

Климатске промјене и природни ресурси

Горан Трбић, Татјана Попов, Милан Матаруга

Сажетак: Климатске промјене један су од највећих научних, еколошких, политичких и друштвено-економских изазова савременог друштва. Доминантно су условљене сагоријевањем фосилних горива, тј. антропогеним емисијама угљен-диоксида и других гасова који условљавају негативан ефекат „стаклене баште”, глобално загријавање и повећање температуре ваздуха. Глобално повећање температуре ваздуха било је окидач за промјене осталих климатских елемената, а прије свега: испаравања, режима падавина, појаве снијега, олујних вјетрова, дуготрајних топлотних таласа и др. Климатске промјене условиле су већу фреквенцију и интензитет климатских екстрема који веома неповољно утичу на животну средину и природне ресурсе у цијелом свијету. Подручје југоисточне Европе, односно Западног Балкана, једно је од најугроженијих у свијету са аспекта појаве поплава, суша, дуготрајних топлотних таласа и олујних вјетрова. Климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини нарочито су изражене у посљедње три деценије, када врше све израженији притисак на многобројне природне ресурсе, а нарочито воду, пољопривредно земљиште, шумске екосистеме, те биодиверзитет у цјелини. Климатски модели указују на још интензивније промјене у блиској будућности.

Цитирање: Трбић и сар. (2023) Климатске промјене и природни ресурси. У: Матаруга М, Јањић В, Пржуљ Н (уредници) Природни ресурси у функцији развоја друштва XXI вијека. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIII:247–297

Cite as: Trbić et al. (2023) Climate change and natural resources. In: Mataruga M, Janjić V, Pržulj N (eds) Natural resources for the development of society in the 21st century. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIII:247–297

Однос климатских промјена и природних ресурса посматра се двојачко: а) кроз адаптацију (прилагођавање) истих на климатске промјене и б) кроз митигацију (ублажавање) климатских промјена постојањем и одрживим коришћењем истих. Данас постоје бројни научни резултати који указују на значајан (углавном негативан) утицај промјена климе на природне ресурсе.

Релативни значај климатских промјена и других истовремених притисака на функционисање екосистема тешко је прецизно раставити. Под повећаним температурама повећава се дисање земљишта, активност микроба, разградња лигнификованих материјала, што директно утиче на вегетацију, а тиме и на функционалност екосистема. Резултати показују да су екосистеми генерално осјетљивији на повећање него на смањење падавина. Доказане су промјене у фенологији биљака, миграцији врста, генетичкој реакцији биљака и животиња, али снага и смјер зависе од географског региона, јединице за анализу и од природе климатских промјена.

Утицај екстремних догађаја на биолошку разноликост и допринос природе људима врло је зависан и од времена догађаја. Ипак, сходно моделима климатских промјена, већ у скорој будућности могу се очекивати значајни утицаји на природу Републике Српске, што ће се посебно рефлектовати на пољопривредну производњу, земљиште, шуме и воде. Нажалост, експерименталних, научно доказаних тврдњи на просторима Републике Српске (БиХ) још нема (или су спорадични). Успостављање, праћење и евидентирање утицаја промјена климе на отпорност најугроженијих сектора треба да буде основ за плански приступ у креирању даљих активности код нас.

Кључне ријечи: Климатске промјене, утицај на природне ресурсе, Република Српска, Босна и Херцеговина, температура ваздуха, плувиметријски режим, екстремни догађаји

5.1. Увод

Клима је један од основних природних фактора и ресурса који, заједно са осталим расположивим ресурсима (вода, земљиште и екосистеми), у великој мјери детерминише укупан друштвено-економски развој. Једна од основних одлика климе је велика динамичност и промјенљивост. Према Свјетској метеоролошкој организацији (*World Meteorological Organization, WMO*), климатска колебања (варијабилност) представљају варијације у средњим или другим статистичким параметрима климе на свим временским и

просторним скалама (WMO 2017). Термин се често користи за означавање одступања климатских параметара током одређеног периода (на примјер, мјесеца, сезоне или године) у односу на дугорочне статистичке податке за исти период. Колебање климе изражава се овим одступањима, која се обично називају аномалије. Кључна разлика између климатских колебања и промјена јесте у истрајности „аномалија” климатских услова. У суштини, климатска колебања огледају се у промјенама које се дешавају у краћим периодима (мјесец, сезона или година), а климатске промјене у дужем периоду, обично мјереном деценијама или дуже.

Климатске промјене су у научним и стручним круговима дефинисане као „промјене у стању климе које се могу идентификовати (на примјер, помоћу статистичких тестова) кроз промјене у просјечним вриједностима и/или варијабилности њених елемената, а које трају дужи период, обично неколико деценија или дуже”. Могу бити посљедица природних унутрашњих процеса или утицаја спољашњих фактора или истрајних антропогених промјена у саставу атмосфере или у коришћењу земљишта (Lavell et al. 2012; IPCC 2012; WMO 2017). Оваква дефиниција климатских промјена разликује се од дефиниције у Оквирној конвенцији Уједињених нација о климатским промјенама (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*)¹, гдје се промјена климе дефинише као: „промјена која се приписује директно или индиректно активностима човјека које мијењају састав глобалне атмосфере, те које се одвијају поред природне промјенљивости климе осмотрене кроз упоредиве периоде” (IPCC 2012). У Конвенцији се на тај начин прави разлика између климатских промјена, које се приписују људским активностима које мијењају атмосферски састав, и климатских колебања, која се могу приписати природним узроцима.

Према Конвенцији, главни узрок савремених климатских промјена су антропогене активности, које су знатно повећале атмосферске концентрације гасова стаклене баште, што за посљедицу има појачавање природног ефекта стаклене баште и додатно загријавање Земљине површине и атмосфере, које може негативно дјеловати на природне екосистеме и човјечанство (UNFCCC 1992). Негативни ефекти климатских промјена представљају промјене у

¹ Оквирна конвенција Уједињених нација о климатским промјенама главни је мултилатерални споразум фокусиран на проблеме савремених климатских промјена, у који су укључене готово све државе свијета. Од 21. марта 1994. године, када је ступила на снагу, 197 земаља (тј. 196 држава и једна регионална организација за економску интеграцију) постале су чланицом Конвенције (UNFCCC 2022a). Босна и Херцеговина је Конвенцију ратификовала 6. децембра 2000. године (Вукмир и сар. 2009). UNFCCC је једна од три конвенције усвојене на „Рио самиту о Земљи”, тј. на Конференцији Уједињених нација о заштити животне средине и развоју (UNCED), која је одржана у јуну 1992. године (UNFCCC 2022a).

физичком окружењу или живом свијету (биота) које имају знатне штетне утицаје на структуру, отпорност или продуктивност природних и вјештачких екосистема, на функционисање социоекономских система или на људско здравље и благостање. С обзиром на уочене промјене климе, крајњи циљ Конвенције јесте „да се у складу с релевантним одредбама Конвенције успостави стабилност концентрације гасова стаклене баште у атмосфери на нивоу који ће спријечити опасно антропогено уплитање у климатски систем. Такав ниво треба да се постигне у року који је довољан да се екосистемима омогући природно прилагођавање на промјену климе, да се осигура да производња хране не буде угрожена и да се омогући даљи економски развој на одрживи начин” (UNFCCC 1992).

Да би се дошло до стабилизације, а потом и до смањења антропогене концентрације гасова са ефектом стаклене баште, на глобалном нивоу усвојено је више докумената којима су прецизније утврђене и дефинисане обавезе чланица Конвенције у имплементацији и остваривању постављених циљева. Посебно треба споменути Кјото протокол и Споразум у Паризу.

Кјото протокол (UNFCCC 2002в) усвојен је 11. децембра 1997. године, а због сложеног процеса ратификације, ступио је на снагу 16. фебруара 2005. године. Босна и Херцеговина је Протокол ратификовала 16. априла 2007. године (Матаруга 2008; Радусин и сар. 2013а). Кјото протокол поставља обавезујуће циљеве стабилизације и смањења емисија гасова стаклене баште за тридесет седам индустријски најразвијених земаља свијета и Европску унију, јер су у великој мјери управо оне одговорне за садашње високе нивое емисије (резултат више од 150 година индустријске активности), за 5% у односу на ниво из 1990. године у првом обавезујућем периоду 2008–2012. године. У Дохи, у Катару, 8. децембра 2012. године, усвојен је Доха амандман на Кјото протокол и од тада тече други период обавеза (2013–2020).

Споразум у Паризу (UNFCCC 2015) потписан је 12. децембра 2015. године. Обавезује државе потписнице на спровођење низа активности и мјера како би се пораст просјечне глобалне температуре задржао на нивоу знатно мањем од 2°C у односу на просјечну температуру у преиндустријском периоду, а пожељно би било да се тај раст ограничи на 1,5°C изнад преиндустријског нивоа, јер би се на тај начин знатно смањили ризици од климатских промјена. Такође, потписнице су се обавезале на повећање способности прилагођавања на негативне утицаје климатских промјена и подстицање отпорности климатског система, те на нискоемисиони развој (али на начин који не угрожава производњу хране). До данас је Споразум потписало 195 држава. Од тога броја, 193 државе су и ратификовале Париски

споразум (United Nations Treaty Collection 2022). Највећи емитери – Кина са нешто више од 25% глобалне емисије и САД са 13% глобалне емисије, ратификовали су (тј. прихватили) Споразум 3. септембра 2016. године. С обзиром на то да су 5. октобра 2016. године задовољена оба услова неопходна за његово ступање на снагу (најмање 55 држава потписница Конвенције које узрокују минимално 55% укупне емисије гасова са ефектом стаклене баште ратификовало је Споразум), Споразум у Паризу примјењује се од 4. новембра 2016. године.

У циљу стварања јасног научног погледа на тренутна сазнања о климатским промјенама и њиховим потенцијалним еколошким и социоекономским утицајима, основан је Међувладин панел за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*)², данас водеће међународно тијело за процјену климатских промјена. Основан је 1988. године од стране Програма Уједињених нација за животну средину (*United Nations Environment Programme, UNEP*) и Свјетске метеоролошке организације (WMO), а њихову иницијативу за заједничко оснивање подржала је Генерална скупштина Уједињених нација. Од свог оснивања, Међувладин панел за климатске промјене припремио је и објавио неколико извјештаја о процјени климатских промјена: 1990, 1995, 2001, 2007, 2014, 2017, 208. и 2019. године³. Осим извјештаја о процјени климатских промјена, Панел усваја и објављује и специјалне извјештаје у којима анализира неко специфично питање (на примјер, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Carbon Dioxide Capture and Storage, Emissions Scenarios, The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability* и др.), као и методолошке извјештаје са практичним смјерницама за инвентаризацију гасова стаклене баште.

Почетком XXI вијека, климатске промјене се дефинишу као један од најзначајнијих директних утицаја на промјене екосистема. Промјене образаца падавина и температура узрокују промјене у суши, поплавама,

² Рад Међувладиног панела за климатске промјене одвија се у оквиру три радне и једне оперативне групе (активностима радних група координира јединица за техничку подршку) (IPCC 2022). Радна група I процјењује научна сазнања о физици климатског система и климатским промјенама. Радна група II процјењује угроженост природних и социоекономских система пројектованим климатским промјенама, те позитивне и негативне посљедице климатских промјена, као и могућности за прилагођавање на њих. Радна група III процјењује могућности ублажавања климатских промјена кроз ограничавање или спречавање емисија гасова стаклене баште и јачање активности којима би се уклониле из атмосфере. Оперативна група за националну инвентаризацију гасова стаклене баште основана је с циљем мониторинга *Програма националне инвентаризације гасова стаклене баште*.

³ Сви извјештаји Међувладиног панела за климатске промјене доступни су јавности на њиховој веб-страници <https://www.ipcc.ch/>

ризику од пожара и низу других фактора који збирно или појединачно утичу на врсте, као и на важне функције и процесе свих екосистема (IPCC 2014а; IPBES 2016).

Процјена стања природе за подручје Европе и централне Азије (IPBES 2018) доказује да климатске промјене утичу на биодиверзитет у овом дијелу свијета кроз промјене у временском и просторном распореду врста, расту, репродукцији и популационој динамици. Ипак, још остају празнине у многим знањима у контексту физиолошких процеса и еволуционих прилагођавања новим климатским условима (Bellard et al. 2012; Merila and Hendry 2014).

5.2. Климатске промјене у свијету

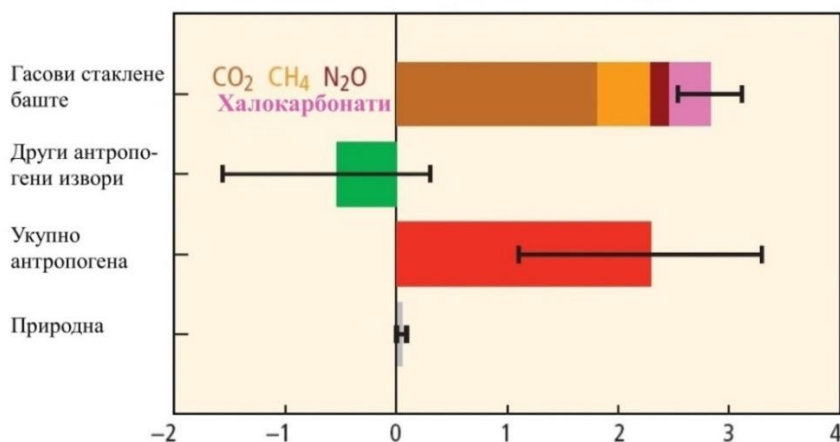
5.2.1. Покретачи климатских промјена

Природне и антропогене материје и процеси који мијењају енергетски биланс земље представљају физичке покретаче климатских промјена. Промјена биланса процењује се на основу *in situ* и даљинских посматрања концентрација гасова стаклене баште и аеросола, као и прорачуна коришћењем нумеричких модела. Позитивна промјена енергетског биланса Земље (већа од нуле) доводи до загријавања, а негативна (мања од нуле) до клађења климатског система (Myhre et al. 2013).

Према IPCC, укупна антропогена промјена енергетског биланса Земље у периоду 1750–2011. године је позитивна и узроковала је ефекат загријавања климатског система од $2,29 \text{ W m}^{-2}$ ($1,13\text{--}3,33 \text{ W m}^{-2}$) (Myhre et al. 2013; IPCC 2013, 2014). Промјена енергетског биланса Земље из емисије гасова стаклене баште (CO_2 , CH_4 , N_2O , и халокарбоната) у 2011. години у односу на 1750. годину износи $3,00 \text{ W m}^{-2}$ ($2,22\text{--}3,78 \text{ W m}^{-2}$) – с тим да треба нагласити да је CO_2 дао највећи појединачни допринос од $1,33 \text{ W m}^{-2}$ ($1,68\text{--}2,03 \text{ W m}^{-2}$), CH_4 од $0,97 \text{ W m}^{-2}$ ($0,74\text{--}1,20 \text{ W m}^{-2}$), а халокарбонати од свега $0,01 \text{ W m}^{-2}$ ($0,18\text{--}0,35 \text{ W m}^{-2}$) (Сл. 5.1) (IPCC 2013).

Промјене Сунчевог зрачења и вулканских аеросола представљају природне факторе који утичу на промјену енергетског биланса Земље. Стратосферски вулкански аеросоли могу имати велики расхладни ефекат на климатски систем током неколико година након великих вулканских ерупција. У наведеном периоду, утицај аеросола на промјену енергетског биланса Земље износио је $-0,9 \text{ W m}^{-2}$ (од $-1,9$ до $-0,1 \text{ W m}^{-2}$), док се промјена енергетског биланса Земље због промјена Сунчевог зрачења процењује на

$0,05 \text{ W m}^{-2}$ ($0,00\text{--}0,10 \text{ W m}^{-2}$) (IPCC 2013, 2014a). Из тога можемо закључити да је укупна природна промјена енергетског биланса Земље због промјена Сунчевог зрачења и стратосферских вулканских аеросола дала веома мали допринос нето промјени енергетског биланса Земље током прошлог вијека (осим кратких периода после великих вулканских ерупција) (IPCC 2013).



Сл. 5.1. Промјена енергетског биланса Земље у периоду индустријализације (1750–2011) (IPCC 2014a)

Fig. 5.1. Change in the Earth's energy balance during the period of industrialization (1750–2011) (IPCC 2014a)

Промјена енергетског биланса Земље узрокована промјеном укупног Сунчевог зрачења чинила је само 2% укупне промјене енергетског биланса Земље у периоду 1750–2011. године (IPCC 2014a). Ипак, утицај Сунца на климу много је комплекснији, што је честа тема критичке анализе резултата IPCC. Иако мале варијације укупног Сунчевог зрачења, повезане са једанаестогодишњим Сунчевим циклусом, које износе око 0,1% ($1,3 \text{ W m}^{-2}$), немају знатнијег утицаја на климу, Kodera et al. (2016) наводе неколико механизма који појачавају утицај Сунца на климатски систем: 1) повећање директног утицаја укупног Сунчевог зрачења на површине океана због повратног транспорта водене паре у тропској зони Пацифика, 2) повећање утицаја усљед промјена у Сунчевом спектру, посебно у ултраљубичастом дијелу спектра, што директно утиче на стратопаузу и повећање температуре и концентрације озона током Сунчевог циклуса, 3) космички зраци могу утицати на површинску температуру и кроз промјене облачности итд. Много комплекснији приступ анализи утицаја Сунца на климу биће узет у обзир у моделима IPCC приликом припреме наредног извјештаја. У раду Matthes et

al. (2017) описан је скуп компоненти промјене енергетског биланса Земље узроковане промјеном укупног Сунчевог зрачења које треба да буду укључене у Пројекат упоређивања спрегнутих модела – фаза б (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*, CMIP6), а које нису биле имплементиране у раније моделе. Промјена енергетског биланса Земље узрокована промјеном Сунчевог зрачења зависи од укупног Сунчевог зрачења и Сунчевог спектралног зрачења, те F10,7 цм радио-флуksа, као и утицаја честица (тј. геомагнетских индекса Ap и Kp) и стопе јонизације (њихово укључивање у климатске моделе омогућиће узимање у обзир и утицај соларних протона, електрона и галактичких космичких зрака). Рад пружа детаљне препоруке како да се утицаји наведених компоненти инкорпорирају у климатске моделе.

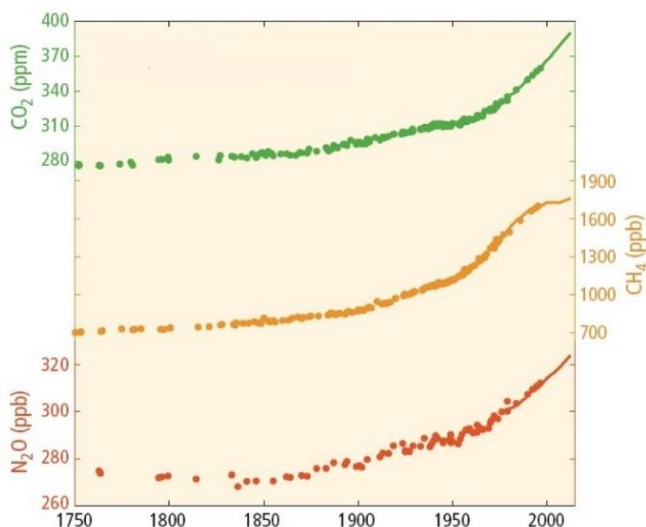
5.2.2. Промјене атмосферске концентрације гасова стаклене баште

Антропогене емисије гасова са ефектом стаклене баште у порасту су од преиндустријског периода, углавном због снажног технолошког и економског развоја и великог пораста броја становника на Земљи (Сл. 5.2). Антропогене активности знатно су повећале концентрације угљен-диоксида (CO₂), метана (CH₄) и азот-субоксида (N₂O) у атмосфери од 1750. године (IPCC 2013; 2014).

У периоду 1750–2011. године концентрација CO₂ повећана је 40 %, са 278 ppm на 390,5 ppm, CH₄ 150 %, са 722 ppb на 1.803 ppb, а N₂O 20 %, са 271 ppb на 324,2 ppb (Ciais et al. 2013; IPCC 2013; 2014). Подаци добијени анализом узорака из ледничког покривача јасно показују да тренутне концентрације CO₂, CH₄ и N₂O у атмосфери прелазе ниво икад измјерен у најмање посљедњих 800.000 година (Ciais et al. 2013; IPCC 2013). У том периоду атмосферска концентрација CO₂ варира је између 180 ppm током глацијалних и 300 ppm током интерглацијалних периода. За разлику од савременог наглог антропогеног повећања CO₂, током 7.000 година прије почетка индустријализације атмосферска концентрација CO₂ показивала је веома споро повећање (са 260 ppm на 280 ppm). Просјечна стопа пораста концентрација наведених гасова током прошлог вијека прелази брзину промјене у протеклих 22.000 година (Ciais et et al. 2013; IPCC 2013).

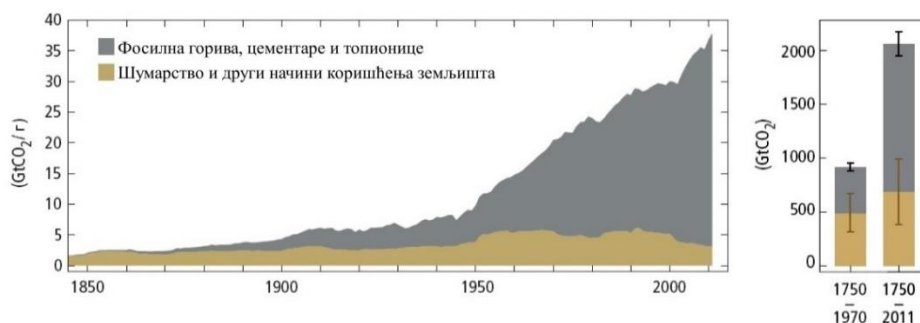
У периоду 1750–2011. године антропогена емисија CO₂ у атмосферу износила је 555 ± 85 Pg C – од тога, емисија из сагоријевања фосилних горива, производње цемента и топионица 375 ± 30 Pg C, а емисија узрокована промјенама начина коришћења земљишта (укључујући и крчење шума,

пошумљавање и рефорестацију) 180 ± 80 Pg C (Ciais et al. 2013; IPCC 2013) (Сл. 5.3).



Сл. 5.2. Промјена атмосферске концентрације гасова стаклене баште: угљен-диоксида CO_2 (зелено), метана CH_4 (наранџасто) и азот-субоксида N_2O (црвено) (IPCC 2014)

Fig. 5.2. Change in atmospheric concentration of greenhouse gases: carbon dioxide CO_2 (green), methane CH_4 (orange) and nitrogen suboxide N_2O (red) (IPCC 2014)



Сл. 5.3. Годишња глобална антропогена емисија CO_2 (IPCC 2014)

Fig. 5.3. Annual global anthropogenic CO_2 emissions (IPCC 2014)

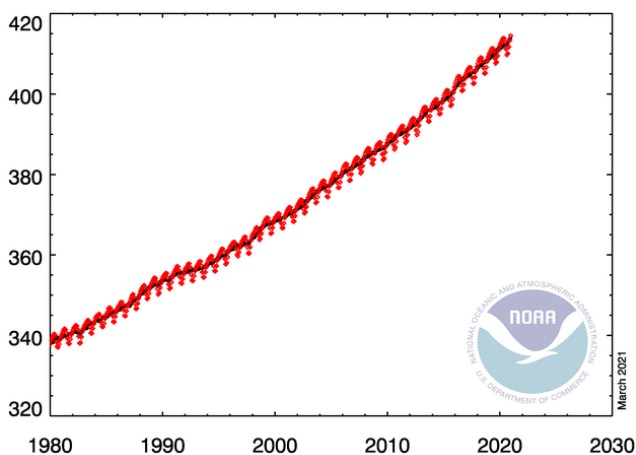
Наведене емисије сматрају се доминантним узроком ученог повећања атмосферске концентрације CO_2 . Око половине емисије од 1750. године

задржано је у атмосфери (240 ± 10 Pg C), док је остатак уклоњен из атмосфере и ускладиштен у понорима угљеника – у океанима 155 ± 30 Pg C, а у биомаси вегетације и у земљишном покривачу 160 ± 90 Pg C. Емисије CO₂ из сагоријевања фосилних горива и индустријских процеса чиниле су око 78% укупног повећања емисије гасова стаклене баште у периоду 1970–2010. године, а сличан удио доприноса имале су и у периоду 2000–2010. године (IPCC 2014b). Треба истакнути да се око половине од 2.040 ± 310 Gt CO₂ кумулативних антропогених емисија у атмосферу између 1750. и 2011. године догодило у посљедњих 40 година. Од 1970. године, кумулативна емисија CO₂ из сагоријевања фосилних горива, производње цемента и топионица утростручила се, а из шумарства и других начина коришћења земљишта повећала се око 40% (IPCC 2014a). Резултати Le Quéré et al. (2016) показују да је глобална емисија CO₂ стагнирала три године заредом – глобална емисија угљеника из сагоријевања фосилних горива порасла је само 0,7% у 2014. години, емисија није расла у 2015. години, док је у 2016. години порасла незнатних 0,2%. Наведени подаци показују да долази до прекида брзог годишњег пораста емисије од 2,3%, који је био присутан у овој деценији до 2013. године. Исти аутори указују на то да је раст емисије био мањи од 1% упркос расту БДП-а од преко 3%. Главним разлогом смањивања пораста емисије током наведене три године сматра се смањено коришћење угља у Кини.

Од 1750. до 1970. године кумулативна емисија CO₂ из сагоријевања фосилних горива, производње цемента и топионица порасла је на 420 ± 35 Gt CO₂, а до 2010. године та се вриједност утростручила (1.300 ± 110 Gt CO₂). Кумулативна емисија CO₂ из сектора шумарства и других начина коришћења земљишта порасла је од 1750. године на 490 ± 180 Gt CO₂ у 1970. години, а до 2010. године на 680 ± 300 Gt CO₂, с тим да је највеће апсолутно повећање забиљежено између 2000. и 2010. године (IPCC 2014a, 2014b). У периоду 2002–2011. године концентрација CO₂ повећавала се по највећој декадној стопи промјене ($2,0 \pm 0,1$ ppm годишње) од 1958. године, када су почела директна мјерења атмосферских концентрација гасова стаклене баште. Глобално, величина понора CO₂ у земљишту и океанима приближно је слиједила стопу раста у атмосфери, апсорбујући сваке године просјечно 55% укупних антропогених емисија (Ciais et al. 2013). Просјечна годишња емисија из шумарства и других начина коришћења земљишта у периоду 2002–2011. године износила је $3,3 \pm 2,9$ Gt CO₂ годишње, а из сагоријевања фосилних горива и производње цемента $8,3$ ($7,6–9,0$) Gt CO₂ годишње (IPCC 2013; 2014).

Годишње емисије гасова стаклене баште расле су у просјеку за 1,0 Gt еквивалента CO₂ (2,2%) годишње у периоду 2000–2010. године, у односу на

0,4 Gt еквивалента CO₂ (1,3%) годишње у периоду 1970–2000. године, упркос све већем броју политика митигације и адаптације на климатске промјене. Укупна антропогена емисија гасова стаклене баште у периоду 2000–2010. године била је највиша у историји и достигла је 49 (± 4,5) Gt еквивалента CO₂ годишње у 2010. години. У наведеном периоду укупна годишња антропогена емисија гасова стаклене баште порасла је за око 10 Gt еквивалента CO₂. Пораст је највише узрокован емисијама из дјелатности као што су: енергетика (47%), индустрија (30%), саобраћај (11%) и грађевинарство (3%). Од 2000. године расле су емисије гасова стаклене баште у свим секторима, осим у сектору шумарства, пољопривреде и других начина коришћења земљишта (IPCC 2014а; 2014б).



Сл. 5.4. Укупна годишња антропогена емисија гасова стаклене баште (у ppm) у периоду 1980–2020. године (NOAA 2021)

Fig. 5.4. Total annual anthropogenic greenhouse gas emissions (in ppm) in the period 1980–2020 (NOAA 2021)

Годишња стопа раста атмосферског CO₂ измјерена на опсерваторији Мауна Лоа на Хавајима, којом управља Национална управа за океане и атмосферу САД (*National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA*), током 2020. године износила је 416 ppm, што је био највећи годишњи пораст у 64 година истраживања (Сл. 5.4). У 2016. години концентрација је први пут премашила 400 ppm – у фебруару је просјечна глобална атмосферска концентрација CO₂ износила 402,59 ppm. Концентрација CO₂ биљежила је изненађујуће велики пораст у првој половини 2016. године – концентрација је до јуна порасла на готово 407 ppm, што је 4 ppm већа концентрација него у јуну претходне године. Овако велики пораст концентрације дјелимично је узрокован

присутним Ел Нињом (и претходни највећи пораст такође је забиљежен у години са јаким Ел Нињом – у 1998. години). Ипак, континуиране високе стопе емисије гасова стаклене баште у основи условљавају рекордне стопе пораста концентрације посљедњих година (NOAA 2021).

У Босни и Херцеговини емисија CO_2 у 1990. години износила је 34,04 Mt еквивалента CO_2 , од чега је производња енергије (укључујући и гориво за транспорт) узроковала емисију 26,5 Mt еквивалента CO_2 . Емисија из сектора енергетике знатно је смањена током ратног периода 1992–1995. године, па је у 2001. години износила 12,03 Mt еквивалента CO_2 . Ипак, до 2009. године поново је порасла, готово на ниво из 1990. године – на 22,2 Mt (Радусин и сар. 2013). Емисије из других сектора више су него преполовљене у периоду 1990–2001. године, првенствено због смањења емисија из сектора индустрије за више од 80% и из сектора пољопривреде за 50%. Иако су стопе емисије у 2008. години готово достигле ниво по глави становника из 1990. године (5,18 t еквивалента CO_2 по глави становника годишње), и даље су биле међу најнижим у Европи. У 2014. години емисије GHG у БиХ износиле су око 7,25 CO_2eq по становнику, што је за око 17% мање од просјека држава Европске уније (ЕУ), међутим, у односу на БДП, емисије у БиХ су скоро четири пута веће него у ЕУ (UNFCCC Secretariat 2021).

Послије готово деценије стабилне концентрације CH_4 још од касних 1990-их година, атмосферска мјерења показују поновни раст од 2007. године. Просјечна годишња емисија CH_4 у периоду 2000–2009. године износила је: 177–284 Tg из природних мочварних екосистема, 187–224 Tg из пољопривреде (узгој пиринча и животиње) и сектора отпада, 85–105 Tg из сагоријевања фосилних горива, 61–200 Tg из других природних емисија и 32–39 Tg из сагоријевања биомасе и биогорива. Антропогена емисија чинила је 50–65% укупне емисије CH_4 . Флукуације емисија CH_4 из природних мочвара узроковане климатским факторима сматрају се главним покретачем глобалне међугодишње варијабилности емисије метана, а мањи допринос даје и сагоријевање биомасе у годинама великих пожара (Ciais et al. 2013; IPCC 2014).

Током посљедње три деценије концентрација N_2O константно расте по стопи $0,73 \pm 0,03$ ppb годишње (Ciais et al. 2013; IPCC 2014). Главни узроци емисија N_2O у атмосферу јесу реакције нитрификације и денитрификације реактивног азота у земљишту и у океанима. У 2006. години, антропогена емисија N_2O износила је 6,9 (2,7–11,1) Tg N (N_2O) – од тога 1,7–4,8 Tg из примјене азотних ђубрива у пољопривреди, 0,2–1,8 Tg из употребе фосилних горива и индустријских процеса, 0,2–1,0 Tg из сагоријевања биомасе (укључујући биогорива) и 0,4–1,3 Tg из емисија земљишног покривача усљед акумулације

атмосферског азота. Природна емисија N_2O из земљишта, океана, као и малих атмосферских извора износила је 5,4 – 19,6 Tg N (N_2O). У 2010. години, антропогено стварање реактивног азота (доминантно из производње амонијака за ђубрива и индустрију, те из узгоја махунарки и сагоријевања фосилних горива) било је најмање два пута веће од стопе природног терестричког стварања. Поред N_2O , два важна азотна једињења која се емитују у атмосферу су NH_3 и NO_x , који утичу на тропосферски озон и аеросоле. Акумулација реактивног азота у земљишном покривачу вјероватно тренутно повећава природни понор CO_2 , посебно у шумама, али величина овог ефекта варира међу регионима свијета (Ciais et al. 2013).

5.2.3. Промјене температуре ваздуха – глобално загријавање

Глобално загријавање климатског система је неспорно, а многе од уочених промјена у другој половини XX вијека нису забиљежене у историјски осматраном периоду – атмосфера и океани су се загријали, количине снијега и леда су смањене, а ниво мора је порастао (IPCC 2014a). Према IPCC, велика је вјероватноћа да је више од половине осмотреног повећања просјечне глобалне температуре у периоду 1951–2010. узроковано антропогеним повећањем концентрација гасова стаклене баште и другим антропогеним факторима. Глобална средња температура ваздуха на површини Земље има тренд раста од почетка XX вијека. Од тада до данас, готово читава планета Земља захваћена је процесом загријавања. Просјечна глобална површинска температура копна и океана порасла је у периоду 1850–2020. године за $+1,0^{\circ}C$ ($0,65$ – $1,06^{\circ}C$) (NOAA 2021).

Година 2020. друга је у рангу најтоплијих година изнад копна у 141-годишњем низу, са глобалном температуром површине копна и океана од просјека од $+0,98^{\circ}C$. Ова вриједност је само $0,02^{\circ}C$ мања од рекордно високе вриједности од $+1,0^{\circ}C$ постављене 2016. године и само $0,03^{\circ}C$ изнад сада треће најтоплије 2019. године. Седам најтоплијих година у запису 1850–2020. године догодило се од 2014. године, док се 10 најтоплијих година догодило од 2005. Година 1998. више није међу 10 најтоплијих година у евиденцији, тренутно се налази на 11. мјесту. Година 2020. је 44. година заредом (од 1977) са глобалном температуром копна и океана, барем номинално, изнад просјека XX вијека. Декада 2011–2020. била је најтоплија забиљежена на свијету, са површинском глобалном температуром од $+0,82^{\circ}C$ изнад просјека XX вијека. Ово је премашило вриједност претходног декадног рекорда (2001–2010) од $+0,62^{\circ}C$ (NOAA 2021). Глобална годишња температура повећавала се просјечном стопом од $0,08^{\circ}C$ по деценији од 1880. године и више него

двоструко више од $+0,18^{\circ}\text{C}$ од 1981. године. Температура површине изнад копна и океана на сјеверној хемисфери 2020. била је највиша у 141-годишњем рекорду на $+1,28^{\circ}\text{C}$ изнад просјека. Ово је за $0,06^{\circ}\text{C}$ више од претходног рекорда постављеног 2016. Годишња температура површине копна и океана на јужној хемисфери била је пета забиљежена по рекордној вриједности.

Протекле три деценије најтоплије су од када постоје инструментална мјерења. Готово све године од 1990. године спадају међу глобално најтоплије, а пентада 2015–2020. године представља најтоплији петогодишњи период од када постоје мјерења (NOAA 2021). Десет најтоплијих година забиљежено је у XXI вијеку, а чак осам најтоплијих у посљедњој деценији (Таб. 5.1).

Таб. 5.1. Глобално најтоплије године у периоду инструменталних мјерења (1880–2020) (NOAA 2021)

Tab. 5.1. Globally the warmest year in the period of instrumental measurements (1880–2020) (NOAA 2021)

Ранг	Година	Одступање t ($^{\circ}\text{C}$)
1.	2016.	1,00
2.	2020.	0,98
3.	2019.	0,95
4.	2015.	0,93
5.	2018.	0,83
6.	2014.	0,74
7.	2010.	0,70
8.	2013.	0,66
9.	2005.	0,65
10.	2009.	0,64

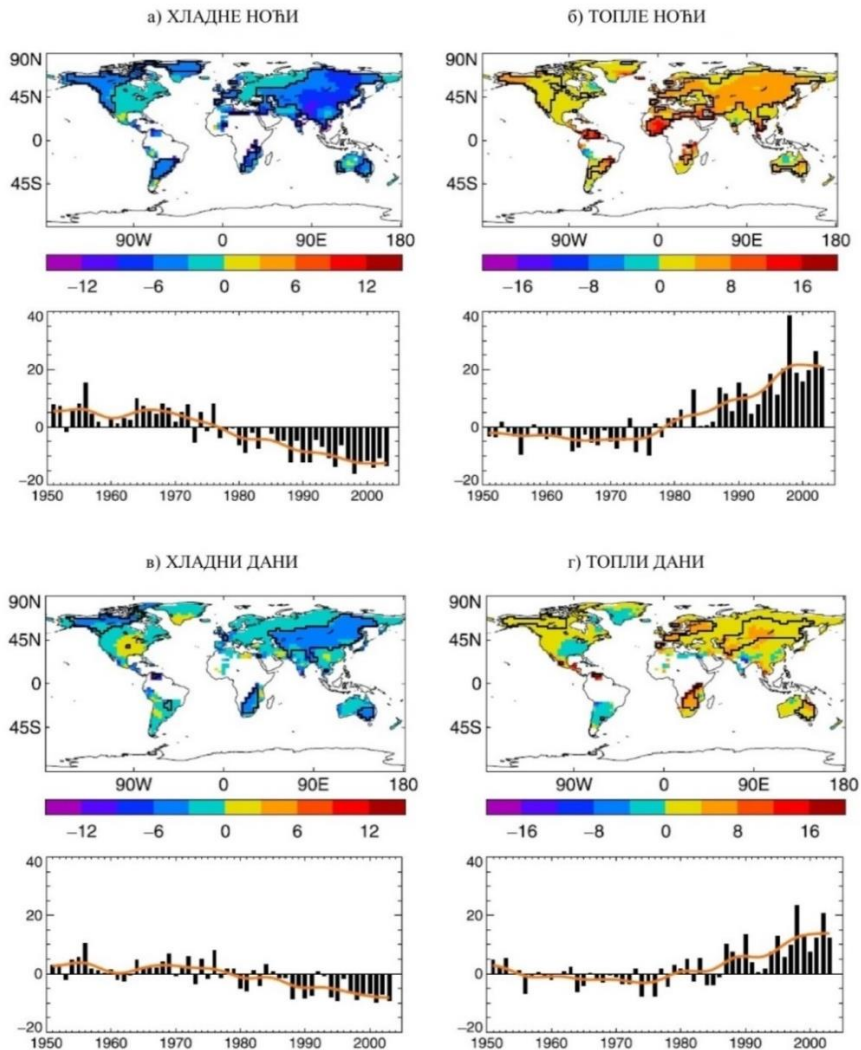
Усљед загријавања климатског система, осим позитивних трендова средњих температура ваздуха, уочене су промјене екстремних температура ваздуха. Анализа глобалних трендова екстремних температура показује да готово сви температурни индекси имају значајне промјене у другој половини XX вијека (1951–2003) (Alexander et al. 2006). Екстремне минималне температуре расле су по већим стопама него екстремне максималне температуре – најнижа дневна минимална температура порасла је у наведеном периоду за готово 5°C , што представља највећу промјену апсолутних температура (највеће повећање забиљежено је управо у Евроазији). Највиша минимална температура, најнижа максимална температура и највиша максимална

температура такође су у порасту у другој половини XX вијека, али је разлика између периода 1951–1978. и 1979–2003. године мање изражена. У периоду 1901–2003. године на 60% анализираних станица у свијету забиљежен је значајан пораст најниже дневне минималне температуре, а на преко 50% станица значајан пораст највише дневне минималне температуре (Alexander et al. 2006). Пораст екстрема минималне температуре очигледан је у свим годишњим сезонама, иако су промјене у периоду децембар–мај генерално израженије, док су најмање промјене забиљежене у сезони јесен. Максималне температуре показују сличан образац промјене, иако је пораст у свим годишњим сезонама много мањи. Анализа резултата по годишњим сезонама показује да су скоро све промјене екстремних температура у периоду 1951–2003. године значајне, осим промјене највише дневне максималне температуре у сезонама зима и љето (Alexander et al. 2006).

На глобалном нивоу примијећено је смањење броја неубичајено хладних дана и ноћи, као и повећање броја неубичајено топлих дана и ноћи – у већини подручја свијета присутан је тренд према топлијим и чешћим топлим данима и топлим ноћима и тренд према рјеђим и мање хладним хладним данима и хладним ноћима (Seneviratne et al. 2012; IPCC 2014a). Резултати истраживања Alexander et al. (2006) за три периода (1901–1950, 1951–1978. и 1979–2003. године) показују веома изражен негативан тренд појаве хладних ноћи, нарочито у посљедњем периоду. Такође, значајан је позитиван тренд појаве топлих ноћи током прошлог вијека, а посебно у посљедњих неколико деценија. На више од 75% анализираних станица аутори су утврдили значајан пораст учесталости топлих ноћи, а на више од 50% станица значајно смањење појаве хладних ноћи (Сл. 5.5).

Промјене у броју топлих дана и хладних дана, такође, потврђују тренд загријавања климатског система, али су те промјене мање изражене него промјене топлих и хладних ноћи – подаци су показали статистички значајне промјене у том правцу на 40–50% анализираних подручја.

Повећање броја дана са екстремно високим температурама и смањење броја дана са екстремно ниским температурама утврђено је у 70–75% региона (Trenberth et al. 2007). Наведени трендови нарочито су изражени од 1970-их година, од када долази до константног смањења учесталости појаве хладних ноћи и хладних дана и повећавања учесталости појаве топлих ноћи и топлих дана. Свака година од 1983. године била је изнад дугогодишњег просјека годишње појаве топлих ноћи, а свака година од 1980. године испод дугогодишњег просјека годишње појаве хладних ноћи (Alexander et al. 2006) (Сл. 5.5).



Сл. 5.5. Глобални трендови топлих и хладних дана и ноћи у XX вијеку (број дана по деценији приказано на карти и годишња одступања у односу на просјек у периоду 1961–1990. године приказано на графикону) (Alexander et al. 2006)

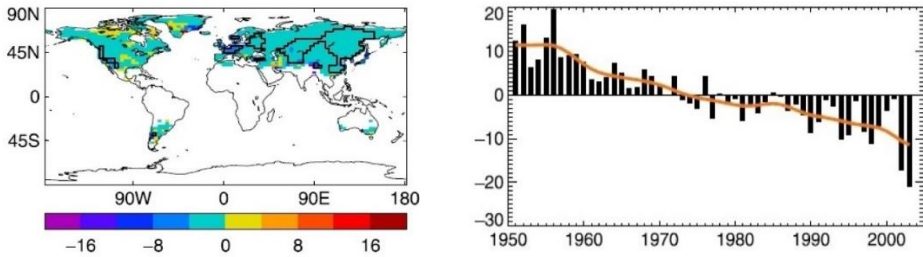
Fig. 5.5. Global trends of hot and cold days and nights in the twentieth century (number of days per decade shown on the map and annual deviations from the average in the period 1961–1990 shown in the graph) (Alexander et al. 2006)

Уочени глобални трендови присутни су и на европском континенту – од 1950. године екстреми високих температура (љетни дани, тропски дани, тропске ноћи и топли таласи) постали су учесталији, а екстреми ниских температура (хладни таласи, мразни дани и ледени дани) рјеђи (Dankers and Hiederer 2008; Kovats et al. 2014). Анализу трендова екстремних температура у Европи у другој половини XX вијека (1946–1999) извршили су Klein Tank and Können (2003), који су утврдили да изражен тренд загријавања у периоду 1976–1999. године ($0,43^{\circ}\text{C}$ по деценији у поређењу са $0,11^{\circ}\text{C}$ по деценији за цијели анализирани период 1946–1999. године) има за резултат и израженије трендове раста екстремних температура (четири индекса екстремних температура заснованих на перцентилима) у посљедњој четвртини XX вијека. Трендови годишње појаве хладних ноћи и топлих ноћи, као и хладних дана и топлих дана указују на тренд загријавање у Европи у другој половини XX вијека. Израженост и просторна кохерентност трендова већа је за хладне ноћи и топле ноћи него за хладне дане и топле дане. Позитивни трендови појаве хладних ноћи, топлих ноћи и топлих дана у периоду 1976–1999. године статистички су значајни ($p < 0,05$). Позитиван тренд од 11,3 дана по деценији довео је до готово удвостручавања годишњег броја топлих ноћи са 36 у 1976. години на 63 у 1999. години (што је смањило повратни период њиховог јављања са 10 на 6 дана) (Klein Tank and Können 2003).

Смањење броја мразних дана у XX вијеку забиљежено је у већем дијелу свијета, па и у бројним подручјима у средњим географским ширинама сјеверне хемисфере (Trenberth et al. 2007). Тренд смањења броја мразних дана уочен је и у Европи у другој половини XX вијека, као и тренд пораста броја љетњих дана. Негативан тренд годишњег броја мразних дана значајан је ($p < 0,05$) на готово половини анализираних станица у Европи, а позитиван тренд годишњег броја љетних дана на петини анализираних станица (Сл. 5.6. и Сл. 5.7). Тренд просјечног годишњег броја мразних дана износи $-1,7$ дана по деценији, а љетњих дана $+0,8$ дана по деценији. Према томе, у 1999. години било је просјечно 9,2 мразна дана мање и 4,3 љетња дана више него у 1946. години (Klein Tank and Können 2003).

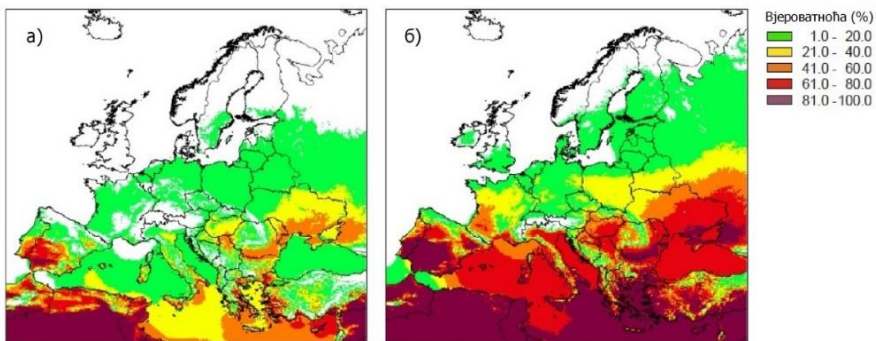
До сличних резултата дошли су и истраживачи у Републици Српској и Босни Херцеговини, гдје је утврђен негативан тренд годишњег броја мразних дана, који је статистички значајан у готово свим областима (Popov et al. 2017). Утврђене вриједности негативног тренда крећу се у распону од 2,1 до 6,4 дана по деценији. Осмотрени тренд најизраженији је у сјеверозападном дијелу територије (посебно у Бањој Луци), затим у Бугојну, Зеници и на највишој станици, Бјелашници. Генерално, године са најмањим бројем мразних дана забиљежене су након 1990. године, када тренд загријавања постаје

израженији. Изразито мали број мразних дана забиљежен је током посљедње деценије (Popov et al. 2017).



Сл. 5.6. Глобални тренд годишњег броја мразних дана у XX вијеку (број дана по деценији приказано на карти и годишња одступања у односу на просјек у периоду 1961–1990. године приказано на графикану) (Alexander et al. 2006)

Fig. 5.6. Global trend of the annual number of frosty days in the twentieth century (number of days per decade shown on the map and annual deviations from the average in the period 1961–1990 shown in the graph) (Alexander et al. 2006)



Сл. 5.7. Вјероватноћа појаве љетних дана у Европи у контролном периоду (а) и према сценарију климатских промјена (б) (Dankers and Hiederer 2008)

Fig. 5.7. Probability of summer days in Europe in the control period (a) and according to the climate change scenario (b) (Dankers and Hiederer 2008)

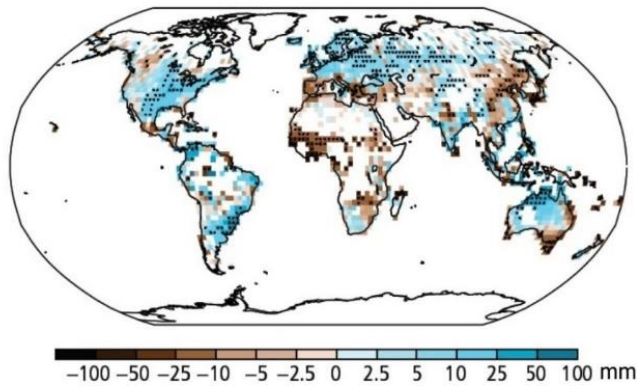
Претходне анализе указују на чињеницу да је евидентан тренд глобалног раста температуре ваздуха. Повећање температуре ваздуха нарочито је изражено на простору Европе и то у њеном јужном дијелу, гдје су и

смјештени Република Српска и Босна и Херцеговина. Овакав тренд температуре ваздуха нарочито ће имати утицаја на пољопривреду и водне ресурсе, те биодиверзитет и шумске екосистеме (Trbic et al. 2018). Адекватно планирање прилагођавања на новонастале климатске услове захтијева и темељно познавање и научно утемељење измијењених климатских услова. Због тога, наглашава се важност перманентног истраживања и публиковања научних радова на основу којих би се темељиле политике и стратешке смјернице прилагођавања на климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини (Вукмир и сар. 2009; Трбић и сар. 2013; Радусин и сар. 2013а; 2013б; Trbic et al. 2016; Супаћ et al. 2020).

5.2.4. Промјене режима падавина

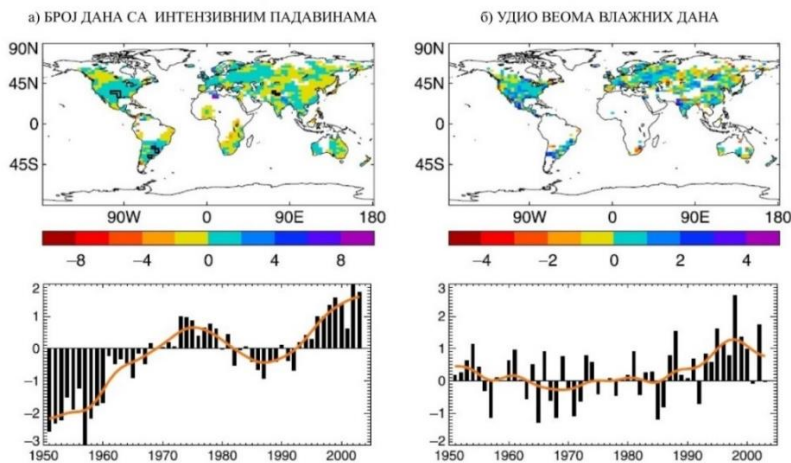
У средњим географским ширинама сјеверне хемисфере просјечна количина падавина повећана је од 1901. године (ипак уочени тренд постаје израженији тек након 1951. године) (IPCC 2014а). Иако различити параметри падавина показују тенденцију ка влажнијим условима, тј. ка њиховом повећању, које је у неким подручјима свијета и статистички значајно, мало је трендова који су значајни на глобалном нивоу (Alexander et al. 2006). Ипак, аутори су истраживањима утврдили значајно повећање годишње количине падавина на више од 20% станица у свијету – генерално, просјечна количина падавина повећана је током XX вијека у подручјима сјеверно од 30° с. г. ш., док у тропским подручјима од 1970-их година доминирају негативни трендови (Trenberth et al. 2007). Трендови падавина у Европи варирају регионално и сезонски – од 1950. године годишња количина падавина порасла је на сјеверу континента (до 70 мм по деценији), а смањена у дијеловима јужне Европе (Kovats et al. 2014) (Сл. 5.8).

Осмотрена све већа вјероватноћа појаве интензивних падавинских догађаја (> 90. и > 99. перцентила) у готово половини свијета указује да су промјене екстремних падавина веће од промјена средњих количина падавина у многим подручјима. Удио веома влажних дана (> 95. перцентила) у укупној годишњој количини падавина већи је посљедњих неколико деценија него у претходном периоду (Trenberth et al. 2007). У периоду 1961–1990. године повећан је удио > 95. перцентила у укупној годишњој количини падавина, а број дана са падавинама $\geq 10,0$ мм показује кохерентне обрасце позитивне промјене у дијеловима Европе, Русији, САД, јужној Африци и већем дијелу Аустралије (Frich et al. 2002). Ипак, промјене екстремних падавина много су мање кохерентне него што је то случај са промјенама температуре (Alexander et al. 2006) (Сл. 5.9).



Сл. 5.8. Промјена годишње количине падавина у свијету у периоду 1951–2010. године (IPCC 2014а)

Fig. 5.8. Change in annual precipitation in the world in the period 1951–2010 (IPCC 2014a)



Сл. 5.9. Глобални трендови екстремних падавина у XX вијеку (број дана са интензивним падавинама по деценији (а) и удио веома влажних дана (б) приказано на карти и њихова годишња одступања у односу на просјек у периоду 1961–1990. године приказано на графикану) (Alexander et al. 2006)

Fig. 5.9. Global trends of extreme precipitation in the twentieth century (number of days with intense precipitation per decade (a) and the share of very wet days (b) shown on the map and their annual deviations from the

average in the period 1961–1990 shown in the graph) (Alexander et al. 2006)

Индекси екстремних падавина у Европи у другој половини XX вијека показују позитивне трендове, иако је просторна кохерентност трендова мала. Број екстремних падавинских догађаја (на примјер, > 95. перцентила) у наведеном периоду вјероватно је порастао у многим регионима, чак и у онима у којима је дошло до смањења укупне количине падавина, што је у складу са глобалним трендом загријавања и примијећеним значајним повећањем количине водене паре у атмосфери (Trenberth et al. 2007; Seneviratne et al. 2012). На већини метеоролошких станица у Европи уочен је јасан позитиван тренд броја умјерено влажних дана (> 75. перцентила) и веома влажних дана (> 95. перцентила) у другој половини XX вијека (Klein Tank and Können 2003). Позитиван тренд најчешће је присутан на станицама гдје се и годишња количина падавина повећава. Обрнуто, негативан тренд углавном се јавља у областима гдје је присутно њихово смањење. Индекси екстремних падавина показују много мању просторну кохерентност него индекси екстремних температура, јер се чак и на малим удаљеностима (≈ 500 км) могу пронаћи позитивни и негативни трендови екстремних падавина. Релативни пораст екстремних падавина већи је од раста средњих количина падавина, што доводи до већег удјела обилних падавина у укупној количини падавина (Klein Tank and Können 2003). Посматрано по сезонама, екстремне падавине у сезони зима нарочито су порасле у средњој и западној Европи и у европском дијелу Русије, док је тренд падавина у сезони љето слаб и просторно некохерентан (Seneviratne et al. 2012).

Према пројекцијама климатских промјена, интензитет падавина, као и учесталост јављања екстремних падавина, и даље ће се повећавати. То је посебно важно са аспекта заштите биљног свијета, јер је утицај промјена екстремних падавинских догађаја на вегетацију и екосистеме много већи од утицаја промјене њихових средњих вриједности. Дуготрајне обилне кише и суша утичу на биљни свијет модификацијом садржаја воде у земљишту (Kreyling et al. 2008). Недостатак воде у земљишту доводи до смањења његовог водног потенцијала, што може узроковати стрес код биљака услед недостатка воде, док, насупрот томе, вишак воде у земљишним порима узрокује дефицит кисеоника и ствара средину у земљишту која је неповољна са аспекта доступности хранљивих материја, а може изазвати и знатно одумирање коријена. Оба механизма могу довести до смањења продуктивности или чак увенућа биљака ако пређу одређене границе. Велике суше и јаке пљусковите кише изазивају фенолошке промјене код биљака као постепено загријавање током једне деценије (Jentsch et al. 2009). Аутори су кроз ова истраживања током два вегетациона периода симулирали

стогодишње екстремне временске догађаје у средњој Европи који су узроковали фенолошке промјене десет врста трава и вријеса – 32 дана суше убрзали су датум цвјетања за 4 дана, а дужина трајања наведене фазе продужена је за 4 дана, док велике кише (170 мм у трајању 14 дана) нису имале значајан утицај на средњи датум цвјетања, али су смањиле дужину трајања наведене фенофазе за неколико дана. Прекомјерно влажне године могу изазвати пад приноса биљних култура због задржавања стагнирајуће воде и повећане заражености штеточинама. Интензивне пљусковите падавине могу оштетити младе биљке и изазвати ерозију земљишта. Ипак, већа количина падавина, али не и прекомјерна, током вегетационог периода може повећати приносе.

5.2.5. Промјене екстремних климатских догађаја

Климатски екстреми дефинишу се као „појаве вриједности временске или климатске варијабле изнад (или испод) одређеног прага близу горње (или доње) границе распона осматраних вриједности дате варијабле” (Lavell et al. 2012; IPCC 2012). Радна група за екстремне догађаје мреже Дугорочних еколошких истраживања (*Long Term Ecological Research*, LTER) користи сљедећу дефиницију: „екстремни климатски догађаји су статистички ријетки у фреквенцији, величини и/или трајању за дати климатски параметар или за комбинацију параметара у одређеном екосистему” (Dankers and Hiederer 2008). Уз претпоставку постојања „стандардног” стања, екстремни временски или климатски догађај IPCC дефинише као „догађај који је риједак у референтној статистичкој дистрибуцији на одређеном мјесту”. Иако дефиниције појма „ријетко” варирају, екстремни временски догађај треба да буде рјеђи од 10. или 90. перцентила (Dankers and Hiederer 2008).

Климатске екстреме можемо сврстати у двије велике групе: (1) екстреме засноване на једноставној климатској статистици, који укључују екстреме као што су врло ниске или врло високе дневне температуре ваздуха или велике количине дневних или мјесечних падавина, који се јављају сваке године и (2) сложеније екстремне догађаје, као што су: суша, поплава, топли таласи, урагани и др., који се не морају јавити сваке године на датом подручју (Easterling et al. 2000). Глобални трендови екстремних температура и падавина већ су анализирани у претходним поглављима, те ће овдје бити ријечи само о сложеним екстремним догађајима.

Анализе климатских промјена показују да долази до промјене фреквенције, интензитета, просторног распрострањења или трајања временских и климатских

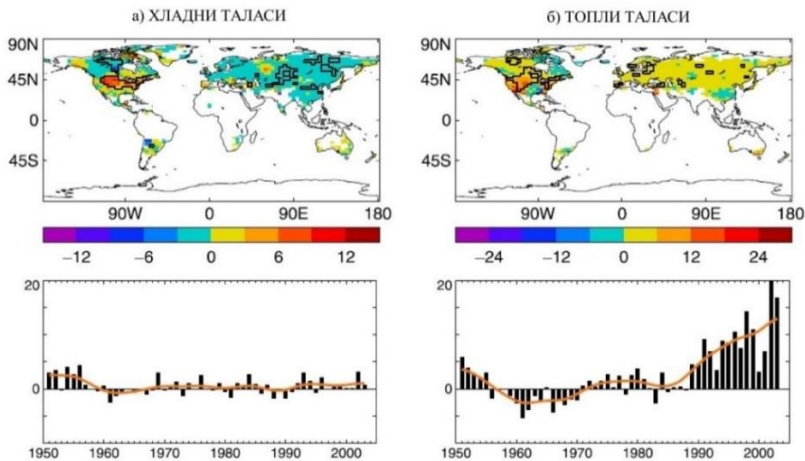
екстремних догађаја – првенствено климатских и хидрометеоролошких догађаја као што су: топли таласи, догађаји интензивних падавина, суше и тропски циклони (IPCC 2014а). Такве промјене имају за посљедицу повећање рањивости, као и повећање стреса за екосистеме у многим подручјима свијета (Lavell et al. 2012).

С обзиром на то да су екстремни догађаји ријетки, на располагању је мало података на основу којих би се закључивало о дугорочним промјенама њихове учесталости и интензитета (IPCC 2012). Ипак, истраживања су показала да су неки екстремни догађаји од 1950. године постали интензивнији и учесталији, првенствено као резултат повећања атмосферске концентрације гасова стаклене баште и глобалног загријавања (IPCC 2012; Bindoff et al. 2013). Неке од уочених промјена екстремних догађаја су: смањење екстремно ниских температура које су порасле, пораст екстремно високих температура које су постале још више, смањење броја мразних дана у средњим географским ширинама, повећање екстремно високих нивоа мора, повећање броја интензивних падавинских догађаја у бројним подручјима свијета итд. (Bindoff et al. 2013; IPCC 2014).

Вјероватноћа појаве топлих таласа удвостручена је у већем дијелу Европе (у средњој и источној Европи), у Азији (у Сибиру), у централној Аустралији, на Аљасци, у Канади итд. (Frich et al. 2002; Seneviratne et al. 2012; IPCC 2013, 2014). Повећана учесталост и дужина трајања топлих таласа уочена је у сезони љето у већем дијелу Европе (Handmer et al. 2012). Најинтензивнији топли талас у средњој и западној Европи забиљежен је у љето 2003. године, које је тада било најтоплије откад постоје инструментална мјерења (Handmer et al. 2012; Seneviratne et al. 2012). Температура ваздуха била је за 1,4°C виша од температуре до тада најтоплије, 1807. године (Trenberth et al. 2007; Seneviratne et al. 2012). Екстремни топли таласи у Европи забиљежени су и 2006, 2007. и 2010. године. За вријеме топлих таласа 2003. и 2006. године, температуре у сезони љето биле су за двије стандардне девијације више од до тада највиших мјесечних температура још од 1500. године (Seneviratne et al. 2012) (Сл. 5.10).

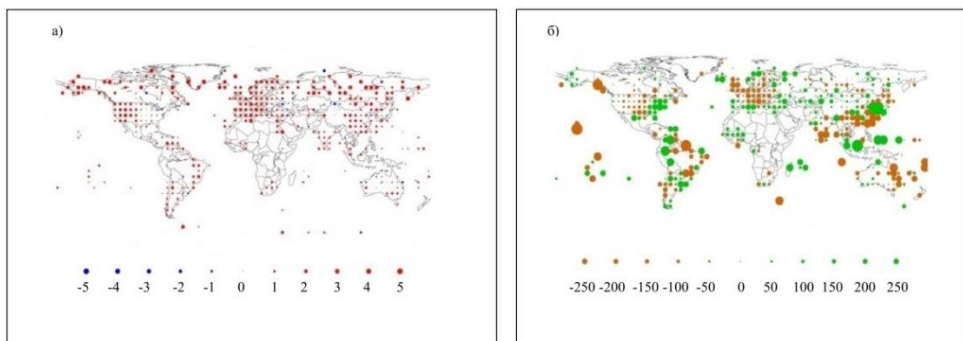
Очекује се да би посљедица смањења количине падавина и повећања испаравања усљед глобалног загријавања климатског система могла бити и повећање учесталости и интензитета суша у будућности (Сл. 5.13). Иако су поједине студије указале на то да се повећање учесталости и интензитета суша глобално већ дешава још од 1970-их година, Sheffield et al. (2012) наводе да је глобално повећање суша прецијењено – најчешће коришћени Палмеров индекс јачине суше (*Palmer Drought Severity Index*, PDSI) представља веома поједностављен модел потенцијалног испаравања који је

осјетљив само на промјене температуре, те на тај начин погрешно реагује на глобално загријавање присутно током посљедњих неколико деценија.



Сл. 5.10. Глобални трендови појаве хладних и топлих таласа у XX вијеку (број дана по деценији приказано на карти и годишња одступања у односу на просјек у периоду 1961–1990. године приказано на графикану) (Alexander et al. 2006)

Fig. 5.10. Global trends in the occurrence of cold and hot waves in the twentieth century (number of days per decade shown on the map and annual deviations from the average in the period 1961–1990 shown in the graph) (Alexander et al. 2006)



Сл. 5.11. Аномалије температуре ваздуха (у °C) (а) и количине падавина (у мм) (б) у свијету у 2003. години (NOAA National Centers for Environmental Information 2005)

Fig. 5.11. Anomalies of air temperature (in °C) (a) and precipitation (in mm) (b) in the world in 2003 (NOAA National Centers for Environmental Information 2005)

Реалније калкулације, засноване на фундаменталним физичким принципима који узимају у обзир и промјене доступне енергије, влажности и брзине вјетра, указују на то да се режим суша мало промијенио током протеклих шездесет година (Sheffield et al. 2012). Студија Damberg and AghaKouchak (2014), заснована на сателитским осматрањима падавина, показује да у областима у којима се јавља суша не постоји значајан тренд у протекле три деценије. Међутим, ако се хемисфере посматрају одвојено, на јужној хемисфери присутан је значајан позитиван тренд, који није примијећен на сјеверној хемисфери. Студија је ипак показала да је у неким регионима свијета, као што су југозапад Сједињених Америчких Држава, Тексас, дијелови Амазона, Рог Африке, сјеверна Индија, дијелови Медитерана и др., присутан значајан тренд повећања аридности (Damberg and AghaKouchak 2014).

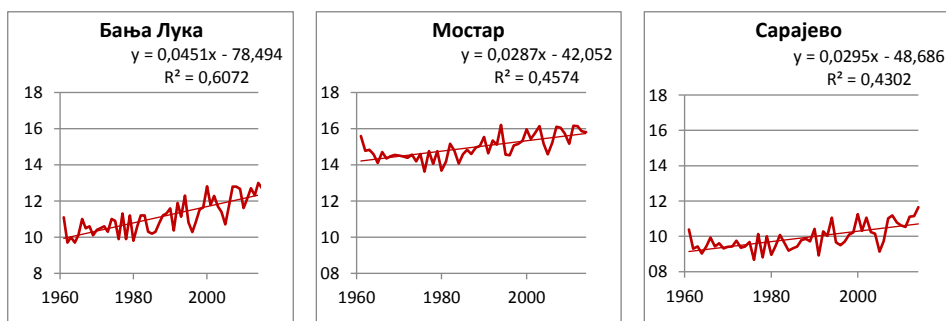
5.3. Трендови климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини

У посљедњој деценији уочене су сигнификантне промјене температуре ваздуха на територији Републике Српске и Босне и Херцеговине (Трбић и сар. 2013; Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b; Попов 2020). Позитивне промјене су присутне у свим годишњим добима.

5.3.1. Температура ваздуха

На основу анализа климатских елемената за период 1961–2018. године, средња годишња температура задржава континуирани пораст на читавој територији. Уочен је позитиван линеарни тренд у средњој годишњој температури, који је нарочито изражен у посљедњих 40 година. Трендови годишњих температура на свим анализираним станицама су статистички значајни, а промјене су више изражене у континенталном дијелу. Повећање температуре ваздуха на годишњем нивоу креће се у распону од 0,4°C до 1,2°C, док пораст температуре током вегетационог периода (април–септембар) иде и до 1,4°C (Сл. 5.12). Међутим, повећања температуре током посљедњих осамнаест година још су више изражена. У анализираном

периоду, сви индекси топлих температурних екстрема имају позитивне трендове, док су индекси хладних температурних екстрема са негативним трендом. Најзначајнија промјена у овом периоду уочава се код броја хладних и топлих дана. На свим метеоролошким станицама, број хладних дана има негативни тренд. У централним планинским подручјима, број хладних дана смањен је за 4 дана по деценији, док је на југу земље смањење нешто мање и креће се 2 дана по деценији. Број топлих дана има позитиван тренд и статистички је значајан.



Сл. 5.12. Трендови температуре ваздуха у три града БиХ, 1961–2018.

Fig. 5.12. Air temperature trends in three cities of B&H, 1961–2018

Од десет најтоплијих година у посматраном периоду 1961–2018, девет година забиљежено је од 2000. године (тек 1994. године била је међу десет најтоплијих). Међу најтоплијим годинама у анализираном периоду биле су: 2000, 2007, 2008, 2014, 2015. и 2016. година. Година 2014. била је најтоплија година у већем дијелу Републике Српске и Босне и Херцеговине. У Семберији су од 2014. године топлије биле тек 2008. и 2015. У Мостару је било најтоплије у 2015, затим у 1994, 2011. и 2012. године (занимљиво је да постоје врло мале разлике у просјечној годишњој температури у Мостару током десет најтоплијих година). Од 1990. године, када је тренд загријавања све израженији, само неколико година је хладније од просјечног климатског периода (1961–1990) и то: 1991, 1996, 1995. и 1997. На сјеверозападу, најхладније године забиљежене су на почетку анализираног периода. У Бањој Луци и Приједору најхладније је било 1962. и 1964. године. На подручју од Добоја до Бијељине најхладније је било 1963. године, а на подручју Сарајева и Сокоца, као и у Херцеговини, 1976. године.

У посматраном периоду 1961–2018, на цијелом подручју Републике Српске и Босне и Херцеговине постоји негативан тренд у годишњем броју мразних дана који је статистички значајан у готово свим подручјима. Вриједности

негативног тренда крећу се од 2,1 до 6,4 дана по деценији (Popov et al. 2017). Промјена тренда најизраженија је на сјеверозападном дијелу територије. Након 1990. године забиљежене су године с најмањим бројем мразних и ледених дана. У посљедњој деценији био је изузетно мали број ледених дана, када је глобално загријавање било најизраженије.

На бази претходног, може се закључити да температуре ваздуха имају изражен тренд раста. Пораст температуре ваздуха условљава промјене осталих климатских елемената, те изражен притисак на животну средину и природне ресурсе. Слична ситуација је и у земљама региона југоисточне Европе, гдје повећање температура уз измијењен режим падавина током године условљава повећан интензитет и фреквенцију екстремних климатских догађаја, од којих су најизраженије суше и поплаве (Ducić 2008; Branković et al. 2013; Burić et al. 2013; Kovačević et al. 2013; Luković 2015; Vuković et al. 2018).

5.3.2. Падавине

У периоду 1961–2018, на већем дијелу територије Републике Српске и Босне и Херцеговине забиљежено је незнатно повећање количине падавина на годишњем нивоу. Линеарни трендови за вишегодишњи период 1961–2018. упућују на стагнацију или незнатан пораст количине падавина. Промјене у висини падавина израженије су по сезонама него на годишњем нивоу (Дуцић и сар. 2008). Иако нису забиљежене сигнификантне промјене количине падавина, у великој мјери је поремећен плувиометријски режим, односно годишња расподјела (Дуцић и сар. 2014). Због повећаног интензитета падавина и његове веће промјењивости, као и због повећаног удјела јаких киша у укупној расподјели падавина, повећан је ризик од поплава, нарочито у централном и сјеверном дијелу Босне и Херцеговине, гдје су током маја 2014. године забиљежене катастрофалне поплаве. На основу досадашњег истраживања климе и климатских промјена, детерминисане су највеће промјене у јужном, сјеверном и сјеверозападном дијелу Босне и Херцеговине. Највеће промјене манифестоване су кроз повећање интензитета и фреквенција екстремних климатских догађаја (поплава, суша, олујних вјетрова, дана са појавом града, дуготрајних топлотних таласа, екстремних температура...). Током посљедње двије деценије, током сваке године догоди се неки од наведених екстрема, а на неким мјестима се деси и неколико различитих екстремних догађаја. Досадашња истраживања показала су и све већу варијабилност климата у свим годишњим добима. Брзе и интензивне промјене дешавају се у кратким периодима из екстремно

хладних у топле временске прилике, или из периода екстремно обимних падавина у сушне периоде (Трбић и сар. 2011; 2013).

5.3.3. Екстремне климатске појаве

Шест од посљедњих 10 година биле су веома суве до екстремно суве, а пет година су биле обиљежене екстремним поплавама. Током посљедње деценије (2010–2020), готово све године су имале обиљежја екстремних временских прилика: поплаве 2009, 2010, 2014. и 2019. године, суша и јаки топлотни талас 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017. и 2019. године; талас хладноћа почетком 2012. године; снажан вјетар средином 2012, крајем 2017, и почетком 2018. године; екстремно велик број дана са појавом града у 2018. години (78 дана цјелокупан систем противградне превентиве је био у приправности, а током 43 дана метеоролошка ситуација је захтијевала дејства против градних ракета, што је дупло више у односу на просјек). Како је раније наведено, екстремима су највише погођени јужни, сјеверни и сјеверозападни дијелови земље. Ако се узму у обзир сви екстремни климатски догађаји који су се догодили у посљедње двије деценије, на југу је највише угрожено Требиње (суша, топлотни таласи, олујни вјетрови, интензивне падавине...), у сјеверном дијелу Бања Лука, Приједор, Градишка, Добој и Бијељина (поплаве, суше, топлотни таласи, олујни вјетрови...).

Повећање интензивних падавина постало је израженије од почетка XXI вијека. Поред тога, у овом периоду примијећен је пораст међугодишње промјенљивости падавина. Оваква истраживања треба да допринесе превазилажењу постојећег јаза у сазнањима о недавним промјенама екстремних падавина. Једно од кључних питања је и примјена ефикасног планског прилагођавања на климатске промјене и интегрисање проблема климатских промјена у секторске стратегије (Porov et al. 2019).

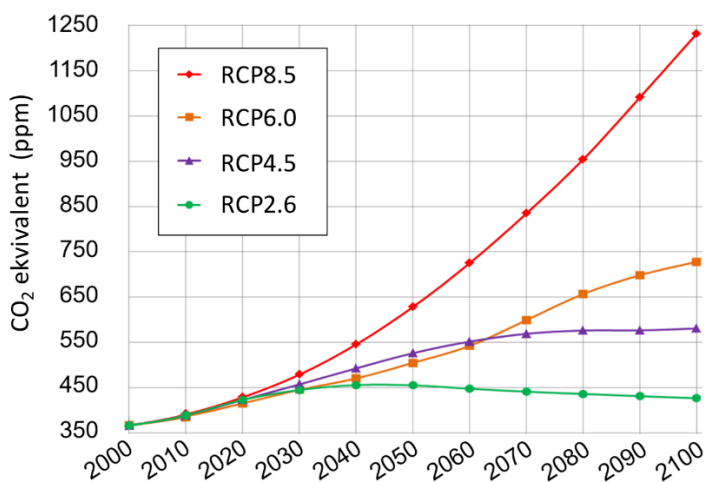
5.3.4. Очекиване климатске промјене до краја XXI вијека

Током посљедњих година вршен је развој климатских модела и сценарија за територију Босне и Херцеговине. Моделовање је вршено на бази различитих сценарија будућих концентрација гасова са ефектом стаклене баште. Разматрани сценарији будућих концентрација су сценарио RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.6, који су дефинисани у Петом извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (IPCC 2014a). Основу за анализу могућих

будућих промјена климе чиниле су процјене промјена основних климатских елемената: средње дневне температуре, минималне дневне температуре, максималне дневне температуре и дневне акумулације падавина, на годишњем и сезонском нивоу, за четири сезоне, децембар–јануар–фебруар (ДЈФ), март–април–мај (МAM), јун–јул–август (ЈЈА) и септембар–октобар–новембар (СОН). Поред ових резултата, приказане су и промјене одабраних климатских индекса, као индикатора могућих промјена у интензитету и учесталости екстремних временских и климатских догађаја, који могу изазвати негативне консеквенце у функционисању природних екосистема и различитих друштвено-економских сектора, као што су пољопривреда, шумарство, водни ресурси, здравље људи, биодиверзитет, екосистемске услуге итд. Све будуће промјене приказане су за период од 2016. до 2100. године и то у односу на референтни климатски период 1986–2005. године, који је коришћен као референтни и у посљедњем Петом извјештају Међувладиног панела за климатске промјене. Посебан фокус стављен је на три будућа двадесетогодишња периода, период блиске будућности 2016–2035, средине XXI вијека 2046–2065. и краја XXI вијека 2081–2100, који су такође били одабрани и за приказ резултата у Петом извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (Ђурђевић и Трбић 2020).

У Петом извјештају Међувладиног панела за климатске промјене дефинисана су четири могућа сценарија будућих глобалних концентрација гасова са ефектом стаклене баште, тзв. Правци репрезентативних концентрација (*Representative Concentration Pathway*, RCP). Ова сценарија представљају могуће промјене концентрација гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери у периоду 2006–2100. године, које би на првом мјесту биле посљедица будућих глобалних антропогених емисија истих гасова. Како промјена концентрације гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери доводи до стварања енергетског дисбаланса у климатском систему Земље, уведена је нумеричка ознака сценарија, која указује на величину овог дисбаланса израженог у $W m^{-2}$. Тако би, према сценарију RCP 8.5, енергетски дисбаланс на крају овог вијека износио $8,5 W m^{-2}$, према сценарију RCP 6.0, дисбаланс би био $6,0 W m^{-2}$, према RCP4.5 сценарију, $4,5 W m^{-2}$, и према RCP2.6 сценарију, $2,6 W m^{-2}$. Сценарија RCP2.6 и RCP4.5 претпостављају да ће у будућности, условно говорећи, доћи до стабилизације концентрација гасова са ефектом стаклене баште, док ће према сценаријима RCP8.5 и RCP6.0, њихова концентрација наставити да расте, односно да прати трендове осматрене у прошлости (Сл. 5.13). Сценарио RCP2.6 чак претпоставља да би у другој половини овог вијека концентрација гасова са ефектом стаклене баште чак могла да опада, што би захтијевало да антропогене емисије у једном тренутку постану једнаке нули, тако да би

потенцијални понори гасова могли да доведу до смањивања њихове концентрације. У том смислу, сценарио RCP2.6 се може сматрати „оптимистичним”, док се са друге стране сценарио RCP8.5, према коме концентрације расту до вриједности приближно 1.250 ppm (еквивалентног CO₂), може сматрати „песимистичним”, или, како се колоквијално још назива овај сценарио, „business us usual” сценарио, с обзиром на то да би према овом сценарију енергетске политике појединачних земаља, првенствено у смислу коришћења фосилних горива, остале непромијењене и у будућности. Преостала два сценарија могу се сматрати опцијама које се налазе негдје између ова два екстрема.



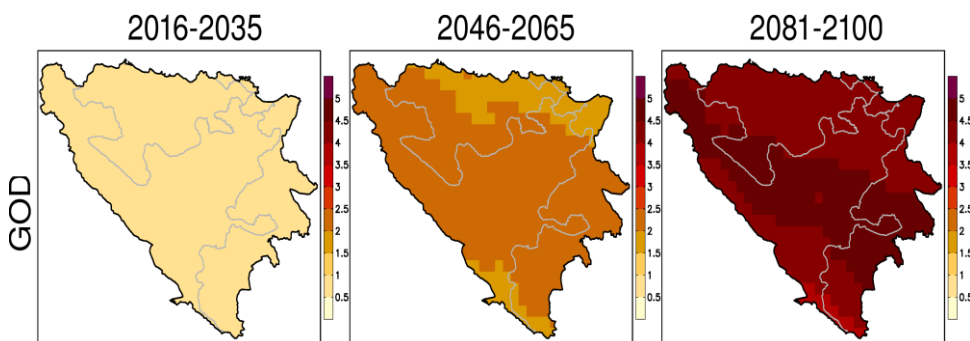
Сл. 5.13. Будуће концентрације гасова са ефектом стаклене баште за четири различита сценарија у БиХ (Kirtman et al. 2013)

Fig. 5.13. Future greenhouse gas concentrations for four different scenarios in B&H (Kirtman et al. 2013).

5.3.4.1. Очекиване промјене температуре ваздуха

Према најекстремнијем сценарију (RCP8.5), до 2035. године просјечна температура на подручју Босне и Херцеговине ће бити већа за +0,5°C до +1,5°C. За период 2036–2065, промјене се крећу од 1,5°C до 3°C, док се за период 2081–2100. пораст температуре креће од 2,5°C до 5°C. Овдје посебно истичемо пораст максималних дневних температура за сезону јун–јул–август, када је пораст температуре у већем дијелу земље већи од 5°C (Сл. 5.14). Промјене температуре веће су у планинским областима, што је јасно уочљиво

у случају промјена за последњи анализирани период 2081–2100 (Ђурђевић и Трбић 2021)⁴.



Сл. 5.14. Промјена средње дневне температуре (°C) у односу на референтни период 1986–2005. за сценариј RCP8.5 (Ђурђевић и Трбић 2021)
 Fig. 5.14. Change in mean daily temperature (°C) in relation to the reference period 1986–2005 for scenario RCP8.5 (Djurdjevic i Trbić, 2021)

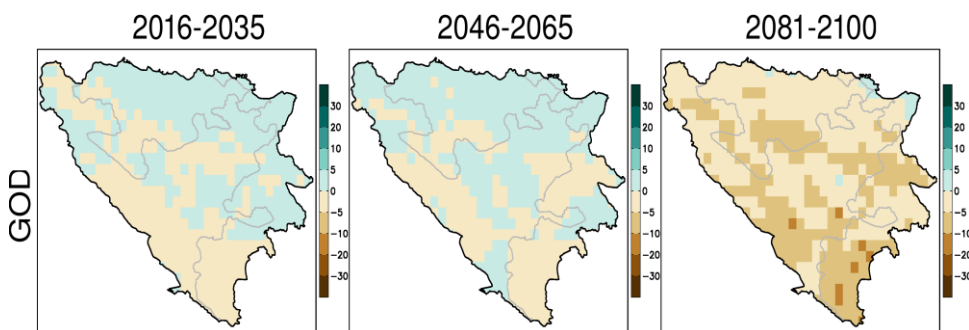
До краја овог вијека, према свим сценаријима, број љетних дана ће се повећати. За сценариј RCP8.5 промјена броја љетних дана се значајно повећава за даље временске хоризонте и за период 2036–2065. она износи до 40 дана више, у појединим дијеловима до 50 дана више, док је за последњи период промјена најизраженија и износи до 60 дана, скоро на цијелој територији земље. Овакве пројектоване промјене могу условити велики утицај на сектор водних ресурса и појачати утицај суша. Земљишни ресурси и пољопривредна производња у Републици Српској и Босни и Херцеговини у том случају би били један од најугроженијих сектора, што би захтијевало планско и интегрално прилагођавање.

5.3.4.2. Очекиване промјене падавина

На Сл. 5.15. приказане су пројекције просјечне годишње вриједности дневних акумулација падавина за узастопне двадесетогодишње периоде, почевши од двадесетогодишњег периода 1986–2005. до периода 2081–2100, у односу на референтни период 1986–2005. За разлику од промјена температуре, промјене падавина показују нешто сложенију структуру, са могућим и позитивним и негативним промјенама у односу на референтни период, посебно за периоде у блиској будућности, када климатски сценариј показује

⁴ Сlike су резултат властитих истраживања и моделовања.

да се могуће промјене крећу у распонима од -5% до +5% у односу на вриједности из референтног периода. Разлике између сценарија уочљиве су тек за периоде на крају двадесет првог вијека, при чему се издваја сценарио RCP8.5, према коме је на крају вијека очекивана вриједност промјене око -10%, са распоном од -4% до -15%. Са друге стране, према сценарију RCP2.6, до краја овог вијека могућа промјена падавина ће остати у распону од -3% до +3% у односу на вриједности из референтног периода. Према сценарију RCP6.0, крајем вијека укупан распон могуће промјене је негативан, слично као у случају сценарија RCP8.5, са вриједностима од -1% до -5%, а очекивана вриједност, односно средња вриједност моделског ансамбла, јесте -3%. У случају сценарија RCP 4.5, очекивана вриједност је око -1%, док је очекивани опсег од +3% до -5%. Према приказаним резултатима, једино у случају сценарија RCP8.5 будуће промјене могу бити значајније и то у другој половини двадесет првог вијека, када би према овом сценарију требало очекивати смањење укупних падавина, и промјену климатских услова у смислу потенцијалног губитка падавина на годишњем нивоу (Ђурђевић и Трбић 2021).



Сл. 5.15. Промјена средњих дневних падавина (у %) у односу на референтни период 1986–2005. године, за сценариј RCP8.5 (Ђурђевић и Трбић 2021)

Fig. 5.15: Change in daily precipitation (%) compared to the reference period 1986–2005, for scenario RCP8.5 (Ђурђевић и Трбић 2021)

Према свим сценаријима, може се очекивати да ће број дана са падавинама већим од 20 мм бити повећан. Промјене се крећу од +5% до +20% (у сјеверном, централном и источном дијелу територије Босне и Херцеговине гдје су промјене позитивне) и до -5% (на јужним дијеловима на којима је промјена негативна). У случају сценарија RCP 8.5, за период 2081–2100, ова промјена је нешто израженија на већем дијелу територије и она износи до +20%, а у појединим мањим областима и преко +30%.

Према климатском сценарију RCP8.5, промјена дневних акумулираних падавина на годишњем нивоу се за прва два периода креће у опсегу од -5% до +5%, а за посљедњи анализирани период (2081–2100) је негативна и у појединим дијеловима земље мања и од -10%. Сезона са највећим губитком падавина је јун–јул–август (ЈЈА), што је посебно изражено за сценариј RCP8.5, за који је током посљедњег периода могуће смањење падавина мање од -30% на југу земље. Овај дефицит љетних падавина је очигледно и главни допринос негативној промјени укупних падавина на годишњем нивоу (Сл. 5.15). Овакве пројекције упућују на закључак да ће водни ресурси бити доста угрожени у Босни и Херцеговини. Очекиване промјене температуре ваздуха и количине падавина, те интензивних падавина, упућују на већи интензитет и фреквенцију поплава и суша. Интегрално управљање водним ресурсима и земљиштем постаје један од најважнијих изазова климатских промјена. Ово ће захтијевати добру сарадњу и заједничку акцију академске заједнице, јавних институција, те креатора политике и доносилаца одлука.

5.4. Утицај климатских промјена на природу

Разумијевање образаца климатских промјена биће од велике важности у многим примијењеним студијама – у управљању ризицима од суша, поплава, пољопривредном планирању, управљању земљиштем, шумским или водним ресурсима, очувању животне средине, односно генерално утицају на природне ресурсе. Утицаји климатских (промјена) догађаја, посебно њихових екстрема на биљни и животињски свијет нису одређени само интензитетом већ и физиолошком осјетљивошћу живих бића, као и њиховом способношћу да их превазиђу својим понашањем, активношћу и физиологијом, те нивоом изложености утицају тих догађаја (Handmer et al. 2012; IPCC 2012).

Сходно напријед наведеном, присутне и очекиване климатске промјене ће свакако имати значајан утицај на распоред природних ресурса, њихову стабилност, опстанак, као и могућност одрживог коришћења. Због тога се релације природни ресурси и климатске промјене данас у свијету двојачко анализирају и прате:

- кроз адаптацију (прилагођавање) истих на климатске промјене,
- кроз митигацију (ублажавање) климатских промјена постојањем и одрживим коришћењем истих.

5.4.1. Ефекти климатских промјена на фенологију и раст

Бројне студије показале су да је повећање температуре ваздуха резултирало промјенама у фенологији биљака. У регионима гдје је присутан тренд загријавања, промјене у фенологији биљака углавном су се манифестовале у ранијој појави прољећних фенофаза (на примјер, пупање, листање и цвјетање) и у каснијој појави јесењих фенофаза (на примјер, промјена боје лишћа и опадање лишћа) (Easterling 2002; Scheifinger et al. 2003; Trbić 2010; Skaggs and Irmak 2012; Anandhi et al. 2013; Dai et al. 2013; Wypych et al. 2017; Malinovic-Milicevic et al. 2018; Vitasse and Rebetez 2018; Fűzi and Ladányi 2020; Graczyk and Szwed 2020). Међутим, те промјене нису исте у свим регионима, као и код свих таксона (Parmesan 2006; 2007; Cleland et al. 2012; Ma and Zhou 2012). Ови ефекти могу бити како директни, на опстанак и динамику популације појединих врста (на примјер, генерација не успије да се репродукује за вријеме повољних климатских услова), и индиректни (на примјер, фенолошка неусклађеност између биљака и опрашивача).

Свакако, климатске промјене дјелују на биљке и животиње. Тако је, на примјер, доказано да повећање температуре повећава раст биљака на вишим надморским висинама, али само у првих неколико година, вјероватно због каснијег ограничења доступних хранљивих састојака или воде (Arft et al. 1999). Отуд слиједи закључак да је очекивати да ће биљке загријавањем повећавати раст и величину све док не достигну тачку у којој други фактори ограничавају раст (тзв. Либигов ефекат).

Климатски фактори такође могу дјеловати као силе селекције, упркос потенцијално високим нивоима протока гена. Доста истраживања указује да се популације биљака могу прилагодити својом генетичком варијацијом у одговору на климатске промјене (Jump et al. 2006; 2009; Anderson et al. 2012). Међутим, упркос овом потенцијалу за генетске „одговоре“, мало је директних научних доказа (Donnelly et al. 2012; Boutin and Lane 2014). У случајевима када су генетичке промјене доказане, још није јасно да ли оне одражавају адаптивне одговоре, да ли су директно изазване климатским промјенама и да ли су довољне да прате будуће климатске промјене (Franks et al. 2014)?

Међу конкретним истраживањима у непосредном окружењу (Хрватска), географски најближе простору Босне и Херцеговине, примјер утицаја климатских промјена на фенологију јесу истраживања почетка листања и цвјетања код јоргована у периоду 1961–2010. године. Доказан је сигнификантно ранији почетак листања и цвјетања обичног јоргована са трендом 2–5 дана по деценији. Аутори ово објашњавају значајним

повећањем температуре ваздуха, односно утицајем климатских промјена на биљке (Jelić i Vučetić 2011). Слични резултати за јабуку, у смислу ранијег цвјетања (3–4 дана по деценији), за дио горске Хрватске у односу на низинску (2 дана по деценији), наводе се у (Anonimus 2009). У истој публикацији наводи се да је цвјетање маслине раније 2 дана по деценији на сјеверном Јадрану, а у Далмацији 3 дана по деценији. Све анализе утицаја климатских промјена на биљке показале су да је у Хрватској у свим климатским зонама ранији почетак цвјетања посматраног биља у прољеће, што се приписује посљедицама топлије зиме и прољећа. У јесен се не уочава тако уједначено кашњење промјене боје и опадања лишћа у свим климатским зонама, тј. вегетациони период је продужен у низинској Хрватској, али не и у горској.

Даље, Šestan (2012) кроз симулацијске сценарије потврђује кључни утицај температуре ваздуха на лисне фенофазе шумског дрвећа, али и указује на то да све фенофазе не реагују једнако на температурне промјене. Резултати тих истраживања показују да су на осцилације температуре ваздуха, у просјеку, најосјетљивије фенофазе F_1 (почетак листања), F_4 (лишће је потпуно пожутјело) и F_0 (лишће је потпуно отпало) и то најприје фенофаза F_1 , која прва реагује на промјену. Може се закључити да су биљке најосјетљивије на утицај температуре ваздуха на почетку вегетационог циклуса.

Ćirković-Mitrović et al. (2013) доказују значајну корелацију између прираста пречника код засађених стабала црног бора у Београду, у периоду 1985–2010. и климатских карактеристика (Thornthwait-ов климатски индекс, плувиометријски режим, климатски индекс и сл.).

На основу дендрохронолошких истраживања и веома скромних истраживања фенофаза код неких четинара и знања из иностранства, може се очекивати помицање фенолошких фаза за већину врста (раније листање и цвјетање, дужа вегетацијска сезона).

5.4.2. Ефекти на еколошке процесе и функционисање екосистема

У процјени стања природе за подручје Европе и централне Азије (IPBES 2018) наведено је доста резултата који указују на то да климатске промјене утичу на вегетацију и функционисање екосистема у Европи, али снага и смјер зависе од региона, јединице за анализу и од природе климатских промјена. Релативни значај климатских промјена и других истовремених притисака на функционисање екосистема је тешко прецизно раставити. Под повећаним температурама повећава се дисање земљишта, активност микроба (Sowerby

et al. 2005) и разградња лигнификованих материјала (Zell et al. 2009), али само ако постоји довољно влаге (Poll et al. 2013).

Такође, глобалне (свеобухватне) анализе откривају да се биљна биомаса, продуктивност, дисање, фотосинтеза на нивоу екосистема и нето унос угљеника углавном подстичу повећаним, односно потискују смањеним падавинама (Wu et al. 2011). Резултати показују да су екосистеми генерално осјетљивији на повећање него на смањење падавина. Падавине такође утичу на разградњу, са стопом пропадања грубих дрвенстих отпадака са око 1.250 мм годишње у умјереној западној Европи (Zell et al. 2009). Зимске промјене падавина такође утичу на екосистеме, а експерименти за манипулацију дубином снијега откривају да смањење дубине снијега може смањити одлив CO₂ у земљишту, повећати одлив N₂O и повећати концентрацију азота (Blankinship and Hart 2012).

Миграције врста кроз географску ширину и надморску висину доказане су за многе таксоне. Претпоставља се да је и у случајевима „слабе реакције” врсте у питању њен „одложен” одговор. Помјерања животињских врста према сјеверу брзином од 12,5 км до 19 км у десет година преовлађују за копнене врсте, укључујући птице и сисаре (Hickling et al. 2006). Слични помаци се односе дуж надморских висина, али нису свеprisутни у широком спектру таксономских група.

Прелиминарна истраживања у Србији показују да је лоше стање шумских екосистема повезано са промјеном климе током посљедњих 35 година, а да најдоминантнији фактор представља смањење подземних вода у овом подручју. Очекује се да ће додатни дефицит падавина и пораст температуре у будућности условљавати још израженије негативне утицаје. Предвиђени пораст температуре, те чешћи и дужи сушни периоди, доприносе бржем ширењу и повећању шумских површина које ће бити погођене пожарима.

У Хрватској су (Pilaš et al. 2014) истраживали одговор главних типова шума на климатске аномалије у периоду 1998–2005. године, те су установили да се јавља опортунистичко понашање обичне букве и храстова као одговор на промјене климе. Antoniћ et al. (2000) су у моделима распрострањености главних типова шума у Републици Хрватској до 2030. године прилично сигурно утврдили да ће доћи до смањења распрострањености шума јеле и букве у Горском котару, као и смањења распрострањености подручја шума храста црнике, док се предвиђа ширење распрострањености шуме храста медунца. Даље, ови аутори су истраживали утицај климатских промјена на еколошку нишу обичне јеле и показали могућност значајног смањења

просторне дистрибуције еколошке нише јеле за 85% у односу на данашње стање.

Топли таласи могу директно негативно утицати на екосистеме (на примјер, смањењем доступне воде и ограничавањем циклуса кружења угљеника и азота могу смањити нето размјену CO₂ у екосистему), што може резултирати потенцијалним смањењем нето примарне производње или чак смрћу организама. Чешће топле године могу довести до смањивања апсорпције CO₂ у копненим екосистемима, па у условима екстремних температура шумски екосистеми могу постати нето извор угљеника (Handmer et al. 2012). Смањење бруто примарне продуктивности за 30%, заједно са смањеним дисањем у екосистемима широм Европе током топлог таласа 2003. године, резултирао је снажним нето извором CO₂ (0,5 Pg угљеника годишње) у атмосферу и обрнутим ефектом четири године нето секвестрације угљеника у екосистеме (Ciais et al. 2005).

Ипак, аутори овог текста нису нашли ниједан литературни извор који експлицитно кроз научно утемељене и потврђене експерименте показује утицај климатских промјена на нивоу посматраног екосистема или еколошког процеса експлицитно на нивоу Републике Српске (БиХ). Иако се доста пише о (углавном) негативном утицају климатских промјена на екосистеме у Босни и Херцеговини, све се базира на сазнањима међународних истраживања и објављених резултата.

5.4.3. Ефекти екстремних догађаја

Климатске промјене са собом носе екстремне и мање предвидљиве временске догађаје (топлотни таласи, суше, поплаве, обилне падавине, олујни вјетрови) који утичу на живи свијет. Према неким ауторима, просторни распоред шумских екосистема дјелимично се објашњава климатским екстремима, уз просјечне климатске показатеље (Zimmermann et al. 2009). Кроз примјере о екстремним временским догађајима добијамо важне информације о одговорима екосистема. На примјер, необично топло и суво љето 2003. године у западној и централној Европи резултирало је смањењем примарне продуктивности и повећаним нето приливом угљеника у атмосферу (Ciais et al. 2005; Reichstein et al. 2007). Дрвеће које је расло на високим узвишењима имало је користи од ослобађања сњежног покривача, док је дошло до смањеног раста дрвећа на нижим надморским висинама због повећане евапотранспирације (Jolly et al. 2005). Смањење је било највеће на травњацима и ратарским површинама (Reichstein et al. 2007), док су међу шумама букве и медитеранске лишћарске шуме биле најосјетљивије

(Granier et al. 2007). Слично томе, показано је да друге суше смањују број цвјетних изданака и узрокују сушење шума, мијењајући рањивост шума на штетне агенсе и патогене (Jolly et al. 2012). Утицај екстремних догађаја на биолошку разноликост и допринос природе људима врло је зависан од времена догађаја.

Екстремне и дуготрајне суше су често предуслов несагледивих посљедица настанка пожара. Разне дефиниције сврставају шумски пожар у скупину елементарних непогода. Према статистичким годишњацима, за штете од пожара се јасно могу издвојити „критичне године” као што је била 2012. година, када је у Босни и Херцеговини изгорјело готово 80.000 хектара шуме и шумског земљишта. Насупрот овој, током 2014. године (позната по незапамћеним поплавама у Босни и Херцеговини) констатовано је тек нешто више од 1.000 ха опожарених површина.

За разлику од претходних параметара, овдје се не може говорити о трендовима већ о јакој повезаности климатских карактеристика током љетњих мјесеци (првенствено количине падавина) и штета од пожара. Ипак, опасност од пожара се знатно повећава због пораста просјечних и екстремних температура ваздуха током љетних мјесеци, што може имати највеће посљедице у планинским предјелима на вишим надморским висинама и свакако у медитеранском и субмедитеранском подручју.

Географски најближа истраживања у овој области реализована су у Хрватској. Они су констатовали значајно повећање потенцијалне опасности у свим мјесецима пожарне сезоне у Цриквеници док је, на примјер, на Хвару то случај само за мјесеце: јун и јул. Прогресивни тест показује почетак повећања у раним 1980-им, а трендови постају сигнификантни почетком XXI вијека (Anonymus 2009).

Климатским промјенама долази до битно дужих и интензивнијих сушних периода са повишеним и високим индексом опасности од пожара. У Босни и Херцеговини се не врши прорачунавање индекса опасности од пожара, нити се објављују рана упозорења од опасне појаве, за разлику од сусједних земаља (Србије и Хрватске). Посебно неповољно је када се пожар развије у подручјима која су мапирана и назначена као високо ризична подручја, удружено са дуготрајном сушом и јачим вјетром, који је у тим околностима још једна опасност која многоструко увећава постојећи ризик.

Од укупног броја шумских пожара на Медитерану, чак 95% је узроковано људским фактором: нехајем, непажњом те намјерним паљењем, а према истраживањима проведеним у Босни и Херцеговини, у 98% случајева узрочник шумских пожара је човјек (Agić i sar. 2014). Уз штете од пожара треба

истаћи да се обим ванредних сјеча (на подручју Републике Српске) значајно повећава (Матаруга и Говедар 2018; Mataruga et al. 2019). Тако је у посљедњем уређајном периоду (10 година) он троструко већи.

5.4.4. Ефекти на пољопривредну производњу

Треба очекивати да ће климатске промјене имати позитиван учинак на приносе и квалитет озимих усјева због продуженог вегетационог периода. Повећање температура и вегетационог периода може условити проширење ареала узгоја воћа и винове лозе (Трбић et al. 2021). Међутим, један од јако битних елемената, али и посљедица климатских промјена, јесте фреквенција и датум појављивања мразних дана. Из напријед наведеног може се очекивати продужење вегетационог периода, што ће директно условити смањење броја дана са мразом у Босни и Херцеговини. Смањење броја дана са мразом може условити повећања ареала за неке културе. Сем тога, смањење броја дана са мразом, уз нестабилну атмосферу, по правилу условљава појаву касних прољећних мразева који имају изузетно негативни утицај на сектор воћарства. Промјене учесталости и дистрибуције појаве мраза једне су од посљедица загријавања климатског система. Иако је годишњи број мразних дана смањен, мраз у будућности може имати већи негативан утицај на биљке усљед измијењених климатских услова. Истраживања промјена законитости образаца њихове појаве посебно су важна управо у смислу утицаја на биљке.

5.5. Закључак

Климатске промјене један су од највећих изазова савременог друштва. Сагоријевање фосилних горива, тј. антропогене емисије угљен-диоксида и других гасова који условљавају негативан ефекат „стаклене баште“ кључни су узрок глобалних климатских промјена. Глобално повећање температуре ваздуха било је окидач за промјене осталих климатских елемената, а прије свега: испаравања, режима падавина, појаву снијега, олујних вјетрова, дуготрајних топлотних таласа и др. Посљедња деценија (2010–2020) била је најтоплија у инструменталном периоду. Средња годишња температура се повећала за 1°C у односу на преиндустријски период. Сем повећања просјечне годишње температре ваздуха, дошло је и до повећања екстремних температура, те промјене климатских индекса које су условљене температуром ваздуха (мразни, љетни и тропски дани). Овакве промјене

температуре ваздуха и климатских индекса условиле су повећано испаравање и већу варијабилност атмосфере. Климатске промјене су условиле већу фреквенцију и интензитет климатских екстрема који веома неповољно утичу на животну средину и природне ресурсе у цијелом свијету и код нас. Подручје југоисточне Европе, односно Западног Балкана, једно је од најугроженијих у свијету са аспекта појаве поплава, суша, дуготрајних топлотних таласа и олујних вјетрова. Климатске промјене у Републици Српској (БиХ) нарочито су изражене у посљедње три деценије, када се врше све израженији притисци на многобројне природне ресурсе, а нарочито воду, пољопривредно земљиште, биодиверзитет и шумске екосистеме. Климатски модели указују на још интензивније промјене у блиској будућности, што ће захтијевати плански приступ у планирању отпорности најугроженијих сектора на климатске промјене на научној основи.

Литература

- Agić S, Balotić P, Krunić R, Brković I, Tihić A, Doder M, Ilić L, Dautbašić M, Muhić Š, Škorić S, Taći E, Vranješević A, Đonlić S (2014) Studija "Gašenje šumskih požara u Bosni i Hercegovini". Ministarstvo bezbjednosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, str 103
- Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aguirre JL (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111(D5):D05109. doi.10.1029/2005JD006290
- Anandhi A, Perumal S, Gowda PH, Knapp M, Hutchinson S, Harrington J, Murray L, Kirkham MB, Rice CW (2013) Long-Term Spatial and Temporal Trends in Frost Indices in Kansas, USA. *Climatic Change* 120(1):169–181 doi.10.1007/s10584-013-0794-4
- Anderson JT, Panetta AM, Mitchell-Olds T (2012) Evolutionary and Ecological Responses to Anthropogenic Climate Change: Update on Anthropogenic Climate Change. *Plant Physiology* 160(4):1728–1740 doi.10.1104/pp.112.206219
- Anonymus (2009) Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC). Državni Hidrometeorološki Zavod Republike Hrvatske. Zagreb, str 47
- Antonić O, Bukovec D, Kričan J, Marki A, Hatić D (2000) Spatial Distribution of Major Forest Types in Croatia as a Function of Macroclimate. *Natura Croatica* 9(1):1–

13

- Arft AM, Walker MD, Gurevitch J, Alatalo JM, Bret-Harte MS, Dale M, Diemer M, Gugerli F, Henry GHR, Jones MH, Hollister RD, Jonsdottir IS, Laine K, Levesque E, Marion GM, Molau U, Molgaard P, Nordenhall U, Raszhivin V, Robinson CH, Starr G, Stenstrom A, Stenstrom M, Totland O, Turner PL, Walker LJ, Webber PJ, Welker JM, Wookey PA (1999) Responses of Tundra Plants to Experimental Warming: Meta-Analysis of the International Tundra Experiment. *Ecological Monographs* 69(4):491–511 doi.10.1890/0012-9615(1999)069[0491:ROTPTE]2.0.CO;2
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) Impacts of Climate Change on the Future of Biodiversity. *Ecology Letters* 15(4):365–377 doi.10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x
- Bindoff NL, Stott PA, AchutaRao KM, Allen MR, Gillett N, Gutzler D, Hansingo K, Hegerl G, Hu Y, Jain S, Mokhov II, Overland J, Perlwitz J, Sebbari R, Zhang X, (2013). Detection and Attribution of Climate Change: From Global to Regional. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 867–952 Cambridge University Press
- Blankinship JC, Hart SC (2012) Consequences of Manipulated Snow Cover on Soil Gaseous Emission and N Retention in the Growing Season: A Metaanalysis. *Ecosphere* 3(1):Article 1. doi.10.1890/ES11-00225.1
- Boutin S, Lane JE (2014) Climate Change and Mammals: Evolutionary Versus Plastic Responses. *Evolutionary Applications* 7(1):29–41 doi.10.1111/eva.12121
- Branković Č, Cindrić K, Gajić-Čapka M, Güttler I, Pandžić K, Patarčić M, Srnc L, Tomašević I, Vučetić V, Zaninović K (2013) Sixth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change (UNFCCC), Selected Sections in Chapters: 7. – Climate Change Impacts and Adaptation Measures 8. – Research, Systematic Observation and Monitoring. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, pp 131
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J (2013) The Climate of Montenegro: Modifiers and Types – Part One. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 93(4):83–102 doi.10.2298/GSGD1304083B
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Luković J, Dragojlović J (2014) Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 94(3):1–14 doi.10.2298/GSGD140626002B
- Vitasse Y, Rebetez M (2018) Unprecedented Risk of Spring Frost Damage in Switzerland and Germany in 2017. *Climatic Change* 149:233–246 doi.org/10.1007/s10584-018-2234-y
- Вукмир Г, Станишљевић Љ, Церо М, Цацан М, Марковић М, Рудеж М, Лаганин О, Костић Р, Опрашић С, Ђатовић С, Лукић Т et al. (2009) Први национални

- извјештај Босне и Херцеговине у складу са оквирном конвенцијом Уједињених нација о климатским промјенама. Министарство вањске трговине и економских односа БиХ, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, Министарство околиша и туризма Федерације БиХ, UNDP, Бањалука, стр 195
- Vuković A, Vujadinović Mandić M (2018) Study on Climate Change in the Western Balkans Region. Regional Cooperation Council, Sarajevo, pp 76
- Granier A, Reichstein M, Breda N, Janssens IA, Falge E, Ciais P, Grunwald T, Aubi net M, Berbigier P, Buchmann N, Facini O, Grassi G, Heinesch B, Ilvesniemi H, 25 Keronen P, Knohl A, Kostner B, Lagergren F, Lindroth A, Longdoz B, Loustau D, Mateus J, Montagnani L, Nys C, Moors E, Papale D, Peiffer M, Pilegaard K, Pita G, Pumpanen J, Rambal S, Rebmann C, Rodrigues A, Seufert G, Tenhunen J, Vesala T, Wang Q Evidence for soil water control on carbon dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003 Agric. For. Meteorol 143:123–145
- Graczyk D, Szwed M (2020) Changes in the Occurrence of Late Spring Frost in Poland. Agronomy 10(11):Article 1835. doi.10.3390/agronomy10111835
- Dai J, Wang H, Ge Q (2013) The Decreasing Spring Frost Risks During the Flowering Period for Woody Plants in Temperate Area of Eastern China over past 50 Years. Journal of Geographical Sciences 23(4):641–652 doi.10.1007/s11442-013-1034-6
- Damberg L, AghaKouchak A (2014) Global Trends and Patterns of Drought from Space. Theoretical and Applied Climatology 117(3):441–448 doi.10.1007/s00704-013-1019-5
- Dankers R, Hiederer R (2008). Extreme Temperatures and Precipitation in Europe: Analysis of a High-Resolution Climate Change Scenario. European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, pp 66
- Donnelly A, Caffarra A, Kelleher C, O'Neill B, Diskin E, Pletsers A, Proctor H, Stirnemann R, O'Halloran J, Penuelas J, Hodkinson T, Sparks T (2012) Surviving in a Warmer World: Environmental and Genetic Responses. Climate Research 53(3):245–262 doi.10.3354/cr01102
- Ducić V, Savić S, Luković J (2008) Contemporary Temperature Changes at the Ground Surface and in the Troposphere over Vojvodina, Serbia. Geographica Pannonica 12(2):56–61
- Дуцић В, Трбић Г, Луковић Ј (2008) Промене количине и режима падавина у Бањалуци у другој половини 20. века. Гласник/Herald 12:121–128
- Дуцић В, Бурић Д, Трбић Г, Цупаћ Р (2014) Анализа падавина и суша на територији БиХ на основу стандардизованог индекса падавина (SPI). Гласник/Herald 18:53–70 doi.10.7251/HER1814053D

- Ђурђевић В, Трбић Г (2021) Поглавље очекиване климатске промјене у Четврти национални извјештај Босне и Херцеговине о промјене климе према UNFCCC. (Радни материјал)
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO (2000) Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science* 289(5487):2068–2074 doi.10.1126/science.289.5487.2068
- Easterling DR (2002) Recent Changes in Frost Days and the Frost-Free Season in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83(9):1327–1332 doi.org/10.1175/1520-0477-83.9.1327
- Zell J, Kandler G, Hanewinkel M (2009) Predicting Constant Decay Rates of Coarse Woody Debris — A Meta-Analysis Approach with a Mixed Model. *Ecological Modelling* 220(7):904–912 doi.10.1016/j.ecolmodel.2009.01.020
- Zimmermann NE et al. 2009. Climatic extremes improve predictions of spatial patterns of tree species. – *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106 Suppl 2:19723–19728
- IPBES (2016) Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production [Potts SG, Imperatriz-Fonseca VL, Ngo HT (eds)]. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, p 552 doi.10.5281/zenodo.3402856
- IPBES (2018) The IPBES Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia [Rounsevell M, Fischer M, Torre-Marín Rando A, Mader A (eds)]. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, pp 892
- IPCC (2012) Summary for Policymakers. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 3–21 Cambridge University Press
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 3–29 Cambridge University Press
- IPCC (2014a) *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)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp 151
- IPCC (2014b) Summary for Policymakers. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx JC (eds) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working*

- Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1–30 Cambridge University Press
- IPCC (2022) About the IPCC. Доступно на: <https://www.ipcc.ch/about/>, Приступљено: 03.04.2022
- Jelić M, Vučetić V (2011) Utječe li promjena klime na početak cvjetanja jorgovana. Hrvatski Meteorološki Časopis 46:45–53
- Jentsch A, Kreyling J, Boettcher-Treschkow JEGOR, Beierkuhnlein C (2009) Beyond Gradual Warming: Extreme Weather Events Alter Flower Phenology of European Grassland and Heath Species. *Global Change Biology* 15(4):837–849 doi.10.1111/j.1365-2486.2008.01690.x
- Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) Divergent Vegetation Growth Responses to the 2003 Heat Wave in the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters* 32(18):L18409 doi.10.1029/2005GL023252
- Jolly, W. Matt; Parsons, Russell; Varner, J. Morgan; Butler, Bret W.; Ryan, Kevin C.; Gucker, Corey L. 2012. Do mountain pine beetle outbreaks change the probability of active crown fire in lodgepole pine forests? *Ecology* 93(4):941–946
- Jump AS, Hunt JM, Martinez-Izquierdo JA, Penuelas J (2006) Natural Selection and Climate Change: Temperature-Linked Spatial and Temporal Trends in Gene Frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology* 15(11):3469–3480 doi.10.1111/j.1365-294X.2006.03027.x
- Jump AS, Marchant R, Penuelas J (2009) Environmental Change and the Option Value of Genetic Diversity. *Trends in Plant Science* 14(1):51–58 doi.10.1016/j.tplants.2008.10.002
- Kirtman B, Power SB, Adedoyin JA, Boer GJ, Bojariu R, Camilloni I, Doblas-Reyes FJ, Fiore AM, Kimoto M, Meehl GA, Prather M, Sarr A, Schär C, Sutton R, van Oldenborgh GJ, Vecchi G, Wang HJ (2013) Near-Term Climate Change: Projections and Predictability. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 953–1028 Cambridge University Press
- Klein Tank AMG, Können GP (2003) Trends Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate* 16(22):3665–3680 doi.10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIODT>2.0.CO;2
- Kodera K, Thiéblemont R, Yukimoto S, Matthes K (2016) How Can We Understand the Global Distribution of the Solar Cycle Signal on the Earth’s Surface? *Atmospheric Chemistry and Physics* 16(20):12925–12944 doi.10.5194/acp-16-12925-2016
- Kovačević V, Kovačević D, Pepo P, Marković M (2013) Climate Change in Croatia, Serbia, Hungary and Bosnia and Herzegovina: Comparison the 2010 and 2012 Maize Growing Seasons. *Poljoprivreda* 19(2):16–22

- Kovats RS, Valentini R, Bouwer LM, Georgopoulou E, Jacob D, Martin E, Rounsevell M, Soussana JF (2014) Europe. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part B: Regional Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 1267–1326 Cambridge University Press
- Kreyling J, Beierkuhnlein C, Ellis L, Jentsch A (2008) Invasibility of Grassland and Heath Communities Exposed To Extreme Weather Events – Additive Effects of Diversity Resistance and Fluctuating Physical Environment. *Oikos* 117:1542–1554 doi.10.1111/j.0030-1299.2008.16653.x
- Lavell A, Oppenheimer M, Diop C, Hess J, Lempert R, Li J, Muir-Wood R, Myeong S, (2012) Climate Change: New Dimensions in Disaster Risk, Exposure, Vulnerability, and Resilience. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 25–64. Cambridge University Press
- Ma T, Zhou C (2012) Climate Associated Changes in Spring Plant Phenology in China. *International Journal of Biometeorology* 56(2):269–275 doi.10.1007/s00484-011-0428-3
- Malinovic-Milicevic S, Stanojevic G, Radovanovic MM (2018) Recent Changes in First and Last Frost Dates and Frost-Free Period in Serbia. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 100(1):44–58 doi.10.1080/04353676.2017.1369048
- Матаруга М (2008) Интеграција шумарства БиХ унутар активности ублажавања климатских промјена: шансе и могућности Кјото протокола. *Гласник Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци* 8:1–14
- Mataruga M, Govedar Z (2018) Stanje šuma i šumarstva u Republici Srpskoj i pravci razvoja. Skup Povodom Svjetskog Dana Šuma, 21. mart 2018, Banja Luka, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, u štampi
- Mataruga M, Ballian D, Terzić R, Daničić V, Cvjetković B (2019) State of Forests in Bosnia and Herzegovina: Ecological and Vegetation Distribution, Management and Genetic Variability. Šijačić-Nikolić M, Milovanović J, Nonić M (Eds.), *Forests of Southeast Europe Under a Changing Climate - Conservation of Genetic Resources* pp 3–19 Springer.
- Matthes K, Funke B, Anderson ME, Barnard L, Beer J, Charbonneau P, Clilverd MA, Dudok de Wit T, Haberreiter M, Hendry A, Jackman CH, Kretschmar M, Kruschke T, Kunze M, Langematz U, Marsh DR, Maycock A, Misios S, Rodger CJ, Scaife AA, Seppälä A, Shangguan M, Sinnhuber M, Tourpali K, Usoskin I, van

- de Kamp M, Verronen PT, Versick S (2017) Solar Forcing for CMIP6 (v3.1). Geoscientific Model Development 10:2247–2302 doi.10.5194/gmd-2016-91
- Merila J, Hendry AP (2014) Climate Change, Adaptation, and Phenotypic Plasticity: The Problem and the Evidence. Evolutionary Applications 7(1):1–14 doi.org/10.1111/eva.12137
- Met Office (2021) Global-Average Temperature Records. Доступно на: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate/science/global-temperature-records>, Приступљено: 26.12.2021
- Myhre G, Shindell D, Bréon FM, Collins W, Fuglestvedt J, Huang J, Koch D, Lamarque JF, Lee D, Mendoza B, Nakajima T, Robock A, Stephens G, Takemura T, Zhang H (2013) Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 659–740 Cambridge University Press
- NOAA National Centers for Environmental Information (2005) Global Climate Report for Annual 2004. Доступно на: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/200413>, Приступљено: 2.04.2022
- NOAA (2021) National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020. Доступно на: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>, Приступљено: 27.12.2021
- Parmesan C (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 37(1):637–669 doi.10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100
- Parmesan C (2007) Influences of Species, Latitudes and Methodologies on Estimates of Phenological Response to Global Warming. Global Change Biology 13(9):1860–1872 doi.10.1111/j.1365-2486.2007.01404.x
- Pilaš I, Medved I, Medak J, Medak D (2014) Response Strategies of the Main Forest Types to Climatic Anomalies Across Croatian Biogeographic Regions Inferred from FAPAR Remote Sensing Data. Forest Ecology and Management 326:58–78
- Poll C, Marhan S, Back F, Niklaus PA, Kandeler E (2013) Fieldscale Manipulation of Soil Temperature and Precipitation Change Soil CO₂ Flux in a Temperate Agricultural Ecosystem. Agriculture, Ecosystems & Environment 165:88–97 doi.10.1016/j.agee.2012.12.012
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017) Trends in Frost Days in Bosnia and Herzegovina. Bulletin of the Serbian Geographical Society 97(1):35–55 doi.org/10.2298/GSGD1701035P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018a) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 13(1):211–224 doi.10.26471/cjees/2018/013/019

- Popov T, Gnjato S, Trbić G (20186) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute 'Jovan Cvijic' SASA* 68(1):17–33
doi.org/10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019). Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In: Filho WL, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe*, pp 213–228 Springer
- Попов Т (2020) Утицај савремених климатских промјена на фитогеографска обиљежја Републике Српске. *Географско друштво Републике Српске, Бања Лука*, стр 291
- Радусин С, Опрашић С, Церо М, Абдурахмановић И, Вукмир Г, Авдић С, Цупаћ Р et al. (2013а) Други национални извјештај Босне и Херцеговине у складу са оквирном конвенцијом Уједињених нација. Министарство вањске трговине и економских односа БиХ, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, Министарство околиша и туризма Федерације БиХ, UNDP, GEF, Бањалука, стр 206
- Радусин С, Опрашић С, Церо М, Абдурахмановић И, Вукмир Г et al. (2013б) Стратегија прилагођавања на климатске промјене и нискоемисионог развоја за Босну и Херцеговину. Министарство вањске трговине и економских односа БиХ, Министарство околиша и туризма Федерације БиХ, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, UNDP, GEF, Бањалука, стр 94
- Reichstein M, Ciais P, Papale D, Valentini R, Running S, Viovy N, Cramer W, Granier A, Ogee J, Allard V, Aubinet M, Bernhofer C, Buchmann N, Carrara A, Grunwald T, Heimann M, Heinesch B, Knohl A, Kutsch W, Loustau D, Manca G, Matteucci G, Miglietta F, Ourcival JM, Pilegaard K, Pumpanen J, Rambal S, Schaphoff S, Seufert G, Soussana JF, Sanz MJ, Vesala T, Zhao M (2007) Reduction of Ecosystem Productivity and Respiration During the European Summer 2003 Climate Anomaly: A Joint Flux Tower, Remote Sensing and Modelling Analysis. *Global Change Biology* 13(3):634–651 doi.10.1111/j.1365-2486.2006.01224.x
- Scheifinger H, Menzel A, Koch E, Peter C (2003) Trends of Spring Time Frost Events and Phenological Dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 74:41–51 doi.10.1007/s00704-002-0704-6
- Seneviratne SI, Nicholls N, Easterling D, Goodess CM, Kanae S, Kossin J, Luo Y, Marengo J, McInnes K, Rahimi M, Reichstein M, Sorteberg A, Vera C, Zhang X, (2012) Changes in Climate Extremes and Their Impacts on the Natural Physical Environment. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 109–230 Cambridge University Press

- Sheffield J, Wood EF, Roderick ML (2012) Little Change in Global Drought over the Past 60 Years. *Nature* 491(7424):435–438 doi.10.1038/nature11575
- Skaggs KE, Irmak S (2012) Long-Term Trends in Air Temperature Distribution and Extremes, Growing Degree-Days, and Spring and Fall Frosts for Climate Impact Assessments on Agricultural Practices in Nebraska. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 51(11):2060–2073 doi.10.1175/JAMC-D-11-0146.1
- Sowerby A, Emmett B, Beier C, Tietema A, Penuelas J, Estiarte M, Van Meeteren MJM, Hughes S, Freeman C (2005) Microbial Community Changes in Heathland Soil Communities Along a Geographical Gradient: Interaction with Climate Change Manipulations. *Soil Biology and Biochemistry* 37(10):1805–1813 doi.10.1016/j.soilbio.2005.02.023
- Trbic G, Bajic D, Djurdjevic V, Crnogorac C, Popov T, Dekic R, Petrusevic A, Rajcevic V (2016) The Impact of Climate Change on the Modification of Bioclimatic Conditions in Bosnia and Herzegovina. *Environmental Science* 1:176–182
- Trbic G, Bajic D, Djurdjevic V, Ducic V, Cupac R, Markez Đ, Vukmir G, Dekić R, Popov T (2018) Limits to Adaptation on Climate Change in Bosnia and Herzegovina: Insights and Experiences. In: Filho WL, Nalau J (eds) *Limits to Climate Change Adaptation*, pp 245–259 Springer
- Trbic G, Djurdjevic V, Vujdinovic Mandic M, Ivanisevic M, Cupac R, Bajic D, Zahirovic E, Filipovic D, Dekic R, Popov T, Gnjato S (2021) The Impact of Climate Change on Grapevines in Bosnia and Herzegovina. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 6(1):Article 4. doi.10.1007/s41207-020-00206-7
- Трбић Г, Бајић Д (2011) Специфичности промјене климе Републике Српске и могућности адаптације. У: Ђњато Р (уредник) Зборник радова Трећег конгреса српских географа са међународним учешћем, стр 149–157. Географско друштво Републике Српске, Српско географско друштво, Природно-математички факултет Универзитета у Бањој Луци, Географски факултет Универзитета у Београду
- Трбић Г, Дуцић В, Рудан Н, Анђелковић Г, Марковић С (2011) Екстремне падавине у Републици Српској (анализа 2010. 2011. године). *Гласник/Herald* 15:81–94 doi.10.7251/HER115081T
- Трбић Г (2013) Колебање климе у Републици Српској. У: Ђњато Р (уредник) Зборник Обилежавања 20. годишњице Географског друштва Републике Српске 1993–2013, стр 87–95 Географско друштво Републике Српске
- Трбић Г, Бајић Д, Попов Т, Опрашић С (2013) Проблеми суше у Босни и Херцеговини. *Гласник/Herald* 17:103–120 doi.10.7251/HER1714103T
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84 doi.10.18421/GP21.02-01
- Trenberth KE, Smith L, Qian T, Dai A, Fasullo J (2007) Estimates of the Global Water Budget and Its Annual Cycle Using Observational and Model Data. *Journal of Hydrometeorology* 8(4):758–769 doi.10.1175/JHM600.1

- Ćirković-Mitrović T, Popović V, Brašanac-Bosanac L, Rakonjac LJ, Lučić A (2013) The Impact of Climate Elements on the Diameter Increment of Austrian Pine (*Pinus nigra* Arn.) in Serbia. Archives of Biological Sciences 65(1):161–170 doi.10.2298/ABS1301161C
- United Nations Treaty Collection (2022) 7. d Paris Agreement, Paris, 12 December 2015. Доступно на:
https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en, Приступљено: 03.04.2022
- UNFCCC (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change. Доступно на:
https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf, Приступљено: 3.04.2022
- UNFCCC (2022a) Status of Ratification of the Convention. Доступно на:
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/status-of-ratification/status-of-ratification-of-the-convention>, Приступљено: 03.04.2022
- UNFCCC (2022b) The Paris Agreement. Доступно на: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>, Приступљено: 03.04.2022
- UNFCCC (2022в) What is the Kyoto Protocol? Доступно на:
https://unfccc.int/kyoto_protocol, Приступљено: 3.04.2022
- Franks SJ, Weber JJ, Aitken SN (2014) Evolutionary and Plastic Responses to Climate Change in Terrestrial Plant Populations. Evolutionary Applications 7(1):123–139 doi.10.1111/eva.12112
- Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T (2002) Observed Coherent Changes in Climatic Extremes During the Second Half of the Twentieth Century. Climate Research 19(3):193–212 doi.10.3354/cr019193
- Füzi T, Ladányi M (2020) Frost Risk Indicator Analysis in Sopron Wine Region (1961–2016). Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 124(4):447–462 doi.10.28974/idojaras.2020.4.2
- Handmer J, Honda Y, Kundzewicz ZW, Arnell N, Benito G, Hatfield J, Mohamed IF, Peduzzi P, Wu S, Sherstyukov B, Takahashi K, Yan Z (2012) Changes in Impacts of Climate Extremes: Human Systems and Ecosystems. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 231–290 Cambridge University Press
- Hickling R, Roy DB, Hill JK, Fox R, Thomas CD (2006) The Distributions of a Wide Range of Taxonomic Groups are Expanding Polewards. Global Change Biology 12(3):450–455 doi.10.1111/j.1365-2486.2006.01116.x
- Ciais P, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogee J, Allard V, Aubinet M, Buchmann N,

- Bernhofer C, Carrara A, Chevallier F, De Noblet N, Friend AD, Friedlingstein P, Grunwald T, Heinesch B, Keronen P, Knohl A, Krinner G, Loustau D, Manca G, Matteucci G, Miglietta F, Ourcival JM, Papale D, Pilegaard K, Rambal S, Seufert G, Soussana JF, Sanz MJ, Schulze ED, Vesala T, Valentini R (2005) Europe-Wide Reduction in Primary Productivity Caused by the Heat and Drought in 2003. *Nature* 437(7058):529–533 doi.10.1038/nature03972
- Ciais P, Sabine C, Bala G, Bopp L, Brovkin V, Canadell J, Chhabra A, DeFries R, Galloway J, Heimann M, Jones C, Le Quéré C, Myneni RB, Piao S, Thornton P (2013) Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P M (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 465–570 Cambridge University Press
- Cleland EE, Allen JM, Crimmins TM, Dunne JA, Pau S, Travers SE, Zavaleta ES, Wolkovich EM (2012) Phenological Tracking Enables Positive Species Responses to Climate Change. *Ecology* 93(8):1765–1771 doi.10.1890/11-1912.1
- Cupać R, Trbić G, Zahirović E (2020) Cost–Benefit Analysis of Climate Change Adaptation Measures in Bosnia and Herzegovina. *Euro-Mediterranean Journal for Environmentalu Integration* 5: Article 26. doi.10.1007/s41207-020-00160-4
- Šestan L (2012) Simulacijski model utjecaja temperature zraka na lisne fenofaze hrasta medunca na otoku Pagu. *Šumarski List* 5–6(136):253–261
- WMO (2017) WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016 (WMO-No. 1189). World Meteorological Organization, Geneva, pp 24
- Wu Z, Dijkstra P, Koch GW, Penuelas J, Hungate BA (2011) Responses of Terrestrial Ecosystems to Temperature and Precipitation Change: A Meta-Analysis of Experimental Manipulation. *Global Change Biology* 17(2):927–942 doi.10.1111/j.1365-2486.2010.02302.x
- Wypych A, Ustrnul Z, Sulikowska A, Chmielewski F-M (2017) Spatial and Temporal Variability of the Frost-Free Season in Central Europe and its Circulation Background. *International Journal of Climatology* 37(8):3340–3352 doi.org/10.1002/joc.4920

Climate change and natural resources

Goran Trbić, Tatjana Popov, Milan Mataruga

Summary

Climate change is one of the greatest challenges of modern society. Combustion of fossil fuels, ie. anthropogenic emissions of carbon dioxide and other gases that cause the negative effect of the "greenhouse" are a key cause of global climate change. The global increase in air temperature was the trigger for changes in other climatic elements, and above all: evaporation, precipitation regime, the appearance of snow, stormy winds, long-lasting heat waves, etc. The last decade (2010–2020) was the warmest in the instrumental period. The average annual temperature increased by 1 °C compared to the pre-industrial period. In addition to the increase in the average annual air temperature, there was also an increase in extreme temperatures, and changes in climate indices that are conditioned by the air temperature (frost, summer and tropical days). Such changes in air temperature and climate indices have led to increased evaporation and greater variability of the atmosphere. Climate change has caused a higher frequency and intensity of climate extremes, which have a very unfavorable impact on the environment and natural resources throughout the world. The area of Southeast Europe, ie. the Western Balkans, is one of the most endangered in the world in terms of floods, droughts, long-lasting heat waves and stormy winds. Climate change in the Republik of Srpska and Bosnia and Herzegovina has been particularly pronounced in the last three decades, when they have put increasing pressure on many natural resources, especially water, agricultural land, biodiversity and forest ecosystems. Climate models point to even more intense changes in the near future, which will require a planned approach in planning the resilience of the most vulnerable sectors to climate change on a scientific basis.

Key words: Climate change, natural resources, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

