

Veći broj studija se bavio uticajem klimatskih promena na širenje različitih inskata (Williams i Liebhold, 1995; Williams i Liebhold, 2002; Vanhanen i sar., 2007; Logan i sar., 2007; Seidl i sar., 2008; Seidl i sar., 2009;) i patogena (Brasier i sar., 1996; Bergot i sar., 2004; Desprez-Lostau i sar., 2007;). Njihov genralni zaključak je da će klimatske promene značajno uticati na šumske ekosisteme i preko uticaja na rasprostranjenost i promenu režima javljanja različitih štetočina.

Pored smanjenja vitalnosti i sigurnog nestanka nekih šuma, dodatne ugroženosti biodiverziteta i smanjenog vezivanja ugljenika, Hanewinkel i sar. (2012) navode da će usled promene klime doći i do smanjenja ekonomske vrednosti šumskog zemljišta za u proseku 28% u Evropi do kraja 21. veka. Ono što je otežavajuća okolnost za Srbiju je da se najveće promene očekuju u južnijim delovima Evrope gde se ovom studijom predviđa da će od hrastovih vrsta uspevati da opstanu samo termofilne vrste koje imaju nisku ekonomsku vrednost.

U istraživanje multifunkcionalnog gazdovanja neophodno je uključiti i druge ekosistemske usluge kao što su sprečavanje erozije, regulacija voda, korist od nedrvenih produkata ali i rekreaciju i kulturni i estetski aspekt. Schelhaas i sar.(2010) su razmatrali pitanje uticaja gazdovanja šumama na rekreacionu vrednost šuma u Evropi. Rezultat je glasilo da će usled očekivane promene gazdovanja šumam i porasta površine mreže zaštićenih područja sa 8% na 15% što postavlja Agenda NATURA 2000 kao cilj, rekreaciona vrednost šuma Evrope porasti do 2025., ali da je ovaj rezultat varijabilan za različite zemlje.

Kako se adaptirati na promenu klime?

Adaptacija na klimatske promene iziskuje opšte društvene promene. Prilagodavanje mora biti usmereno ka izmenama društvenog i ekonomskog sistema i promeni načina planiranja i gazdovanja prirodnim resursima (Neil Adger i sar., 2005; Smit i Wandel, 2006; Lawler, 2009).

Kako šumske ekosisteme učiniti otpornijim i adaptivnijim na klimatske promene i nadolazeće intezivnije sušne periode?

Mnoge studije su se bavile tim pitanjem. Konsenzus koji postoji u međunarodnoj naučnoj javnosti je da se šumama treba gazdovati na način da se postigne stanje što bliže prirodnom. Prvi primenjeni sistem gazdovanja bukovim šumama u Srbiji bio je selekcija pojedinačnih stabala, koje obezbeđuje stanje najbliže prirodnom u poređenju sa ostalim sistemima. Primenjivan je od početka 20. veka pa do početka šezdesetih godina. Nakon njega, uveden je sistem grupimičnog gazdovanja (Milin, 1988) koji j primenljiv grubo od 1960 do 1990, da bi na kraju bio uveden sistem rotacije koji se i danas formalno primenjuje i koji je najdalje od postizanja blisko prirodnog gazdovanja šumama (Koprivica i sar., 2013). Gazdovanje blisko prirodi u prvom redu podrazumeva kontinualni šumski pokrivač i raznodobnu šumu. Benecke (1996) se zalaže za povratak na selekciono gazdovanje bukovim šumama na Novom Zelandu, koje naziva „ekološkim gazdovanjem“. Lähde i sar. (1999) se zalažu da u Evropi gazdovanje bude orijentisano ka diverzitetu. Pod tim podrazumevaju pojedinačno i grupimično selektivno gazdovanje. Schütz (1999) razmatra koncept gazdovanja

bliskog prirodi, ističući njegov uspeh u Švajcarskoj i Sloveniji u proteklih 100 godina. Isti autor iznosi Švajcarska iskustva u konverziji jednodobnih u raznodobne šuma ukazujući na značaj pravilnog planiranja tog procesa i pravovremenog donošenja odluka (Schütz, 2001). Kenk i Guehne (2001) zagovaraju povratak listopadnim vrstama i konverziju veštački podignutih šuma smrče i bora u Evropi u 20. veku. Razlog za to je velika nestabilnost jednodobnih četinarčkih šuma zbog neotpornosti na vetrolome, snegolome i masovno širenje insekata. Diaci i sar. (2011) razmatraju mogućnosti integracije ekoloških aspekata i raznodobnog gazdovanja u svetlu povećanih potražnji ekosistemskih usluga šuma. Laiho i sar. (2011) poredi jednodobne i raznodobne šume zaključujući da je gazdovanje raznodobnim šumama superiornije u ekonomskom smislu. Oni posebno naglašavaju multifunkcionalni aspekt raznodobnih šuma koji pored proizvodnje drveta podrazumeva vezivanje ugljenika, mogućnost sakupljanja šumskih plodova, veći diverzitet i estetsku vrednost.

Spittlehouse i Stewart (2003) navode da na strategije adaptacije na klimatske promene u šumarstvu treba gledati kao na komponentu upravljanja rizicima u planovima za održivo gazdovanje šumama.

Lindner i sar.(2008) u izveštaju prema Evropskoj Komisiji pod nazivom „Uticaj klimatskih promena na šume u Evropi i opcije za adaptaciju “ navode da je promena klime veliki izazov za šumarstvo i šume u EU. Sumirajući sve podatke i dotadašnja znanja o ovoj temi oni izdvajaju četiri najbitnije preporuke za adaptaciju šumarstva na klimatske promene:

- 1. Dodatna istraživanja;**
- 2. Izbor vrsta, provenijencija, populacija i genotipova koji su tolerantniji na očekivane izmenjene uslove (imaju širu ekološku nišu) ili su specijalizovani za potencijalne uslove u budućnosti;**
- 3. Izmene režima gazdovanja;**
- 4. Smanjenje rizika od biotičkih i abiotičkih poremećaja.**

Posebna snaga i inovativnost ove teze se ogleda u činjenici da je ovo prva studija u šumarstvu u Srbiji koja se bavi razmatranjem sudbine bukve u 21. veku, uzimajući u obzir različite klimatske uslove, različite režime gazdovanja, a sve koristeći najsavremenije modelarske alate.

Mogućnosti za unapređenje studije su preciznije podešavanje parametara rasta za bukvu u Srbiji u okviru 4C modela.

Šanse za dalja istraživanja u sferi multifunkcionalnog gazdovanja šumama u Srbiji i pitanje biodiverziteta je i procena uticaja buduće evropske mreže zaštićenih područja NATURA 2000 na različite ekosistemске usluge šumskih ekosistema u Srbiji.

Bitno je ponoviti da rezultati ove teze ukazuju na povoljan uticaj češćih intervencija koje su podrazumevale manje zahvate i seče manjih zapremine (u poređenju sa ređim intervencijama većeg obima) na ostvarivanje različitih ciljeva gazdovanja i istovremenog obezbeđivanja ekosistemskih usluga

Iako u ovom trenutku nema podataka o značajnijoj ugroženosti bukovih šuma u Srbiji, rezultati dobijeni ovim istraživanjem impliciraju neophodnost daljeg kritičkog razmatranja i istraživanja u oblasti gazdovanja bukovim šumama sa posebnim akcentom na strategije i mere adaptacije na regionalnom i lokalnom nivou usled rizika koji nosi promena klime.

5. ZAKLJUČAK

Detaljne analize rezultata dobijenih pomoću dva različita metoda pristupa, a vezanih za distribuciju, rast, adaptivno i multifunkcionalno gazdovanje bukovim šumama u Srbiji u klimatskim uslovima 21. veka upućuju na sledeće zaključke:

1. Izmenjeni klimatski uslovi će imati uticaj na rast i distribuciju bukovih šuma u 21. veku na osnovu simulacija sa 4C modelom i predikcija pomoću Elenbergovog koeficijenta;
2. Na kraju simuliranog perioda 2001-2030 pomoću 4C modela zabeležene su veće zapremine za devet sastojina monodominantnih bukovih šuma u odnosu na referentni period 1961-1990, dok su zapremine na kraju perioda 2071-2100 po pravilu bile veće ili slične referentnom periodu;
3. Simulacije u period 2001-2030 su proseku imale najveće godišnje priraste i najviše mrtvog drveta, a one u period 1961-1990 najmanje;
4. Najbolje rezultate za vezivanje ugljenika i očuvanje biodiverziteta je pokazao scenario gazdovanja u kojem nije bilo intervencija. Suprotno tome, najviše prinosa drveta je zabeleženo u scenarijima sa najintenzivnijim intervencijama;
5. U adaptivnom, multifunkcionalnom gazdovanju bukovim šumama za scenarija preferencija koje su kreirale tri grupe zainteresovanih strana (Uprava za šume, sektor zaštite prirode i JP „Srbijašume“) pokazalo se da gazdovanje koje podrazumeva češće zahvate (pet godina između seča) daje bolje rezultate u odnosu scenarija koji podrazumevaju desetogodišnje interval, što podrazumeva i buduće klimatske uslove;
6. Scenariji gazdovanja u kojima su posečena visoka stabla su pokazale bolje rezultate u multifunkcionalnom gazdovanju u odnosu na scenarija gde su sečena niža stabla u istom zapreminskom odnosu za sva scenarija preferencija zainteresovanih strana.
7. Elenbergov koeficijent je pokazao dobru prediktivnu sposobnost za određivanje donje granice distribucije bukovih šuma u Srbiji;
8. Do kraja 21. veka okvirno 90% današnjih bukovih šuma će se naći izvan bioklimatske ekološke niše u kojoj su bili u 20. veku, dok će se 50% naći u zoni u kojoj je zabeležen njen masovni mortalitet u Mađarskoj;
9. Izračunate granice EQ su bile nešto niže od dobijenih u sličnim studijama u region (Mađarska) što implicira striktan regionalni i lokalni pristup problemu;

10. Poređenje rezultata simulacija sa 4C modelom i EQ za posmatranih devet sastojina je pokazalo različite trendove vezano za rast (distribuciju) bukovih šuma u Srbiji do kraja 21. veka. 4C model je predvideo poboljšanje uslova, dok je EQ predvideo pogoršanje uslova. Iz tog razloga potrebna su dalja kontinuirana dugoročna istraživanja bukovih šuma kako bi smo dobili pouzdaniju osnovu za procenu budućeg rasprostranjenja, rasta i planiranja gazdovanja ovim šumama u budućnosti.

6. LITERATURA

1. Agencija za zaštitu životne sredine (2008): " Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2007. godinu" http://www.sepa.gov.rs/downloadIzveštaj_2007_Web.pdf, Beograd, str. 182.
2. Allison, I., Bindoff, N. L., Bindschadler, R. A., Cox, P. M., de Noblet, N., England, M. H., ... Weaver, A. J. (2011): The Copenhagen Diagnosis: Updating the world on the latest climate science. Elsevier, Oxford, UK, 114 str.
3. Ammer, V.Ch., Albrecht, L., Borchert, H., Brosinger, F., Dittmar, Ch., Elling, W., Ewald, J., Felbermeier, B... Stimm, B. (2005): Future suitability of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Central Europe: Critical remarks concerning a paper of Rennenberg et al. (2004) | [Zur zukunft der buche (*Fagus sylvatica* L.) in mitteleuropa. Kritische anmerkungen zu einem beitrag von Rennenberg et al. (2004)] Allg. Forst. Jagdztg. 176 (4), 60-67.
4. Amraoui, M., Liberato, M.L.R., Calado, T.J., DaCamara, C.C., Coelho, L.P., Trigo, R.M., Gouveia, C.M., (2013): Fire activity over Mediterranean Europe based on information from Meteosat-8. *Forest Ecology and Management* 294, 62–75.
5. Anačkov, G., Bjelić-Čabrilo, O., Karaman, I., Karaman, M., Radenković, S., Radulović, S., Vukov, D., Pal, B. (2011): Lista invazivnih vrsta na području AP Vojvodine. Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet. <http://iasv.dbe.pmf.uns.ac.rs/>
6. Araújo, M. B., Whittaker, R. J., Ladle, R. J., & Erhard, M. (2005): Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change, 529–538.
7. Archaux, F., & Wolters, V. (2006): Impact of summer drought on forest biodiversity: what do we know?. *Annals of Forest Science*, 63(6), 645-652.
8. Avi-Yonah, R., & Uhlmann, D. (2009): Combating global climate change: Why a carbon tax is a better response to global warming than cap and trade. *Stanford Environmental Law Journal*, 28(3).
9. Badeau, V., Dupouey J.L., Cluzeau C., Drapier, J., Bas, C. (2004): Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises. Rapport final du projet CARBOFOR : séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/evaluer_predire_les_impacts/rechauffement_climatique_et_foret [online 08 December 2012]

10. Badeck, F.-W., Lischke, H., Bugmann, H., Hickler, T., Hönninger, K., Lasch, P., Lexer, M.J., Mouillot, F., Schaber, J., and Smith, B. (2001): Tree Species Composition in European Pristine Forests: Comparison of Stand Data to Model Predictions. *Climatic Change* 51, 307-347.
11. Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N. (2009): Nacionalna inventura šuma Republike Srbije - Šumski fond Republike Srbije. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, Uprava za šume, Beograd.
12. Benecke, U., (1996). Ecological Silviculture: The application of age-old methods. *New Zealand Forestry*, August 1996, pp. 27-33.
13. Bergot, M., Cloppet, E., Pérarnaud, V., Déqué, M., Marçais, B., & Desprez-Loustau, M. L. (2004): Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Global Change Biology*, 10(9), 1539-1552.
14. Betsch, P., Bonala, D. Bredaa, N., Montpieda, P., Peiffer, M., Tuzetc, A., Graniera, A., (2011): Drought effects on water relations in beech: The contribution of exchangeable water reservoirs. *Agric. For. Meteorol.* 151, 531–543.
15. Bolte, A., Czajkowski, T., Kompa, T. (2007): The north-eastern distribution range of European beech - A review. *Forestry* 80, 413-429.
16. Bowman, D.M.J.S., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W.J., Cochrane, M. a, D'Antonio, C.M., Defries, R., ... Whittaker, R. (2011): The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of biogeography* 38, 2223–2236.
17. Božanić D., Gasperič M. (editori) (2010): Initial National communication of the Republic of Serbia under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Belgrade. www.unfccc.int/resource/docs/natc/srbnc1.pdf
18. Brasier, C. M. (1996): *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. In *Annales des Sciences Forestieres* (Vol. 53, No. 2-3, pp. 347-358). EDP Sciences.
19. Büttler R, Angelstam P, Ekelund P, Schlaepfer R (2004): Dead wood threshold values for the three-toed woodpecker presence in boreal and sub-Alpine forest. *Biol Conserv* 119:305–318.
20. Christensen, M., Hahn, K., Mountford, E. P., Ódor, P., Standovár, T., Rozenbergar, D., ... & Vrska, T. (2005): Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 210(1), 267-282.

21. Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., ... & Valentini, R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058), 529-533.
22. Clark P.H. J., Evans F. C. (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(4): 445-453.
23. Čokeša, V., Koprivica, M., Stajić, S., Miletić, Z., Matović, B. (2012): Natural regeneration of beech forests in Serbia. *Sustainable Forestry*, 65-66, 27-39.
24. Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, K.L. Ebi, M. Hauengue, R.S. Kovats, B. Revich, Woodward, A. (2007): Human health. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.
25. Čufar, K., Prislán, P., de Luis, M., Gričar, J., (2008): Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees* 22, 749–758.
26. Czúcz, B., Gálhidy, L., Mátyás, C. (2011): Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Ann. For. Sci.* 68 (1), 99-108.
27. Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D., ... Michael Wotton, B. (2001): Climate Change and Forest Disturbances: Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience*, 51(9), 723-734.
28. Daly, C., Bachelet, D., Lenihan, J.M., Neilson, R.P., Parton, W.J., Ojima, D. (2000): Dynamic Simulation of Tree-Grass Interactions for Global Change Studies. *Ecological Applications* 10(2), 449-469.
29. Davidson R L. (1969): Effect of root/leaf temperature differentials on root/shoot ratios in some pasture grasses and clover. *Annals of Botany*. 33, 561-569.
30. Davies Z.G., Tyler C., Stewart G.B., Pullin A.S. (2008): Are current management recommendations for conserving saproxylic invertebrates effective? *Biodivers Conserv* 17, 209–234.
31. De Candolle , A. (1855): *Geographie Botanique raisonnée*. Paris et Genève: Masson, Kessmann (in French).

32. DeLiocourt, F. (1898): De l'aménagement des Sapiniers. *Bul. Soc. For. Franche-Compte' et Belfort*, 396–409.
33. Desprez-Loustau, M. L., Robin, C., Reynaud, G., Déqué, M., Badeau, V., Piou, D., ... Marçais, B. (2007): Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest-pathogenic fungi. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 29(2), 101-120.
34. Diaci, J., Kerr, G., O'Hara, K. (2011): Twenty-first century forestry: integrating ecologically based, uneven-aged silviculture with increased demands on forests. *Forestry* 84 (5), 463-465.
35. Dickson, J.G., Conner, R.N., Williamson, J.H. (1983): Snag retention increases bird use of a clear-cut. *J Wildl Manage* 47, 799–804.
36. Dingman, S.L., Seely-Reynolds, D.M., Reynolds, R.C. (1988): Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence. *Water Resour. Bull.* 24 (2), 329-339.
37. Doran, P., Zimmerman, M. K. (2009): Examining scientific consensus on climate change. *Eos*, 90, 22-23.
38. Djurdjevic, V., Rajkovic, B. (2008): Verification of a coupled atmosphere-ocean model using satellite observations over the Adriatic Sea, *Annales Geophysicae*, 26(7), 1935-1954.
39. EC-European Commission. (2011). EU biodiversity strategy to 2020. COM (2011),244.
40. Ellenberg, H. (1988): *Vegetation ecology of Central Europe*. Fourth edition. Cambridge University Press, Cambridge.
41. Enquist, F. (1929): *Studier över samtliga växlingar i klimat och växtlighet*. Meddn. Lunds Geogr. Instn., Lund (in Swedish).
42. Fang, J., Lechowicz, M.J. (2006): Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *J. Biogeogr.* 33, 1804-1819.
43. Fennessy, M.J., Shukla, J. (1999): Seasonal prediction over North America with a regional model nested in a global model. *J. Climate* 13, 2605-2627.
44. Flannigan, M., Cantin, A.S., de Groot, W.J., Wotton, M., Newbery, A., Gowman, L.M., (2013): Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management* 294, 54–61.

45. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011): Climate Change for Forest Policy-Makers An approach for integrating climate change into national forest programmes in support of sustainable forest management. Rome.
46. Fotelli, M.N., Nahm, M., Radoglou, K., Rennenberg, H., Halyvopoulos, G., Matzarakis A. (2009): Seasonal and interannual ecophysiological responses of beech (*Fagus sylvatica*) at its south-eastern distribution limit in Europe. *Forest Ecol. Manag.* 257, 1157-1164.
47. Führer, E., Horváth, L., Jagodics, A., Machon, A., Szabados, I. (2011): Application of new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115 (3), 205-216.
48. Földner K. (1995): Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. *Forstarchiv* 66:235-240.
49. Fürstenau, C., Badeck, F.W., Lasch, Petra, Lexer, M.J., Lindner, M., Mohr, P., Suckow, F. (2006): Multiple-use forest management in consideration of climate change and the interests of stakeholder groups. *European Journal of Forest Research* 126, 225–239.
50. Gini, C. (1912): *Variabilita e mutabilita*. Bologna.
51. Goepel, K., D. (2013) AHP Analytic Hierarchy Process. Excel sheet. <http://bpmsg.com/wp-content/uploads/2013/05/AHPcalc-v08-05-13.pdf>
52. Goetz , J. (1935): Buk (*Fagus silvatica* L.) w poznańskim na wschodnim pograniczu swego rozmieszczenia. *Prace 1-go polskiego Naukowego Zjazdu Le ś niczego*, Poznań , Poland (in Polish).
53. Graham, L.P., Andréasson, J., Carlsson, B. (2007): Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin. *Clim. Change* 81, 293–307.
54. Granier, A., Reichstein, M., Breda, N., Janssens, I.A., Falge , E., Ciais, P., Grunwald, T., Aubinet,... Wang, Q. (2007): Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agric. For. Meteorol.* 143, 123-145.
55. Grisebach , A. (1872): *Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung: ein Abriss der vergleichenden Geographie der Pflanzen* . J. Engelmann , Leipzig, Germany. (in German).
56. Guo, Q., Liu, Y. (2010): ModEco: an integrated software package for ecological niche modeling. *Ecography*, 33(4), 637–642. doi:10.1111/j.1600-0587.2010.06416.x

57. Gutsch, M., Lasch, P., Suckow, F., & Reyer, C. (2011): Management of mixed oak pine forests under climate scenario uncertainty, *Forest Systems*, 20(3), 453–463.
58. Hagemann, S, Arpe, K., Roeckner, E. (2006): Evaluation of the Hydrological Cycle in the ECHAM5 Model. *J. Climate*, 19, 3810–3827.
59. Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., & Zimmermann, N. E. (2012): Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3(3), 203-207.
60. Hansen, J. (2009). *Storms of my grandchildren: The truth about the coming climate catastrophe and our last chance to save humanity*. Bloomsbury Publishing.
61. Haxeltine A, Prentice I, Colin C, Ian D. (1996): A coupled carbon and water flux model to predict vegetation structure. *Journal of Vegetation Science* 7, 651-666,
62. Haxeltine, A. and Prentice, I. C. (1996): A general model for the light-use efficiency of primary production. *Functional Ecology* 10(5), 551-561.
63. Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., & Dukes, J. S. (2008): Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534-543.
64. Hjelmqvist, H. (1940): *Studien über die Abhängigkeit der Baumgrenzen von der Temperaturverhältnissen unter besonderer Berücksichtigung der Buche und ihrer Klimarassen*. Blom, Lund, Germany (in German).
65. Hofmann, G. (2001): *Mitteleuropäische Waldökosysteme in Wort und Bild*. AFZ/Der Wald. CD-Rom. Special edition (in German).
66. Hueck, K. (1936): *Pflanzengeographie Deutschlands*. Bermühler, Berlin, Germany (in German).
67. Huntley, B., Bartlein, P.J. & Prentice, I.C., (1989): Climatic control of the distribution and abundance of beech (*Fagus L.*) in Europe and North America. *J. Biogeogr.* 16, 551–560.
68. Huntley, B., Berry, P.M., Cramer, W., McDonald, A.P. (1995): Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces. *J. Biogeogr.* 22, 967–1001.
69. Ilinskij, A.P. (1937): *Moskwa-Leningrad: Rastitelnost ziemnogo szara*. Botaniczij Inst. Akad. Nauk. SSSR, (in Russian).
70. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change. 2007. http://ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1

71. Jäger, D., Rammer, W., and Lexer, M.J. (2004): PICUS v2.0 a 3-dimensional physiology-based forest patch model. In: Hasenauer, H. and Mäkelä, A.(eds.): Proceedings of the International Conference on Modeling Forest Production, 19 - 22, April 2004, Vienna, Austria, 176 - 183.
72. Jahn, G. (1991): Temperate deciduous forests of Europe. Ecosystems of the world 7. Temperate deciduous forests (eds. By E. Rohrig & B. Ulrich), 377–502, Elsevier, London.
73. Jedliński, W. (1922): O granicach naturalnego zasięgu buk, jodły i świerka . Zamość (in Polish).
74. Jump, S., Hunt, J.M., Penuelas, J. (2007): Climate relationships of growth and establishment across the altitudinal range of *Fagus sylvatica* in the Montseny mountains, northeast Spain. *Ecoscience* 14, 507–518.
75. Kangas, J., Kangas, A. (2005): Multiple criteria decision support in forest management—the approach, methods applied, and experiences gained. *Forest Ecology and Management* 207, 133–143.
76. Keane, R. E., Morgan, P., Running, S.W. (1996): FIRE-BGC - A mechanistic ecological process model for simulating fire succession on coniferous forest landscapes of the northern Rocky Mountains. Ogden, UT, United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station.
77. Kenk, G., Guehne, S. (2001) Management of transformation in central Europe. *For. Ecol. Manage.* 151, 107–119.
78. Kint, V., Lasch, P., Lindner, M., Muys, B., (2009): Multipurpose conversion management of Scots pine towards mixed oak–birch stands—A long-term simulation approach. *Forest Ecology and Management* 257, 199–214.
79. Köppen, F.T. (1889): Geographische Verbreitung der Holzgewächse des Europäischen Russlands und des Kaukasus . St Petersburg, Germany. (na Nemačkom).
80. Koprivica, M., Matović, B., Stajić, S., Čokeša, V., Jović, Đ. (2013): Dead wood in managed beech forests in Serbia. *Šumarski list*, 137(3-4), 173-182.
81. Kramer, K., Bijlsma, R. J., Hickler, T., & Thuiller, W. (2012): Why would plant species become extinct locally if growing conditions improve?. *International Journal of Biological Sciences*, 8(8), 1121.
82. Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, T., Thuiller, W., Sykes, M.T., de Winter, W., (2010): Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus*

- sylvatica* L.) under climate change – range, abundance, genetic diversity and adaptive response *Forest Ecol. Manag.* 259, 2213-2222.
83. Krawchuk, M., Moritz, M., Parisien, M.-A., Van Dorn, J., Hayhoe, K., (2009): Global pyrogeography: the current and future distribution of wildfire. *PloS one* 4(4), e5102.
84. Kržič, A., Tošić, I., Djurdjević, V., Veljović, K., Rajković, B. (2011): Changes in climate indices for Serbia according to the SRES-A1B and SRES-A2 scenarios. *Climate Res.* 49 (1), 73-86.
85. Kuuluvainen, T., Penttinen, A., Leinonen, L., Nygren, M. (1996): Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: an example from boreal Spruce forest in Southern Finland. *Silva Fennica* 30 (2/3), 315–328.
86. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto, (1997).
87. Lähde, E., Laiho, O. and Norokorpi, Y. (1999): Diversity-oriented silviculture in the boreal zone of Europe. *For. Ecol. Manage.* 118, 223–243.
88. Laiho, O., Lähde, E., Pukkala, T. (2011): Uneven- vs even-aged management in Finnish boreal forests. *Forestry* 84 (5), 547-556.
89. Lakatos, F., Molnar, M. (2009): Mass mortality of beech on Southwest Hungary. *Acta Silv. Lign. Hung.* 5, 75–82.
90. Lal, R. (2005): Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management*, 220(1), 242-258.
91. Landsberg, J.J., Waring, R. H. (1997): A Generalised Model of Forest Productivity Using Simplified Concepts of Radiation-Use Efficiency, Carbon Balance and Partitioning. *Forest Ecology & Management* 95(3), 209-228.
92. Lasch, P., Badeck, F.W., Suckow, F., Lindner, M., Mohr, P. (2005): Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). *Forest Ecology and Management* 207(1-2), 59-74.
93. Lasch, P., F.-W. Badeck, M. Lindner and F. Suckow. (2002): Sensitivity of simulated forest growth to changes in climate and atmospheric CO₂. *Forstwiss Centralblatt.* 121 (Supplement 1): 155-171.
94. Lawler, J.J. (2009): Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 79-98.

95. Lazarević, P., Stojanović, V., Jelić, I., Perić, R., Krsteski, B., Ajtić, R., Sekulić, N., Branković, S., Sekulić, G., & Bjedov, V. (2012): Preliminarni spisak invazivnih vrsta u Republici Srbiji sa opštim merama kontrole i suzbijanja kao potpora budućim zakonskim aktima. *Zaštita prirode*, 62(1), 5-31.
96. Le Quéré, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Marland, G., ... (2009): Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience* 22, 831 – 836.
97. Lebourgeois, F., Breda, N., Ulrich, E., Granier, A. (2005): Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees* 19, 385–401.
98. Lenzion, J., & Leuschner, C. (2008): Growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings is limited by elevated atmospheric vapour pressure deficits. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 648-655.
99. Leuschner, Ch., Voss, S., Foetzki, A., Clases, Y. (2006): Variation in leaf area index and stand leaf mass of European beech across gradients of soil acidity and precipitation. *Plant Ecology*, 186, 247-258.
100. Lexer, M. J., Lexer, W., & Hasenauer, H. (n.d.). (2000): The use of forest models for biodiversity assessments at the stand level. *Forest Systems* 9(3).
101. Lexerød, N.L., Eid, T. (2006): An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning. *Forest Ecology and Management* 222, 17–28.
102. Lindner, M., Garcia-Gonzalo, J., Kolström, M., Green, T., Reguera, R., Maroschek, M., ... Corona, P. (2008): Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development.
103. Lindner, M., Lasch, P. & Erhard, M. (2000): Alternative forest management strategies under climatic change – prospects for gap model applications in risk analyses. *Silva Fenn.* 34(2), 101–111.
104. Littell, J. S., McKenzie, D., Kerns, B. K., Cushman, S., & Shaw, C. G. (2011): Managing uncertainty in climate-driven ecological models to inform adaptation to climate change. *Ecosphere*, 2(9).
105. Loehle, C., LeBlanc, D. (1996): Model-based assessments of climate change effects on forests: a critical review. *Ecological Modelling* 90, 1-31.

106. Logan, J. A., Régnière, J., Gray, D. R., Munson, A. S. (2007): Risk assessment in the face of a changing environment: gypsy moth and climate change in Utah. *Ecological Applications*, 17(1), 101-117.
107. Lohmann, L. (2006): A licence to carry on polluting? *New Scientist* 2580.
108. Magri, D. (2008): Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography*, 35(3), 450–463.
109. Magri, D., Vendramin, G. G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latałowa, M., et al. (2006): A new scenario for the quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *The New phytologist*, 171(1), 199–221.
110. Manel, S., Williams, H.C., Ormerod, S.J. (2001): Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *J. Appl. Ecol.* 38, 921–931.
111. Marin-Pageo, F., Rapp-Arraras, I. (2013): The application of the Liocourt model to uneven-aged cork oak stands. *Italian Journal of Forest and Mountain Environments*, 68(2), 85-93.
112. Matović B. (2012): Odnosi strukture, specijskog i ekosistemskog diverziteta visokih bukovih šuma Srbije. Disertacija. Biološki fakultet, Beograd.
113. Mátyás, C. (2010): Forecasts needed for retreating forests (Opinion). *Nature*, 464:(1271).
114. Mátyás, C., Berki, I., Czúcz, B., Gálos, B., Moricz, N., Rasztoivits, E. (2010): Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology. *Acta Silv. Lign. Hung.* 6, 91-110.
115. Mátyás, C., Bozic, G., Gömöry, D., Ivanković, M., Rasztoivits, E. (2009): Juvenile growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. *iForest* 2, 213-220.
116. Mátyás, C., Vendramin, G.G., Fady, B. (2009): Forests at the limit: evolutionary–genetic consequences of environmental changes at the receding (xeric) edge of distribution. *Ann For Sci* 66, 800–803.
117. Mayr, H. (eds). (1925): *Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage*. Parey, Berlin, Germany. (na Nemačkom).
118. MCPFE, (2003): Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7–8 October 2002. Vienna, Austria, 6 pp.

119. Meer, P., Kramek, K. & Wjik, M. (2001): Climate change and forest ecosystem dynamics. Amsterdam, RVIM Report, No. 410200069. 130 pp.
120. Mendoza, G. a., Martins, H., (2006): Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230, 1–22.
121. Milin, Ž. (1988): Grupimično gazdovanje - teorijske osnove, osobine i primena. Beograd: Šumarski fakultet.
122. Mlinšek, D. (1967): Wachstum und Reaktionsfähigkeit der Urwaldbuchen auf der Balkanhalbinsel (Bosnien). IUFRO-Kongress München IV, 425–435.
123. Mooney, H. A., & Hobbs, R. J. (Eds.). (2000). *Invasive species in a changing world*. Island Press.
124. Müller, J., Bütler, R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research*, 129(6), 981-992.
125. Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., ... & Dadi, Z. (2000): *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
126. Neil Adger, W., Arnell, N. W., Tompkins, E. L. (2005): Successful adaptation to climate change across scales. *Global environmental change*, 15(2), 77-86.
127. Obratov-Petković, D., Bjedov, I., Radulović, S., Skočajić, D., Đunisijević-Bojović, D., Đukić, M. (2009): Ekologija i rasprostranjenje invazivne vrste *Aster-lanceolatus* willd. na vlažnim staništima Beograda. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 100, 159-178
128. Pax , F. (1918): *Die Pflanzengeographie von Polen (Kongreß-Polen)* . Reimer , Berlin, Germany (na Nemačkom).
129. Peñuelas, J., Ogaya, R., Boada, M.S., Jump, A. (2007): Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography*, 30, 829–837.
130. Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231–259.
131. Pingoud, K., Perälä, A. L., Pussinen, A. (2001): Carbon dynamics in wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 6(2), 91-111.

132. Piovesan, G., Bernabei, M., Di Filippo, A., Romagnoli, M., Schirone, B. (2003): A longterm tree ring beech chronology from a high-elevation old-growth forest of Central Italy. *Dendrochronologia* 21, 13–22.
133. Pommerening, A. (2002): Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75(3), 305-324.
134. Popović T, Đurđević V, Živković M, Jović B, Jovanović M. (2009): Promene klime u Srbiji i očekivani uticaji. Peta regionalna konferencija "EnE09 - Životna sredina ka Evropi", Beograd.
135. Prato, T. (2007): Accounting for risk and uncertainty in determining preferred strategies for adapting to future climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(1), 47–60.
136. Prato, T. (2008): Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *Ecological Complexity* 5(4), 329-338.
137. Pretzsch H., 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 11, 213-221.
138. R Development Core Team (2012): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
139. Raftoyannis, Y., Radoglou, K. (2002): Physiological responses of beech and sessile oak in a natural mixed stand during dry summer. *Ann. Bot.* 89, 723-730.
140. Rasztovits E., (2011): Modelling the future distribution of beech at low-elevation xeric limits - comparison of empirical and stochastic models. PhD Dissertation, Sopron.
141. Reemer M (2005): Saproxylic hoverflies benefit by modern forest management (Diptera: Syrphidae). *J Insect Conserv* 9, 49–59.
142. Rennenberg, H., Loreto, F., Polle, A., Brilli, F., Fares, S., Beniwal, R. S., & Gessler, A. (2006): Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant Biology*, 8(5), 556-571.
143. Rennenberg, H., Seiler, W., Matyssek, R., Gessler, A., Kreuzwieser, J. (2004): European beech (*Fagus sylvatica* L.) - A forest tree without future in the south of Central Europe? | [Die buche (*Fagus sylvatica* L.) - Ein waldbaum ohne zukunft im 497 südlichen Mitteleuropa?] *Allg. Forst. Jagdztg.* 175 (10-11), 210-224.
144. Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ)
http://www.hidmet.gov.rs/index_eng.php

145. Robeldo, C., Forner C. (2005): Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change. Food and Agriculture Organization, Rome.
146. Rose, L., Leuschner, C., Köckemann, B., Buschmann, H. (2009): Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? *Eur. J. For. Res.* 128, 335–343.
147. Ruml, M., Vuković, A., Vujadinović, M., Djurdjević, V., Ranković-Vasić, Z., Atanacković, Z., Sivčev, B., Marković, N., Matijašević, S., Petrović N. (2012): On the use of regional climate models: Implications of climate change for viticulture in Serbia. *Agric. For. Meteorol.* 158, 53-62.
148. Saaty, T. L. (1988): What is the analytic hierarchy process? (pp. 109-121). Springer Berlin Heidelberg..
149. Sacquet, A.M. (2005): World Atlas of Sustainable Development: Economic, Social and Environmental Data. Anthem Press, London. 76pp.
150. San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J.M., Camia, A. (2013): Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management* 294, 11–22.
151. Sarkar, D (2008): Lattice: Multivariate Data Visualization with R, Springer. ISBN: 978-0-387-75968-5. <http://lmdvr.r-forge.r-project.org/>
152. Schaber, J., Badeck, F.-W. (2003): Physiology based phenology models for forest tree species in Germany. *Intern. J. Biometeorol.* 47(4), 193-201
153. Schelhaas, M.-J., Edwards, D., Didion, M., Hengeveld, G., Nabuurs, G.-J., Mason, B., Lindner, M., Moiseyev, A., ... Weiss., G. (2010): Modelling the Impacts of Forest Management Alternatives on Recreational Values in Europe. EFORWOOD Report. <http://edepot.wur.nl/159902>
154. Schulp, C. J., Nabuurs, G. J., & Verburg, P. H. (2008): Future carbon sequestration in Europe—effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(3), 251-264.
155. Schumacher, S., Reineking, B., Sibold, J., Bugmann, H. (2006): Modeling the Impact of Climate and Vegetation on Fire Regimes in Mountain Landscapes. *Landscape Ecology* 21, 539–554.
156. Schütz, J. P. (1999): Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity?. *Forestry*, 72(4), 359-366.
157. Schütz, J. P. (2001): Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests. *Forest Ecology and Management*, 151(1), 87-94.

158. Schwenk, W.S., Donovan, T.M., Keeton, W.S., Nunery, J.S. (2012): Carbon storage, timber production, and biodiversity: comparing ecosystem services with multi-criteria decision analysis. *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America* 22, 1612–27.
159. Seidl, R., Lexer, M.J., (2013): Forest management under climatic and social uncertainty: trade-offs between reducing climate change impacts and fostering adaptive capacity. *Journal of environmental management* 114, 461–9.
160. Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D., & Lexer, M. J. (2008): Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 209-220.
161. Seidl, R., Schelhaas, M. J., Lindner, M., Lexer, M. J. (2009): Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies. *Regional Environmental Change*, 9(2), 101-119.
162. Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K., Kira, T. (1964): A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory. I. Basic analysis. *Jap J of Ecology*. 14, 97-105.
163. Sitch S., Smith B., Prentice I.C., Arneth A., Bondeau A., Cramer W., Kaplan J.O., Levis S., Lucht W., ... Venevsky S. (2003): Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic Global Vegetation Model. *Global Change Biology* 9, 161-185.
164. Skog, K. E., & Nicholson, G. A. (1998): Carbon cycling through wood products: the role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal*, 48(7), 75-83.
165. Smit, B., Wandel, J. (2006): Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292.
166. Spittlehouse, D. L., & Stewart, R. B. (2004): Adaptation to climate change in forest management. *Journal of Ecosystems and Management*, 4(1).
167. Stavins, R. N. (2001): Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments. Discussion Paper 01-58 (Washington, D.C.: Resources for the Future). Preuzeto 16.08.2013.
168. Stojanović, D., Matović, B., Orlović, S., Kržič, A., Đurđević, V., Galić, Z., Vuković A., Vujadinović M. (2012): Upotreba indeksa suše za evaluaciju uticaja promene klime na bukove šume u Srbiji. *Topola* 189/190, 109-117.

169. Stojanović, D.B., Kržič, A., Matović, B., Orlović, S., Duputic, A., Djurdjević, V., Galić, Z., Stojnić, S. (2013): Prediction of the European beech (*Fagus sylvatica* L.) xeric limit using a regional climate model: An example from southeast Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 176, 94–103.
170. Stojanović, Lj. (editor) (2005): *Bukva u Srbiji*. Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Šumarski fakultet, Beograd.
171. Stojanović, Lj. (editor) (2005): *Bukva u Srbiji*. Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Šumarski fakultet, Beograd.
172. Sullivan, T.P., Sullivan, D.S. (2001): Influence of variable retention harvest on forest ecosystems. II Diversity and population dynamics of small mammals. *J Appl Ecol* 38, 1234–1252.
173. Swets, K.A. (1988): Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.
174. Sykes, MT, Prentice IC. (1996): Carbon storage and climate change in Swedish forests: a comparison of static and dynamic modelling approaches. *Forest ecosystems, forest management and the global carbon cycle*. Apps, M. and Price, D. T. Berlin Heidelberg New York, Springer. 40, 69-78.
175. Tarasiuk, S. (1999): Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) na obrzeżach zasięgu w Polsce. Fundacja Rozwój. SGGW, Warszawa, Poland (in Polish with English summary).
176. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Rio de Janeiro, 1992. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
177. Thornley, J.H.M., Cannell, M.G.R. (2000): Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Physiology*, 20(7), 477-484.
178. Thuiller, W. (2003): BIOMOD - optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9(10), 1353–1362.
179. Tomić, Z. (1992): Šumske fitocenoze Srbije. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
180. Trotsiuk, V., Hobi, L. M., Commarmot, B. (2012): Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *Forest Ecology and Management* 265, 181–190.

181. Vanhanen, H., Veteli, T.O., Päivinen, S., Kellomäki, S., Niemelä, P., (2007): Climate Change and Range Shifts in Two Insect Defoliators : Gypsy Moth and Nun Moth – a Model Study 41.
182. Vilà, M., Basnou, C., Pyšek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S., ... & Hulme, P. E. (2009): How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(3), 135-144.
183. von Wuehlich, G. (2008): EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*). Bioversity International, Rome.
184. Walter, H. (1971): Ecology of tropical and subtropical vegetation. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
185. Westphal, C., Tremer, N., Oheimb, G. V., Hansen, J., Gadow, K. V., & Härdtle, W. (2006): Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests?. *Forest Ecology and Management*, 223(1), 75-83.
186. Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A., & Snyder, M. A. (2009): Niches, models, and climate change: assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19729-19736.
187. Williams, D. W., & Liebhold, A. M. (2002). Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 4(2), 87-99.
188. Williams, D. W., Liebhold, A. M. (1995): Forest defoliators and climatic change: potential changes in spatial distribution of outbreaks of western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) and gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environmental entomology*, 24(1), 1-9.
189. Willkomm, M. (1887): *Forstliche Flora von Deutschland und Österreich*. 2nd edn. Winter, Leipzig, Germany (na Nemačkom).
190. Xue, Y. R., Vasic, Z., Janjic, F., Mesinger, Mitchell, K. E. (2007): Assessment of dynamic downscaling of the continental U.S. regional climate using the Eta/SSiB Regional Climate Model. *J. Climate*. 20, 4172-4193.

PRILOG I – Anketa za eksperte

Poštovani,

U svrhu doktorskog istraživanja koje se obavlja u Institutu za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, a koje se tiče modeliranja uticaja klimatskih promena na multifunkcionalno gazdovanje bukovim šumama u Srbiji, molimo Vas da date svoj stručni sud o važnosti različitih promenljivih značajnih za gazdovanje u odnosu na tri parcijalna cilja (ekosistemske funkcije) gazdovanja (proizvodnja drveta, očuvanje biodiverziteta i vezivanje ugljenika) na kraju 30-godišnjeg perioda simulacije gazdovanja. U tabelama se nalaze parovi koje je neophodno rangirati prema važnosti u odnosu na određeni cilj i oceniti koliko je jedna varijabla važnija od druge (ocena 1 označava da su varijable jednako važne).

Parcijalni cilj: **Proizvodnja drveta (prinos)**

Varijable		Koja varijabla je značajnija (A ili B)	Ocena značajnosti (od 1 do 9)*
A	B		
Biomasa	Prinos		
Biomasa	Mrtvo drvo		
Biomasa	Prirast		
Biomasa	Ugljenik u zemljistu		
Biomasa	Strukturni indeks diverziteta		
Prinos	Mrtvo drvo		
Prinos	Prirast		
Prinos	Ugljenik u zemljistu		
Prinos	Strukturni indeks diverziteta		
Mrtvo drvo	Prirast		
Mrtvo drvo	Ugljenik u zemljistu		
Mrtvo drvo	Strukturni indeks diverziteta		
Prirast	Ugljenik u zemljistu		
Prirast	Strukturni indeks diverziteta		
Ugljenik u zemljistu	Strukturni indeks diverziteta		

*Intezitet	Definicija	Objašnjenje
1	Jednak značaj	Dva elementa (varijable) jednako doprinose parcijalnom cilju
3	Umereni značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (varijabla) blago favorizovan
5	Jak značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (varijabla) favorizovan
7	Vrlo jak značaj	Jedan element (varijabla) je jako favorizovan u odnosu na drugi, što se ogleda u praksi
9	Ekstremni značaj	Jedan element (varijabla) je maksimalno favorizovan u odnosu na drugi

2, 4, 6 i 8 se koriste da predstave srednje srednje vrednosti

Ako imate komentare, možete ih ovde napisati:

Parcijalni cilj: Očuvanje biodiverziteta

Varijable		Koja varijabla je značajnija (A ili B)	Ocena značajnosti (od 1 do 9)*
A	B		
Biomasa	Prinos		
Biomasa	Mrtvo drvo		
Biomasa	Prirast		
Biomasa	Ugljenik u zemljistu		
Biomasa	Strukturni indeks diverziteta		
Prinos	Mrtvo drvo		
Prinos	Prirast		
Prinos	Ugljenik u zemljistu		
Prinos	Strukturni indeks diverziteta		
Mrtvo drvo	Prirast		
Mrtvo drvo	Ugljenik u zemljistu		
Mrtvo drvo	Strukturni indeks diverziteta		
Prirast	Ugljenik u zemljistu		
Prirast	Strukturni indeks diverziteta		
Ugljenik u zemljistu	Strukturni indeks diverziteta		

*Intezitet	Definicija	Objašnjenje
1	Jednak značaj	Dva elementa (varijable) jednako doprinose parcijalnom cilju
3	Umereni značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (varijabla) blago favorizovan
5	Jak značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (varijabla) favorizovan
7	Vrlo jak značaj	Jedan element (varijabla) je jako favorizovan u odnosu na drugi, što se ogleda u praksi
9	Ekstremni značaj	Jedan element (varijabla) je maksimalno favorizovan u odnosu na drugi

2, 4, 6 i 8 se koriste da predstave srednje srednje vrednosti

Ako imate komentare, možete ih ovde napisati:

Parcijalni cilj: Vezivanje ugljenika u šumskom ekosistemu

Varijable		Koji varijabla je značajnija (A ili B)	Ocena značajnosti (od 1 do 9)*
A	B		
Biomasa	Prinos		
Biomasa	Mrtvo drvo		
Biomasa	Prirast		
Biomasa	Ugljenik u zemljistu		
Biomasa	Strukturni indeks diverziteta		
Prinos	Mrtvo drvo		
Prinos	Prirast		
Prinos	Ugljenik u zemljistu		
Prinos	Strukturni indeks diverziteta		
Mrtvo drvo	Prirast		
Mrtvo drvo	Ugljenik u zemljistu		
Mrtvo drvo	Strukturni indeks diverziteta		
Prirast	Ugljenik u zemljistu		
Prirast	Strukturni indeks diverziteta		
Ugljenik u zemljistu	Strukturni indeks diverziteta		

*Intezitet	Definicija	Objašnjenje
1	Jednak značaj	Dva elementa (varijable) jednako doprinose parcijalnom cilju
3	Umereni značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (varijabla) blago favorizovan
5	Jak značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (varijabla) favorizovan
7	Vrlo jak značaj	Jedan element (varijabla) je jako favorizovan u odnosu na drugi, što se ogleda u praksi
9	Ekstremni značaj	Jedan element (varijabla) je maksimalno favorizovan u odnosu na drugi

2, 4, 6 i 8 se koriste da predstave srednje srednje vrednosti

Ako imate komentare, ovde ih možete napisati:

Upišite:

vaše ime i prezime:

instituciju:

vaš e-mail:

Hvala najlepše na saradnji.

PRILOG II – Anketa za zainteresovane strane u procesu gazdovanja bukovim šumama u Srbiji

Poštovani,

U svrhu doktorskog istraživanja koje se obavlja u Institutu za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, a koje se tiče preferencija zainteresovanih strana ka zastupljenosti različitih ciljeva (funkcija) gazdovanja (proizvodnja drveta, očuvanje biodiverziteta i vezivanje ugljenika) u sveukupnom multifunkcionalnom gazdovanju bukovim šumama u Srbiji, molimo vas da popunite sledeću tabelu.

U tabeli se nalaze parovi koje je potrebno rangirati po značaju (značajniji je A ili B) i oceniti koliko je jedan naznačeni cilj značajniji od drugog sa aspekta poslovne politike vaše organizacije.

Ciljevi gazdovanja		Koji cilj je značajniji (A ili B)	Ocena značajnosti (od 1 do 9)*
A	B		
Proizvodnja drveta	Očuvanje biodiverziteta		
Proizvodnja drveta	Vezivanje ugljenika		
Očuvanje biodiverziteta	Vezivanje ugljenika		
*Intezitet	Definicija	Objašnjenje	
1	Jednak značaj	Dva elementa (cilja) jednako doprinose u ukupnom gazdovanju	
3	Umereni značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (cilj) blago favorizovan	
5	Jak značaj	Stručni sud i iskustvo govori da je jedan element (cilj) favorizovan	
7	Vrlo jak značaj	Jedan element (cilj) je jako favorizovan u odnosu na drugi, što se ogleda u praksi	
9	Ekstremni značaj	Jedan element (cilj) je maksimalno favorizovan u odnosu na drugi	
2, 4, 6 i 8 se koriste da predstave srednje srednje vrednosti			

Upišite:

vaše ime i prezime:

ime organizacije:

vaš e-mail:

Hvala najlepše na saradnji.

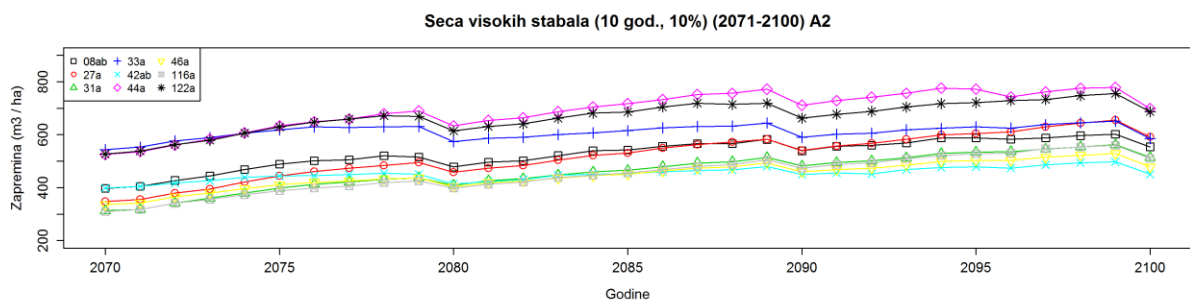
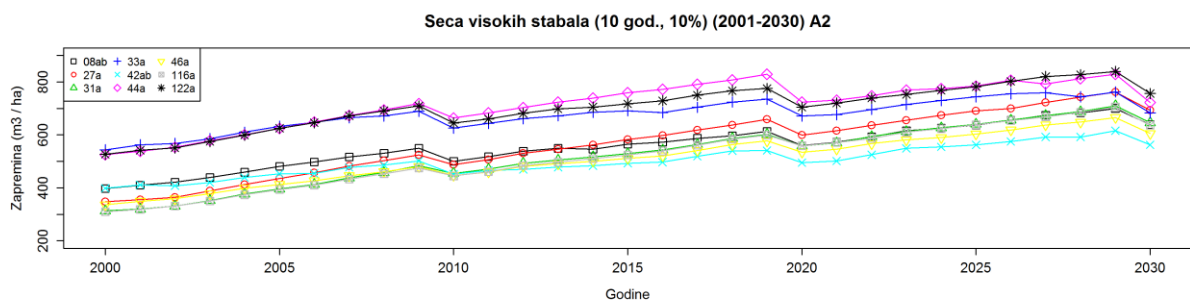
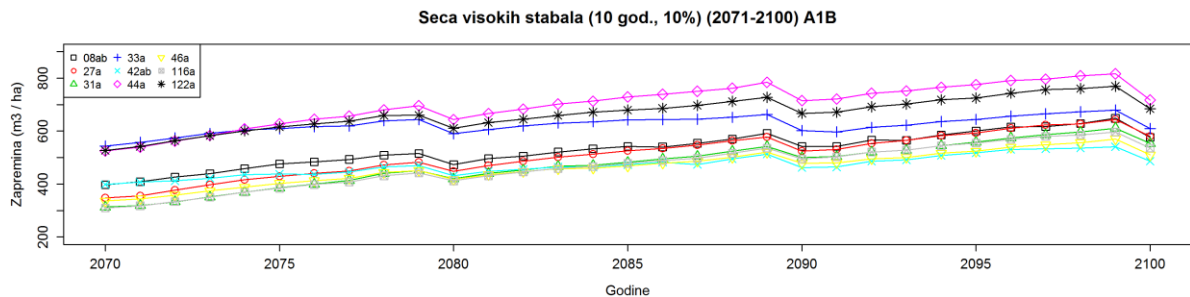
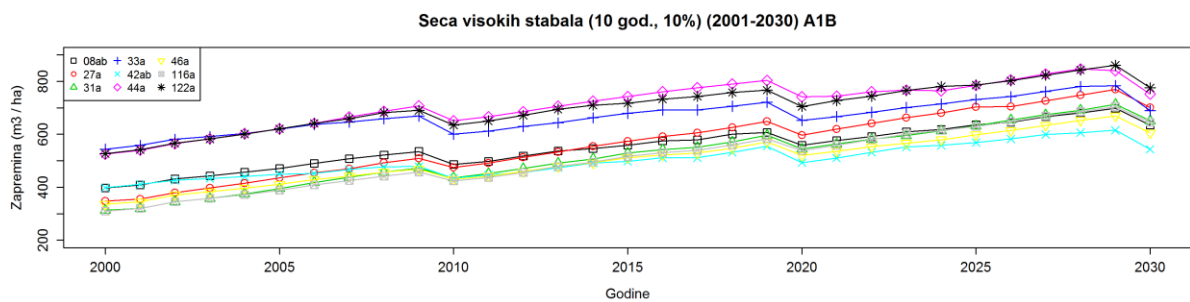
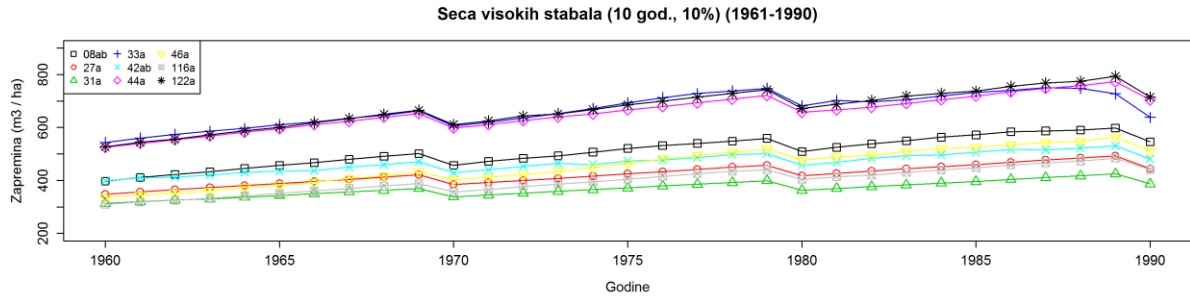
PRILOG III - Metrološke stanice korišćene u kalkulacijama EQ za referentni period 1961-1990 (RHMZ)

	Geografsk širina	Geografska dužina	Ime stanice
1.	45,05	21,03	"Banatski Karlovac"
2.	45,62	20,07	"Becej"
3.	44,8	20,47	"Beograd"
4.	44,12	21,95	"Crni Vrh"
5.	43,93	21,37	"Ćuprija"
6.	43,02	22,75	"Dimitrovgrad"
7.	45,85	20,47	"Kikinda"
8.	43,28	20,8	"Kopaonik"
9.	44,03	20,93	"Kragujevac"
10.	43,72	20,7	"Kraljevo"
11.	43,57	21,35	"Kruševac"
12.	43,13	21,27	"Kuršumlija"
13.	42,98	21,95	"Leskovac"
14.	44,55	19,23	"Loznica"
15.	44,23	22,55	"Negotin"
16.	43,33	21,9	"Niš"
17.	46,1	19,77	"Palić"
18.	43,83	20,03	"Požega"
19.	45,33	19,85	"Rimski Šančevi"
20.	43,28	20	"Sjenica"
21.	44,37	20,95	"Smederevska Palanka"
22.	45,78	19,08	"Sombor"
23.	44,97	19,63	"Sremska Mitrovica"
24.	44,82	20,28	"Surčin"
25.	44,28	19,92	"Valjevo"
26.	44,75	21,52	"Veliko Gradište"
27.	42,48	21,9	"Vranje"
28.	45,15	21,32	"Vrsac"
29.	43,88	22,28	"Zaječar"
30.	43,73	19,72	"Zlatibor"
31.	45,4	20,35	"Zrenjanin"
32.	45,4	19,25	"Bač"
33.	45,37	19,57	"Backi Petrovac"
34.	45,93	20,08	"Senta"
35.	44,37	19,38	"Krupanj"
36.	44,77	19,68	"Šabac"
37.	44,62	19,78	"Vladimirci"
38.	44,38	19,92	"RC Valjevo-Blizonski Vis"
39.	44,13	20,52	"Rudnik"

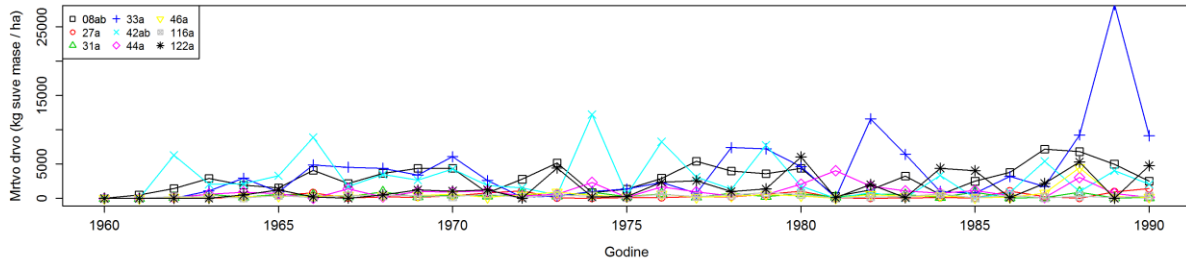
40.	44,9	21,42	"Bela Crkva"
41.	43,97	19,57	"Bajina Basta"
42.	43,1	20,1	"Karajukica Bunari"
43.	43,42	20,23	"Ivanjica"
44.	43,72	20,42	"Kaona"
45.	43,13	20,52	"Novi Pazar"
46.	43,38	20,75	"Jošanička Banja"
47.	43,23	20,85	"Blazevo"
48.	43,62	20,9	"Vrnjačka Banja"
49.	43,55	20,85	"Goč"
50.	44	21,05	"RC Besnjaja"
51.	43,87	21,1	"Rekovac"
52.	43,92	21,02	"Ratkovic"
53.	43,45	21,07	"Aleksandrovac"
54.	43,38	21,03	"Brus"
55.	43,13	21,43	"Pacardja"
56.	43,3	21,3	"Blace"
57.	43,43	21,38	"Jastrebac"
58.	43,98	21,32	"Jagodina"
59.	43,23	21,6	"Prokuplje"
60.	43,55	21,68	"Aleksinac"
61.	43,65	21,85	"Sokobanja"
62.	43,22	22,32	"Bela Palanka"
63.	43,57	22,27	"Knjazevac"
64.	43,07	22,43	"Babusnica"
65.	43,17	22,6	"Piroć"
66.	42,45	21,78	"Bujanovac"
67.	42,37	22,08	"Trgovište"
68.	42,83	22,13	"Predejane"
69.	42,97	22,13	"Vlasotince"

PRILOG IV Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast

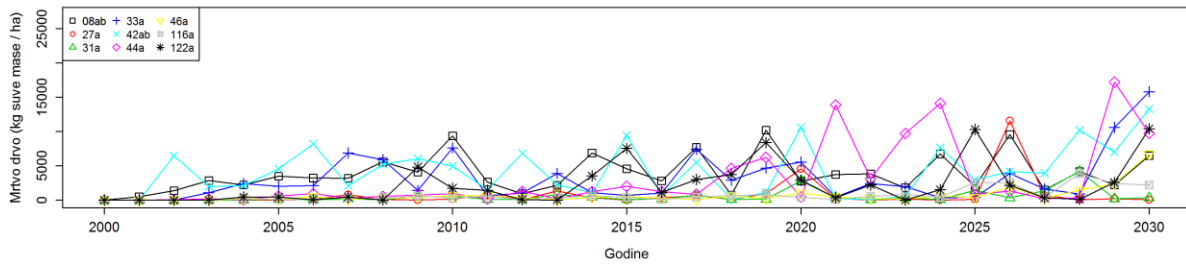
Scenario gazdovanja 2 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



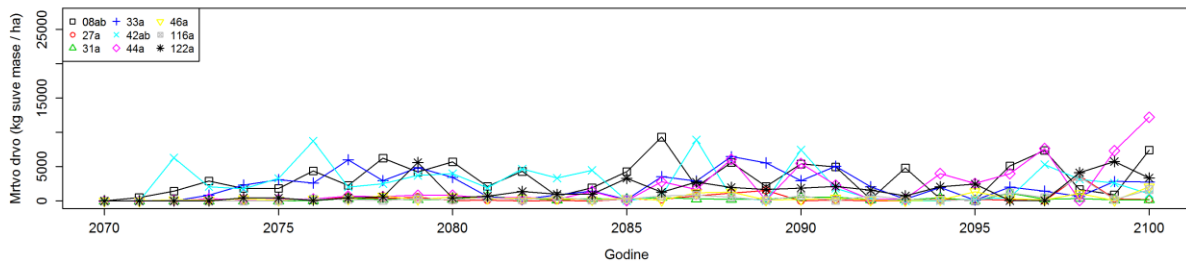
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (1961-1990)



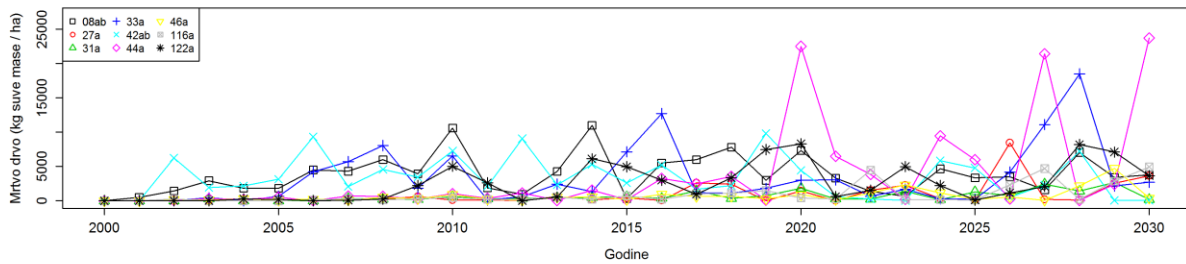
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2001-2030) A1B



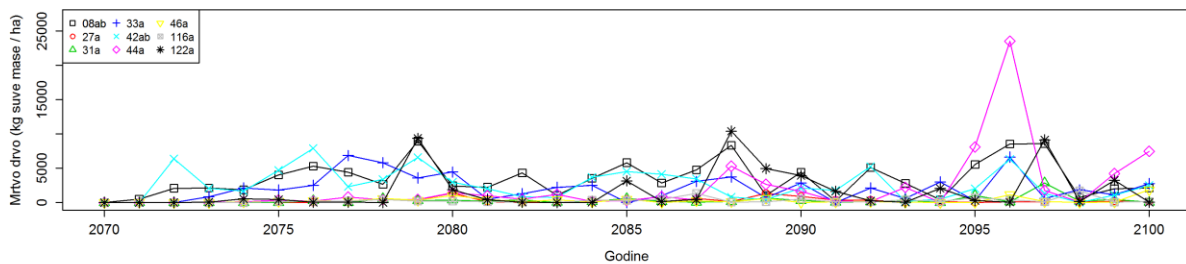
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2071-2100) A1B



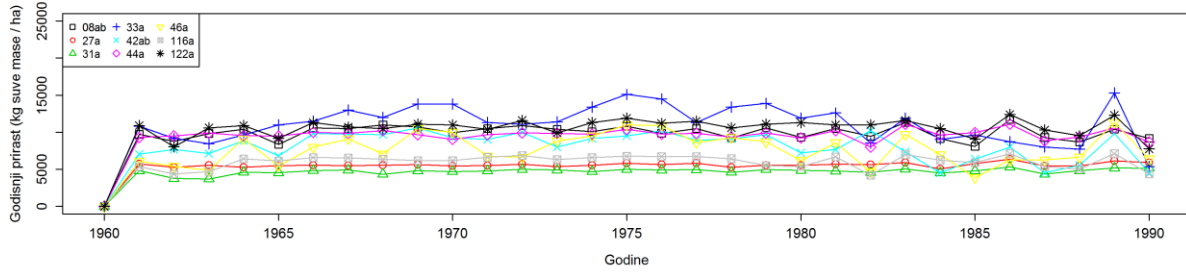
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2001-2030) A2



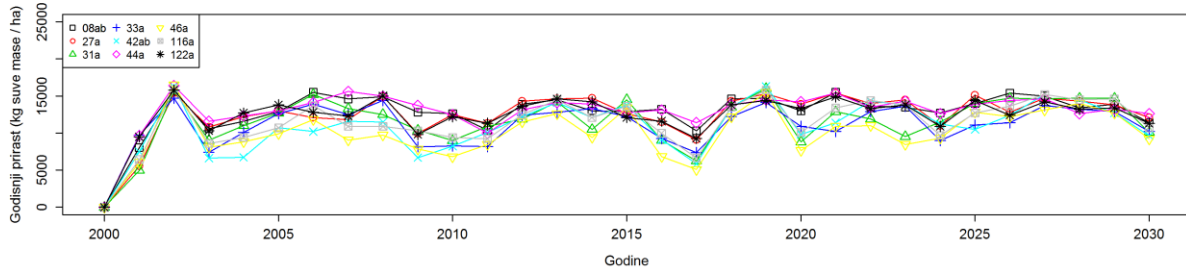
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2071-2100) A2



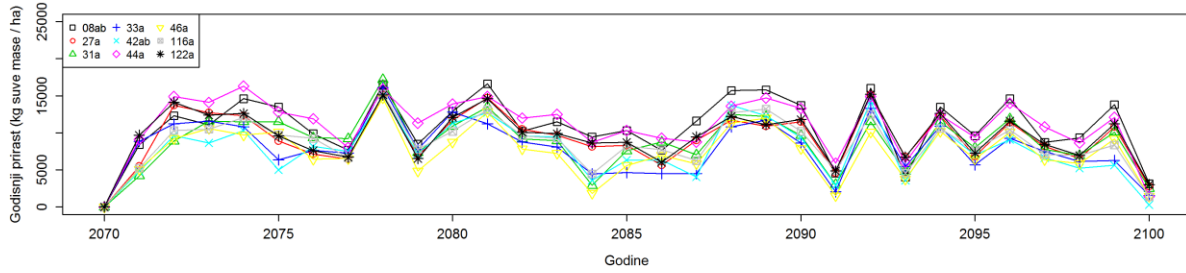
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (1961-1990)



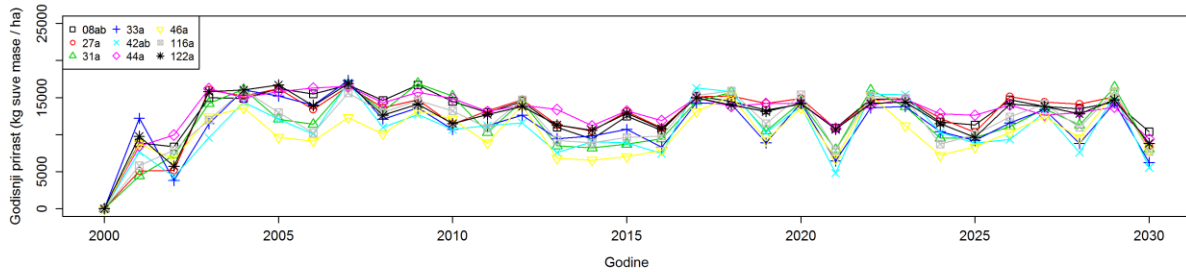
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2001-2030) A1B



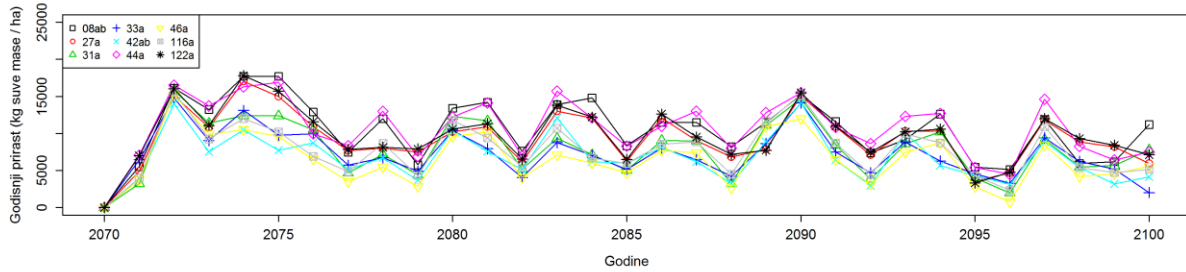
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2071-2100) A1B



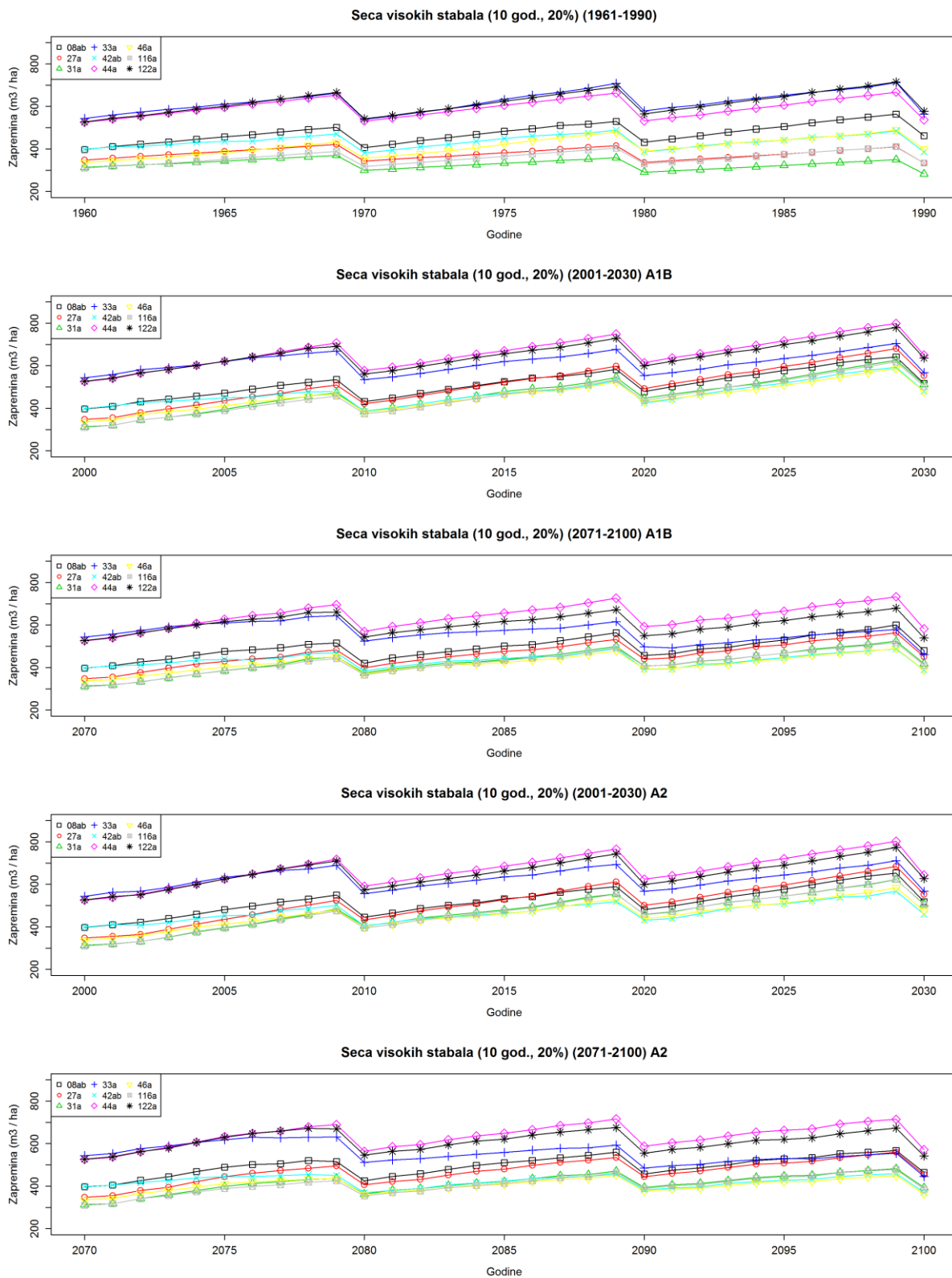
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2001-2030) A2



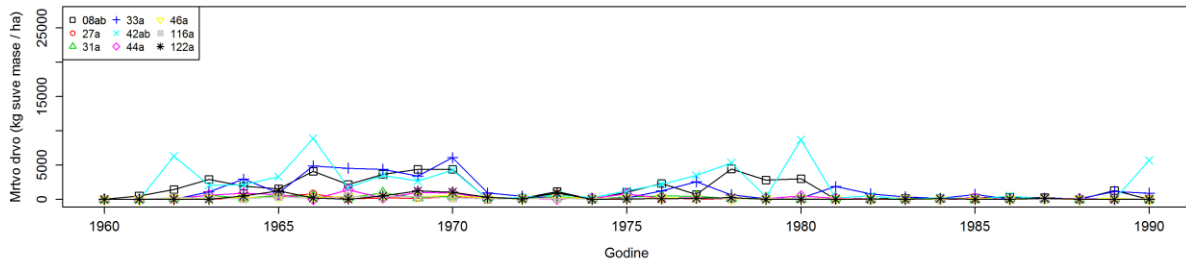
Seca visokih stabala (10 god., 10%) (2071-2100) A2



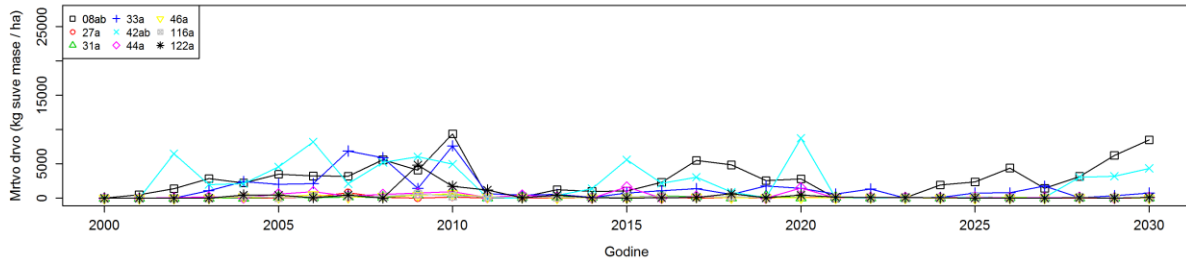
Scenario gazdovanja 3 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



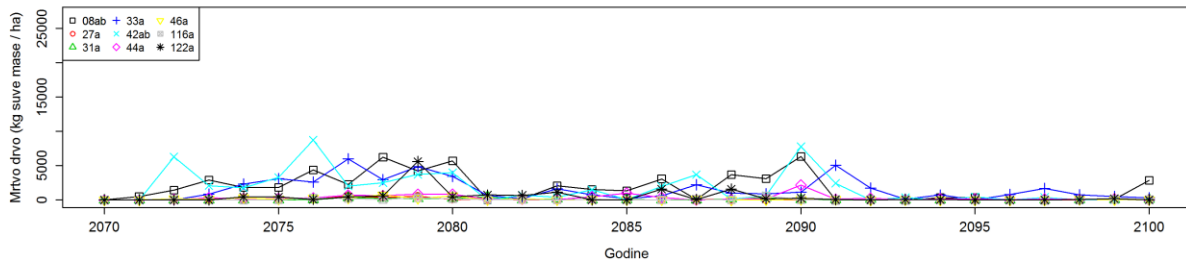
Seca visokih stabala (10 god., 20%) (1961-1990)



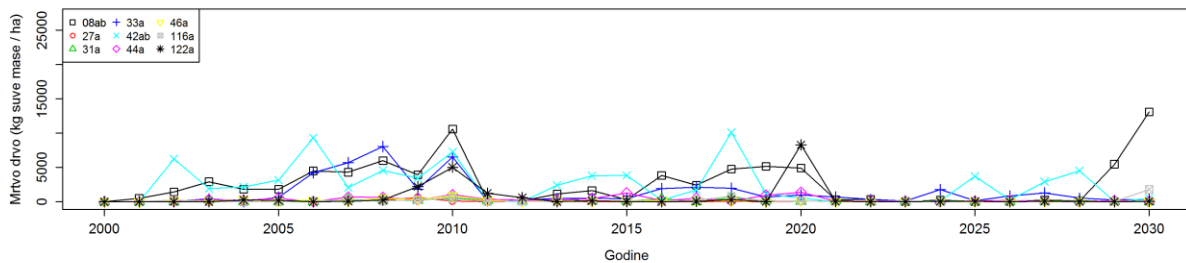
Seca visokih stabala (10 god., 20%) (2001-2030) A1B



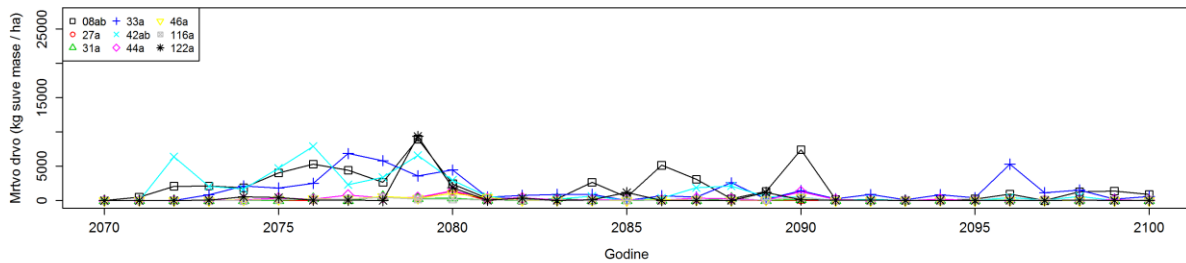
Seca visokih stabala (10 god., 20%) (2071-2100) A1B

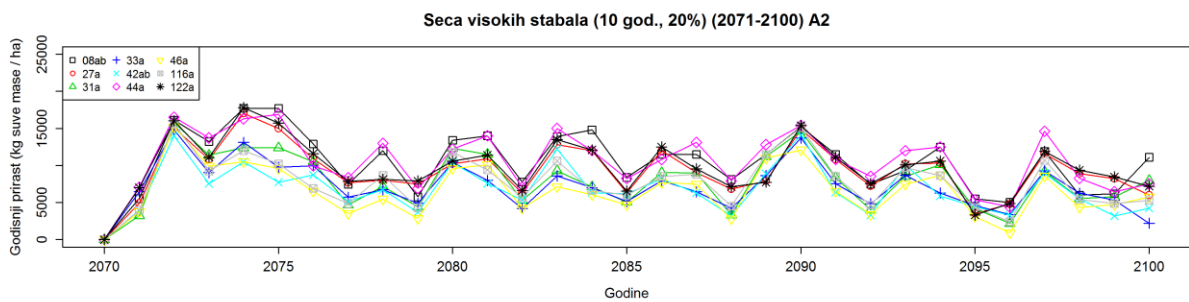
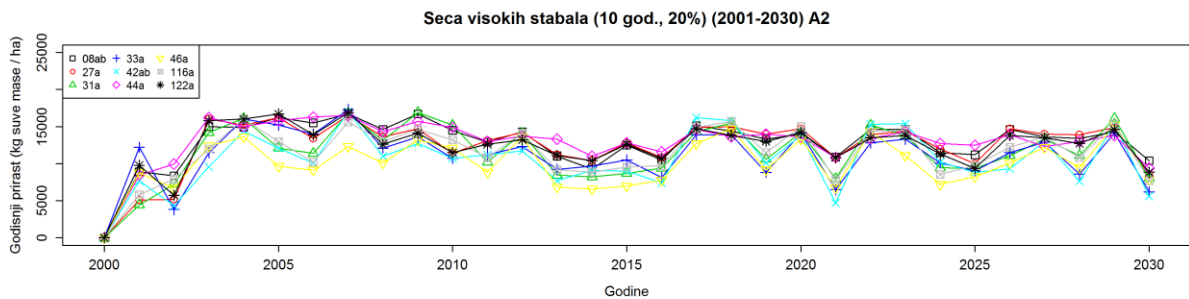
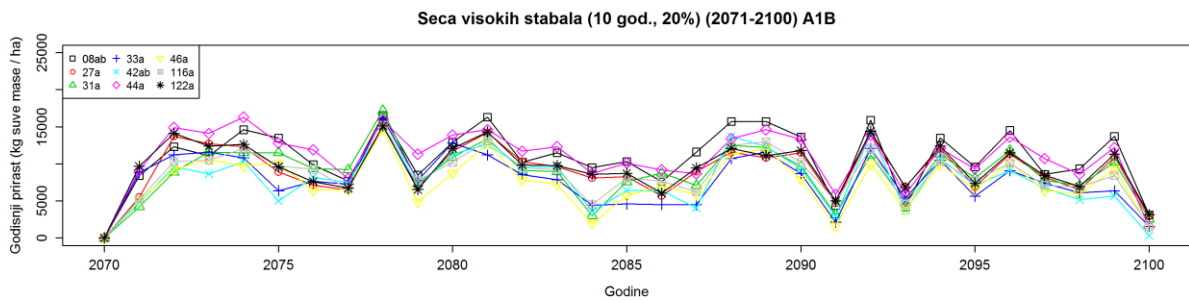
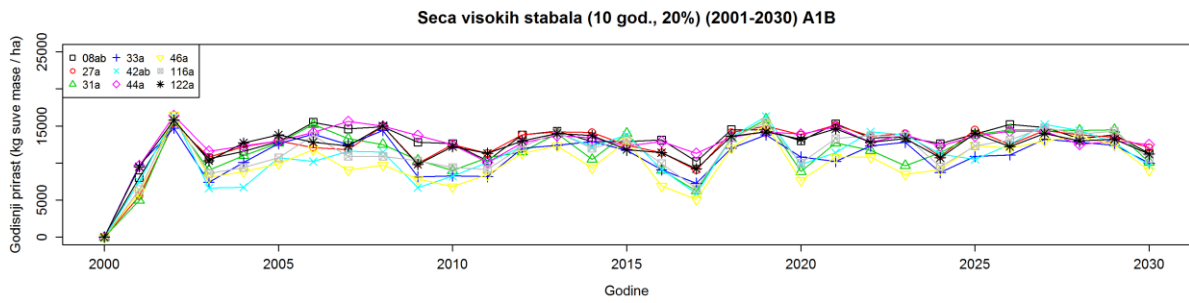
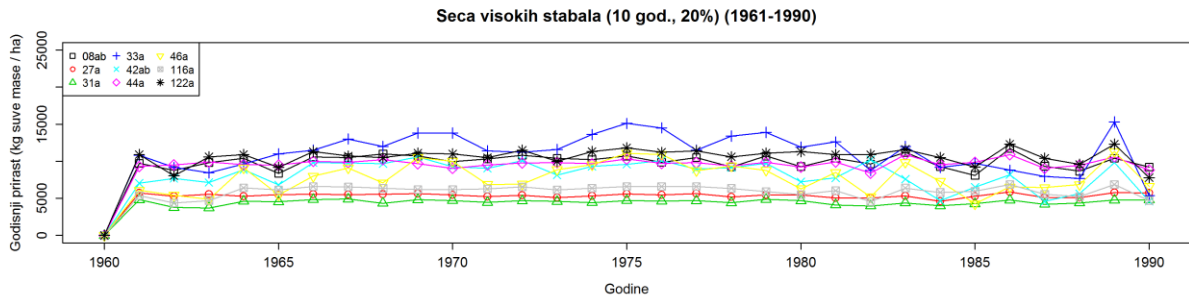


Seca visokih stabala (10 god., 20%) (2001-2030) A2

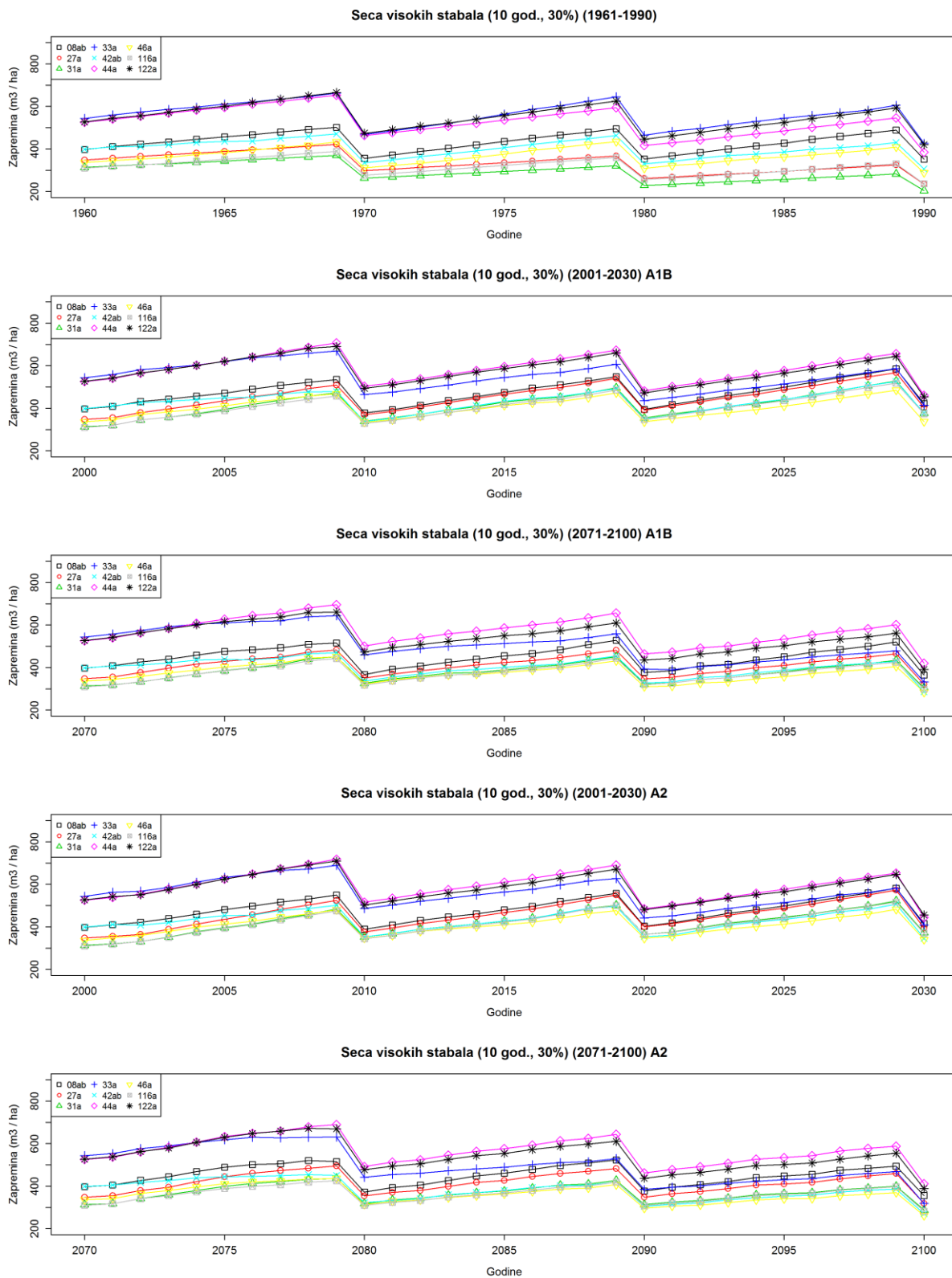


Seca visokih stabala (10 god., 20%) (2071-2100) A2

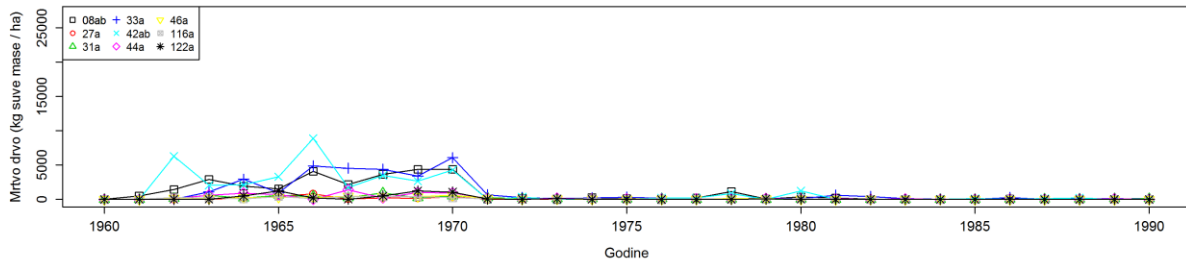




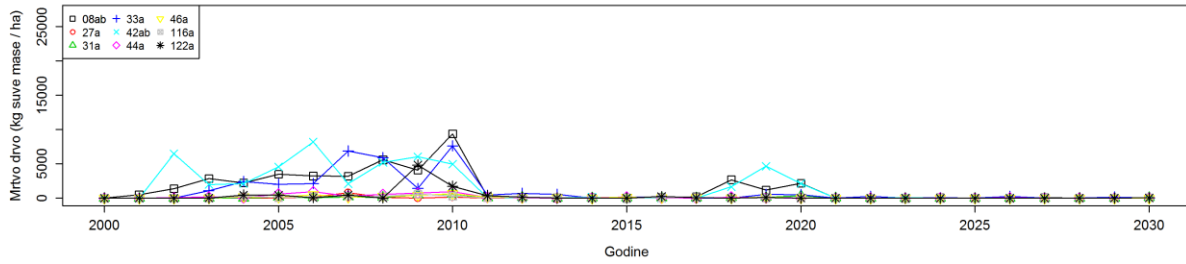
Scenario gazdovanja 4 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



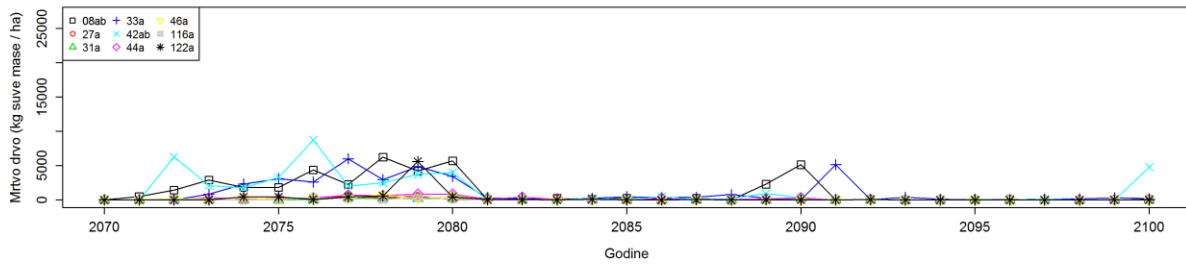
Seca visokih stabala (10 god., 30%) (1961-1990)



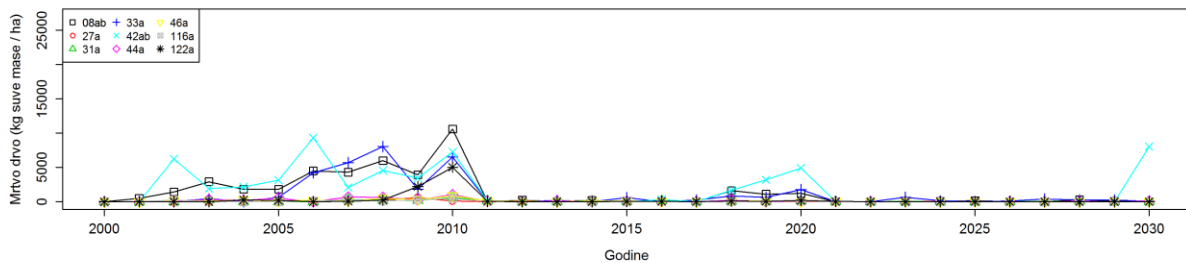
Seca visokih stabala (10 god., 30%) (2001-2030) A1B



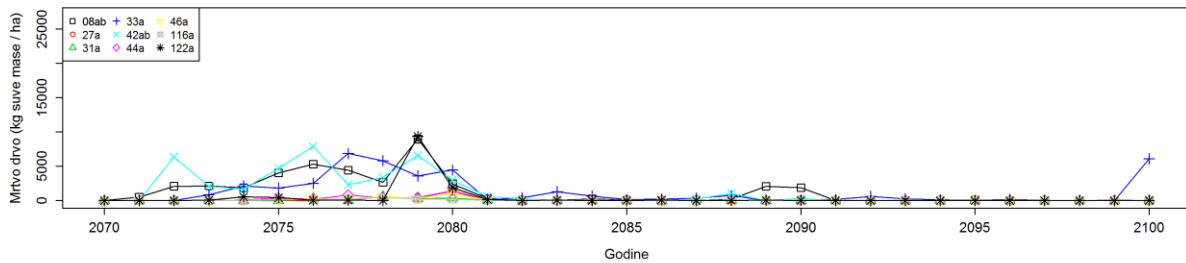
Seca visokih stabala (10 god., 30%) (2071-2100) A1B

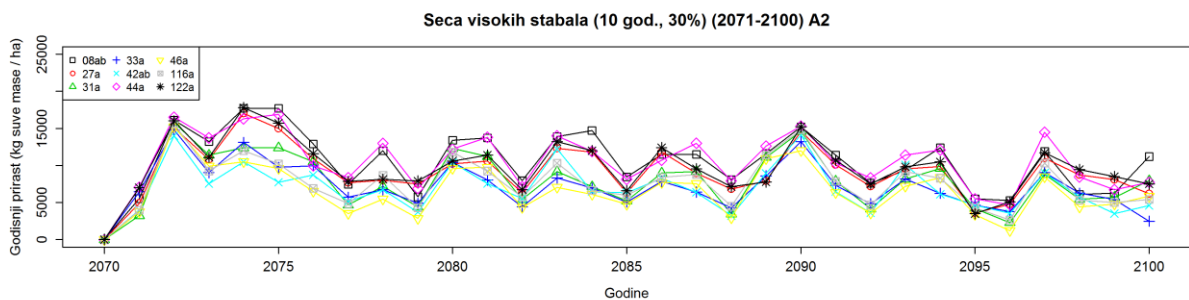
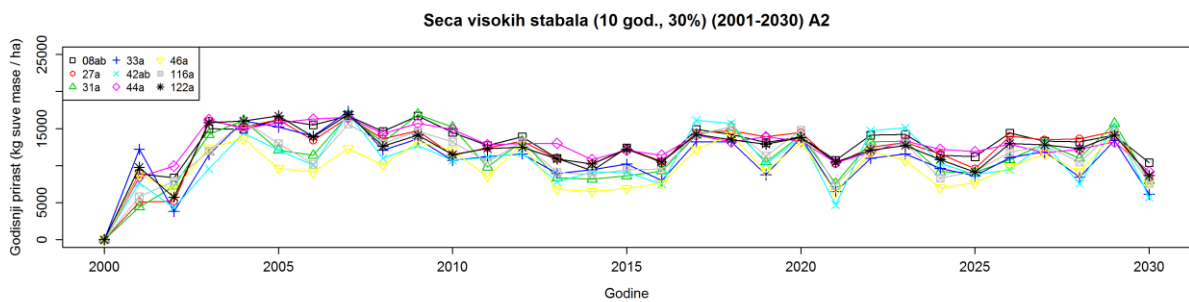
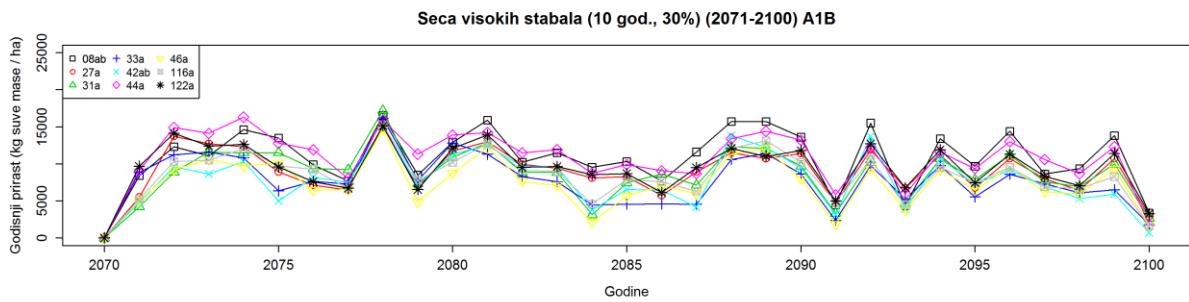
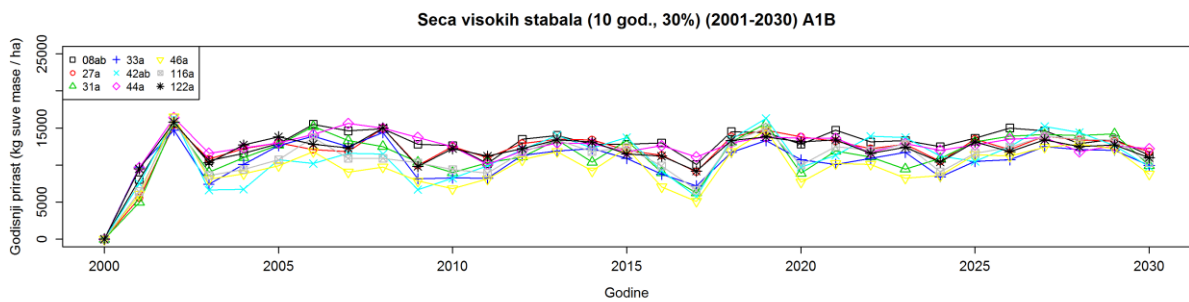
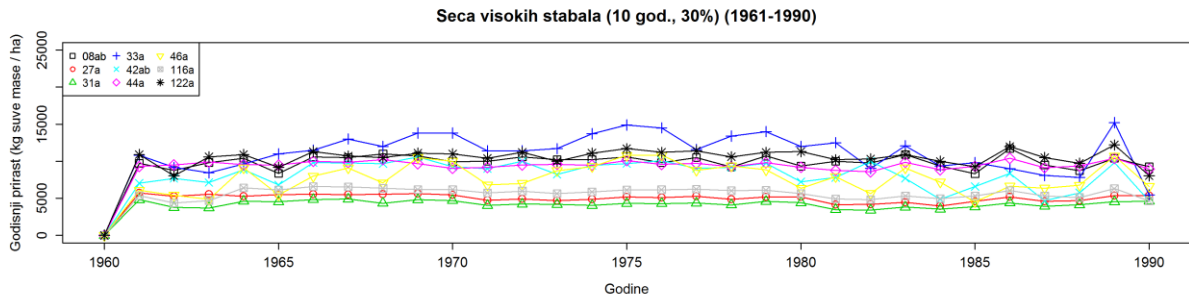


Seca visokih stabala (10 god., 30%) (2001-2030) A2

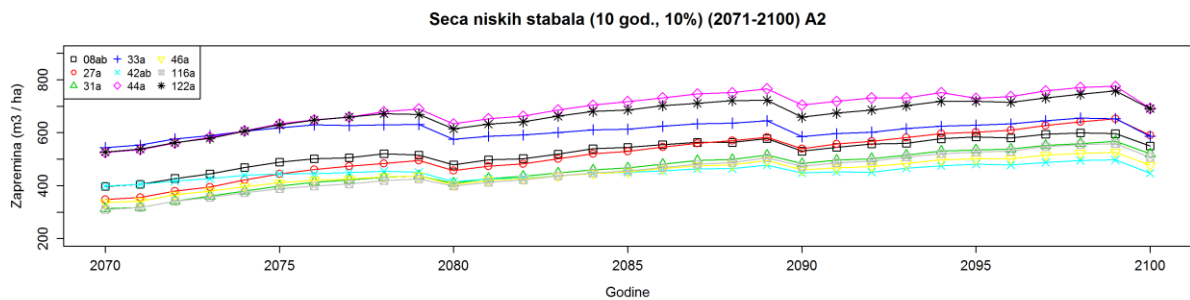
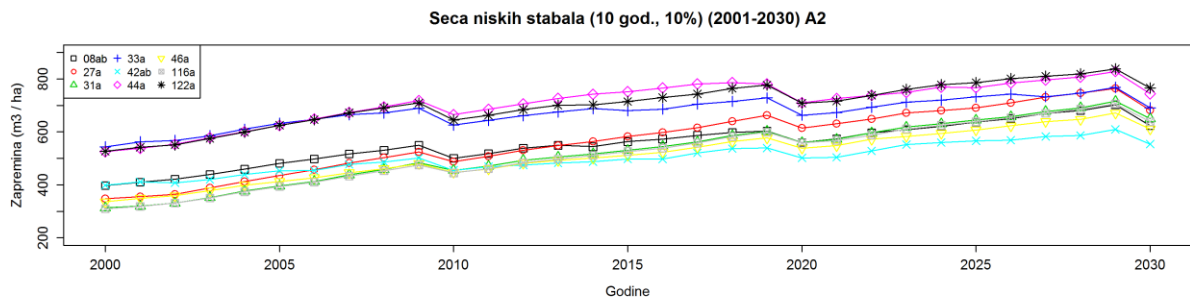
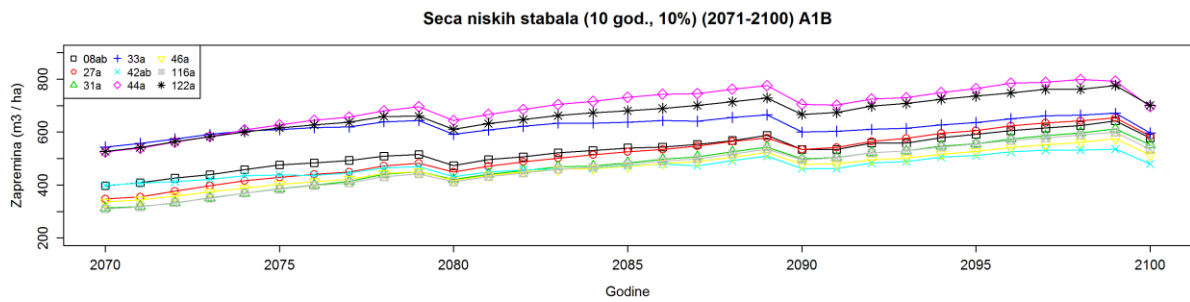
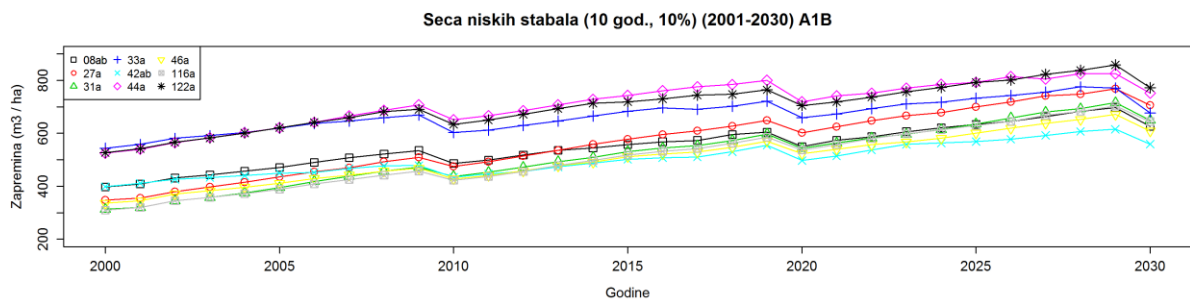
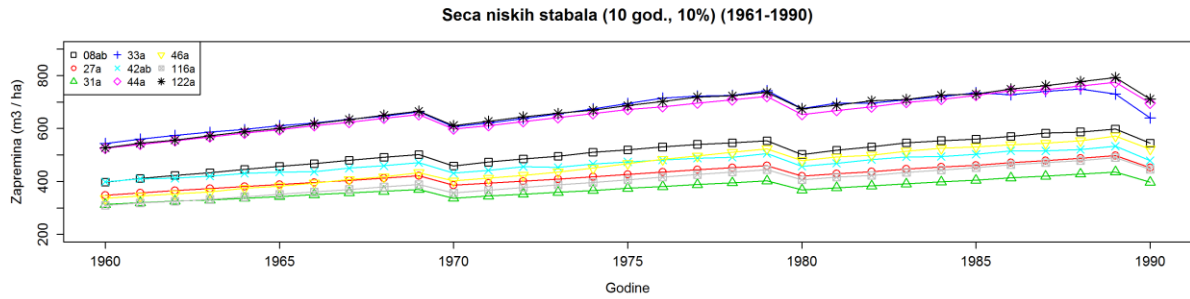


Seca visokih stabala (10 god., 30%) (2071-2100) A2

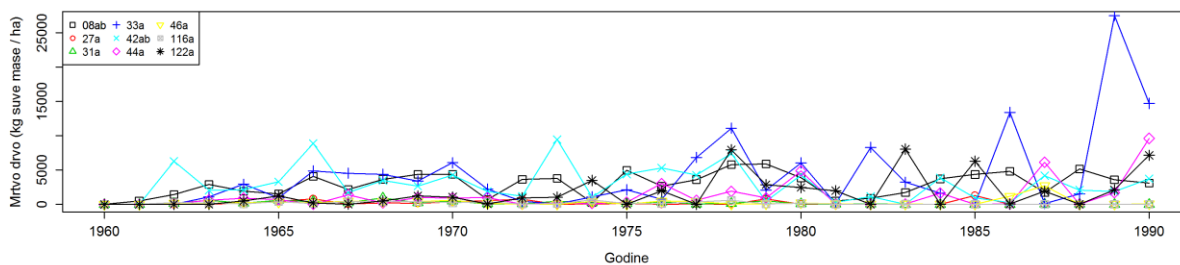




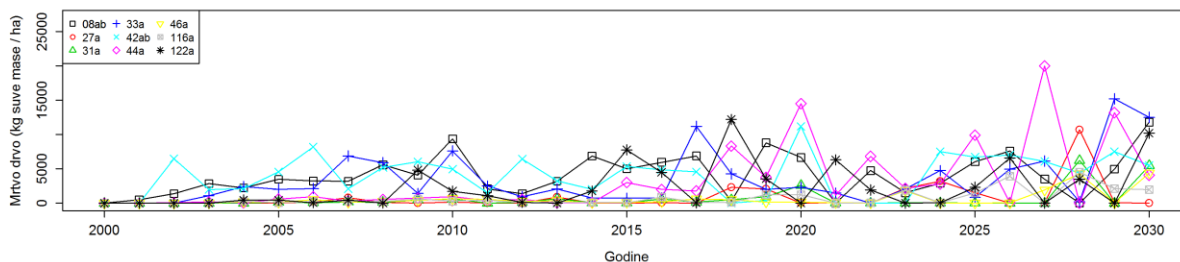
Scenario gazdovanja 5 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



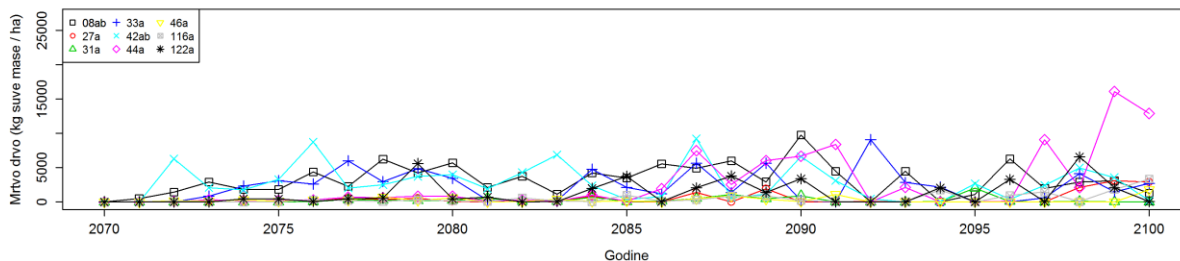
Seca niskih stabala (10 god., 10%) (1961-1990)



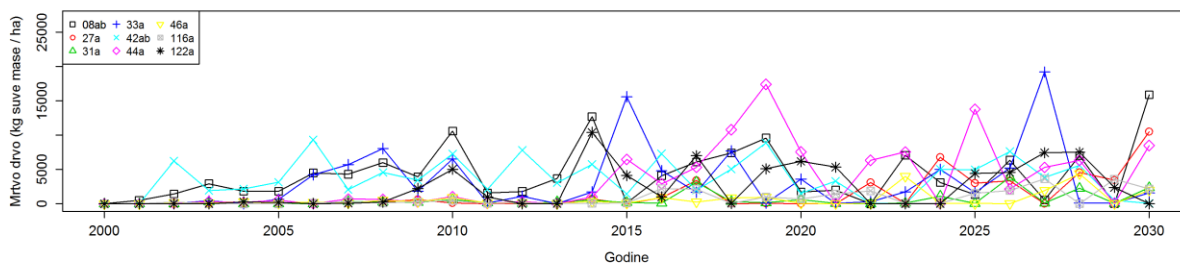
Seca niskih stabala (10 god., 10%) (2001-2030) A1B



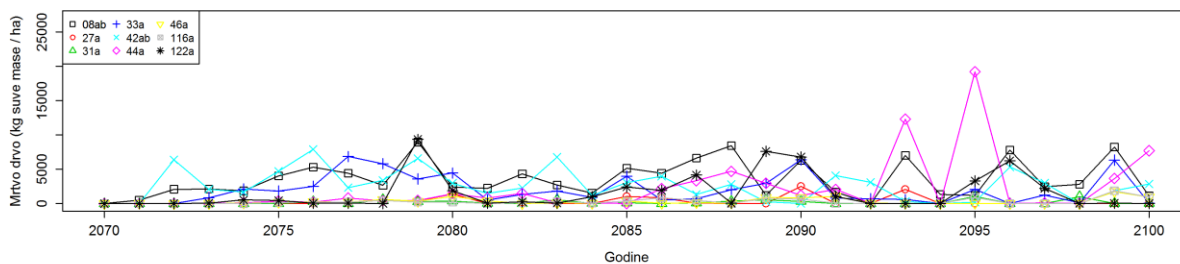
Seca niskih stabala (10 god., 10%) (2071-2100) A1B

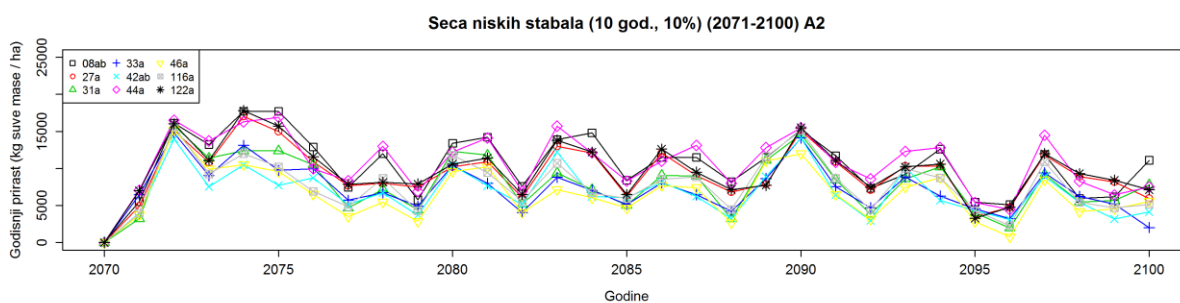
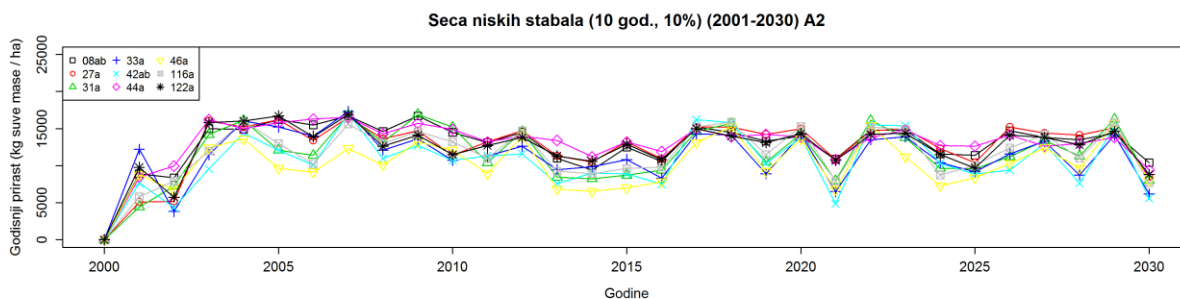
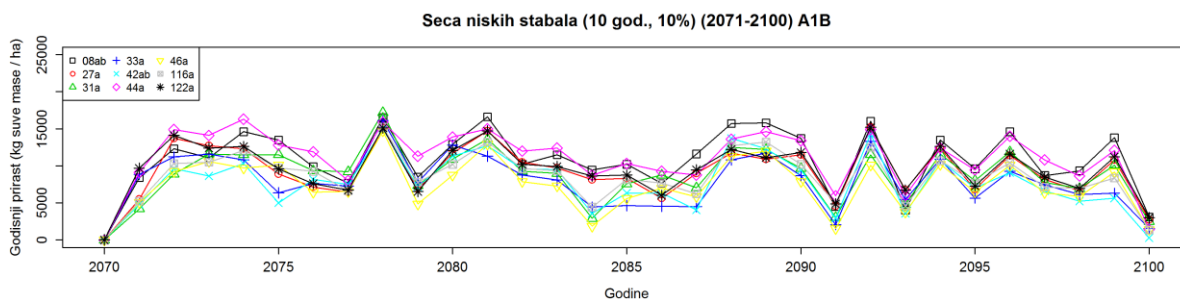
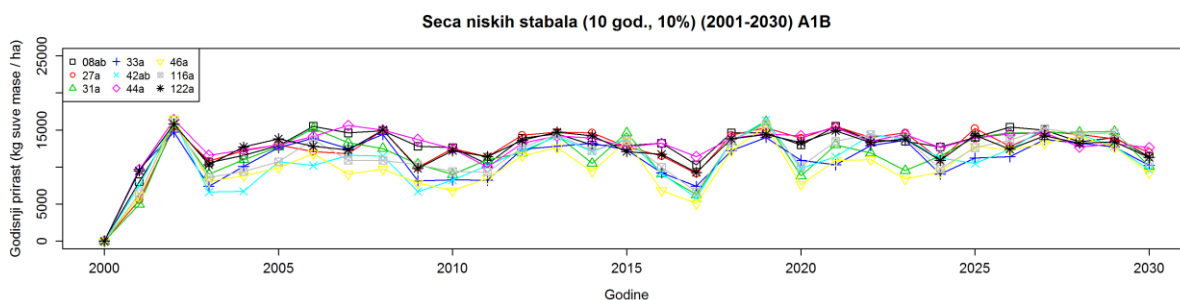
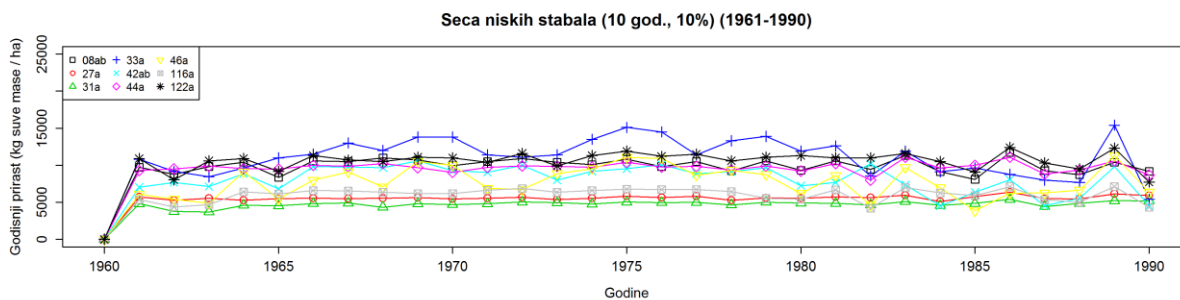


Seca niskih stabala (10 god., 10%) (2001-2030) A2

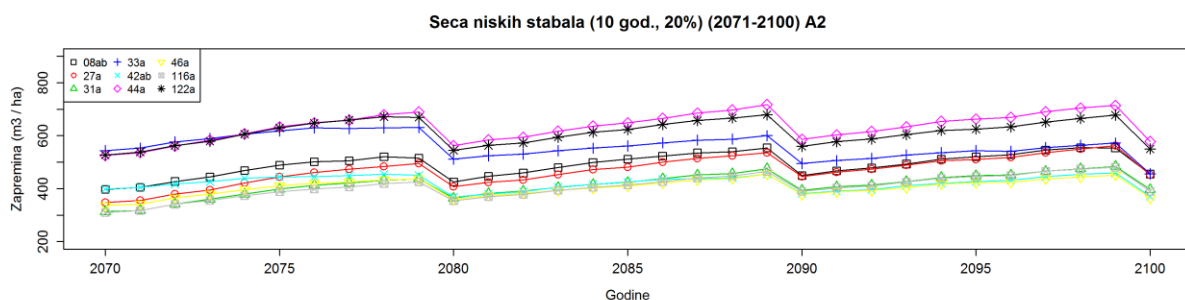
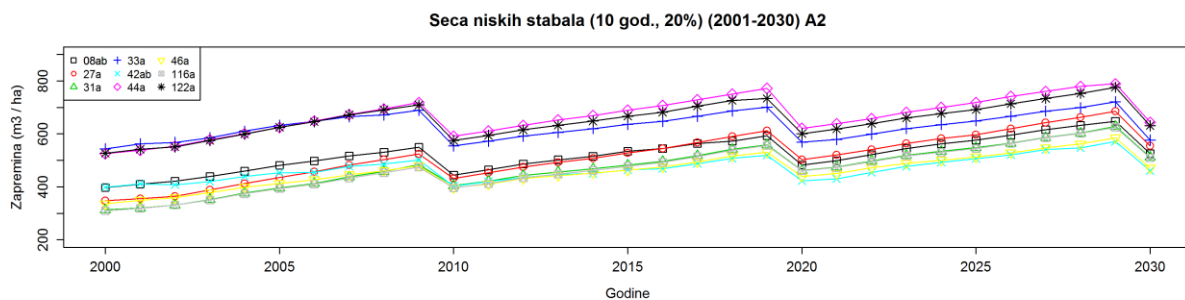
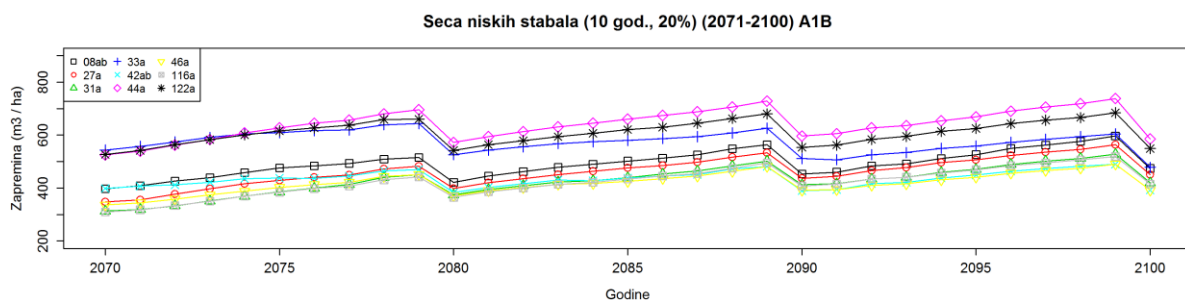
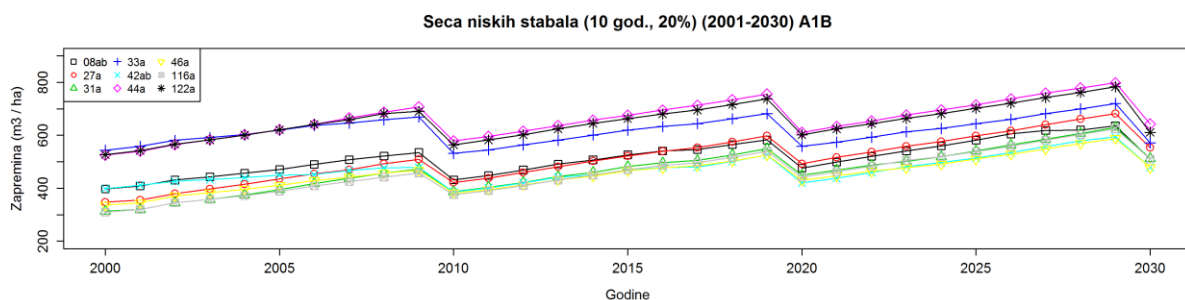
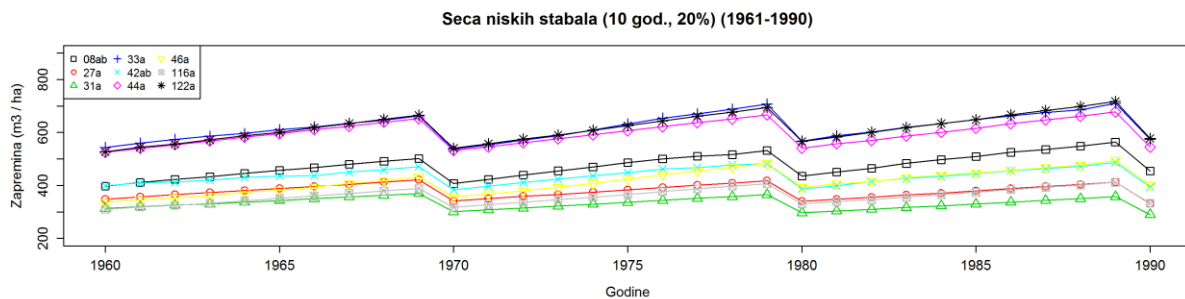


Seca niskih stabala (10 god., 10%) (2071-2100) A2

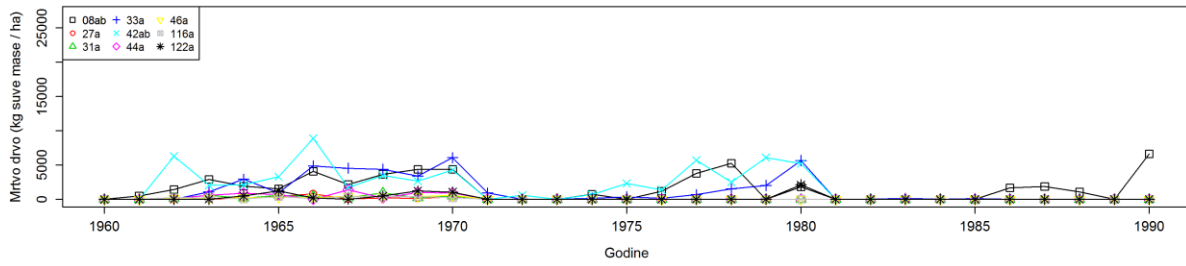




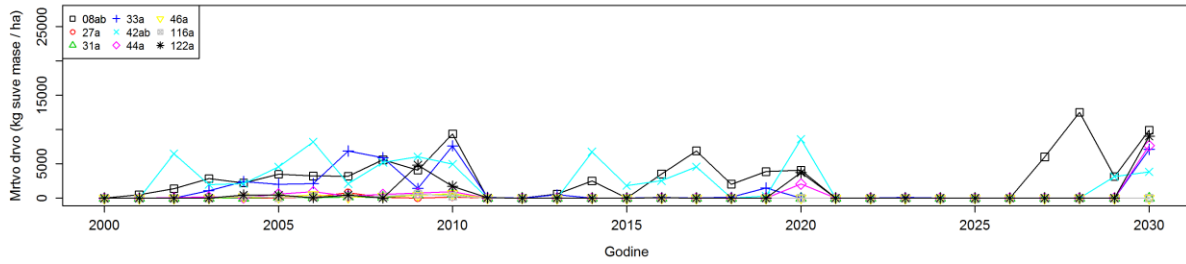
Scenario gazdovanja 6 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



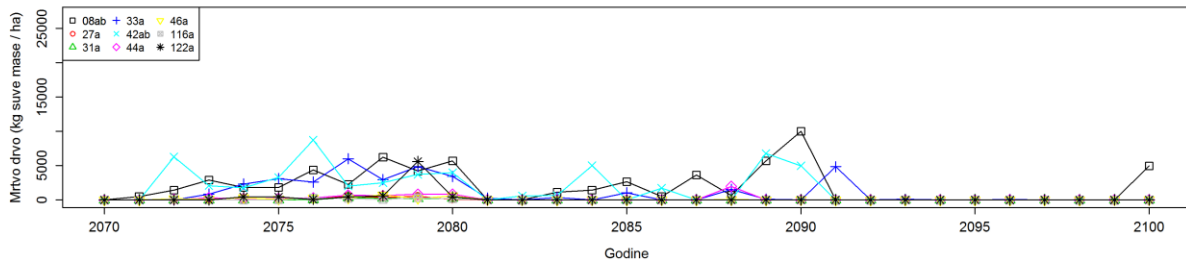
Seca niskih stabala (10 god., 20%) (1961-1990)



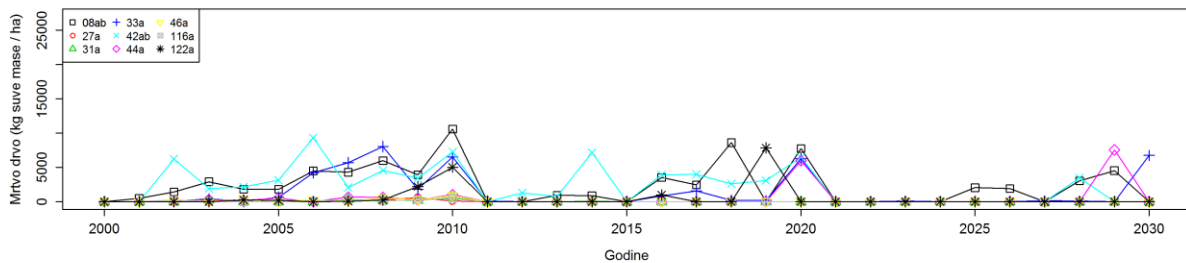
Seca niskih stabala (10 god., 20%) (2001-2030) A1B



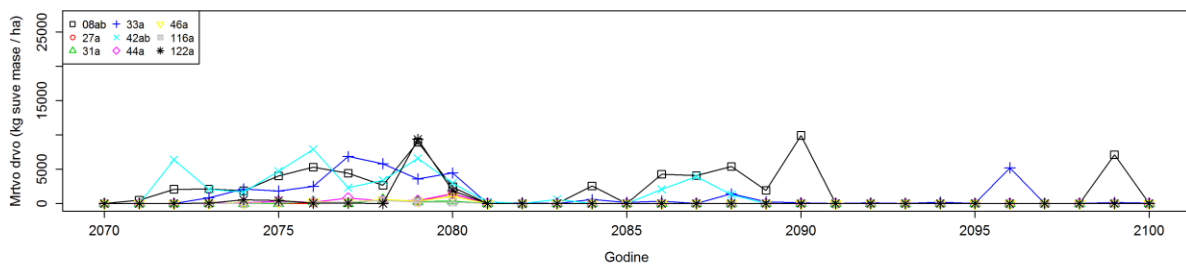
Seca niskih stabala (10 god., 20%) (2071-2100) A1B

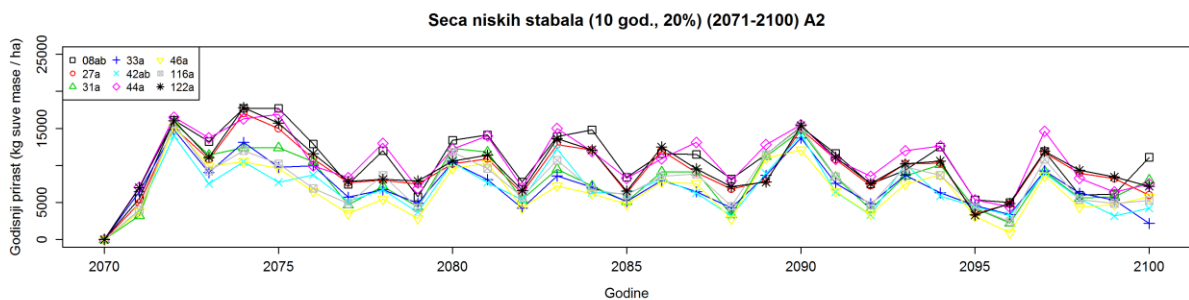
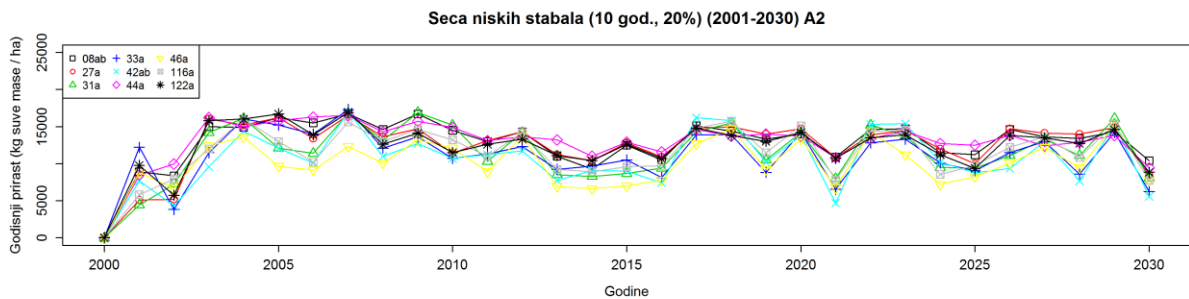
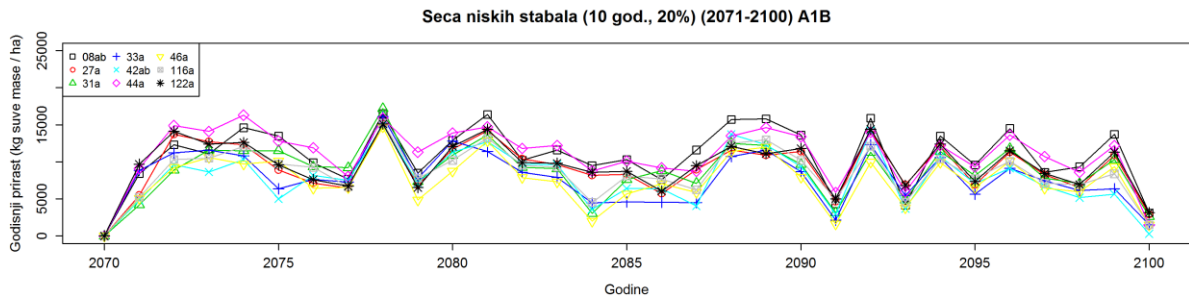
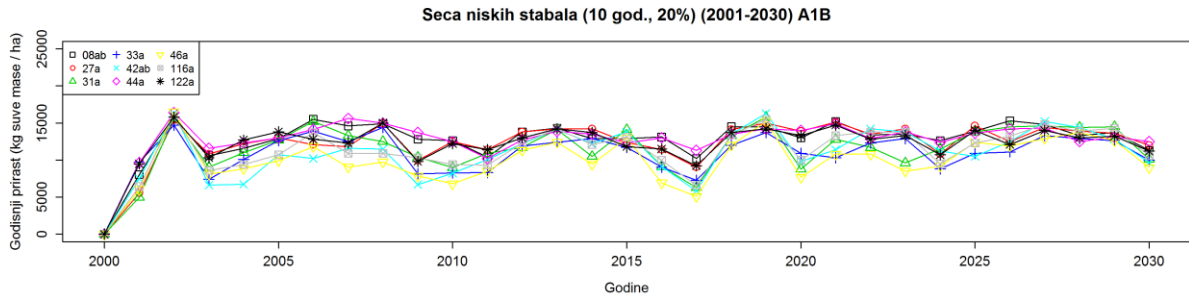
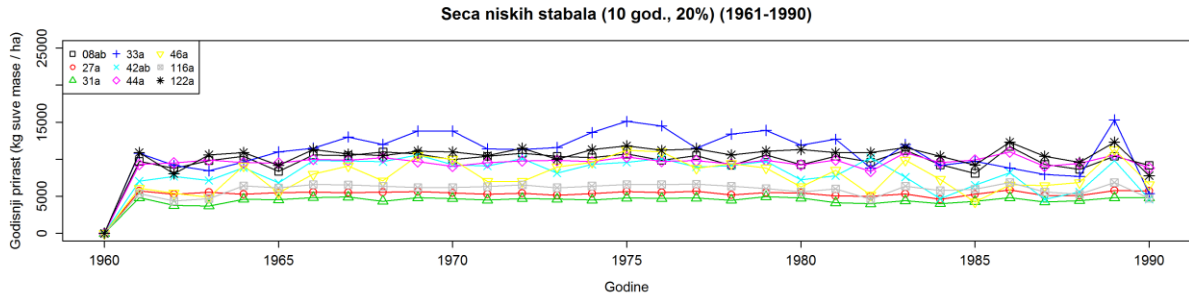


Seca niskih stabala (10 god., 20%) (2001-2030) A2

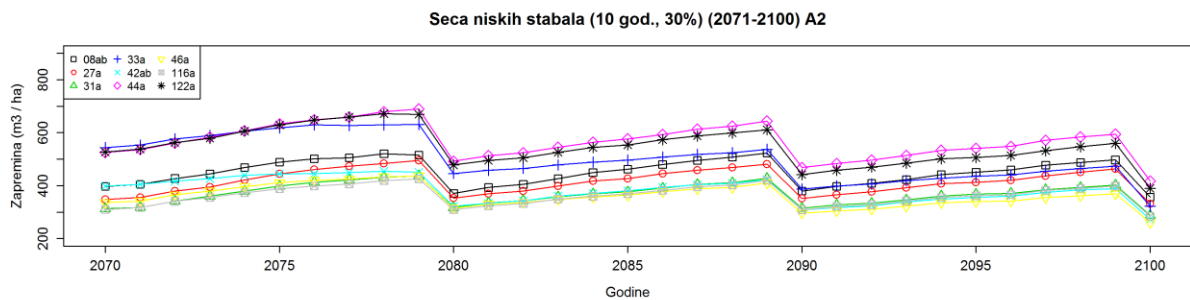
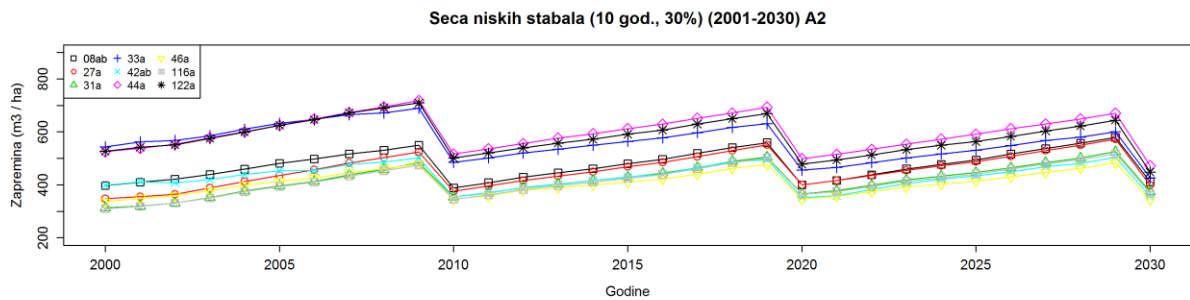
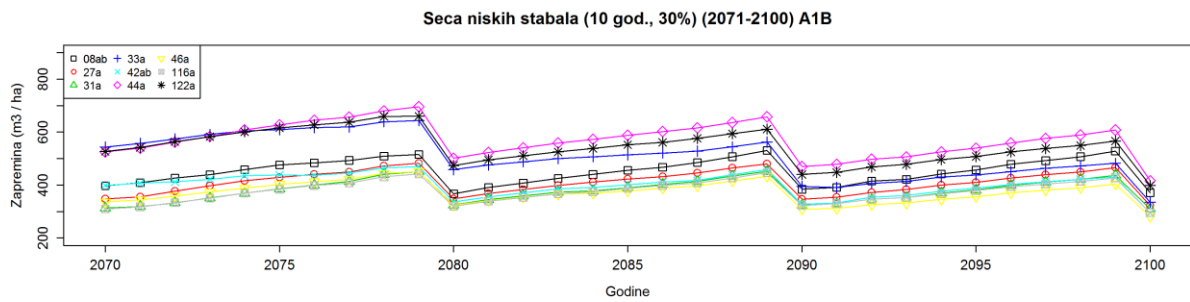
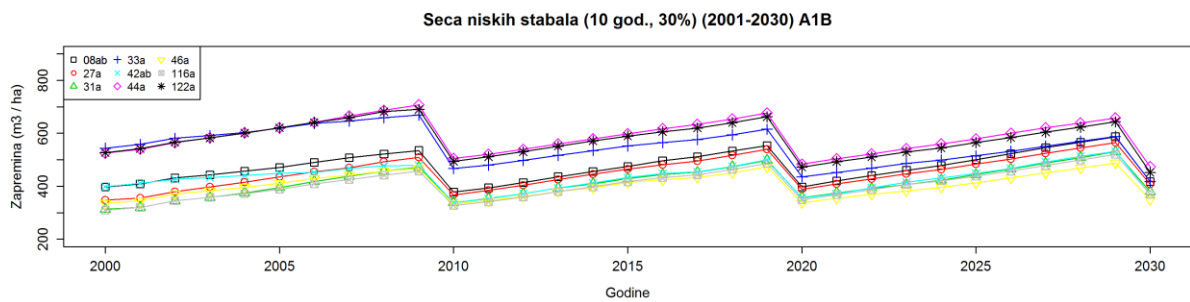
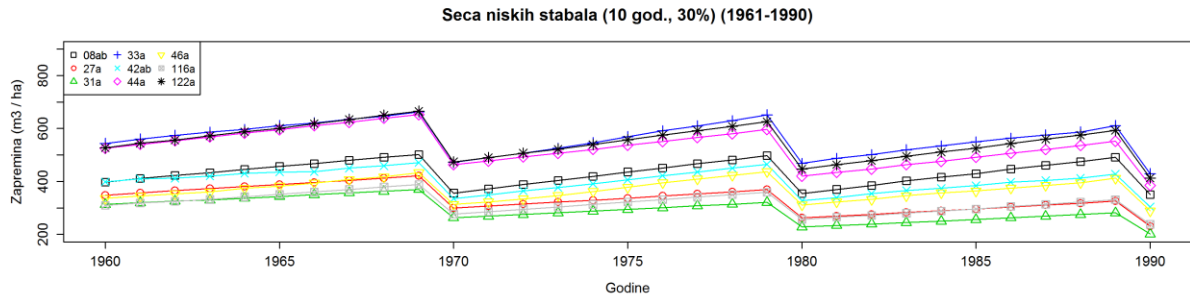


Seca niskih stabala (10 god., 20%) (2071-2100) A2

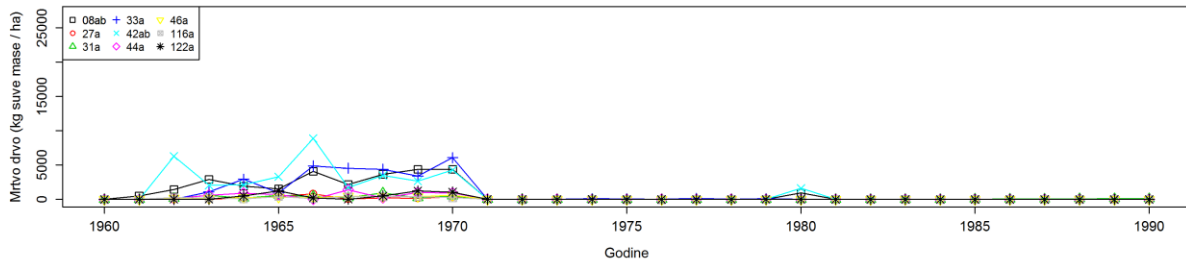




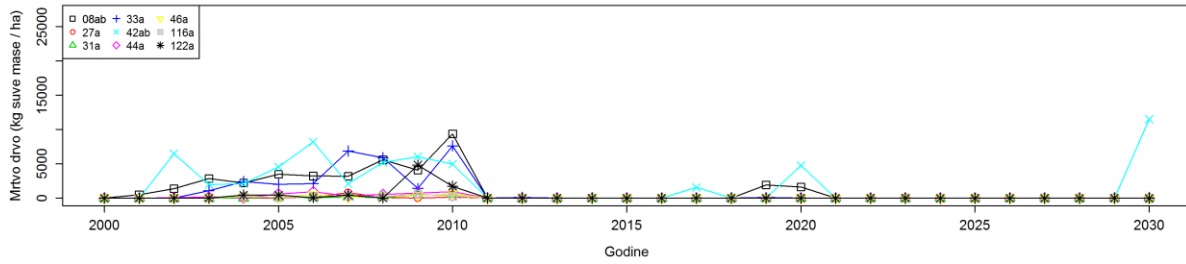
Scenario gazdovanja 7 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



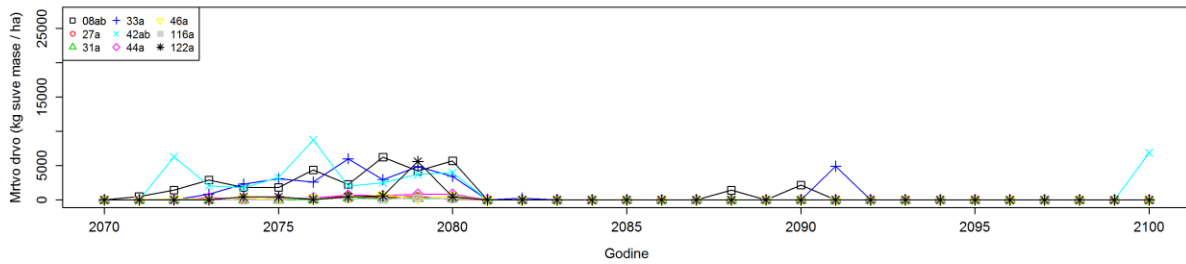
Seca niskih stabala (10 god., 30%) (1961-1990)



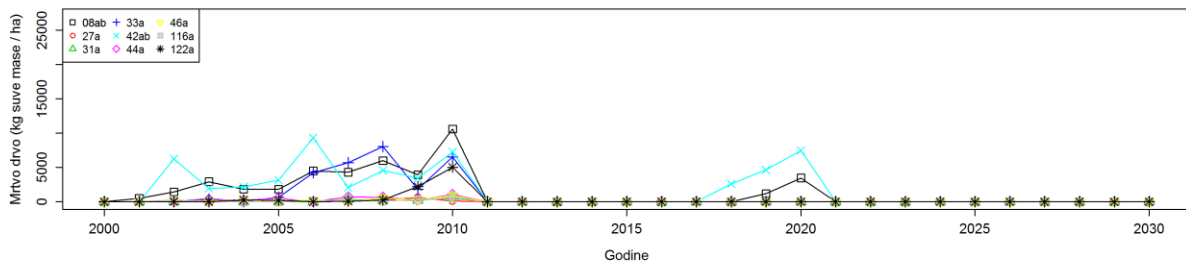
Seca niskih stabala (10 god., 30%) (2001-2030) A1B



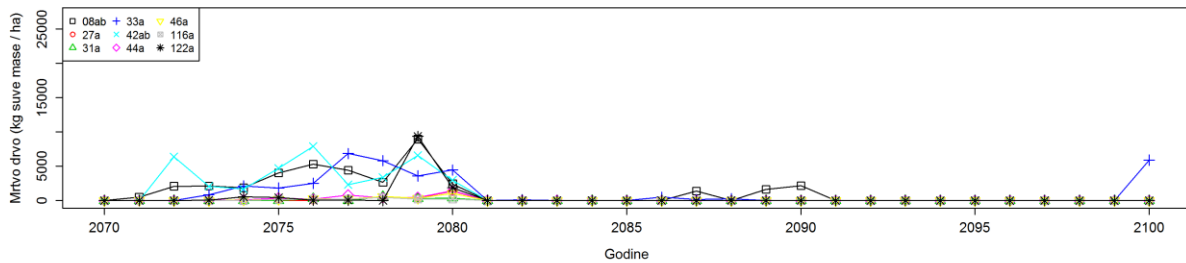
Seca niskih stabala (10 god., 30%) (2071-2100) A1B

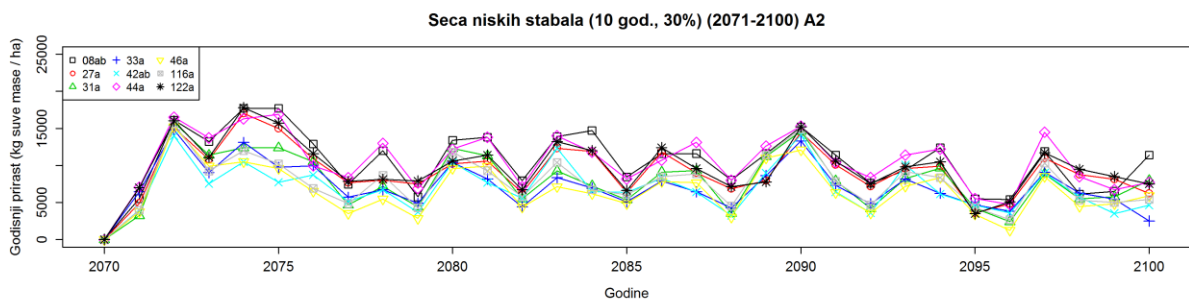
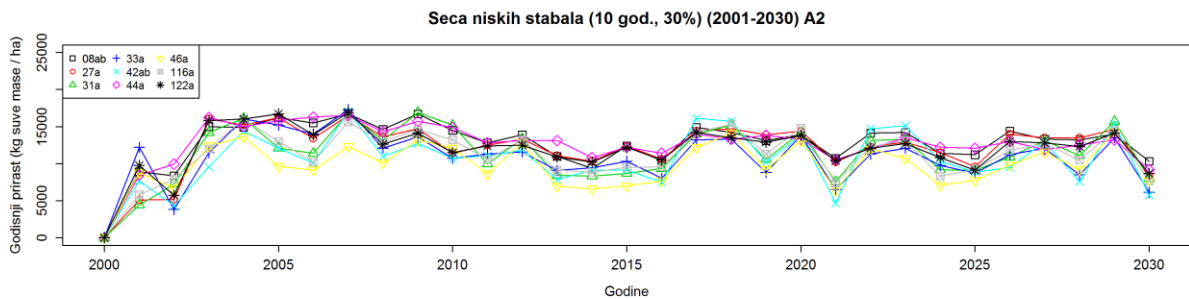
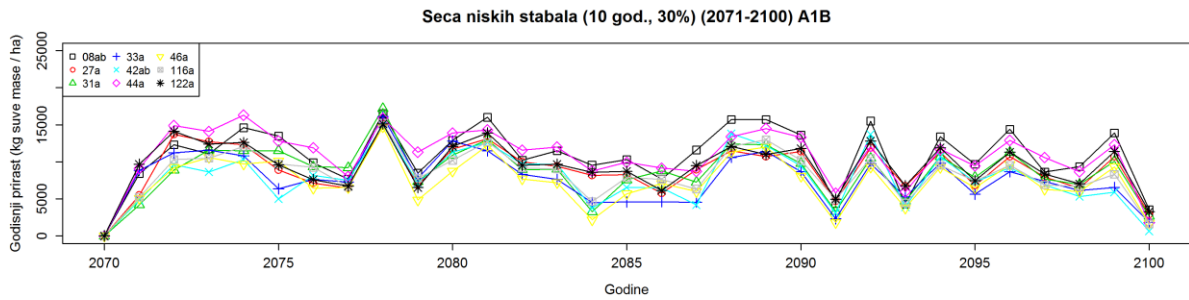
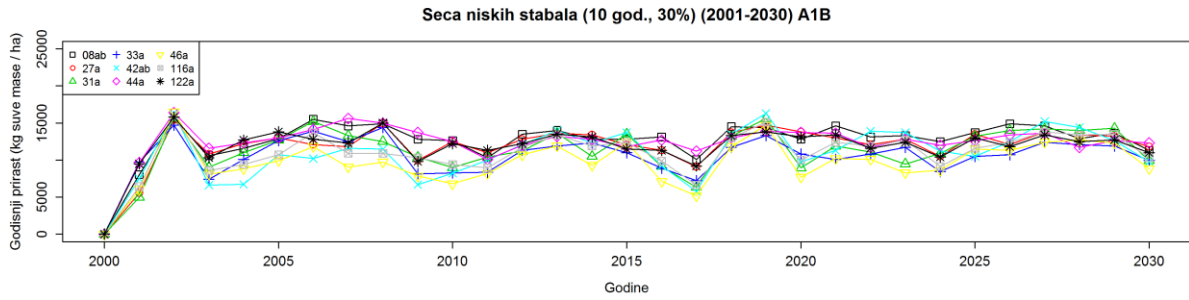
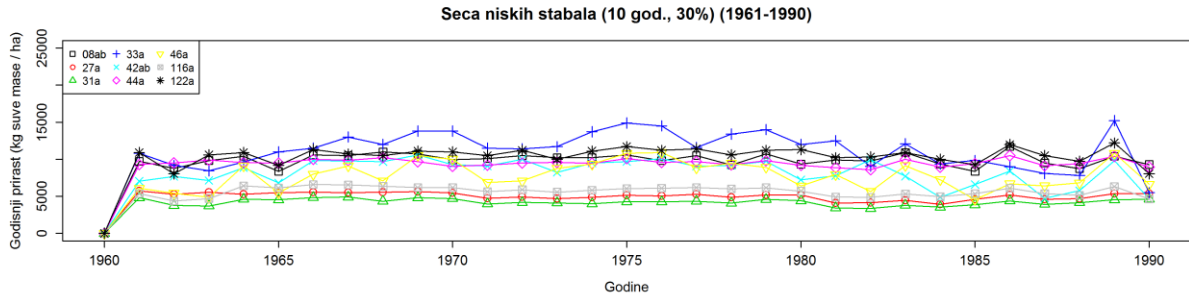


Seca niskih stabala (10 god., 30%) (2001-2030) A2

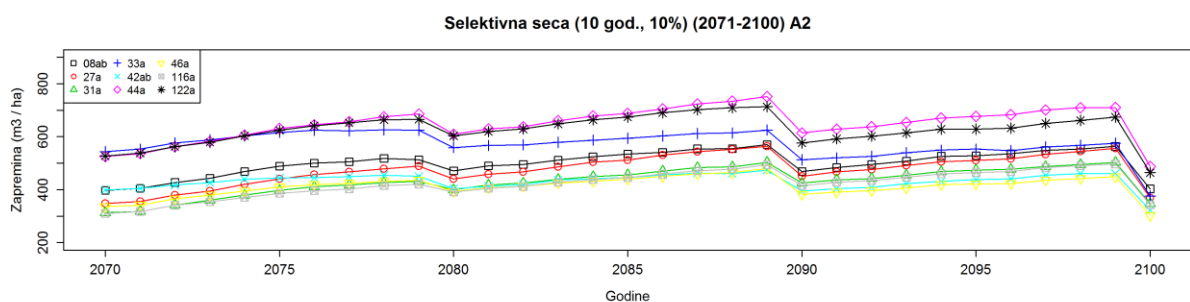
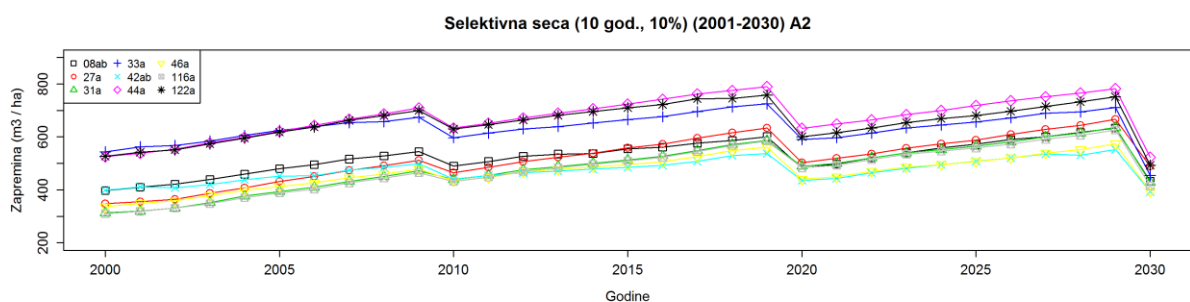
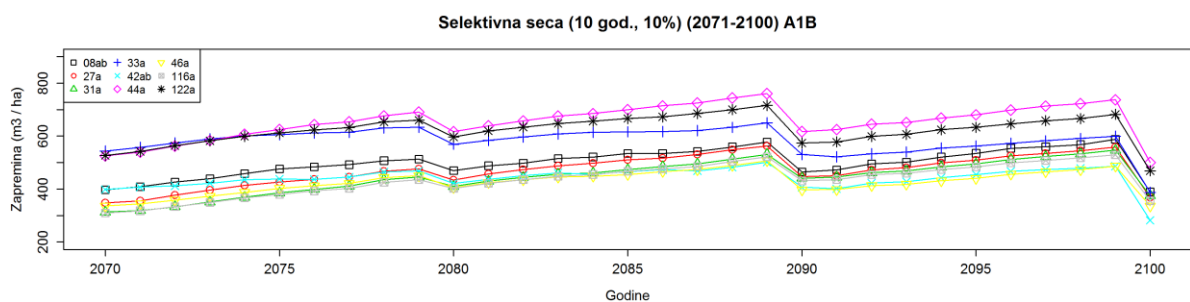
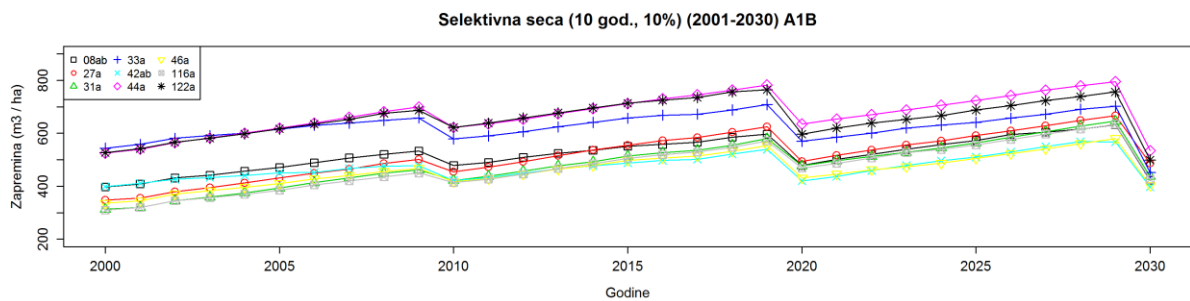
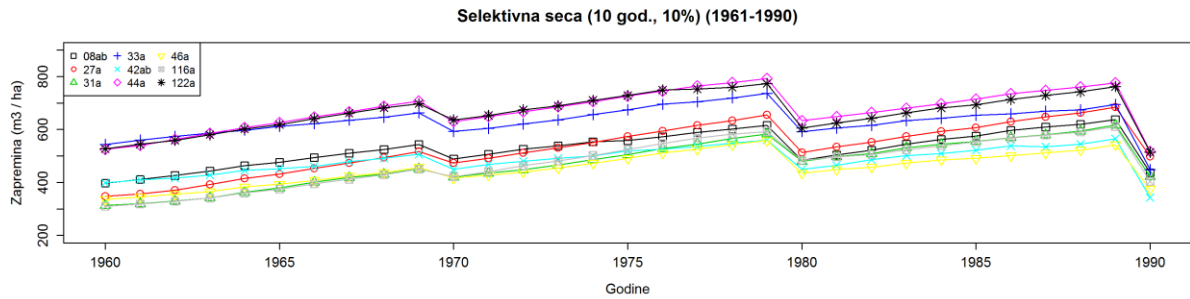


Seca niskih stabala (10 god., 30%) (2071-2100) A2

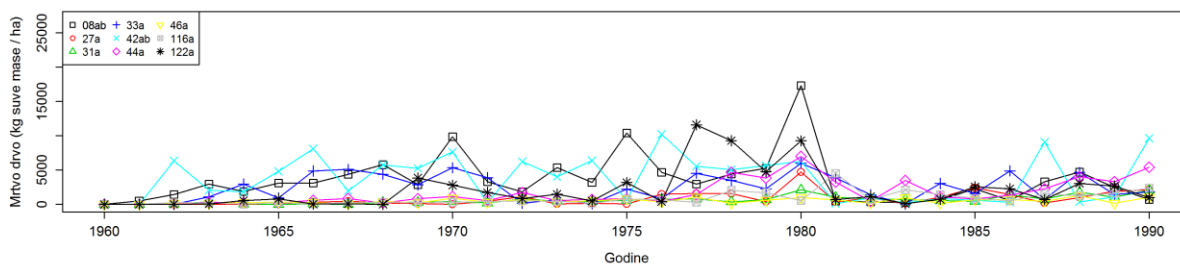




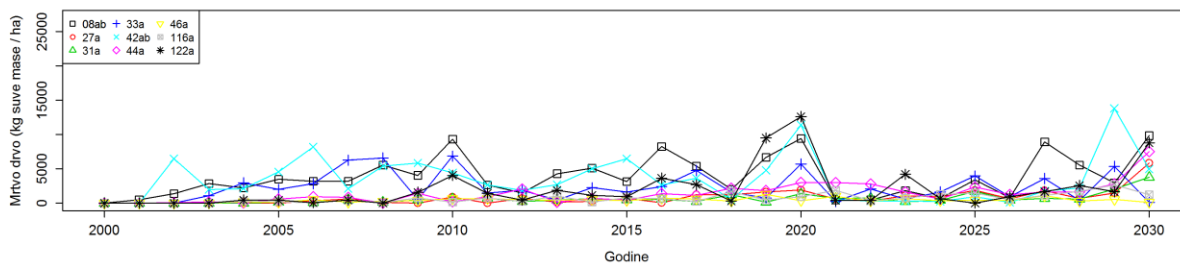
Scenarijo gazdovanja 8 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



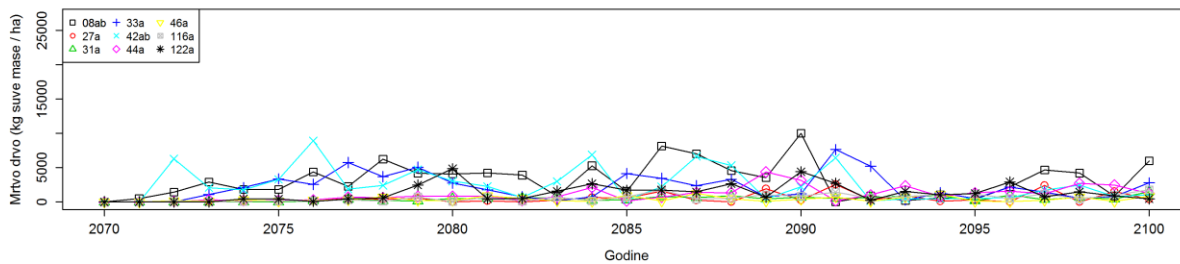
Selektivna seca (10 god., 10%) (1961-1990)



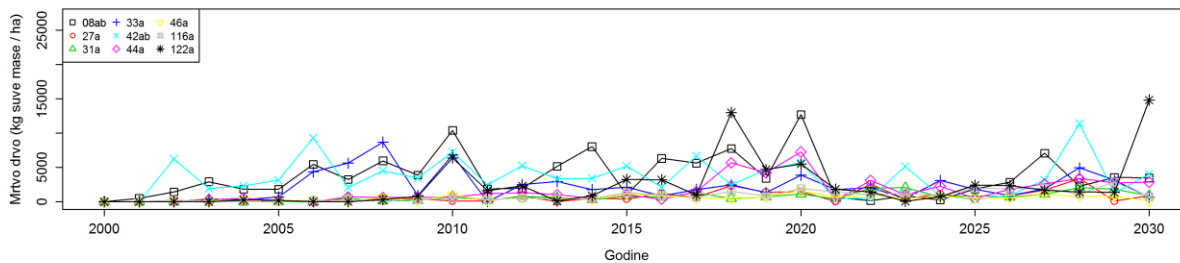
Selektivna seca (10 god., 10%) (2001-2030) A1B



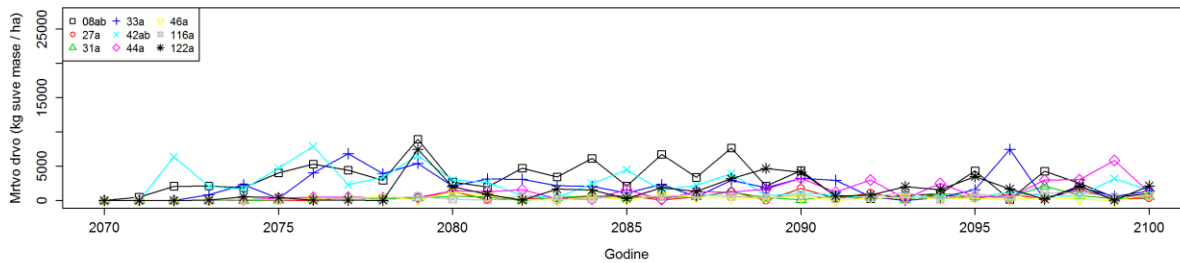
Selektivna seca (10 god., 10%) (2071-2100) A1B

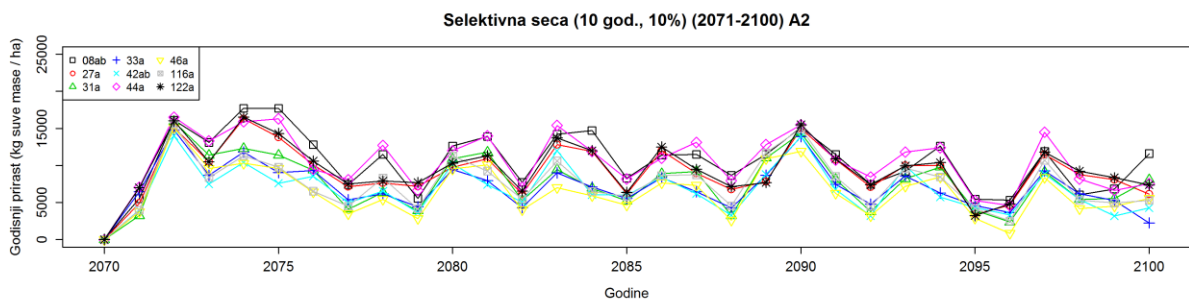
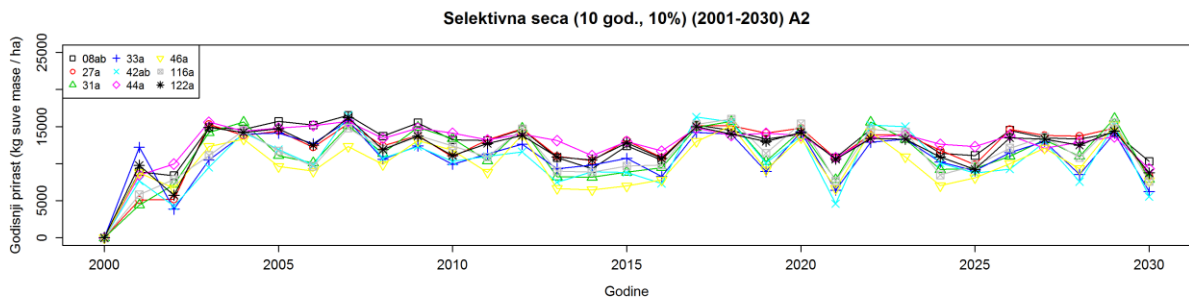
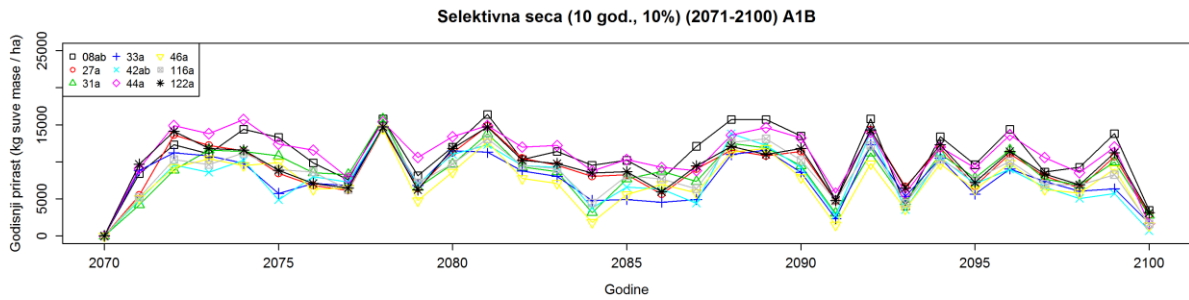
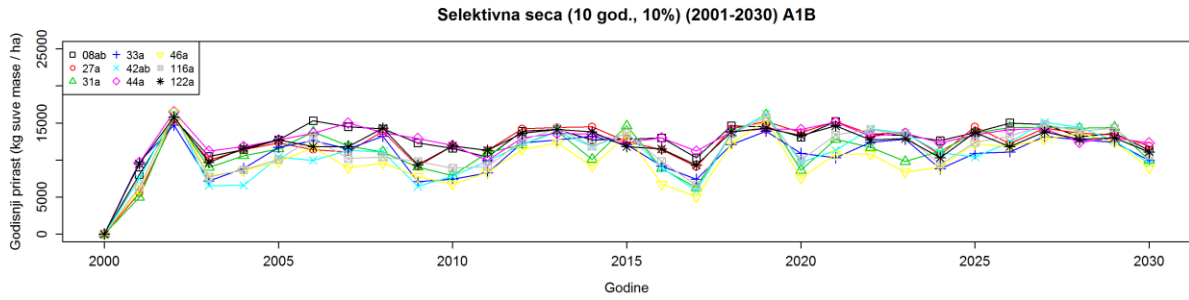
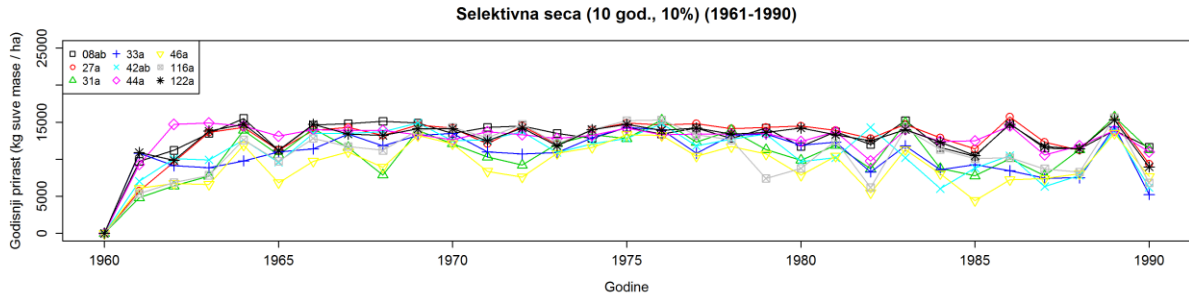


Selektivna seca (10 god., 10%) (2001-2030) A2

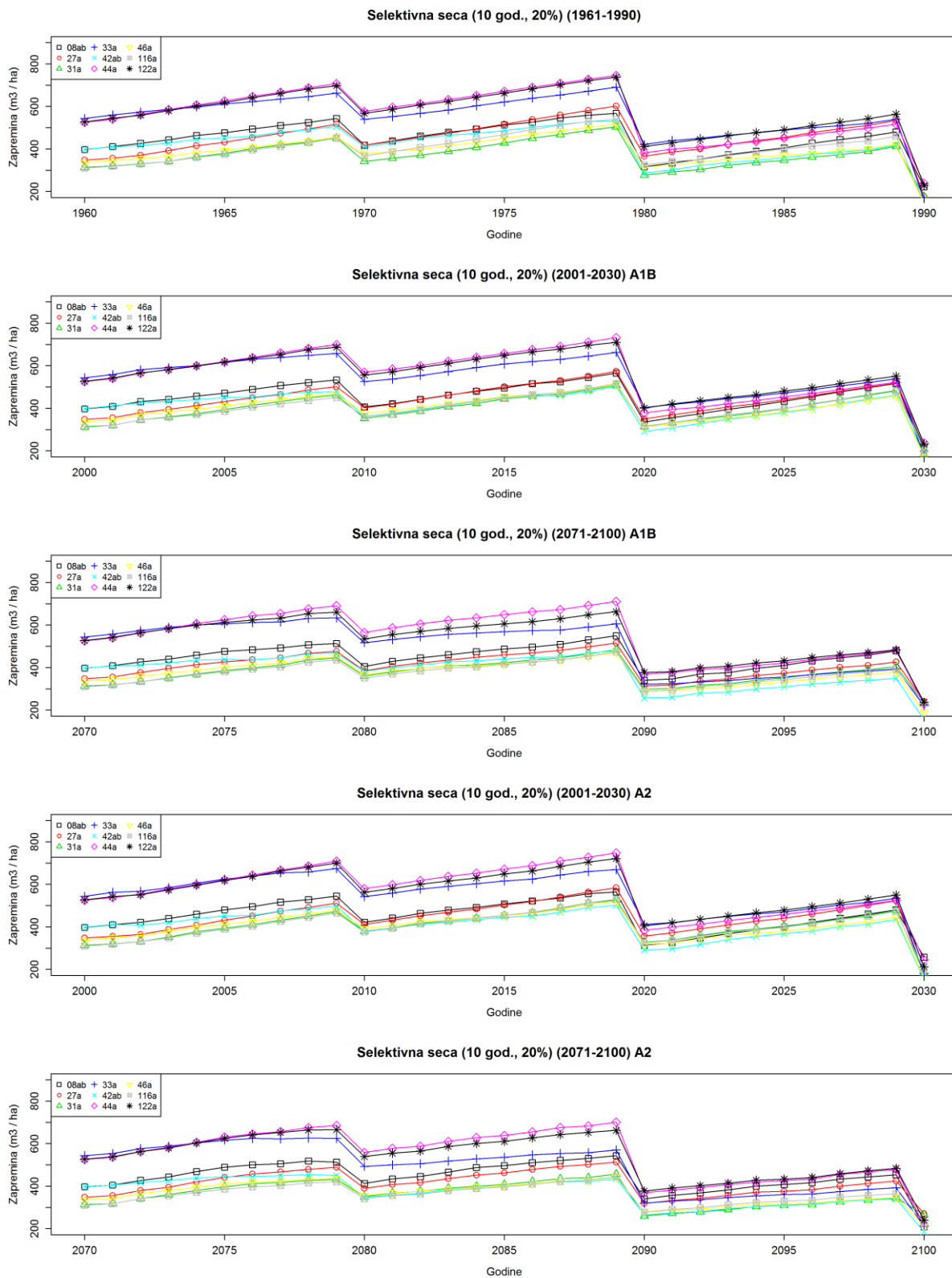


Selektivna seca (10 god., 10%) (2071-2100) A2

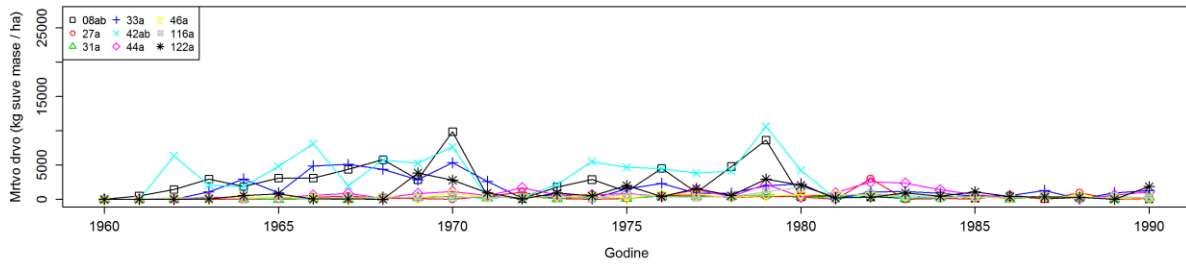




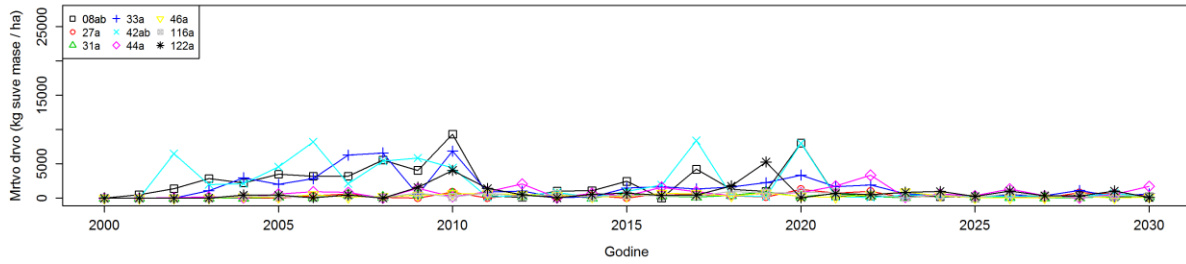
Scenario gazdovanja 9 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



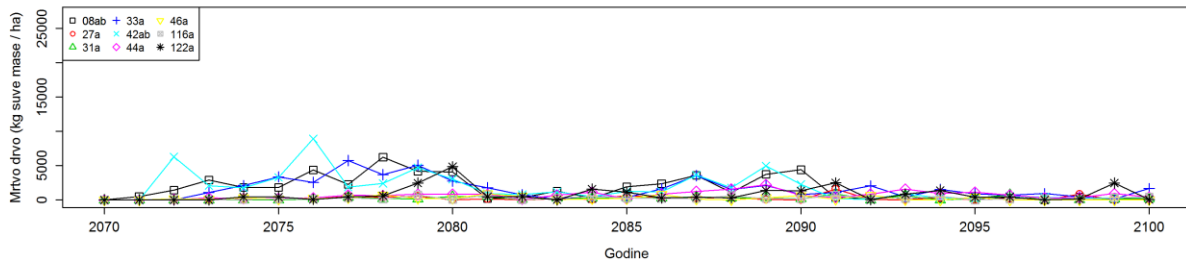
Selektivna seca (10 god., 20%) (1961-1990)



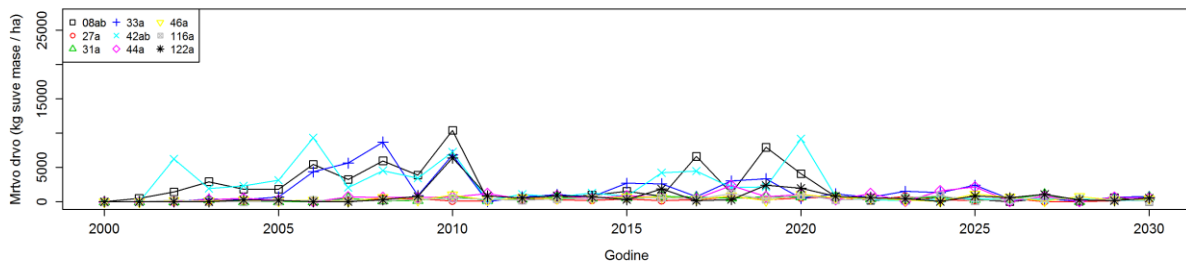
Selektivna seca (10 god., 20%) (2001-2030) A1B



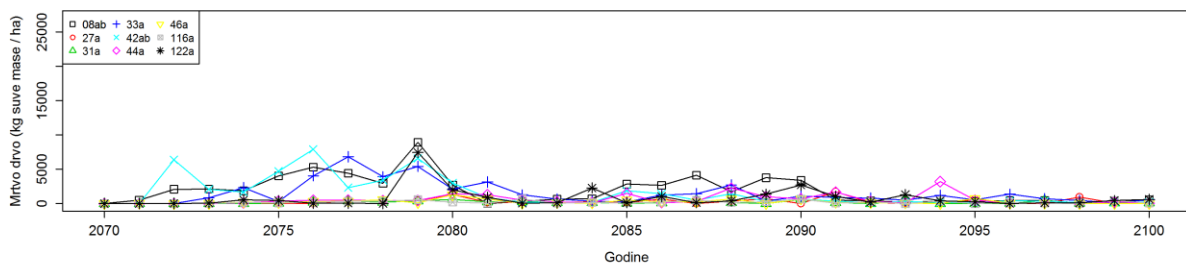
Selektivna seca (10 god., 20%) (2071-2100) A1B

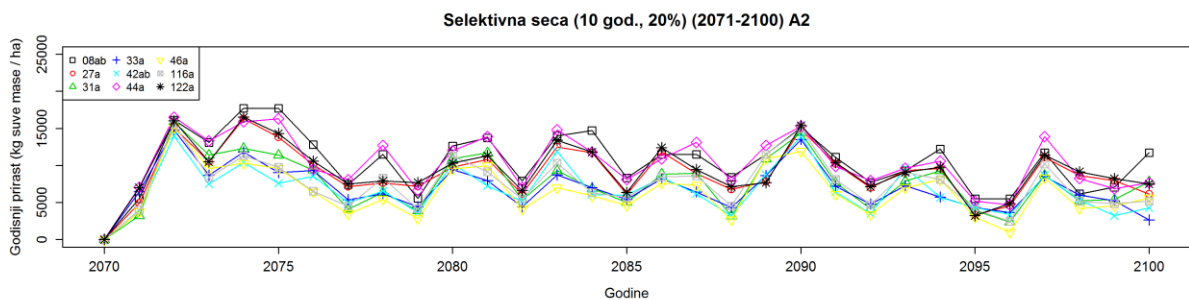
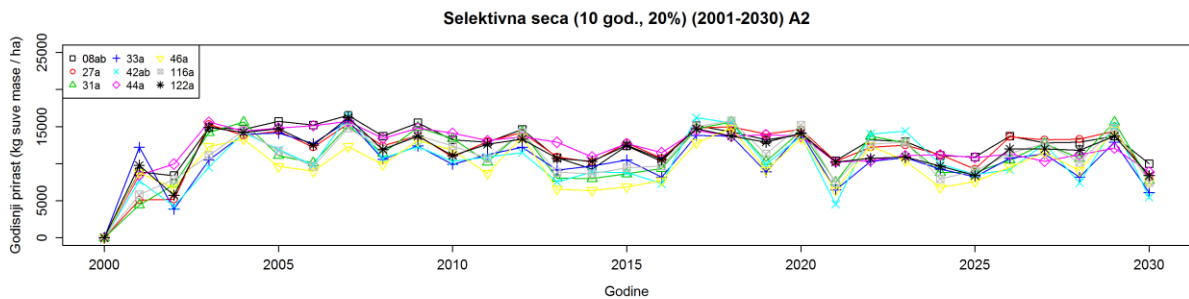
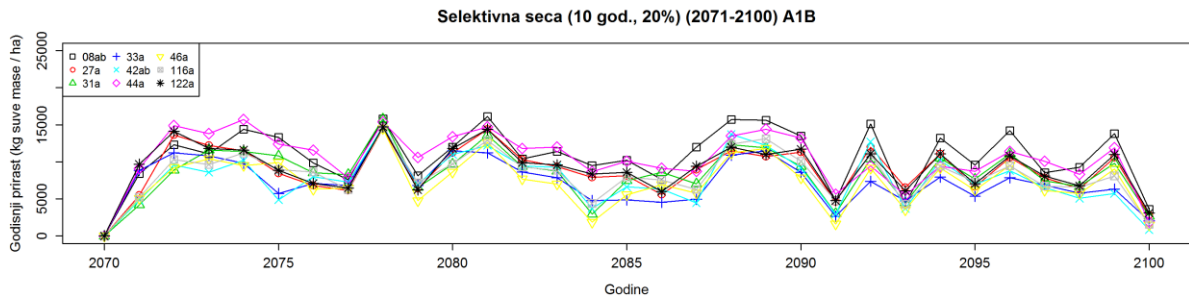
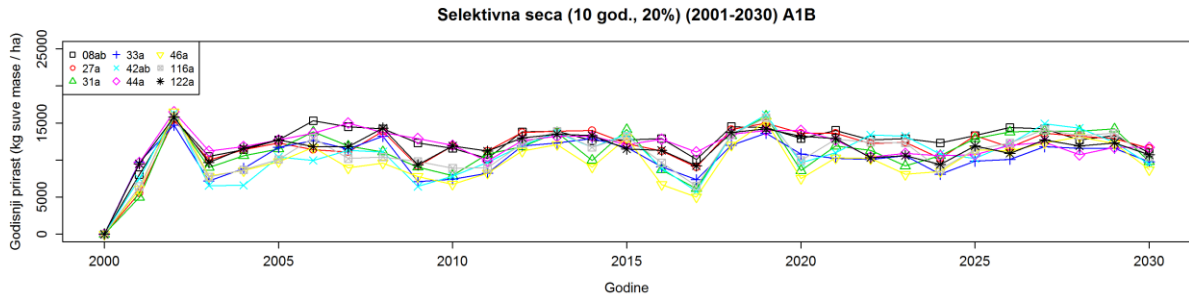
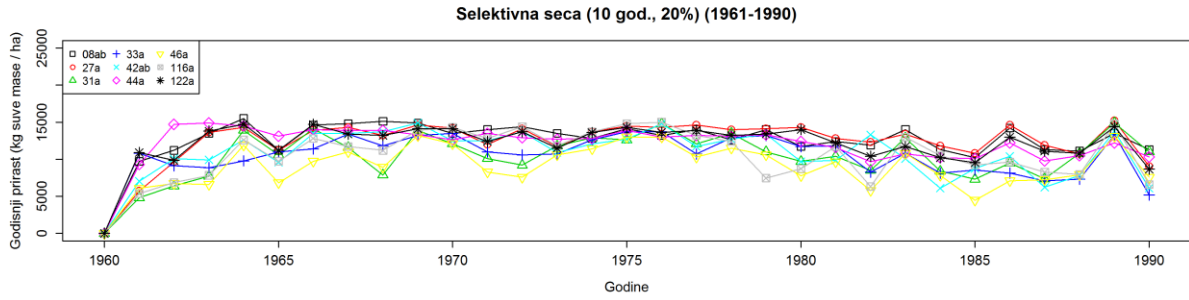


Selektivna seca (10 god., 20%) (2001-2030) A2

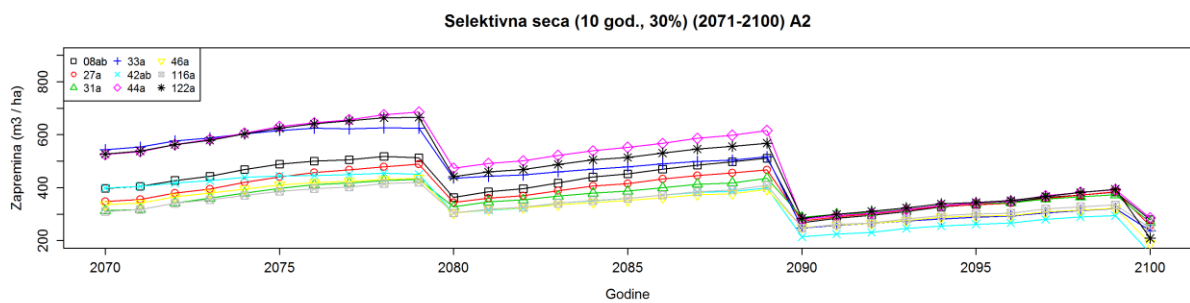
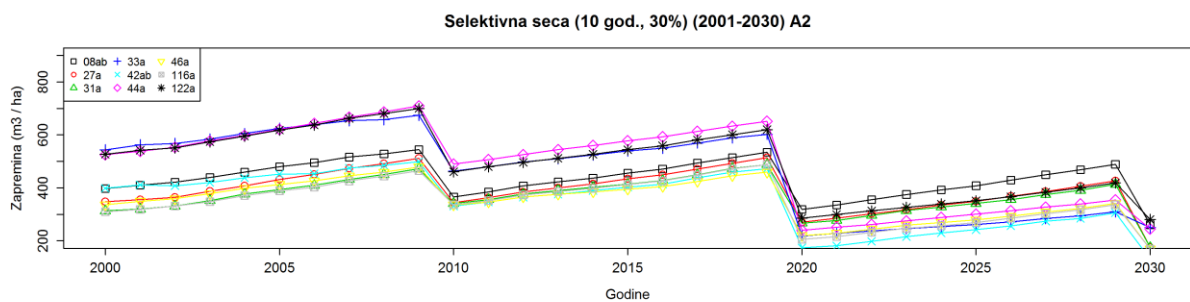
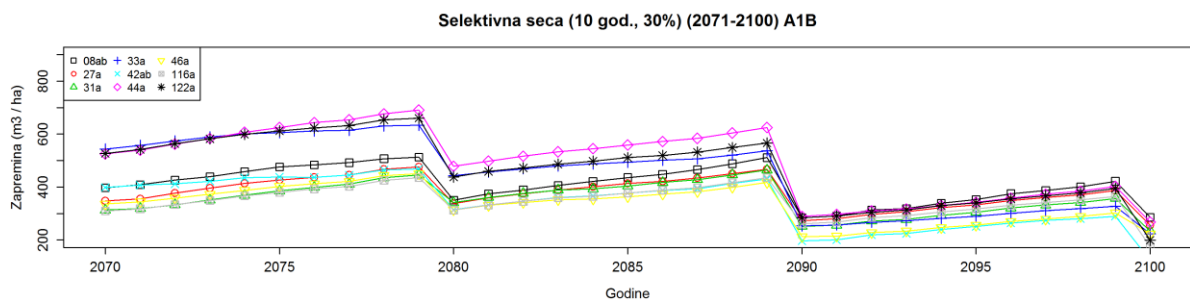
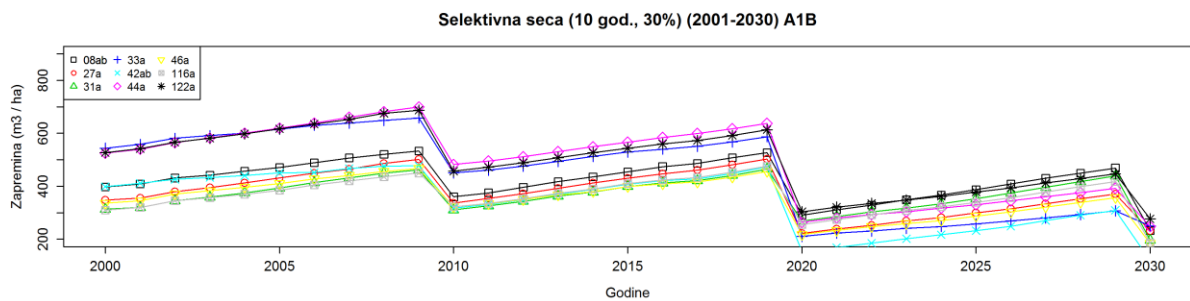
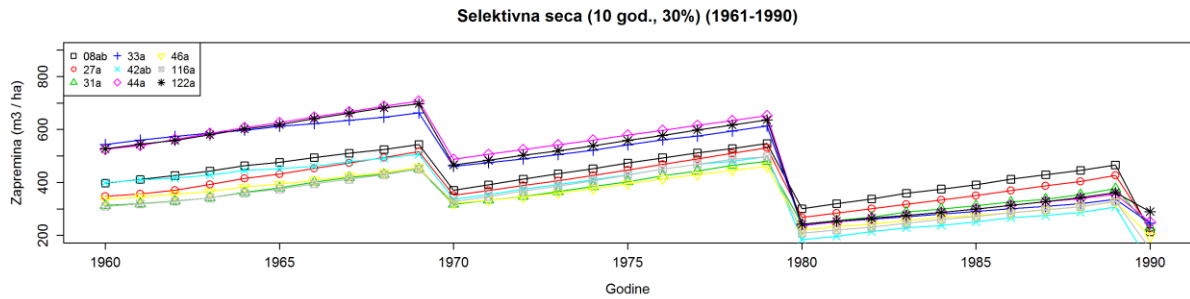


Selektivna seca (10 god., 20%) (2071-2100) A2

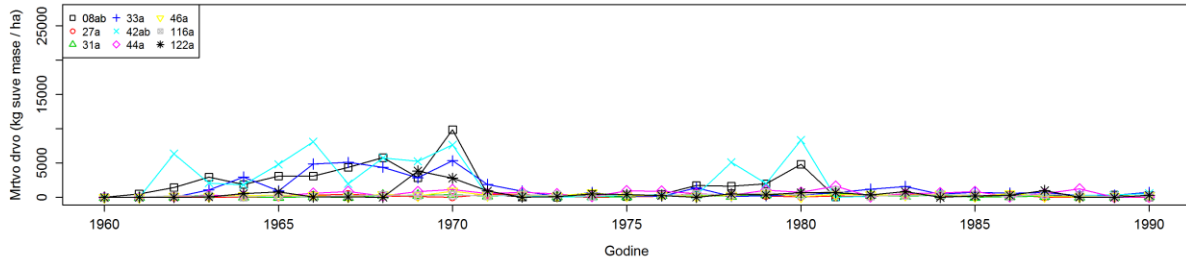




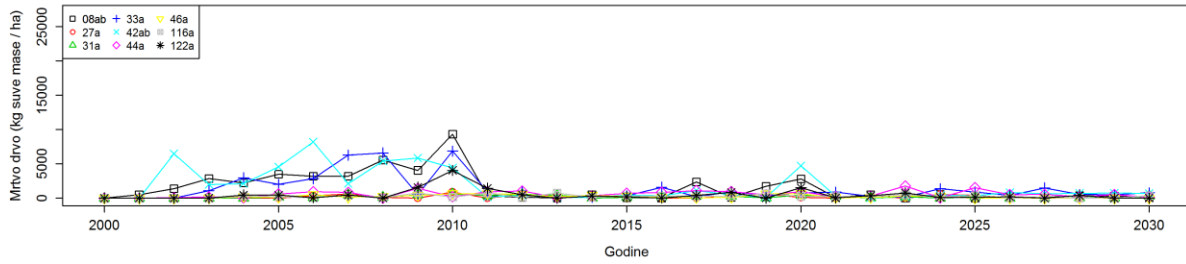
Scenario gazdovanja 10 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



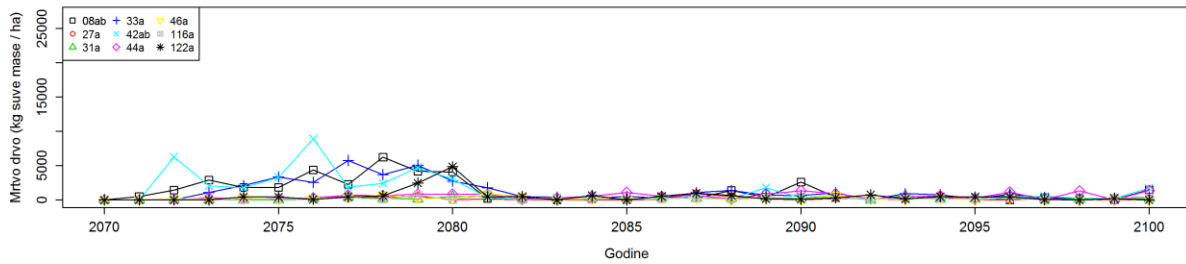
Selektivna seca (10 god., 30%) (1961-1990)



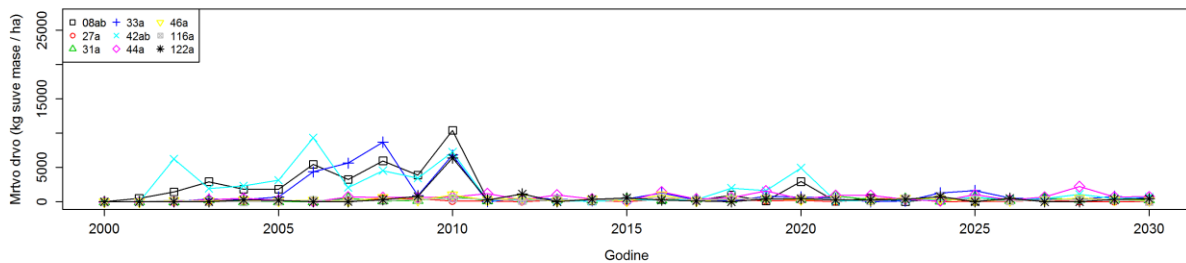
Selektivna seca (10 god., 30%) (2001-2030) A1B



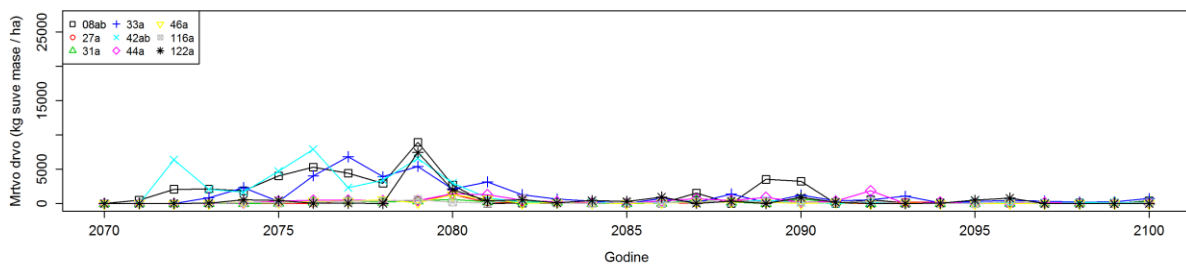
Selektivna seca (10 god., 30%) (2071-2100) A1B

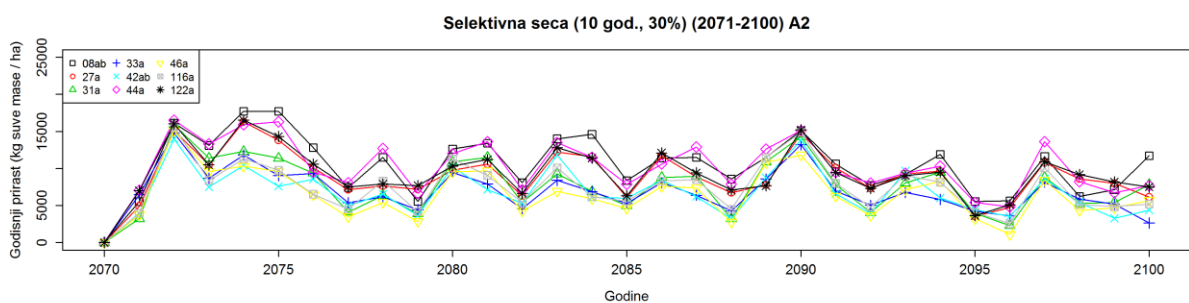
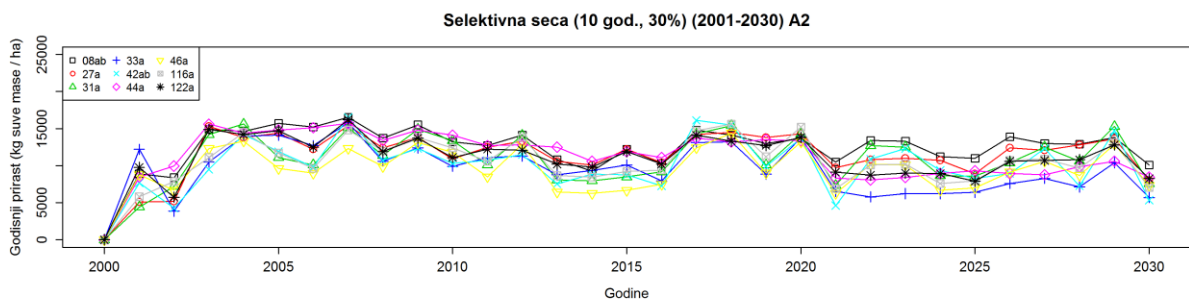
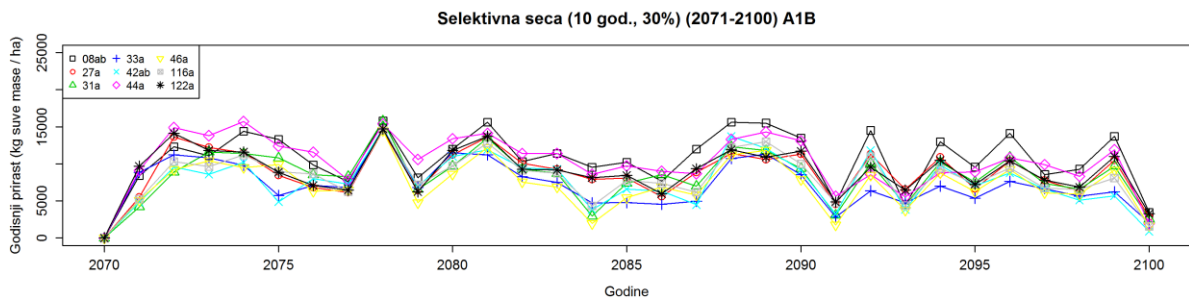
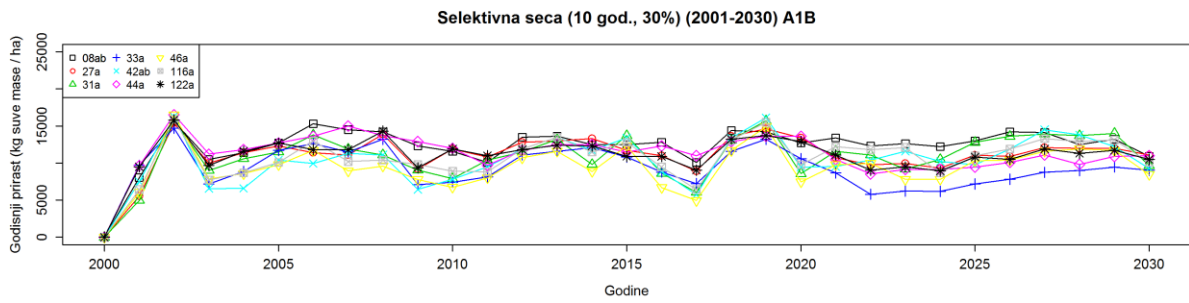
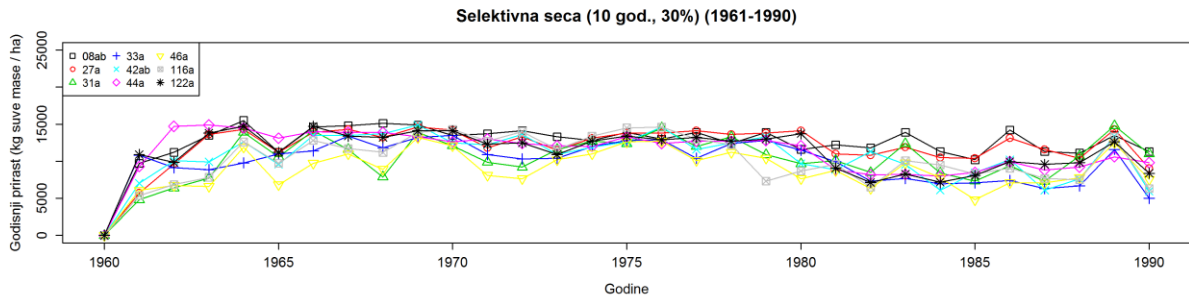


Selektivna seca (10 god., 30%) (2001-2030) A2

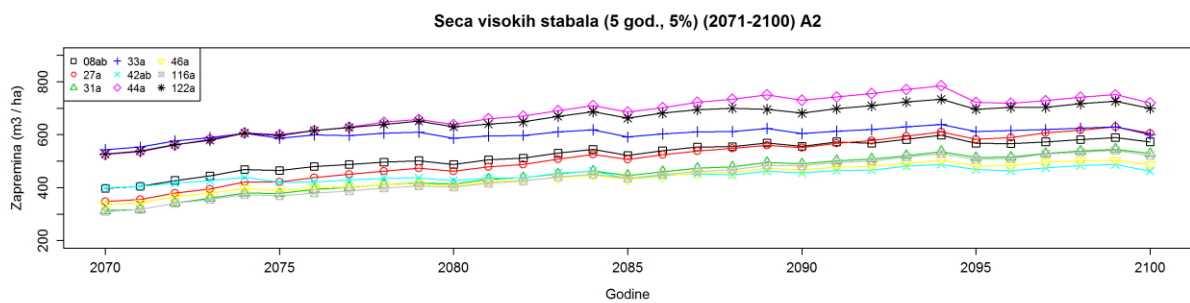
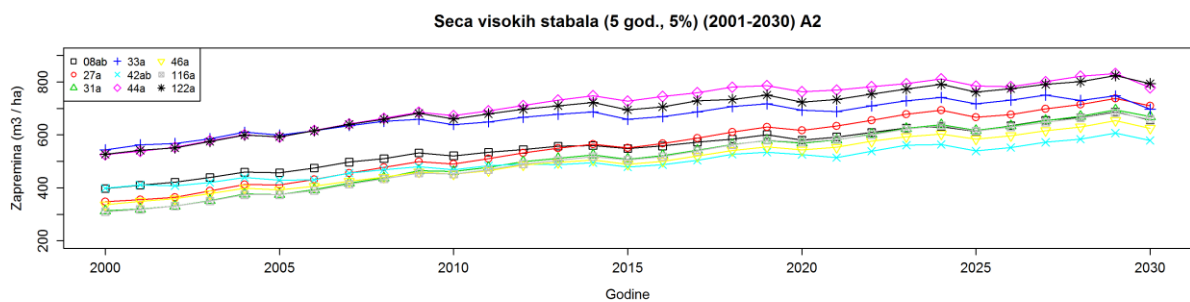
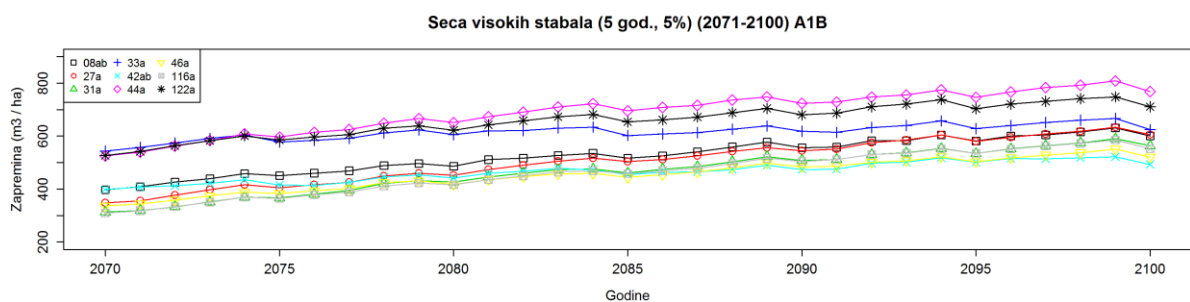
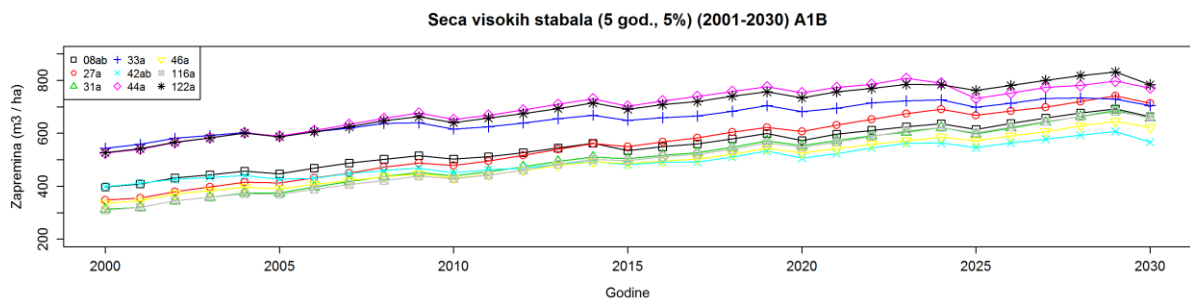
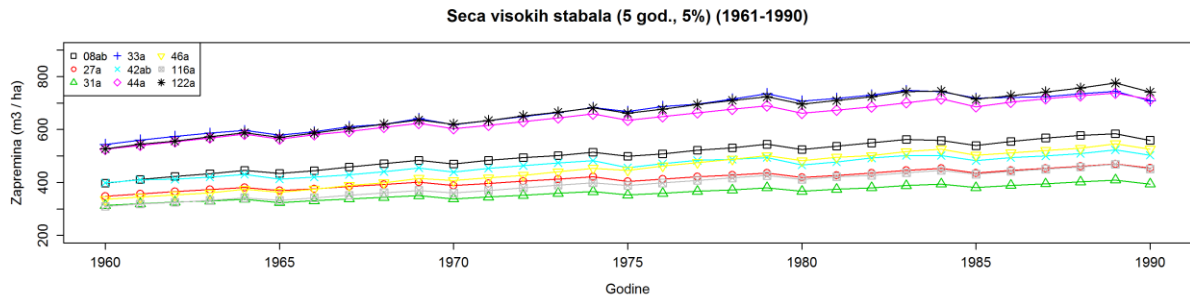


Selektivna seca (10 god., 30%) (2071-2100) A2

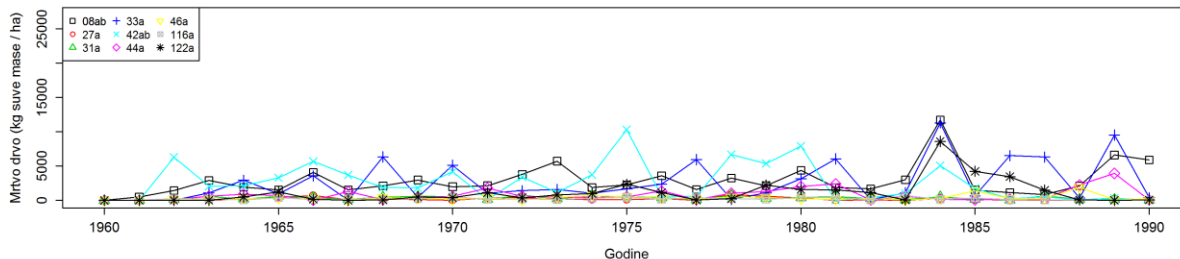




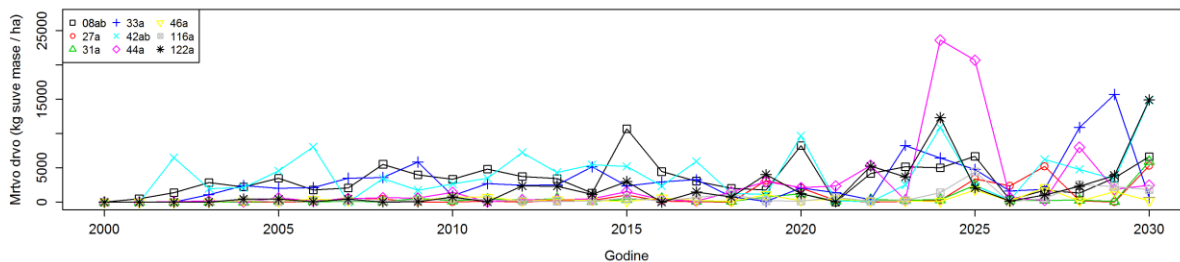
Scenario gazdovanja 11 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



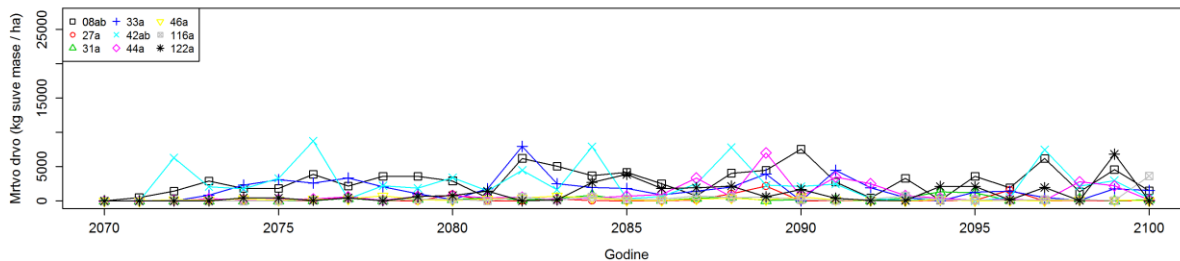
Seca visokih stabala (5 god., 5%) (1961-1990)



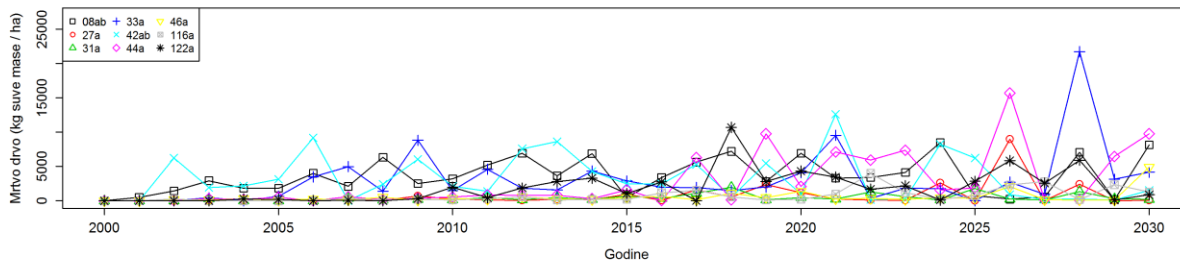
Seca visokih stabala (5 god., 5%) (2001-2030) A1B



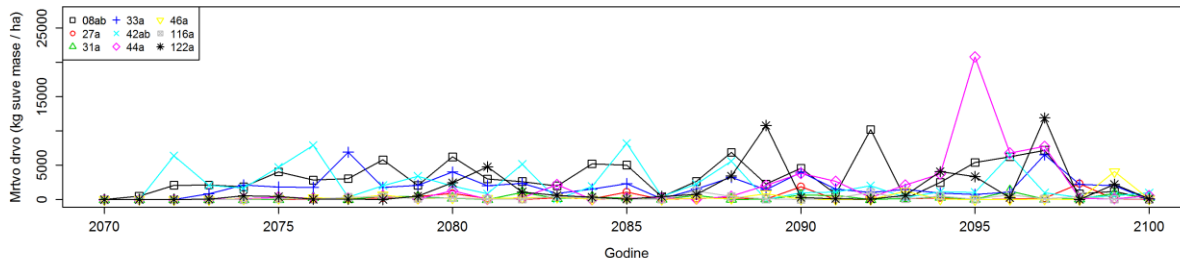
Seca visokih stabala (5 god., 5%) (2071-2100) A1B

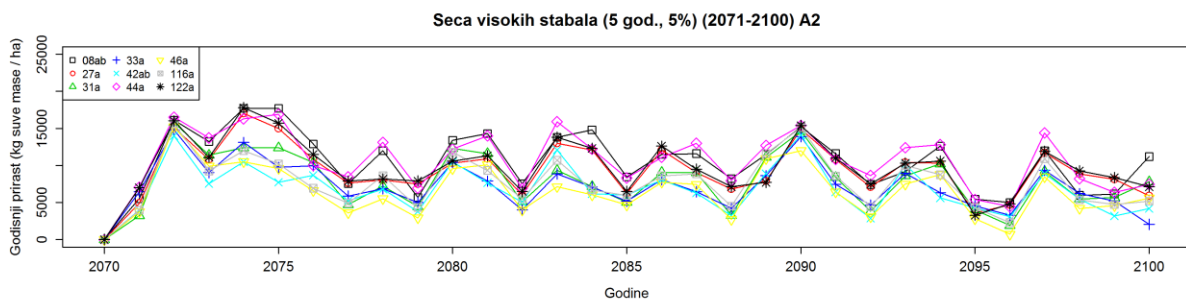
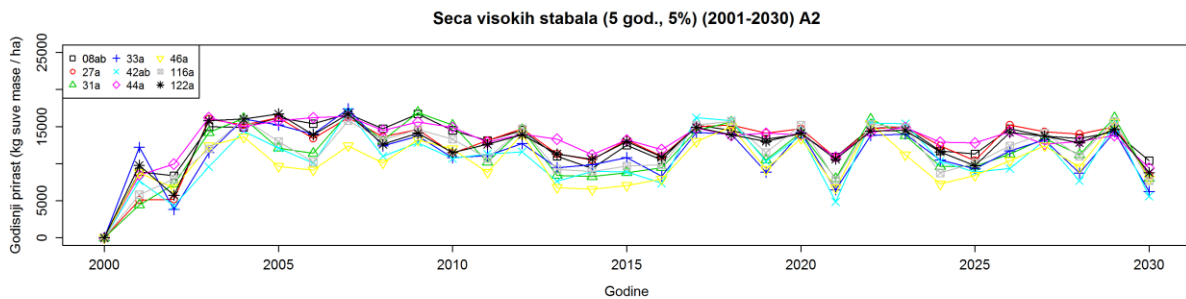
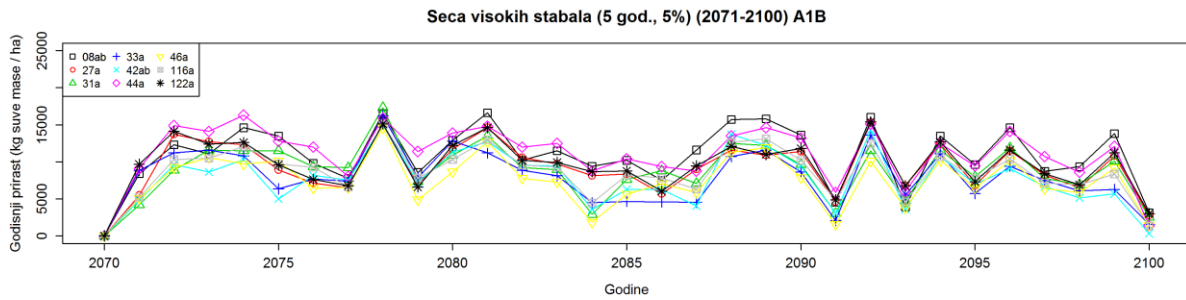
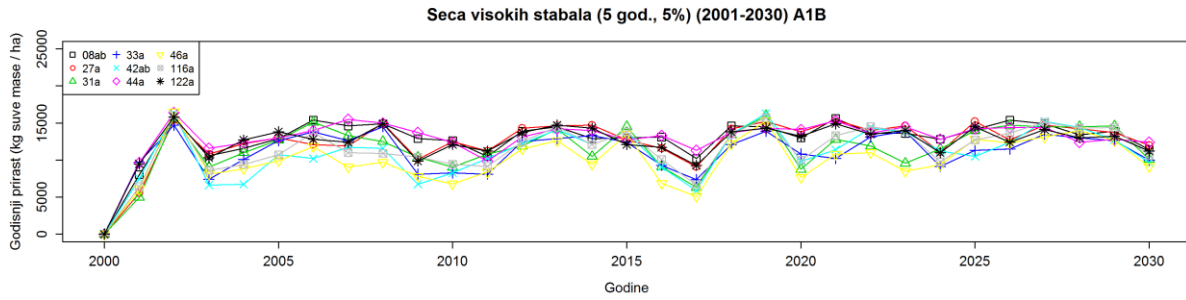
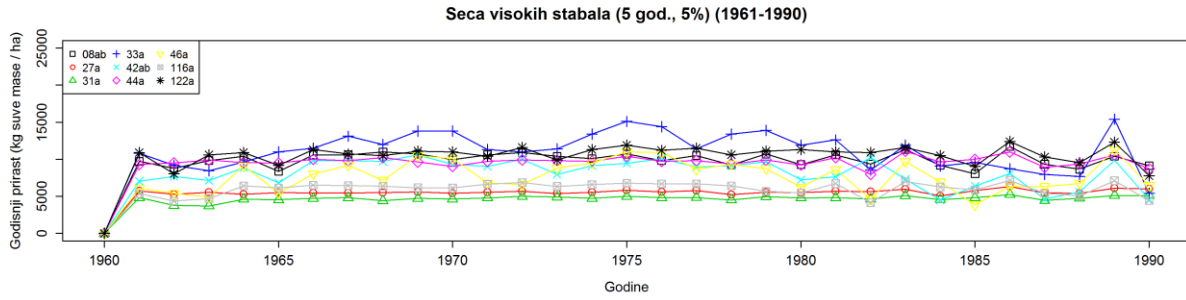


Seca visokih stabala (5 god., 5%) (2001-2030) A2

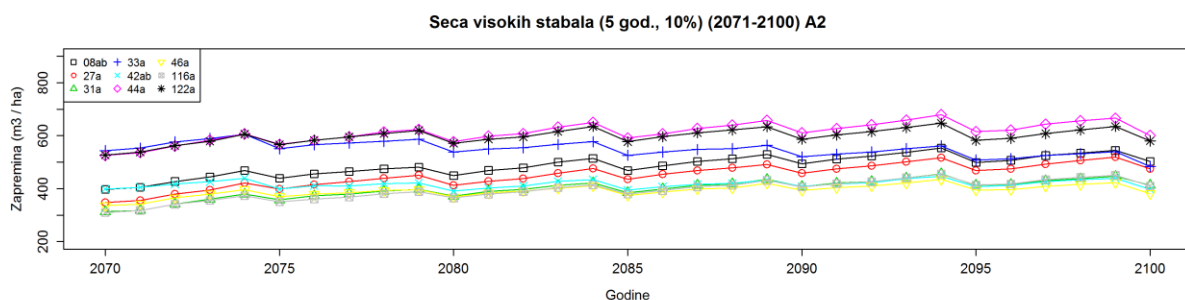
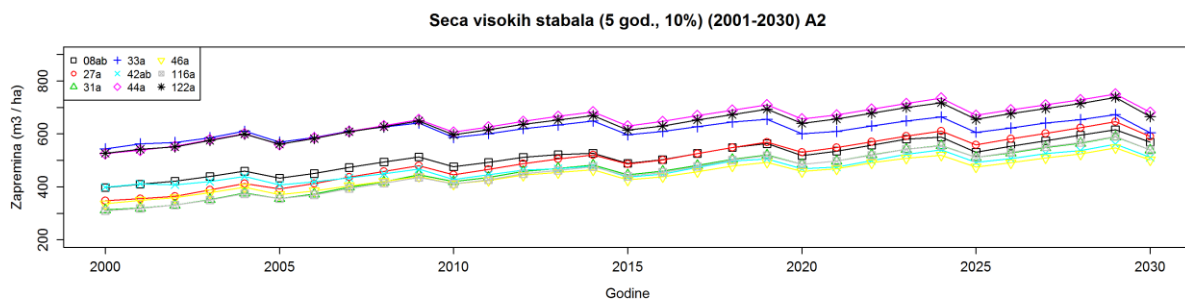
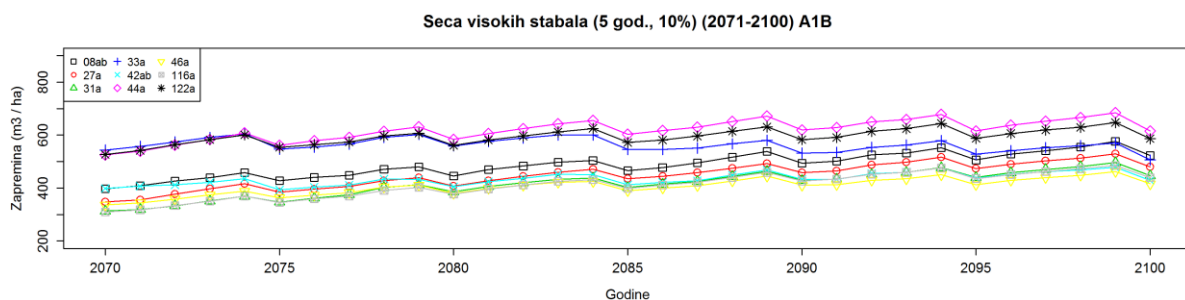
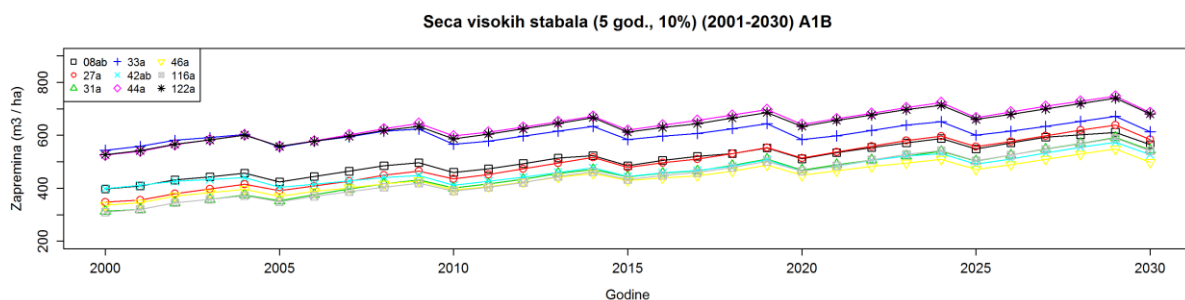
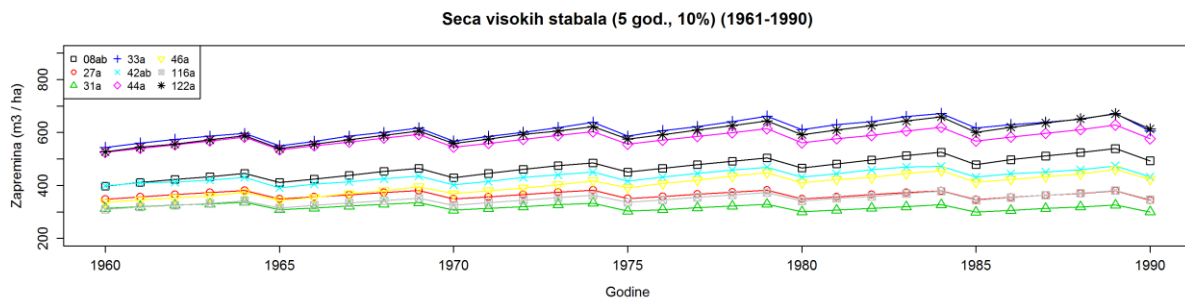


Seca visokih stabala (5 god., 5%) (2071-2100) A2

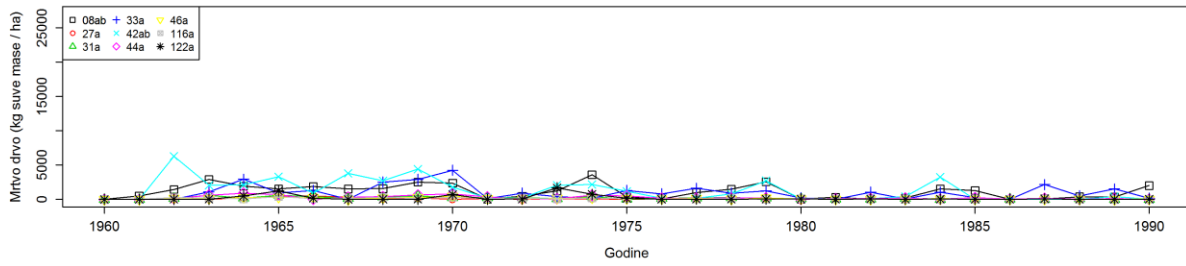




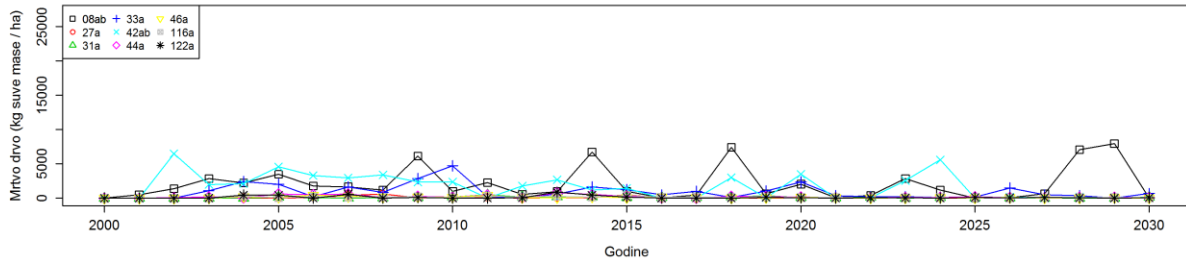
Scenario gazdovanja 12 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



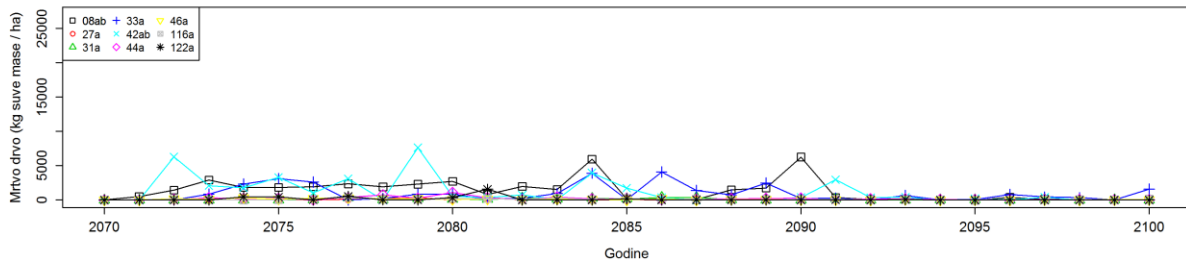
Seca visokih stabala (5 god., 10%) (1961-1990)



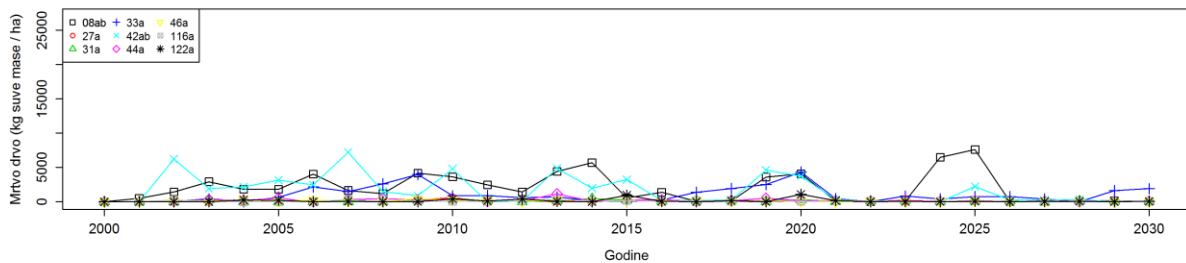
Seca visokih stabala (5 god., 10%) (2001-2030) A1B



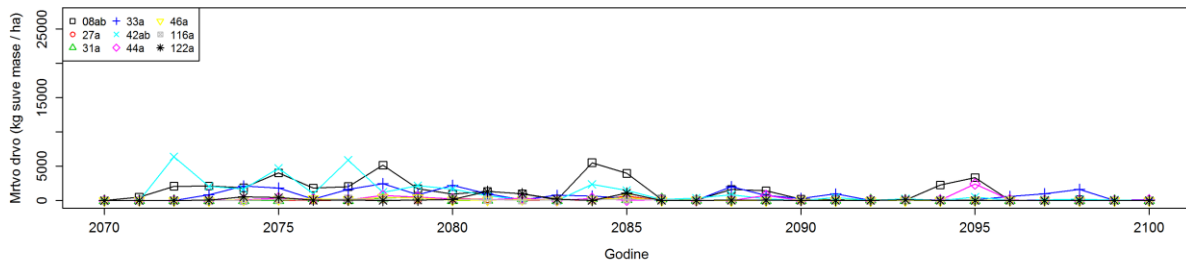
Seca visokih stabala (5 god., 10%) (2071-2100) A1B

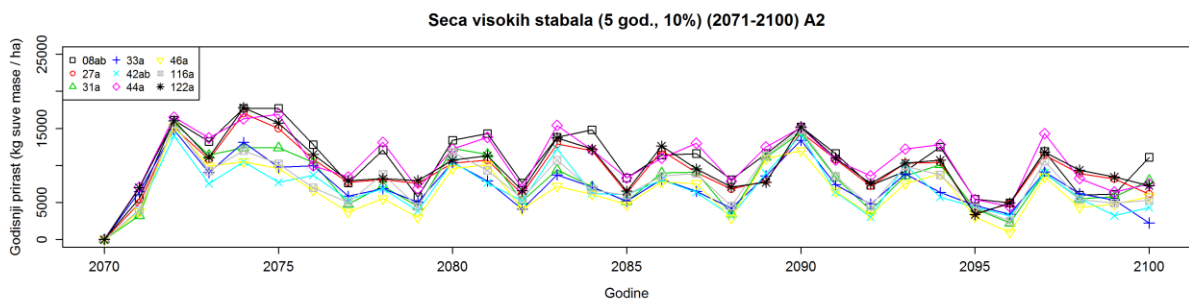
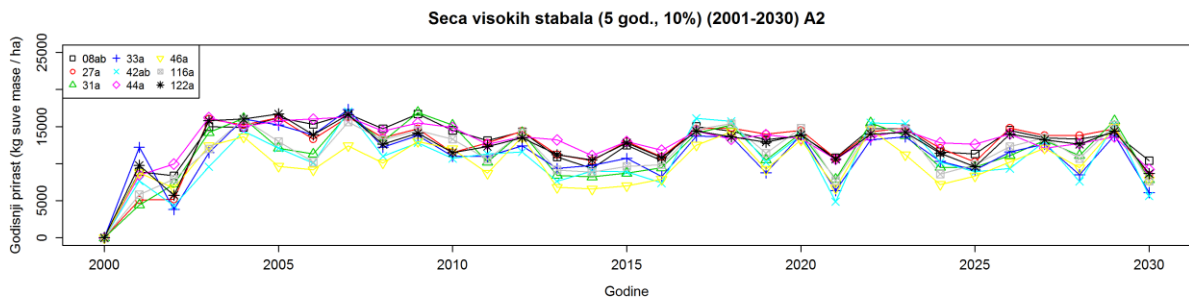
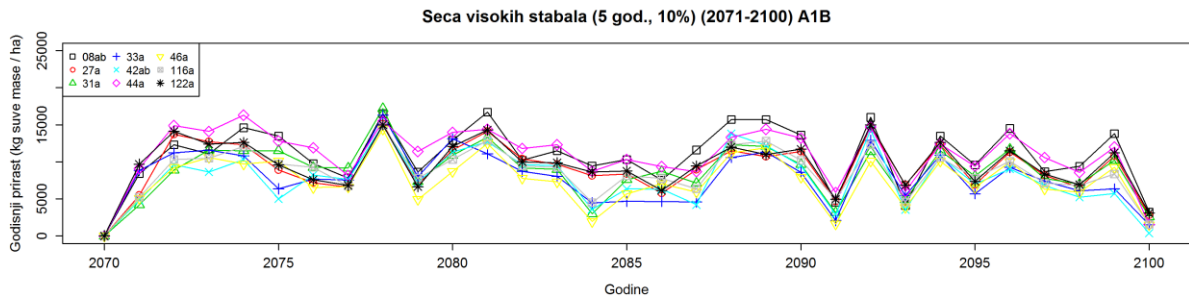
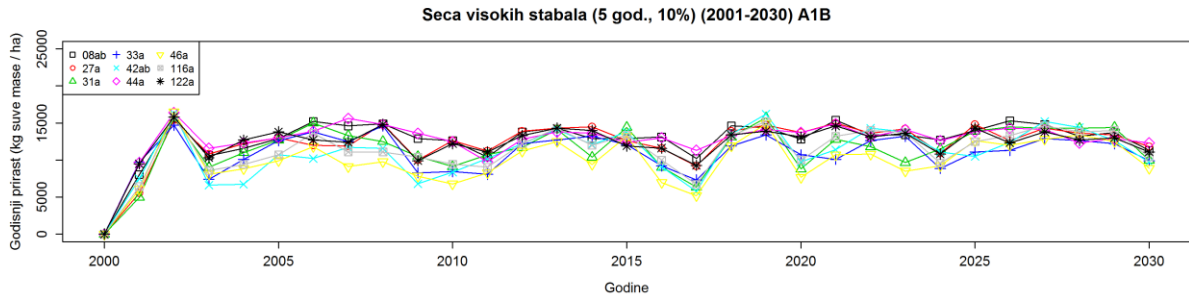
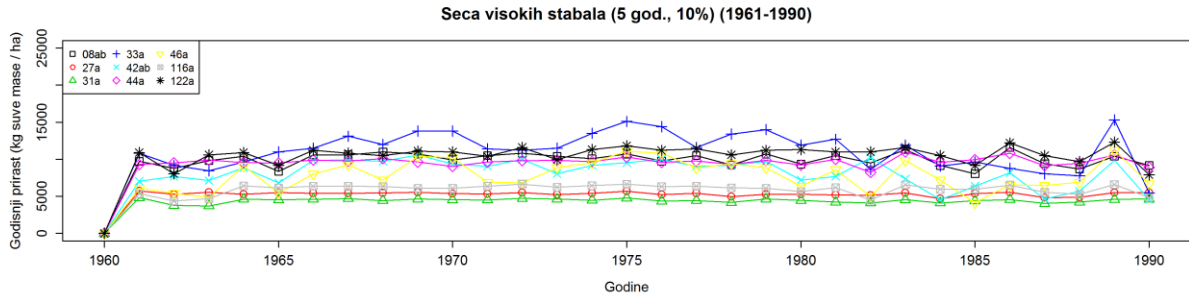


Seca visokih stabala (5 god., 10%) (2001-2030) A2

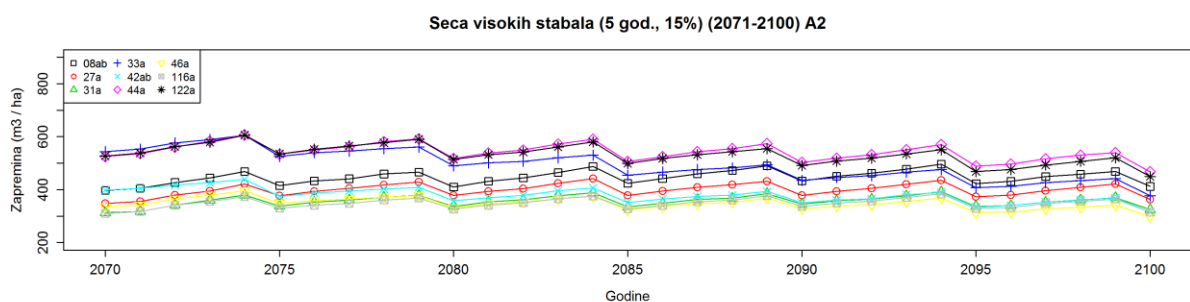
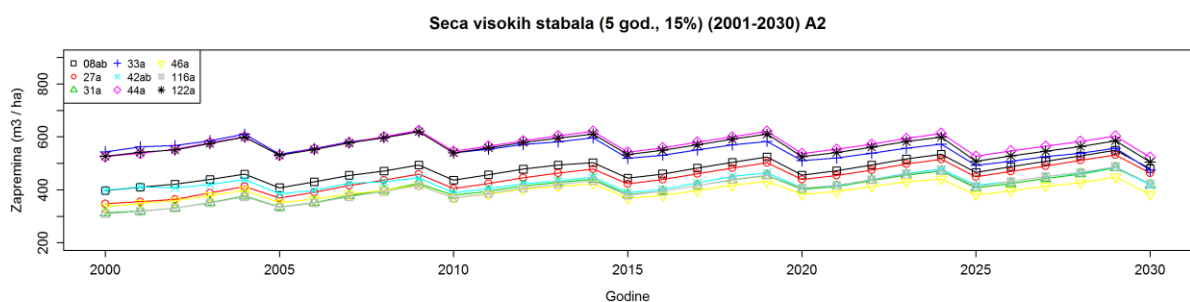
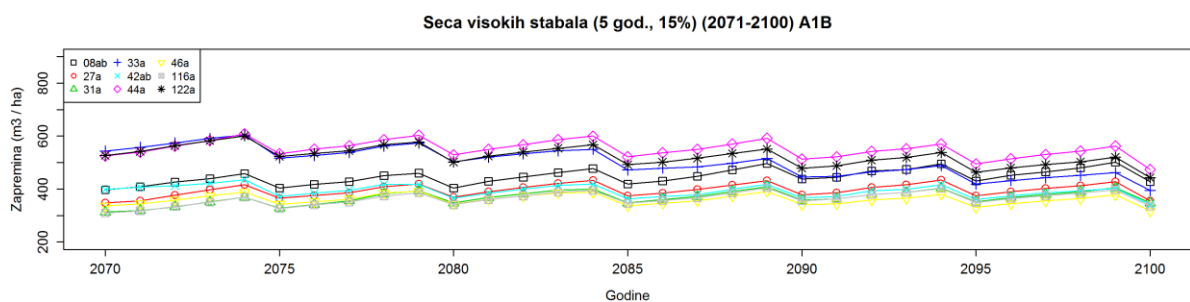
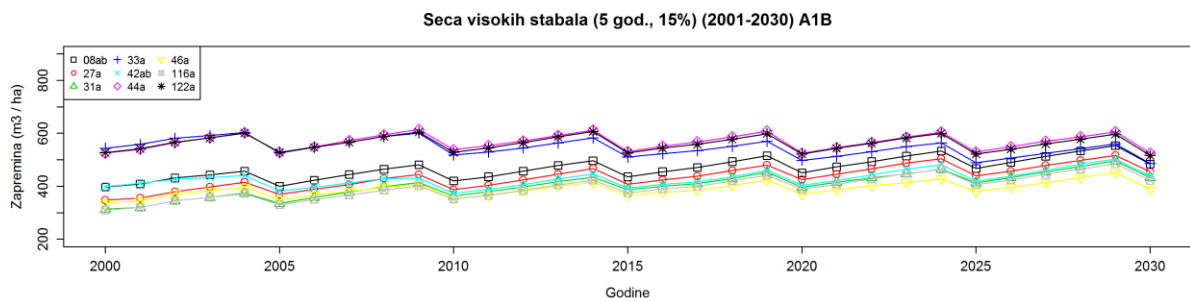
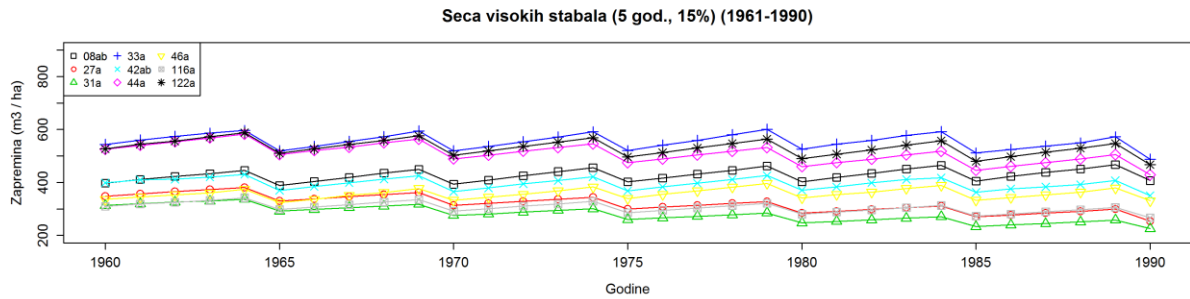


Seca visokih stabala (5 god., 10%) (2071-2100) A2

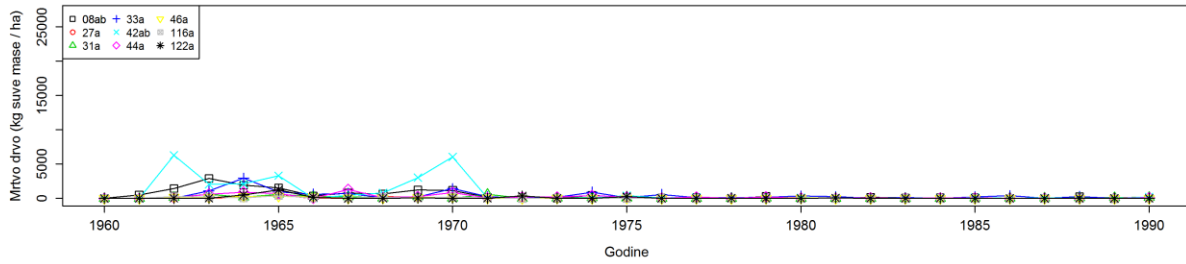




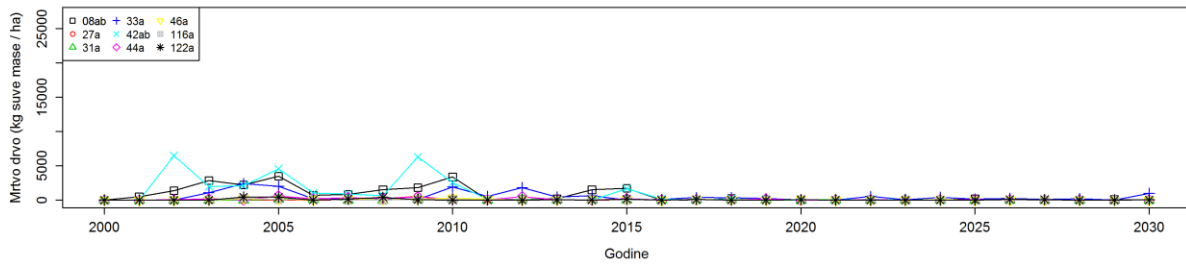
Scenarijo gazdovanja 13 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



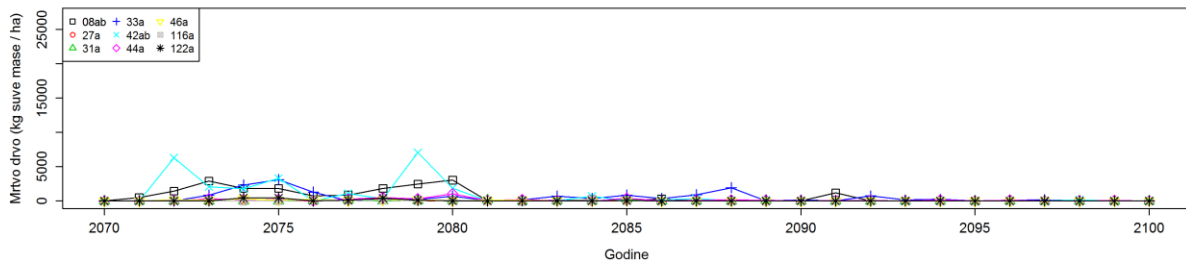
Seca visokih stabala (5 god., 15%) (1961-1990)



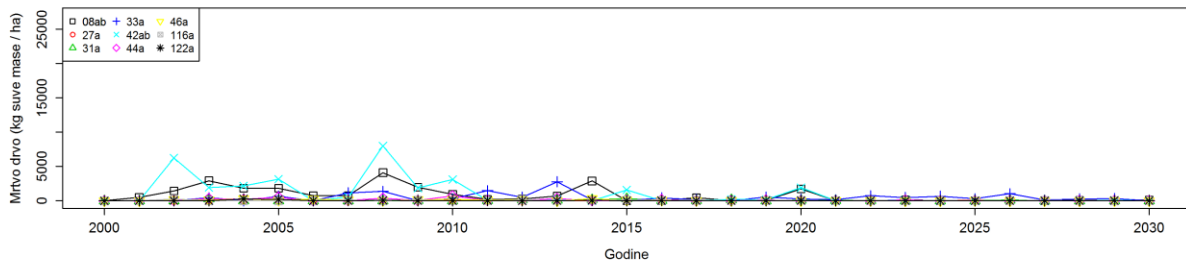
Seca visokih stabala (5 god., 15%) (2001-2030) A1B



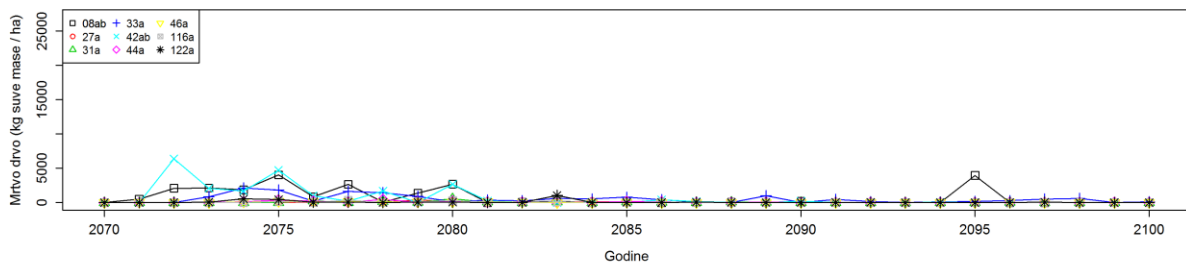
Seca visokih stabala (5 god., 15%) (2071-2100) A1B

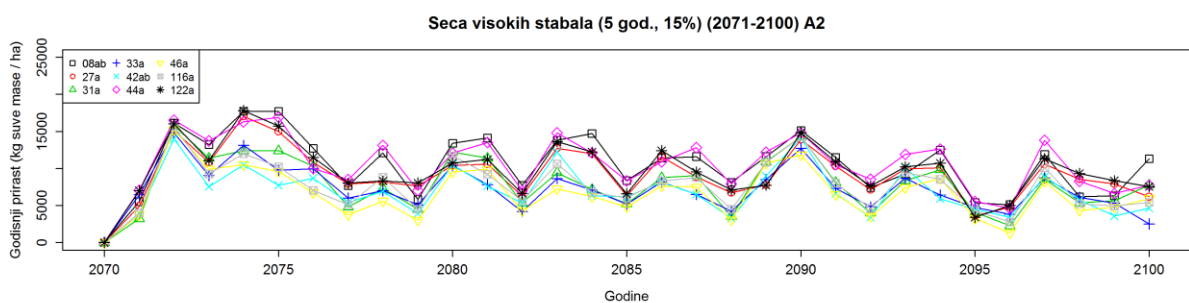
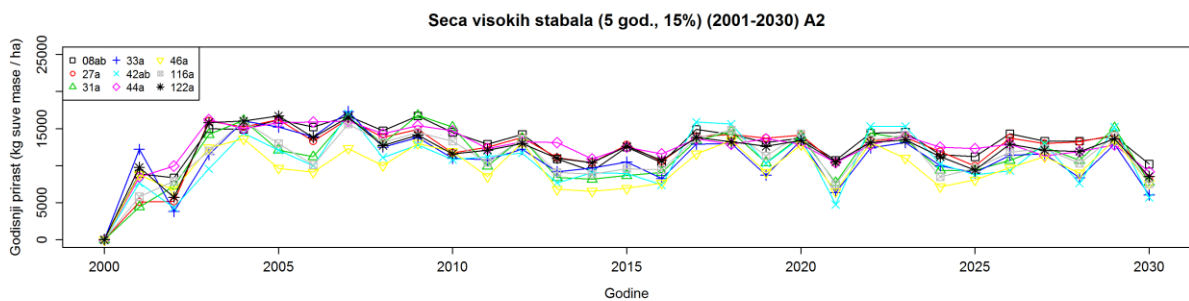
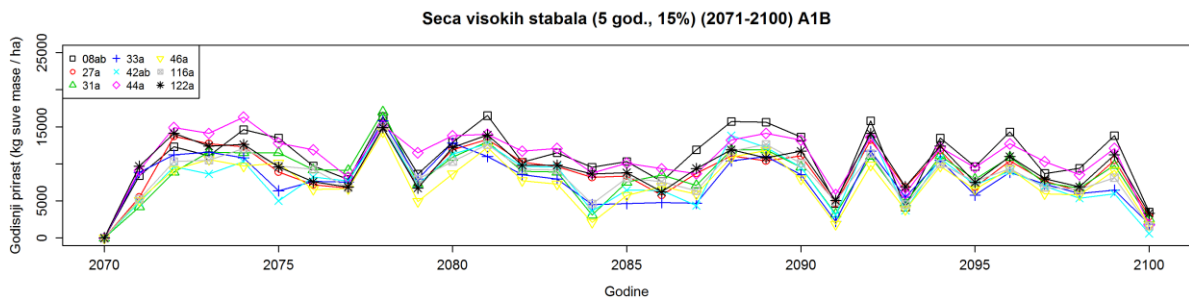
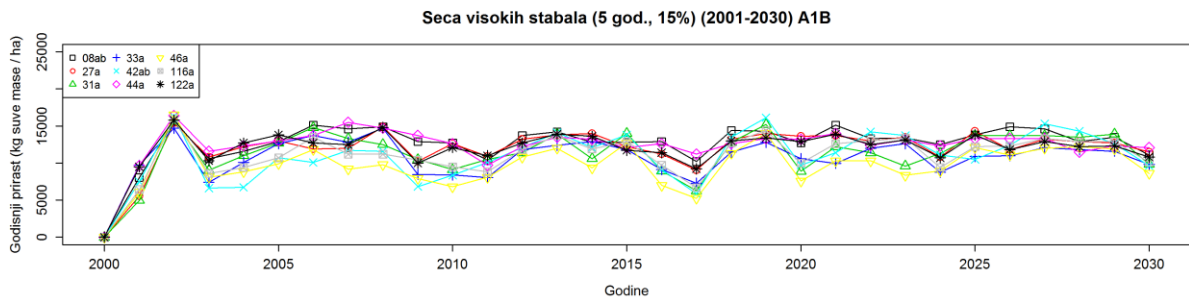
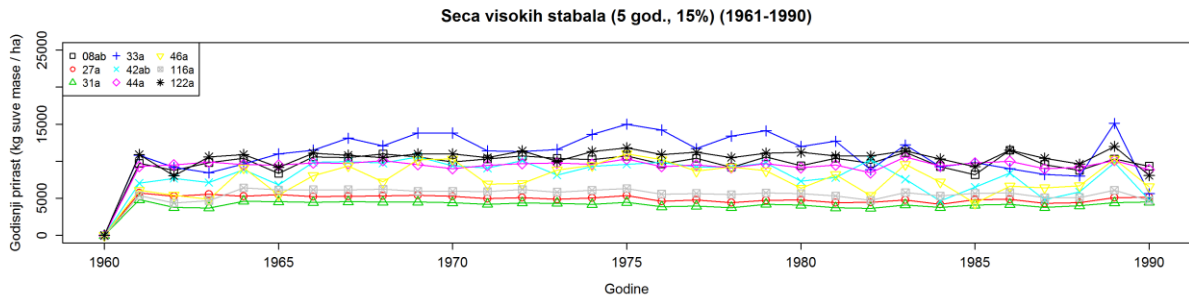


Seca visokih stabala (5 god., 15%) (2001-2030) A2

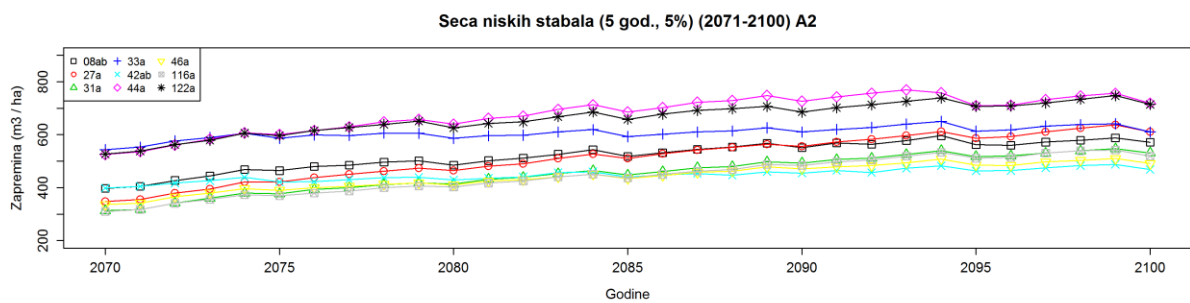
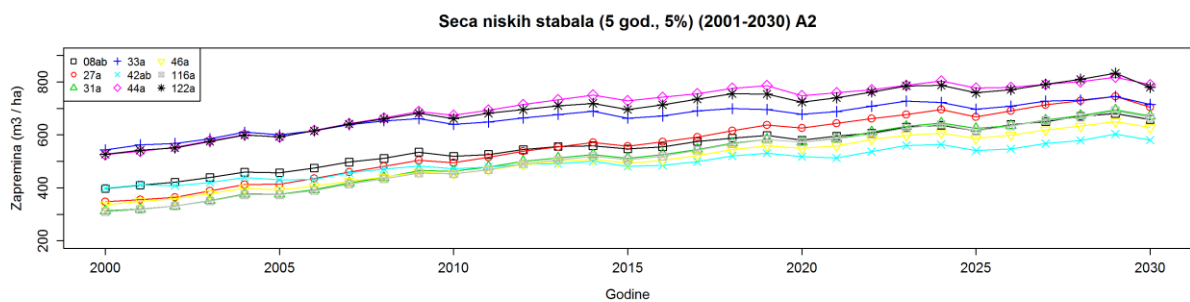
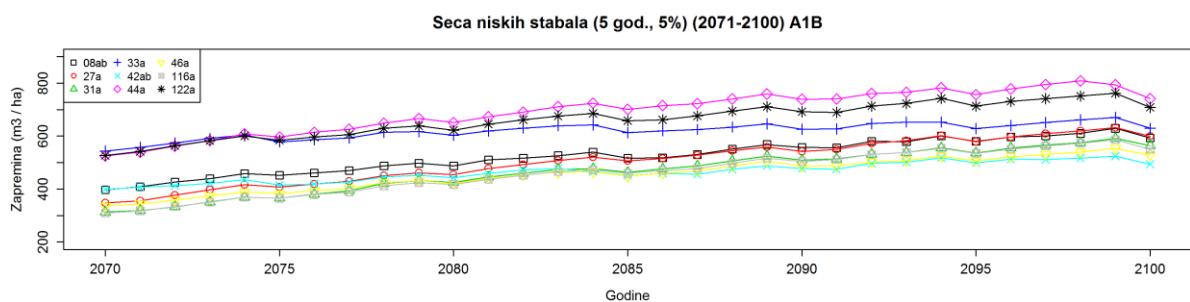
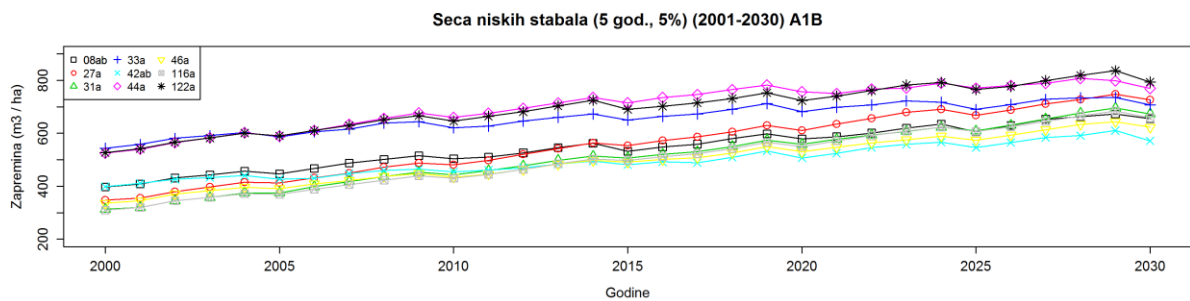
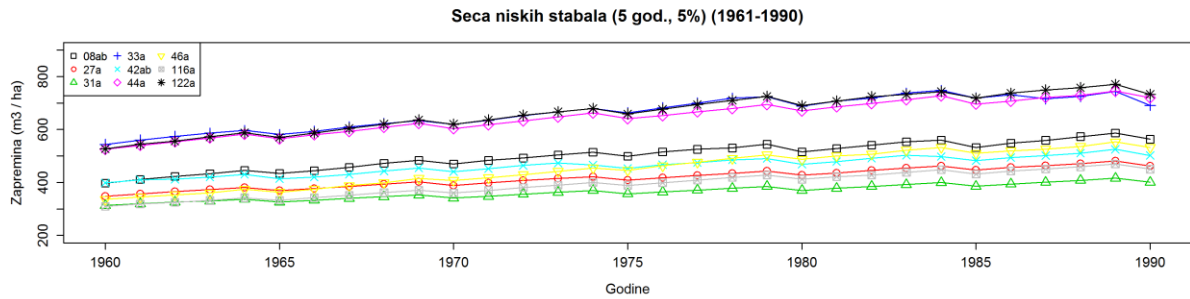


Seca visokih stabala (5 god., 15%) (2071-2100) A2

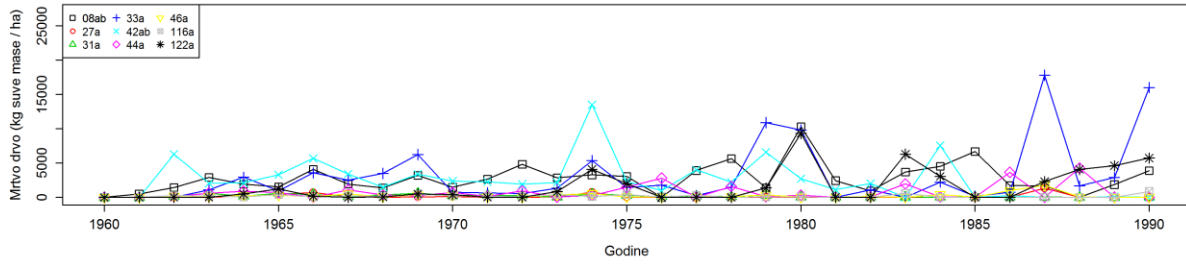




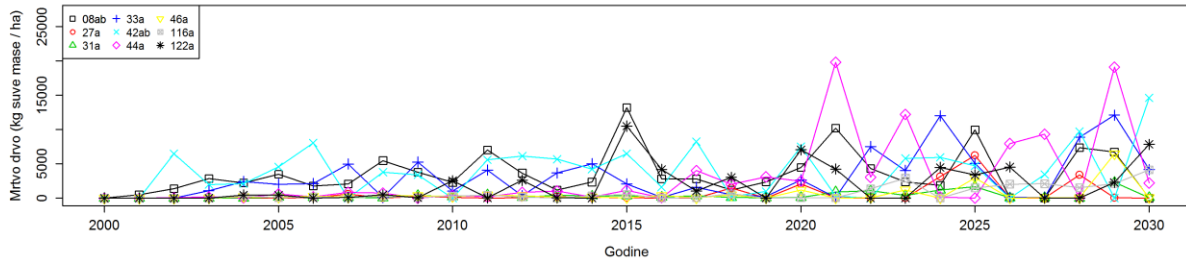
Scenarijo gazdovanja 14 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



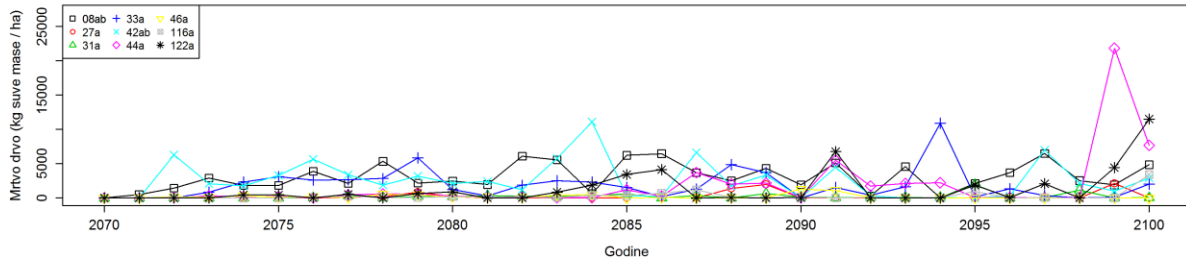
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (1961-1990)



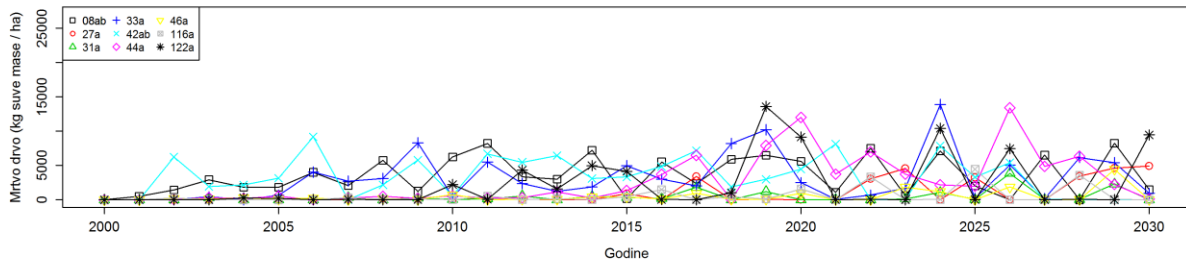
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2001-2030) A1B



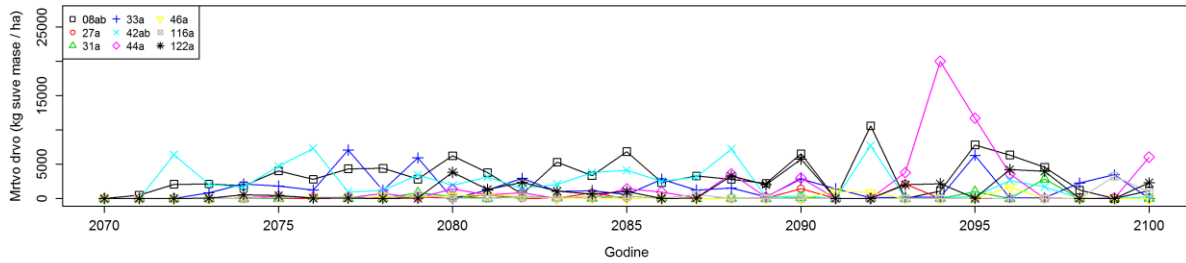
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2071-2100) A1B



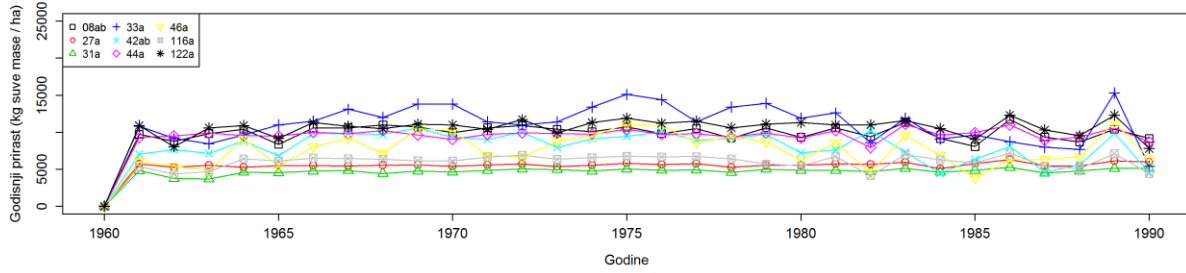
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2001-2030) A2



Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2071-2100) A2



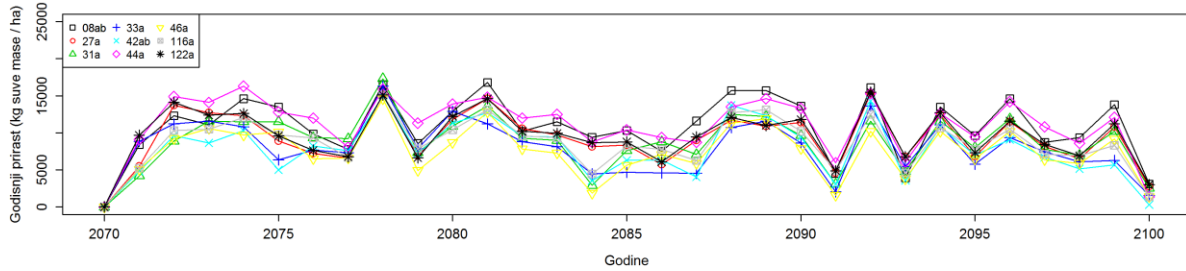
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (1961-1990)



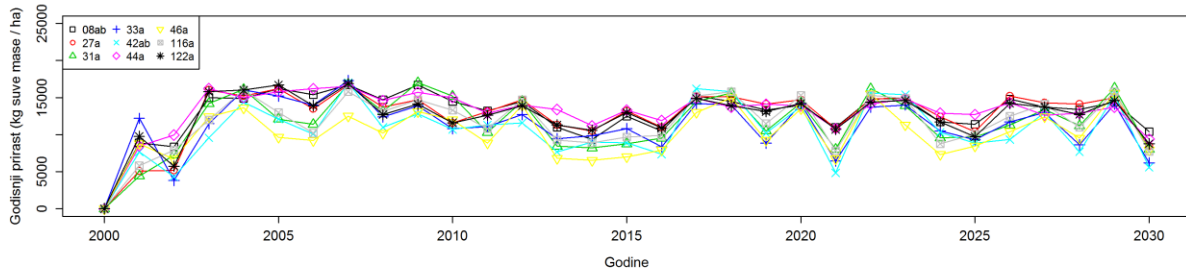
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2001-2030) A1B



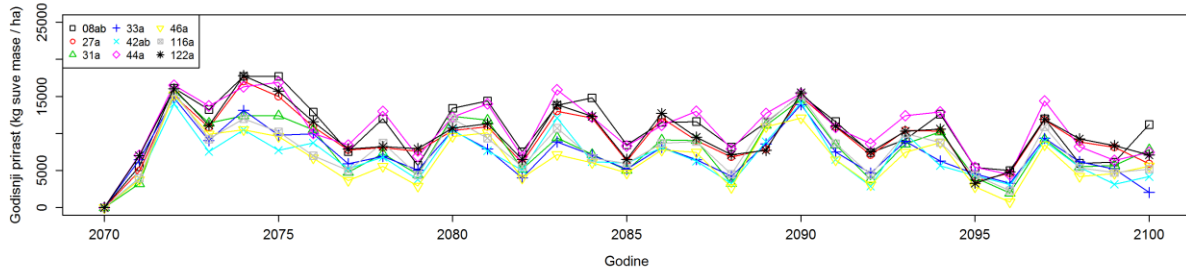
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2071-2100) A1B



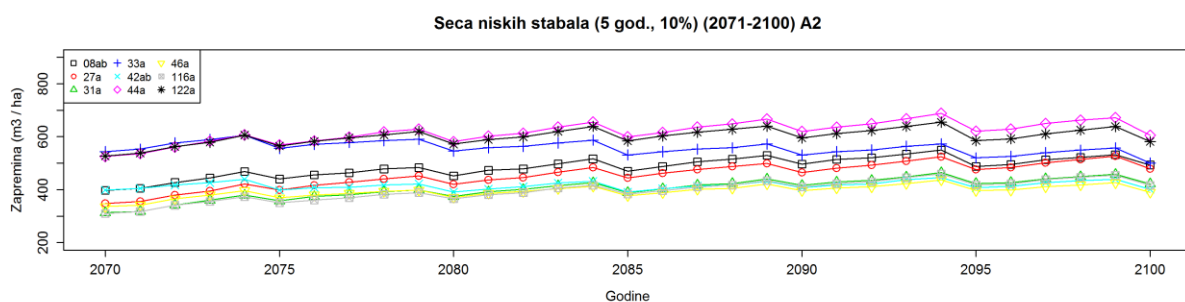
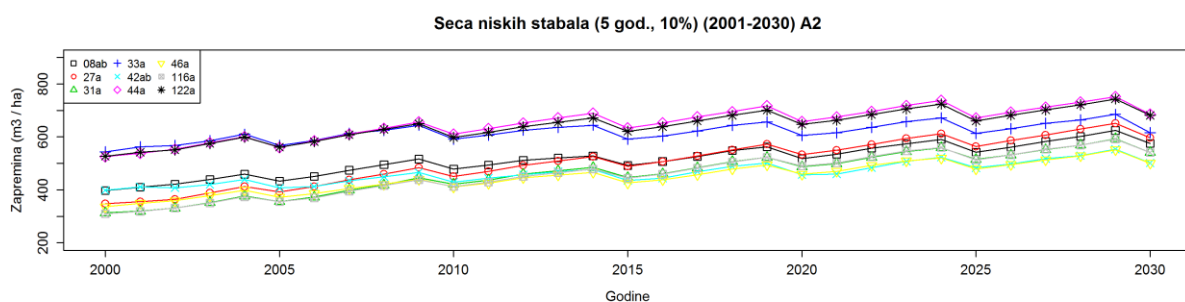
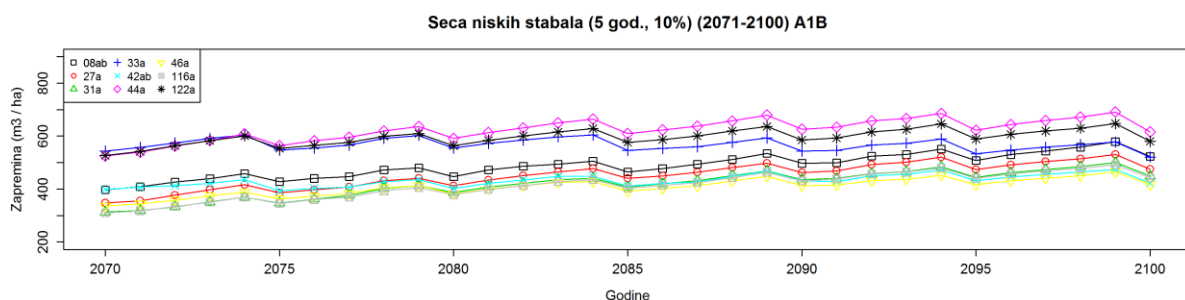
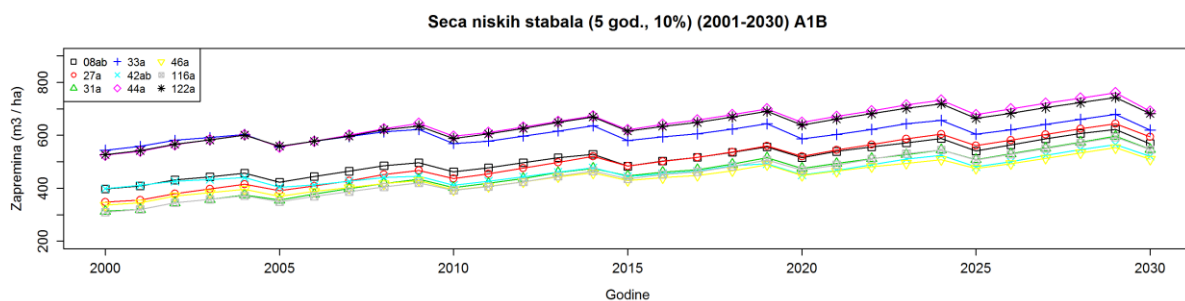
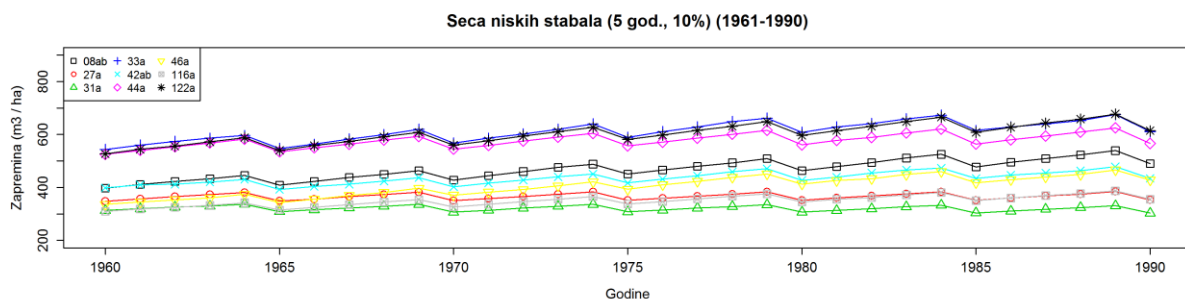
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2001-2030) A2



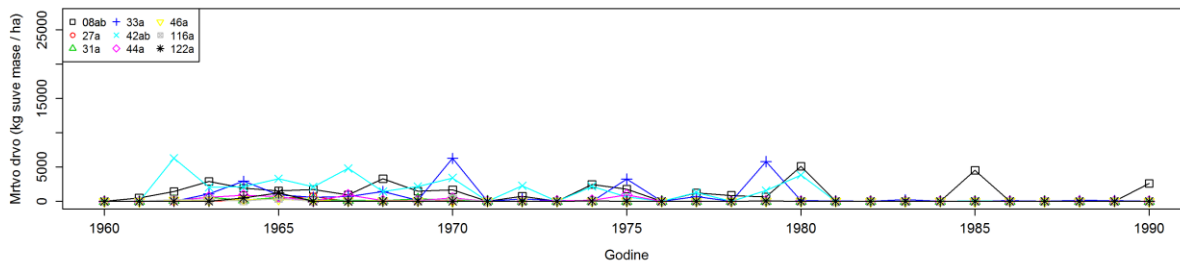
Seca niskih stabala (5 god., 5%) (2071-2100) A2



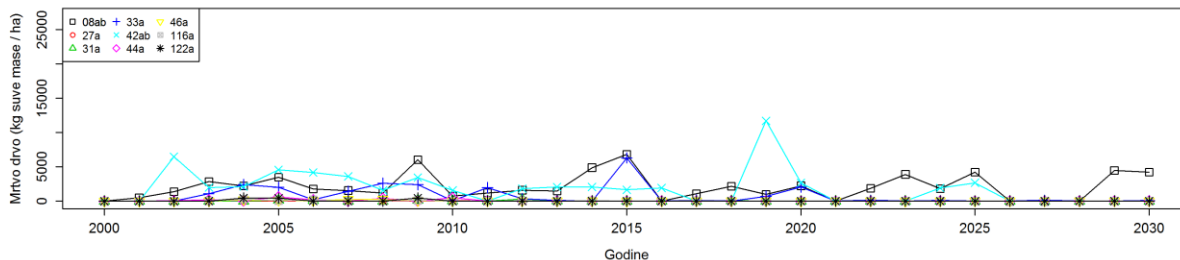
Scenario gazdovanja 15 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



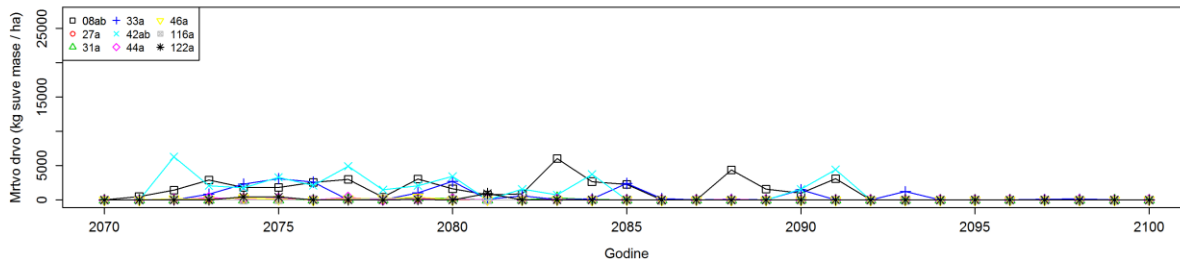
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (1961-1990)



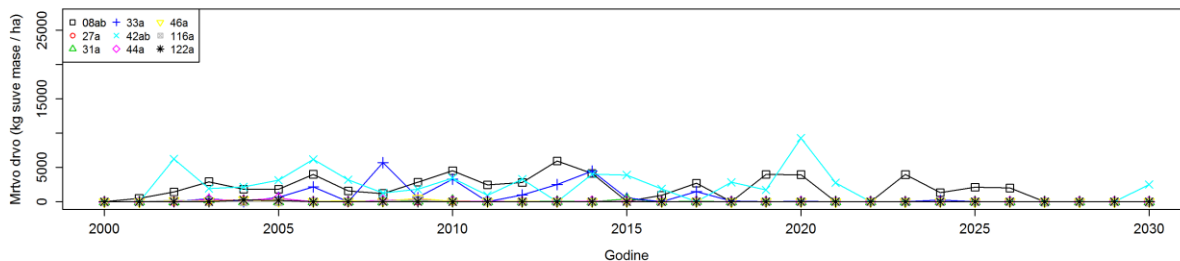
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2001-2030) A1B



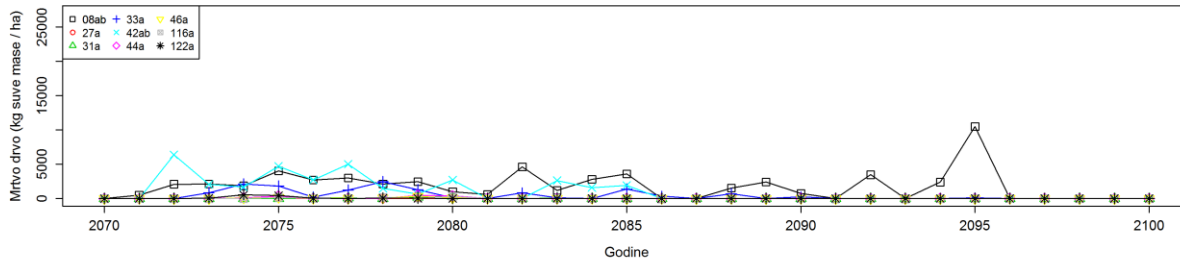
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2071-2100) A1B



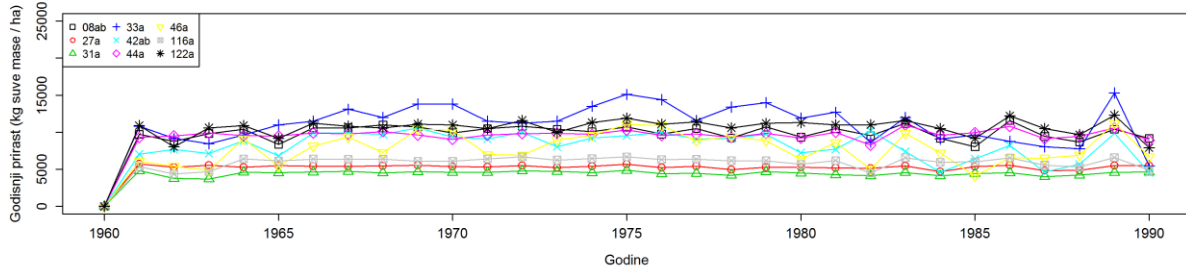
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2001-2030) A2



Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2071-2100) A2



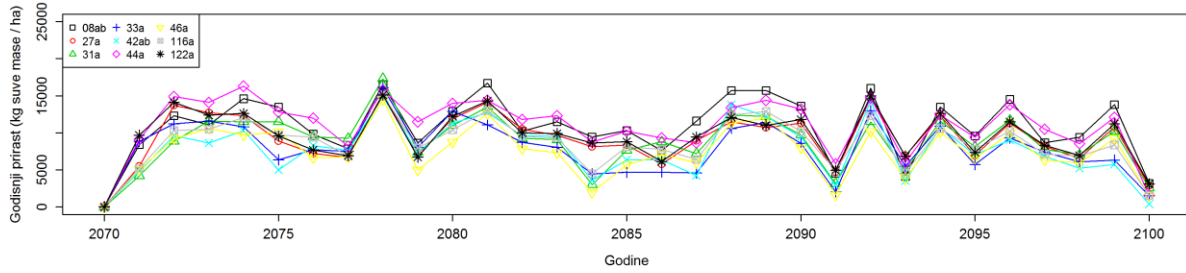
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (1961-1990)



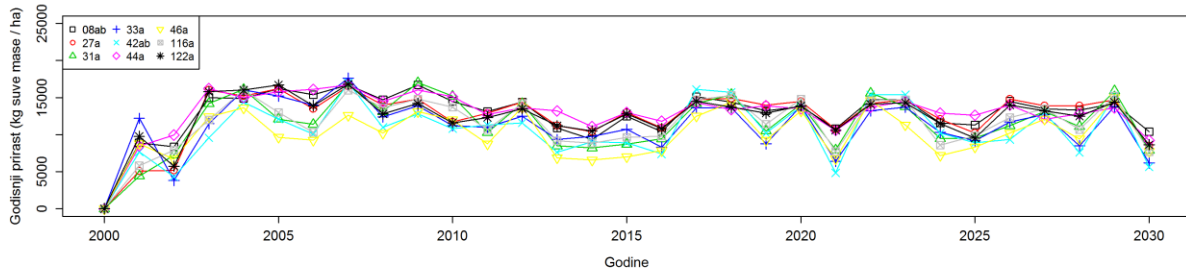
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2001-2030) A1B



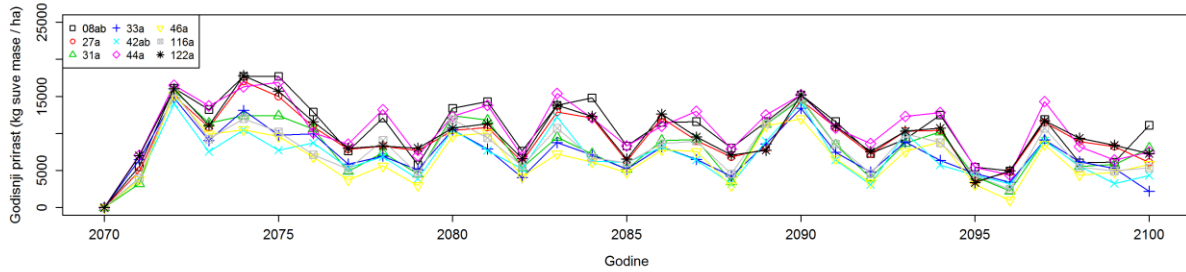
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2071-2100) A1B



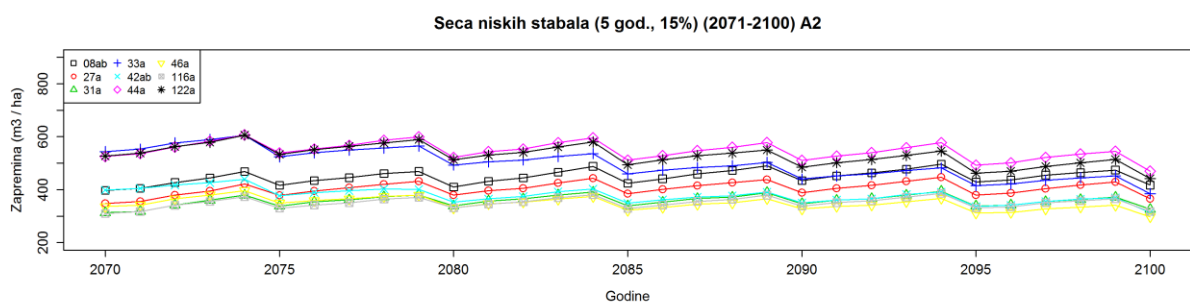
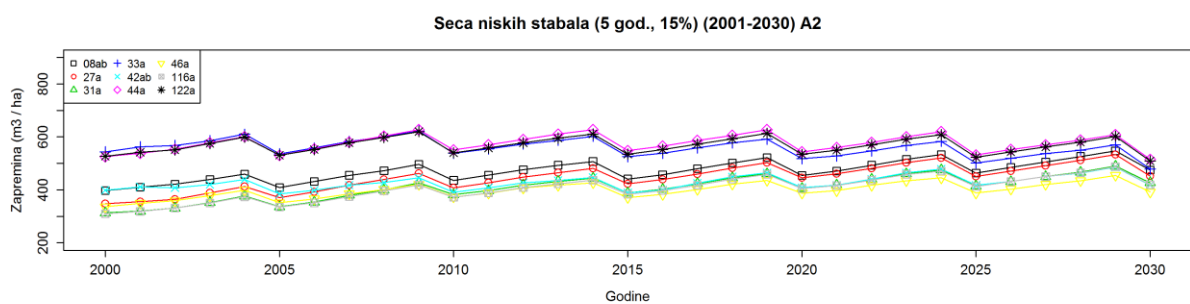
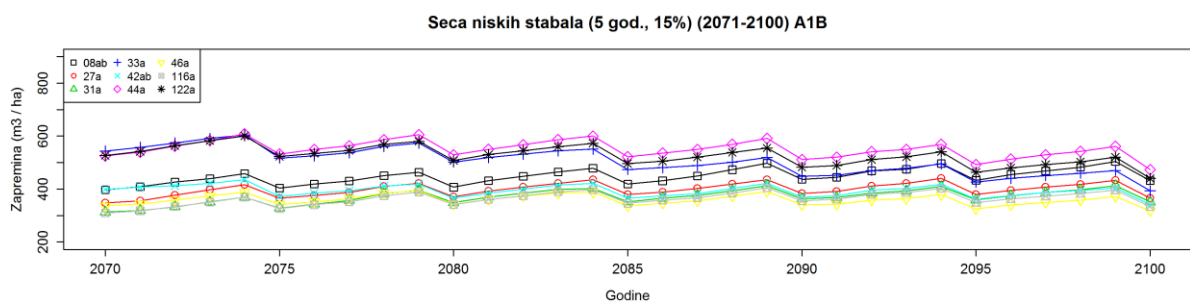
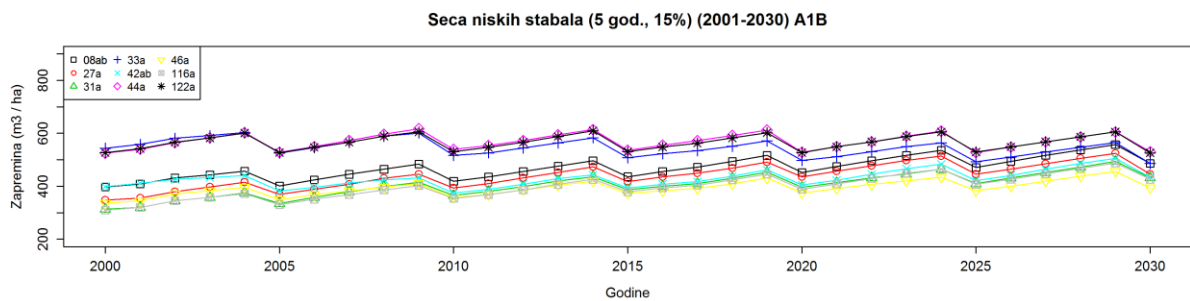
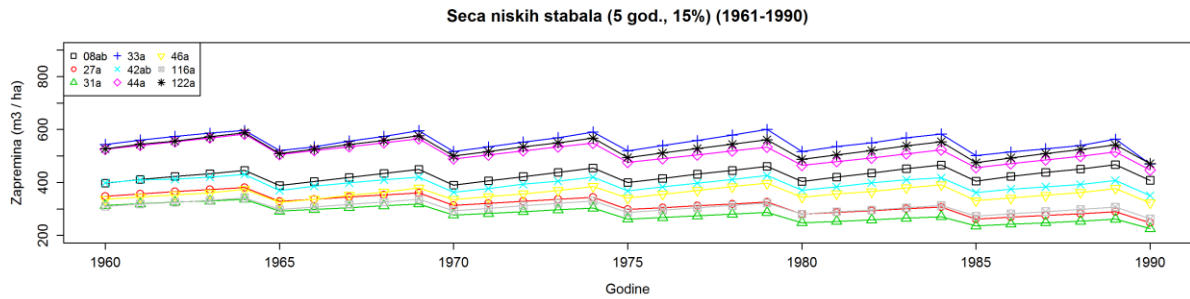
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2001-2030) A2



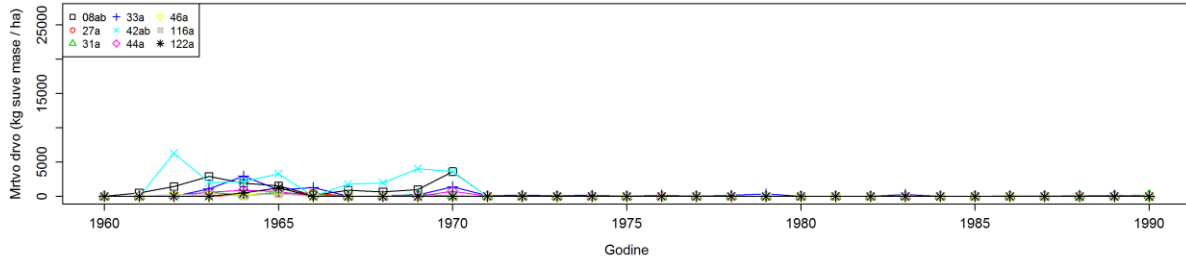
Seca niskih stabala (5 god., 10%) (2071-2100) A2



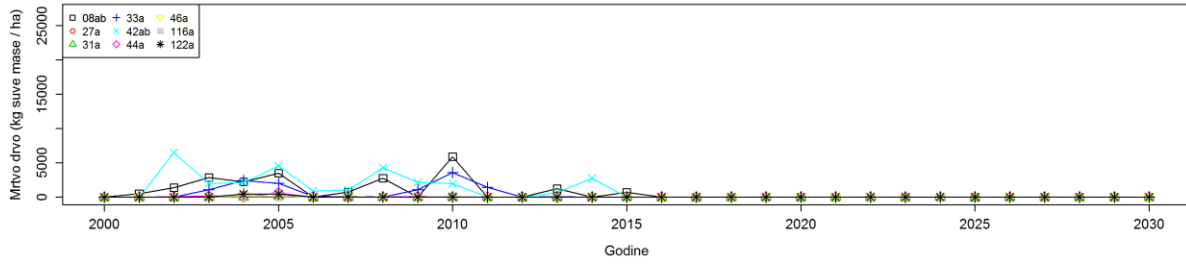
Scenarijo gazdovanja 16 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



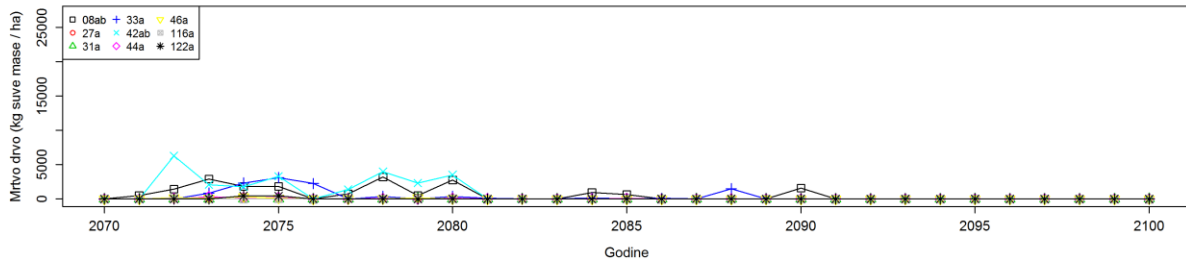
Seca niskih stabala (5 god., 15%) (1961-1990)



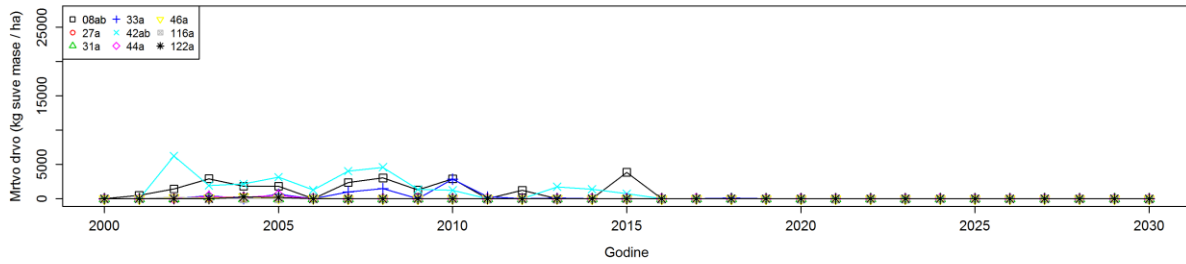
Seca niskih stabala (5 god., 15%) (2001-2030) A1B



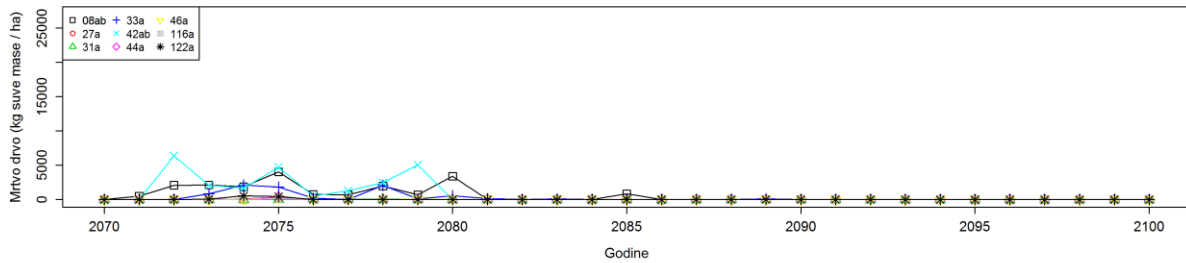
Seca niskih stabala (5 god., 15%) (2071-2100) A1B

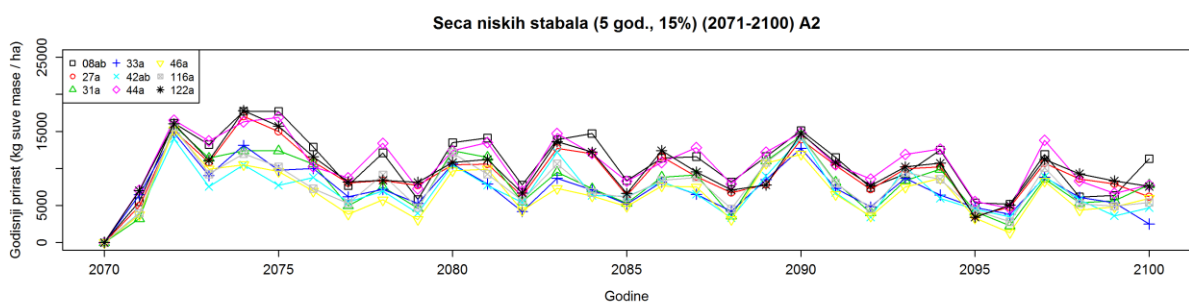
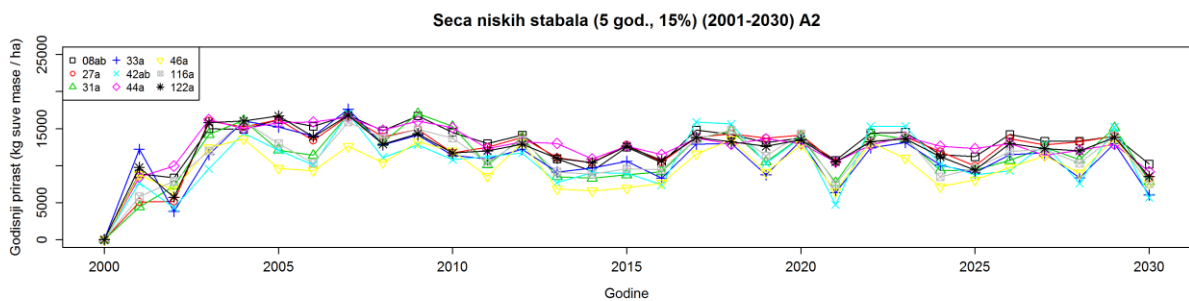
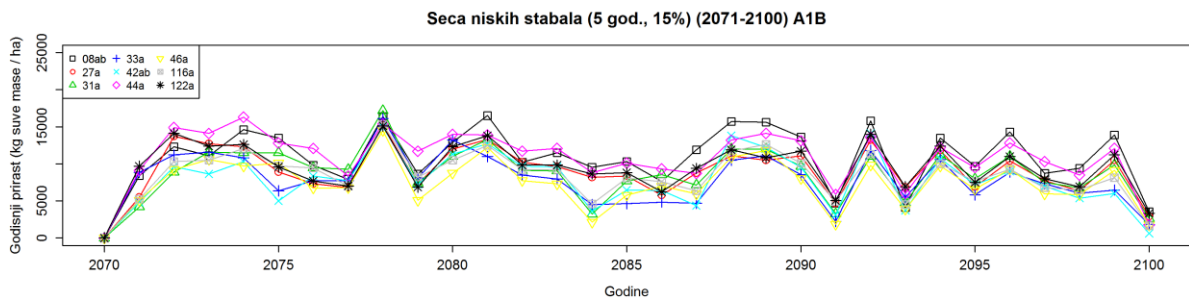
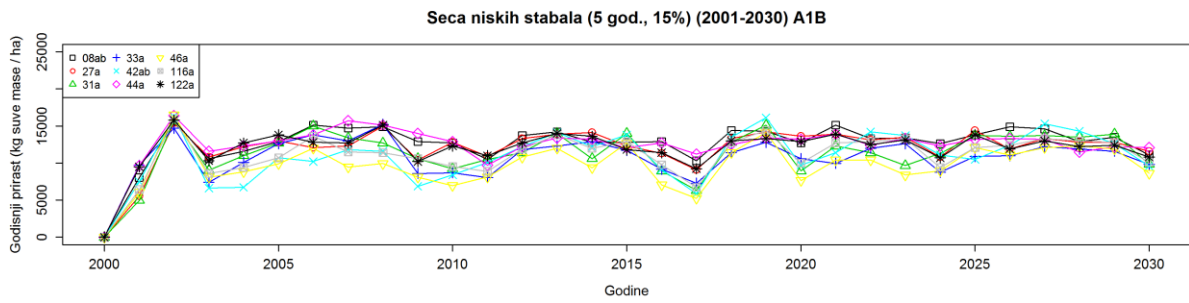
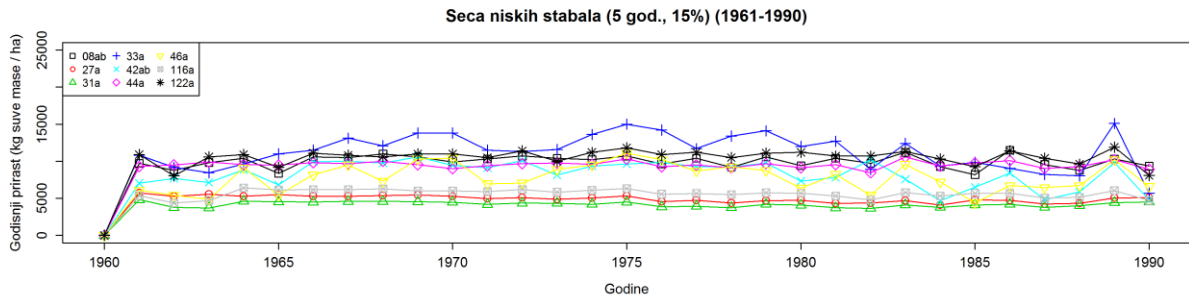


Seca niskih stabala (5 god., 15%) (2001-2030) A2

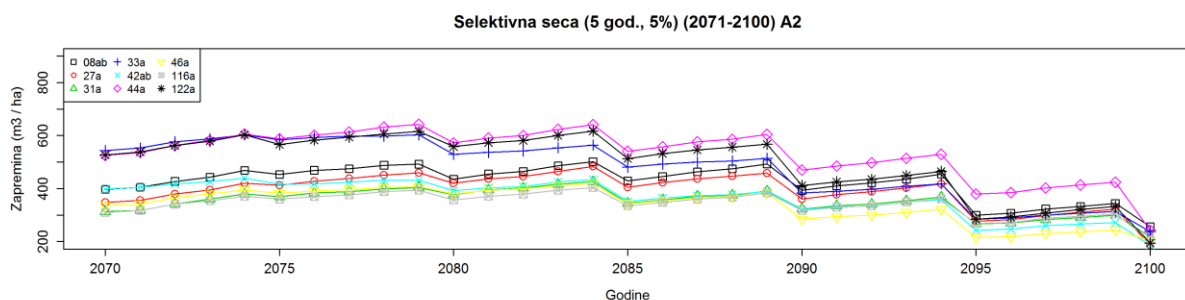
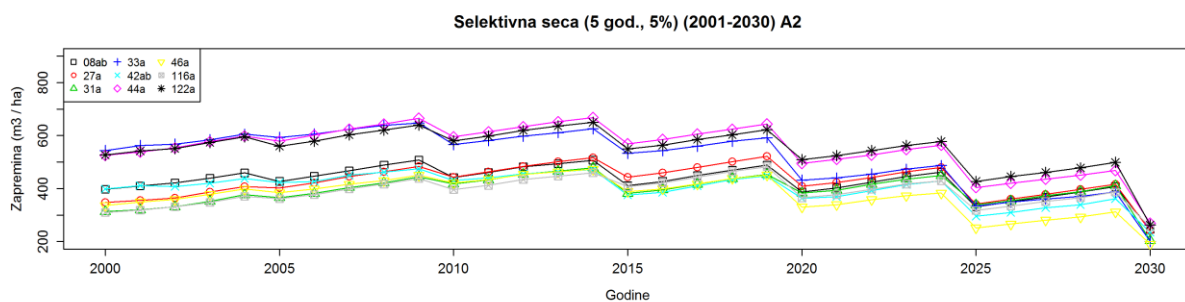
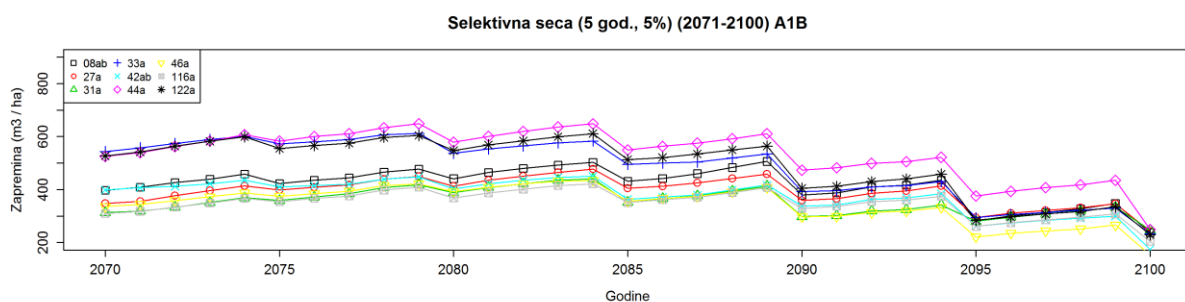
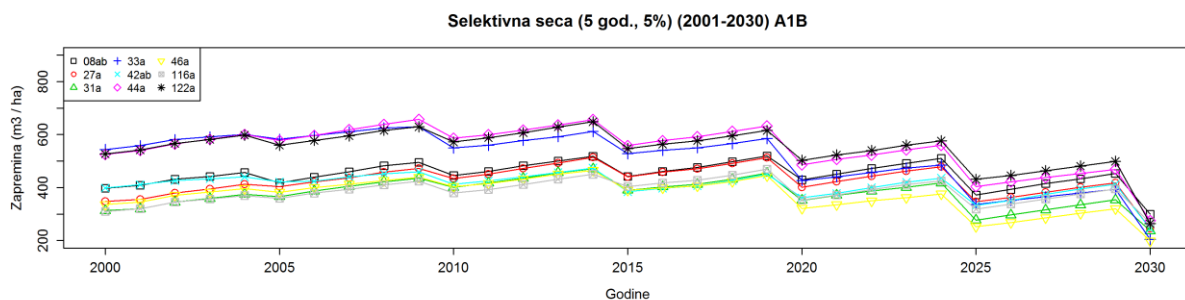
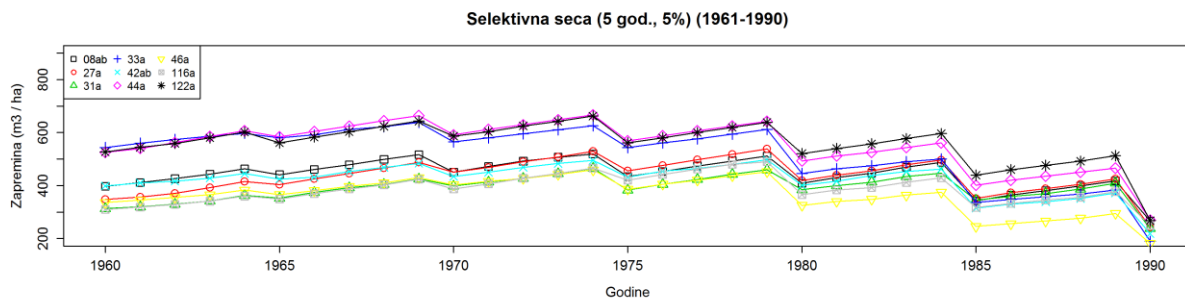


Seca niskih stabala (5 god., 15%) (2071-2100) A2

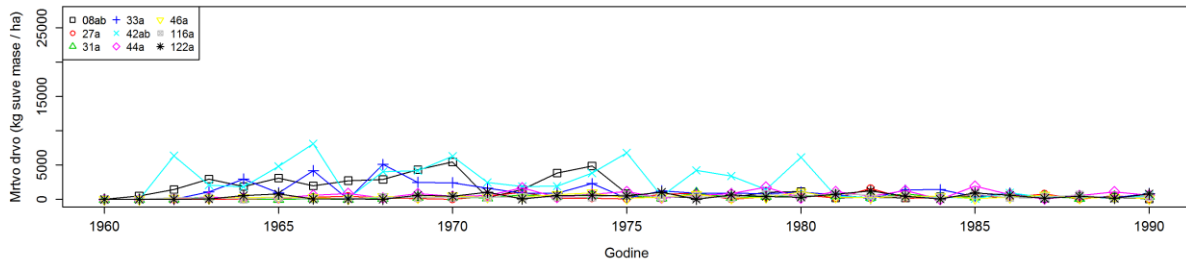




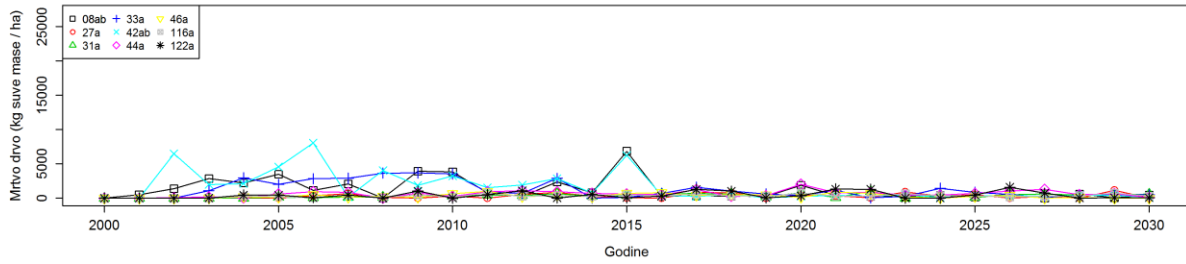
Scenario gazdovanja 17 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



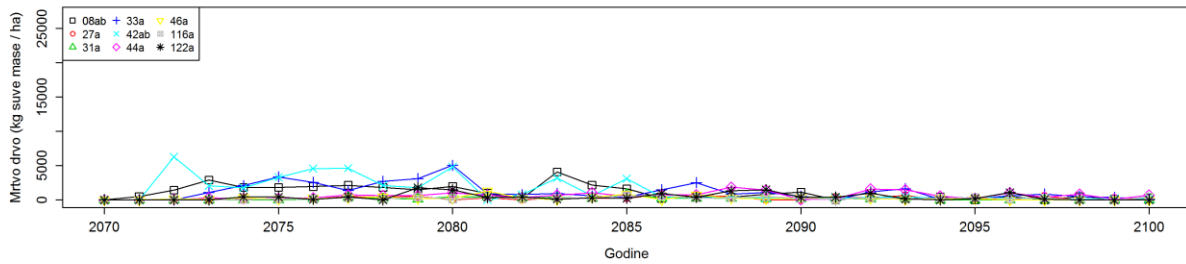
Selektivna seca (5 god., 5%) (1961-1990)



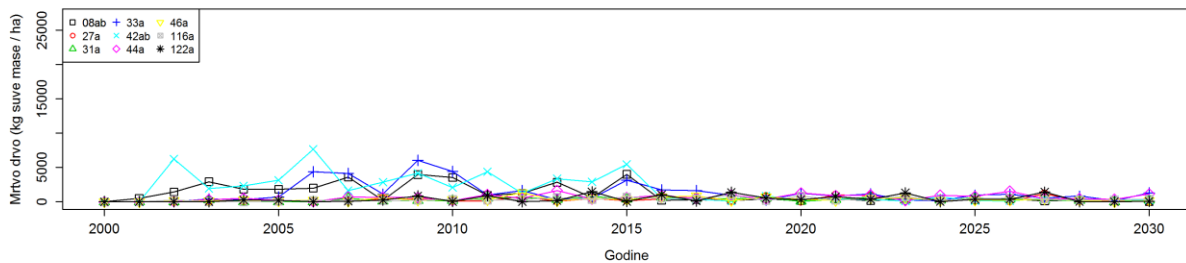
Selektivna seca (5 god., 5%) (2001-2030) A1B



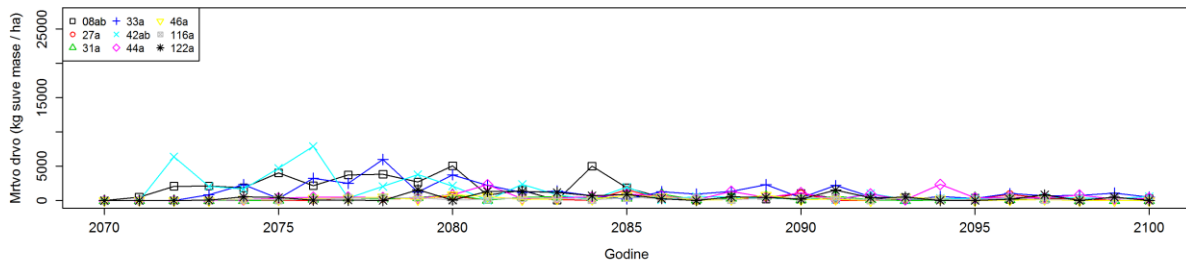
Selektivna seca (5 god., 5%) (2071-2100) A1B

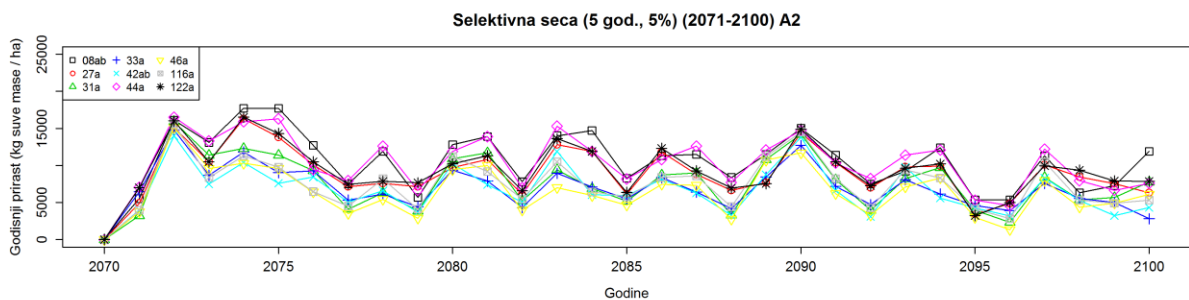
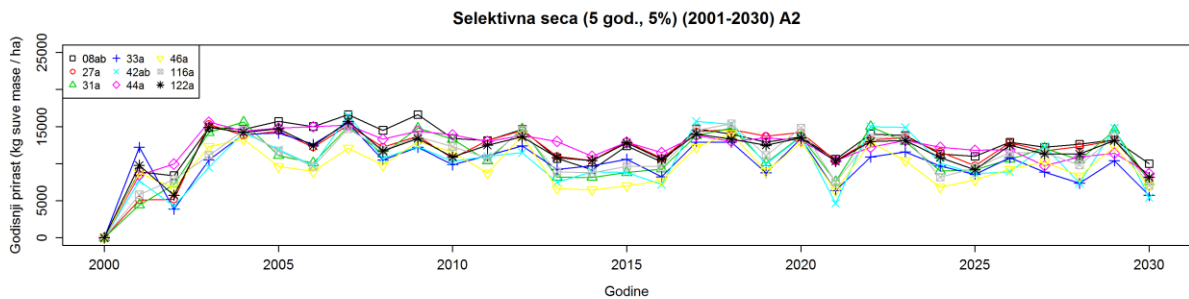
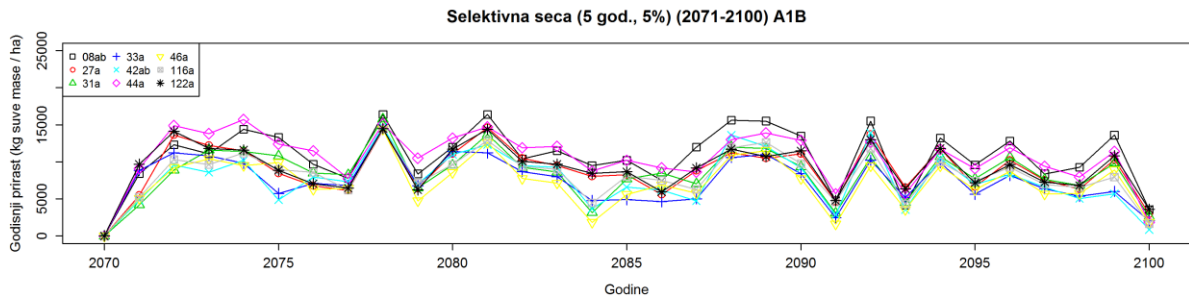
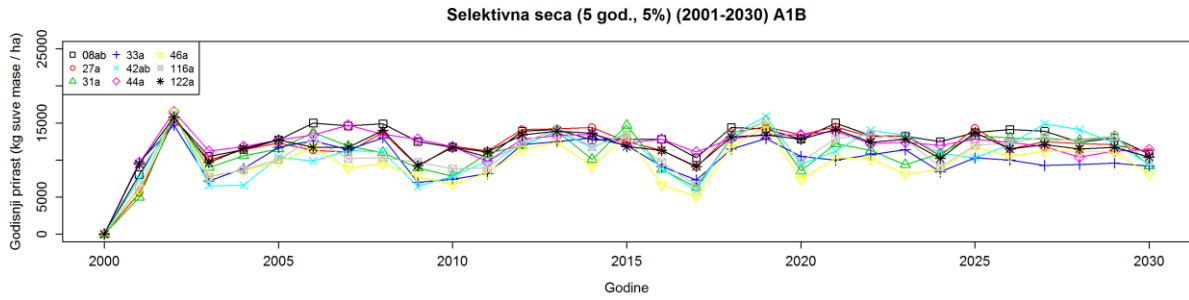
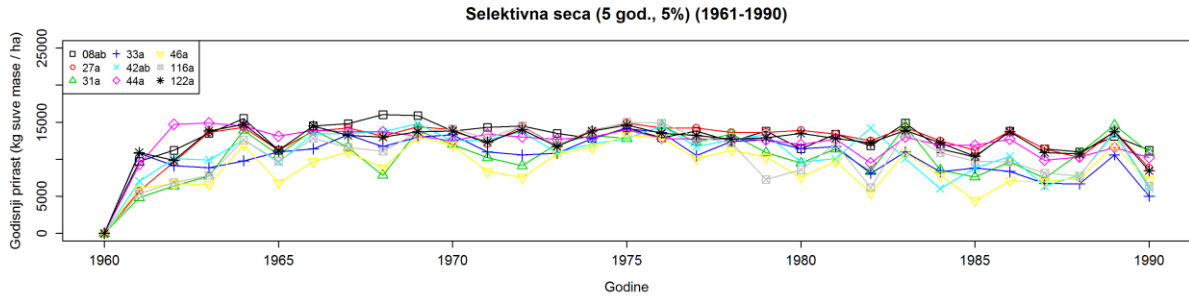


Selektivna seca (5 god., 5%) (2001-2030) A2

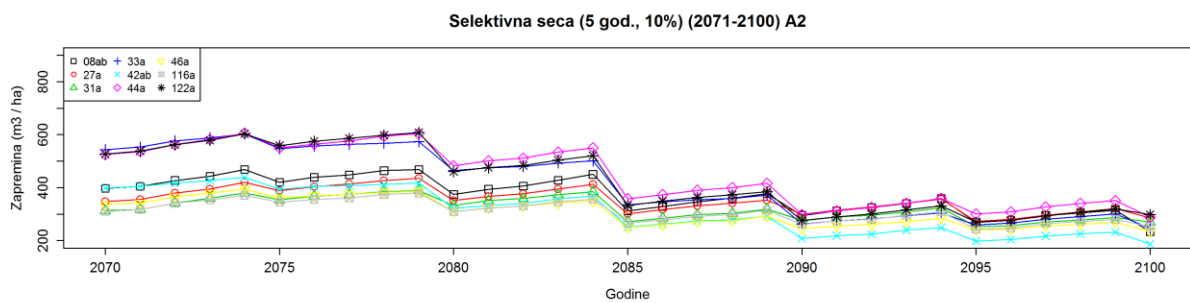
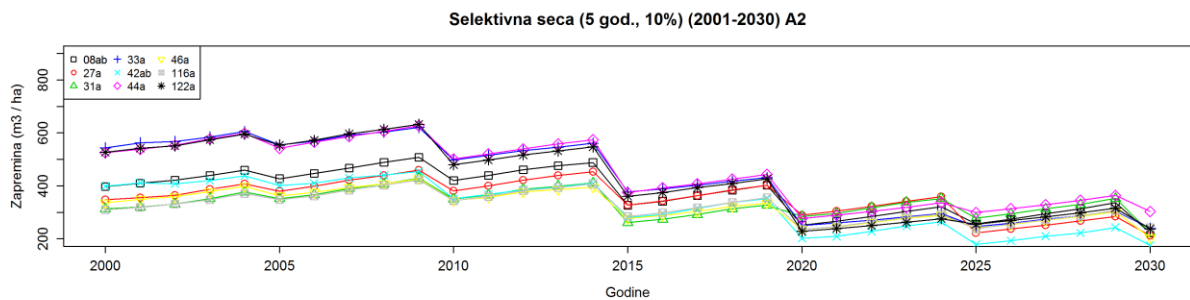
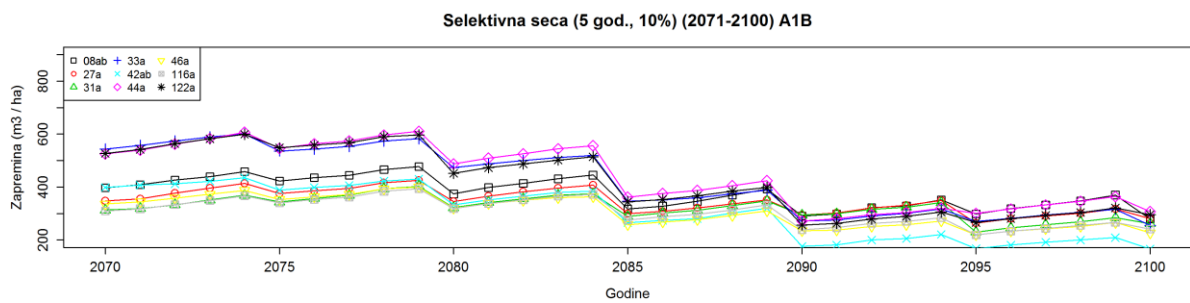
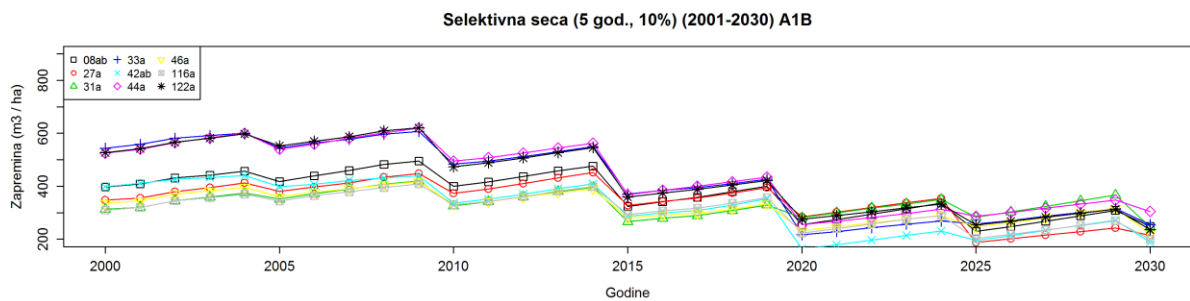
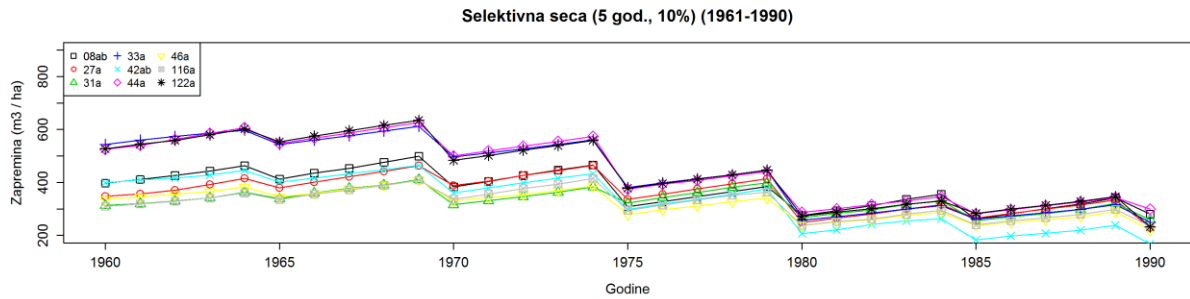


Selektivna seca (5 god., 5%) (2071-2100) A2

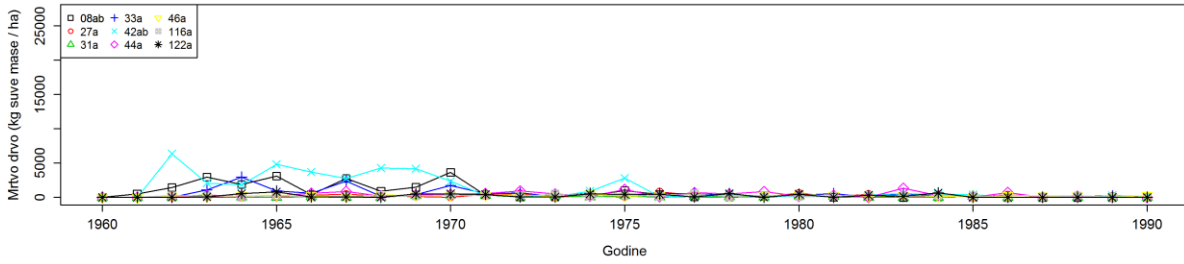




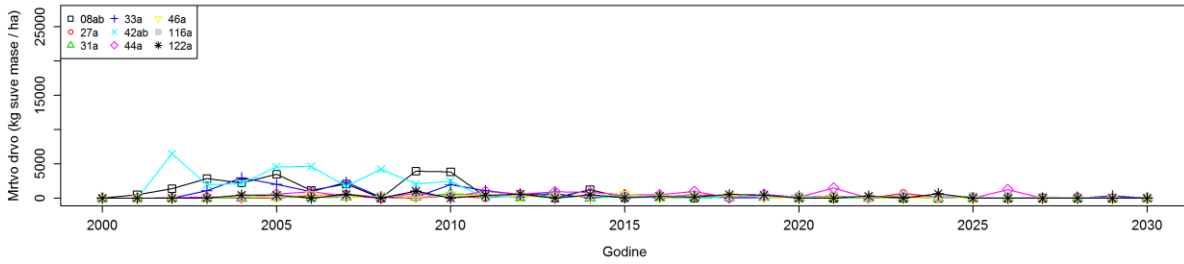
Scenario gazdovanja 18 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



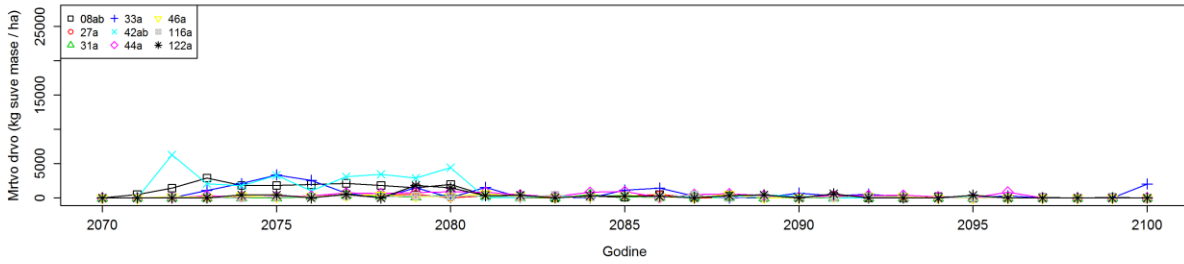
Selektivna seca (5 god., 10%) (1961-1990)



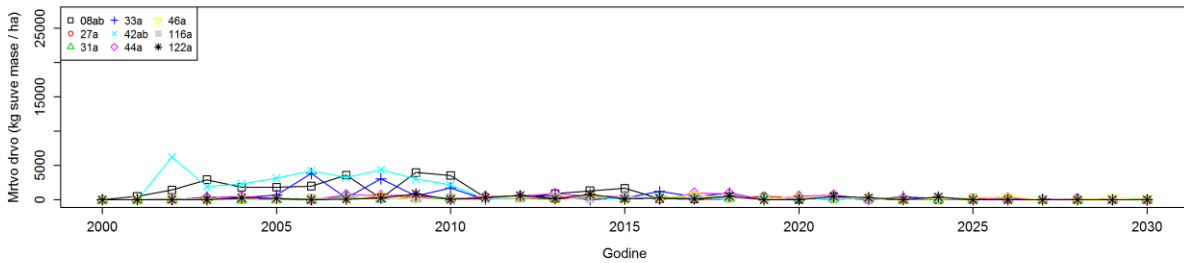
Selektivna seca (5 god., 10%) (2001-2030) A1B



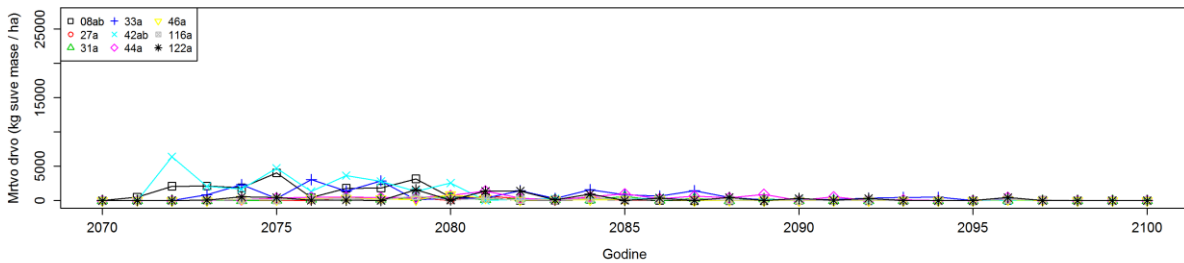
Selektivna seca (5 god., 10%) (2071-2100) A1B

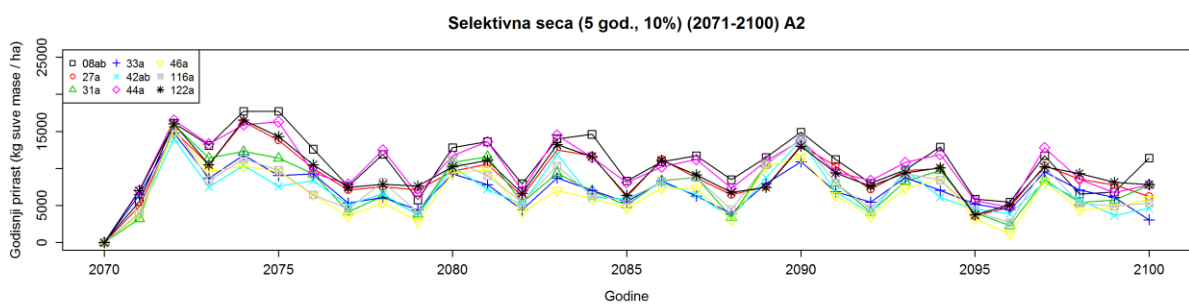
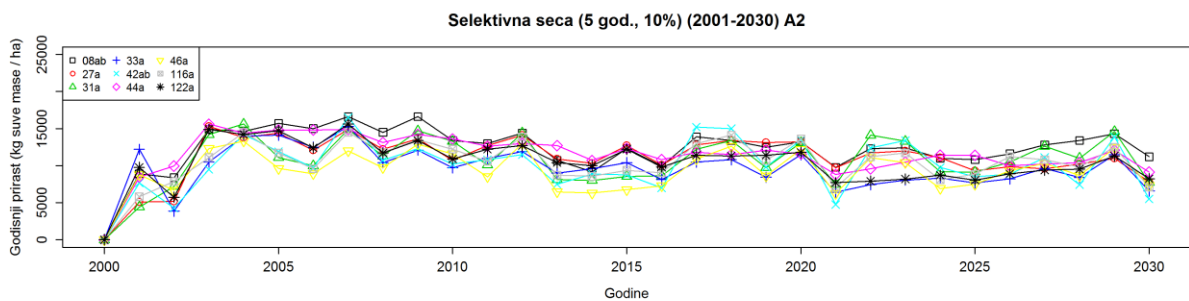
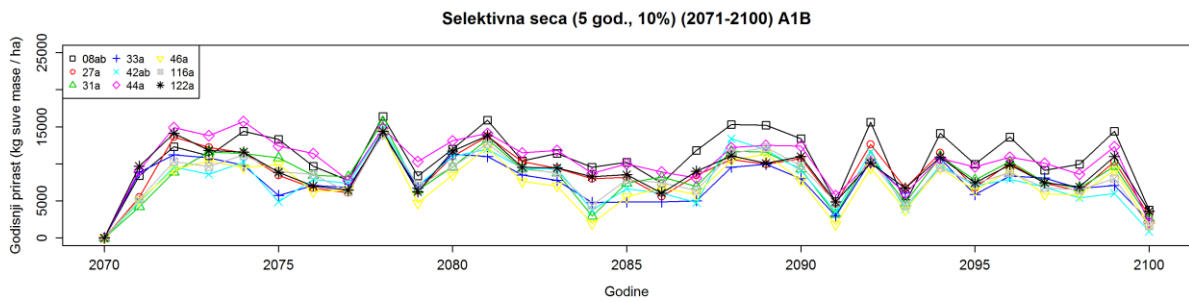
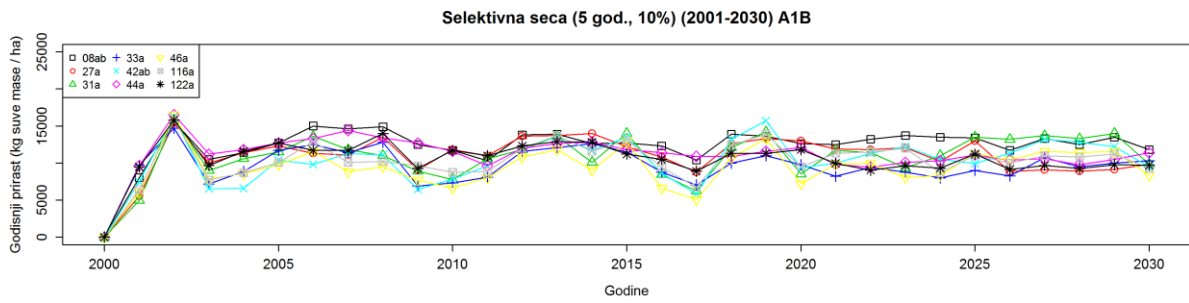
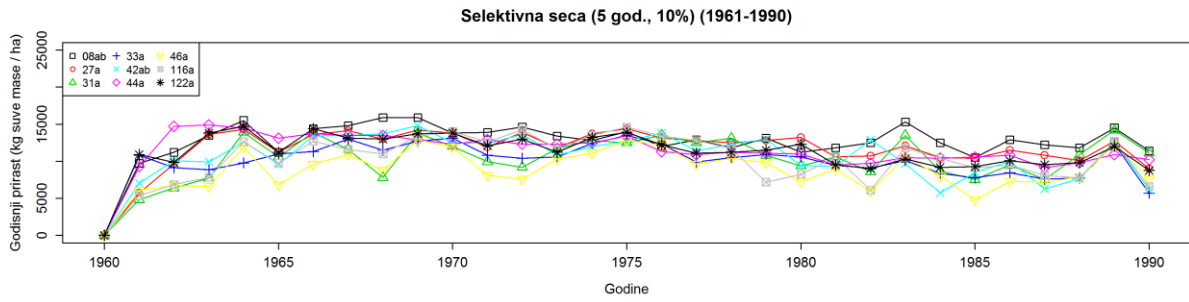


Selektivna seca (5 god., 10%) (2001-2030) A2

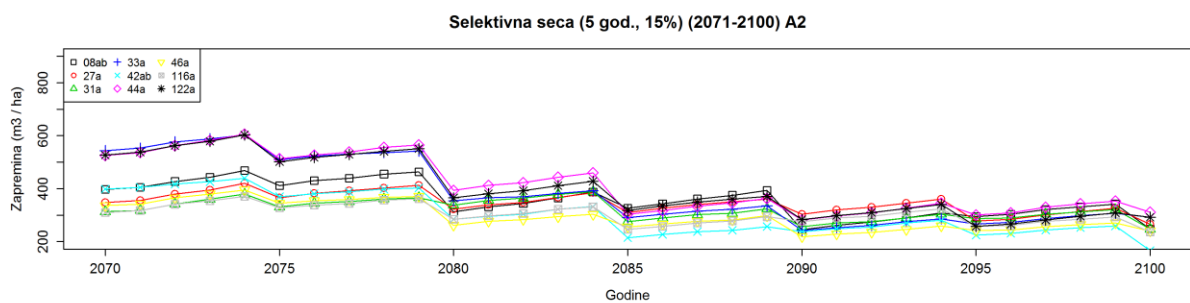
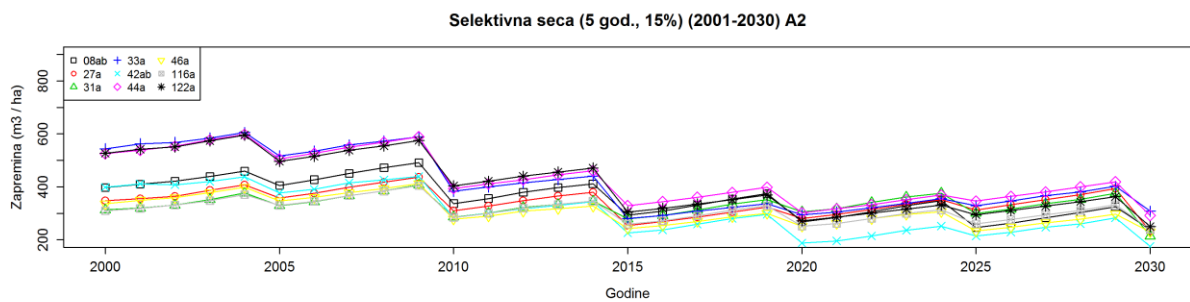
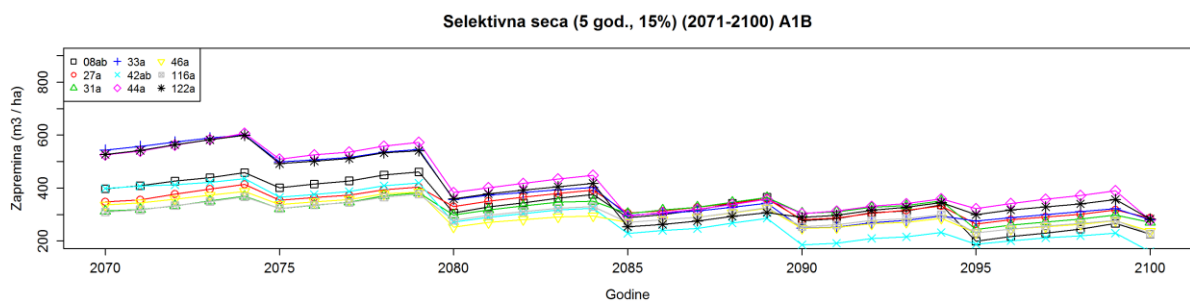
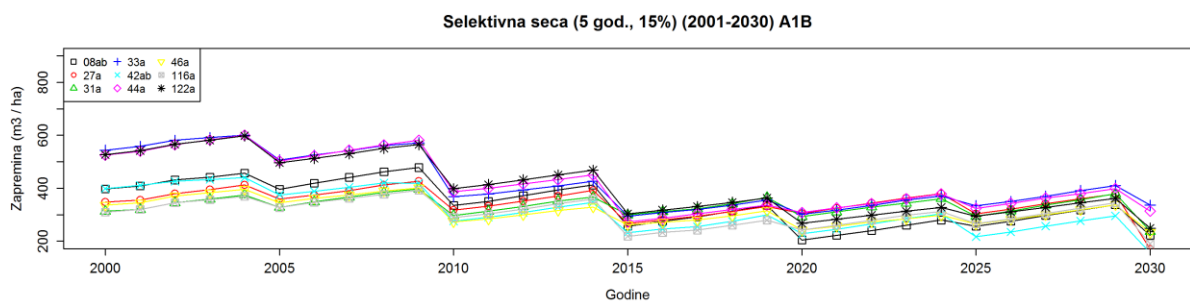
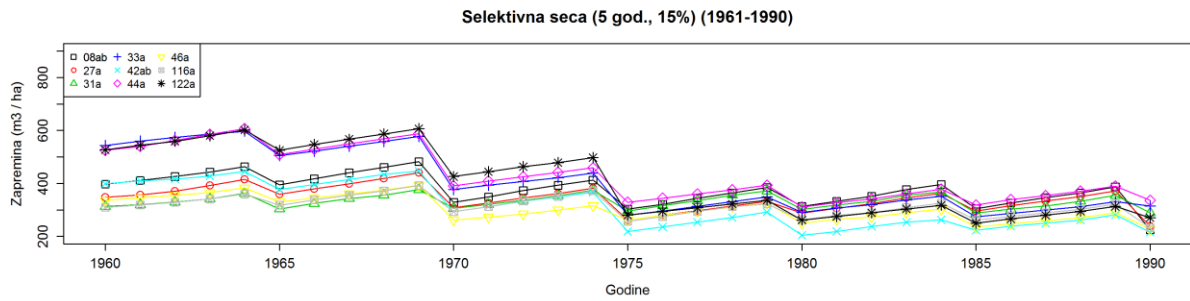


Selektivna seca (5 god., 10%) (2071-2100) A2

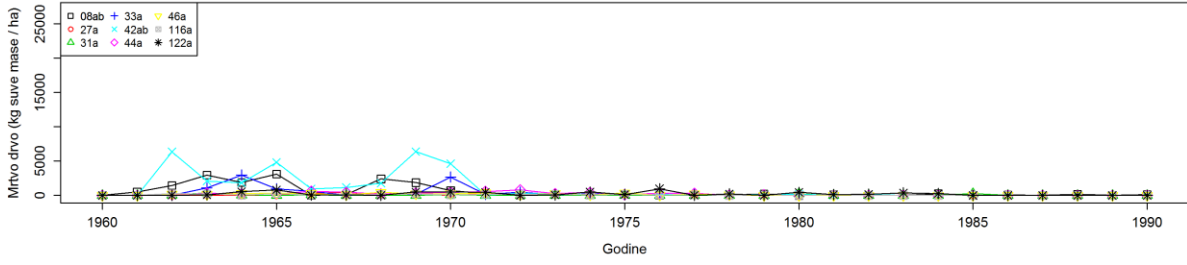




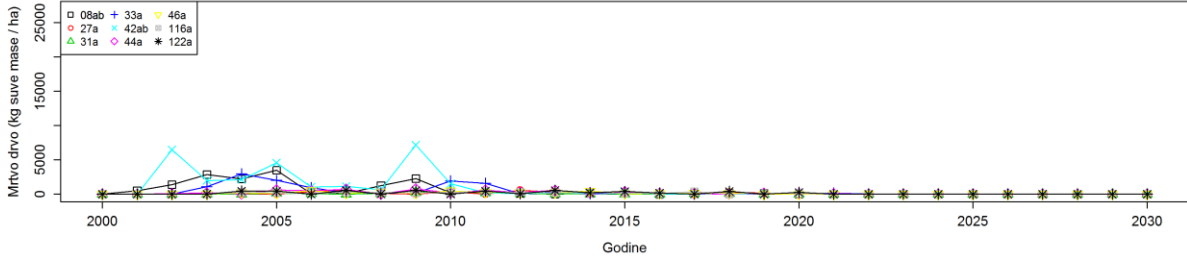
Scenario gazdovanja 19 - Zapremine, mrtvo drvo i godišnji prirast za devet sastojina i pet klimatskih perioda



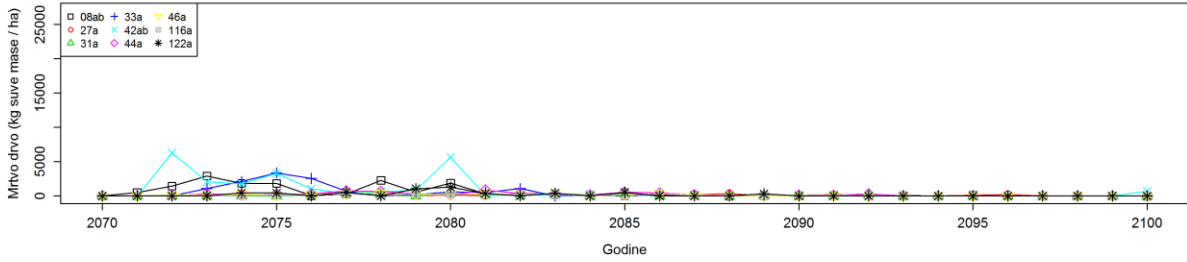
Selektivna seca (5 god., 15%) (1961-1990)



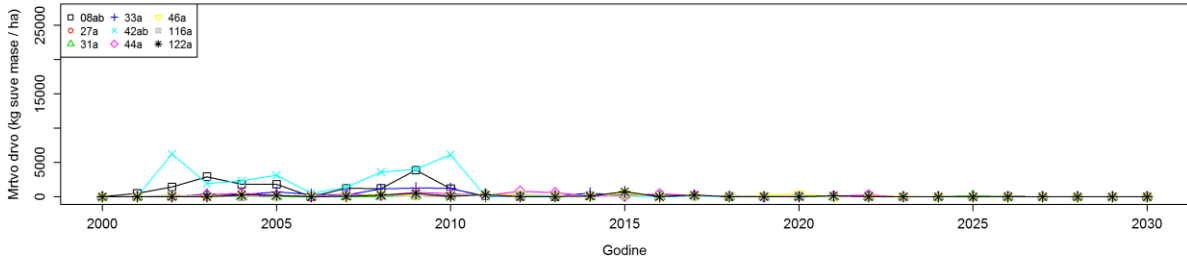
Selektivna seca (5 god., 15%) (2001-2030) A1B



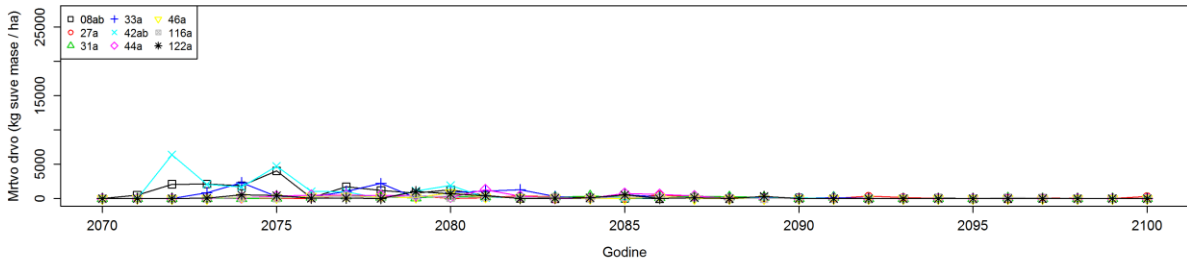
Selektivna seca (5 god., 15%) (2071-2100) A1B

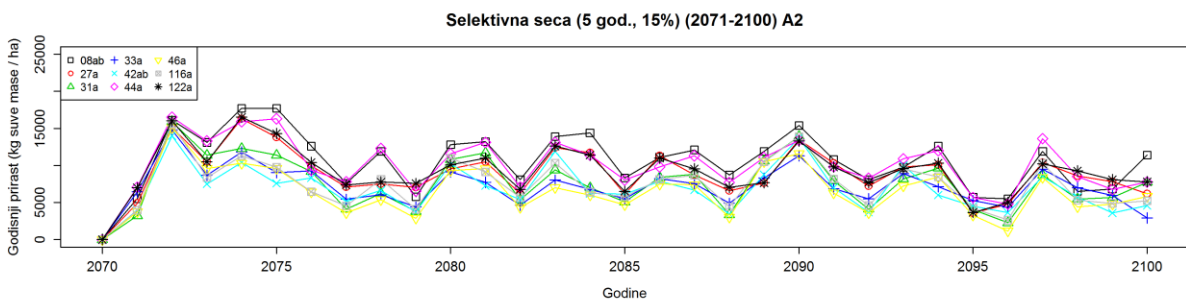
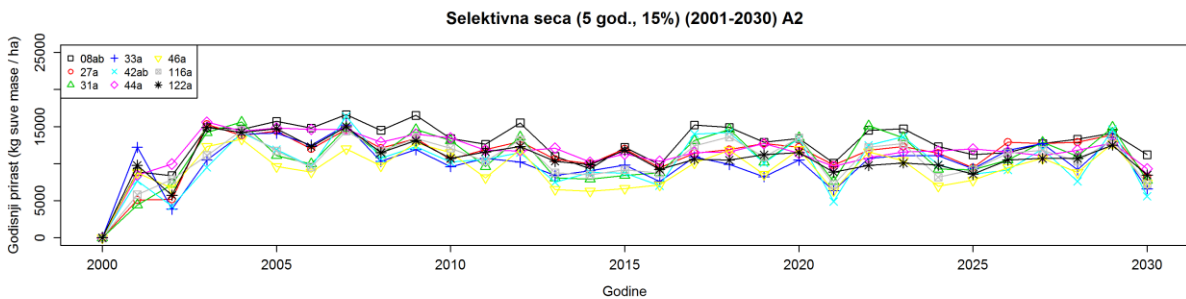
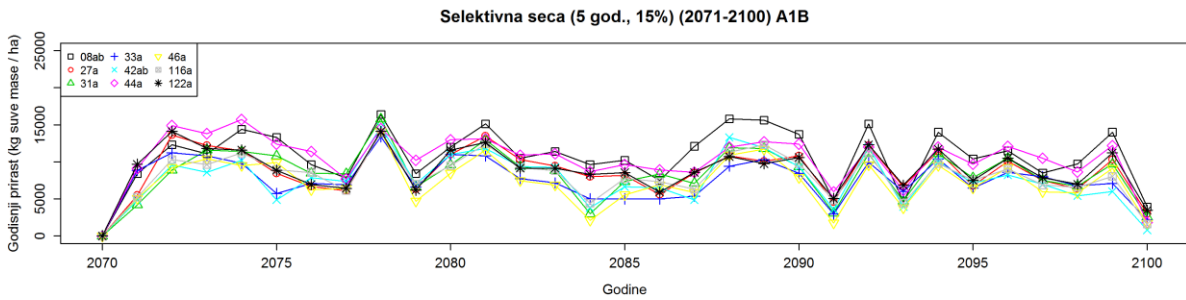
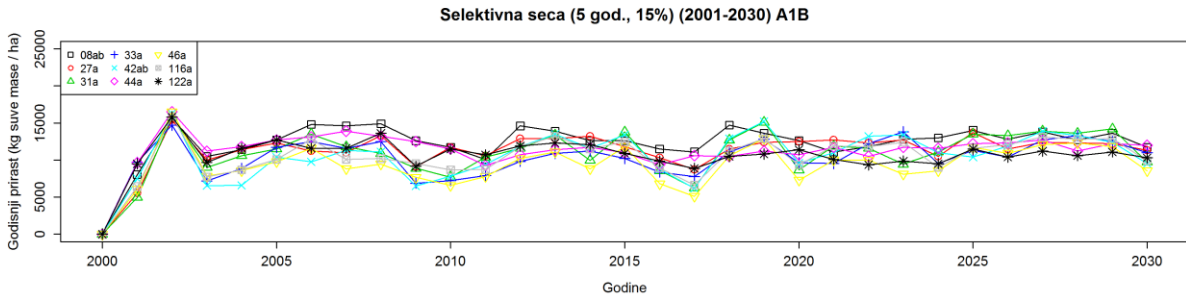
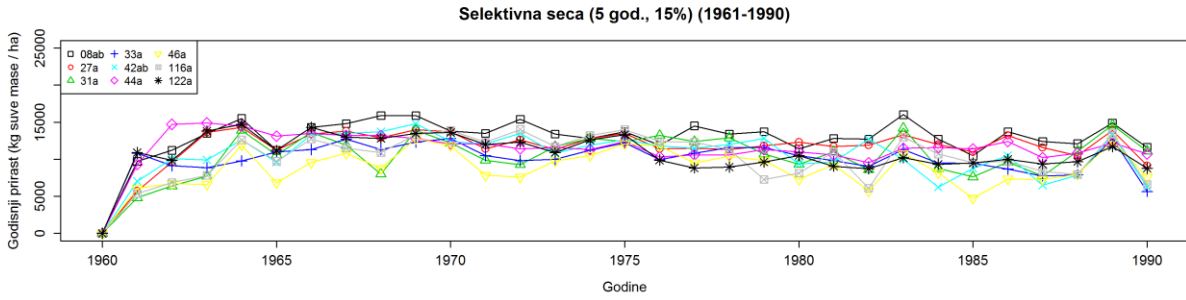


Selektivna seca (5 god., 15%) (2001-2030) A2



Selektivna seca (5 god., 15%) (2071-2100) A2

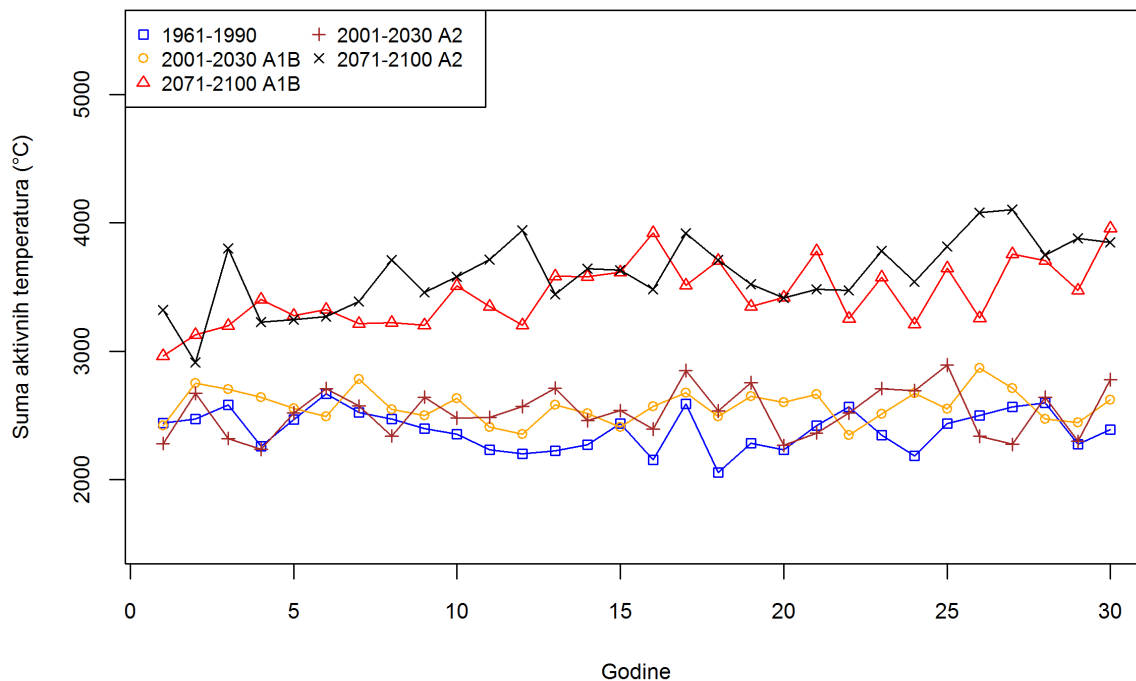




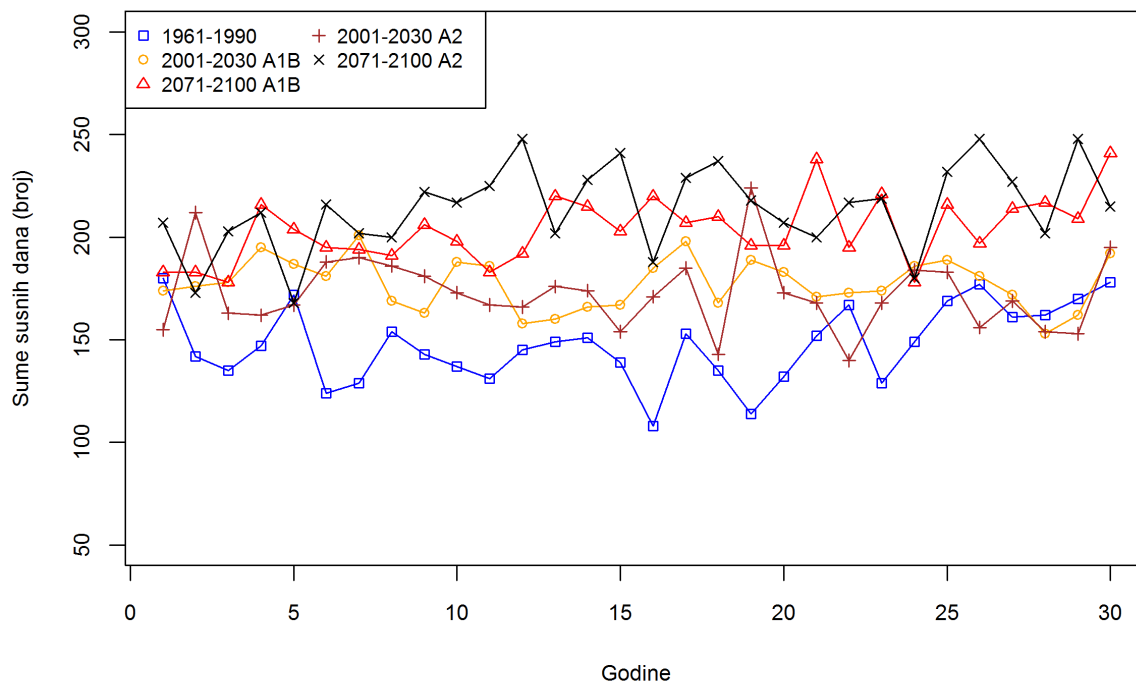
PRILOG V Aktivne temp., sušni, topli i hladni dani

Javor (8ab)

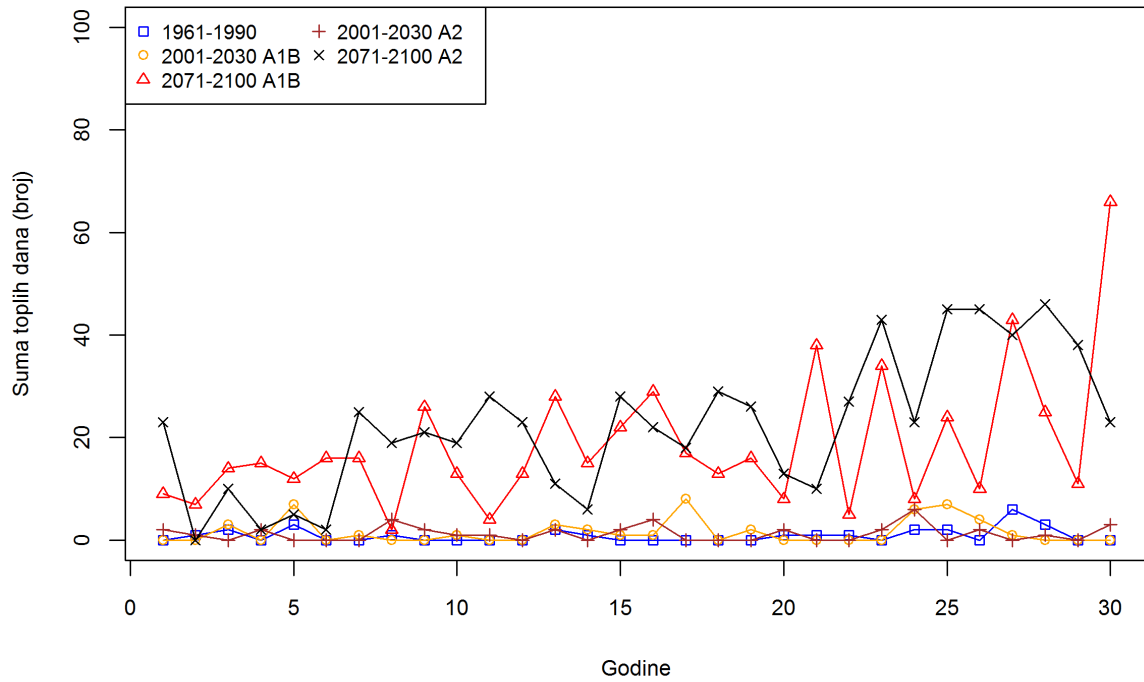
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



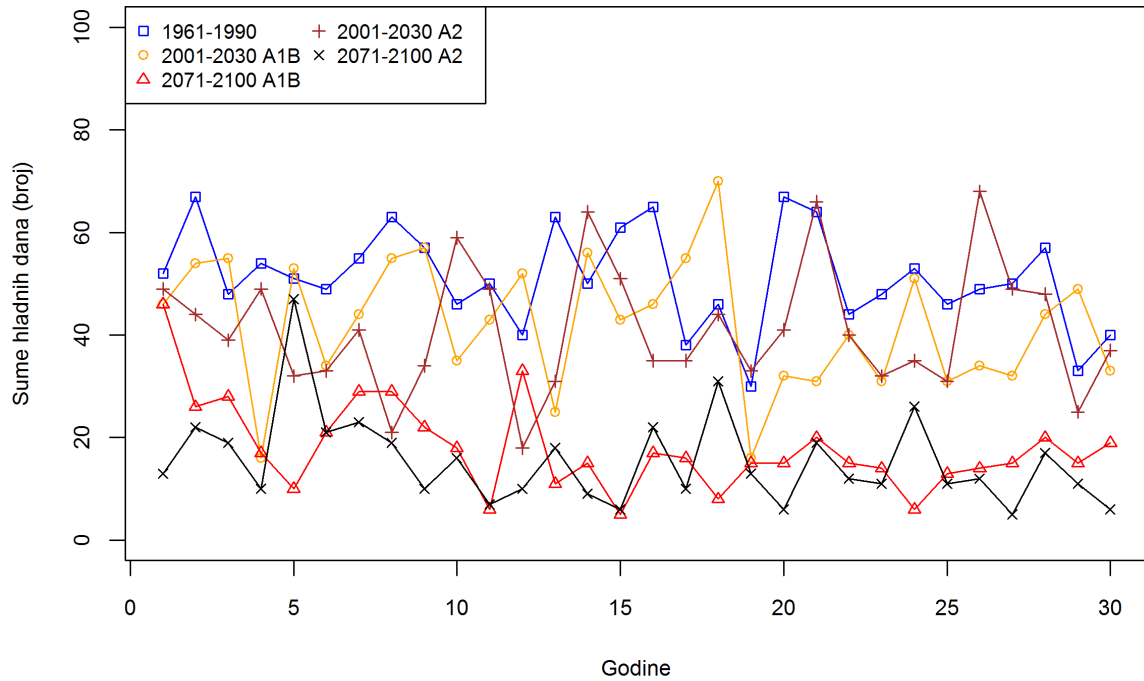
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

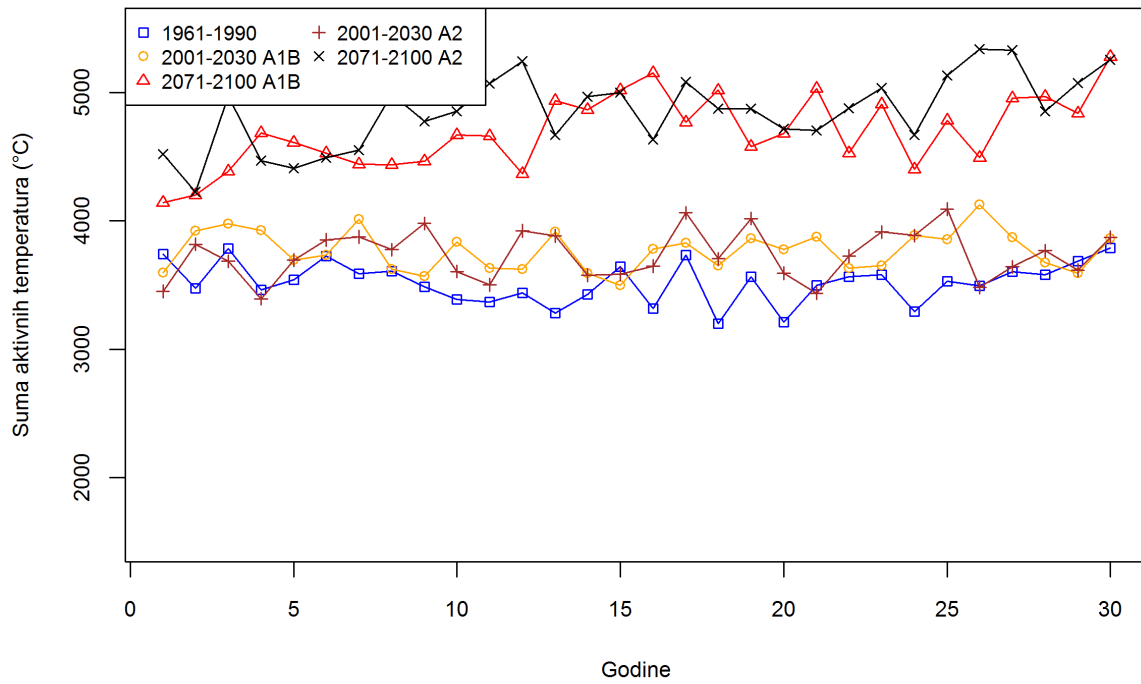


Vremenska distribucija sume hladnih dana

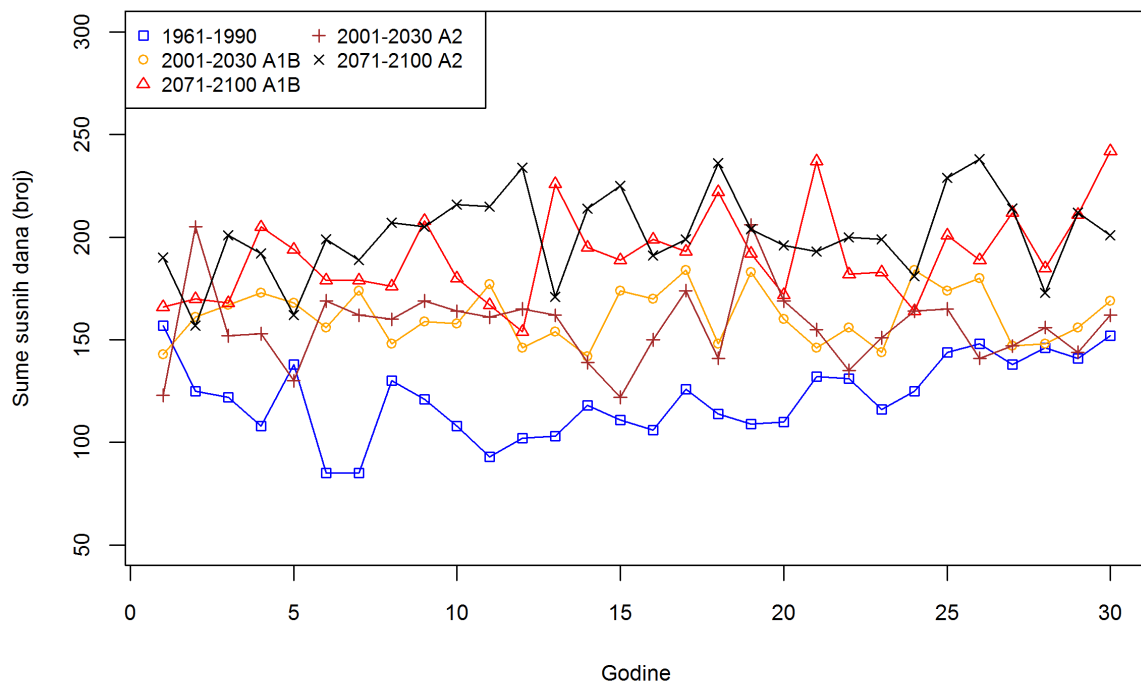


Zapadna Boranja (27a)

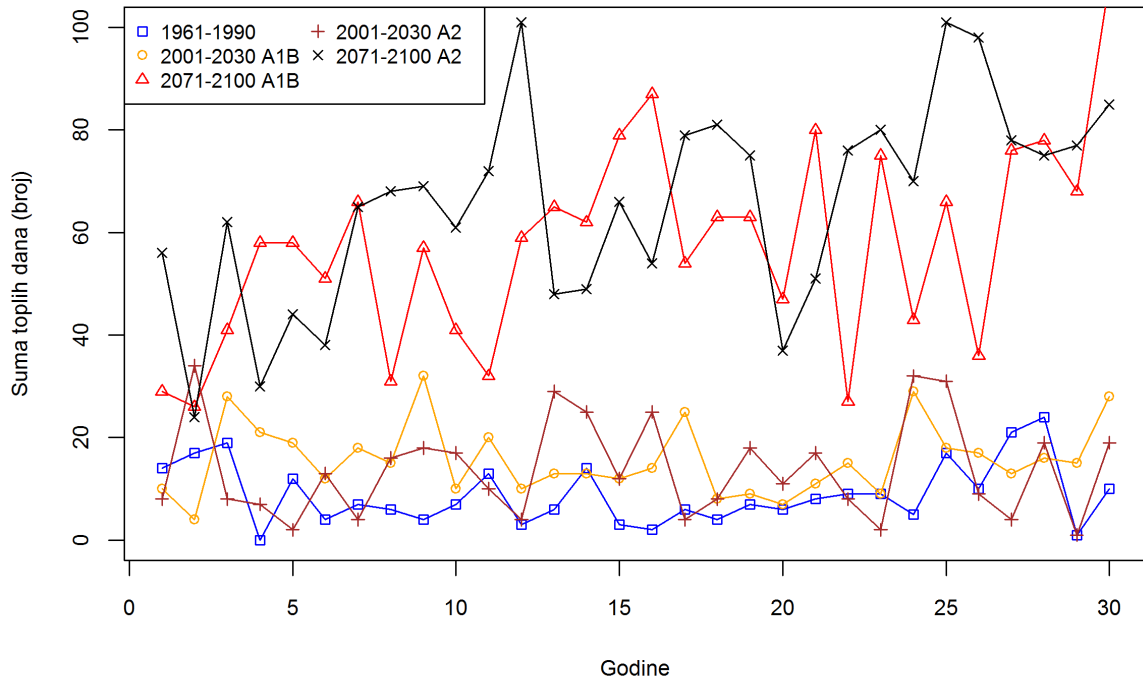
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



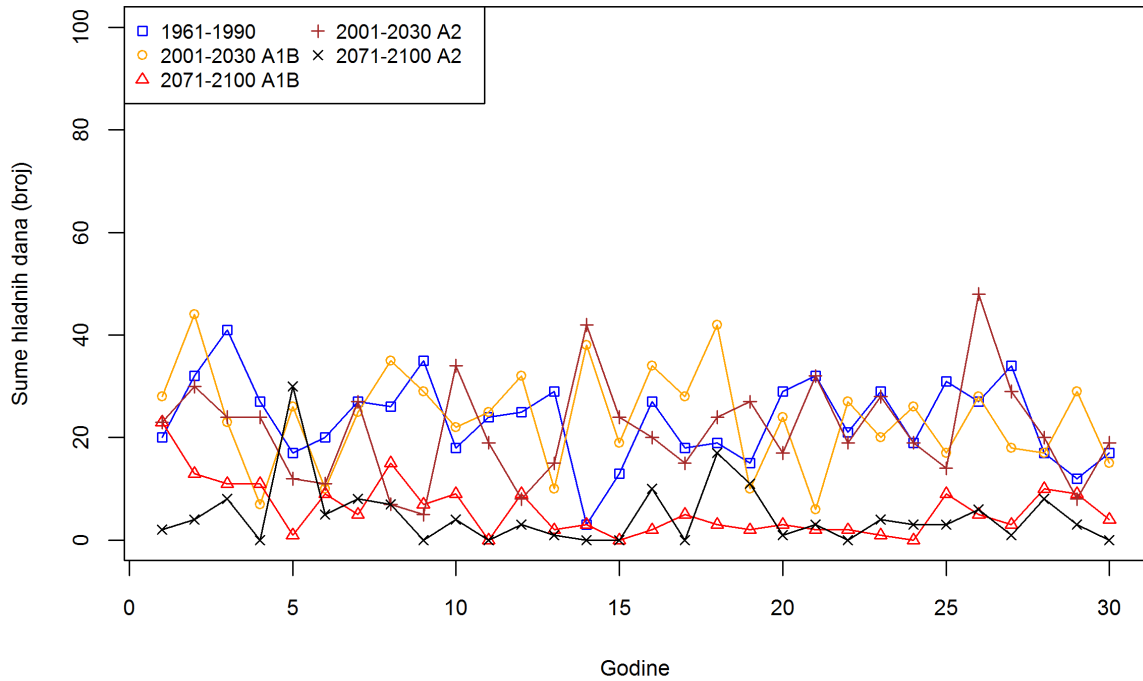
Vremenska distribucija sume susnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

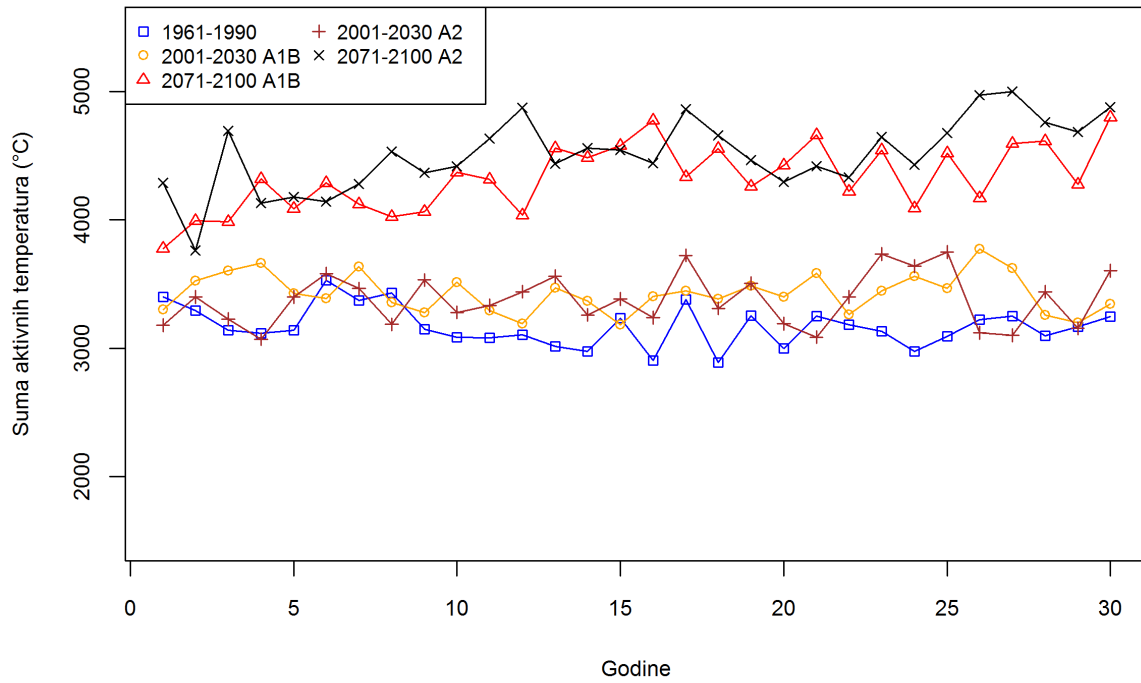


Vremenska distribucija sume hladnih dana

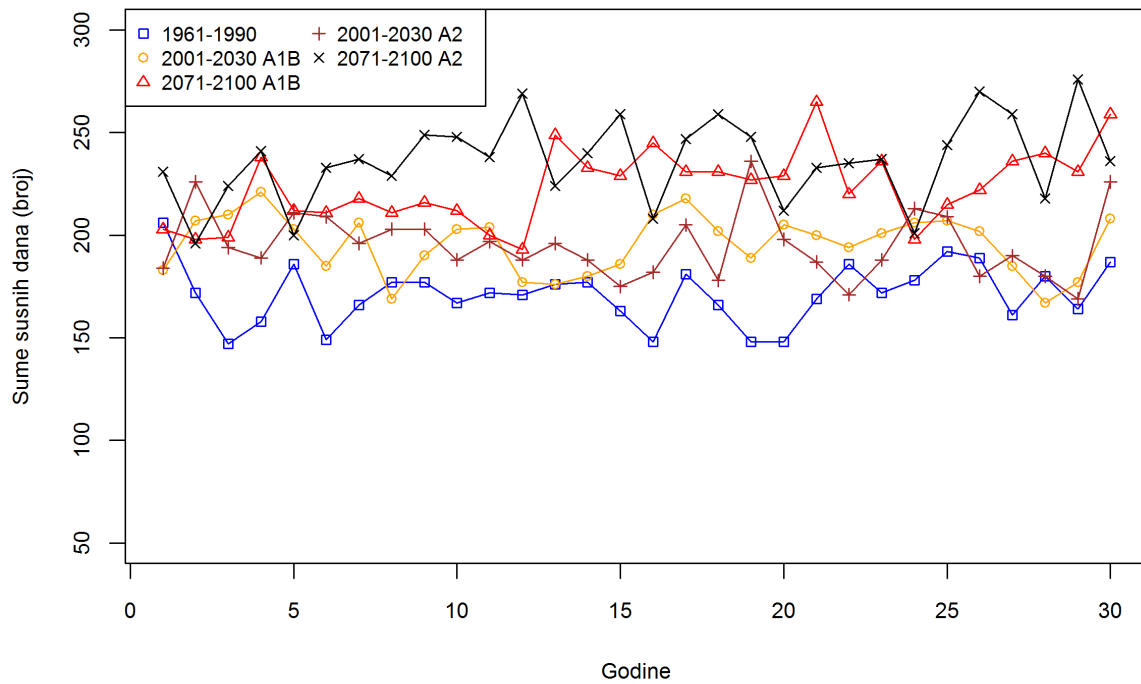


Čemernik-Ostrozub (31a)

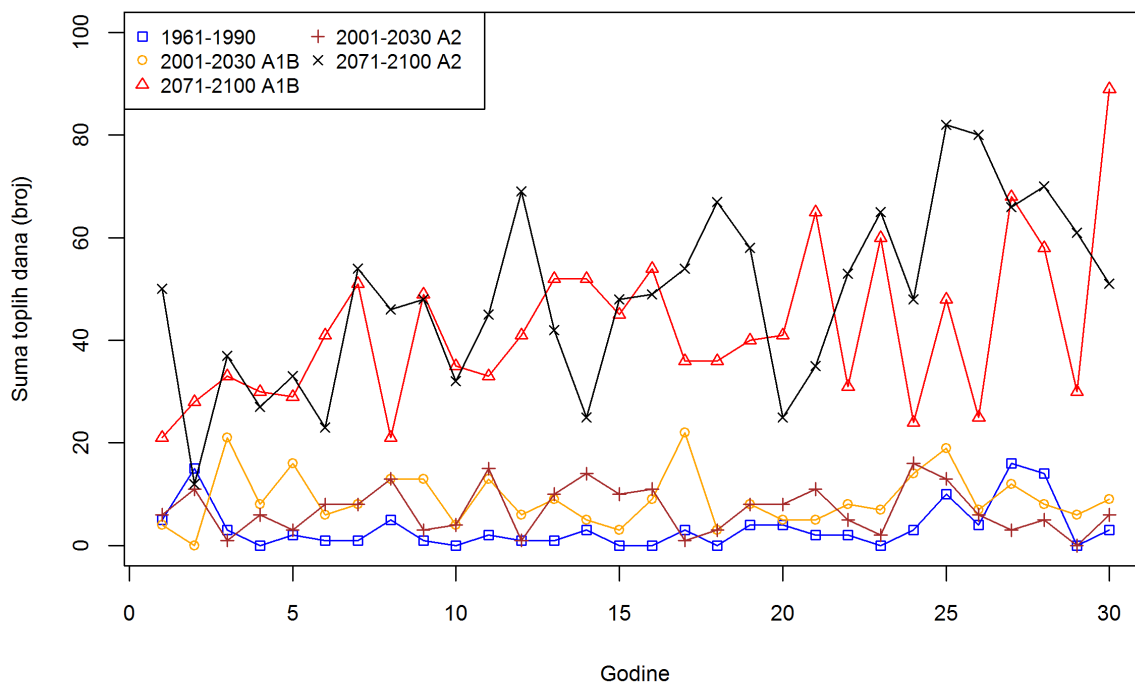
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



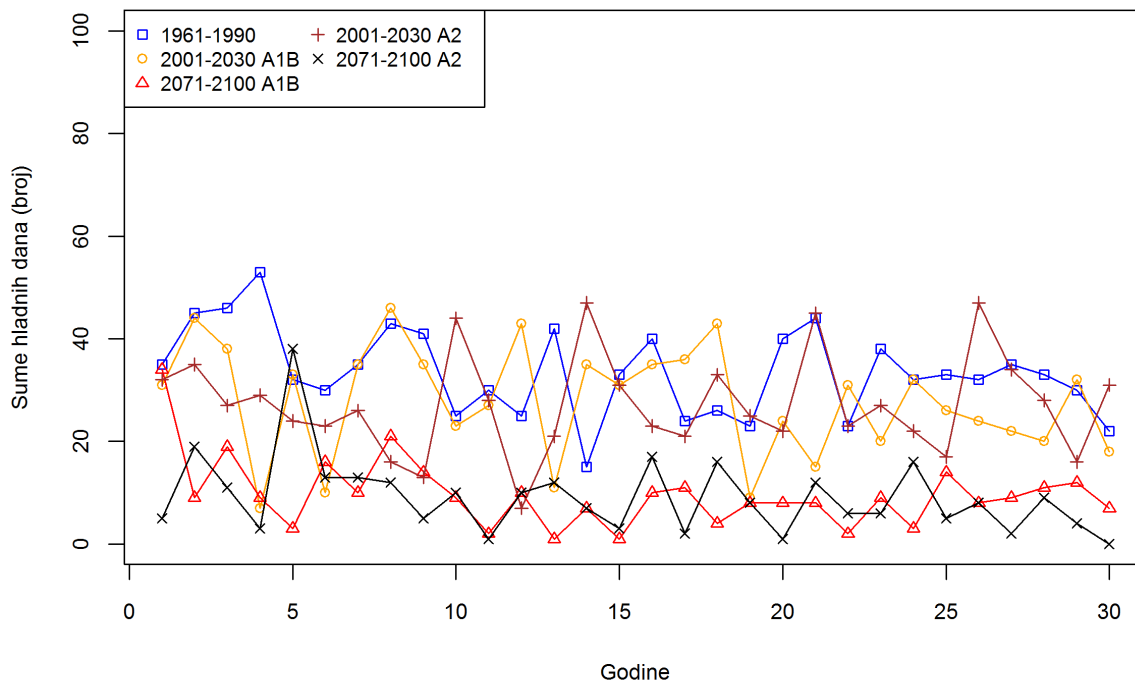
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

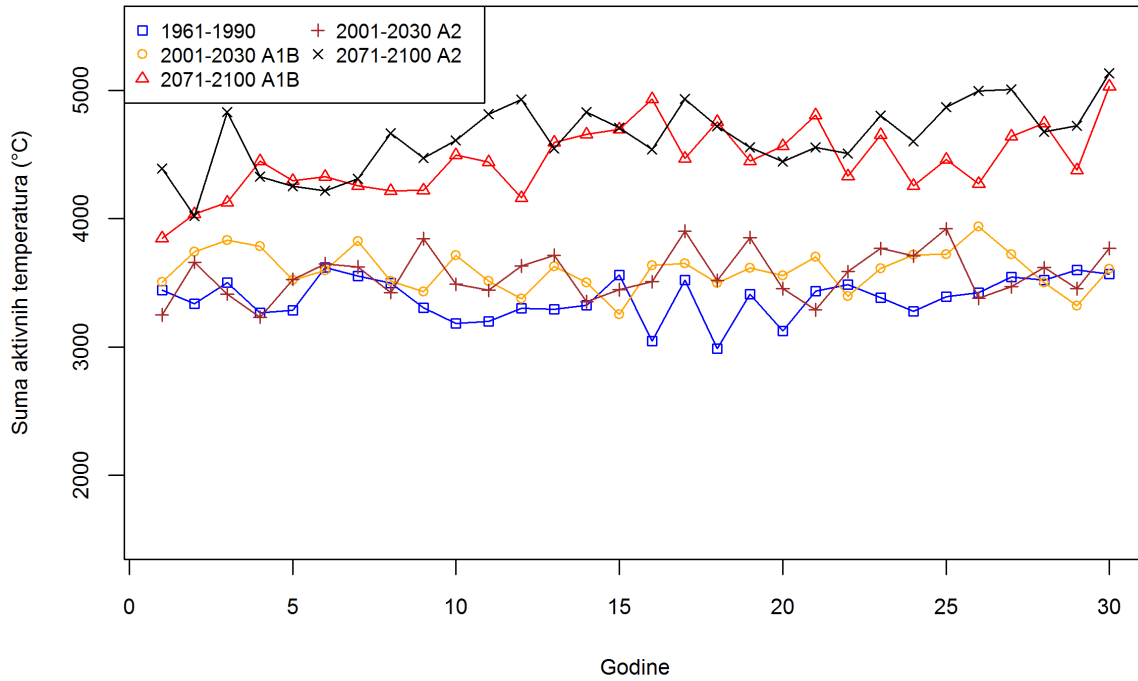


Vremenska distribucija sume hladnih dana

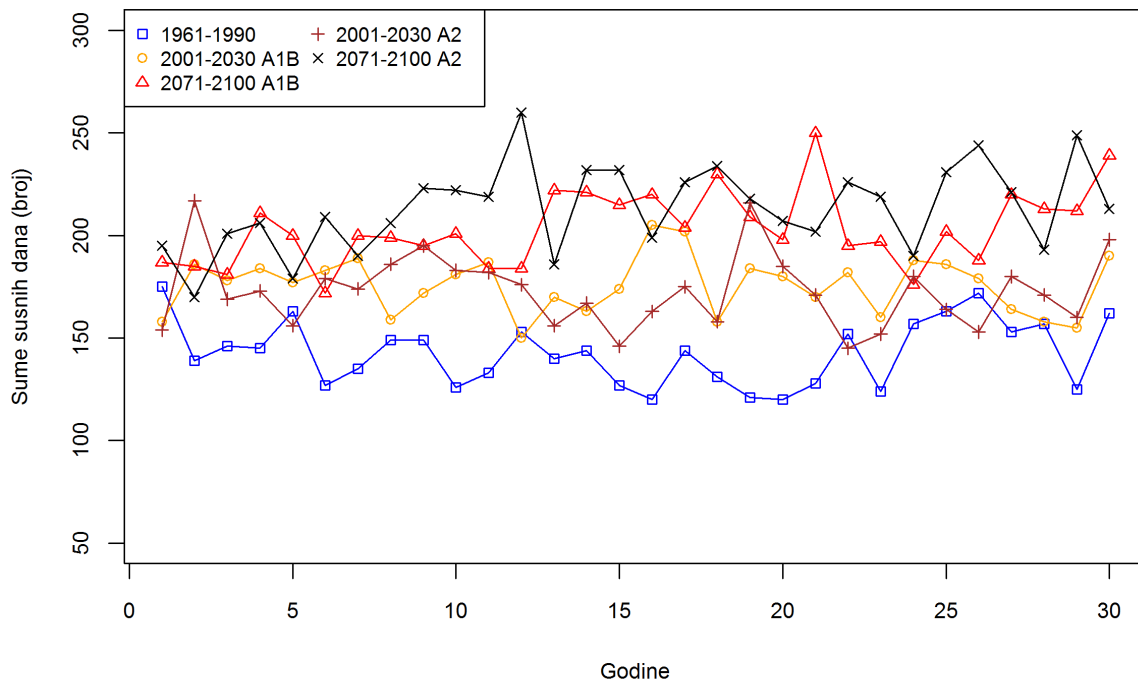


Homoljske planine (33a)

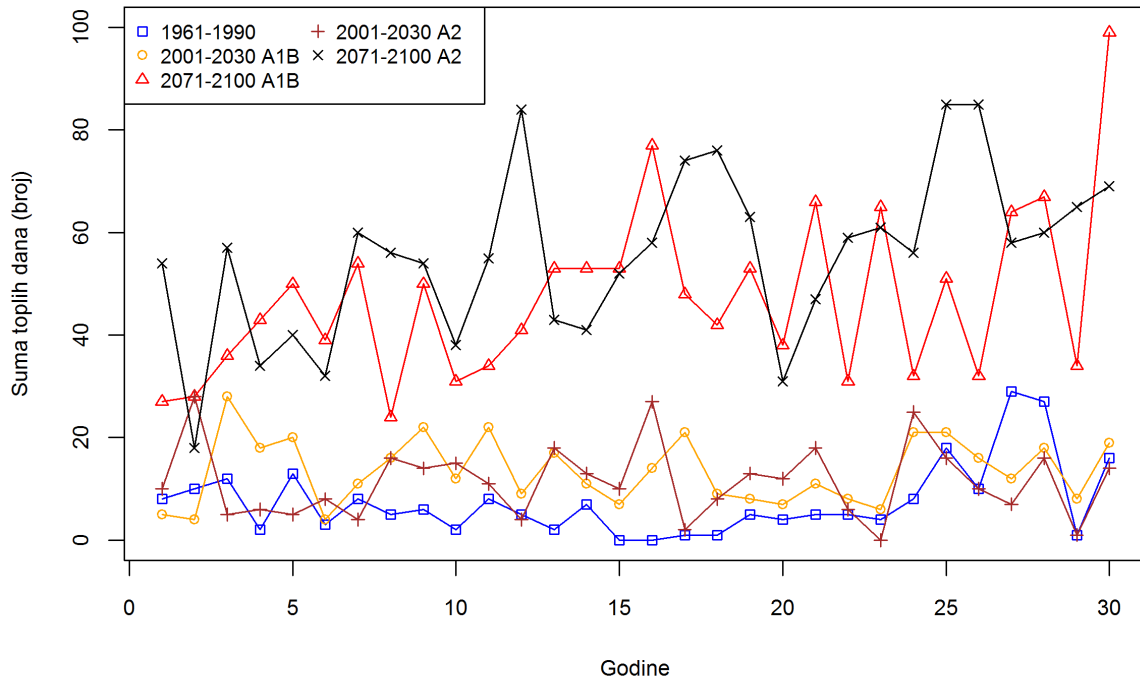
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



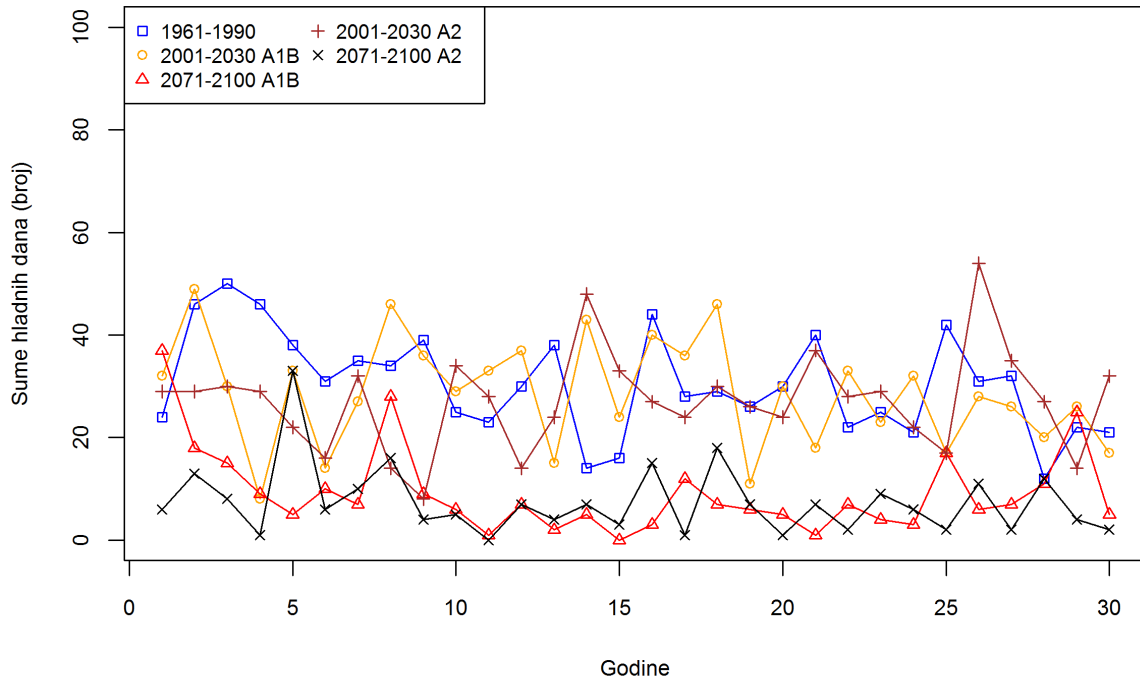
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

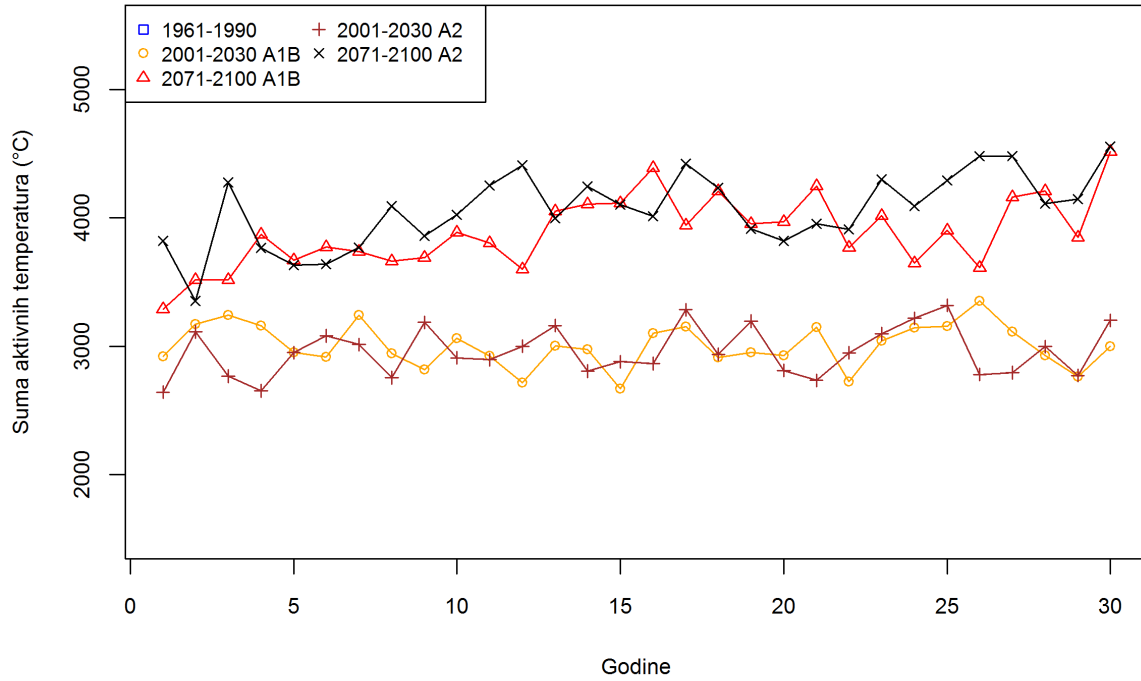


Vremenska distribucija sume hladnih dana

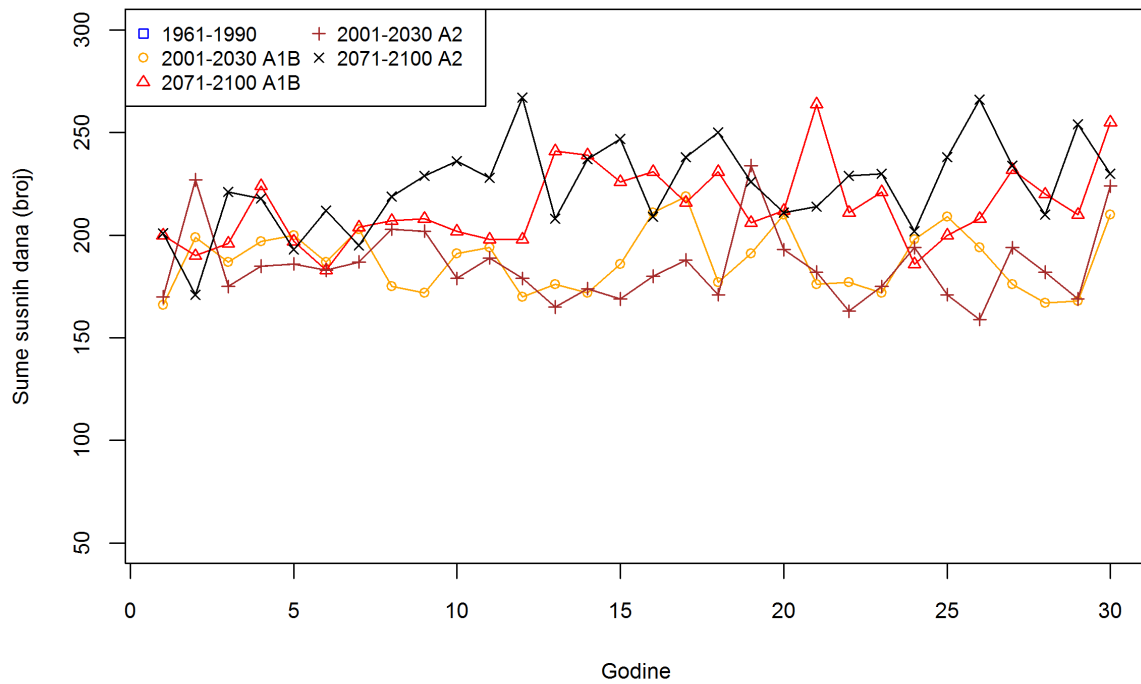


Kučajske planine (42ab)

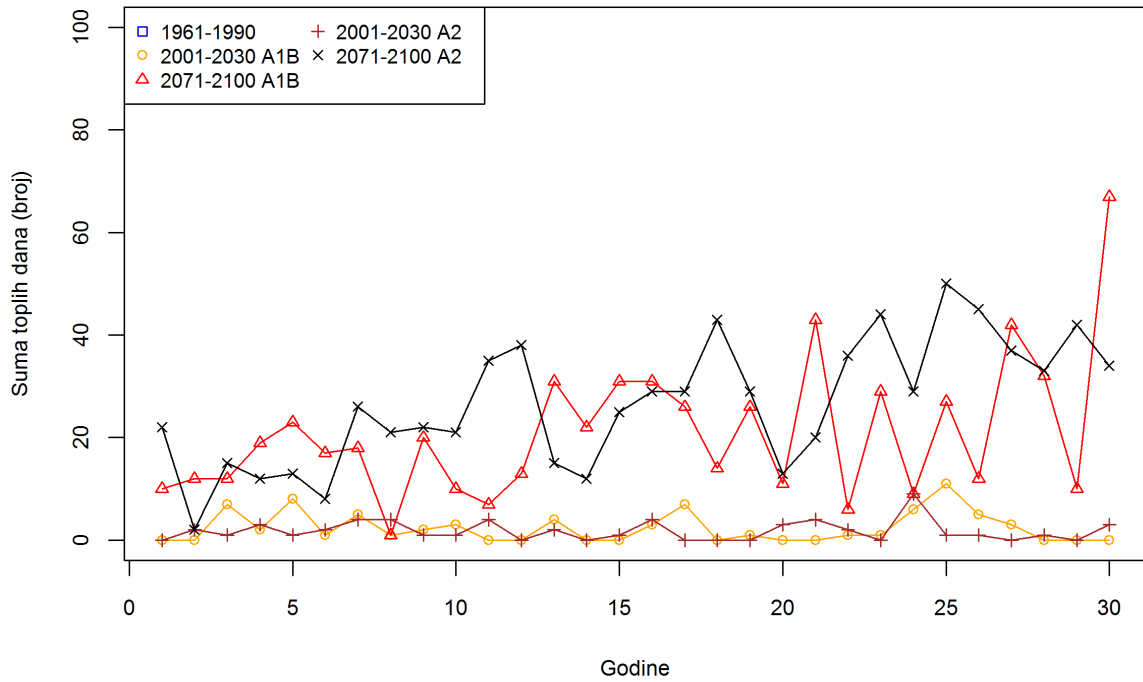
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



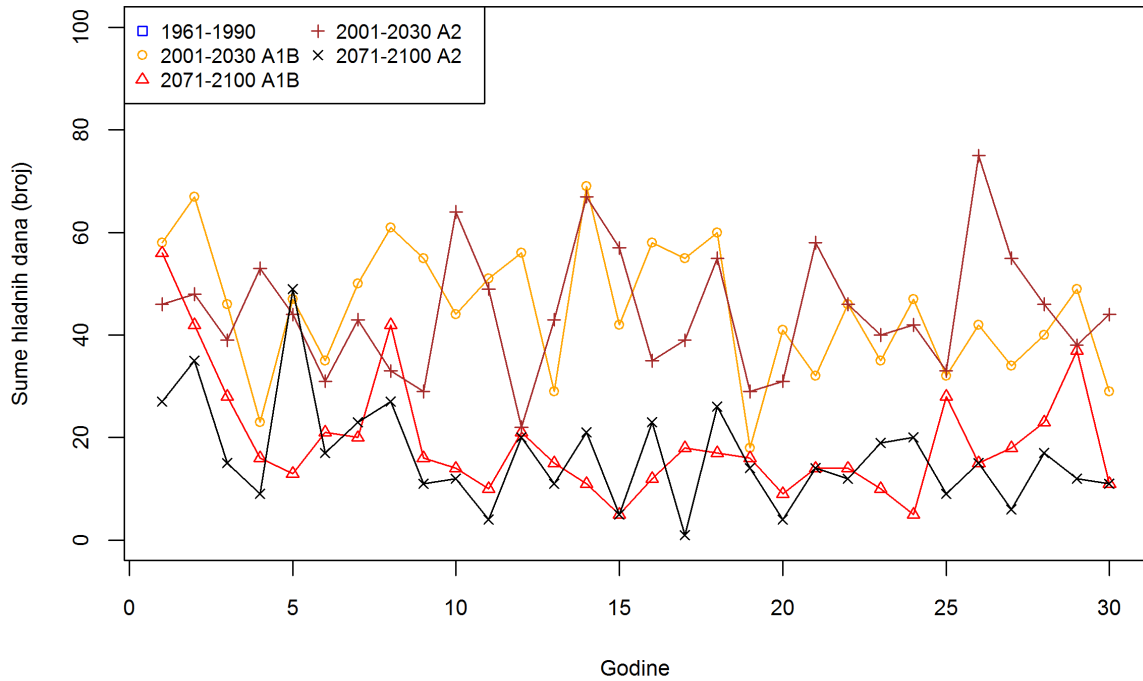
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

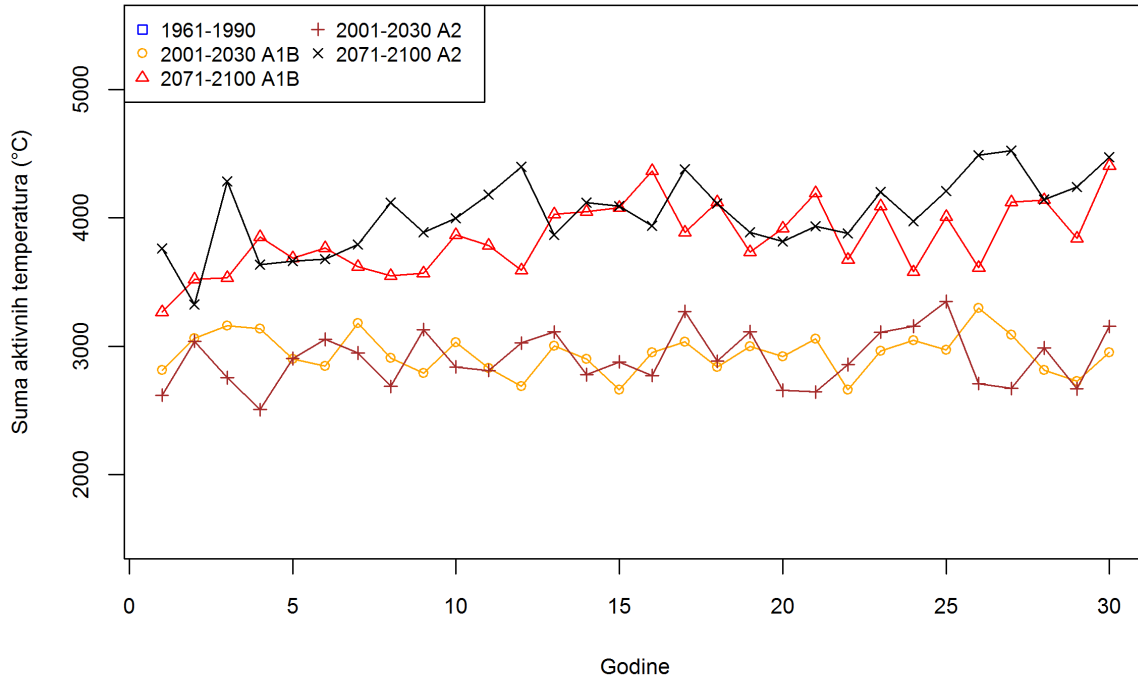


Vremenska distribucija sume hladnih dana

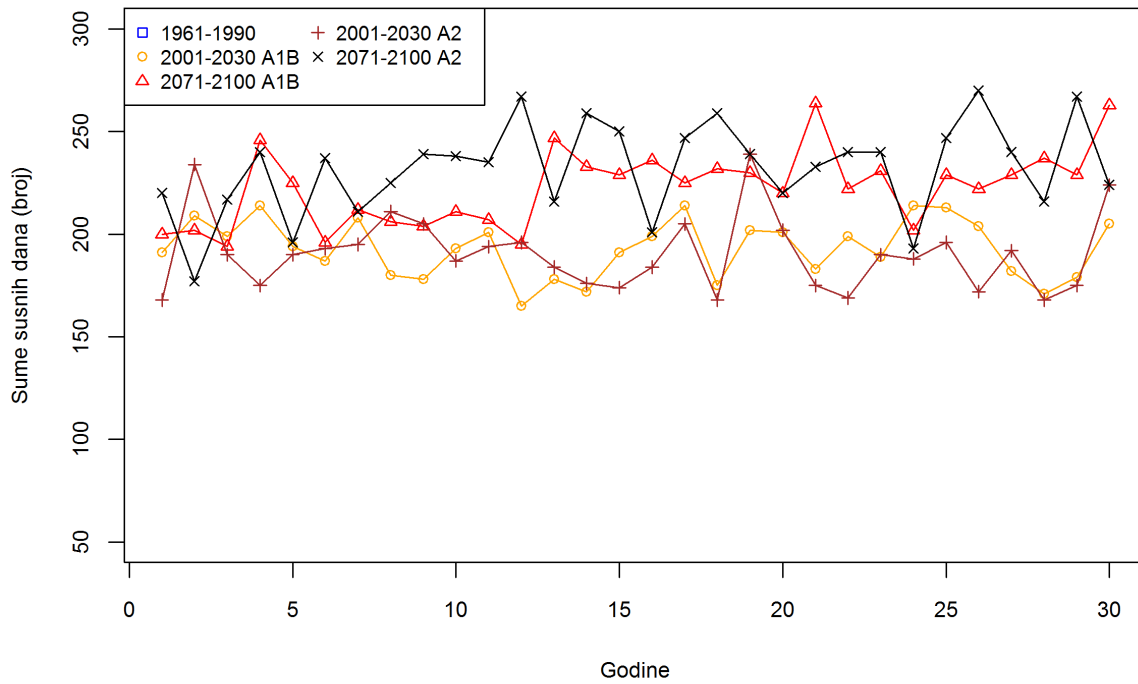


Željin (44a)

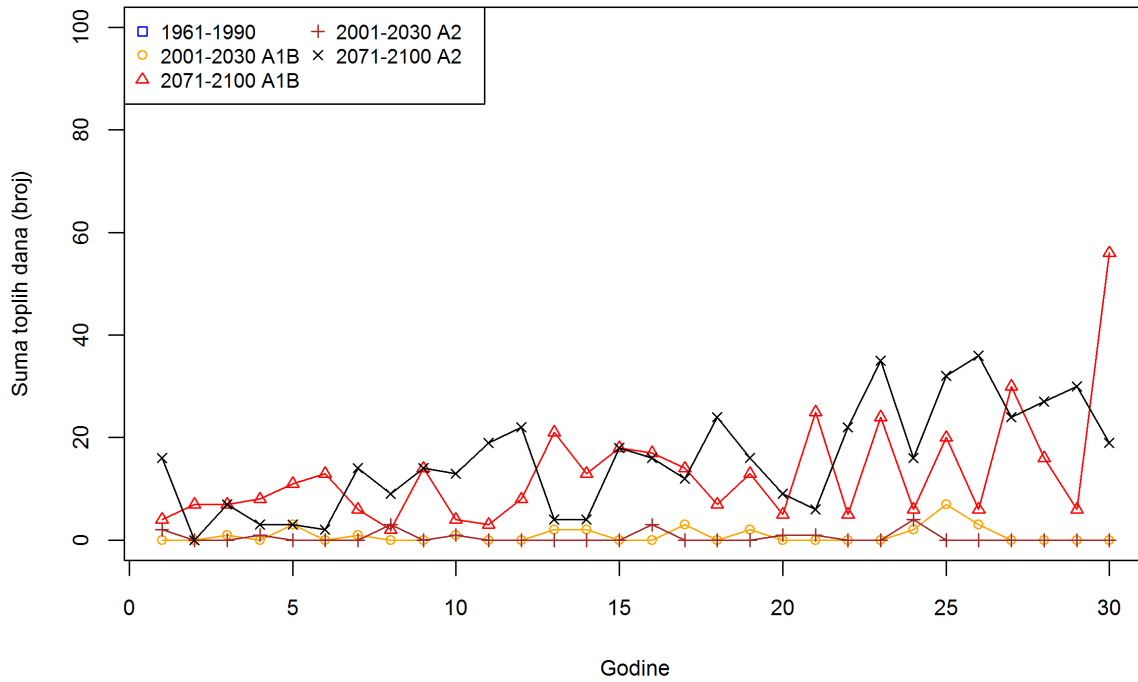
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



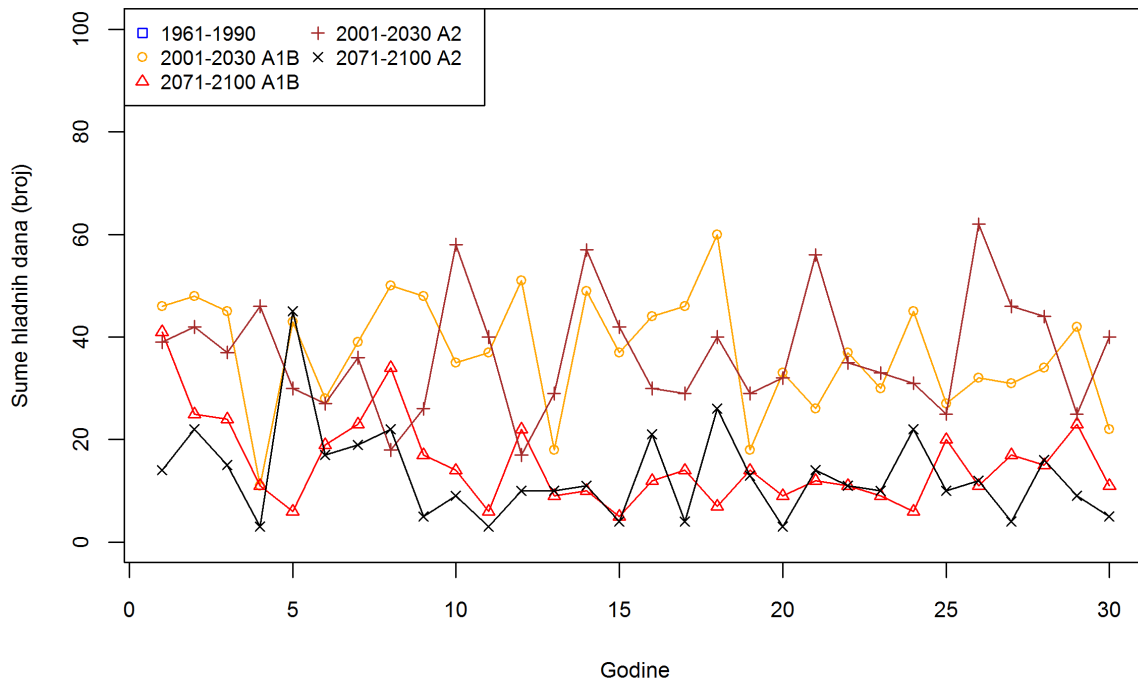
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

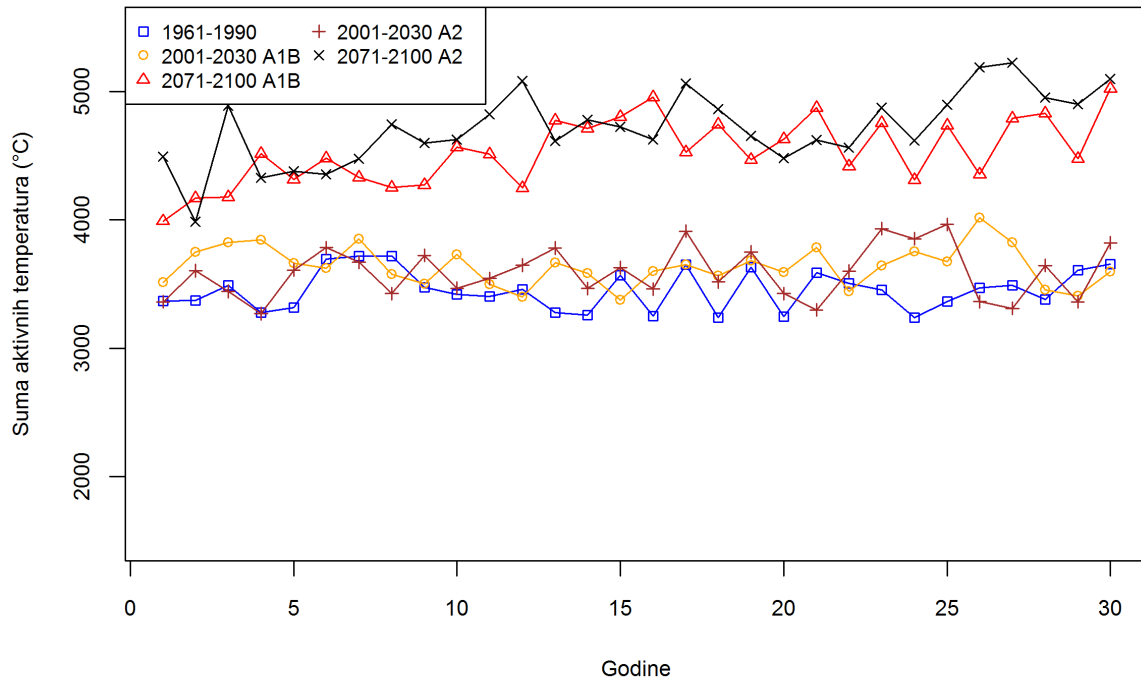


Vremenska distribucija sume hladnih dana

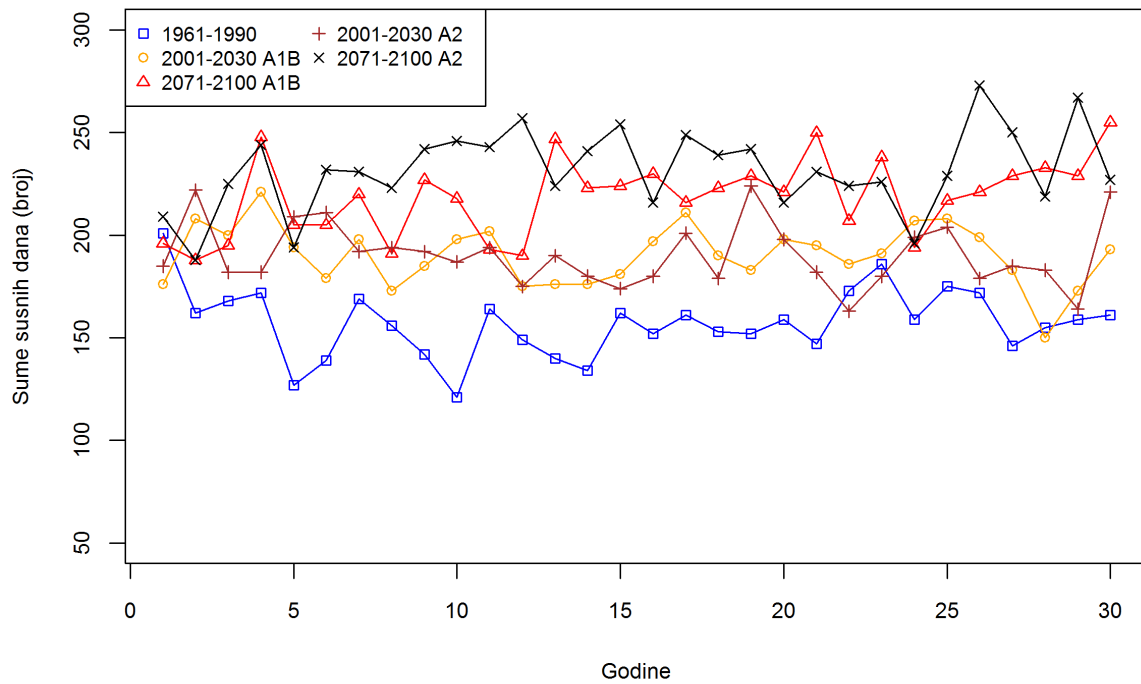


Kukavica (46a)

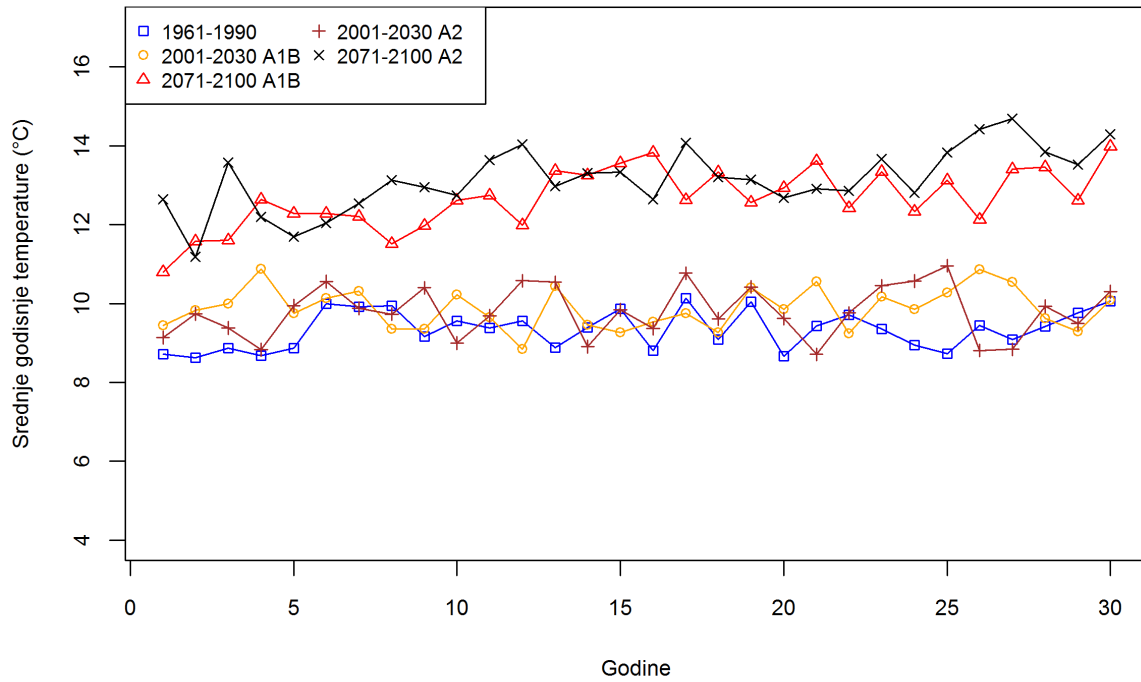
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



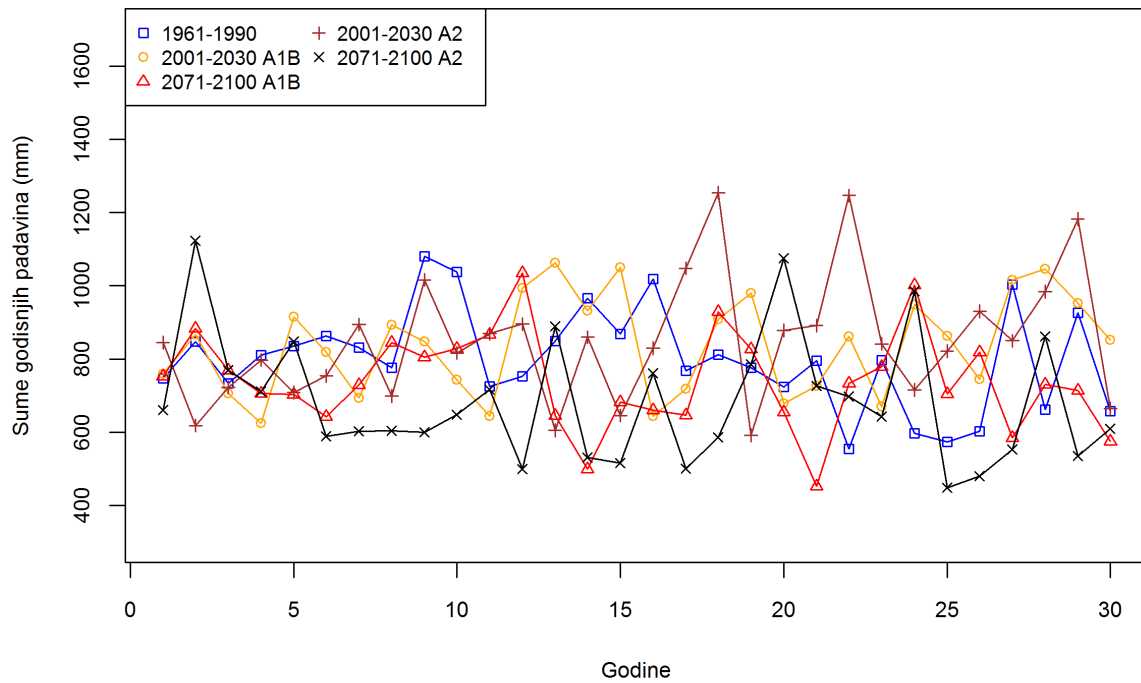
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Temperature

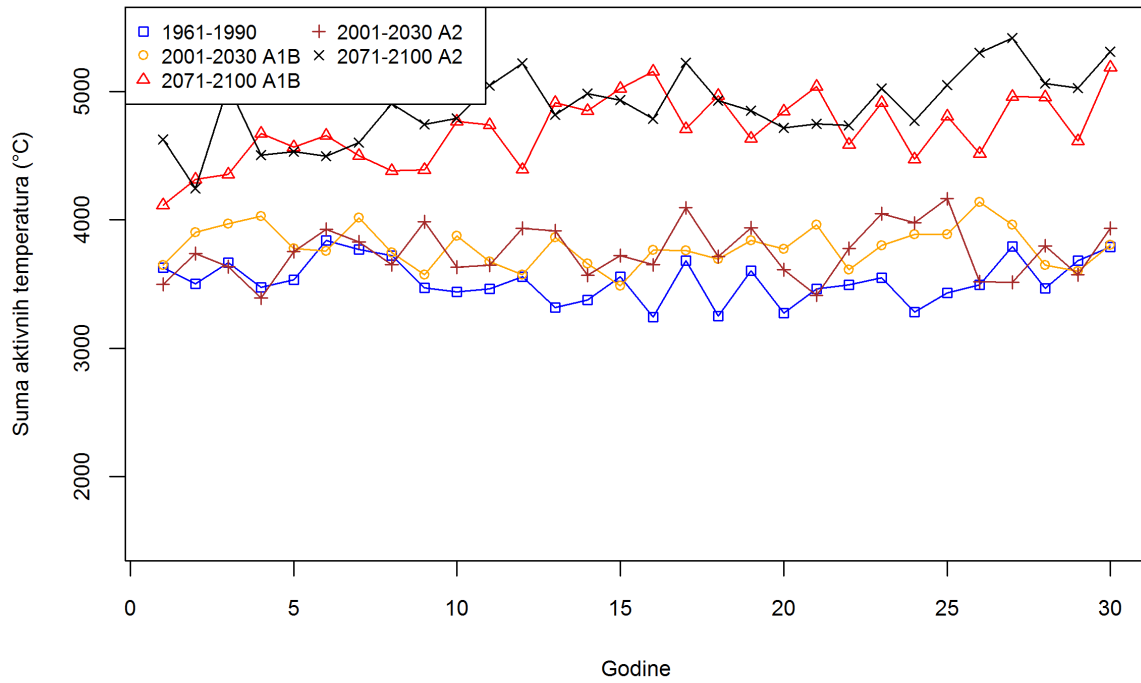


Padavine

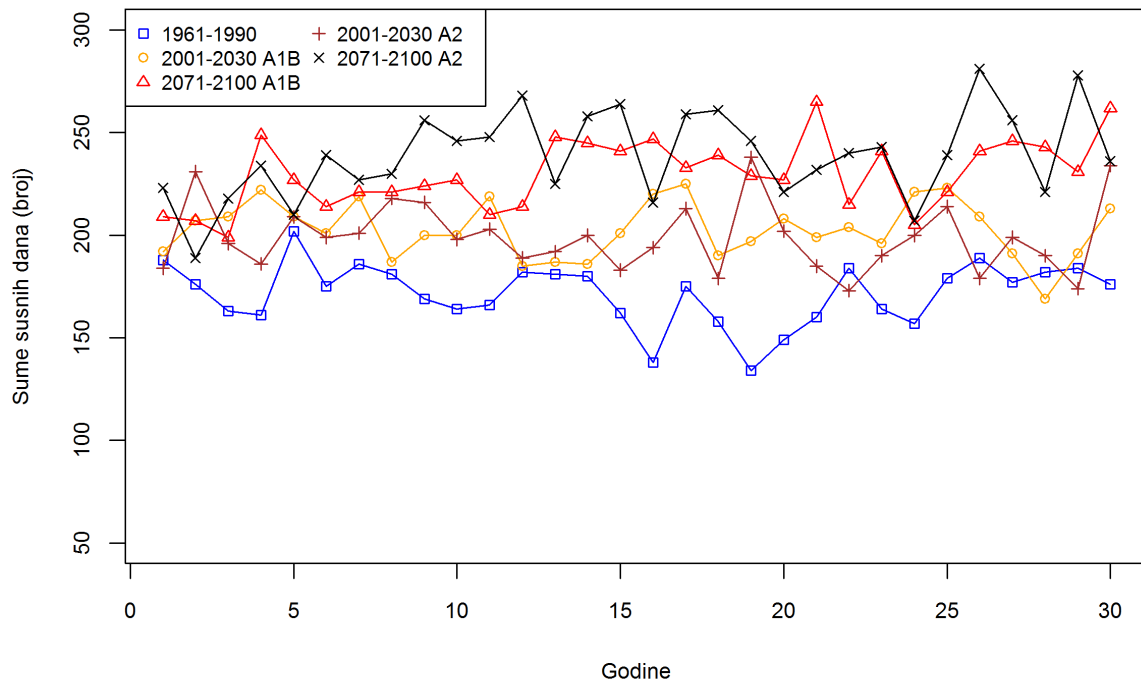


Jastrebac (116a)

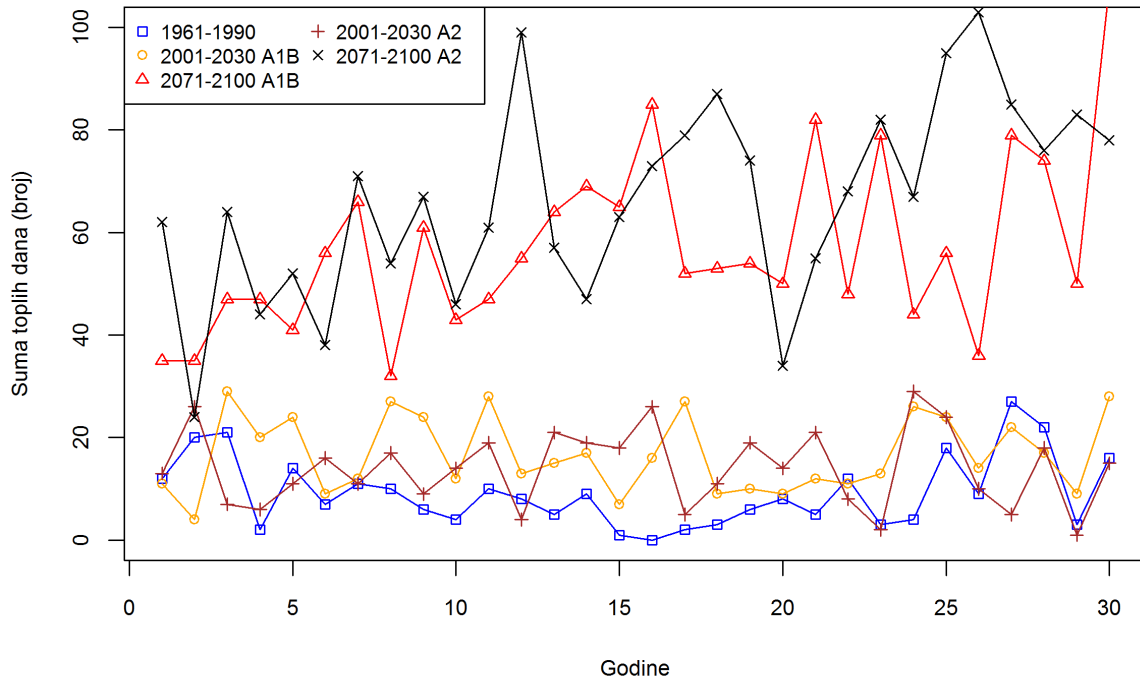
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



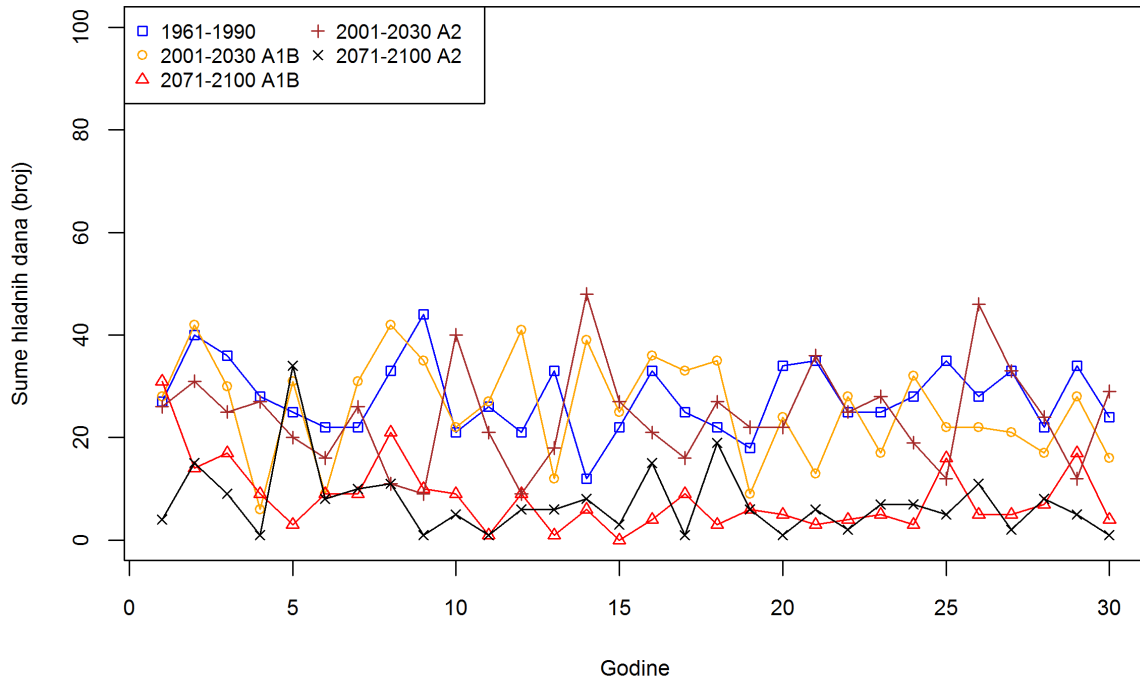
Vremenska distribucija sume sušnih dana



Vremenska distribucija sume toplih dana

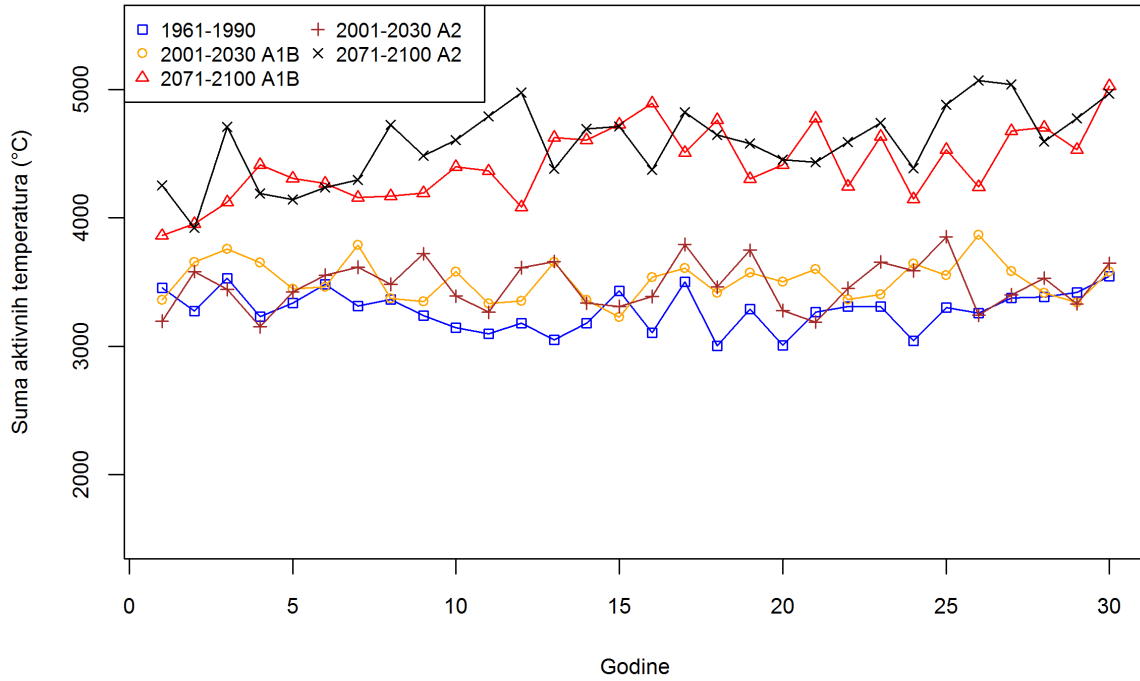


Vremenska distribucija sume hladnih dana

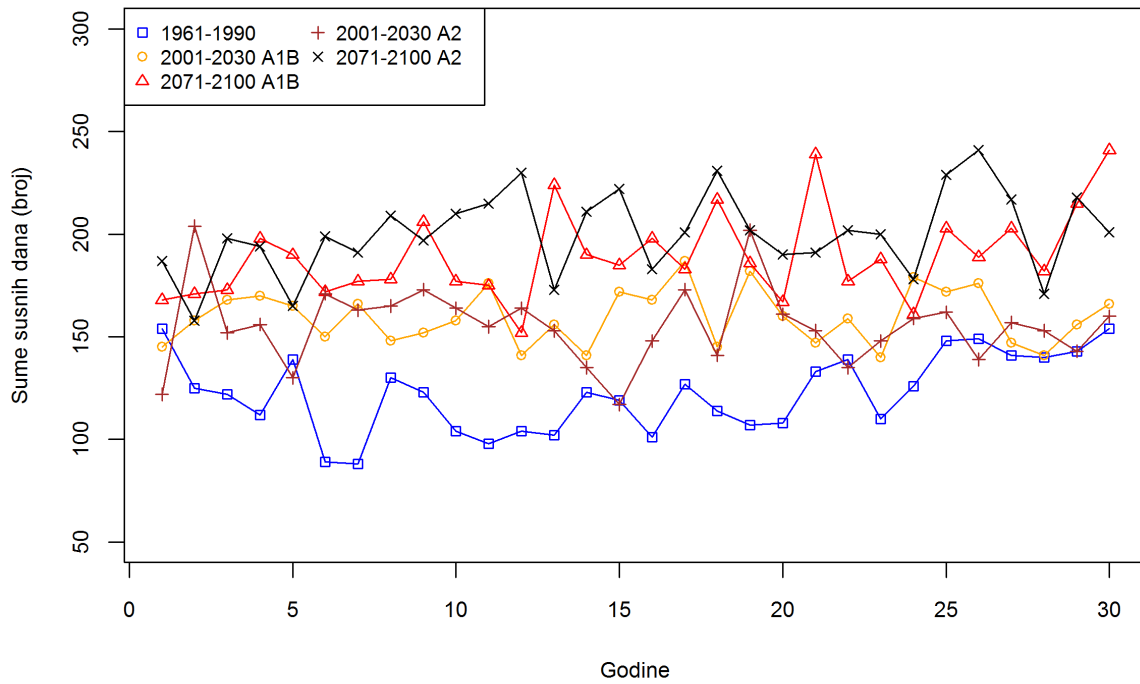


Istočna Boranja (122a)

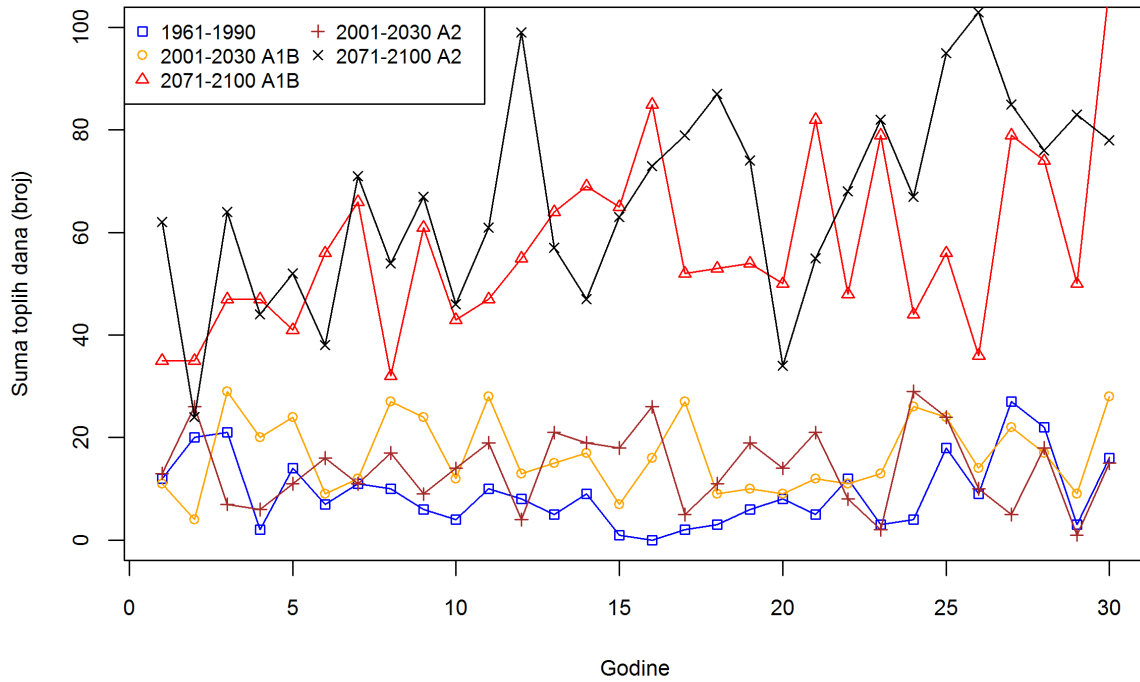
Vremenska distribucija sume aktivnih temperatura



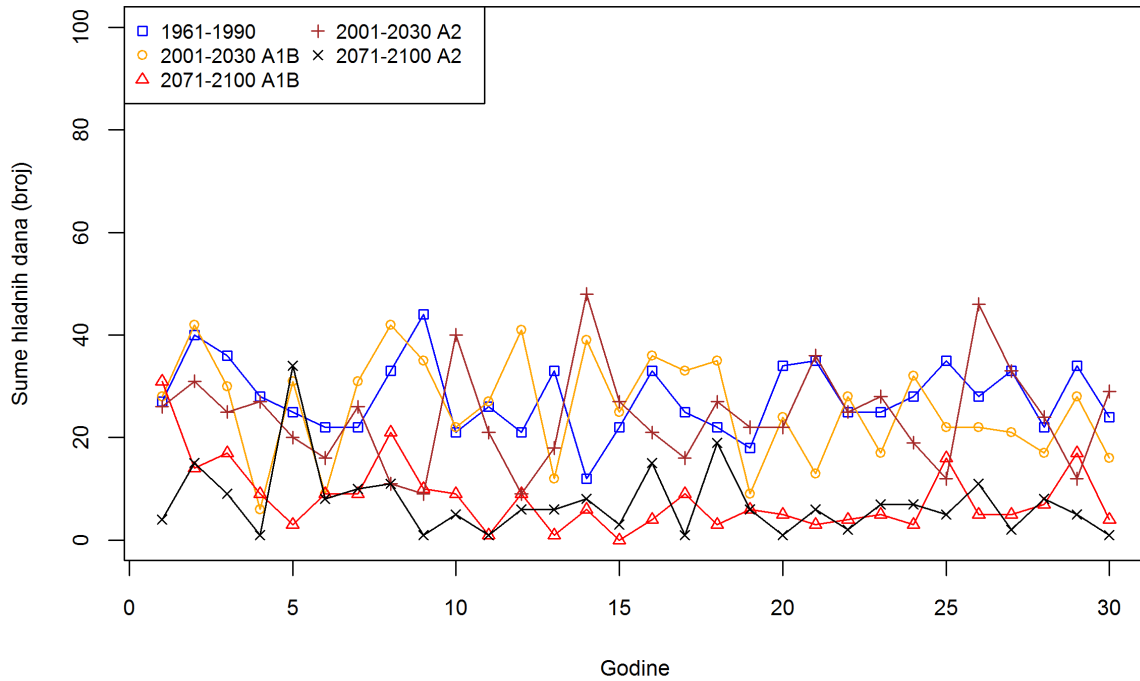
Vremenska distribucija sume sušnih dana



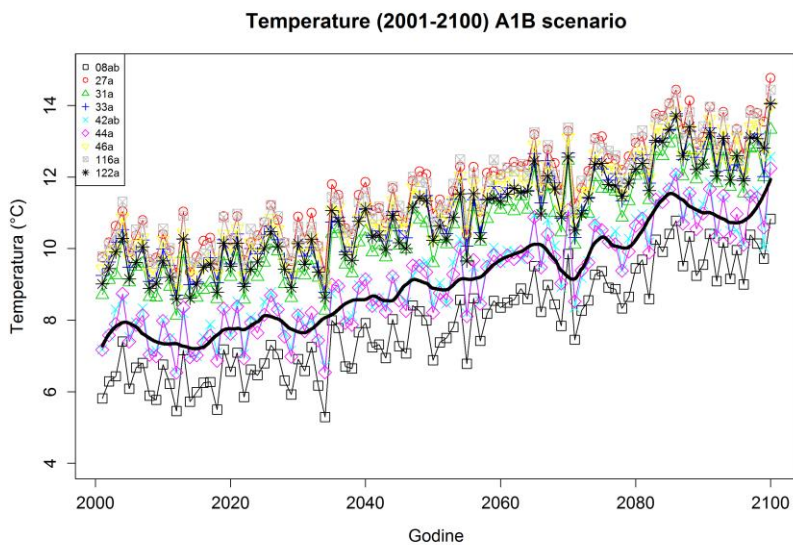
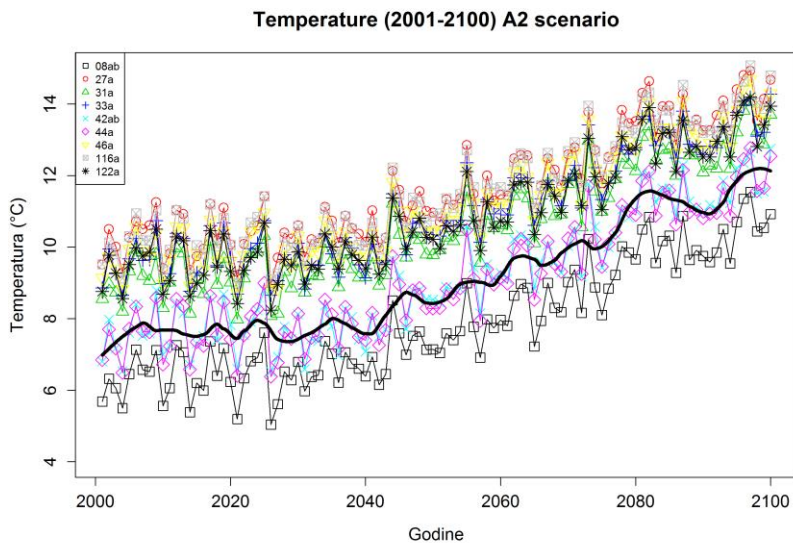
Vremenska distribucija sume toplih dana



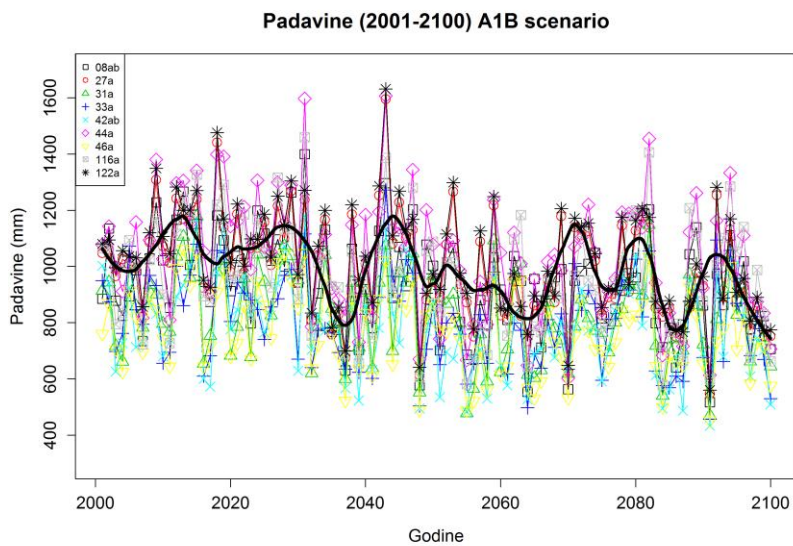
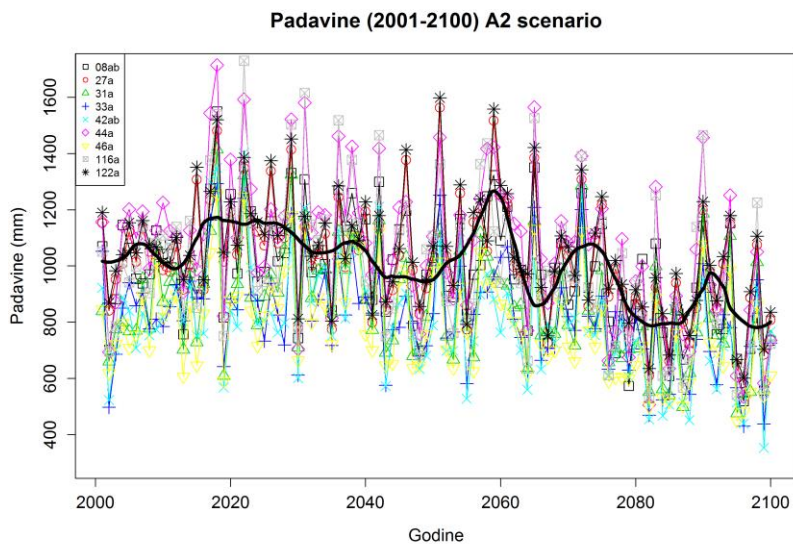
Vremenska distribucija sume hladnih dana



PRILOG VI Temperature i padavine 2001-2100



Prikaz vremenskih serija temperatura za period 2000-2100 za sve lokalitete sa naznačenim desetogodišnjim trendom za sastojinu Željina (44a)(crna linija)



Prikaz vremenskih serija padavine za period 2000-2100 za sve lokalitete sa naznačenim desetogodišnjim trendom za sastojinu Željina (44a)(crna linija)

Sažeta biografija



Dejan Stojanović je rođen 31.03.1986. godine u Zrenjaninu, gde je završio osnovnu školu i Zrenjaninsku gimnaziju. Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju, smer Ekologija upisuje 2006. godine, a diplomira 2010. godine sa prosečnom ocenom 9,03. Godine 2010. upisuje master studije na istom smeru koje završava 2011. godine sa prosečnom ocenom 9,7, nakon čega upisuje doktorske studije na smeru Doktor nauka – ekološke nauke. Polaže sve ispite predviđene programom sa prosečnom ocenom 9,33. Od februara 2012. zaposlen je na Institutu za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu Univerziteta u Novom Sadu kao Istraživač-saradnik i Koordinator za strateško planiranje i razvoj. Koautor je 22 naučna rada. Oblasti naučnog interesovanja su mu uticaj klimatskih promena na šume, adaptacija i dendroekologija. Govori engleski i služi se nemačkim jezikom.

Novi Sad, 13.02.2014.

Dejan Stojanović

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska teza
Ime i prezime autora: AU	Dejan B. Stojanović
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	dr Saša Orlović, redovni professor dr Dubravka Milić, docent
Naslov rada: NR	Uticaj klimatskih promena na vezivanje ugljenika, rast i biodiverzitet bukovih šuma u Srbiji
Jezik publikacije: JP	Srpski (latinica)
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Vojvodina
Godina: GO	2014.
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno- matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradović 2, 21 000 Novi Sad, Srbija
Fizički opis rada: FO	(broj poglavlja 6/ stranica 239/ slika 87 / tabela 17 / referenci 190/ priloga 6)

Naučna oblast: NO	Zaštita životne sredine
Naučna disciplina: ND	Šumarstvo
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Klimatske promene, <i>Fagus sylvatica</i> , gazdovanje šumama, modeliranje, ekosistemske usluge
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Departmana za biologiju i ekologiju, Trg Dositeja Obradovića 2, 21 000 Novi Sad, Srbija
Važna napomena: VN	Nema
Izvod: IZ	<p>Prognoze Međuvladinog panela o klimatskim promenama govore da će prostor Jugoistočne Evrope biti pod snažnim uticajem izmenjenih klimatskih uslova u 21. veku. Očekuje se da će leta biti toplija i suvlja sa više ekstremnih događaja i temperaturama koje mogu u proseku porasti i za čak 3,8°C, što predstavlja veliki izazov za šumarstvo. Da bi se odgovorilo na taj izazov neophodno je načiniti i sprovesti adekvatne mere adaptacije, što bi značilo prilagođavanje mera gazdovanja šumama novonastlim ekološkim uslovima. Jedan od značajnih alata u tom prilagođavanju predstavljaju različiti modelarski pristupi. U ovoj disertaciji su upotrebljene najsavremenije metode modeliranja uticaja klimatskih promena na šume. Radi se o pionirskom istraživanju koje je prvo takve vrste u regionu. Dva različita metoda pristupa, vezanih za distribuciju, rast, adaptivno i multifunkcionalno gazdovanja bukovim šumama u Srbiji u klimatskim uslovima 21. veka su uputila na nekoliko najbitnijih rezultata i zaključaka. Izmenjeni klimatski uslovi će imati uticaj na rast i distribuciju bukovih šuma u 21. veku na osnovu simulacija sa 4C modelom i predikcija pomoću Elenbergovog koeficijenta. Na kraju simuliranog perioda 2001-2030 pomoću 4C modela zabeležene su veće zapremine za devet sastojina monodominantnih bukovih šuma u odnosu na referentni period 1961-1990, dok su zapremine na kraju perioda 2071-2100 po pravilu bile veće ili slične referentnom period. Simulacije u period 2001-2030 su proseku imale najveće godišnje priraste i najviše mrtvog drveta, a one u period 1961-1990 najmanje. Najbolje rezultate za vezivanje ugljenika i očuvanje biodiverziteta je pokazao scenario gazdovanja u kojem nije bilo intervencija. Suprotno tome, najviše prinosa drveta je zabeleženo u scenarijima sa najintenzivnijim intervencijama. U adaptivnom multifunkcionalnom gazdovanju bukovim šumama za scenarija preferencija koje su kreirale tri grupe zainteresovanih strana (Uprava za šume, sektor zaštite prirode i JP „Srbijašume“) pokazalo se da gazdovanje koje podrazumeva češće zahvate (pet godina između seča) daje bolje rezultate u odnosu scenarija koji podrazumevaju desetogodišnje intervale. Scenariji gazdovanja u kojima su posečena visoka stabla su pokazale bolje rezultate u multifunkcionalnom gazdovanju u odnosu na scenarija gde su sečena niža stabla u istom zapreminskom odnosu za sva</p>

	<p>scenarija preferencija zainteresovanih strana. Elenbergov koeficijent je pokazao dobru prediktivnu sposobnost za određivanje donje granice distribucije bukovih šuma u Srbiji. Do kraja 21. veka okvirno 90% današnjih bukovih šuma će se naći izvan bioklimatske ekološke niše u kojoj su bili u 20. veku, dok će se 50% naći u zoni u kojoj je zabeležen njen masovni mortalitet u Mađarskoj. Izračunate granice EQ su bile nešto niže od dobijenih u sličnim studijama u region što implicira striktan regionalni i lokalni pristup problem. Poređenje rezultata simulacija sa 4C modelom i EQ za posmatranih devet sastojina je pokazalo različite trendove vezano za rast (distribuciju) bukovih šuma u Srbiji do kraja 21. veka. 4C model je predvideo poboljšanje uslova, dok je EQ predvideo pogoršanje uslova. Iz tog razloga potrebna su dalja kontinuirana dugoročna istraživanja bukovih šuma kako bi smo dobili pouzdaniju osnovu za procenu budućeg rasprostranjenja, rasta i planiranja gazdovanja ovim šumama u budućnosti.</p>
<p>Datum prihvatanja teme od strane NN veća: DP</p>	<p>28.03.2013.</p>
<p>Datum odbrane: DO</p>	
<p>Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO</p>	<p>predsednik komisije: dr Snežana Radulović, vanredni profesor, Departman za biologiju i ekologiju, PMF Novi Sad</p> <p>član: dr Saša Orlović, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad</p> <p>član: dr Dubravka Milić, docent, Departman za biologiju i ekologiju, PMF Novi Sad</p> <p>član: dr Bratislav Matović, naučni saradnik, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Novi Sad</p> <p>član: dr Borivoje Rajković, redovni profesor, Fakultet za fiziku, Institut za meteorologiju, Beograd</p>

University of Novi Sad
Faculty
Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	
Author: AU	Dejan B. Stojanović
Mentor: MN	dr Saša Orlović, full professor dr Dubravka Milić, assistant professor
Title: TI	The impact of climate change on carbon sequestration, growth and biodiversity of European beech forests in Serbia
Language of text: LT	Serbian (Latin)
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2014
Publisher: PU	Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
Publication place: PP	Trg Dositeja Obradović 2, 21 000 Novi Sad, Republic of Serbia

Physical description: PD	(number of chapters 6/ pages 239/ Figures 87 / Tabels 17 / References 190/ Annexes 6)
Scientific field SF	Environmental Protection
Scientific discipline SD	Forestry
Subject, Key words SKW	Climate change, <i>Fagus sylvatica</i> , forest management, modeling, ecosystem services
UC	
Holding data: HD	Library at Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, Novi Sad
Note: N	/
Abstract: AB	<p>Predictions of the Intergovernmental Panel on Climate Change suggest that the region of Southeast Europe will be strongly influenced by the altered climate conditions in 21 century. It is expected that the summers will be hotter and drier with more extreme events and temperatures that can rise on average as much as 3.8 °C. That is a big challenge for forestry. To respond to this challenge it is necessary to make and implement appropriate adaptation measures which would mean adapting forest management practice to changed environmental conditions. Different models are one of the important tools which can be used in this purpose. In this dissertation state-of-the art methods for calculating the impact of climate change on forests have been applied. This is a pioneering work and the first of its kind in the region. Two different methodological approaches, related to the distribution, growth, adaptive and multifunctional management of European beech forests in Serbia has been performed and provided following results and conclusions. Changed climatic conditions will have an impact on the growth and distribution of beech forests in 21st century based on simulations with the 4C model and predictions of Ellenberg's climate quotient (EQ). At the end of the simulated period 2001-2030 higher volumes were recorded for the nine beech stands in comparison to the reference period 1961 to 1990, while the volume at the end of the period 2071-2100 were higher or similar to the reference period. Simulations in the period 2001-2030 have had the greatest average annual increment and the biggest amount of dead wood. The best results for carbon sequestration and biodiversity were provided by management scenario in which there were no management measures. In contrast, the highest yield of timber is recorded in the scenarios with the most intensive management measures. The adaptive multifunctional management of beech forests including three</p>

	<p>scenarios of preferences' (Forest Directorate , Nature Protection Sector and Public Enterprise "Srbijašume") suggested that management measures that involved more frequent interventions (five years between felling) gives better results than scenario which include a ten-year periods. Scenarios in which higher trees are cut provide better results than scenario where the lower trees are cut. EQ showed good predictive capability for determining the lower (xeric) limit of the distribution of beech forests in Serbia. By the end of 21st century, approximately 90 % of today's beech forests will be found outside the bioclimatic niches in which they were in the 20th century, while the 50 % of them will be in the zone in which their mass mortality is observed in Hungary. Calculated EQ beech threshold distribution for Serbia were slightly lower than in similar studies in the region (Hungary) , which implies strict regional and local approach to the problem. Comparison of simulated results with the 4C model and EQ for nine stands showed different trends related to growth (distribution) of beech forests in Serbia by the end of 21st century. 4C model predicted improvement of environmental conditions, while the EQ predicted their worsening. For this reason, continuing long-term studies of beech forests are needed in order to get a more reliable basis for estimating future distribution, growth and planning of forest management in the future.</p>
<p>Accepted on Scientific Board on: AS</p>	<p>28th of March 2013</p>
<p>Defended: DE</p>	
<p>Thesis Defend Board: DB</p>	<p>president: dr Snežana Radulović, associate professor, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, Novi Sad</p> <p>member: dr Saša Orlović, full professor, Faculty of Agriculture, Novi Sad</p> <p>member: dr Dubravka Milić, assistant professor, Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, Novi Sad</p> <p>member: dr Bratislav Matović, research assistant, Institute of Lowland Forestry and Environment, Novi Sad</p> <p>member: dr Borivoje Rajković, full professor, Faculty of physics, Institute of Meteorology, Belgrade</p>