

Савремене климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини

Татјана Попов, Владан Дуцић, Владимир Ђурђевић, Горан Трбић,
Слободан Гњато

Сажетак: У раду се даје преглед уочених климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини, а првенствено промјена температуре ваздуха и режима падавина. У периоду 1961–2015. године утврђени су позитивни трендови средњих, максималних и минималних годишњих и сезонских температура ваздуха, који су најизраженији у сезони љето, док је у сезони јесен присутан само незнатан тренд пораста температура ваздуха. Загријавање је најизраженије у сјеверном дијелу територије, док је пораст знатно мањи у вишим предјелима Херцеговине. За разлику од температуре ваздуха, трендови падавина су, и сезонски и регионално, веома промјенљиви и различитог знака (позитивни и негативни), али већином несигнификантни. Ипак, у појединим подручјима повећана је међугодишња варијабилност падавина и учесталост екстремних падавина.

Поред тога, у раду су приказани и резултати истраживања потенцијалних климатских промјена до краја XXI вијека у Републици Српској и Босни и Херцеговини према климатском сценарију RCP8.5.

Цитирање: Попов Т, Дуцић В, Ђурђевић В, Трбић Г, Гњато С (2023) Савремене климатске промјене у Републици Српској и Босни и Херцеговини. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:567–604

Cite as: Popov T, Ducić V, Đurđević V, Trbić G, Gnjato S (2023) Recent Climate Change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:567–604

Анализе климатских промјена до краја XXI вијека засноване су на очекиваним колебањима температуре ваздуха и количина падавина. Резултати указују на израженије климатске промјене које се односе на повећање годишње температуре до 5 °C, а смањење годишњих падавина до 30%, док дефицит у сезони љето може ићи и до 40% до краја XXI вијека. Овакви трендови и промјене указују на озбиљан проблем суше и потребу за знатнијим интегрисањем климатских промјена у планске и стратешке документе.

Кључне ријечи: Климатске промјене, температура ваздуха, падавине, климатски индекси, тренд, пројекције, Република Српска, Босна и Херцеговина

14.1. Увод

Климу простора Републике Српске и Босне и Херцеговине доминантно одређује географски положај, циркулација ваздушних маса, рељеф и геолошка подлога. На термички режим и климатска обиљежја Босне и Херцеговине утичу два акциона центра атмосфере: азорски антициклон, који условљава стабилно, а љети и топло вријеме, и исландски циклон, који доноси падавине. Зимом се повремено региструје и утицај сибирског антициклона, који је праћен хладним и углавном сувим временом, док је у сезони љето присутан и утицај антициклона који има сахарско, односно медитеранско поријекло, а који условљава изузетно топло и суво вријеме (Трбић 2011). Према Кепеновој класификацији климата, територија Босне и Херцеговине доминантно се налази у С умјерено топлим и D умјерено хладном (бореалном) климатском типу. Основни типови климата заступљени на подручју Босне и Херцеговине су: умјереноконтинентална клима (карактерише Перипанонски обод на сјеверу), планинска клима (заступљена у средишњем дијелу у зони Динарида), те јадранска и измијењена јадранска клима (заступљена на јадранском приморју око Неума, те у јадранском залеђу, на подручју ниске Херцеговине) (Милосављевић 1973; Вајић и Трбић 2016).

Досадашња истраживања указују на значајан раст температуре ваздуха у Републици Српској и Босни и Херцеговини до краја XXI вијека, те смањење падавина уз знатно нарушен плувиометријски режим током године. Климатске промјене имају све већи утицај на многе секторе у Босни и Херцеговини. Ови утицаји су посебно изражени у XXI вијеку и огледају се у све већем порасту температура ваздуха и дуготрајним топлим таласима, који уз недостатак падавина изазивају суше, повећању броја дана са градоносним облацима и градом, смањењу падавина током сезоне љето и смањењу броја дана са задржавањем снијега и сњежног покривача (Трбић et al. 2014, 2018, 2021, 2022).

Климатске промјене имају велики утицај на кључне секторе у Републици Српској и Босни и Херцеговини: пољопривреду, шумарство, енергетику и туризам. Климатске промјене су снажно утицале на приносе култура, учесталост пожара, производњу и потрошњу енергије, погодност дестинација за развој туризма итд. (Trbić et al. 2014, 2018; Popov and Delić 2019; Popov et al. 2019a). Стога је њихово проучавање од кључне важности како би се дефинисале одговарајуће мјере адаптације и митигације у циљу смањења рањивости и повећања отпорности ових важних сектора за одрживи развој Босне и Херцеговине.

Циљ овог рада је да се да преглед до сада уочених климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини, а првенствено промјена температуре ваздуха и падавина.

14.2. Промјене температуре ваздуха

Многобројне анализе трендова спроведене на цијелој територији Босне и Херцеговине (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b, 2018c, 2019a, 2019b) или за њене поједине дијелове (Popov et al. 2017a, 2018g, 2019c, 2019d, 2021; Popov and Delić 2019; Попов 2020; Gnjato et al. 2021) јасно показују да је на овом подручју присутно загријавање климатског система. Анализе показују да је у посљедњих неколико деценија присутан тренд пораста и средњих и екстремних (максималних и минималних) температура ваздуха на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018b, 2019c, 2021; Попов 2020).

Истраживањима су на цијелој територији Републике Српске, односно Босне и Херцеговине, утврђени статистички значајни позитивни трендови средње годишње температуре ваздуха (Trbić et al. 2017; Попов 2020). Годишња средња температура ваздуха у периоду 1961–2015. године највише је порасла у Бањој Луци (0,5 °C по деценији), а најмање у вишим предјелима Херцеговине (0,2 °C по деценији у Билећи и на Иван седлу) (Таб. 14.1) (Таб. 14.1) (Trbić et al. 2017). Ипак, на већини метеоролошких станица у Босни и Херцеговини пораст средње годишње температуре кретао се у распону 0,3–0,4 °C по деценији.

Растући трендови средње температуре забиљежени су на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине у свим годишњим сезонама, с тим да је тренд раста најизраженији и најзначајнији у сезони љето, док је у сезони јесен присутно само благо и углавном несигнификантно повећање температуре ваздуха (Trbić et al. 2017). У сезони љето на цијелој територији утврђени су статистички значајни трендови температуре ваздуха (статистичка значајност на нивоу од 99%), који су се кретали у интервалу од 0,3 °C по деценији на Иван

седлу до 0,6 °C по деценији у Бањој Луци, Приједору, Бијељини и Бугојну. Статистички значајан пораст температуре ваздуха присутан је и у сезони зима и прољеће у већем дијелу Босне и Херцеговине, осим на станицама у вишим предјелима: Бјелашница, Билећа и Иван седло (у прољеће), гдје је утврђено незнатно повећање температуре ваздуха за 0,0–0,3 °C по деценији и 0,1–0,2 °C по деценији, респективно, које није било статистички значајно. На осталим станицама температура у сезонама зима и прољеће значајно је порасла, а повећање се кретало у интервалу 0,2–0,5 °C по деценији и 0,2–0,4 °C по деценији, респективно. Најслабији трендови забиљежени су у сезони јесен. Значајан тренд пораста у овој сезони од 0,2–0,3 °C по деценији утврђен је у само неколико подручја – Бања Лука, Приједор, Бугојно, Соколац и Ливно.

Таб. 14.1. Декадни тренд средњих сезонских и годишњих температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Trbić et al. 2017)

Table 14.1. Decadal trend of mean seasonal and annual air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Trbić et al. 2017)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
БХ	0,3	0,3 ^а	0,5 ^а	0,1	0,3 ^а
СМ	0,3 ^б	0,3 ^а	0,4 ^а	0,1	0,3 ^а
ПР	0,4 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,2 ^б	0,5 ^а
БЛ	0,5 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,3 ^а	0,5 ^а
ДБ	0,4 ^б	0,2 ^а	0,4 ^а	0,2	0,3 ^а
ТЗ	0,3 ^б	0,2 ^б	0,4 ^а	0,1	0,3 ^а
БН	0,4 ^б	0,4 ^а	0,6 ^а	0,2	0,4 ^а
ЗЕ	0,4 ^а	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2	0,3 ^а
БУ	0,4 ^а	0,3 ^а	0,6 ^а	0,2 ^б	0,4 ^а
СО	0,5 ^а	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2 ^б	0,4 ^а
СА	0,3 ^б	0,2 ^б	0,5 ^а	0,2	0,3 ^а
БЈ	0,0	0,1	0,4 ^а	0,1	0,2 ^а
ИС	0,3 ^б	0,2	0,3 ^а	0,1	0,2 ^а
ЛИ	0,3 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,3 ^б	0,4 ^а
БИ	0,1	0,2	0,4 ^а	-0,0	0,2 ^а
МО	0,2 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,1	0,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), БХ – Бихаћ, СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, ЗЕ – Зеница, БУ – Бугојно, СО – Соколац, СА – Сарајево, БЈ – Бјелашница, ИС – Иван седло, ЛИ – Ливно, БИ – Билећа, МО – Мостар

Посматрано на мјесечном нивоу, температуре ваздуха су највише порасле у најхладнијем мјесецу – јануару и у најтоплијим мјесецима – јулу и августу (Popov et al. 2019б). Статистички значајан тренд средње температуре ваздуха јануара у периоду 1961–2017. године утврђен је у већем дијелу Босне и Херцеговине, осим на највишој станици (Бјелашници) и у Херцеговини (Таб. 14.2). У осталим подручјима температура најхладнијег мјесеца значајно је порасла: 0,4–0,7 °С по деценији. Статистички значајни позитивни трендови средње температуре јула и августа утврђени су на свим станицама у Републици Српској и Босни и Херцеговини (значајност на нивоу од 99,9% и 99%). У већини подручја температура јула и августа порасла је за 0,5–0,6 °С по деценији, док је нешто већи пораст (0,7–0,8 °С по деценији) присутан само у Бањој Луци и Бијељини.

Таб. 14.2. Декадни тренд средњих мјесечних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2017. године (°С по деценији) (Popov et al. 2019б)

Table 14.2. Decadal trend of mean monthly air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2017 (°C per decade) (Popov et al. 2019б)

МС	СМ	БЛ	ДБ	БН	БУ	СА	СО	БЈ	БИ	МО
I	0,5 ^б	0,6 ^б	0,6 ^б	0,6 ^б	0,4 ^б	0,4 ^г	0,7 ^б	0,1	0,1	0,3 ^г
II	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,5 ^б	0,2	0,1	0,2
III	0,3 ^г	0,4 ^б	0,3 ^г	0,4 ^б	0,4 ^б	0,3 ^г	0,3 ^б	0,1	0,2	0,3 ^б
IV	0,3 ^б	0,4 ^б	0,2 ^г	0,4 ^б	0,3 ^б	0,3 ^г	0,3 ^б	0,2	0,2	0,3 ^б
V	0,3 ^б	0,4 ^б	0,2 ^б	0,3 ^б	0,3 ^б	0,2	0,3 ^б	0,2	0,1	0,3 ^б
VI	0,4 ^а	0,5 ^а	0,4 ^б	0,5 ^а	0,6 ^а	0,4 ^а	0,4 ^а	0,4 ^б	0,4 ^б	0,5 ^а
VII	0,5 ^а	0,7 ^а	0,5 ^а	0,7 ^а	0,6 ^а	0,5 ^а	0,6 ^а	0,5 ^а	0,4 ^а	0,5 ^а
VIII	0,6 ^а	0,8 ^а	0,6 ^а	0,7 ^а	0,6 ^а	0,6 ^а	0,6 ^а	0,5 ^б	0,5 ^б	0,6 ^а
IX	0,0	0,2 ^г	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,2	0,0	0,1 ^б
X	0,2	0,3 ^б	0,2	0,2 ^г	0,3 ^б	0,2	0,2 ^г	0,1	0,0	0,1
XI	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,1
XII	0,4 ^б	0,5 ^а	0,4 ^б	0,4 ^б	0,4 ^б	0,3 ^г	0,4 ^б	0,0	0,0	0,2 ^б

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^а), 99 % (^б), 95 % (^в) и 90 % (^г), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, БН – Бијељина, БУ – Бугојно, СА – Сарајево, СО – Соколац, БЈ – Бјелашница, БИ – Билећа, МО – Мостар

Компаративна анализа просјечних годишњих и сезонских температура ваздуха показује да је у периоду 1986–2015. године температура у Босни и Херцеговини порасла у односу на вриједности референтног периода 1961–1990. године на

цијелој територији и у свим годишњим сезонама (Таб. 14.3). Највећи пораст температуре ваздуха забиљежен је у најтоплијем периоду године, у сезони љето (1,0–1,7 °C), а затим у сезони прољеће (0,3–1,0 °C) и зима (0,1–1,2 °C), док је температура најмање порасла у јесен (0,1–0,8 °C) (Trbić et al. 2017).

Таб. 14.3. Промјена просјечних средњих сезонских и годишњих температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1986–2015. године у односу на референтни период 1961–1990. године (у °C) (Trbić et al. 2017)

Table 14.3. Difference in average mean seasonal and annual air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1986–2015 in relation to the reference period 1961–1990 (in °C) (Trbić et al. 2017)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
БХ	0,9	0,7 ^б	1,3 ^а	0,4	0,8 ^а
СМ	0,9 ^б	0,7 ^б	1,3 ^а	0,4	0,8 ^а
ПР	1,2 ^б	1,0 ^б	1,5 ^а	0,5	1,1 ^а
БЛ	1,2 ^б	0,9 ^а	1,7 ^а	0,8 ^а	1,1 ^а
ДБ	1,0 ^б	0,6 ^б	1,3 ^а	0,4	0,8 ^а
ТЗ	0,7	0,5	1,3 ^а	0,4	0,7 ^а
БН	1,0 ^б	0,9 ^а	1,9 ^а	0,6	1,1 ^а
ЗЕ	0,8 ^б	0,7 ^а	1,6 ^а	0,7 ^б	0,9 ^а
БУ	1,0 ^б	0,8 ^а	1,6 ^а	0,7 ^б	1,0 ^а
СО	1,2 ^а	0,6 ^б	1,5 ^а	0,8 ^б	1,0 ^а
СА	0,7	0,5	1,4 ^а	0,5	0,8 ^а
БЈ	0,1	0,3	1,3 ^а	0,2	0,5 ^а
ИС	0,7	0,4	1,0 ^а	0,3	0,6 ^а
ЛИ	0,7	0,8 ^а	1,6 ^а	0,7 ^б	0,9 ^а
БИ	0,4	0,4	1,2 ^а	0,1	0,5 ^а
МО	0,6 ^б	0,8 ^а	1,6 ^а	0,4	0,8 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), БХ – Бихаћ, СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, ЗЕ – Зеница, БУ – Бугојно, СО – Соколац, СА – Сарајево, БЈ – Бјелашница, ИС – Иван седло, ЛИ – Ливно, БИ – Билећа, МО – Мостар

Анализа промјена дистрибуција средњих сезонских и годишњих температура између два наведена периода показује да је на цијелој територији утврђена значајна промјена дистрибуција температуре на годишњем нивоу и у сезони љето, док је промјена у сезони јесен била несигнификантна на цијелом подручју Републике Српске и Босне и Херцеговине (Попов 2020). У сезони зима

дистрибуција температура статистички значајно се промијенила само у Сокоцу, а у сезони прољеће у Бањој Луци, Приједору, Бијељини и Мостару (Таб. 14.4).

Таб. 14.4. Промјена дистрибуција средњих сезонских и годишњих температура ваздуха у Босни и Херцеговини између периода 1961–1990. и 1986–2015. године (Колмогоров-Смирнов тест) (Попов 2020)

Table 14.4. Difference in the distribution of mean seasonal and annual air temperatures in Bosnia and Herzegovina between 1961–1990 and 1986–2015 (Kolmogorov-Smirnov test) (Попов 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,226	0,300	0,700 ^а	0,200	0,500 ^а
ПР	0,297	0,433 ^а	0,633 ^а	0,233	0,567 ^а
БЛ	0,287	0,433 ^а	0,700 ^а	0,333	0,633 ^а
ДБ	0,249	0,300	0,600 ^а	0,200	0,533 ^а
ТЗ	0,149	0,300	0,567 ^а	0,167	0,533 ^а
БН	0,260	0,433 ^а	0,800 ^а	0,233	0,633 ^а
СА	0,253	0,267	0,600 ^а	0,233	0,533 ^а
СО	0,349 ^б	0,267	0,600 ^а	0,300	0,600 ^а
БИ	0,185	0,233	0,500 ^а	0,167	0,500 ^а
МО	0,248	0,367 ^б	0,633 ^а	0,267	0,633 ^а
ТР	0,151	0,300	0,567 ^а	0,133	0,467 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар, ТР – Требиње

Осим средњих температура, на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине у порасту су и екстремне температуре, како максималне тако и минималне (Попов 2017, 2020).

У периоду 1961–2015. године на свим станицама значајан тренд пораста средње максималне температуре ваздуха утврђен је на годишњем нивоу и у свим годишњим сезонама, осим у сезони јесен (и у сезони зима у Билећи) (Таб. 14.5). Највећи пораст температуре присутан је у сезони љето (0,5–0,7 °С по деценији), затим у сезони зима (0,2–0,6 °С по деценији) и прољеће (0,3–0,5 °С по деценији), док је у сезони јесен присутно незнатно и несигнификантно повећање средње максималне температуре ваздуха (0,1–0,3 °С по деценији) (Попов 2020).

Таб. 14.5. Декадни тренд сезонских и годишњих средњих максималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Попов 2020)

Table 14.5. Decadal trend of seasonal and annual mean maximum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Попов 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,5 ^б	0,5 ^а	0,6 ^а	0,1	0,4 ^а
ПР	0,5 ^а	0,5 ^а	0,6 ^а	0,1	0,5 ^а
БЛ	0,6 ^а	0,5 ^а	0,7 ^а	0,3 ^б	0,6 ^а
БН	0,5 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,2	0,4 ^а
СА	0,4 ^б	0,4 ^а	0,7 ^а	0,2	0,4 ^а
БИ	0,2	0,3 ^б	0,5 ^а	0,1	0,3 ^а
МО	0,2 ^б	0,3 ^а	0,6 ^а	0,2	0,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ– Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

Таб. 14.6. Декадни тренд сезонских и годишњих средњих минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Попов 2020)

Table 14.6. Decadal trend of seasonal and annual mean minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Попов 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,4 ^а	0,2 ^а	0,4 ^а	0,2	0,3 ^а
ПР	0,3 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2 ^б	0,3 ^а
БЛ	0,5 ^а	0,4 ^а	0,6 ^а	0,4 ^а	0,5 ^а
БН	0,4 ^а	0,3 ^а	0,4 ^а	0,2	0,3 ^а
СА	0,4 ^а	0,2 ^а	0,4 ^а	0,2 ^б	0,3 ^а
БИ	0,2	0,1 ^б	0,3 ^а	0,0	0,1 ^а
МО	0,2 ^б	0,3 ^а	0,5 ^а	0,2 ^б	0,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ– Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

У периоду 1961–2015. године на свим метеоролошким станицама утврђен је статистички значајан тренд пораста средње минималне температуре ваздуха

на годишњем нивоу и у сезонама љето и прољеће, док је у сезони зима пораст значајан на свим станицама осим у Билећи, а у сезони јесен само у Бањој Луци, Приједору, Сарајеву и Мостару (Таб. 14.6). Највећи пораст средње минималне температуре присутан је у сезони љето (0,3–0,6 °C по деценији), затим у сезони зима (0,2–0,5 °C по деценији) и сезони прољеће (0,1–0,4 °C по деценији), док је у јесен присутно незнатно и несигнификантно повећање средње минималне температуре (0,0–0,4 °C по деценији) (Попов 2020).

Тренд пораста апсолутно максималне температуре ваздуха значајан је у готово свим дијеловима Републике Српске и Босне и Херцеговине (слабије изражен једино у вишим предјелима Херцеговине), док је повећање апсолутно минималних температура још несигнификантно у већем дијелу територије (Таб. 14.7, Таб. 14.8. и Таб. 14.9) (Попов 2017, 2020).

Таб. 14.7. Декадни тренд годишњих апсолутно максималних и минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (°C по деценији) (Попов 2020)

Table 14.7. Decadal trend of annual absolute maximum and minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (°C per decade) (Попов 2020)

МС	СМ	ПР	БЛ	ДБ	ТЗ
Tmax	0,5 ^a	0,6 ^a	0,8 ^a	0,6 ^a	0,7 ^a
Tmin	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3
МС	БН	СА	СО	БИ	МО
Tmax	0,7 ^a	0,8 ^a	0,7 ^a	0,3	0,6 ^a
Tmin	0,5	0,5	0,8 ^b	0,6 ^b	0,4

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^a) и 95 % (^b), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

Апсолутно максимална температура највећи пораст биљежи на простору Бање Луке и Сарајева (0,8 °C по деценији). На осталим станицама забиљежени су позитивни трендови у распону 0,3–0,7 °C по деценији. Да загријавање постаје израженије након 1990. године, потврђују подаци да су на готово свим станицама (Сански Мост, Приједор, Бања Лука, Добој, Тузла, Бијељина, Сарајево, Соколац, Билећа, Мостар...) након наведене године надмашени апсолутни максимуми температуре ваздуха из претходног стандардног климатолошког периода 1961–1990. године. На примјер, на подручју Бање Луке је нова апсолутно максимална вриједност температуре ваздуха постављана чак пет пута након завршетка претходног стандардног климатолошког периода (1961–

1990) (до тада је максимална измјерена температура ваздуха износила 39,7 °С, забиљежена у јулу 1968. године): у августу 1994. (40,4 °С), у августу 2000. (41,2 °С), у јулу 2007. (41,4 °С), у јулу 2013. (41,6 °С) и посљедњи пут у августу 2017. (41,8 °С) (Попов 2020). Рекордно високе температуре ваздуха у већини подручја у Босни и Херцеговини забиљежене су током изузетно јаким топлих таласа у љето 2000, 2003, 2007, 2013. и 2017. године.

Таб. 14.8. Промјена просјечних годишњих апсолутно максималних и минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини у периоду 1986–2015. године у односу на референтни период 1961–1990. године (у °С) (Попов 2020)

Table 14.8. Difference in average annual absolute maximum and minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period 1986–2015 in relation to the reference period 1961–1990 (in °C) (Попов 2020)

МС	СМ	ПР	БЛ	ДБ	ТЗ
Tmax	1,2 ^а	1,1 ^б	2,0 ^а	1,4 ^б	1,7 ^а
Tmin	0,4	0,5	0,5	0,7	0,2
МС	БН	СА	СО	БИ	МО
Tmax	2,0 ^а	2,0 ^а	1,5 ^а	0,7	1,4 ^а
Tmin	0,4	0,9	2,3 ^б	1,7 ^б	1,0

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

Таб. 14.9. Промјена дистрибуција годишњих апсолутно максималних и минималних температура ваздуха у Босни и Херцеговини између периода 1961–1990. и 1986–2015. године (Колмогоров-Смирнов тест) (Попов 2020)

Table 14.9. Difference in the distribution of annual absolute maximum and minimum air temperatures in Bosnia and Herzegovina between the period 1961–1990 and 1986–2015 (Kolmogorov-Smirnov test) (Попов 2020)

МС	СМ	ПР	БЛ	ДБ	ТЗ
Tmax	0,367 ^б	0,233	0,367 ^б	0,300	0,400 ^б
Tmin	0,167	0,167	0,167	0,133	0,133
МС	БН	СА	СО	БИ	МО
Tmax	0,533 ^а	0,400 ^б	0,300	0,233	0,400 ^б
Tmin	0,100	0,233	0,300	0,333	0,233

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

У складу с осмотреним трендом загријавања, присутан је и пораст апсолутно минималних температура ваздуха, иако тренд њиховог повећања (0,3–0,8 °C по деценији) засада углавном није статистички значајан – значајан пораст утврђен је само у Сокоцу и Билећи (Попов 2020).

Треба истакнути да су годишње и сезонске и апсолутне и средње минималне температуре ваздуха порасле по нешто нижим стопама од апсолутних и средњих максималних температура ваздуха, што се разликује од глобалног тренда утврђеног за читаву планету (Alexander et al. 2006; Zhang et al. 2019; Dunn et al. 2020), али је у складу с трендовима осмотреним у овом дијелу Европе (Burić et al. 2015a; Malinovic-Milicevic et al. 2016; Milošević et al. 2017).

Слични резултати добијени су и анализом индекса екстремних температура које је дефинисао Стручни тим за детекцију климатских промјена и индексе (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, ETCCDI), а који се заснивају на највишој и најнижој температури у години. Сви индекси засновани на апсолутним вриједностима показују позитивне трендове у Републици Српској и Босни и Херцеговини током посљедњих деценија (1961–2015) (Таб. 14.10) (Popov et al. 2018в, 2019в; Попов 2020; Gnjato et al. 2021).

Таб. 14.10. Декадни тренд индекса екстремних температура заснованих на апсолутним вриједностима у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (дани по деценији) (Popov et al. 2018в, 2019в)
Table 14.10. Decadal trend of extreme temperature indices based on absolute values in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (days per decade) (Popov et al. 2018в, 2019в)

МС	ТХх	ТХп	ТНх	ТНп
СМ	0,4 ^б	0,3	0,4 ^а	0,5
БЛ	0,7 ^а	0,3	0,6 ^а	0,5
ДБ	0,6 ^б	0,2	0,4 ^а	0,6
ТЗ	0,7 ^а	0,3	0,4 ^а	0,3
СА	0,8 ^а	0,3	0,5 ^б	0,5 ^г
МО	0,5 ^а	0,3	0,6 ^а	0,4 ^б

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^а) и 99 % (^б), 95 % (^в) и 90 % (^г), ТХх – максимална дневна максимална температура, ТХп – минимална дневна максимална температура, ТНх – максимална дневна минимална температура, ТНп – минимална дневна минимална температуре, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

Индекси максимална вриједност дневних максималних температура (ТХх) и максимална вриједност дневних минималних температура (ТНх) биљеже

статистички значајне трендове у распону 0,4–0,8 °C по деценији и 0,4–0,6 °C по деценији, респективно (Роров et al. 2018в, 2019в). Индекс минималне вриједности дневних максималних температура (ТХп) и индекс минималне вриједности минималних температура (ТНп) такође биљеже позитивне трендове, али још нису статистички значајни – вриједности наведених индекса порасле су по линији тренда 0,2–0,3 °C по деценији и 0,4–0,6 °C по деценији, респективно (Роров et al. 2018в, 2019в).

Такође, на цијелом подручју Републике Српске, односно Босне и Херцеговине учесталост појаве топлих дана и топлих ноћи повећава се по статистички значајним вриједностима трендова, док се фреквенција појаве хладних дана и хладних ноћи значајно смањује (Роров et al. 2018в, 2019в; Попов 2020). Фреквенција топлих дана порасла је за 8,6–11,8 дана по деценији, а топлих ноћи за 8,2–13,8 дана по деценији, много више него што смањена учесталост појаве хладних дана и хладних ноћи (3,1–4,5 дана по деценији и 4,0–6,0 дана по деценији, респективно) (Таб. 14.11).

Таб. 14.11. Декадни тренд годишње учесталости топлих и хладних дана и ноћи у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (дани по деценији) (Попов 2020)

Table 14.11. Decadal trend of the annual number of warm and cold days and nights in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (days per decade) (Попов 2020)

МС	ТХ10р	ТХ90р	ТН10р	ТН90р
СМ	-3,3 ^а	8,6 ^а	-4,9 ^а	8,6 ^а
БЛ	-4,5 ^а	11,8 ^а	-6,0 ^а	13,8 ^а
ДБ	-4,4 ^а	8,8 ^а	-4,1 ^а	8,6 ^а
ТЗ	-4,3 ^а	11,2 ^а	-4,0 ^а	8,3 ^а
СА	-3,1 ^а	9,6 ^а	-4,4 ^а	8,2 ^а
МО	-3,3 ^а	9,5 ^а	-4,2 ^а	9,8 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), ТХ10р – хладни дани, ТХ90р – топли дани, ТН10р – хладне ноћи, ТН90р – топле ноћи, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

У складу са трендом загријавања на цијелој територији Републике Српске и Босне и Херцеговине, смањује се учесталост појаве ледених дана (у интервалу од 0,8 до 2,7 дана по деценији) и мразних дана (у интервалу од 2,2 до 6,3 дана по деценији) (Роров et al. 2018а) (Таб. 14.12). У складу са загријавањем су и утврђени трендови повећања учесталости појаве љетњих дана (у распону 3,0–8,2 дана по деценији) и тропских дана (у распону 1,2–8,1 дана по деценији).

Јасно је уочљиво да су позитивни трендови љетњих и тропских дана знатно израженији од негативних трендова ледених и мразних дана. Смањену фреквенцију појаве ледених и мразних дана, а повећану фреквенцију љетњих и тропских дана, усљед израженијег загријавања од 1990-их, а нарочито од почетка XXI вијека, илуструје анализа одступања од просјека референтног периода 1961–1990. године (Роров et al. 2018а). Перцентилна анализа годишњег броја мразних дана указује на то да је тренд смањења постао израженији од 1990-их година, а посебно од почетка XXI вијека. На примјер, у том периоду према годишњем броју мразних дана просјечно свака трећа година била је у категорији < 25. перцентила (7–13 година), док је просјечно свака пета година била чак у категорији < 10. перцентила; с друге стране, само 1–3 године биле су у категорији > 90. перцентила (само у Бијељини 5 година), док на подручју Бање Луке и Бјелашнице није регистрована ниједна година са фреквенцијом мразних дана у наведеној категорији (Роров et al. 2017б).

Таб. 14.12. Декадни тренд индекса екстремних температура заснованих на фиксним вриједностима прагова у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2016. године (дани по деценији) (Роров et al. 2018а)

Table 14.12. Decadal trend of extreme temperature indices based on fixed threshold in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2016 (days per decade) (Popov et al. 2018a)

МС	ИД0	ФД0	SU25	TR30	TR20
СМ	-1,8 ^а	-3,3 ^б	5,3 ^а	4,3 ^а	
БЛ	-2,4 ^а	-6,3 ^а	7,4 ^а	6,2 ^а	
ДБ	-1,8 ^б	-2,4 ^б	4,2 ^б	4,2 ^б	
ТЗ	-2,2 ^б	-3,0 ^б	5,6 ^а	4,8 ^а	
БН	-0,8	-3,1 ^г	3,8 ^б	5,2 ^а	
БУ	-2,5 ^а	-5,1 ^а	6,1 ^а	5,2 ^а	
ЗН	-2,7 ^а	-4,4 ^а	8,2 ^а	8,1 ^а	
СА	-2,3 ^б	-3,0 ^б	6,0 ^а	5,9 ^а	
БЈ	0,0	-4,1 ^а			
ИС	-2,2 ^б	-3,3 ^б	6,5 ^а	1,2 ^а	
ЛИ	-1,5 ^б	-3,0 ^б	7,2 ^а	6,1 ^а	
МО		-2,2 ^б	3,0 ^б	4,4 ^а	6,3 ^а

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^а), 99 % (^б), 95 % (^в) и 90 % (^г), ИД0 – ледени дани, ФД0 – мразни дани, SU25 – љетни дани, TR30 – тропски дани, TR20 – тропске ноћи, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, БУ – Бугојно, ЗН – Зеница, СА – Сарајево, БЈ – Бјелашница, ИС – Иван седло, ЛИ – Ливно, МО – Мостар

Иако се тропске ноћи ријетко јављају у већини подручја Босне и Херцеговине (обично се годишње забиљеже свега 1–2 таква дана, а у вишим планинским предјелима њихова појава до сада није забиљежена), па се не може говорити о постојању израженог тренда у њиховој временској серији, уочљива је повећана учесталост појаве широм Босне и Херцеговине, нарочито од почетка XXI вијека. Неке од највећих фреквенција појаве тропских ноћи забиљежене су у годинама са интензивним и дуготрајним топлим таласима –2007, 2010. и 2012. године (Роров et al. 2018a). Тропске ноћи биљеже статистички значајне позитивне трендове у нижим предјелима Херцеговине, гдје је њихова појава релативно честа у најтоплијем дијелу године. На примјер, у Мостару је у периоду 1961–2016. године утврђен статистички значајан позитиван тренд од 6,3 дана по деценији (Роров et al. 2017a).

Посљедњих деценија вишеструко је повећана дужина трајања топлих таласа. Индекс дужине трајања топлих таласа WSDI, који представља годишњи број дана у периодима од најмање 6 узастопних дана са максималном дневном температуром > 90. перцентила, биљежи статистички значајне трендове на цијелој територији Босне и Херцеговине, у распону од 3,3 дана по деценији до 5,0 дана по деценији (Таб. 14.13). Пораст је нарочито изражен након 1990. године – од тада је годишњи WSDI повећан чак 4–7 пута у односу на референтни период 1961–1990. године (Попов 2020).

Таб. 14.13. Декадни тренд дужине трајања топлих и хладних таласа у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (дани по деценији) (Попов 2020)

Table 14.13. Decadal trend in warm and cold spell duration index in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (days per decade) (Попов 2020)

МС	СМ	БЛ	ДБ	ТЗ	СА	МО
WSDI	3,3 ^а	5,0 ^а	5,3 ^а	5,0 ^а	4,4 ^а	5,0 ^а
CSDI	-0,8 ^б	-0,9 ^б	-0,7	-0,6	-0,3	-0,8

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), WSDI – трајање топлих таласа, CSDI – трајање хладних таласа, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

Да тенденција загријавања у Републици Српској и Босни и Херцеговини постаје све израженија од 1990-их година, а нарочито од почетка XXI вијека, показују и промјене функција густине вјероватноће (*Probability Density Function, PDF*) средњих годишњих и сезонских температура ваздуха у периоду 1991–2016. године у односу на референтни период 1961–1990. године (Роров et al. 2019b). Дистрибуције годишњих и сезонских средњих температура помјерене су ка вишим вриједностима (тј. ка топлијим условима) у другом периоду.

Резултати Колмогоров–Смирнов теста такође потврђују значајне промјене дистрибуције између два наведена периода у свим годишњим добима, осим у зимском периоду. Промјене су посебно биле изражене у горњем репу дистрибуције (најизраженије за годишње и љетње температуре).

Промјене функција густине вјероватноће екстремних, максималних и минималних температура између периода 1961–1990. и 1991–2016. године такође су се десиле у правцу помјерања дистрибуција ка вишим температурама у другом периоду (Pорov et al. 2019a). Према очекивању, резултати Колмогоров–Смирновог теста потврдили су да су сви топли индекси екстремних температура значајно помјерили своје дистрибуције ка вишим вриједностима (осим индекса минимална дневна максимална температура и минимална дневна минимална температура), док је значајан помак ка нижим вриједностима детектован за већину хладних индекса екстремних температура (помјерање дистрибуције ледених дана било је значајно само на нивоу од 90%, а код дужине трајања хладних таласа CSDI незнатно због његове веома ријетке појаве) (Pорov et al. 2019a). Промјене су посебно биле изражене у горњем репу дистрибуција топлих индекса TXx, TNx, TN90p, TX90p, SU25, SU30 и WSDI (Pорov et al. 2019a).

Анализе функција густине вјероватноће индекса екстремних температура за Перипанонски регион (Pорov et al. 2019в), Мостар (Pорov et al. 2018г) и Сарајево (Gњjato et al. 2021) потврђују резултате добијене на нивоу Босне и Херцеговине. Оне су такође показале да су топли индекси екстремних температура (топли дани, топле ноћи, максимална дневна максимална температура, максимална дневна минимална температура, тропски дани, тропске ноћи, дужина трајања топлих таласа WSDI) помјерили своје дистрибуције према вишим вриједностима индекса, док су хладни индекси екстремних температура (хладни дани, хладне ноћи, ледени дани, мразни дани и дужина трајања хладних таласа) помјерили своје дистрибуције ка нижим вриједностима индекса у периоду 1991–2016. у односу на период 1961–1990. године (Pорov et al. 2018г, 2019в; Gњjato et al. 2021). Колмогоров–Смирнов тест потврдио је да су многе промјене у дистрибуцији статистички значајне. У Мостару су незнатне и несигнификантне промјене утврђене само за TXn и TNn и за хладне индексе ледени дани, мразни дани и дужина трајања хладних таласа CSDI због њихове веома ријетке појаве (Pорov et al. 2018г). У Сарајеву несигнификантне промјене кумулативне дистрибуције температурних индекса у периоду 1991–2016. године у односу на референтни период 1961–1990. године утврђене су за индексе: ледени дани, мразни дани, дужина трајања хладних таласа, TNn, TXn и тропске ноћи (Gњjato et al. 2021). У Перипанонском региону незнатне и несигнификантне промјене утврђене су само за TXn и TNn (и тропске ноћи и дужину трајања хладних таласа због њихове веома ријетке појаве на овом

подручју) (Pоров et al. 2019в). Промјене су посебно биле изражене такође у горњем репу дистрибуције топлих индекса екстремних температура.

Анализа параметара генерализоване дистрибуције екстремних вриједности (*Generalized Extreme Value*, GEV) показала је повећање вриједности параметра локације и за максималну и за минималну температуру у периоду 1991–2016. године у поређењу са референтним периодом (1961–1990), што потврђује тренд пораста загријавања од 1990-их година (Pоров et al. 2018г; Gnjato et al. 2021). Ниже вриједности параметара скале сугеришу више концентрисане варијабилности дистрибуције у другом периоду. Штавише, двогодишњи и двадесетогодишњи догађаји и максималне и минималне температуре постали су чешћи од 1990-их. Наведено повећање вриједности повратног периода било је посебно изражено за максималне температуре.

Да тренд загријавања постаје израженији од 1990-их година, илуструју и анализа распореда средњих и екстремних температура према перцентилима и анализа одступања од просјека у претходном стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године (Граф. 14.1, Граф. 14.2. и Граф. 14.3). Од 1990. године само су се једна или двије године на одређеним станицама нашле у категорији < 25. перцентила (обично 1991, 1995, 1996, 2005. или 2006. година), на неким станицама ниједна (на примјер, Соколац) (Попов 2020).

Анализа распореда средњих температура ваздуха у источној Херцеговини према перцентилима показује да је након 1990. године годишња средња температура само током 2–4 године била у категорији < 25. перцентила (углавном 1995, 1996, 2005. или 2006. године) (Pоров et al. 2021). Годишње средње максималне и средње минималне температуре су се током само 3 године налазиле у категорији < 25. перцентила (максимална углавном 1995, 1996 и 2005. године, а минимална углавном 1991, 1993, 1995, 2005 или 2006. године). Насупрот томе, просјечно свака друга година била је у категорији > 75. перцентила (од 11 година у Билећи до 15 година у Требињу). Само 1–2 године према средњој максималној температури (према средњој минималној температури ниједна) из периода 1961–1990. године биле су у овој категорији (1961. година и у нижим подручјима 1990. година).

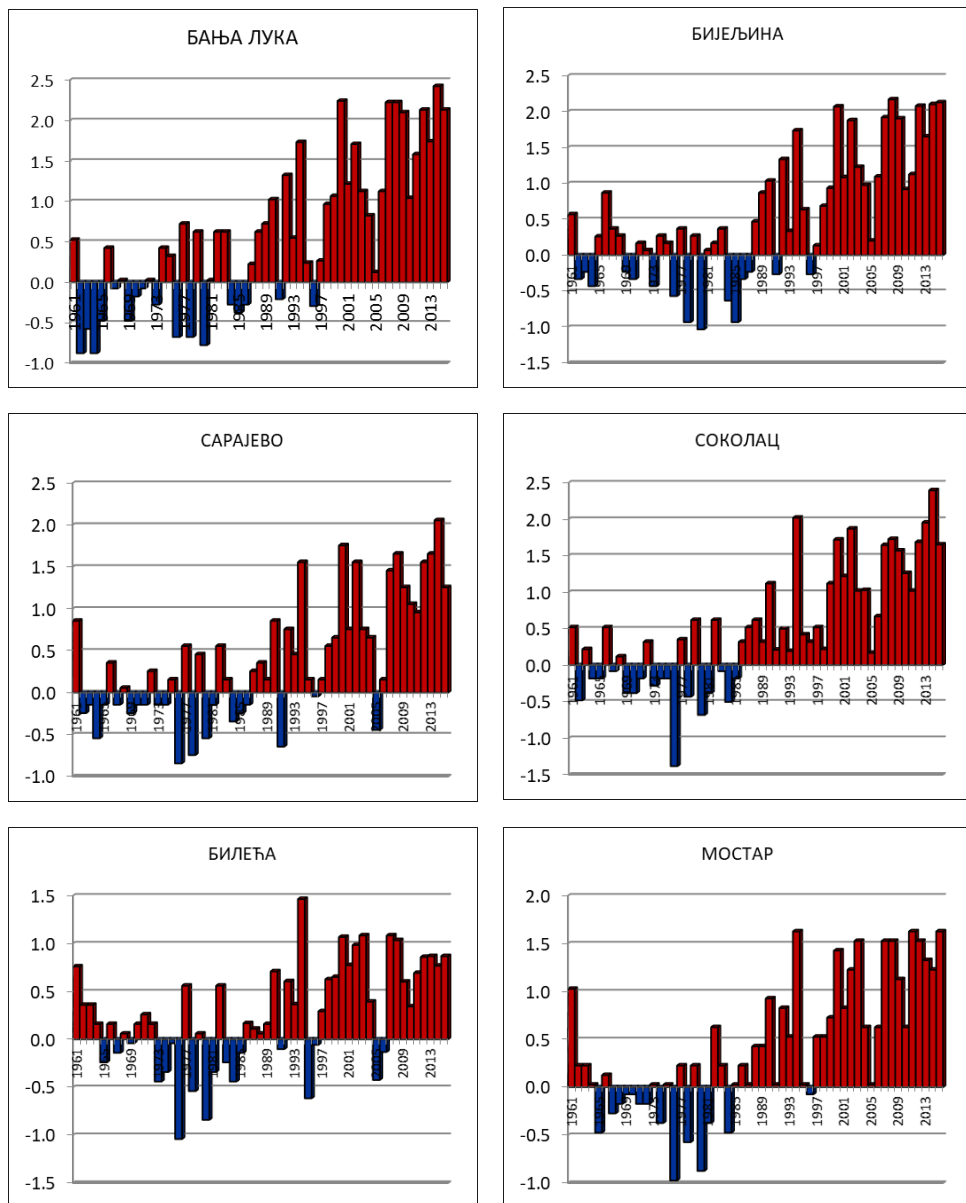
Од укупног броја екстремно хладних мјесеци (дефинисаних као мјесеци са вриједношћу испод дугорочног 10. перцентила) који су у периоду 1991–2016. године забиљежени на подручју источне Херцеговине, 72–82% забиљежено је у периоду 1961–1990. године, док је 60–74% екстремно топлих мјесеци (дефинисаних као мјесеци са вриједношћу изнад дугорочног 90. перцентила) забиљежено након 1990. (Pоров et al. 2019г). Највећи пораст учесталости појаве екстремно топлих мјесеци, као и највећи пад учесталости појаве екстремно хладних мјесеци догодио се у сезони љето. Број екстремно топлих

мјесеци љети повећан је 4–16 пута у односу на учесталост у референтном периоду. Готово сви екстремно топли мјесеци у овом дијелу године забиљежени су након 1990. године (до тада само 1–3 екстремно топла мјесеца, а након тога 15–17 мјесеци).

Анализа одступања годишњих средњих, средњих максималних и средњих минималних температура у источној Херцеговини од просјечне температуре у референтном периоду 1961–1990. године такође потврђује да загријавање постаје интензивније од 1990-их година (Pоров et al. 2021). Компаративна анализа просјечних температура у периоду 1961–1990. и 1991–2016. године показала је да највећи пораст сезонских средњих, средњих максималних и средњих минималних температура ваздуха на подручју источне Херцеговине присутан у најтоплијем дијелу године, у сезони љето (1,1–1,9 °C, 1,6–2,1 °C и 1,3–2,1 °C, респективно), а затим у сезони прољеће (0,5–0,9 °C, 0,8–1,1 °C и 0,6–1,2 °C, респективно) и зима (0,2–0,7 °C, 0,4–0,8 °C и 0,6–0,8 °C, респективно) (Pоров et al. 2021).

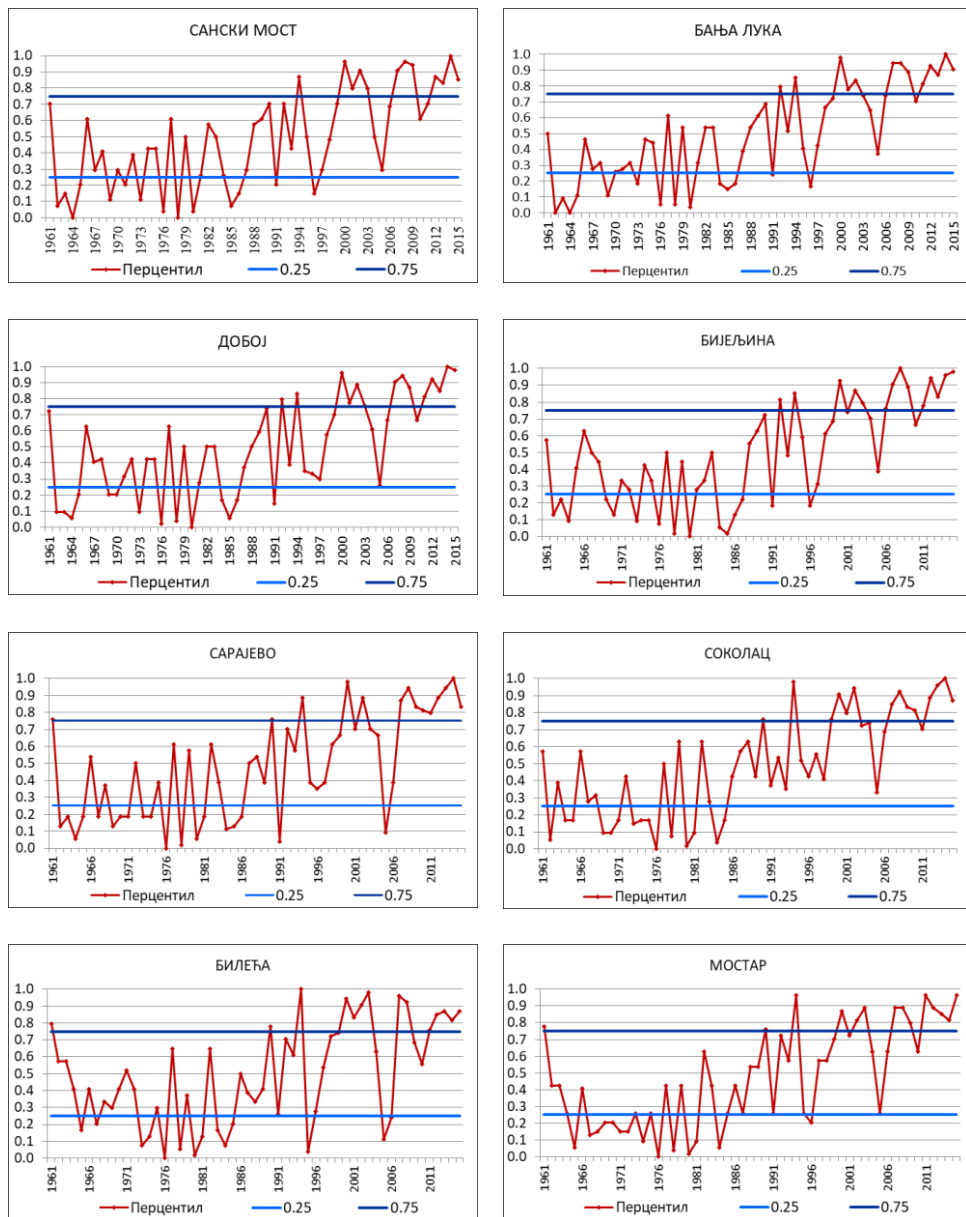
Анализа одступања годишњих вриједности индекса екстремних температура у Мостару од просјека претходног стандардног климатолошког периода 1961–1990. године (који је обично узиман као референтни период) такође потврђује да је тренд загријавања постао израженији од почетка XXI вијека – ни у једној години нису забиљежене вриједности топлих индекса екстремних температура TX90p, TN90p, SU25 и WSDI ниже од просјека референтног периода, док су вриједности индекса TXx, TNx и TR20 током само једне године биле испод просјека, и то током 2014. године, која је била једна од најтоплијих година и година са највишом годишњом минималном температуром, али није било појаве јаким топлим таласа са екстремно високим температурним аномалијама (Pоров et al. 2017a). Учесталост појаве хладних индекса екстремних температура, као што су TN10p, TN90p и FD0, углавном је била испотпросјечна, што такође указује на повећано загријавање.

Од почетка XXI вијека у Сарајеву није регистрована ниједна појава топлих индекса екстремних температура TXx, SU25, TR30 и WSDI испод просјека стандардног климатолошког периода 1961–1990. године, док су TX90p и TN90p забиљежили само једну годину са испотпросјечним вриједностима (2005. година); с друге стране, вриједности хладних индекса екстремних температура углавном су биле испод просјека (Gнјато et al. 2021). Просјечна годишња вриједност TR30 се утростручила, а TX90p и TN90p удвостручила у посљедњој деценији у поређењу са просјецима референтног периода 1961–1990. године, док се годишњи број WSDI повећао 9 пута.



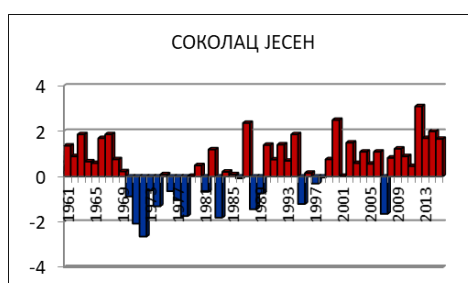
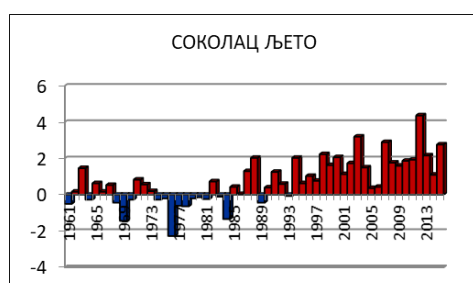
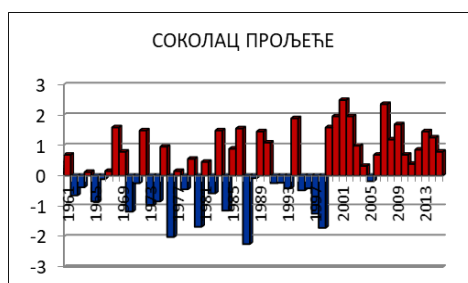
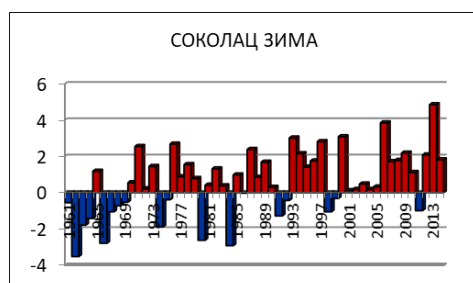
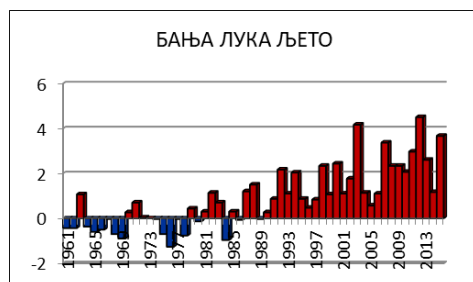
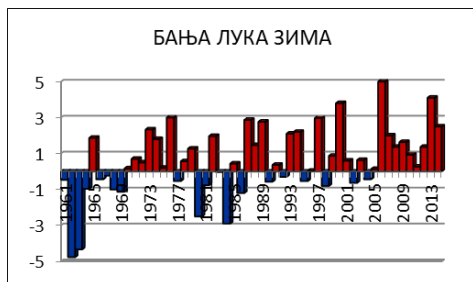
Граф. 14.1. Одступање средње годишње температуре ваздуха у Босни и Херцеговини од просјечне температуре у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)

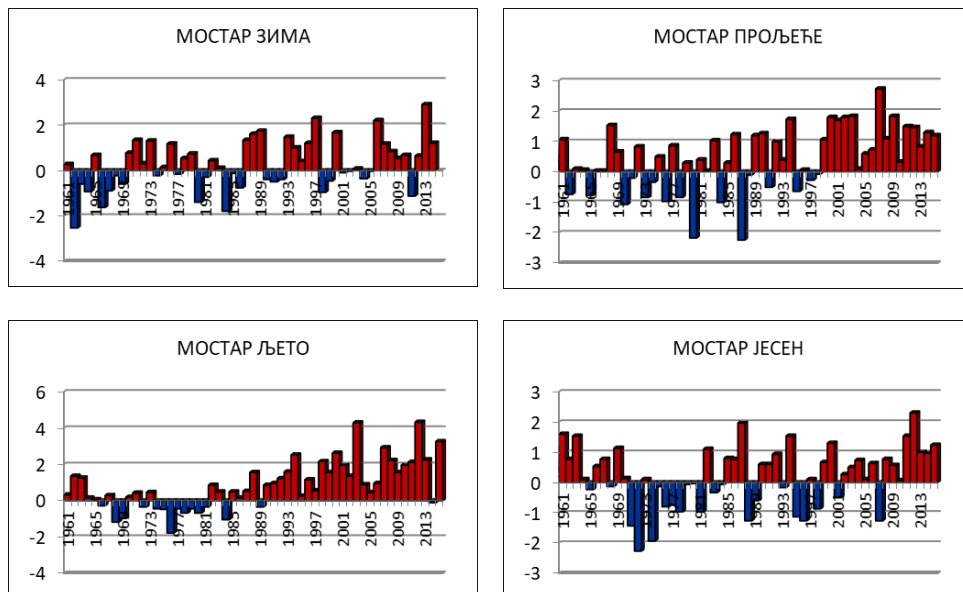
Graph.14.1. Deviation of average annual air temperature in Bosnia and Herzegovina from the standard climatological period 1961–1990 averages in the period 1961–2015 (Попов 2017)



Граф. 14.2. Ранг средње годишње температуре ваздуха у Босни и Херцеговини према перцентилима у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)

Graph.14.2. Percentile rank of average annual air temperature in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (Попов 2017)





Граф. 14.3. Одступање средњих сезонских температура ваздуха у Босни и Херцеговини од просјечне температуре у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)

Graph. 14.3. Deviation of mean seasonal air temperatures in Bosnia and Herzegovina from the standard climatological period 1961–1990 averages in the period 1961–2015 (Попов 2017)

14.3. Промјене падавина

За разлику од конзистентног тренда раста средњих и екстремних температура, присутног на цијелом подручју Републике Српске и Босне и Херцеговине, трендови промјене суме падавина, средњих и екстремних, нису просторно ни сезонски конзистентни (Дуцић и сар. 2008; Trbić et al. 2012; Ducić et al. 2014; Роров et al. 2017в, 2018б, 2018д, 2019б, 2019д, 2019ђ; Djurdjevic et al. 2019; Попов 2020). За период од 1961. године утврђени су и позитивни и негативни трендови мјесечних, сезонских и годишњих падавина, али су преовлађујући били трендови слабог интензитета који су статистички несигнификантни (Роров et al. 2019б; Попов 2020).

Годишње падавине порасле су у периоду 1961–2017. у већини подручја у перипанонском ободу (од 5,3 мм по деценији у Санском Мосту до 20,5 мм по деценији у Добоју), осим у Бањој Луци, гдје су смањене за 4,4 мм по деценији

(Popov et al. 2019b) (Таб. 14.14). Годишње падавине порасле су и у планинским подручјима – статистички значајно на Бјелашници (78,2 мм по деценији) и у Сокоцу (37,5 мм по деценији). За разлику од већине подручја у сјеверном и централном планинском подручју Босне и Херцеговине, годишње падавине смањене су у субмедитеранском подручју на југу, у региону Херцеговине (Мостар 43,4 мм по деценији, Билећа 16,1 мм по деценији) (Popov et al. 2019b; Попов 2020). Анализа података са падавинских станица у источној Херцеговини потврђује наведени негативни тренд падавина на овом подручју – на већини станица несигнификантан, али је статистички значајан негативни тренд утврђен на падавинској станици Тули (78,9 мм по деценији) (Popov et al. 2019f).

Иако су промјене годишњих падавина још слабог интензитета и углавном несигнификантне, нешто веће промјене утврђене су у расподјели падавина током године (Таб. 14.14). Дакле, иако се укупна сума падавина није знатно промијенила, поремећен је плувиометријски режим, односно расподјела падавина по сезонама. Наведено се прије свега огледа у негативном тренду падавина у сезони љето и позитивном тренду у сезони јесен који су присутни широм Републике Српске и Босне и Херцеговине.

Таб. 14.14. Декадни тренд средњих сезонских и годишњих падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (мм по деценији) (Попов 2020)

Table 14.14. Decadal trend of average seasonal and annual precipitation in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (mm per decade) (Popov 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	4,9	0,9	-16,3	12,5	2,5
БЛ	1,9	0,0	-15,6	9,4	-9,8
ДБ	0,4	7,5	-4,5	10,0	19,7
БН	-0,2	7,4	-6,3	5,7	7,3
СА	-3,1	3,3	-4,9	3,5	-0,7
СО	8,1	10,1 ^а	4,0	10,9	35,3 ^б
БИ	1,1	-5,3	-16,4 ^а	12,2	-20,0
МО	-12,8	-12,0	-8,5	2,0	-42,5

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар

У сезони љето падавине су смањене у готово свим подручјима у распону од 4,5 мм по деценији до 16,4 мм по деценији, осим у вишим предјелима (на

примјер, Соколац и Бјелашница) (Popov et al. 20196). У сезони јесен на цијелој територији забиљежен је пораст падавина у распону од 2,0 мм по деценији у Мостару до 12,5 мм по деценији у Санском Мосту (Popov et al. 20196; Попов 2020). У сезонама зима и прољеће преовладавају позитивни трендови, иако су у одређеним подручјима присутни и трендови смањења падавина (Popov et al. 20196; Попов 2020). Трендови промјене мјесечних падавина у Републици Српској и Босни и Херцеговини приказани су у Таб. 14.15. (Popov et al. 20196).

Таб. 14.15. Декадни тренд мјесечних падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2017. године (мм по деценији) (Popov et al. 20196)
 Table 14.15. Decadal trend of monthly precipitation in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2017 (mm per decade) (Popov et al. 20196)

МС	I	II	III	IV	V	VI
СМ	0,0	6,4 ^Б	-0,4	2,1	1,9	-3,7
БЛ	2,7	3,0	2,6	-1,5	1,8	-3,6
ДБ	2,6	3,3	2,7	0,5	7,2 ^Б	-5,0 ^Г
БН	2,3	1,5	3,1	2,6	5,1 ^Г	-3,7
БУ	1,3	0,5	0,2	3,8	1,9	1,7
СА	1,2	0,1	1,4	1,0	1,9	0,0
СО	3,2	2,3	1,7	4,1 ^Г	4,6	4,3
БЈ	10,4 ^Б	11,4 ^Б	8,5 ^Б	10,0 ^Б	3,5	2,3
БИ	0,2	5,9	-2,2	-4,0	1,9	-4,2
МО	-2,0	-3,6	-4,1	-2,6	-0,8	-4,4
МС	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СМ	-5,8 ^Г	-5,9	8,0 ^Б	7,5 ^Г	-2,9	0,5
БЛ	-5,0	-8,2 ^Г	5,4	5,6	-2,8	-1,2
ДБ	0,1	-3,5	3,0	7,3 ^Б	-1,7	-2,6
БН	-1,2	-0,2	0,6	6,8 ^Б	-2,4	-3,4
БУ	1,8	-0,6	7,1 ^Б	2,1	-4,2	-5,2
СА	-3,2	-2,0	4,2	5,3	-2,8	-3,3
СО	0,5	-0,3	6,1 ^Г	6,2 ^Г	-1,4	0,1
БЈ	1,4	-5,1	9,1 ^Г	9,6	7,9	8,1 ^Г
БИ	-2,2	-6,9 ^Б	3,1	8,2	1,0	-1,8
МО	0,5	-7,3 ^Г	12,4 ^Г	3,9	-10,1	-9,3

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99,9 % (^А), 99 % (^Б), 95 % (^В) и 90 % (^Г), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, БН – Бијељина, БУ – Бугојно, СА – Сарајево, СО – Соколац, БЈ – Бјелашница, БИ – Билећа, МО – Мостар

Кумулативна дистрибуција годишњих падавина у сјеверном дијелу територије Републике Српске и Босне и Херцеговине и у Сокоцу помјерена је према већим сумама падавина, а у региону Херцеговине према мањим у периоду 1986–2015. године у односу на референтни период 1961–1990. године (Попов 2020). Ипак, Колмогоров-Смирнов тест показао је да промјене дистрибуције још нису значајне ни у једном дијелу Босне и Херцеговине (Таб. 14.16).

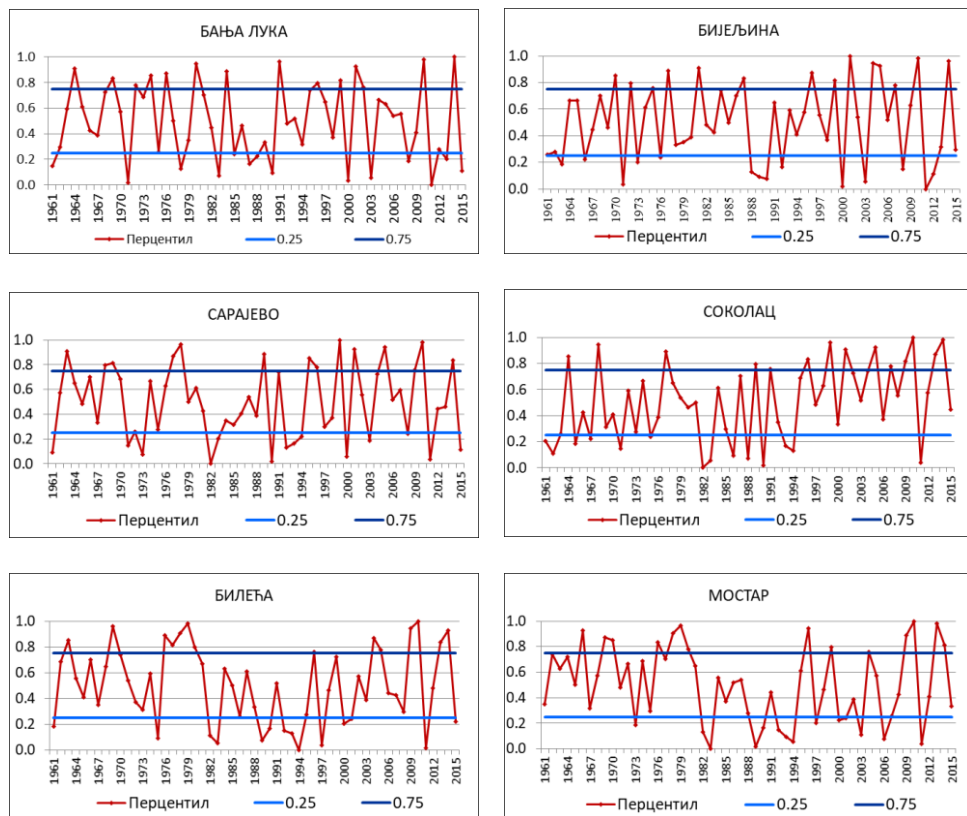
Таб. 14.16. Промјена дистрибуција средњих сезонских и годишњих падавина у Босни и Херцеговини између периода 1961–1990. и 1986–2015. године (Колмогоров-Смирнов тест) (Попов 2020)
Table 14.16. Difference in the distribution of average seasonal and annual precipitation in Bosnia and Herzegovina between 1961–1990 and 1986–2015 (Kolmogorov-Smirnov test) (Popov 2020)

МС	Зима	Прољеће	Љето	Јесен	Година
СМ	0,190	0,167	0,300	0,333	0,133
ПР	0,117	0,167	0,233	0,333	0,133
БЛ	0,063	0,133	0,200	0,333	0,100
ДБ	0,210	0,167	0,200	0,400	0,267
ТЗ	0,130	0,200	0,200	0,300	0,167
БН	0,157	0,167	0,167	0,300	0,167
СА	0,123	0,200	0,200	0,200	0,167
СО	0,182	0,300	0,200	0,233	0,333
БИ	0,124	0,267	0,233	0,167	0,233
МО	0,200	0,300	0,300	0,100	0,300
ТР	0,115	0,233	0,200	0,100	0,200

Напомена: Промјене нису статистички значајне, СМ – Сански Мост, ПР – Приједор, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, БН – Бијељина, СА – Сарајево, СО – Соколац, БИ – Билећа, МО – Мостар, ТР – Требиње

У Босни и Херцеговини повећана је међугодишња варијабилност падавина. Примјетна је све чешћа појава година са екстремно високим или ниским падавинама. Треба напоменути и да је све чешћа појава да након веома влажне године са великим поплавама наступи изразито сува година са појавом јаке суше (или обрнуто) – на примјер, након веома сушних 1990, 2000. и 2013. године наступиле су веома влажне 1991, 2001. и 2014. година, а након веома влажне и са великим поплавама 2010. године, дошла је екстремно сушна 2011. година, која је у већини подручја једна од најсушнијих година од 1961. године (Попов 2020).

На повећану учесталост година са екстремним падавинама указује и распоред средњих годишњих падавина према перцентилима (Граф. 14.4).



Граф. 14.4. Ранг средњих годишњих падавина у Босни и Херцеговини према перцентилима у периоду 1961–2015. године (Попов 2017)
 Graph.14.4. Percentile rank of mean annual precipitation in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (Попов 2017)

Позитивни трендови индекса интензивних падавина, као што су: највећа једнодневна количина падавина, највећа петодневна количина падавина, сума падавина на веома влажне дане, сума падавина на изузетно влажне дане, број дана са падавинама већим од 10 мм, стандардни дневни интензитет падавина и др., забиљежени на појединим станицама у Републици Српској и Босни и Херцеговини, сугеришу промјене ка све интензивнијим падавинама, које, међутим, још углавном нису статистички значајне (Таб. 14.17. и Таб. 14.18) (Popov et al. 2017в, 2018д, 2018б, 2019ђ; Попов 2020; Gnjato et al. 2021). Слични резултати добијени су и истраживањима у региону (Unkašević and Tošić 2011; Burić et al. 2015б; Gajić-Čarka et al. 2015; Ćulafić et al. 2020).

Таб. 14.17. Декадни тренд индекса максималне једнодневне и петодневне суме падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (мм по деценији) (Попов 2020)

Table 14.17. Decadal trend of highest 1-day and 5-day sum of precipitation indices in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (mm per decade) (Попов 2020)

МС	СМ	БЛ	ДБ	СА	СО	БИ	МО
RX1day	-0,4	0,0	1,9	0,7	0,8	1,9	1,9
RX5day	1,8	1,3	5,0 ^б	0,6	-1,0	1,8	1,3

Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), RX1day – највећа једнодневна сума падавина, RX5day – највећа петодневна сума падавина, СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, ТЗ – Тузла, СА – Сарајево, МО – Мостар

Таб. 14.18. Декадни тренд индекса екстремних падавина у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2015. године (Popov et al. 2017в; Попов 2020)

Table 14.18. Decadal trend of the extreme precipitation indices in Bosnia and Herzegovina in the period 1961–2015 (Popov et al. 2017в; Попов 2020)

МС	СМ	БЛ	ДБ	СА	МО
R01mm	-2,3	-2,0	0,6	0,0	-3,3 ^б
R1mm	-1,6	-4,3 ^а	-0,8	-1,1	-3,2 ^б
R10mm	0,0	-1,4 ^б	0,5	0,0	-1,3
R95p	6,4	0,6	17,9	-1,0	-5,8
R99p	0,0	0,9	6,5	0,0	2,4
SDII	0,14	0,03	0,21	0,07	0,04
CDD	0,5	1,1 ^б	0,3	0,0	0,0
CWD	7,0	6,8	6,4	7,0	8,5

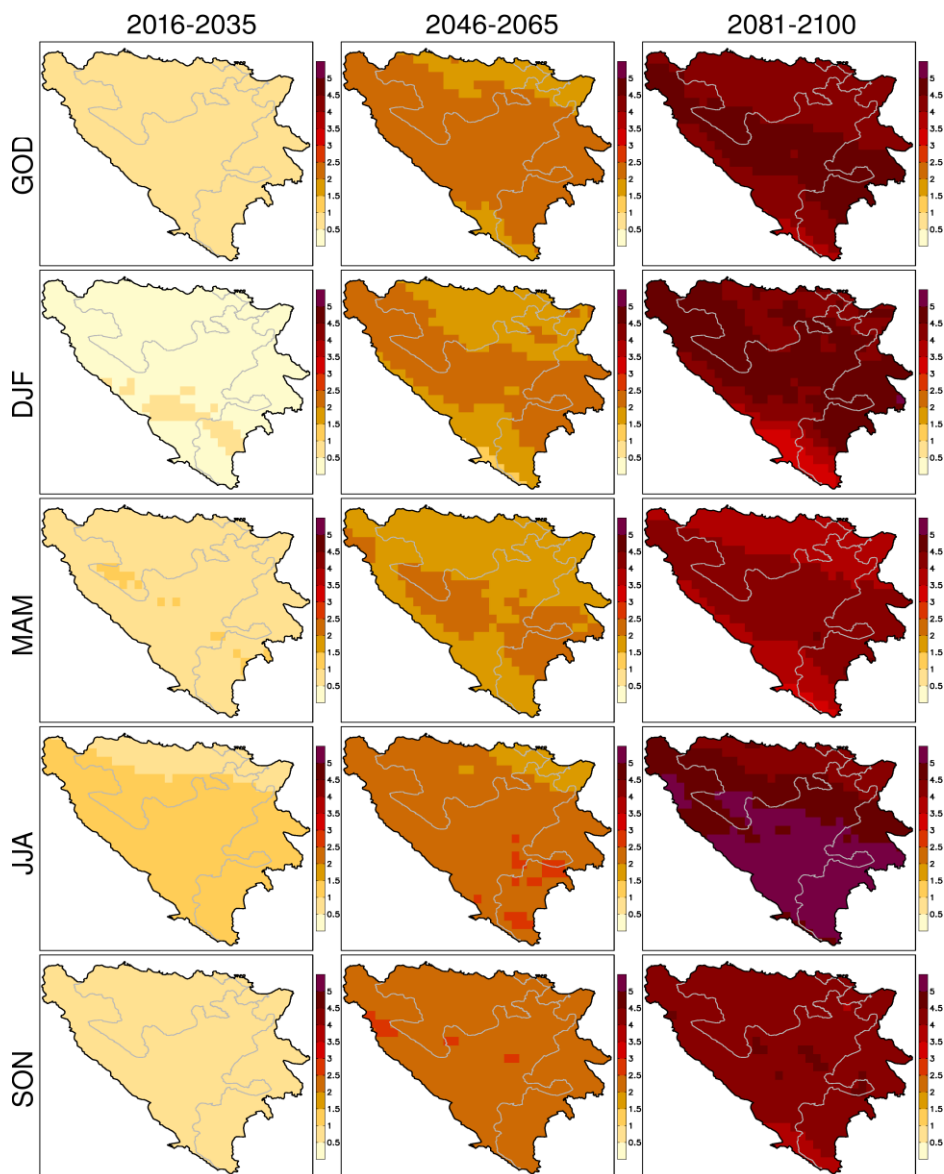
Напомена: Статистичка значајност на нивоу од 99 % (^а) и 95 % (^б), R01mm – број дана са падавинама $\geq 0,1$ мм (дани по деценији), R1mm – број дана са падавинама $\geq 1,0$ мм (дани по деценији), R10mm – број дана са падавинама $\geq 10,0$ мм (дани по деценији), R95p – сума падавина на веома влажне дане (мм по деценији), R99p – сума падавина на екстремно влажне дане (мм по деценији), SDII – једноставан индекс дневног интензитета падавина (мм дан⁻¹ по деценији), CDD – трајање метеоролошке суше (дани по деценији), CWD – трајање кишног периода (дани по деценији), СМ – Сански Мост, БЛ – Бања Лука, ДБ – Добој, СА – Сарајево, МО – Мостар

14.4. Промјене температуре ваздуха до краја XXI вијека према климатском сценарију RCP8.5

На Сл. 14.1. приказане су очекиване промјене средње дневне температуре ваздуха према сценарију RCP8.5, за три будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100. године, у односу на референтни период 1986–2005. године. Анализе су вршене на годишњем нивоу (GOD) и за четири годишње сезоне – зима (децембар–јануар–фебруар, DJF), прољеће (март–април–мај, MAM), љето (јун–јул–август, JJA) и јесен (септембар–октобар–новембар, SON). Према приказаним резултатима за климатски сценарио RCP8.5 очекиване промјене за први период (2016–2035) крећу се у интервалу од 0,5 °C до 1,5 °C. Најмања промјена се може очекивати за сезону DJF, док су промјене за остале сезоне и за годишње средње вриједности приближно сличне. За други анализирани период (средица вијека, 2036–2065), промјене се крећу у интервалу од 1,5 °C до 3 °C. За посљедњи период (2081–2100), очекивани пораст температуре је у интервалу од 2,5 °C до 5 °C, за све сезоне међу којима се посебно истиче пораст температуре за сезону JJA, када је пораст температуре у већем дијелу Босне и Херцеговине већи од 5 °C. Осим тога, на неким картама запажа се да су промјене температуре веће у планинским областима, што је јасно уочљиво у случају промјена за посљедњи анализирани период 2081–2100. године. Сезона коју карактерише најмање одступање је MAM сезона.

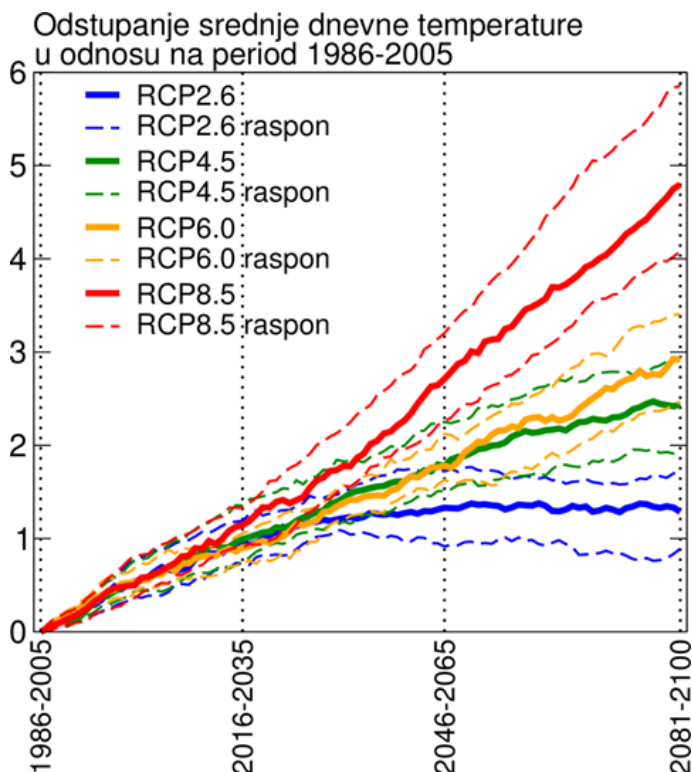
На Граф. 14.1. приказане су пројекције одступања просјечних годишњих вриједности средње дневне температуре за узастопне двадесетогодишње периоде, почевши од двадесетогодишњег периода 1986–2005. до периода 2081–2100. Референтни (базни) период и у овом случају је био период 1986–2005. Приказани су резултати за четири различита сценарија, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5, и то пуном линијом средња вриједност ансамбла различитих глобалних климатских модела, а испрекиданом линијом распон могуће промјене између 25. и 75. перцентила укупног могућег распона цијелог ансамбла.

Према сценарију RCP8.5 до краја вијека очекивана промјена средње дневне температуре највећа је у односу на друге сценарије, и износи 4,8 °C, са распонем од 4 °C до 6 °C у односу на референтни период 1986–2005. године. За средину вијека средња промјена према овом сценарију је нешто већа од 2,5 °C, док за период блиске будућности (2016–2035) према овом сценарију очекивана промјена износи око 1 °C у односу на вриједност из референтног периода 1986–2005.



Сл. 14.1. Промјена средње дневне температуре ($^{\circ}\text{C}$) у односу на референтни период 1986–2005. године за сценарио RCP8.5 на годишњем нивоу (GOD) и за сезоне DJF, MAM, JJA и SON за три одабрана будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100

Fig. 14.1. Changes in mean daily temperature ($^{\circ}\text{C}$) compared to the reference period 1986–2005 for the RCP8.5 scenario at the annual level (GOD) and for the DJF, MAM, JJA and SON seasons for three selected future periods: 2016–2035, 2046–2065 and 2081–2100

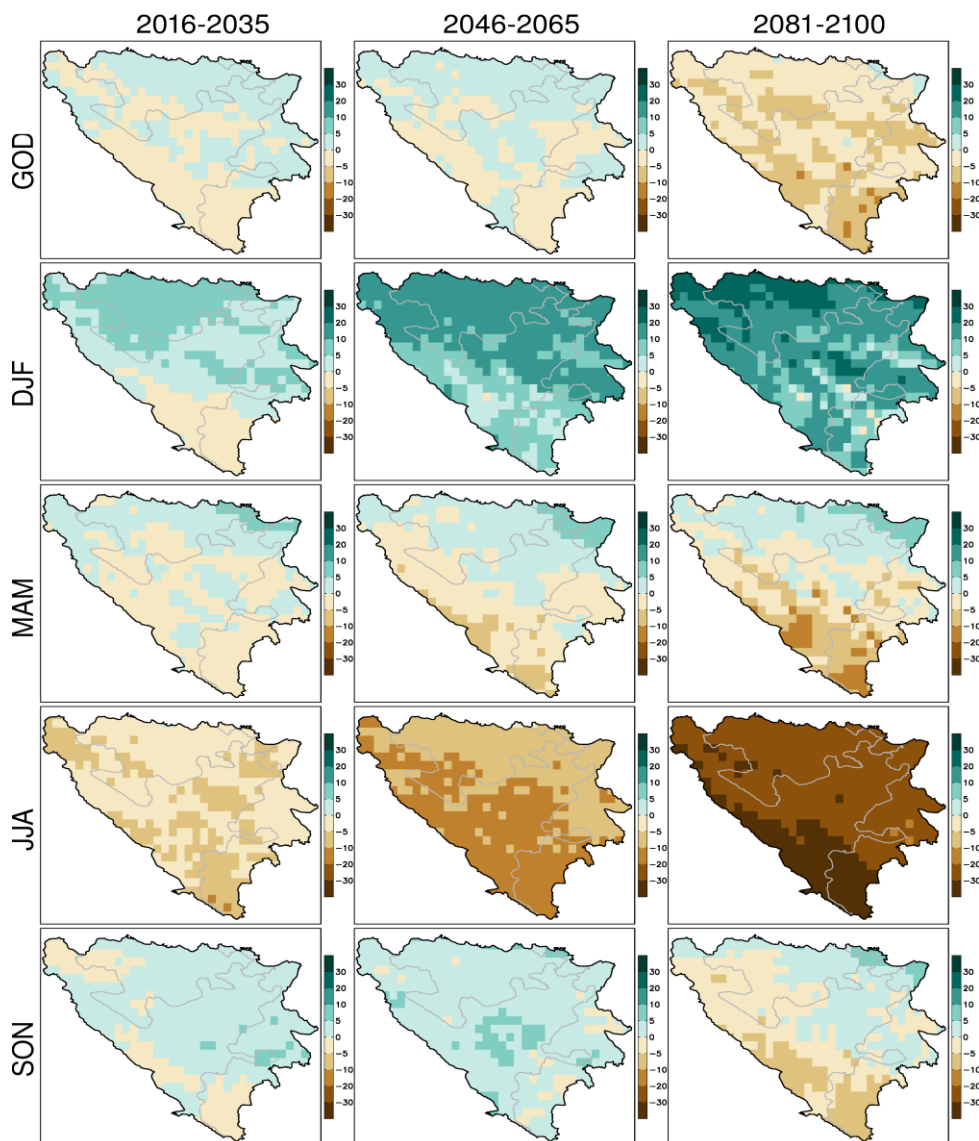


Граф. 14.1. Пројектована одступања средње дневне температуре ваздуха (°C) до краја XXI вијека према климатским сценаријима RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5

Graph.14.1. Projected deviation of the mean daily air temperature (°C) by the end of the 21st century according to climate scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5

14.5. Промјене падавина до краја XXI вијека према климатском сценарију RCP8.5

Очекиване промјене средњих дневних акумулираних падавина за климатски сценарио RCP8.5 приказане су на Сл. 14.2. за три будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100. године, у односу на референтни период 1986–2005. Промјене су анализирани на годишњем нивоу (GOD) и за четири сезоне (DJF, MAM, JJA и SON). Према приказаним резултатима за климатски сценарио RCP8.5 очекује се дефицит падавина и до -10% у појединим дијеловима Босне и Херцеговине.

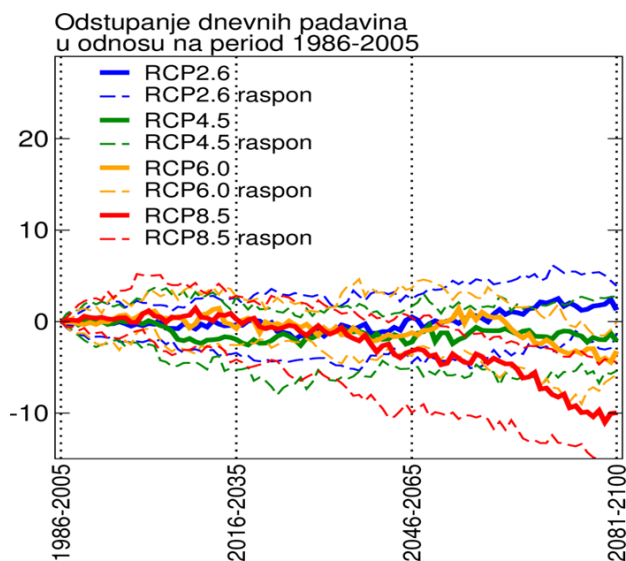


Сл. 14.2. Промјена средњих дневних падавина (%) у односу на референтни период 1986–2005. године за сценарио RCP8.5 на годишњем нивоу (GOD) и за сезоне DJF, MAM, JJA и SON за три одабрана будућа периода: 2016–2035, 2046–2065. и 2081–2100.

Fig. 14.2. Change in mean daily precipitation (%) in relation to the reference period 1986–2005 for the scenario RCP8.5 at the annual level (GOD) and for the DJF, MAM, JJA and SON seasons for three selected future periods: 2016–2035, 2046–2065 and 2081–2100

Сезона са највећим губитком падавина биће ЈЈА, за коју је током посљедњег периода (2081–2100) могуће смањење падавина и до -40% на југу земље. Овај дефицит љетњих падавина је очигледно и главни допринос негативној промјени укупних падавина на годишњем нивоу. Занимљиво је да се у сезони зима (DJF) очекује позитивна промјена падавина у највећем дијелу Републике Српске и Босне и Херцеговине, као и да је она најизраженија за посљедњи анализирани период и сценарио RCP8.5. За преостале двије сезоне, прољеће и јесен, промјена падавина је промјенљива и најчешће је у распону од -10% до +10%, у зависности од сезоне и дијела територије. За сезону МАМ уочљива је карактеристика да јужни дијелови територије углавном имају негативне промјене, док сјеверни имају позитивне, што указује да ће јужни дијелови имати већу вјероватноћу да током ове сезоне имају дефицит падавина.

На Граф. 14.2. приказане су пројекције очекиваних одступања просјечне годишње вриједности дневних акумулација падавина за узастопне двадесетогодишње периоде, почевши од двадесетогодишњег периода 1986–2005. до периода 2081–2100. године, у односу на референтни период 1986–2005. године.



Граф. 14.2. Пројектована одступања средње дневне количине падавина (%) до краја XXI вијека према климатским сценаријима RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5

Graph.14.2. Projected deviations of the mean daily precipitation (%) by the end of the 21st century according to the climate scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5

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 се могуће промјене крећу у распону од -5% до +5% у односу на вриједности из референтног периода. Разлике између сценарија уочљиве су тек за периоде на крају XXI 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%. С друге стране, према сценарију RCP2.6 до краја овог вијека могућа промјена падавина остаће у распону од -3% до +3% у односу на вриједности из референтног периода. Према сценарију RCP6.0 крајем вијека очекује се негативан распон могуће промјене, слично као у случају сценарија RCP8.5, са вриједностима од -1% до -5%, а очекивана средња вриједност моделског ансамбла износи -3%. У случају сценарија RCP4.5, очекивана вриједност је око -1%, док је очекивани распон од +3% до -5%. Према приказаним резултатима, једино у случају климатског сценарија RCP8.5 будуће промјене могу бити знатније, и то у другој половини XXI вијека, када би требало очекивати смањење укупних количина падавина и промјену климатских услова у смислу потенцијалног губитка падавина на годишњем нивоу.

14.6. Закључак

Тренд загријавања присутан је на цијелом простору Републике Српске и Босне и Херцеговине од друге половине XX вијека, а израженији постаје од 1990-их година, те нарочито од почетка XXI вијека. На загријавање климатског система указују позитивни трендови и средњих и екстремних (максималних и минималних) температура ваздуха. У складу с трендом загријавања, присутни су позитивни трендови индекса топлих екстрема и негативни трендови индекса хладних екстрема.

За разлику од температуре ваздуха, трендови средњих и екстремних падавина регионално и сезонски су веома промјенљиви, али већином нису статистички значајни. Од трендова промјене укупне годишње количине падавина треба истакнути статистички значајан позитиван тренд на простору Сокоца и негативне трендове присутне на цијелом простору Херцеговине (који су у сагласности са опадајућим трендовима утврђеним широм региона Медитерана). Трендови сезонских падавина различитог су знака и регионално веома промјенљиви, али углавном још не и статистички значајни. Ипак, промјене у распореду падавина током године израженије су од самих промјена на годишњем нивоу. Од трендова сезонских сума падавина најизраженији су негативни трендови присутни у сезони љето и позитивни трендови који карактеришу сезону јесен.

Наведени трендови присутни су на готово цијелом простору Републике Српске и Босне и Херцеговине.

Резултати истраживања могућих климатских промјена у Републици Српској и Босни и Херцеговини према климатском сценарију RCP8.5 указују на даље промјене у будућности. Највеће промјене могу се очекивати крајем XXI вијека у случају да не дође до смањења антропогених емисија гасова са ефектом стаклене баште. Анализе климатских промјена до краја вијека засноване су на очекиваним колебањима температуре ваздуха и падавина. Резултати указују на израженије климатске промјене које се односе на повећање годишње температуре до 5 °C, а смањење годишњих падавина до 30%, док дефицит у сезони љето може ићи и до 40% до краја XXI вијека. Овакви трендови и промјене указују на озбиљан проблем чешће и интензивније појаве суше и дефицита воде, те на потребу за знатнијим интегрисањем климатских промјена у планске и стратешке документе. Свакако, неопходна су и будућа истраживања, гдје је потребно укључити и пројекције екстремних климатских индекса, а нарочито температурних екстрема и интензивних падавина које могу условити појаву флувијалних и бујичних поплава.

Литература

- 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
- Bajić D, Trbić G (2016) Klimatski atlas Bosne i Hercegovine. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci. Доступно на: http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/, Приступљено: 17. септембар 2020
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Luković J, Dragojlović J (2015a) Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 95(4):53–66. doi.10.2298/GSGD140626002B
- Burić D, Luković J, Bajat B, Kilibarda M, Živković N (2015b) Recent Trends in Daily Rainfall Extremes over Montenegro (1951–2010). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15:2069–2077. doi.10.5194/nhess-15-2069-2015
- Vemić M (1954) O klimi Bosne i Hercegovine. III Kongres geografa Jugoslavije, Geografsko društvo NR BiH, Sarajevo

- Gajić-Čarka M, Cindrić K, Pasarić Z (2015) Trends in Precipitation Indices in Croatia, 1961–2010. *Theoretical and Applied Climatology* 121(1–2):167–177. doi.10.1007/s00704-014-1217-9
- Gnjato S, Popov T, Ivanišević M, Trbić G (2021) Changes in Extreme Climate Indices in Sarajevo (Bosnia and Herzegovina). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 101(2):1–21. doi.10.2298/GSGD2102001G
- Дуцић В, Трбић Г, Луковић Ј (2008) Промене количине и режима падавина у Бањалуци у другој половини 20. века. *Гласник/Herald* 12:121–128
- Ducić V, Burić D, Trbić G, Čupać R (2014) Analysis of Precipitation and Droughts on BiH Territory Based Upon Standardized Precipitation Index (SPI). *Гласник/Herald* 18:53–70. doi.10.7251/HER1814053D
- Dunn RJH, Alexander LV, Donat MG, Zhang X, Bador M, Herold N, Lippmann T, Allan R, Aguilar E, Barry AA, Brunet M, Caesar J, Chagnaud G, Cheng V, Cinco T, Durre I, de Guzman R, Mar Htay T, Ibadullah WMW, Ibrahim MKIB, Khoshkam M, Kruger A, Kubota H, Leng TW, Lim G, Li-Sha L, Marengo J, Mbatha S, McGree S, Menne M, de los Milagros Skansi M, Ngwenya S, Nkrumah F, Oonariya C, Pabon-Caicedo JD, Panthou G, Pham C, Rahimzadeh F, Ramos A, Salgado E, Salinger J, Sané Y, Sopaheluwakan A, Srivastava A, Sun Y, Timbal B, Trachow N, Trewin B, van der Schrier G, Vazquez-Aguirre J, Vasquez R, Villarroel C, Vincent L, Vischel T, Vose R, Yussof MNABH (2020) Development of an Updated Global Land in Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125:e2019JD032263. doi.10.1029/2019JD032263
- Djurdjevic V, Trbić G, Krzic A, Bozanic D (2019) Projected Changes in Multi-day Extreme Precipitation over the Western Balkan Region. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change*, pp 15–28. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_2
- Zhang P, Ren G, Xu Y, Wang XL, Qin Y, Sun X, Ren Y (2019) Observed Changes in Extreme Temperature over the Global Land Based on a Newly Developed Station Daily Dataset. *Journal of Climate* 32(24):8489–8509. doi.10.1175/JCLI-D-18-0733.1
- Malinovic-Milicevic S, Radovanovic MM, Stanojevic G, Milovanovic B (2016) Recent Changes in Serbian Climate Extreme Indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology* 124(3):1089–1098. doi.10.1007/s00704-015-1491-1
- Milosavljević R (1973) *Klima Bosne i Hercegovine*. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo
- Milošević DD, Savić SM, Stankov U, Žiberna I, Pantelić MM, Dolinaj D, Leščešen I (2017) Maximum Temperatures over Slovenia and Their Relationship with Atmospheric Circulation Patterns. *Geografie* 122(1):1–20. doi.10.37040/geografie2017122010001
- Попов Т (2017) Утицај савремених климатских колебања и потенцијалних промена климе на фитогеографска обиљежја Републике Српске.

- Докторска дисертација, Географски факултет Универзитета у Београду,
Београд
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017a) Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina: A Case Study of Mostar. Гласник/Herald 21:107–132. doi.10.7251/HER2117107P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2017b) Trends in Frost Days in Bosnia and Herzegovina. Bulletin of the Serbian Geographical Society 97(1):35–55. doi.10.2298/GSGD1701035P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2017в) Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in Bosnia and Herzegovina. Collection of Papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade 65(1):5–24. doi.10.5937/zrgfub1765005P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-Based Index Analysis. Journal of the Geographical Institute „Јован Цвијић“ SASA 68(1):17–33. doi.10.2298/JGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Gnjato R (2018б) Climate Change in South-East Europe: A Case Study of Bosnia and Herzegovina. Известия Географического общества Узбекистана 53:145–158
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018в) 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 (2018г) Analysis of Changes in Extreme Climate Indices in Mostar. Гласник/Herald 22:79–102. doi.10.7251/HER2218079P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018д) Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 122(4):433–452. doi.10.28974/idojaras.2018.4.5
- Popov T, Delić D (2019) Recent Climate Change in the Semberija Region – Impact on Agricultural Production. Гласник/Herald 23:35–58. doi.10.7251/HER1923035P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019а) Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In: Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change, pp 213–228. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5_15
- Popov T, Gnjato S, Gnjato R (2019б) Recent Climate Change in Bosnia and Herzegovina. У: Хикматов ФХ, Дружинин АГ (Отв ред) Материалы Международной научно-практической конференции Географическая наука Узбекистана и России: Общие проблемы, потенциал и перспективы сотрудничества (г. Ташкент, Республика Узбекистан, 13–19 мая 2019 года), стр 276–280. Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, Национальный университет

- Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ассоциация российских географов-обществоведов, Географическое общество Узбекистана
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019в) Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Geografie* 124(1):19–40. doi.10.37040/geografie2019124010019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019г) Extreme Temperature and Precipitation Months in the East Herzegovina Region. *Гласник/Herald* 23:73–94. doi.10.7251/HER1923073P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019д) Changes in Precipitation over the East Herzegovina Region. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 99(1):29–44. doi.10.2298/GSGD1901029P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2019ђ) Analysis of Extreme Precipitation Indices in the East Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić” SASA* 69(1):1–16. doi.10.2298/IJGI1901001P
- Попов Т (2020) Утицај савремених климатских промјена на фитоеографска обилежја Републике Српске. *Географско друштво Републике Српске, Бања Лука*, стр 291
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2021) Changes in Air Temperature over the East Herzegovina in the 1961–2016 Periods. *Гласник/Herald* 25:1–24. doi.10.7251/HER2125001P
- 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: Leal Filho W, Nalau J (eds) *Limits to Climate Change Adaptation*, pp 245–259. Springer. doi.10.1007/978-3-319-64599-5_14
- Trbic G, Djurdjevic V, Ivanisevic M, Cupac R, Zahirovic E, Popov T, Filipovic D, Gnjato S, Bajic D (2019) Possible Consequences of Climate Change on Viticulture in Bosnia and Herzegovina. 2nd International Conference ADAPTtoCLIMATE, June 24 – 25, 2019, Heraklion, Crete Island, Greece, National Technical University of Athens, Greece, Proceedings, Доступно на: http://uest.ntua.gr/adapt2clima/proceedings/pdf/ADAPTtoCLIMATE2019_%20Trbic_etal.pdf, Приступљено: 12. децембар 2021
- 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):4. doi.10.1007/s41207-020-00206-7
- Trbic G, Popov T, Djurdjevic V, Milunovic I, Dejanovic T, Gnjato S, Ivanisevic M (2022) Climate Change in Bosnia and Herzegovina According to Climate Scenario RCP8.5 and Possible Impact on Fruit Production. *Atmosphere* 13(1):1. doi.10.3390/atmos13010001
- Трбић Г (2011) Екоклиматска рејонизација Перипанонског обода Републике Српске. *Географско друштво Републике Српске, Бања Лука*, стр 182

- Trbić G, Ducić V, Rudan N, Anđelković G, Marković S (2012) Extreme Precipitation in Republika Srpska (2010 and 2011 Analyses). Гласник/Herald 15:81–94. doi.10.7251/HER1115081T
- 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
- Ćulafić G, Popov T, Gnjato S, Bajić D, Trbić G, Mitrović L (2020) Spatial and Temporal Patterns of Precipitation in Montenegro. Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 124(4):499–519. doi.10.28974/idojaras.2020.4.5
- Unkašević M, Tošić I (2011) A Statistical Analysis of the Daily Precipitation over Serbia: Trends and Indices. Theoretical and Applied Climatology 106(1):69–78. doi.10.1007/s00704-011-0418-8

Recent Climate Change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina

Tatjana Popov, Vladan Ducić, Vladimir Đurđević,
Goran Trbić, Slobodan Gnjato

Summary

The paper gives an overview of the observed climate change in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina; primarily the changes in air temperature and precipitation regime. In the period 1961–2015 the positive trends of mean, maximum and minimum annual and seasonal air temperatures were determined, which were most pronounced in the summer season, whereas in the autumn season there is only a slight upward trend of temperatures. Warming is most pronounced in the northern part of the territory, whereas the increase is much lower in the higher parts of the Herzegovina region. Unlike air temperature, precipitation trends are, both seasonally and regionally, very variable and of different signs (positive and negative), but mostly insignificant. However, in some areas, the interannual variability of precipitation and the frequency of extreme precipitation have increased.

In addition, the paper presents the results of research on possible climate change (based on expected changes in air temperature and precipitation) by the end of the 21st century in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina according to the climate scenario RCP8.5. The results indicate more pronounced climate change related to increasing annual temperatures up to 5 °C and reducing annual precipitation by up to 30%, whereas the deficit in the summer season (June, July and August) could go up to 40% by the end of the 21st century. Such changes point to the serious problem of drought and water scarcity and the need for more significant integration of climate change issues into planning and strategic documents.

Keywords: Climate change, temperature, precipitation, trend, projections, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina