

Климатске промјене и шуме

Виолета Бабић, Милун Крстић, Ана Вуковић, Бранко Кањевац

Сажетак. Адаптивно управљање основни је концепт стратегија управљања шумским екосистемима у условима повећаних ризика као што су климатске промјене. Климатске промјене представљају најзначајнији проблем данашњице, који, у најкраћем, карактеришу повишене температуре, неуравнотежене падавине, као и све чешће присуство екстремних климатских догађаја. Просторне дистрибуције указују на то да ће највећи климатски ризици бити концентрисани у јужним суптропским и тропским влажним областима, гдје је појачана суша и гдје може доћи до пада продуктивности услед природних опасности попут суша и поплава. Интеракција између климатских промјена и ваздушних полутаната посебно стресно дјелује на дрвеће (шуму). Утицаји климатских промјена на поједине врсте могу бити позитивни или негативни, што је условљено станишним приликама и регионалним климатским промјенама. Главни узрок глобалног загријавања „модерног доба”, тј. периода од индустријске револуције, јесте повећавање концентрације гасова стаклене баште у атмосфери, од којих је најодговорнији угљендиоксид. У области Медитерана резултати указују на смањење годишње количине падавина за 10–20%. Овако интензивне промјене, а посебно повећање температуре ваздуха, утичу на повећање евапотранспирације. Брзе промјене климатских услова,

Цитирање: Бабић В, Крстић М, Вуковић А, Кањевац Б (2023) Климатске промјене и шуме. У: Говедар З, Матаруга М, Пржуљ Н (уредници) Одрживи развој и управљање шумским екосистемима. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LI:99–142

Cite as: Babić V, Krstić M, Vuković A, Kanjevac B (2023) Climate change and Forests. In: Govedar Z, Mataruga M, Pržulj N (eds) Sustainable development and management of forest ecosystems. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LI:99–142

уз додатни стрес од стране разноврсних људских директних утицаја, чине екосистем Земље неодрживим и захтијевају хитну имплементацију мјера за ублажавање ових промјена. Кључни циљеви су, поред смањивања емисија, повећање удјела производње енергије из обновљивих извора и повећање енергетске ефикасности.

Промјена средње температуре ваздуха на подручју Западног Балкана за период 1986–2015. у односу на период 1961–1980. износи 1,2 °C, због чега се овај регион сматра једним од угроженијих у свијету у смислу климатских промјена. Наредних деценија и даље ће се највише повећавати температура током љетње сезоне. На читавом подручју Републике Српске, најтоплији мјесец је јул, са просјечном температуром 24,3 °C за Требиње. Повећање средње љетње температуре највеће је у централном дијелу региона, нарочито у већем дијелу Босне и Херцеговине, и превазилази 2 °C, а количина падавина смањена је за 10%–20%.

Лангова биоклиматска класификација за референтни период указује на то да је анализирано подручје Приједора и Бијељине са обиљежјем семихумидне климе, док су подручја Бањалуке, Добоја, Сокоца, Билеће и Требиња са обиљежјем хумидне климе. Према годишњем климатском индексу по Торнтвајту, за референтни период 1981–2010. године, на подручју Бијељине, као најсувљем дијелу Републике Српске, доминира супхумидна – влажна клима типа C2, на подручју Приједора и Добоја благо хумидна клима типа В1, Бањалука и Соколац имају умјерено хумидну климу типа В2, а на подручју Источне Херцеговине је перхумидна клима типа А. Према класификацији климе по Еленбергу, за референтни период 1981–2010. године, читаво подручје Републике Српске припада зони са одликама влажне климе. Анализе показују неопходност примјене одговарајућих узгојних мјера у шумарству, у складу са утицајем климатских промјена на шуму, уз потпомогнуту природну регенерацију, гајење мјешовитих шума и врста прилагођених различитим режимима толеранције на температуру, његу шума проређивањем, примјену санитарних и других врста узгојних мјера, очување генетске разноликости, тј. биодиверзитета, и усвајање праксе одрживог газдовања шумама.

Кључне ријечи: Климатске промјене, шумски екосистеми, Република Српска, одрживи развој шумарства, ризик, адаптација, климатски модели

4.1. Увод

Клима је одувјек обликовала процесе на Земљи, али људске активности у протеклих 200–300 година довеле су до веома значајних промјена у свјетској клими (Sturrock et al. 2011). Климатске промјене представљају најзначајнији проблем данашњице, који, у најкраћем, карактеришу повишене температуре, неуравнотежене падавине, као и све чешће присуство екстремних климатских догађаја (Beniston et al. 2007; Smith et al. 2011; Adams et al. 2012; Cavin et al. 2013; IPCC 2014). Извјештај Међувладиног панела о климатским промјенама (IPCC 2014) (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) указује на то да већ сада постоје умјерени ризици од будућих екстремних климатских појава, као и да би са предвиђеним даљим загријавањем ови ризици постали веома високи. Климатске промјене односе се на промјену стања климе која се може утврдити нпр. коришћењем статистичких тестова на основу промјена просјечних вриједности и/или промјена својстава климе у довољно дугом периоду, обично деценијама или дуже (Pachauri and Reisinger 2007).

Извјештај о климатским промјенама (IPCC 2014) указује на то да је свака од посљедње три деценије била топлија на Земљиној површини од било које претходне деценије од 1850. године. Период 1983–2012. године највјероватније је био најтоплији тридесетогодишњи период у посљедњих 1.400 година на сјеверној хемисфери (IPCC 2014). Континуирана емисија гасова са ефектом стаклене баште узроковаће даље загријавање и дуготрајне промјене у свим компонентама климатског система, што ће се у значајној мјери одразити на људе и екосистеме. Ограничавање климатских промјена захтијевало би значајна и трајна смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште, што, заједно са адаптацијом, може ограничити ризике од климатских промјена. Према свим сценаријима, температура ваздуха порашће током XXI вијека, при чему постоји велика вјероватноћа да ће се топлотни таласи јављати чешће и да ће трајати дуже, а да ће екстремни климатски догађаји, када су у питању падавине, постати интензивнији и учесталији у многим регионима (IPCC 2014). Просторне дистрибуције указују на то да ће највећи климатски ризици бити концентрисани у јужним суптропским и тропским влажним областима гдје је појачана суша и гдје пад продуктивности усљед природних опасности попут суша и поплава може донијети огромне губитке за локалну економију (Yin et al. 2018).

Интеракција између климатских промјена и ваздушних полутаната посебно би стресно дјеловала на дрвеће (шуму) у виду редуковања генетског диверзитета у шумама, повећања опасности и штета од шумских пожара, смањења виталности стабала, сушења (изумирања) неких врста дрвећа и

повећања оштећења од инсеката и гљива. Усљед тога би се мјере газдовања шумама морале прилагођавати измијењеним условима средине. Према томе, неопходна су нова сазнања и стратегије у газдовању шумама, који су повезани са формирањем нових климатских зона, што би утицало на формирање нових шумских екосистема (значајне промјене састава шуме), дефинисање нових ареала и др.

За шуме на подручју са умјереноконтиненталном климом, претпоставка је да ће се, усљед климатских промјена, производња вјероватно смањити на мјестима подложним водном стресу и повећати тамо гдје је повећано испаравање воде усљед повишених температура избалансирано повећаном количином падавина (Lindner et al. 2010). Осим тога, утицаји климатских промјена на поједине врсте могу бити позитивни или негативни, што је условљено станишним приликама и регионалним климатским промјенама, при чему се посебно истиче да ће се буква суочити са озбиљним проблемима усљед повећања температура (Czúcz et al. 2011).

4.2. Актуелне климатске промјене

Актуелне климатске промјене манифестују се у промјени основних климатских елеманата. Повећање средње глобалне температуре у односу на преиндустријско доба достигло је вриједност од 1,0 °C (IPCC 2013). Главни узрок овог глобалног загријавања „модерног доба“, тј. периода од индустријске револуције, јесте повећавање концентрације гасова стаклене баште у атмосфери, од којих велики утицај има угљен-диоксид. Наиме, на врху атмосфере постоји равнотежа између енергије примљене од Сунца и енергије емитоване у космос. Ова равнотежа је нарушена, па систем Земља–атмосфера у космос враћа мање енергије него што прима, због повећане апсорпције Земљиног топлотног зрачења и усљед повећаног садржаја гасова стаклене баште у атмосфери.

Посљедишно, расте средња глобална температура атмосфере. Топлија атмосфера може да садржи и већу количину водене паре, која је такође гас стаклене баште, што представља један од примјера позитивних повратних спрега утицаја повећања средње глобалне температуре која додатно појачава ефекат стаклене баште (Поповић и Вуковић 2019). Концентрација угљен-диоксида у атмосфери сваке године достиже рекордне вриједности. Највиша до сада измјерена вриједност је преко 418 ppm (опсерваторија Мауна Лоа, Хаваји) што је значајно повећање у односу на вриједности у преиндустријском периоду, које су биле око 280 ppm.

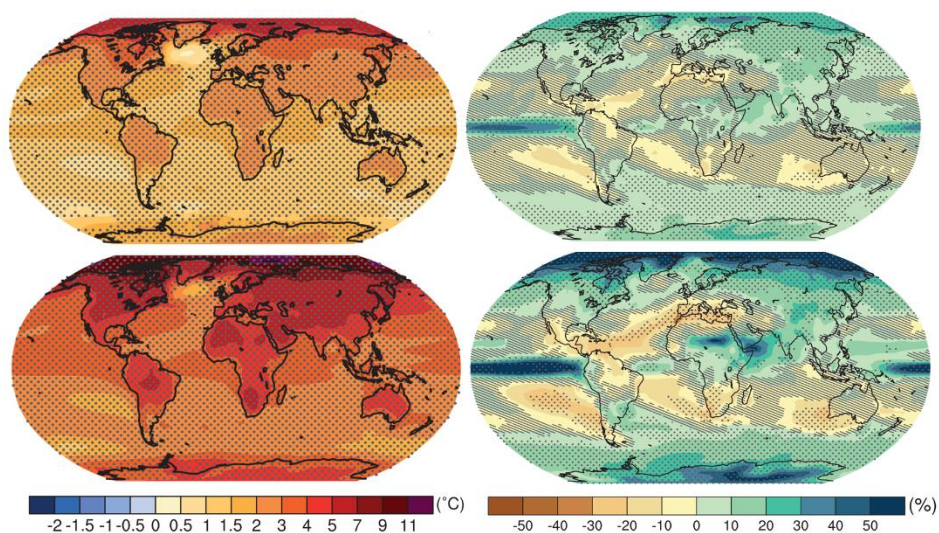
Због изузетне сложености климатског система и комплексних интеракција између његових компоненти, за процјену осјетљивости климатског система на промјене концентрација гасова стаклене баште, поред осматрања, користе се и климатски модели, који са довољном прецизношћу могу да симулирају промјене климатских услова и промјене унутар система Земља–атмосфера (Vuković 2018; Vuković et al. 2018).

Ради анализе поузданости будућих пројекција климе, користе се резултати више климатских модела, односно тзв. ансамбли модела. Опсежне глобалне анализе осматрених података и података добијених симулацијама климатских модела недвосмислено указују на чињеницу да је узрок климатских промјена током посљедњег вијека изазван појачаним емисијама гасова стаклене баште, које су настале због развоја индустрије, саобраћаја и привреде, због чега се ове емисије називају „антропогене емисије”, а као главни узрок климатских промјена идентификован је „антропогени утицај”.

У извјештајима Међувладиног панела о климатским промјенама дају се процјене климатских промјена на глобалном нивоу и анализе њихових утицаја по одређеним сценаријима будућих промјена концентрација гасова стаклене баште. Из Петог извјештаја (IPCC 2013), приказани су резултати глобалне расподеле промјена средњих годишњих температура и сума падавина за период 2081–2100. (Сл. 4.1), у односу на период 1986–2005. године према сценаријима репрезентативних путева концентрације (*Representative Concentration Pathways, RCP*): RCP4.5 (стабилизациони сценарио, који предвиђа стабилизацију емисија гасова стаклене баште до 2040. године) и RCP8.5 (сценарио константног пораста гасова стаклене баште, по коме се тренд повећања емисија наставља стопом као до сада). Највећи пораст температуре очекује се на сјеверној хемисфери изнад континенталних области (преко 2 °C по RCP4.5 и преко 4 °C по RCP8.5), а нарочито у сјеверним предјелима (преко 3 °C по RCP4.5 и преко 5 °C по RCP8.5).

Глобална расподела промјене средње годишње суме падавина је сложенија. У области Медитерана резултати указују на смањење годишње количине падавина за 10%–20% по RCP4.5, па чак и преко 20% по RCP8.5. Према сјеверу промјене падавина мијењају знак и пројекције указују на повећање падавина. Прелазна област, која обухвата и Западни Балкан, показује повећану неодређеност резултата ансамбла модела, због чега је потребна детаљнија анализа коришћењем регионалних модела са већом просторном резолуцијом.

Области осјенчене тачкама указују на то да су промјене веће од природне варијабилности и да се модели ансамбла слажу око знака промјене величине. Области осјенчене цртама указују на области гдје резултати модела ансамбла дају велики распон вриједности, тј. неодређеност резултата. Резултати приказани бојама представљају медијане резултата ансамбла модела.

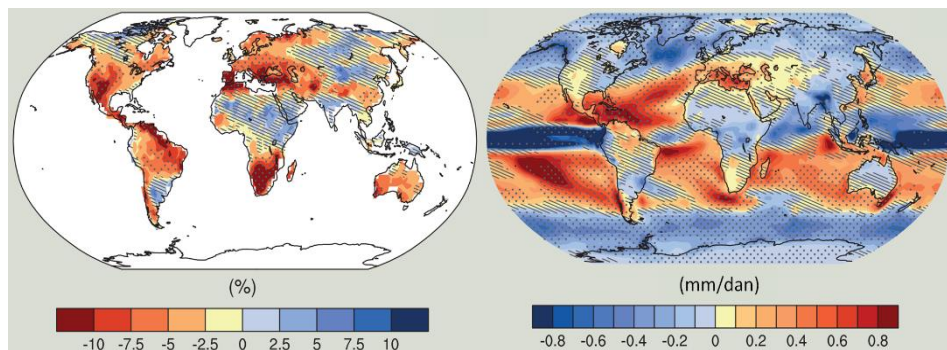


Сл. 4.1. Промјене средњих годишњих температура ваздуха (лијеви панели, °C) и сума падавина (десни панели, %) за период 2081–2100. у односу на период 1986–2005. према сценаријима RCP4.5 (горњи панели) и RCP8.5 (доњи панели) из IPCC Петог извјештаја (IPCC 2013)

Fig. 4.1. Changes in mean annual air temperatures (left panels, °C) and sum of precipitation (right panels, %) for the period 2081–2100 in relation to the period 1986–2005, in the scenarios RCP4.5 (upper panels) and RCP8.5 (bottom panels) from the IPCC Fifth Report (IPCC 2013)

Овако интензивне промјене климатских услова значајно мијењају компоненте хидролошког циклуса. На основу тих промјена приказани су изабрани резултати добијени за вриједности дефицита влажности преко промјене разлике између вриједности евапотранспирације и количине падавина и промјена влажности земљишта за период 2081–2100. године у односу на период 1986–2005. године према сценарију RCP8.5 (Сл. 4.2). Повећање температуре утиче на повећање евапотранспирације. У областима са малом промјеном или смањењем падавина, изражена је позитивна промјена у разлици између евапотранспирације и падавина, што указује на могућу рањивост на смањење обнављања водних ресурса и расположиве влаге у

земљишту. У области Медитерана и Западног Балкана очекује се да ће повећање евапотранспирације у односу на количину падавина и смањење влажности земљишта у појединим областима бити и преко 10%.



Сл. 4.2. Промјене средње годишње влажности земљишта (лијеви панел, %) и разлике између евапотранспирације и падавина (десни панел, мм/дан) за период 2081–2100. у односу на период 1986–2005. по сценарију RCP8.5 (IPCC 2013)

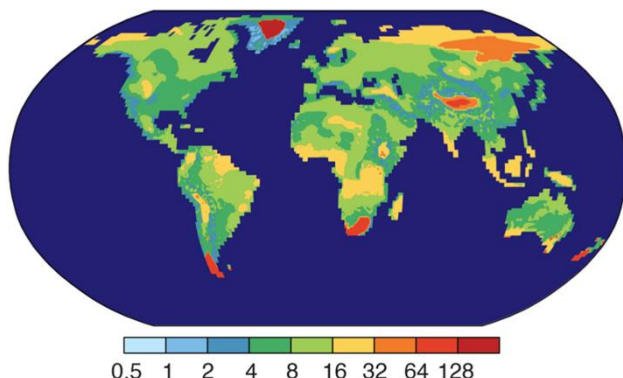
Fig. 4.2. Changes in mean annual soil moisture (left panel, %) and differences between evapotranspiration and precipitation (right panel, mm/day) for the period 2081–2100 in relation to the period 1986–2005 according to scenario RCP8.5 (IPCC 2013)

Области осјенчене тачкама указују на то да су промјене веће од природне варијабилности и да се модели ансамбла слажу око знака промјене величине. Области осјенчене цртама указују на области гдје резултати модела ансамбла дају велики распон вриједности, тј. неодређеност резултата. Резултати приказани бојама представљају медијане резултата ансамбала модела.

Антропогени утицај изазива релативно нагли поремећај климатског система, чије дејство изазива око 10 пута брже климатске промјене од било ког природног чиниоца (Diffenbaugh and Field 2013), тј. промјене су 10 пута брже од било којих климатских промјена у претходних 65 милиона година. За мање од једног вијека, утицај човјека на планету добио је јачину геолошких сила планетарних размјера (Steffen et al. 2015). Брзе промјене климатских услова, уз додатни стрес од стране разноврсних људских директних утицаја, чине екосистеме Земље неодрживим и захтијевају хитну имплементацију мјера за ублажавање ових промјена (Сл. 4.3).

Под руководством Оквирне конвенције Уједињених нација о промјени климе (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*), 2015. године усвојен је међународни споразум познат као Париски споразум.

Овим споразумом глобално су усаглашени циљеви за редукују емисија гасова стаклене баште, који имају за циљ да успоре и зауставе пораст средње глобалне температуре на 2 °С, са назначеном потребом да се уложи посебни глобални напори да се глобално загријавање заустави на 1,5 °С. По овом споразуму, свака земља треба да редукује нето емисије гасова стаклене баште по одређеним циљевима (Horowitz 2016).



Сл. 4.3. Брзина климатских промјена (км/год.): брзина помјерања изотерми за период 2081–2100. по сценарију RCP8.5 у односу на период 1986–2005. (Diffenbaugh and Field 2013)

Fig. 4.3. Climate change rate (km/year): isotherm shift rate for the period 2081–2100 according to the RCP8.5 scenario compared to the period 1986–2005 (Diffenbaugh and Field 2013)

Чланице Европске уније, као и земље које су на путу да постану чланице, у које спадају и земље Западног Балкана, треба да задовоље циљеве задате климатско-енергетским пакетом 2020 (познат као „20-20-20”) и споразумом за 2030. годину из области климе и енергије који су постигли лидери Европске уније 2014. године. Смањивање нето емисија подразумева смањивање емисија гасова стаклене баште, али и повећање капацитета за апсорпцију ових гасова. Кључни циљеви су, поред смањивања емисија, повећање удјела производње енергије из обновљивих извора и повећање енергетске ефикасности. Париски споразум, поред спровођења мјера за митигацију (ублажавање) климатских промјена, наглашава важност адаптације (прилагођавања) на климатске промјене, нарочито за неразвијене земље и земље у развоју, ради обезбјеђивања одрживог развоја и ублажавања негативних посљедица утицаја климатских промјена. Државе су у обавези да извјештавају UNFCCC о инвентару гасова стаклене баште, климатским промјенама, утицајима на главне секторе и планираним и спроведеним мјерама адаптације у такозваним националним комуникацијама, које се

израђују на четири године, као и израдом двогодишњих извјештаја. Такође, земље потписнице Париског споразума израђују документа о предвиђању националних доприноса (*Intended nationally determined contributions*, INDC) о планираним редуцијама емисија, а пожељно је извјештавање о планираним мјерама адаптације. Потребно је да ови документи имају подршку владе, подршку одговорних органа и да буду конзистентни са националним плановима развоја.

4.3. Климатске промјене у региону

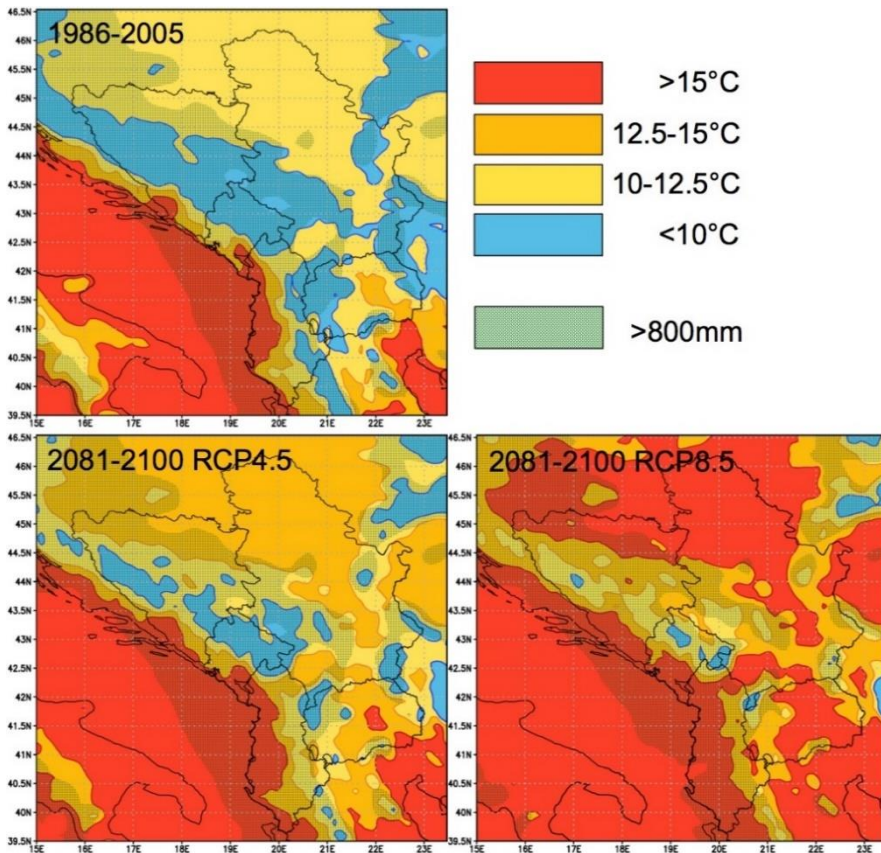
Студија проведена за област Западног Балкана (Vuković and Vujadinović-Mandić 2018), у складу са сценаријима промјене гасова стаклене баште и анализираним климатским периодима Петог извјештаја IPCC (IPCC 2013), коришћењем ансамбла регионалних модела високе резолуције, показује да се пораст температуре у овом региону дешава брже од пораста средње глобалне температуре. Промјена средње температуре, добијена за период 1986–2015. године, у односу на период 1961–1980. године, јесте 1,2 °C, због чега се овај регион сматра једним од угрожених у свијету када су у питању климатске промјене. Средња годишња сума падавина у већем дијелу региона повећала се за 5%–10%. Највеће промјене сезонских климатских вриједности температуре и падавина уочене су током љетње сезоне. Повећање средње љетње температуре највеће је у централном дијелу региона, нарочито у већем дијелу Босне и Херцеговине, и превазилази 2,0 °C, а количина падавина смањена је за 10%–20%.

Сјеверни дијелови Републике Српске нешто мање су угрожени љетњим дефицитом падавина од крајњих јужних предјела. У јужним предјелима, смањење падавина током љета је преко 20%. У региону Западног Балкана осматрана је и повећана фреквенција екстремних временских догађаја, као што су топлотни таласи, суше, екстремне падавине и поплаве. Због промјене у годишњем режиму падавина, помјерања максимума акумулираних падавина ка ранијим периодима, тј. ка сезони топлења снијега, све су повољнији услови за чешћу појаву бујичних поплава. Будуће промјене климе у области Западног Балкана по сценаријима RCP4.5 и RCP8.5 дају процјену опсега највјероватнијих будућих климатских услова до краја XXI вијека (IPCC 2013), и то: резултати добијени по сценарију RCP4.5 указују на доњу границу промјена, а резултати RCP8.5 на горњу.

Међутим, локално су могуће и екстремније промјене по сценарију константног пораста концентрације гасова стаклене баште, због утицаја карактеристика које није могуће имплементирати прецизно у климатске

моделе. По сценарију RCP4.5 очекује се додатно повећање температуре за 1,7 °C до краја вијека, а по сценарију RCP8.5 за 4,0 °C. Ово подразумева да ће укупно повећање температуре региона бити највјероватније у опсегу од 2,9 °C до 5,2 °C у односу на референтни период 1961–1980. године.

На Сл. 4.4. приказан је распоред вриједности средње годишње температуре за референтни период 1986–2005. и период 2081–2100. године по сценаријима RCP4.5 и RCP8.5 у региону.



Сл. 4.4. Средња годишња температура и сума падавина за референтни период 1986–2005. и будући период 2081–2100. по сценаријима RCP4.5 и RCP8.5, добијене као медијана ансамбла девет регионалних модела (Babić et al. 2018; Vuković and Vujadinović-Mandić 2018)

Fig. 4.4. Mean annual temperature and sum of precipitation for the reference period 1986–2005 and the future period 2081–2100 according to RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, obtained as the median of the ensemble of nine regional models (Babić et al. 2018; Vuković and Vujadinović-Mandić 2018)

Смањивање распрострањености области са хладнијим температурама, тј. са средњом годишњом температуром испод 10 °С, карактеристичним за ареале садашњих шумских врста, драстично се смањује по сценарију RCP4.5, док по сценарију RCP8.5 готово потпуно ишчезава (Babić et al. 2018; Vuković and Vujadinović-Mandić 2018). Процјена брзине помјерања изотерми у региону је око 1.000 км ка сјеверу и око 1.000 м ка вишим надморским висинама за 100 година.

Наредних деценија и даље ће се највише повећавати температура током љетње сезоне, а у другој половини вијека загријавање хладније половине године достиже и простиже загријавање током љетње сезоне. Изостанак сњежног покривача и, посљедично, смањење албеда током зиме доприносе већој апсорпцији Сунчевог зрачења. Промјене годишњих количина падавина неће бити значајне све до краја вијека по сценарију RCP4.5, али се по сценарију RCP8.5 очекује смањење годишњих количина падавина у већем дијелу региона, а у области Републике Српске преко 10%. Ово представља велику опасност од смањивања расположиве воде, смањења влажности земљишта и подземних резервоара воде.

Промјена годишњег режима падавина далеко је значајнија и опаснија по шумске екосистеме (Lindner et al. 2010). Наставак смањења падавина током љетње сезоне по оба сценарија сигуран је догађај, са израженијим варијететима по сценарију RCP8.5 до краја XXI вијека. У области Републике Српске очекивано је смањење преко 30% у јужним предјелима, док је у сјеверним нешто блаже, углавном у опсегу 10%–20%. Фреквенција екстремних временских догађаја повећаваће се у будућности по оба сценарија.

Према сценарију RCP4.5, у другој половини вијека долази до стабилизације климатских промјена, али се по сценарију RCP8.5 промјене интензивирају, због чега се очекује појачана дестабилизација климатских услова и посљедични драстични поремећаји цјелокупног климатског система, који обухвата атмосферу, копно, водене површине и живи свијет. По сценарију RCP8.5, до краја вијека, током љетњих мјесеци очекује се екстремно продужење сушних периода у јужнијим дијеловима Републике Српске и нешто блаже, али такође значајно, у средњим дијеловима.

Екстремно продужење трајања и повећање интензитета врућих периода очекује се на цијелој територији, а у низијским предјелима нарочито повећање периода са температурама преко 35 °С, које се сматра ризичним за све компоненте климатског система, привреду и здравље људи. Током зимске сезоне долази до губитка сњежног покривача, а изузетно појачавање екстремних падавинских догађаја очекује се у средњим и сјеверним дијеловима Републике Српске.

Поређење скоријих осмотрених промјена температуре, падавина и учесталости екстремних догађаја у појединим дијеловима Западног Балкана са предвиђеним пројекцијама за блиску будућност указује на то да је тренд промјене климатских услова током посљедње деценије нешто бржи и да су предвиђене промјене по RCP4.5 за наредне деценије већ превазиђене.

Према досадашњим подацима, вјероватнији исход будуће климе је највише у складу са предвиђеним промјенама по RCP8.5 сценарију. Узрок опасности од изумирања одређених шумских врста, поред повећане угрожености од болести, штеточина, пожара, које доносе промјене климатских услова, јесте и већ поменута велика брзина помјерања топлотних услова у односу на брзину природне миграције шума.

Треба имати у виду да повећана фреквенција екстремних временских догађаја и повећана варијабилност климатских услова могу довести до појаве екстремно неповољних услова у појединим годинама и тиме чак убрзати негативан утицај климатских промјена и изазвати убрзано изумирање шумских екосистема.

4.3.1. Карактеристике климатских промјена у Републици Српској

За приказивање климатских прилика Републике Српске коришћени су подаци метеоролошких мјерења на климатолошким станицама: Бањалука, Приједор, Добој, Бијељина, Соколац, Билећа и Требиње за два периода: референтни период 1981–2010. и (петогодишњи) период 2014–2018. године (Таб. 4.1).

Таб. 4.1. Положај климатолошких станица

Table 4.1. Location of climatological stations

Станица	СГШ	ИГД	н.в. (м)
Бањалука	44° 47'	17° 13'	153
Приједор	44° 59'	16° 44'	135
Добој	44° 44'	18° 06'	146
Бијељина	44° 47'	19° 16'	90
Соколац	43° 57'	18° 49'	872
Билећа	42° 53'	18° 27'	491
Требиње	42° 43'	18° 21'	275

СГШ – сјеверна географска ширина; ИГД – источна географска дужина; н.в. – надморска висина

Обрадом основних метеоролошких података приказане су годишње и средње мјесечне вриједности најважнијих климатских елемената (Babić i Uпкаšević 2019): температурни услови, плувиометријски и хидрични режим, климатски индекси, тј. степен континенталности по Кернеру (КК), индекс суше по

Де Мартону (IS), плувиометријска угроженост по Фурнијеу (С) и шумски индекс аридности по Фиреру (FAI). Одређена је припадност климатском типу по методу Торнтвајта (Im), Ланга (KF), Еленберга (EQ) и UNEP-а (AI).

4.3.1.1. Температура ваздуха

Средња годишња температура ваздуха по климатолошким станицама, амплитуда температуре (А), и средња вриједност температуре ваздуха по сезонама и за вегетациони период (ВП) анализирани су као основни показатељи климе (Таб. 4.2). Средња годишња температура ваздуха за период 1981–2010. године креће се од 7,0 °C за Соколац до 14,4 °C за Требиње. Уједначену средњу годишњу температуру ваздуха имају Бањалука, Приједор, Добој и Бијељина, од 11,1 до 11,7 °C, док је нешто топлији дио Републике Српске са вишом просјечном годишњом температуром подручје Билеће и Требиња, што је утицај Медитерана. Средња температура вегетационог периода за подручје Републике Српске креће се од 13,2 °C за Соколац до 20,0 °C за Требиње, и у просјеку је виша од средње годишње температуре за 6,3°C (Граф. 4.1).

Таб. 4.2. Средња годишња температура ваздуха (°C) по сезонама и за вегетациони период (ВП)

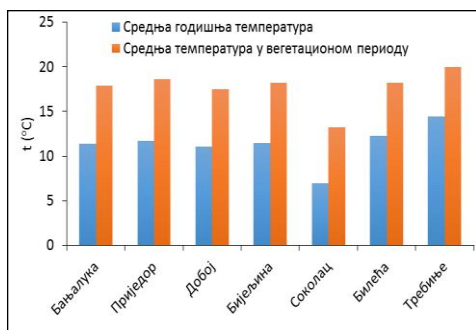
Table 4.2. Average annual air temperature (°C), temperature by seasons and for the vegetation period (ВП)

Станица	Период	Год.	Прољ.	Љето	Јесен	Зима	ВП	А
Бањалука	1981–2010.	11,4	11,6	20,9	11,5	1,7	17,9	21,2
	2014–2018.	12,7	12,8	22,4	12,3	3,3	19,1	20,8
Приједор	1981–2010.	11,7	12,2	21,5	11,7	1,5	18,6	22,3
	2014–2018.	12,4	12,7	22,2	12,0	2,6	18,9	21,4
Добој	1981–2010.	11,1	11,4	20,3	11,2	1,4	17,5	21,0
	2014–2018.	12,5	12,5	22,0	12,2	3,0	18,9	20,9
Бијељина	1981–2010.	11,5	11,9	21,1	11,6	1,5	18,2	21,8
	2014–2018.	13,0	13,2	22,9	12,7	3,2	19,7	21,9
Соколац	1981–2010.	7,0	7,0	16,0	7,4	-2,5	13,2	20,5
	2014–2018.	8,3	8,1	17,3	8,4	-0,7	14,3	20,2
Билећа	1981–2010.	12,3	11,5	21,3	12,7	3,7	18,2	19,1
	2014–2018.	12,9	12,1	22,3	13,0	4,4	18,8	20,1
Требиње	1981–2010.	14,4	13,1	23,2	15,2	6,2	20,0	18,7
	2014–2018.	15,3	14,1	24,6	15,5	6,9	20,9	19,8

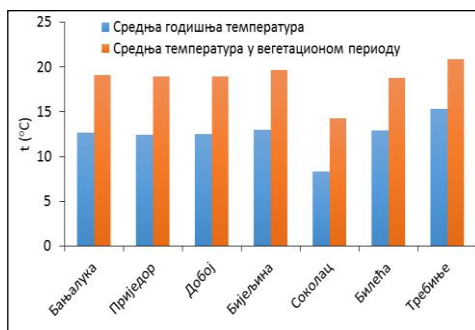
А – амплитуда годишњих колебања температуре ваздуха у анализираном периоду

На подручју Бањалуке, Приједора, Добоја и Бијељине прољеће је топлије од јесени, док је на подручју Сокоца, Билеће и Требиња јесен топлија од

прољећа. Средња температура лjeta креће се од 16,0 °C за Соколац до 23,2 °C за Требиње. Јул је најтоплији мјесец на читавом подручју Републике Српске, са просјечном температуром 24,3 °C за Требиње. Средња зимска температура креће се од -2,5 °C за Соколац до 6,2 °C за Требиње. Највећа температурна амплитуда за референтни период измјерена је за Приједор (22,3 °C). На овом подручју влада типичан континентални тип температурног режима, што је у сагласности са ранијим наводима (Kolić 1988), гдје је најтоплији мјесец у години јул, а најхладнији јануар. Средња годишња температура ваздуха за период 2014–2018. године креће се од 8,3 °C за Соколац до 15,3 °C за Требиње, што је у просјеку за читаво подручје Републике Српске повећање за 1,1 °C у односу на референтни период (Граф. 4.2). Најмање повећање средње годишње температуре ваздуха забиљежено је за Билећу (0,6 °C), а највеће за Бијељину (1,5 °C). Средња температура вегетационог периода креће се од 14,3 °C за Соколац до 20,9 °C за Требиње и у просјеку је виша од средње годишње температуре за 6,2 °C. Разлике између средње годишње температуре и температуре вегетационог периода од 2014. до 2018. године остале су непромијењене за Добој, Бијељину, Билећу и Требиње, а смањиле су се за Бањалуку (0,1 °C), за Соколац (0,2 °C) и за Приједор (0,4 °C) (Граф. 4.2). Прољећне температуре у односу на јесење задржале су исти тренд на читавом подручју Републике Српске као у референтном периоду.



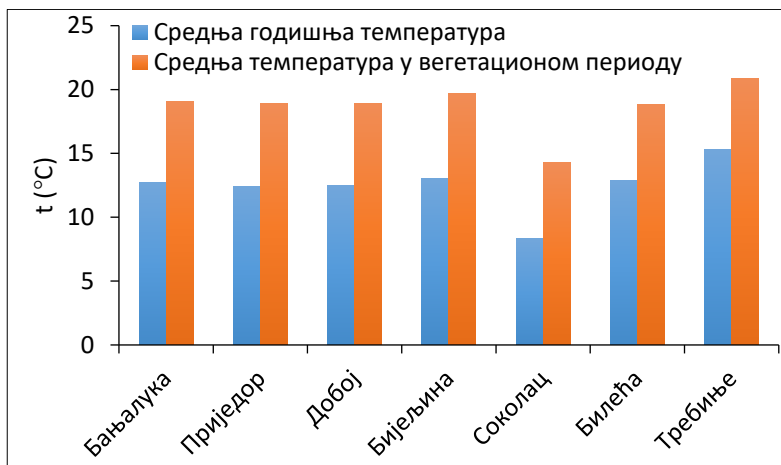
Граф. 4.1. Средње температуре у периоду 1981–2010. године
Graph. 4.1. Average temperature in the period 1981–2010



Граф. 4.2. Средње температуре у периоду 2014–2018. године
Graph. 4.2. Average temperature in the period 2014–2018

Најтоплији мјесец је јул, са просјечном температуром 25,7 °C за Требиње, што је повећање температуре за 1,4 °C. Средња зимска температура креће се од -0,7 °C за Соколац до 6,9 °C за Требиње, што је повећање температуре у сезони зиме на читавом подручју Републике Српске за 1,3 °C. Температурне амплитуде су у односу на референтни период мање. Поређењем просјечних годишњих

температура ваздуха између анализираних периода у свим подручјима евидентна је већа температура ваздуха. Највећа разлика је за подручје Бијељине и износи 1,5 °С, а најмања за подручје Билеће (0,6 °С) (Граф. 4.3).



Граф. 4.3. Упоредне карактеристике годишњег температурног режима
Graph. 4.3. Comparative characteristics annual temperature regime

4.3.1.2. Падавински режим

Најмању годишњу количину падавина за период 1981–2010. године има подручје Бијељине, са 778 мм, а највећу Требиње, са 1.691 мм воденог талоба (Таб. 4.3). Испод 1.000 мм падавина на годишњем нивоу имају Приједор, Добој, Бијељина и Соколац, преко 1.000 мм Бањалука, а преко 1.500 мм подручје Источне Херцеговине (Билећа и Требиње). На подручју Републике Српске не влада типичан континентални тип плувиометријског режима. Средња годишња сума падавина у току године за подручје Бањалуке, Приједора, Добоја, Бијељине и Сокоца је са једним израженим максимумом у јуну мјесецу по станицама од 94 мм за Соколац до 117 мм за Добој и једним минимумом у фебруару по станицама од 44 мм за Бијељину до 59 мм за Бањалуку.

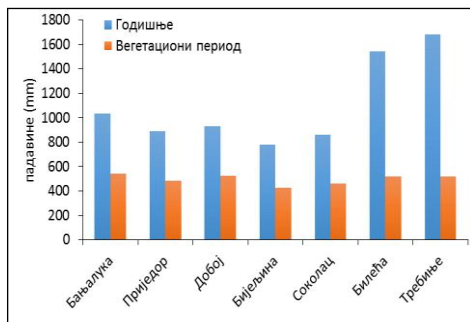
Најкишовитије годишње доба за сјевероисточни и источни дио Републике Српске (Бањалука, Приједор и Соколац) јесте јесен, за сјевероисточни и централни дио (Бијељина и Добој) је лето, а најмање атмосферских падавина има током зиме. У току вегетационог периода падне 53% годишње количине воденог талоба, што погодује развоју шумске вегетације (Граф. 4.4). Средња годишња сума падавина за период 2014–2018. године креће се од 785 мм за Бијељину до 1684 мм за Билећу.

Таб. 4.3. Средња годишња количина падавина (мм), по сезонама и за вегетациони период (ВП)
 Table 4.3. Average annual precipitation (mm), by seasons and for vegetation period (ВП)

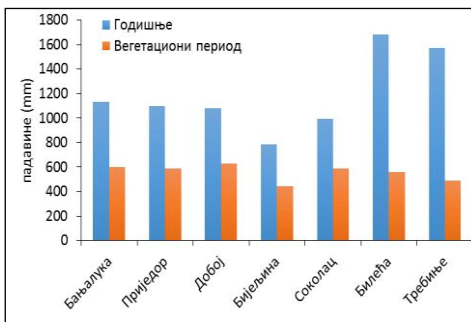
Станица	Период	Год.	Прољ.	Љето	Јесен	Зима	ВП	А
Бањалука	1981–2010.	1.034,6	261,2	270,9	277,3	225,2	542,5	52,4
	2014–2018.	1.129,9	314,0	268,9	290,5	256,6	601,6	53,2
Приједор	1981–2010.	890,8	224,9	221,1	256,3	188,5	482,2	54,1
	2014–2018.	1.079,2	273,5	249,1	330,6	244,8	585,6	53,3
Добој	1981–2010.	931,9	235,2	281,9	226,7	188,1	526,9	56,5
	2014–2018.	1.079,2	346,8	287,2	229,7	215,5	630,0	58,4
Бијељина	1981–2010.	778,2	194,0	235,3	187,4	161,5	425,4	54,7
	2014–2018.	785,1	266,0	189,8	177,4	151,9	444,6	56,6
Соколац	1981–2010.	859,0	196,0	240,7	246,8	175,5	460,1	53,6
	2014–2018.	996,0	286,2	311,9	234,9	163,0	590,4	59,3
Билећа	1981–2010.	1.540,2	354,9	180,8	518,6	485,9	520,7	33,8
	2014–2018.	1.684,4	378,7	241,5	553,5	510,2	559,3	33,2
Требиње	1981–2010.	1.681,1	337,1	187,7	565,7	590,6	517,9	30,8
	2014–2018.	1.570,5	350,2	200,6	512,0	507,8	488,5	31,1

А – амплитуда годишњих колебања количине падавина у анализираном периоду

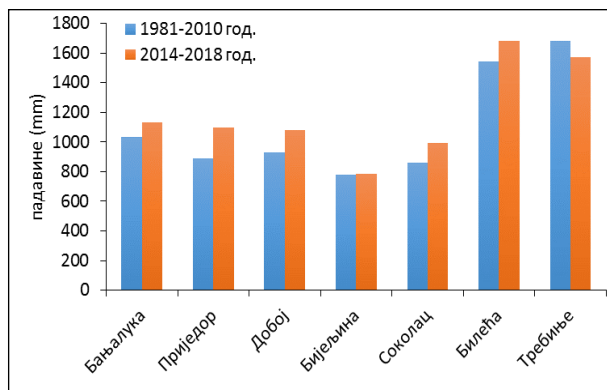
Карактеристичне су разлике у количини падавина за анализирана подручја у току године и у току вегетационог периода. За пољопривреду и шумарство посебно су важни односи у количини падавина током вегетационог периода, јер су тада биљкама потребне највеће количине воде за биолошку продукцију. Осим за станицу Требиње, на читавом подручју Републике Српске дошло је до повећања количине падавина како на годишњем нивоу тако и током вегетационог периода у односу на референтни период (Граф. 4.5). Средња годишња сума падавина у току године на подручју Источне Херцеговине је са једним израженим максимумом у новембру са просјечних 220 мм за Билећу и 252 мм воденог талога за Требиње и минимумом у јулу са просјечних 48 мм за Билећу и 43 мм за Требиње. Најкишовитији период у току године на овом подручју је јесен за Билећу и зима за Требиње, а најмање атмосферских падавина има у току љета. Током вегетационог периода падне свега 31% годишње количине воденог талога, што може да објасни учесталост појаве пожара посљедњих двадесетак година у овом дијелу Херцеговине. Највеће повећање годишње суме падавина забиљежено је за Приједор (188 мм), а најмање за Бијељину (свега 7 мм). Значајно смањење падавина од 110 мм воденог талога забиљежено је за Требиње (Граф. 4.6).



Граф. 4.4. Количина падавина (мм) у периоду 1981–2010.
Graph 4.4. Precipitation (mm) in the period 1981–2010



Граф. 4.5. Количина падавина (мм) у периоду 2014–2018.
Graph 4.5. Precipitation (mm) in the period 2014–2018



Граф. 4.6. Упоредне карактеристике падавинског режима (годишње)
Graph 4.6. Comparative characteristics precipitation regime (annual)

4.3.1.3. Хидрични биланс по Торнтвајту

Потенцијална евапотранспирација (*Potential evapotranspiration*, PET) први је пут 1948. године поменута као веома погодна величина за класификацију климе (Thornthwaite 1948), а касније је потврђено да ова величина има предности за класификацију климе у односу на температуру ваздуха (Thornthwaite and Mather 1957; Unkašević 2005). Израчунати елементи хидричног биланса (односа мањка и вишка воде у земљишту) за Републику Српску за оба проучавана периода (Таб. 4.4. и 4.5) показују да је годишња вриједност потенцијалне евапотранспирације, односно количине воде која би испарила при конкретним енергетско-температурним условима, за оба

проучавана периода, већа од стварне евапотранспирације (*Actual evapotranspiration*, АЕ) на читавом подручју Републике Српске осим за Добој и Соколац у референтном периоду, и Соколац у периоду 2014–2018. године, када су њихове вриједности изједначене (Сл. 4.5. и 4.6). Годишња вриједност потенцијалне евапотранспирације за период 1981–2010. године креће се од 794 мм за Требиње (у вегетационом периоду 650 мм) до 562 мм за Соколац (у вегетационом периоду 502 мм). У периоду 2014–2018. годишња вриједност потенцијалне евапотранспирације креће се од 834 мм за Требиње (у вегетационом периоду 683 мм), до 610 мм за Соколац (у вегетационом периоду 531 мм). У поређењу са референтним периодом, годишње вриједности потенцијалне евапотранспирације у периоду 2014–2018. године веће су за 3,2%–8,4%, а у вегетационом периоду за 2,4%–7,0%.

Таб. 4.4. Хидрични биланс по Торнтвајту за период 1981–2010.

Table 4.4. Water balance according to Thornthwaite for the period 1981–2010

Станица	Период	T	I	PET	P	SET	M	V	V/P %
Бањалука	Год.	11,4	49,26	705,1	1034,6	687,9	17,2	346,7	33,5
	ВП	17,9	42,01	608,3	542,5	591,1	17,2	31,3	5,8
Приједор	Год.	11,7	51,60	721,5	890,8	634,0	87,5	256,8	28,8
	ВП	18,6	44,34	628,8	482,2	541,3	87,5	20,7	4,3
Добој	Год.	11,1	47,30	691,2	931,9	691,2	0,0	240,6	25,8
	ВП	17,5	40,54	597,0	526,9	597,0	0,0	20,3	3,9
Бијељина	Год.	11,5	50,05	710,4	778,2	606,8	103,6	171,4	22,0
	ВП	18,2	42,97	617,2	425,4	513,6	103,6	11,8	2,8
Соколац	Год.	7,0	29,26	562,2	859,0	562,2	0,0	296,8	34,6
	ВП	13,2	26,78	501,6	460,1	501,6	0,0	23,8	5,2
Билећа	Год.	12,3	52,78	720,8	1540,2	619,6	101,2	920,6	59,8
	ВП	18,2	43,27	603,8	520,7	502,6	101,2	79,9	15,3
Требиње	Год.	14,4	64,66	793,9	1681,1	666,1	127,8	1015,0	60,4
	ВП	20,0	49,73	650,2	517,9	522,4	127,8	38,8	7,5

T – температура ваздуха (°C); I – калорични индекс; M – мањак воде (мм); V – вишак воде (мм); PET – потенцијална евапотранспирација (мм); SET – стварна евапотранспирација (мм)

Стварна евапотранспирација (SET), поред енергетско-температурних услова, зависи и од висине падавина. У референтном периоду износи 84%–100%, а у периоду 2014–2018. године износи 80%–100% од потенцијалне. За разлику од потенцијалне евапотранспирације, годишња стварна евапотранспирација је за оба проучавана периода највећа за подручје Добоја. За период 1981–2010. године креће се од 691 мм за Добој (у периоду 2014–2018. год. Од 726 мм), до 562 мм за Соколац (у периоду 2014–2018. год. До 610 мм). У односу на референтни период, годишње вриједности стварне евапотранспирације

у периоду 2014–2018. године на читавом подручју Републике Српске веће су за 3,3%–9,9%, изузев за Требиње, гдје су вриједности мање за 0,3% на нивоу године, а у вегетационом периоду за 1,6%. Мањак, тј. Недостатак воде у земљишту (М) настаје када је потенцијална евапотранспирација већа од стварне и јавља се само у сушном периоду, а најчешће у вегетационом периоду. За период 1981–2010. год. Мањка нема на подручју Добоја и Сокоца, а највећи дефицит има Требиње, са 128 мм. У периоду 2014–2018. године мањка воде у земљишту нема само на подручју Сокоца, а дефицит за подручје Требиња износи 169 мм. У поређењу са референтним периодом, годишње вриједности мањка воде у периоду 2014–2018. године веће су за Бањалуку (136%), Бијељину (34%) и Требиње (32%), док су мање за Приједор (29%) и Билећу (35%). За климатолошку станицу Добој констатован је мањак од 15 мм.

Таб. 4.5. Хидрични биланс по Торнтвајту за период 2014–2018.

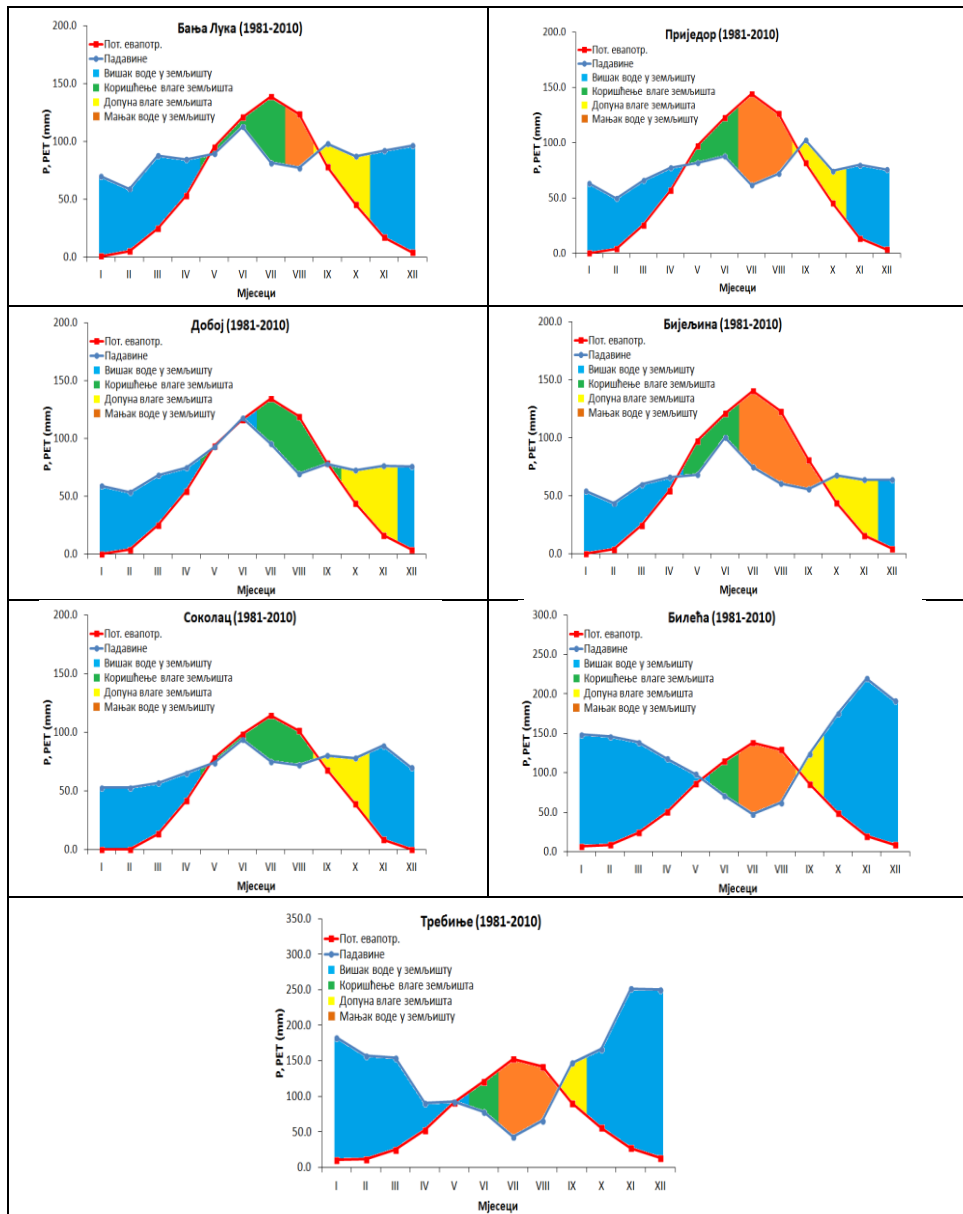
Table 4.5. Water balance according to Thornthwaite for the period 2014–2018

Станица	Период	T	I	PET	P	SET	M	V	V/P %
Бањалука	Год.	12,7	55,87	750,9	1.129,9	710,3	40,6	419,7	37,1
	ВП	19,1	46,39	641,7	601,6	601,1	40,6	52,3	8,7
Приједор	Год.	12,4	54,27	759,0	1097,9	696,8	62,2	401,2	36,5
	ВП	18,9	45,66	646,5	585,6	584,3	62,2	35,6	6,1
Добој	Год.	12,5	54,40	740,4	1.079,2	725,6	14,8	353,6	32,8
	ВП	18,8	45,35	632,9	630,0	618,1	14,8	104,1	16,5
Бијељина	Год.	13,0	58,00	766,5	785,1	627,9	138,6	157,2	20,0
	ВП	19,7	48,39	660,1	444,6	521,5	138,6	23,1	5,2
Соколац	Год.	8,3	33,60	609,5	996,0	609,5	0,0	386,5	38,8
	ВП	14,3	30,00	531,2	590,4	531,2	0,0	104,3	17,7
Билећа	Год.	12,9	56,20	743,6	1.684,0	677,3	66,3	1.006,	59,8
	ВП	18,8	45,20	618,0	559,3	551,7	66,3	61,1	10,9
Требиње	Год.	15,3	70,00	833,6	1.570,5	664,3	169,0	906,1	57,7
	ВП	20,9	53,12	683,3	488,5	514,0	169,0	23,6	4,8

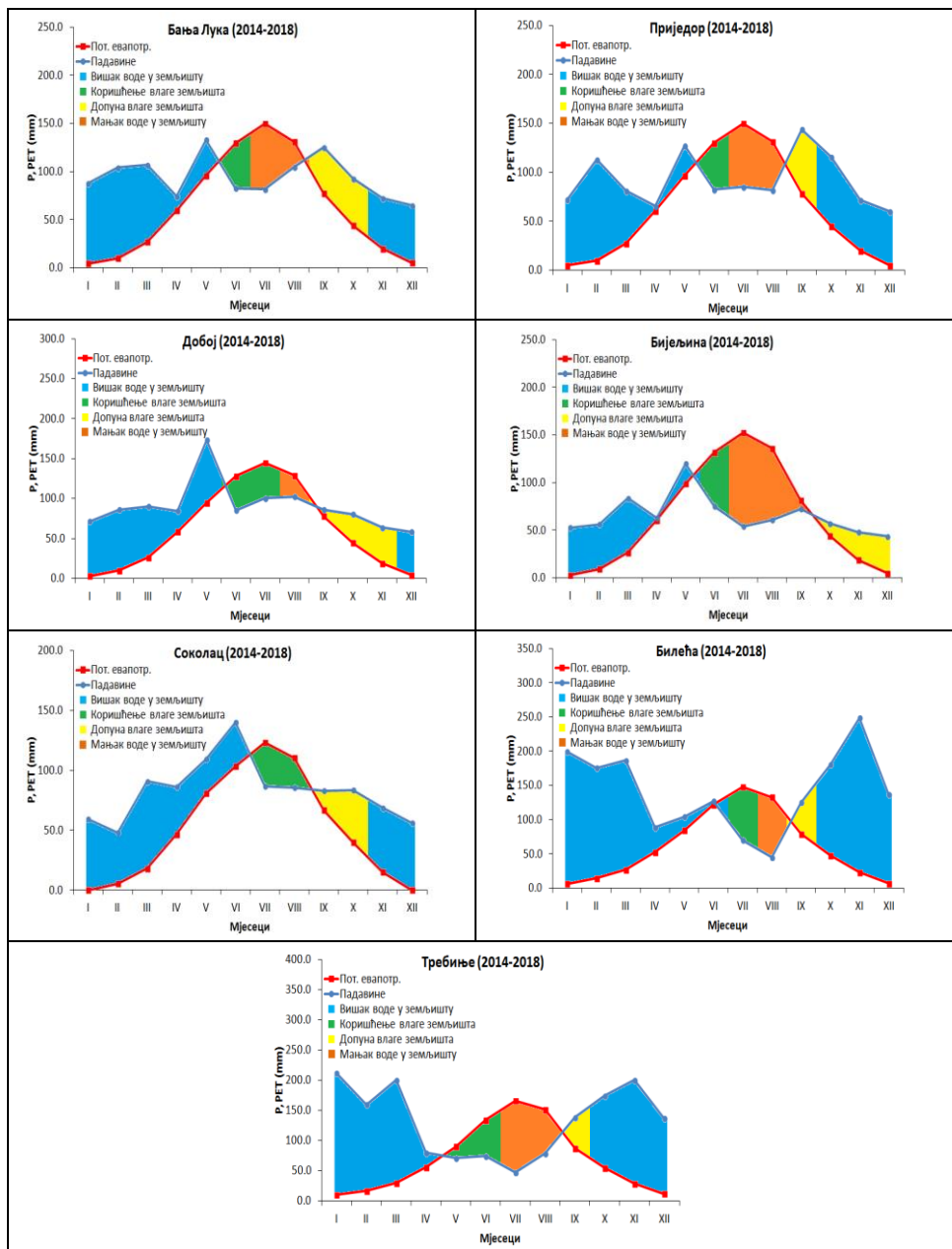
T – температура ваздуха (°C); I – калорични индекс; PET – потенцијална евапотранспирација (мм); P – падавине (мм); SET – стварна евапотранспирација (мм); M – мањак воде (мм); V – вишак воде (мм)

Вишак или суфицит воде у земљишту (V) јавља се у хладнијем дијелу године и у референтном периоду износи од 22% за подручје Бијељине до 60% годишње висине падавина за подручје Источне Херцеговине. У току вегетационог периода, највећи суфицит воде јавља се на климатолошкој станици Билећа (15%), а најмањи је за Бијељину (свега 3%). Годишња

вриједност вишка воде највећа је на подручју Требиња (1.015 мм), а најмања за Бијељину (171 мм).



Сл. 4.5. Хидрични биланс по Торнтвајту за период 1981–2010. године
 Fig. 4.5. Water balance according to Thorntwhite for the period 1981–2010



Сл. 4.6. Хидрични биланс по Торнтвајту за период 2014–2018. године
 Fig. 4.6. Water balance according to Thornthwhite for the period 2014–2018

У периоду 2014–2018. године вишак влаге у земљишту највећи је на подручју Билеће (1.007 мм), а најмањи је за Бијељину (157 мм). У поређењу

са референтним периодом, годишње вриједности вишка воде у периоду 2014–2018. године веће су за Бањалуку (21%), Приједор (56%), Добој (47%), Соколац (30%) и Билећу (9%), док су мање за Бијељину (8%) и Требиње (11%). Највећи суфицит има подручје Источне Херцеговине (58%–60%), а најмањи подручје Бијељине (20%). С обзиром на однос вишка и мањка воде у земљишту, може се констатовати да у Републици Српској, осим крајем љета, има довољно влаге за раст и развој шумске вегетације. Однос вишка и мањка воде у земљишту (водни биланс) мора се узимати у обзир при изради планова пошумљавања, јер је знатна количина вишка воде недоступна, због тога што вода отиче површинским токовима.

4.3.1.4. Комбиновани климатски индекси

За потребе истраживања у биолошким и биотехничким наукама, посебно у области шумарства, у употреби су климатски индекси и класификације које указују на утицај основних климатских елемената на цјелокупну вегетацију и њено вертикално и хоризонтално распрострањење (Babić i Unkašević 2019). Показатељи ових међусобних дејстава, између осталих, јесу термодромски коефицијент по Кернеру (КК), индекс суше по Де Мартону (IS), плувиометријска угроженост по Фурнијеу (С), шумски индекс аридности по Фиреру (FAI) и вриједности ових климатских индекса израчунате су за референтни период 1981–2010. године и период 2014–2018. године (Таб. 4.6).

Степен континенталности (КК) изражава утицај карактеристика копна на климу. У референтном периоду 1981–2010. године, за анализирано подручје Републике Српске, на основу термодромског коефицијента, клима је *појачано континентална* за Приједор, Добој и Бијељину, *умјерено континентална* за Бањалуку и Соколац, *благо континентална* (планинска) за Билећу, а *литорална* за Требиње. У периоду 2014–2018. године, на читавом подручју Републике Српске дошло је до повећања термодромског коефицијента. Клима је *појачано континентална* на читавом простору изузев Источне Херцеговине, гдје је за Билећу *умјерено континентална*, а за Требиње *благо континентална*.

Тип отицања воде и потреба за наводњавањем, на основу индекса суше (IS) по Де Мартону, за референтни период, показује да на цијелом подручју Републике Српске влада *егзореизам*, односно да је то *изразито шумско подручје*. Отицање воде смањено је или прекинуто само током љета, у сушним мјесецима, па наводњавање није потребно. У периоду 2014–2018. године, на читавом подручју Републике Српске тип отицања воде и потреба за наводњавањем остале су непромијењене.

Плувиометријска угроженост, односно угроженост подручја од плувијалне ерозије (изазване ударом кишних капи) за референтни период, указује на то да за Приједор и Соколац постоји *блага плувиометријска угроженост*, за Бањалуку, Добој и Бијељину *осредња плувиометријска угроженост*, а на подручју Источне Херцеговине *веома јака*. У периоду 2014–2018. године, на подручју Републике Српске дошло је до повећања плувиометријске угрожености, изузев за Требиње. *Осредњу плувиометријску угроженост* има само Бањалука, *јаку плувиометријску угроженост* Приједор, Бијељина и Соколац, а *веома јаку* Добој, Билећа и Требиње.

Таб. 4.6. Комбиновани климатски индекси

Table 4.6. Combined climate indices

Станица	Период	Кернер	Де Мартон	Фурније	Фирер	UNEP
		КК	IS	С	FAI	AI
Бањалука	1981–2010.	0,9	48,3	12,2	4,9	1,47
	2014–2018.	-5,3	49,8	13,9	4,8	1,50
Приједор	1981–2010.	-1,8	41,1	11,7	6,1	1,23
	2014–2018.	-5,6	49,0	18,8	4,9	1,45
Добој	1981–2010.	-1,0	44,2	14,8	4,4	1,35
	2014–2018.	-3,8	48,0	27,6	4,0	1,46
Бијељина	1981–2010.	-0,9	32,6	12,9	5,7	1,10
	2014–2018.	-5,5	34,1	18,2	6,5	1,02
Соколац	1981–2010.	3,9	50,5	10,2	4,3	1,53
	2014–2018.	-0,5	54,4	19,6	3,5	5,16
Билећа	1981–2010.	6,3	69,1	23,8	6,8	2,14
	2014–2018.	3,0	73,5	36,6	5,6	2,26
Требиње	1981–2010.	11,2	68,9	37,7	7,5	2,12
	2014–2018.	6,6	32,1	28,5	8,0	1,88

Шумски индекс аридности (*Forest aridity index*, FAI) по Фиреру, као добар показатељ распрострањености главних врста у односу на степен аридности одређеног подручја, показује за Требиње климатску област шумо-степа, за Бањалуку и Бијељину област шуме китњака и граба, за Приједор и Билећу област шуме сладуна и цера, а за Добој и Соколац климатску област шума букве. У периоду 2014–2018. године на подручју Републике Српске дошло је до промјена распрострањености главних врста у односу на степен аридности на подручју Бијељине за климатску област шуме сладуна и цера, и Приједора и Билеће за климатску област шуме китњака и граба. На подручју Бањалуке, Добоја, Сокоца и Требиња није дошло до промјена распрострањености главних врста у односу на степен аридности.

4.3.1.5. Климатске класификације

За потребе шумарства, од великог су значаја и најчешће су у примјени климатске класификације по Лангу (KF) и Торнтвајту (Thornthwaite – Im) (Kolić 1988), затим по Еленбергу (Ellenberg – EQ) и UNEP-у (AI). Климатске класификације подручја Републике Српске за два проучавана периода: референтни период 1981–2010. и период 2014–2018. године вршене су према израчунатим индексима (Таб. 4.7).

Таб. 4.7. Климатске класификације и индекси
Table 4.7. Climate classifications and indices

Станица	Период	Ланг		Еленберг		Торнтвајт	
		KF	Клим. тип	EQ	Клим. тип	Im	Клим. тип
Бања Лука	1981–2010.	90,8	Хумидна	21,1	Влажна	47,7	B ₂
	2014–2018.	89,0	Хумидна	20,7	Влажна	52,6	B ₂
Приједор	1981–2010.	76,1	Семихум.	25,4	Влажна	28,3	B ₁
	2014–2018.	88,5	Хумидна	21,1	Влажна	47,9	B ₂
Добој	1981–2010.	84,0	Хумидна	22,7	Влажна	34,8	B ₁
	2014–2018.	86,3	Хумидна	21,1	Влажна	46,6	B ₂
Бијељина	1981–2010.	67,7	Семихум.	28,4	Влажна	15,4	C ₂
	2014–2018.	60,4	Семихум.	30,3	Сува	9,7	C ₂
Соколац	1981–2010.	122,7	Хумидна	19,8	Влажна	52,8	B ₂
	2014–2018.	120,0	Хумидна	18,3	Влажна	63,4	B ₃
Билећа	1981–2010.	125,2	Хумидна	14,4	Влажна	119,3	A
	2014–2018.	130,5	Хумидна	14,0	Влажна	130,0	A
Требиње	1981–2010.	116,7	Хумидна	14,5	Влажна	118,2	A
	2014–2018.	102,6	Хумидна	16,4	Влажна	96,5	B ₄

A – перхумидна; B₁ – благо хумидна; B₂ – умјерено хумидна; B₃ – појачано хумидна
B₄ – јако хумидна; C₂ – супхумидна влажна; Im – климатски индекс

Основу биоклиматске класификације по Лангу чини кишни фактор као климатски индекс и служи за одређивање температурно-хигричних потреба вегетације (Babić i Unkašević 2019). Лангова биоклиматска класификација приказана је на основу годишњих вриједности кишног фактора (KF) и за референтни период указује на то да се анализирано подручје Приједора и Бијељине налази у области појаве *слабих шума* са обиљежјем *семихумидне климе*. Подручја Бањалуке, Добоја, Сокоца, Билеће и Требиња налазе се у области *изразито шумских подручја* са обиљежјем *хумидне климе*. Шуме се налазе у свом климатско-физиолошком (биолошком) оптимуму.

У периоду 2014–2018. године читаво подручје Републике Српске налази се у области *изразито шумских подручја са обиљежјем хумидне климе*, изузев подручја Бијељине, на којем влада *семихумидна клима*. Класификација климе по Торнтвајту извршена је на основу израчунатог хидричног биланса. Према величини годишњег климатског индекса (Im) за референтни период 1981–2010. године на подручју Бијељине као најсувљем дијелу Републике Српске доминира *супхумидна – влажна клима* типа C₂, на подручју Приједора и Добоја доминира *благо хумидна клима* типа B₁, Бањалука и Соколац имају *умјерено хумидну климу* типа B₂, а на подручју Источне Херцеговине доминира *перхумидна клима* типа A.

У периоду 2014–2018. године, на већем дијелу подручја Републике Српске дошло је до повећања климатског индекса, изузев за Бијељину и Требиње, гдје је дошло до смањења. На подручју Бијељине клима се није мијењала. Сјеверозападни и централни дио Републике Српске (Бањалука, Приједор и Добој) имају *умјерено хумидну климу* типа B₂, подручје Сокоца *појачано хумидну климу* типа B₃, Требиње *јако хумидну* типа B₄, а на подручју Билеће доминира *перхумидна клима* типа A.

Класификација климе по Еленбергу извршена је на основу израчунатог климатског коефицијента (EQ), који се изражава у процентима. Класификација је уско повезана са шумском вегетацијом, гдје се као гранична вриједност коефицијента узима 30. Према овом коефицијенту, за референтни период 1981–2010. године читаво подручје Републике Српске припада зони *букових шума са одликама влажне климе*. У периоду 2014–2018. године само на подручју Бијељине дошло је до промјене у зону *храстових шума са одликом суве климе*, гдје је коефицијент за свега 0,3% прешао граничну вриједност.

Класификација климе подручја Републике Српске извршена је и примјеном индекса аридности (AI) према UNEP-у (Babić i Unkašević 2019), који је нумерички показатељ степена суше одређеног подручја, јер представља однос висине падавина и потенцијалне евапотранспирације. Према овом индексу, за оба анализирана периода, на читавом подручју Републике Српске клима је *хумидна*.

Таква клима погодује развоју шумске вегетације јер она обезбјеђује повољне услове влажности неопходне за физиолошке процесе код шумског дрвећа. У тим условина шуме имају највећу производност, нарочито у појасу Динарида.

4.4. Утицај климатских промјена на шумске екосистеме – садашња сазнања о будућим утицајима

Већи број аутора указује на то да је повећање температуре у посљедњим деценијама проузроковало повећање стреса од суше код многих врста дрвећа (Bernhofer et al. 2009; Adams et al. 2012; Gillner et al. 2013). Као посљедица климатских промјена, шуме се могу суочити са интензивним промјенама када је у питању вријеме, интензитет, фреквенција и обим поремећаја (Dale et al. 2001). Велика је вјероватноћа да ће промјене температура и количине падавина имати снажан директан утицај на шуме. Одређени вегетацијски модели предвиђају да ће се шумска вегетација премјештати на подручја са повољнијим климатским условима, што ће на крају резултирати ширењем шуме и замјеном до 50% постојеће површине тундри (Kirilenko i Sedjo 2007). Климатске промјене, између осталог, допринијеле су промјени висине горње границе дрвећа у високопланинском подручју (Ducić et al. 2011). Утицај климатских промјена на шумске екосистеме огледа се у потенцијалној промјени састава шумске вегетације (Krstić et al. 2012; Trbić et al. 2012) у правцу проширења ареала ксеротермних врста.

Шумарство има дугу традицију прилагођавања праксе промјенљивим еколошким, економским и социјалним условима, при чему ни глобалне промјене (климатске промјене, присуство инвазивних врста и др.) не представљају изузетак (Puettmann 2011). Шуме различито реагују на климатске промјене у зависности од карактеристика станишта (микроклиматски услови, услови земљишта и др.), које могу да смање или појачају утицај топлоте, суше, олујних догађаја итд. Интензивна и учестала појава суше убрзава процес сушења шума, нарочито оних које су одраније угрожене и слабе виталности, као што су шуме храста китњака у Републици Српској (Govedar and Medarević 2020). Осим тога, одговори и прилагођавање шума на климатске промјене зависе од биоеколошких карактеристика врста и њихових провенијенција, старости шума, компетицијског режима, као и структурних карактеристика шума (Reyer et al. 2009). Досадашња истраживања углавном су била усмјерена на биотичке одговоре на постепене промјене климатских услова, али у посљедње вријеме посебно је препознат одговор (реакција) различитих врста и заједница на утицај екстремних климатских догађаја као кључ односа различитих организама према климатским промјенама (Cavin et al. 2013).

Заступљеност и распоред одређених типова шумске вегетације углавном су прилагођени постојећим климатским условима (Krstić 1999). Претпостављене промјене климе сигурно ће се одразити и на шуму, а то се нарочито односи на предвиђене промјене температуре (високе температуре у току љета,

топлије зиме, учесталији прољећни и јесењи мразеви), промјену количине падавина (учесталост и дужина трајања суше), јаче вјетрове и др. Пошто шуме за процес фотосинтезе троше велике количине атмосферског CO₂, смањење површине под шумом, као снажног апсорбента, може имати веома негативне посљедице за појачавање тзв. „ефекта стаклене баште“.

За разумијевање и праћење ефеката утицаја климатских промјена на шумске екосистеме неопходно је познавање актуелних климатских карактеристика у одређеном шумском подручју, односно везаност одређених типова вегетације за станишта која карактеришу актуелне климатске карактеристике подручја на коме се тренутно налазе. Према Babić et al. (2020), од 2003. године у Републици Србији континуирано се одвија Међународни кооперациони програм за праћење стања шума Европе (*International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*, IPF). У оквиру нивоа I овог програма, на подручју Европе је установљена мрежа од приближно 6.000 површина (биоиндикацијских тачака) на којима се прати здравствено стање шума и њихове просторне и временске промјене на широкој основи и у току неопходног временског периода. У оквиру националног центра (*National Focal Centre*, NFC) и нивоа II врши се интензивни мониторинг утицаја прекограничног ваздушног загађења на шумске екосистеме на преко 800 биоиндикацијских тачака (NFC 2017, 2018).

Међусобна зависност појаве и опстанка шумске вегетације, њено распрострањење и висинска диференцираност у зависности од климатских карактеристика неког подручја веома су значајни, јер сваку висинску шумску зону карактеришу специфични микроклиматски услови. Климатско-вегетацијске карактеристике на основу низа вишедеценијских осматрања истраживане су за планинска подручја (Krstić et al. 2014, 2018, 2019), као и за појас шума букве на Брезовици (Бабић и Миловановић 2003), појас шума букве у Србији (Krstić 2005), појас шума букве, јеле и смрче на Виторогу (Бабић и сар. 2019, 2020), појас шума хроста китњака у Србији (Krstić 2007), и на Фрушкој гори (Babić 2012; Babić et al. 2015; Бабић и Крстић 2014, 2016), појас шума сладуна и цера у Шумадији (Крстић и сар. 2013), као и сремског шумског подручја (Бабић 2008).

На Копаонику, у подалпском појасу вегетације (1.700–1.950 м н.в., у зависности од експозиције терена), која представља горњу границу шумске вегетације (*Vaccineto-Junipereto-Piceeto subalpinum*), средња годишња температура ваздуха је 1,8–3,2 °C (у вегетационом периоду 6,7–8,4 °C), а годишња количина падавина 955–1.036 мм. Клима је, према Ланговој и Торнтвајтовој класификацији, перхумидна. У алпском појасу (изнад 1.950 м н.в.), гдје је заступљена високопланинска травна вегетација, средња

годишња температура је испод 1,8 °C (у вегетационом периоду испод 6,7 °C), а годишња количина падавина већа је од 955 мм (Krstić et al. 2014). На Виторогу, у појасу шума букве, јеле и смрче (900 м н.в., у зависности од експозиције и нагиба терена), који представља доњу границу распрострањења, средња годишња вриједност температуре ваздуха је 8,5 °C (у вегетационом периоду 14,4 °C), годишња количина падавина 1.230 мм, а клима је према Ланговој класификацији хумидна, док је према Торнтвајтовој јако хумидна. На горњој граници појаса (1.800 м н.в.), средња годишња температура је 4,9 °C (у вегетационом периоду 10,4 °C), годишња количина падавина је 1.659 мм, а клима је, према Ланговој и Торнтвајтовој класификацији, перхумидна (Бабић и сар. 2020).

На основу Извјештаја Друге радне групе о климатским промјенама (WG2 IPCC, 1990), наведене глобалне и регионалне климатске промјене би се, између осталог, манифестовале на сљедећи начин (Krstić et al. 2010):

- повећање имисије би се дуплирало, а еколошки услови би се промијенили, што би резултирало физиолошким и биолошким промјенама живог свијета;
- шуме би се теже адаптирале и повећало би се њихово пропадање;
- био би угрожен опстанак бројних врста флоре и фауне, посебно у најосјетљивијим подручјима (семиаридним), гдје су многе врсте „затворене“ у свој биолошки лимит; и
- релативно мале климатске промјене направиле би велики проблем са водним ресурсима на многим подручјима.

То би, сумарно изражено, изазвало сљедеће посљедице по биљне екосистеме:

- под утицајем новог температурног режима и смањивања количина падавина, шумски екосистеми били би осјетљивији, посебно у аридним и семиаридним подручјима;
- шумско земљиште било би топлије и сувље и шумски екосистеми и многе врсте тиме би биле лимитиране за развој и опстанак;
- била би угрожена стабилност шума, пореметио би се састав шума, а смањење влаге критично би било за развој подмлатка и коријеновог система, па би он у тој фази био изложен физиолошком стресу; и
- било би потребно вршити нова истраживања односа између биљака и станишта, биоэколошких особина врста, генетске варијабилности и утицаја промјене климе на шуму.

Интеракција између климатских промјена и ваздушних полутаната посебно би стресно дјеловала на дрвеће (шуму) у виду: повећања оштећења од инсеката и гљива, редуковања генетског диверзитета у шумама, повећања опасности и штета од шумских пожара, смањења виталности стабала и

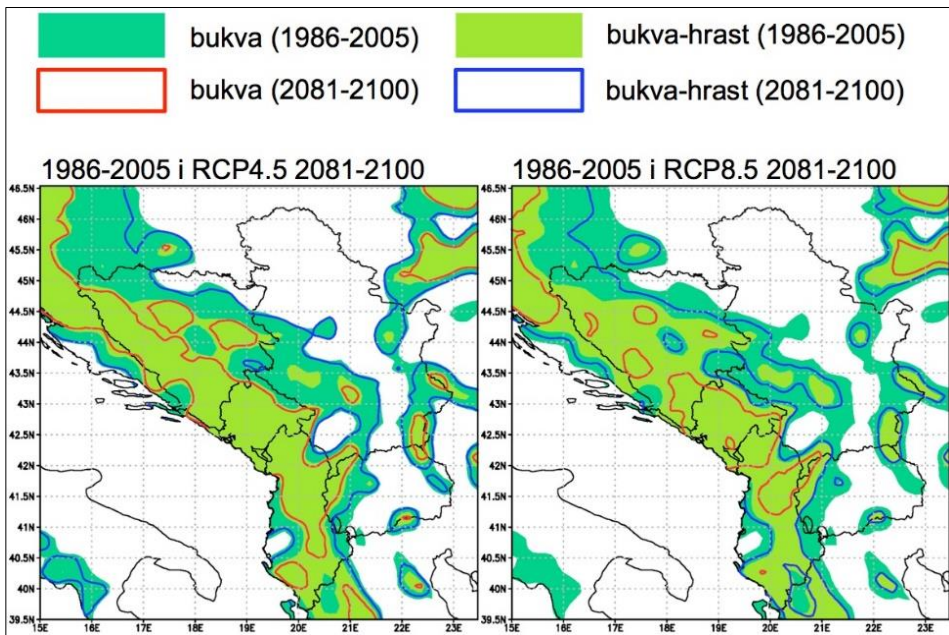
сушења (изумирања) неких врста дрвећа. Услјед тога би се мјере газдовања шумама морале прилагођавати измијењеним условима средине. Због тога ће бити потребна нова сазнања и стратегија у газдовању шумама.

Формирање нових климатских зона утицало би на формирање нових шумских екосистема (значајне промјене састава шуме), што указује на потребу дефинисања нових ареала врста дрвећа.

У Извјештају Друге радне групе о климатским промјенама (WG2 IPCC, 2007) изнесене су следеће констатације:

- Многи природни системи погођени су регионалним климатским промјенама, нарочито порастом температуре ваздуха услјед глобалног загријавања, а утврђено је и помјерање зона са одређеним врстама биљака и животиња према сјеверу и према већим надморским висинама. Од раних 80-их година до сада, установљен је тренд ранијег листања вегетације и повећање дужине трајања вегетационе сезоне, и значајне промјене у многим физичким и биолошким системима – више од 89% је конзистентно са правцем очекиваних промјена реаговања на глобално отопљавање.
- Капацитет многих екосистема да се природно адаптирају на климатске промјене биће у току овог вијека превазиђен незабиљеженом комбинацијом климатских промјена праћеном поремећајима (као што су поплаве, суше, пожари, инсекти, ацидификација океана) и осталим факторима глобалних промјена (промјене у коришћењу земљишта, загађеност).
- У просјеку 20%–30% биљних и животињских врста нестаће уколико је пораст температуре већи од опсега 1,5–2,5 °C, а уз кореспондирајући пораст концентрације CO₂, пројектоване су велике промјене у структури и функцијама екосистема, еколошким интеракцијама и географској распрострањености врста, са преовлађујућим негативним утицајима на биодиверзитет и продукте екосистема.
- У Европи је први пут документован широк спектар утицаја садашњих климатских промјена који се односи на: повлачење глечера, продужавање вегетационе сезоне, помјерање распрострањености врста. Очекује се да ће климатске промјене увећати регионалне разлике у европским природним ресурсима.
- Велики дио организама и екосистема имаће тешкоће при адаптацији на климатске промјене (при сценарију највећих емисија, у појединим областима очекује се нестанак и до 60% постојећих врста до 2080. године). Већ сада се јављају неки облици адаптације на осмотрене и пројектоване будуће климатске промјене, али је то још увијек фрагментарно и минорно у односу на потребе.

Анализа климатски повољних области за опстанак шума букве и мјешовитих шума букве и храста, добијених по Еленберговом климатском коефицијенту, за период 1986–2005. године и за период 2081–2100. године по сценаријима RCP4.5 и RCP8.5, указују на то да се повољни ареали за шуме букве смањују по сценарију RCP4.5, док ће мјешовите шуме бити мање угрожене, а по сценарију RCP8.5, на то да се повољни ареали драстично смањују (Сл. 4.7).

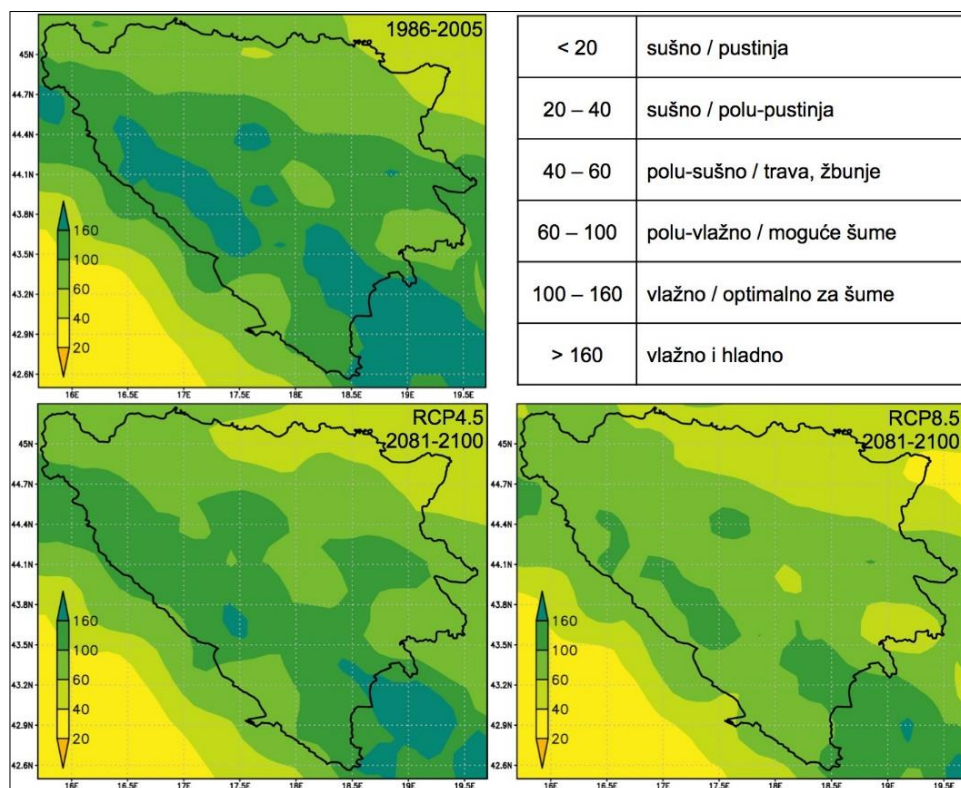


Сл. 4.7. Распрострањеност климатски повољних ареала за шуме букве и мјешовите шуме букве и храста за период 1986–2005. и период 2081–2100. по сценаријима RCP4.5 и RCP8.5 по Еленберговом климатском коефицијенту, добијени као медијана ансамбла девет регионалних модела (Babić et al. 2018, Vuković and Vujadinović-Mandić 2018)

Fig. 4.7. Distribution of climatically favorable areas for beech forests and mixed beech and oak forests for the period 1986–2005 and period 2081–2100 according to RCP4.5 and RCP8.5 scenarios according to the Elenberg climate coefficient, obtained as the median of the ensemble of nine regional models (Babić et al. 2018, Vuković and Vujadinović-Mandić 2018)

То смањење нарочито се односи на шуме букве, којима пријети изумирање у појединим областима региона. Укупна површина са повољним климатским условима у области Западног Балкана за шуме букве смањује се са 35% на 12% од периода 1986–2005. године до периода 2081–2100. године

по сценарију RCP8.5, а за мјешовите шуме букве и храста са 65% на 44% (Vuković i Vujadinović-Mandić 2018). Повећана фреквенција екстремних временских догађаја представља моменталну опасност по шумске екосистеме. Вриједност Ланговог кишног фактора за референтни период 1986–2005. године и период 2081–2100. године по RCP4.5 и RCP8.5 за област Босне и Херцеговине, приказана је на Сл. 4.8.



Сл. 4.8. Лангов кишни фактор за период 1986–2005. и период 2081–2100. по сценаријима RCP4.5 и RCP8.5 добијен као медијана ансамбла девет регионалних модела са значењем категорија вриједности Ланговог кишног фактора (Babić i Unkašević 2019)

Fig. 4.8. Lang's rain factor for the period 1986–2005 and the period 2081–2100 according to RCP4.5 and RCP8.5 scenarios obtained as the median of the ensemble of nine regional models with the meaning of the categories of Lang's rain factor values (Babić and Unkašević 2019)

Међутим, наизглед мање ризичне промјене средњих температура и количине падавина условљавају промјену природног пејзажа. Лангов кишни фактор, који се добија из климатских вриједности средње годишње

температуре и суме падавина, дефинише на једноставан начин климатске карактеристике области и тип природног биљног покривача. По Ланговом кишном фактору, области са вриједностима од 100 до 160 одговарају влажној хумидној клими, гдје се шуме налазе у климатско-физиолошком оптимуму. Велика распрострањеност климатски повољних области за шумске екостистеме по овом климатском индексу додатно објашњава богатство ових подручја разноликим шумским врстама. До краја вијека, оба сценарија указују на повлачење климатски оптималних области за опстанак шумских екосистема ка већим надморским висинама, у случају да састав земљишта и брзина миграције то дозволе. На нижим надморским висинама шуме остају у неповољним новонасталим климатским условима. По сценарију RCP8.5, област оптималних климатских услова за шумске екосистеме драстично се смањује. У областима са влажном хумидном климом током референтног периода, које су најпогодније за шуме, клима се потпуно мијења у семихумидну, а области са семихумидном климом у семиаридну. При процјени угрожености шумских екосистема Босне и Херцеговине, треба имати у виду да је чак 53% површине под шумама, а само 1% је под заштитом државе.

4.5. Улога шумарства у контексту климатских промјена

Шумарство има двојаку улогу у рјешавању проблема везаних за климатске промјене. Шумске површине представљају апсорбере угљен-диоксида, због чега доприносе умањеној вриједности нето емисија гасова стаклене баште, што значи да доприносе митигацији, тј. ублажавању климатских промјена. Значајно мјесто сектора шумарства је и у адаптацији на климатске промјене, највише због утицаја на смањење температуре и одржавања влажности, због чега доприносе ублажавању негативних посљедица климатских промјена у региону са аспекта гајења шума. Важност очувања постојећих шумских система и проширивања њиховог глобалног ареала препозната је у опширној студији IPCC-а „Climate change and Land” (IPCC, 2019), а индиректан утицај на очување микроклиматских услова и ублажавања појачаних ефеката суше у „Land-Drought nexus” (Reichuber et al. 2019).

Шумски екосистеми изузетно су осјетљиви на климатске промјене. Негативни утицаји могу бити интензивни и краткорочни, са дуготрајним посљедицама, од којих се истичу пожари изазвани неповољним екстремним временским приликама, првенствено топлотним таласима и сушом. Такође, угроженост шума може бити велика и под утицајем поплава. Са друге стране, промјене климатских услова, идентификоване кроз промјену климатских вриједности температуре и режима падавина, изазивају спорије

промјене у шумским екосистемима, али са потенцијално фаталним исходима. Промјена климе проузрокује повећано појављивање болести и штеточина, губљење лисне и дрвне масе и сушење стабала. Природне миграције шума знатно су спорије од помјерања оптималних климатских услова ка већим надморским висинама или географским ширинама, па је опасност од њиховог изумирања изузетно велика. Из овог разлога, актуелно је планирање мјера адаптације и њихова имплементација у шумарству ради очувања површина под шумом и одрживости привредних грана које се ослањају на шумарство.

Да би се одредиле и спровеле мјере ублажавања негативних утицаја климатских промјена на шумарство и адаптације на измијењене климатске услове, потребно је: пратити изабране климатске параметре који указују на ризике по шумске екосистеме, пратити промјене у шумским екосистемима које су доведене у везу са климатским промјенама, процијенити рањивост шумских екосистема на одређене промјене и процијенити оптималне мјере прилагођавања, тј. изабрати мјере које је могуће спровести (практично и финансијски), а које повећавају резистентност екосистема.

У контексту климатских промјена, посебно се предлажу приступи газдовања шумама са циљем ублажавања климатских промјена повећањем складиштења угљеника, као и подстицања адаптације одржавањем композицијски и структурно сложених шума (Birdsey et al. 2005; Ruddell et al. 2007; Malmshemer et al. 2008; D'Amato et al. 2011). Стратегије газдовања шумама које занемарују несигурности повезане са климатским промјенама вјероватно неће испунити очекивања, док мјере које у обзир узимају могућност адаптације шумских екосистема могу дугорочно бити знатно успјешније (Skinner 2007).

Могућа су три приступа адаптацији шума на климатске промјене (Bernier and Schoene 2009): без интервенције, реактивна адаптација и планирана адаптација. Коришћење врста различитих провенијенција и егзота или потпомогнута миграција добро прилагођених врста дрвећа из других климатских услова могу побољшати адаптивни капацитет шума (Spathelf et al. 2015). Осим тога, обнављање пионирских врста, отпорних на стрес, може се подржати примјеном различитих узгојних система.

У том смислу важни су задаци гајења шума и неопходност примјене одговарајућих узгојних мјера у складу са утицајем климатских промјена на шуму (Krstić et al. 2010). Значајнији климатски параметри који најчешће утичу на угроженост шума и који условљавају ризике газдовања шумама везани су за мјере прилагођавања током управљања шумама (Таб. 4.8).

Ради успјешности спровођења мјера адаптације, потребно је анализе утицаја и планирање мјера имплементације скалирати све до локалног нивоа, због велике хетерогености шумских подручја. Актуелности борбе против климатских промјена у шумарству доприноси и чињеница да су шумски екосистеми знатно инертни, гдје је покренуте промјене теже зауставити, а посљедице негативних утицаја обухватају временски период чак и дужи од једног вијека.

Таб. 4.8. Климатски параметри, осматрана угроженост (рањивост) шумских екосистема и мјере прилагођавања (адаптације) на климатске промјене
Table 4.8. Climatic parameters, observed endangerment (vulnerability) of forest ecosystems and adaptation measures to climate change

Климатски параметри	<ul style="list-style-type: none"> – пораст температуре – промјена режима падавина – суше – интензивирање падавина – топлотни таласи
Угроженост	<ul style="list-style-type: none"> – брза промјена распрострањености климатски повољних ареала – повећана угроженост од болести и штеточина – поремећај раста и развоја – повећана опасност од пожара – недовољна расположивост воде – оштећења поплавама
Мјере прилагођавања	<ul style="list-style-type: none"> – избор врста и популација толерантнијих на измијењене климатске услове – промоција мјешовитих шума – прилагођавање управљања и газдовања шумама – провођење мјера заштите од пожара и поплава – повећање нивоа подземних вода у сушним периодима – пошумљавање као мјера борбе против ерозије – подизање свијести о значају шумарства у борби против климатских промјена – обука о праћењу угрожености шумских екосистема и спровођењу мјера адаптације

Значајни практични примјери мјера прилагођавања климатским промјенама и ублажавања њиховог утицаја у односу на шумарство јесу (Murthy et al. 2010):

- уношење одређених врста само на стаништима у оквиру одговарајуће географске ширине и надморске висине;
- потпомогнута природна регенерација и гајење мјешовитих шума од врста прилагођених различитим режимима толеранције на температуру;
- противпожарна заштита и примјена санитарних и других врста узгојних мјера и њега шума проређивањем;
- очување генетске разноликости (биодиверзитета) *in situ* и *ex situ*, и јачање отпорности комерцијалних врста дрвећа на штеточине;
- усвајање праксе одрживог газдовања шумама;
- повећање површине заштићених подручја и њихово повезивање гдје је то могуће ради редуковања миграције врста;
- очување и смањена фрагментација шума које омогућују миграције врста;
- коришћење енергетски ефикаснијих уређаја који користе дрво као гориво у циљу смањења притиска на шуме.

4.6. Закључак

Сви процеси на Земљи налазе се у корелацији са климом, а људске активности у претходних 200–300 година довеле су до веома значајних промјена у свјетској клими. Актуелне климатске промјене представљају најзначајнији проблем у данашње вријеме, чије су посљедице повећање екстремних услова (суше, поплаве, пожари и др.). Повећање средње глобалне температуре у односу на преиндустријско доба достигло је вриједност од 1,0 °C. Регионални климатски модели у области Западног Балкана показују да је пораст температуре у овом региону бржи од пораста средње глобалне температуре уопште.

Промјена средње температуре за период 1986–2015. године у односу на период 1961–1980. године је 1,2 °C, због чега се овај регион сматра једном од угроженијих области у свијету када су у питању климатске промјене. Повећање средње љетње температуре највеће је у централном дијелу региона, нарочито у већем дијелу Босне и Херцеговине, и превазилази 2,0 °C, а количина падавина смањена је за 10%–20%.

Климатске класификације подручја Републике Српске за два проучавана периода, и то референтни период 1981–2010. године и период 2014–2018. године, показују сљедеће:

- Лангова биоклиматска класификација за референтни период указује на то да је анализирано подручје Приједора и Бијељине са обиљежјем семихумидне климе, док су подручја Бањалуке, Добоја, Сокоца, Билеће и Требиња са обиљежјем хумидне климе. У периоду 2014–2018. године, читаво подручје Републике Српске налази се у области хумидне климе, изузев подручја Бијељине, на коме влада семихумидна клима;
- Према класификацији климе по Еленбергу, за референтни период 1981–2010. године читаво подручје Републике Српске припада зони са одликама влажне климе, а у периоду 2014–2018. године само на подручју Бијељине дошло је до промјене са одликом суве климе;
- Према годишњем климатском индексу (Im) по Торнтвајту, за референтни период 1981–2010. године на подручју Бијељине као најсувљем дијелу Републике Српске доминира супхумидна – влажна клима типа С2, на подручју Приједора и Добоја благо хумидна клима типа В1, Бањалука и Соколац имају умјерено хумидну климу типа В2, а на подручју Источне Херцеговине је перхумидна клима типа А. У периоду 2014–2018. године, на подручју Бијељине клима се није мијењала. Сјеверозападни и централни дио Републике Српске (Бањалука, Приједор и Добој) имају умјерено хумидну климу типа В2, подручје Сокоца појачано хумидну климу типа В3, Требиње јако хумидну типа В4, а на подручју Билеће доминира перхумидна клима типа А.

Као посљедица климатских промјена, шуме се такође могу суочити са интензивним промјенама. На основу вегетацијских модела, велика је вјероватноћа да ће промјене температура и количине падавина утицати на премјештање шумске вегетације на подручја са повољнијим климатским условима. Предвиђа се да ће доћи до помјерања зона са одређеним врстама биљака и животиња према сјеверу и према већим надморским висинама. Шумарство има дугу традицију прилагођавања праксе промјенљивим еколошким условима те се предлажу приступи газдовању шумама са циљем ублажавања климатских промјена. Као могућа три приступа адаптације шума на климатске промјене наводе се приступи без интервенције, реактивна адаптација и планирана адаптација.

Посебно је значајна неопходност примјене одговарајућих узгојних мјера у шумарству у складу са утицајем климатских промјена на шуму: потпомогнута природна регенерација, гајење мјешовитих шума – врста

прилагођених различитим режимима толеранције на температуру, њега шума проредама, примјена санитарних и других врста узгојних мјера, очување генетске разноликости односно биодиверзитета и усвајање праксе одрживог газдовања шумама.

Литература

- Adams HD, Luce CH, Breshears DD, Allen CD, Weiler M, Hale VC, Smith AMS, Huxman TE (2012) Ecohydrological consequences of drought- and infestation-triggered tree die-off: insights and hypotheses. *Ecohydrology* 5(2):145–159
- Бабић В (2008) Климатске карактеристике Сремског шумског подручја. *Шумарство* 4:99–107
- Babić V (2012) Contribution to the study of microclimate conditions in the stands of sessile oak in Fruška Gora. *International Scientific Conference: Forestry science and practice for the purpose of sustainable development of forestry – 20 years of the Faculty of Forestry University of Banja Luka, Book of abstracts, November 1-4th, Banja Luka, Republic of Srpska/B&H*, p 69
- Бабић В, Миловановић Д (2003) Климатске карактеристике у планинској шуми букве на Брезовици. *Шумарство* 1–2:125–131
- Бабић В, Крстић М (2014) Климатске карактеристике појаса китњакових шума на Фрушкој гори. *Шумарство* 3–4:49–62
- Babić V, Krstić M, Govedar Z, Todorčić J, Vuković N, Milošević Z (2015) Temperature and other microclimate conditions in the oak forests on Fruška Gora (Serbia). *Thermal Science* 19(2):S415–S425
- Бабић В, Крстић, М (2016) Истраживање микроклиматских услова у шуми храста китњака на Фрушкој гори. *Шумарство* 1–2:79–89
- Бабић В, Крстић М (2021) Вишекритеријумска анализа упоредних климатских карактеристика одређених шумских подручја у Србији, *Шумарство* 1–2:1–17
- Babić V, Vuković A, Vujadinović M (2018): *Forestry under climate change: Vulnerability overview on regional and national level. International Conference Humboldt Kolleg 2018, „Sustainable Development and Climate Change: Connecting Research, Education, Policy and Practice, Humbolt-Club Serbia and University of Belgrade – Faculty of Forestry, Book of Abstracts, September 19–22, Belgrade, Serbia*, p 155
- Babić V, Unkašević M (2019) *Šumarska ekoklimatologija, Klima šumskih i urbanih područja Srbije – praktikum. Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Planeta print, Beograd, str 172*
- Бабић В, Крстић М, Пено С, Кањевац Б (2019) Утицај орографских фактора на распрострањење шума букве, јеле и смрче на планини Виторог – Република Српска. *Шумарство* 3-4:43–58

- Babić V, Krstić M, Milenković M, Kanjevac B (2020) The influence of the global climate change on forestry, Book of Proceedings, XI International Scientific Agricultural Symposium „Agrosym 2020“, pp 1103–1113, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 08 – 11 October 2020
- Бабић В, Пено С, Кањевац Б, Новаковић-Вуковић М (2020) Климатске карактеристике појаса шума букве, јеле и смрче на планини Виторог у Републици Српској. Шумарство 1–2:97–100
- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K (2007) Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81:71–95
- Bernhofer C, Matschullat J, Bobeth A (2009) Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Regionales Klima anpassungs programm für die Modellregion Dresden, pp 117
- Bernier P, Schoene D (2009) Adapting forests and their management to climate change: an overview. (Special issue: Adapting to climate change). *Unasylva* 60:231/232:5–11
- Birdsey R, Pregitzer K, Lucier A (2005) Forest carbon management in the United States: 1600–2100. In: 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry, Baltimore, MD:1461–1469
- Vuković A (2018) Climate change modeling as a support tool for Sustainable development plannig. Humboldt-Kolleg 2018. Sustainable development and climate change: connecting research, education, policy and practice, Book of Abstracts, 19-22 September 2018, Belgrade, Serbia, pp 155
- Vuković A, Vujadinović Mandić M (2018) Study on the climate change in the Western Balkans region. Regional Cooperation Council, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp 76
- Vuković A, Vujadinovic Mandić M, Rendulić S, Đurđević V, Ruml M, Babić V, Popović D (2018) Global warming impact on climate change in Serbia for the period 1961-2100. *Thermal Science* 22(6A):2267–2280
- Gillner S, Vogt J, Roloff A (2013) Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening* 12(4):597–605
- Govedar Z, Medarević M (2020) Adaptive Forests Management: Case study of Sessile Oak (*Quercus petraea* Matt. Leibl.) Forests on the Ozren Mountains in Republic of Srpska. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)* 3:93–105
- Dale VH, Joyce LA, McNulty S, Neilson RP, Ayres MP, Flannigan MD, Hanson PJ, Irland LC, Lugo AE, Peterson CJ, Simberloff D, Swanson FJ, Stocks BJ, Wotton BM (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

- D`Amato AW, Bradford JB, Fraver S, Palik BJ (2011) Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments. *Forest Ecology and Management* 262(5):803–816
- Diffenbaugh NS, Field CB (2013) Changes in Ecologically Critical Terrestrial Climate Conditions. *Science* 341(6145):486–492
- Ducić V, Milovanović B, Đurđić S (2011) Identification of recent factors that affect the formation of the upper tree line in eastern Serbia. *Archives of Biological Sciences* 63(3):825–830
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 976
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1535
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds), IPCC, Geneva, Switzerland, pp 151
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 11: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)* Coordinating Lead Authors: Pete Smith (UK), Mercedes Bustamante (Brazil). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC (2019) *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, Masson-Delmotte V, Pörtner H-O, Roberts DC, Zhai P, Slade R, Connors S, van Diemen R, Ferrat M, Haughey E, Luz S, Neogi S, Pathak M, Petzold J, Portugal Pereira J, Vyas P, Huntley E, Kissick K, Belkacemi M, Malley J (eds), pp 874
- Kirilenko AP, Sedjo RA (2007) Climate change impacts on forestry. *PNAS* 104(50):19697–19702
- Kolić B (1988) *Šumarska ekoklimatologija sa osnovama fizike atmosfere*, Naučna knjiga, Beograd, str 397
- Krstić M (1999) The role and importance of meteorology in forestry. *Collection of papers from the Consultations: Meteorological data – national wealth*, Vrnjacka Banja, pp 154–160

- Krstić M (2005) Klimatske karakteristike visinskih pojaseva bukovih šuma u Srbiji. Poglavlje u monografiji Bukva (*Fagus moesiaca* /Domin, Maly/ Czeczott.) u Srbiji, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, str 108–117
- Krstić M (2007) Klimatske karakteristike pojasa kitnjakovih šuma u Srbiji. Poglavlje u monografiji: Hrast kitnjak u Srbiji, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, str 69–78
- Krstić M, Stojanović Lj, Rakonjac Lj (2010) The tasks of silviculture in regard to the current climate change. International Scientific Conference “Forest ecosystems and climate changes“, Plenary lectures, Institute of Forestry Belgrade, March 9-10th 2010, pp 117–130
- Krstić M, Govedar Z, Bjelanović I, Keren S (2012) Climate change in Serbia and its impact on forest ecosystems. International Scientific Conference Forest in future – Sustainable use, Risks and Challenges, Congress Proceedings, Institute of Forestry, Belgrade, Serbia, 4-5th October, pp 12–23
- Крстић М, Бабић В, Стајић С, Кањевац Б (2013) Карактеристике климе висинског појаса шума сладума и цера у Шумадији. Зборник радова, Семинар и округли сто Обновљање храстових шума, обновљање шума сладуна и цера, 25. 10. 2013, Београд, стр 115–122
- Крстић М, Бабић В, Кањевац Б (2013) Прилог познавању климатско-вегетацијских карактеристика брдског подручја Србије. Шумарство 3-4:113–124
- Krstić M, Cvjetičanin R, Smailagić J, Govedar Z (2014) Climate-vegetation characteristics of Kopaonik mountain in Serbia. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 9(3):135–145
- Krstić M, Kanjevac B, Babić V (2018) Effects of extremely high temperatures on some growth parameters of sessile oak (*Quercus petraea*/Matt./Liebl.) seedlings in northeastern Serbia. Archives of Biological Sciences 70(3):521–529
- Krstić M, Babić V, Kanjevac B (2019) Climate characteristics of a hilly-mountainous area in eastern Serbia. Fresenius Environmental Bulletin 28(7):5061–5069
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer MJ, Marchetti M (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. Forest Ecology and Management 259(4):698–709
- Malmsheimer RW, Heffernan P, Brink S, Crandall D, Deneke F, Galik CS, Gee E, Helms JA, McClure N, Mortimer N, Ruddell S, Smith M, Stewart J (2008) Forest management solutions for mitigating climate change in the United States. Journal of Forestry 106(3):115–117
- Murthy IK, Tiwari R, Ravindranath NH (2010) Climate change and forests in India: adaptation opportunities and challenges. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 16(2):161–175

- NFC (2017) National Focal Centre for monitoring the condition – vitality of forests in the Republic of Serbia. Monitoring and assessment of air pollution and its effects on forest ecosystems in Serbia – Forest condition monitoring – Level I and Level II – Report. Belgrade
- NFC (2018) National Focal Centre for monitoring the condition – vitality of forests in the Republic of Serbia Monitoring and assessment of air pollution and its effects on forest ecosystems in Serbia – Forest condition monitoring – Level I and Level II – Report. Belgrade
- Поповић Д, Вуковић А (2019) Климатске промене. Академска мисао, Београд, стр 124
- Pachauri RK, Reisinger A (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, pp 104
- Puettmann KJ (2011) Silvicultural Challenges and Options in the Context of Global Change: “Simple” Fixes and Opportunities for New Management Approaches. *Journal of Forestry* 109(6):321–331
- Reichuber A, Gerber N, Mirzabaev A, Svoboda M, López Santos A, Graw V, Stefanski R, Davies J, Vuković A, Fernández García MA, Fiati C, Jia X (2019) The Land-Drought Nexus: Enhancing the Role of Land-Based Interventions in Drought Mitigation and Risk Management. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany, pp 114
- Reyer C, Guericke M, Ibsch PL (2009) Climate change mitigation via afforestation, reforestation and deforestation avoidance: and what about adaptation to environmental change? *New Forests* 38:15–34
- Ruddell S, Sampson R, Smith M, Giffen R, Cathcart J, Hagan J, Sosland D, Godbee J, Heissenbuttel J, Lovett S, Helms J, Price W, Simpson R (2007) The role for sustainably managed forests in climate change mitigation. *Journal of Forestry* 105(6):314–319
- Skinner C (2007) Silviculture and forest management under a rapidly changing climate: USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-203
- Smith MD (2011) An ecological perspective on extreme climatic events: a synthetic definition and framework to guide future research. *Journal of Ecology* 99(3):656–663
- Spathelf P, Bolte A, van der Maaten E (2015) Is Close-to-Nature Silviculture (CNS) an adequate concept to adapt forests to climate change? *Landbauforsch - Appl Agric Forestry Res* 3/4(65):161–170
- Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C (2015) The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Rev* 2(1):81–98
- Sturrock RN, Frankel SJ, Brown AV, Hennon PE, Kliejunas JT, Lewis KJ, Worrall JJ, Woods AJ (2011) Climate change and forest diseases. *Plant Pathology* 60(1):133–149

- Thornthwaite CW (1948) An Approach toward a Relation Classification of Climate. *Geographical Review*, Elsevier, Amsterdam, 32(55):3–30
- Thornthwaite CW, Mather JR (1957) Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. *Publications in Climatology* 10:183–243
- Trbić M, Krstić M, Govedar Z, Bjelanović I, Keren S (2012) Climate change in the Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina and potential impact on forest ecosystems. *International Scientific Conference Forest in future – Sustainable use, Risks and Challenges, Congress Proceedings*. Institute of Forestry, Belgrade, Serbia, 4-5th October, pp 12–23
- Unkašević M (2005; reprint 2014) *Šumarska ekoklimatologija*, Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Beograd, str 231
- Horowitz CA (2016) Paris Agreement. *International Legal Materials* 55(4):740–755
- Cavin L, Mountford EP, Peterken GF, Jump AS (2013) Extreme drought alters competitive dominance within and between tree species in a mixed forest stand. *Functional Ecology* 27(6):1424–1435
- Czúcz B, Gálhidy L, Mátyás C (2011) Present and forecasted xeric climatic limitsof beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Ann For Sci* 68(1):99–108
- Yin Y, Ma D, Wu S (2018) Climate change risk to forests in China associated with warming. *Scientific Reports* 8(493):1–13

Climate change and forests

Violeta Babić, Milun Krstić, Ana Vuković, Branko Kanjevac

Summary

Adaptive management is a basic concept of forest ecosystem management strategies in conditions of increased risks such as climate change. Climate change is the most significant problem of today, which is briefly characterized by increased temperatures, unbalanced precipitation, as well as the increasing presence of extreme weather events. Spatial distributions indicate that the greatest climate risks will be concentrated in southern subtropical and tropical humid areas where drought has intensified and where productivity may decline due to natural hazards such as droughts and floods. The interaction between climate change and air pollutants is particularly stressful for trees (forests). The effects of climate change on certain species can be positive or negative, which is conditioned by habitat conditions and regional climate change. The main cause of global warming of the "modern age", ie. period since the industrial revolution, is the increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere, the most responsible of which is carbon dioxide. In the Mediterranean area, the results indicate a decrease in annual rainfall by 10–20%. Such intense changes and especially the increase in air temperature affect the increase of evapotranspiration. Rapid changes in climate conditions, with additional stress from multifaceted direct human impacts, make the Earth's ecosystem unsustainable and require urgent implementation of measures to mitigate these changes. The key goals are, in addition to reducing emissions, to increase the share of energy production from renewable sources and increase energy efficiency. Change in mean air temperature in the Western Balkans for the period 1986–2015. in relation to the period 1961–1980. is 1.2 ° C, which is why this region is considered one of the most endangered due to climate change in the world. In the coming decades, temperatures will continue to rise the most during the summer season. The warmest month is July in the entire area of Republika Srpska with an average temperature of 24.3 ° C for Trebinje. The increase in the average summer temperature is the largest in the central part of the region, especially in most of Bosnia and Herzegovina, and exceeds 2 ° C, and the amount of precipitation is reduced by 10–20%. Lang's bioclimatic classification for the reference period indicates that the analyzed area of Prijedor and Bijeljina with the characteristics of semihumid climate, while the areas of Banja Luka, Doboј, Sokolac, Bileća and Trebinje with the characteristics of humid climate. According to the annual climate index according to Thornthwhite for the

reference period 1981–2010. in the area of Bijeljina as the driest part of Republika Srpska is dominated by subhumid-humid climate type C2, in the area of Prijedor and Doboj slightly humid climate type B1, Banja Luka and Sokolac have a moderately humid climate type B2, and in Eastern Herzegovina is perhumid climate type A. According to the Ellenberg climate classification for the reference period 1981–2010. year, the entire area of Republika Srpska belongs to the zone with the characteristics of a humid climate. Analyzes show the necessity of applying appropriate cultivation measures in forestry in accordance with climate change to the forest with supported natural regeneration, cultivation of mixed forests and species adapted to different temperature tolerance regimes, thinning forest care, application of sanitary and other types of cultivation measures, conservation of genetic diversity and biodiversity. adoption of sustainable forest management practices.

Keywords: Climate change, forest ecosystems, Republic of Srpska, sustainable development of forestry, risk, adaptation, climate models