

ПРОЈЕКЦИЈЕ КЛИМАТСКИХ ПРОМЈЕНА У СЛИВУ РИЈЕКЕ ВРБАС

Горан Трбић^{1*}, Владимир Ђурђевић², Татјана Попов¹, Стеван Савић³ и Драган Бурић⁴¹Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска²Универзитет у Београду, Физички факултет, Београд, Србија³Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија⁴Универзитет Црне Горе, Филозофски факултет, Никшић, Црна Гора

Сажетак: У раду су приказане пројектоване промјене температура ваздуха и количине падавина у сливу ријеке Врбас према климатском сценарију RCP8.5. На основу сателитских података израђене су мапе за просјечне мјесечне, сезонске и годишње вриједности температуре ваздуха, суме падавина и висине сњежног покривача за три периода: 2011–2040, 2041–2071. и 2071–2100. у односу на базни период 1971–2000. Резултати истраживања показују да се на простору слива ријеке Врбас може очекивати пораст температуре и смањивање сума падавина и сњежног покривача до краја XXI вијека. Повећање температура ваздуха може се очекивати у свим мјесецима током године, али је најизраженије у јануару, августу, новембру и децембру, када повећање може достићи и до 5 °C до краја овог вијека. Очекивано колебање падавина ће бити више изражено. До 2040. може се очекивати повећање падавина за период прољеће за 10 % у односу на период 1971–2000. До краја вијека климатски сценарији указују на константно смањивање падавина и до 20 % на годишњем нивоу, али на велику неравномјерност у расподјели током сезона, што може условити проблеме са сушом и поплавама.

Кључне ријечи: климатске пројекције, климатски сценариј RCP8.5, температура ваздуха, падавине, сњежни покривач, климатске промјене, слив ријеке Врбас.

Original scientific paper

PROJECTIONS OF CLIMATE CHANGES IN THE VRBAS RIVER BASIN

Goran Trbić^{1*}, Vladimir Đurđević², Tatjana Popov¹, Stevan Savić³ and Dragan Burić⁴¹University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska²University of Belgrade, Faculty of Physics, Belgrade, Serbia³University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia⁴University of Montenegro, Faculty of Philosophy, Nikšić, Montenegro

Abstract: The paper presents projected changes in air temperature and precipitation in the Vrbas River basin according to the RCP8.5 climate scenario. Based on satellite data, maps were created for average monthly, seasonal and annual values of air temperature, total precipitation and snow cover height for three periods: 2011–2040, 2041–2071. and 2071–2100. compared to the base period 1971–2000. The results of the research show that in the area of the Vrbas river basin, an increase in temperature and a decrease in precipitation and snow cover can be expected until the end of the 21st century. An increase in air temperatures can be expected in all months throughout the year, but it is most pronounced in January, August, November and December, when the increase can reach up to 5 °C by the end of this century. The expected fluctuation of precipitation will be more pronounced. By 2040, an increase in precipitation for the spring period can be expected by 10 % compared to the period 1971–2000. By the end of the century, climate scenarios indicate a constant decrease in precipitation of up to 20 % on an annual basis, but a large uneven distribution during the seasons, which can cause problems with both drought and floods.

Key words: climate projections, RCP8.5 climate scenario, air temperature, precipitation, snow cover, climate change, Vrbas river basin.

* Аутор за кореспонденцију: Горан Трбић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, Е-mail: goran.trbic@pmf.unibl.org

* Corresponding author: Goran Trbić, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, E-mail: goran.trbic@pmf.unibl.org

УВОД

Досадашња истраживања потврдила су да је простор Републике Српске и Босне и Херцеговине веома изложен утицају климатских промјена. Тај утицај се манифестује кроз повећање температура ваздуха, смањење падавина, али и појачање интензитета и фреквенција екстремних климатских догађаја од којих су најважнији: интензивне падавине, поплаве, суше, појава олујних вјетрова, дуготрајни топлотни таласи, чешћа појава градоносних облака и др. (Dejanovic et al., 2019; Djurdjevic et al., 2019; Oprašić et al., 2016; Popov et al., 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2019c; Trbic et al., 2018; Trbić et al., 2017). Истраживање климатских утицаја може се наћи и у радовима Bajić и Trbić (2016), Gnjato et al. (2019) и Трбић (2011). До сада није било публикованих научних радова који су се односили на климатско моделовање и пројекције у сливу ријеке Врбас.

У протекле двије деценије повећан је и ризик од појаве ријечних и бујичних поплава у сливу ријеке Врбас које су већ условиле велике посљедице за људе и њихова материјална добра и инфраструктуру. Посматрано са тог аспекта, управљање водним ресурсима и на адекватан начин спречавање ерозије представља један од битних задатака приликом планирања одбране од поплава (Topalović et al., 2018; Lovrić & Tošić, 2018; Tošić et al., 2018; Tošić et al., 2022).

Током посљедње деценије екстремни климатски догађаји су јако изражени, а поплавне и сушне године се готово смјењују (Djurdjevic et al., 2019; Trbic et al., 2021). Повећање варијабилности климатских екстрема забиљежених у свим годишњим добима, с брзим промјенама које се догађају током кратких периода (пет до десет дана) – екстремно хладно у топло вријеме или из периода екстремно високих падавина у изразито сушне периоде. Од 2000. године, посматрано подручје било је захваћено са неколико значајних екстремних климатских и временских епизода које су условиле значајне материјалне и финансијске, као и губитке људских живота. Два најзначајнија екстремна

INTRODUCTION

Previous research has confirmed that the area of Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina is very exposed to the influence of climate change. This influence is manifested through an increase in air temperatures, a decrease in precipitation, but also an increase in the intensity and frequency of extreme climatic events, the most important of which are: intense precipitation, floods, droughts, the appearance of stormy winds, long-lasting heat waves, more frequent occurrence of hail clouds, etc. (Dejanovic et al., 2019; Djurdjevic et al., 2019; Oprašić et al., 2016; Popov et al., 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2019c; Trbic et al., 2018; Trbić et al., 2017). Research on climate impacts can also be found in the works of Bajić and Trbić (2016), Gnjato et al. (2019) and Trbić (2011). So far, there have been no published scientific works related to climate modeling and projections in the Vrbas river basin.

In the past two decades, the risk of river and torrential floods in the Vrbas river basin has increased, which have already caused major consequences for people and their material goods and infrastructure. Seen from that aspect, managing water resources in an adequate way and preventing erosion is one of the important tasks when planning flood defense (Topalović et al., 2018; Lovrić & Tošić, 2018; Tošić et al., 2018; Tošić et al., 2022).

During the last decade, extreme climatic events are very pronounced, and flood and drought years almost alternate (Djurdjevic et al., 2019; Trbic et al., 2021). Increasing variability of climate extremes recorded in all seasons, with rapid changes occurring over short periods (five to ten days) – extreme cold to warm weather or from periods of extremely high precipitation to extremely dry periods. Since the year 2000, the observed area has been affected by several significant extreme climate and weather episodes that caused significant material and financial losses,

догађаја су суша током 2012. године и поплаве током 2014. године. Суше у 2011. и 2012. години биле су екстремно јаке, годишња количина падавина била је мања и до 50 %. Ово смањење је веће од свих пројектованих смањења према претходним климатским сценаријима. Суша је допринијела смањењу приноса појединих култура до 50 % (кукуруз) (Trbić et al., 2013). Поплаве у 2014. години обориле су све историјске рекорде у инструменталном периоду. Максималан водостај Врбаса у Делибашином селу (Бања Лука) 16. маја 2014. износио је 816 cm и био је готово 2 m виши од дотадашњег максималног водостаја (Oprašić et al., 2016). Климатске промјене највећи утицај врше на сљедеће секторе: пољопривреда, водопривреда и управљање водним ресурсима, становање, шумарство и туризам, а све интензивнији је и утицај на људско здравље. Готово сви утицаји имају негативан карактер, осим у случају пољопривреде гдје су евидентни и позитивни утицаји климатских промјена (Ostojić et al., 2019; Trbic et al., 2021; Žurovec et al., 2017). Једна од могућих посљедица климатских промјена су и поплаве и промјена режима падавина (Klein et al., 2014). Климатско моделовање климатских елемената, а доминантно температуре ваздуха и количине падавина, може пружити веома битне информације о могућим промјенама у будућности. Због свега напријед наведеног, стратегије и планирање адаптације на климатске промјене у сливу ријеке Врбас требале би се темељити према могућим промјенама климе које ће се одвијати према климатском сценарију RCP8.5.

Главни циљ истраживања је да се утврде промјене мјесечних, сезонских и годишњих средњих температура, падавина и висине сњежног покривача у сливу ријеке Врбас до краја XXI вијека према најекстремнијем RCP8.5 сценарију климатских промјена. Добијени резултати могу имати фундаментални и практични значај код израде стратешких и планских докумената, те дефинисања мјера у борби против климатских промјена у сливу ријеке Врбас.

as well as human life losses. The two most significant extreme events are the drought in 2012 and the floods in 2014. Droughts in 2011 and 2012 were extremely severe, the annual amount of precipitation was less by up to 50 %. This reduction is greater than all projected reductions under previous climate scenarios. The drought contributed to the reduction of the yield of certain crops by up to 50 % (maize) (Trbić et al., 2013). The floods in 2014 broke all historical records in the instrumental period. The maximum water level of the Vrbas River in Delibašina village (Banja Luka) on May 16, 2014 was 816 cm and was almost 2 m higher than the previous maximum water level (Oprašić et al., 2016). Climate change has the greatest impact on the following sectors: agriculture, water management and water resources management, housing, forestry and tourism, and the impact on human health is becoming more and more intense. Almost all impacts have a negative character, except in the case of agriculture where positive impacts of climate change are also evident (Ostojić et al., 2019; Trbic et al., 2021; Žurovec et al., 2017). One of the possible consequences of climate change are floods and changes in precipitation regimes (Klein et al., 2014). Climatic modeling of climate elements, mainly air temperature and precipitation, can provide very important information about possible changes in the future. Due to all of the above, strategies and planning for adaptation to climate change in the Vrbas river basin should be based on possible climate changes that will take place according to the RCP8.5 climate scenario.

The main goal of the research is to determine the changes in monthly, seasonal and annual mean temperatures, precipitation and the height of the snow cover in the Vrbas river basin until the end of the XXI century according to the most extreme RCP8.5 climate change scenario. The obtained results can be of fundamental and practical importance in the preparation of strategic and planning documents and the definition of measures in the fight against climate change in the Vrbas river basin.

МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

MATERIALS AND METHODS

Слив ријеке Врбас смјештен је у сјеверозападном дијелу Републике Српске и Босне и Херцеговине. Генерално, горњи дио слива је смјештен на територији Федерације Босне и Херцеговине, а средњи и доњи дио у Републици Српској. Укупна дужина тока ријеке Врбас од извора до ушћа износи 235 km, док укупна површина слива износи 6386 km². Просјечан нагиб главног тока је 6 m/km. Горњи ток ријеке има планински, а доњи равничарски карактер.

За регионализацију резултата глобалних климатских модела (Global Climate Models – GCMs) и процјену промјена регионалних климатских услова у будућности најчешће коришћени алати су регионални климатски модели (Regional Climate Models – RCMs) (Giorgi et al., 2001; Giorgi & Lionello, 2008). Метод регионализације омогућава добијање релевантних информација о будућој клими на одговарајућим просторним и временским размјерама неопходним за спровођење студија утицаја и рањивости, посебно када су фокусиране на регионалне и субрегионалне домene (Jacob et al., 2007). За потребе овог истраживања коришћени су резултати регионализације климатског сценарија RCP8.5 за територију слива ријеке Врбас. Скалирање је изведено нехидростатичким регионалним (Nonhydrostatic Multi-scale Model – NMMB) моделом. Регионални модел NMMB је нехидростатички модел атмосфере који се, поред оперативне употребе за временску прогнозу у Националној метеоролошкој служби САД (Janjic, 2003; Janjic & Gall, 2012), користи и у многим истраживачким институцијама у Европи (Pérez et al., 2011). Чињеница да је NMMB модел нехидростатичан омогућава његову примјену у интеграцијама са изузетно великим хоризонталним проширењима испод 10 km (димензије типичне за конвективне процесе). Интеграције овако високих хоризонталних декомпозиција омогућавају бољу симулацију одговарајућих атмосферских нехидростатских процеса изузетно важних у

The Vrbas river basin is located in the northwestern part of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina. In general, the upper part of the basin is located in the territory of the Federation of Bosnia and Herzegovina, and the middle and lower part in the Republic of Srpska. The total length of the river Vrbas from the source to the mouth is 235 km, while the total area of the basin is 6386 km². The average slope of the main stream is 6 m/km. The upper course of the river has a mountainous character, while the lower course has a plain character.

For the regionalization of the results of global climate models (GCMs) and the assessment of changes in regional climate conditions in the future, the most commonly used tools are regional climate models (RCMs) (Giorgi et al., 2001; Giorgi & Lionello, 2008). The regionalization method enables obtaining relevant information about the future climate at the appropriate spatial and temporal scales necessary for conducting impact and vulnerability studies, especially when focused on regional and subregional domains (Jacob et al., 2007). For the purposes of this research, the regionalization results of the RCP8.5 climate scenario for the territory of the Vrbas river basin were used. Scaling is performed by the non-hydrostatic regional (Nonhydrostatic Multi-scale Model – NMMB) model. The NMMB regional model is a non-hydrostatic atmospheric model that, in addition to operational use for weather forecasting in the US National Weather Service (Janjic, 2003; Janjic & Gall, 2012), is also used in many research institutions in Europe (Pérez et al., 2011). The fact that the NMMB model is non-hydrostatic enables its application in integrations with extremely large horizontal extensions below 10 km (dimensions typical for convective processes). Integrations of such high horizontal decompositions enable a better simulation of corresponding atmospheric non-

развоју конвективних система који су најчешћи узрок екстремних акумулација падавина у кратким временским интервалима, посебно током топлијег дијела године (Djurdjevic & Krzic, 2013; Trbic et al., 2021). У овом моделу (NMMB) вертикална резолуција је била 64 нивоа од површине Земље до висине 10 mb, а растојање између вертикалних нивоа зависило је од висине. Близу површине је неколико десетина метара, а у средини атмосфере неколико стотина метара. Интеграције NMMB модела су урађене у оквиру пројекта ORIENTGATE (доступно на <http://www.orientgateproject.org>) (Djurdjevic & Krzic, 2013). NMMB модел је регионализовао климатски сценарио RCP8.5 дефинисан у Петом извјештају Међувладиног панела о климатским промјенама (IPCC-AR5) (Moss et al., 2008). Хоризонтална резолуција NMMB модела била је 8 km. Као референтни период изабран је период 1971–2000. године, док су интеграције будуће климе покривале период 2011–2100. Глобални климатски модел CMCC-CM је коришћен за граничне услове у интеграцији сценарија RCP8.5 (Djurdjevic & Rajkovic, 2008; Djurdjevic et al., 2014; Scoccimarro et al., 2011).

Према климатском сценарију RCP8.5 анализиране су очекиване промјене температуре ваздуха и падавина за периоде од 2011. до 2100. године у односу на базни период 1971–2000. Анализе су извршене за нивое мјесеца, сезона и година за временске хоризонте: 2011–2040, 2041–2071. и 2071–2100.

Најекстремнији сценарио RCP8.5 изабран је у односу на остале (RCP2.6, RCP4.5 и RCP6.0) из практичног разлога што се климатске промјене и климатски екстреми већ дешавају према најекстремнијем сценарију RCP8.5. Промјене климатских екстрема су све чешће и израженије и могу знатно утицати на очекивани дефицит воде, посебно у лјетњој сезони. Ове промјене су се већ оствариле у појединим годинама (Oprašić et al., 2016). Због тога, сматрано је логичним да се пројекције праве по најекстремнијем очекиваном сценарију (RCP8.5). Ова одлука има и практичан карактер, јер може бити корисна информација за креаторе

hydrostatic processes extremely important in the development of convective systems, which are the most common cause of extreme precipitation accumulations in short time intervals, especially during the warmer part of the year (Djurdjevic & Krzic, 2013; Trbic et al., 2021). In this model (NMMB) the vertical resolution was 64 levels from the surface of the Earth to a height of 10 mb, and the distance between the vertical levels depended on the height. It is several tens of meters near the surface, and several hundred meters in the middle of the atmosphere. Integrations of the NMMB model were done within the ORIENTGATE project (available at <http://www.orientgateproject.org>) (Djurdjevic & Krzic, 2013). The NMMB model regionalized the RCP8.5 climate scenario defined in the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR5) (Moss et al., 2008). The horizontal resolution of the NMMB model was 8 km. The period 1971–2000 was chosen as the reference period. year, while future climate integrations covered the period 2011–2100. The global climate model CMCC-CM was used for boundary conditions in the integration of the RCP8.5 scenario (Djurdjevic & Rajkovic, 2008; Djurdjevic et al., 2014; Scoccimarro et al., 2011).

According to the climate scenario RCP8.5, expected changes in air temperature and precipitation for the period from 2011 to 2100 year were analyzed in relation to the base period 1971–2000. Analyzes were performed for the month, season and year levels for the time horizons: 2011–2040, 2041–2071. and 2071–2100.

The most extreme scenario RCP8.5 was chosen over the others (RCP2.6, RCP4.5 and RCP6.0) for the practical reason that climate change and climate extremes are already occurring under the most extreme scenario RCP8.5. Changes in climatic extremes are becoming more frequent and pronounced and can significantly affect the expected water deficit, especially in the summer season. These changes have already been achieved in certain years (Oprašić et al., 2016). Therefore, it was considered logical to make the projections according to the most extreme expected scenario (RCP8.5). This decision also has a practical character, because it can be useful information

политика и доносиоце одлука приликом доношења стратешких докумената и усвајања мјера за прилагођавање на климатске промјене у сливу ријеке Врбас и на нивоу Републике Српске.

for policy makers and decision makers when adopting strategic documents and adopting measures for adaptation to climate change in the Vrbas river basin and at the level of Republic of Srpska.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

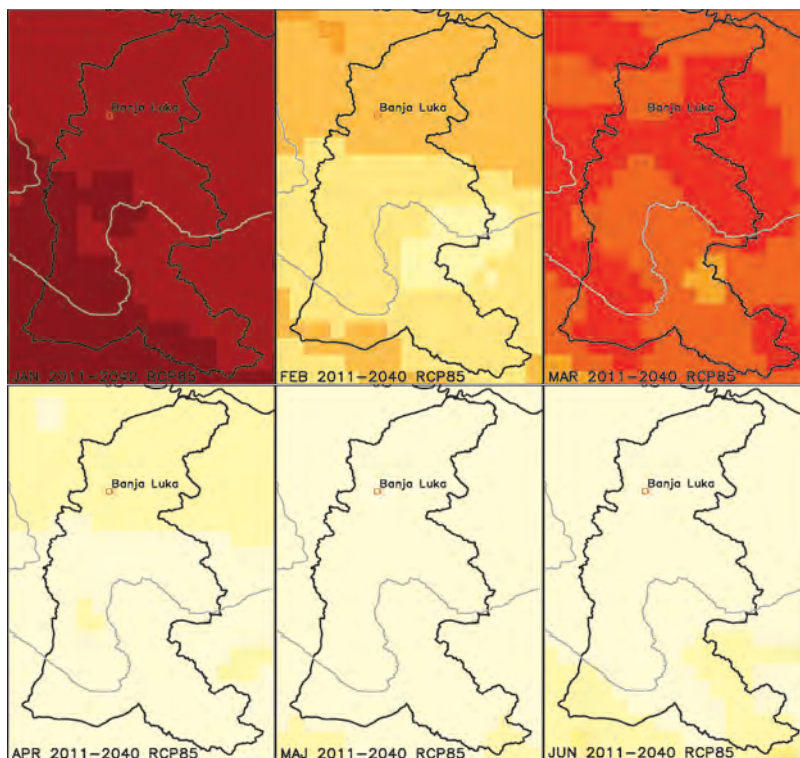
Пројектоване промјене температура ваздуха

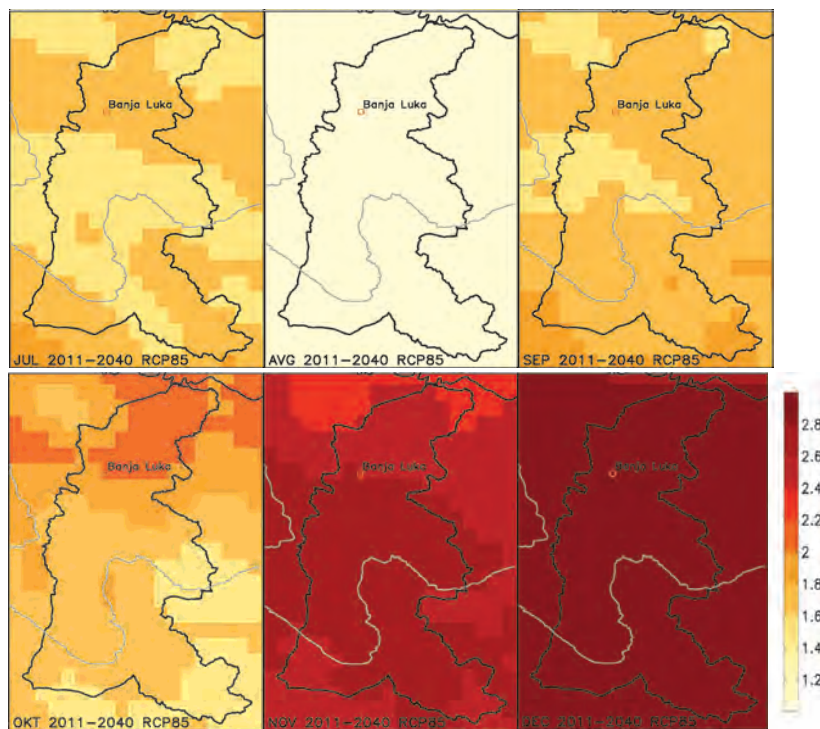
Пројектоване промјене температура ваздуха у сливу ријеке Врбас према климатском сценарију RCP8.5 приказане су на Сл. 1–6. Очекиване промјене средњих годишњих температура у сливу ријеке Врбас биће у интервалу од 1.8 °C (2011–2040), 3 °C (2041–2070) до 5.4 °C (2071–2100). Највеће промјене по сезонама за сва три периода су за сезону зима (DJF), за коју је аномалија у просјеку већа од аномалије годишњег просјека од 0.5 °C до 0.8 °C, док је сезона прољеће (МAM) са најмањом аномалијом температуре, према овом сценарију. Појединачни мјесеци са највећом аномалијом су јануар, новембар и децембар, док за посљедња два периода 2041–2070. и 2071–2100. највећу аномалију током лјетњих мјесеци има август.

RESULTS AND DISCUSSION

Projected changes in air temperatures

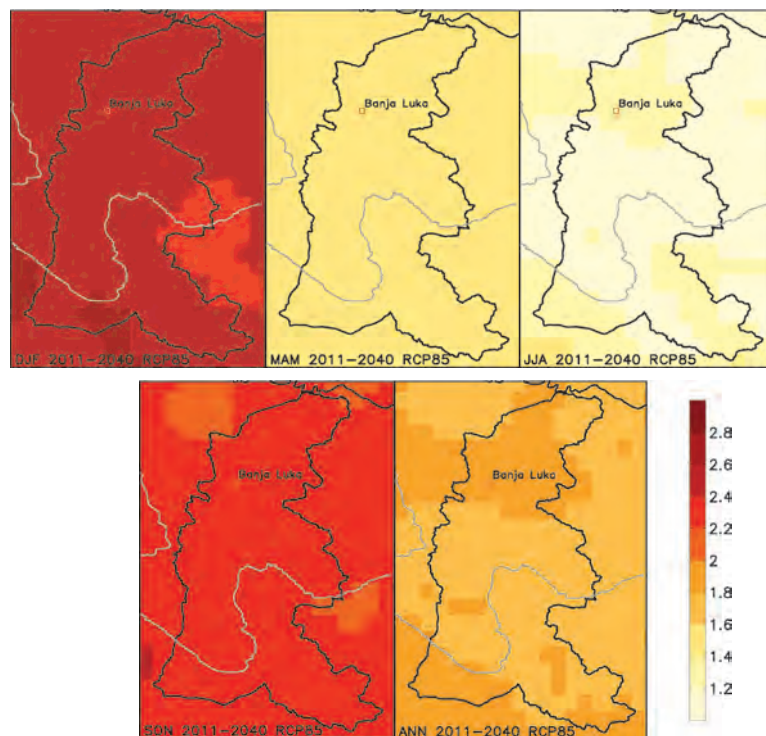
Projected changes in air temperatures in the Vrbas river basin according to the RCP8.5 climate scenario are shown in Fig. 1–6. Expected changes in mean annual temperatures in the Vrbas river basin will be in the range of 1.8 °C (2011–2040), 3 °C (2041–2070) to 5.4 °C (2071–2100). The biggest changes by season for all three periods are for the winter season (DJF), for which the anomaly is on average greater than the anomaly of the annual average from 0.5 °C to 0.8 °C, while the spring season (MAM) has the smallest temperature anomaly, according to this scenario. Individual months with the largest anomaly are January, November and December, while for the last two periods 2041–2070. and 2071–2100. August has the biggest anomaly during the summer months.





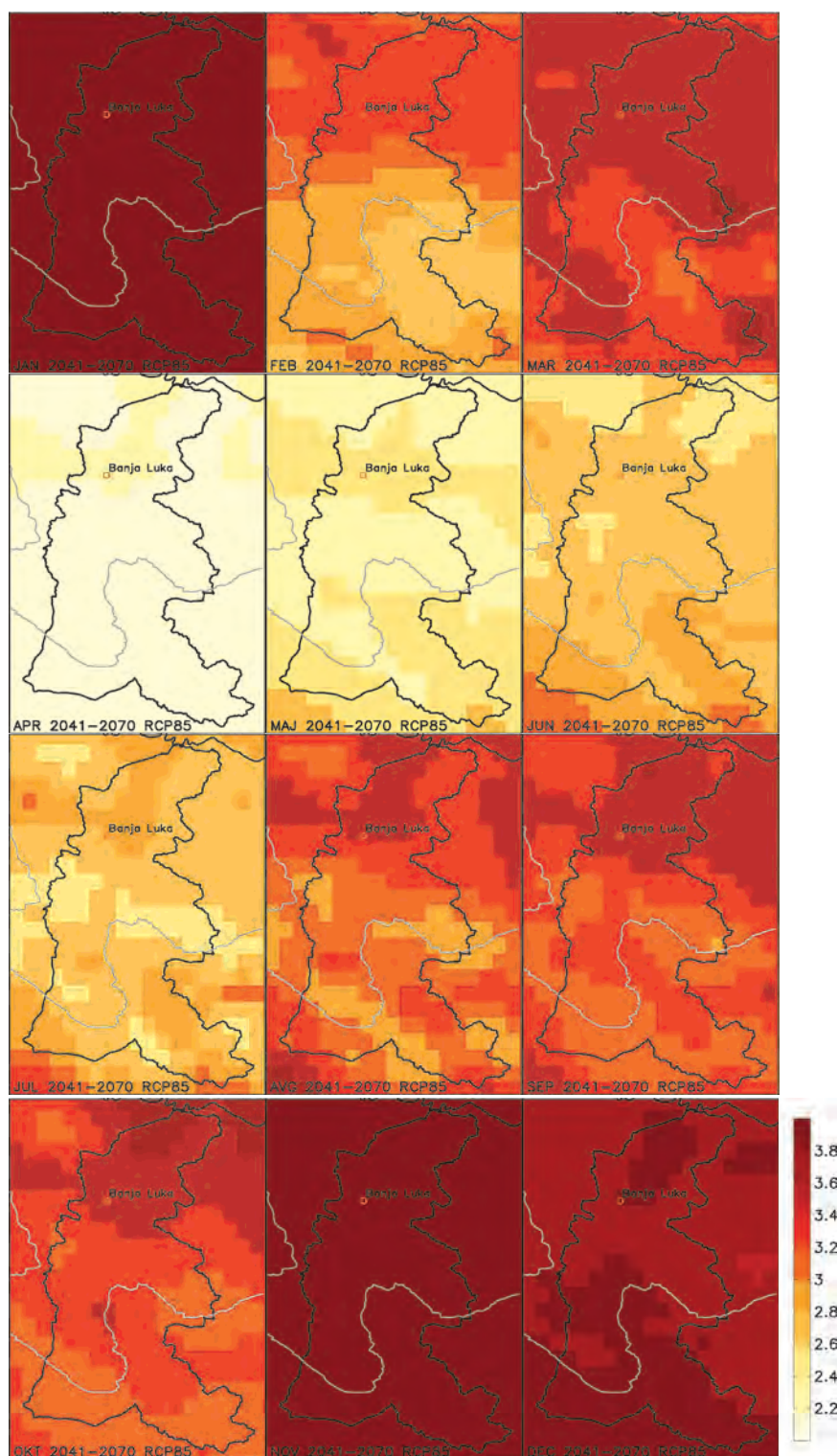
Сл. 1. Промјена средњих мјесечних температура (TG) према сценарију RCP8.5 за период 2011–2040. године у односу на период 1971–2000. (y °C)

Fig. 1. Change in mean monthly temperatures (TG) according to the RCP8.5 scenario for the 2011–2040 periods compared to the 1971–2000 periods (in °C)



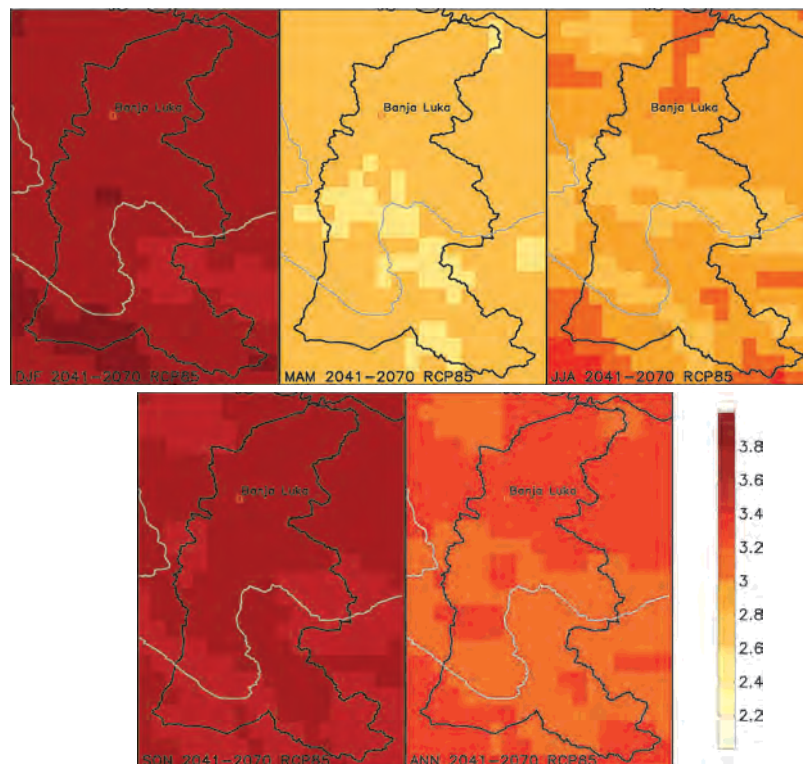
Сл. 2. Промјена средњих сезонских и годишњих температура (TG) према сценарију RCP8.5 за период 2011–2040. године у односу на период 1971–2000. (y °C)

Fig. 2. Change in mean seasonal and annual temperatures (TG) according to the RCP8.5 scenario for the 2011–2040 periods compared to the 1971–2000 periods (in °C)



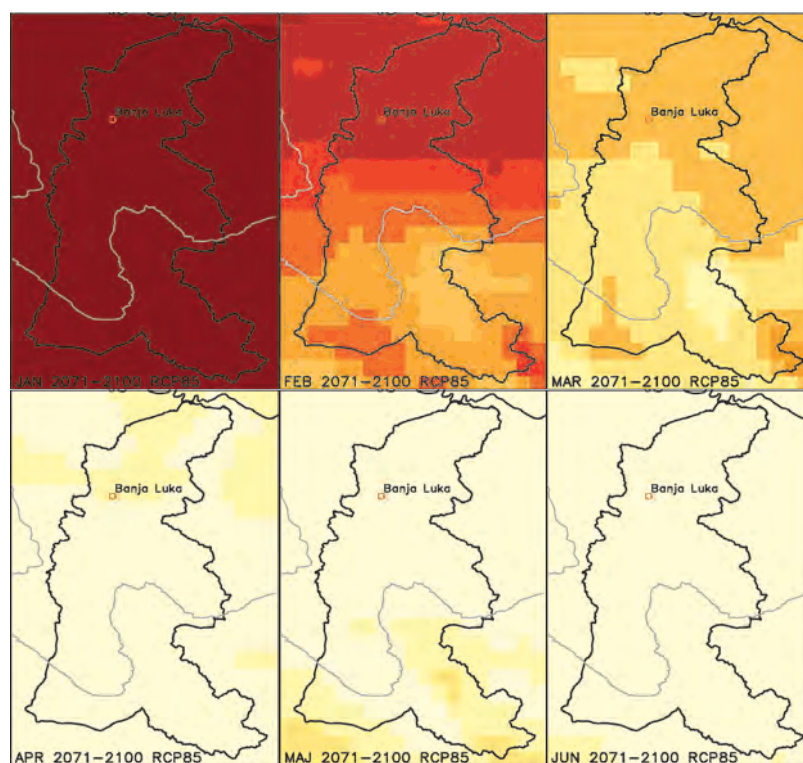
Сл. 3. Промјена средњих мјесечних температура (TG) према сценарију RCP8.5 за период 2041–2070. године у односу на период 1971–2000. (у °C)

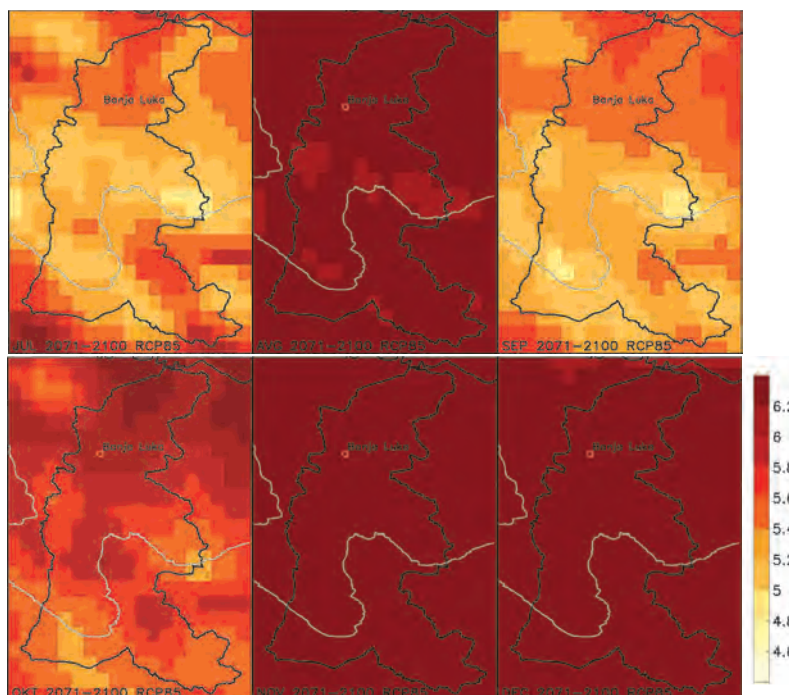
Fig. 3. Change in mean monthly temperatures (TG) according to the RCP8.5 scenario for the 2041–2070 periods compared to the 1971–2000 periods (in °C)



Сл. 4. Промјена средњих сезонских и годишњих температура (TG) према сценарију RCP8.5 за период 2041–2070. године у односу на период 1971–2000. (y °C)

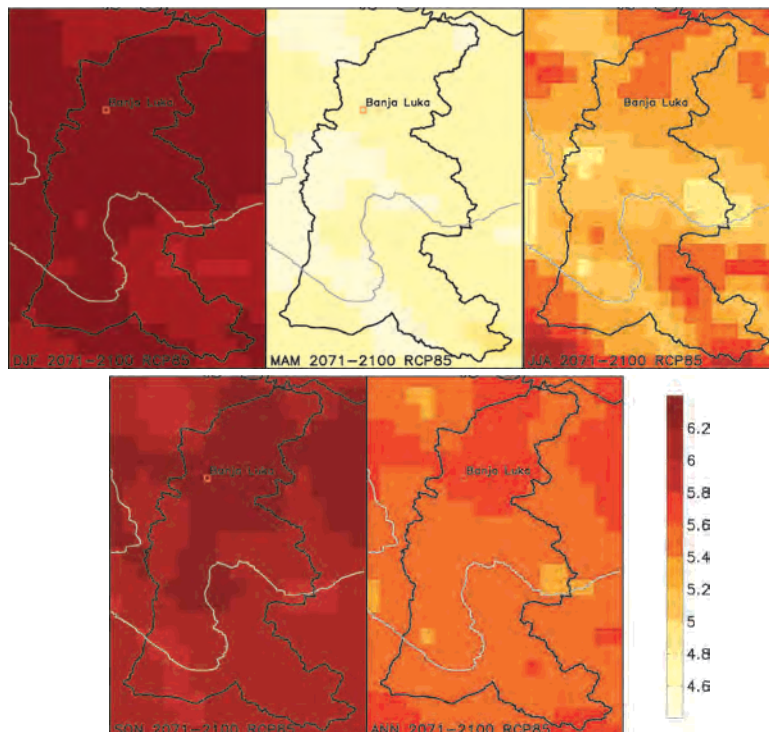
Fig. 4. Change in mean seasonal and annual temperatures (TG) according to the RCP8.5 scenario for the 2041–2070 periods compared to the 1971–2000 periods (in °C)





Сл. 5. Промјена средњих мјесечних температура (TG) према сценарију RCP8.5 за период 2071–2100. године у односу на период 1971–2000. (y °C)

Fig. 5. Change in mean monthly temperatures (TG) according to the RCP8.5 scenario for the 2071–2100 periods compared to the 1971–2000 periods (in °C)



Сл. 6. Промјена средњих сезонских и годишњих температура (TG) према сценарију RCP8.5 за период 2071–2100. године у односу на период 1971–2000. (y °C)

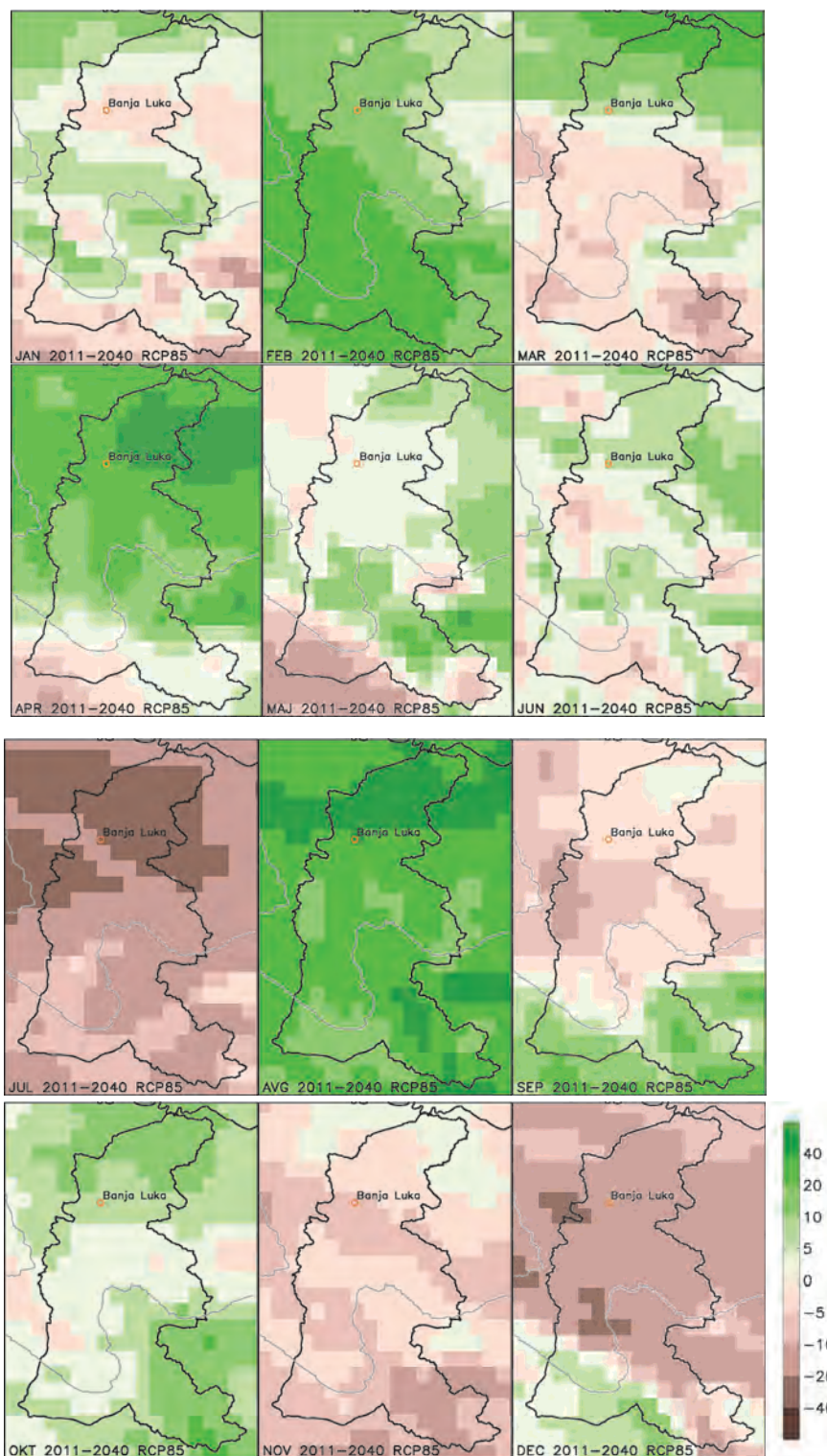
Fig. 6. Change in mean seasonal and annual temperatures (TG) according to the RCP8.5 scenario for the 2071–2100 periods compared to the 1971–2000 periods (in °C)

Пројектоване промјене падавина

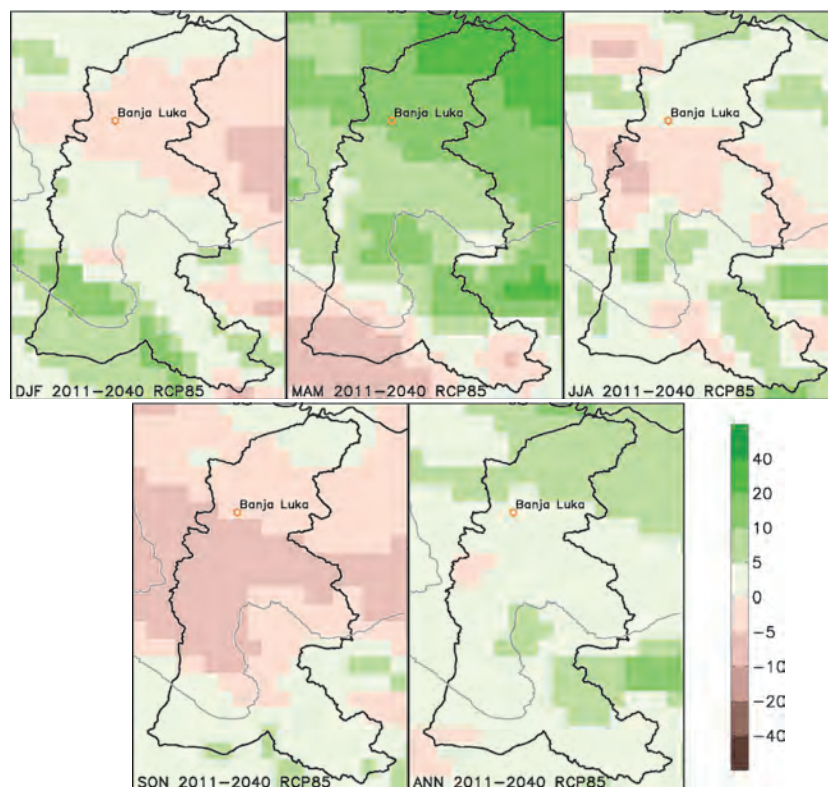
Пројектоване промјене количине падавина у сливу ријеке Врбас према климатском сценарију RCP8.5 приказане су на Сл. 7–12. Током првог разматраног периода 2011–2040. године, годишња промјена падавина у сливу има позитиван знак од +5 % у односу на период 1971–2000. Сезона са највећом позитивном аномалијом је прољеће (МAM), посебно у доњем дијелу слива, од +10 %, а сезона са највећом негативном аномалијом је јесен (SON) од -10 %. Мјесеци са највећом позитивном аномалијом су август, фебруар и април са аномалијама од +10 % и већим, а мјесеци са највећом негативном аномалијом су јул и децембар. Током периода 2041–2071. године, годишња промјена падавина у сливу има негативан знак и износи око -10 %. Сезоне са негативном аномалијом су љето (JJA) и јесен (SON), посебно JJA са аномалијом већом од -20 %, док сезоне зима (DJF) и прољеће (МAM) имају промјенљиву аномалију у зависности од дијела слива. Мјесеци са највећом позитивном аномалијом су фебруар, март и новембар, а мјесеци са највећом и значајном негативном аномалијом су јун и јул, са аномалијама већим од -20 %. Током периода 2071–2100. године, годишња промјена падавина у сливу је у дефициту и износи до -20 %. Сезоне са негативном аномалијом су МAM, JJA и SON, посебно JJA са аномалијом већом од -20 % у неким дијеловима, док сезона DJF има промјенљиву аномалију у зависности од дијела слива. Мјесец са највећом позитивном аномалијом је фебруар, а мјесеци са највећом и значајном негативном аномалијом су мај, јун, јул, август и септембар са аномалијама до и већим од -20 %. Према овим резултатима јасно је да се сезона JJA истиче као сезона током које ће се интензивирати потенцијални проблем негативних падавина, док сезоне DJF и МAM потенцијално могу имати и позитивне аномалије посебно у првој половини вијека, док у другој половини дефицит падавина карактеристичан за сезону JJA може бити проширен и на сезону МAM.

Projected changes in precipitation

Projected changes in the amount of precipitation in the Vrbas river basin according to the RCP8.5 climate scenario are shown in Fig. 7–12. During the first considered period 2011–2040. year, the annual change in precipitation in the basin has a positive sign of +5 % compared to the period 1971–2000. The season with the largest positive anomaly is spring (MAM), especially in the lower part of the basin, of +10 %, and the season with the largest negative anomaly is autumn (SON) of -10 %. The months with the largest positive anomaly are August, February and April with anomalies of +10 % and higher, and the months with the largest negative anomaly are July and December. During the period 2041–2071. year, the annual change in precipitation in the basin has a negative sign and amounts to about -10 %. The seasons with a negative anomaly are summer (JJA) and autumn (SON), especially JJA with an anomaly greater than -20 %, while the winter (DJF) and spring (MAM) seasons have variable anomalies depending on the part of the basin. The months with the largest positive anomaly are February, March and November, and the months with the largest and significant negative anomaly are June and July, with anomalies greater than -20 %. During the period 2071–2100. year, the annual change in precipitation in the basin has a negative sign and amounts to -20 %. The seasons with a negative anomaly are MAM, JJA and SON, especially JJA with an anomaly greater than -20 % in some parts, while the DJF season has a variable anomaly depending on the part of the basin. The month with the largest positive anomaly is February, and the months with the largest and most significant negative anomaly are May, June, July, August and September with anomalies up to and greater than -20 %. According to these results, it is clear that the JJA season stands out as a season during which the potential problem of negative precipitation will intensify, while the DJF and MAM seasons can potentially have positive anomalies, especially in the first half of the century, while in the second half the precipitation deficit characteristic of the JJA season can be extended to the MAM season as well.

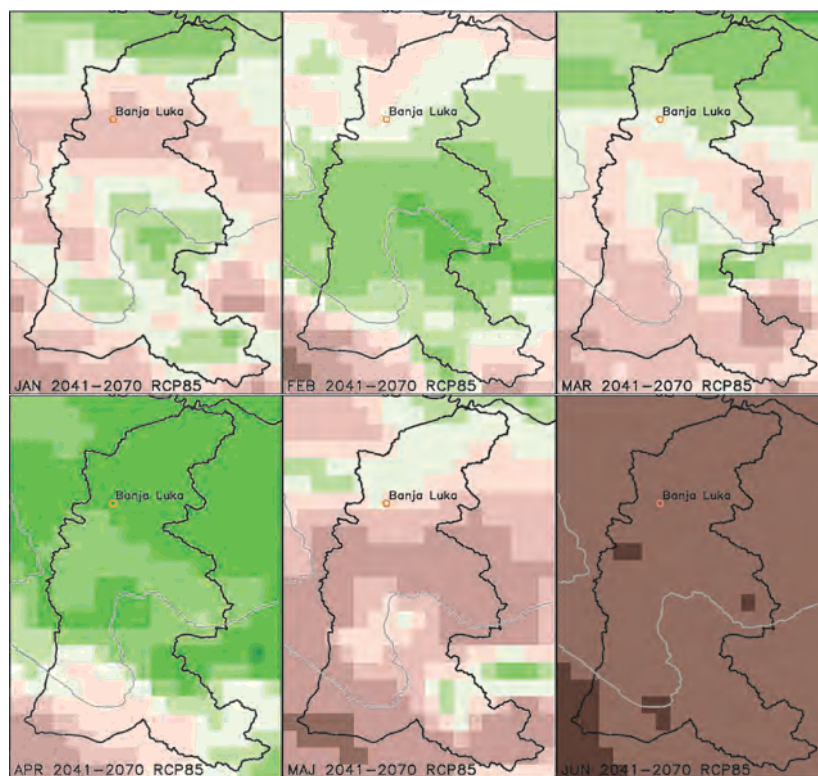


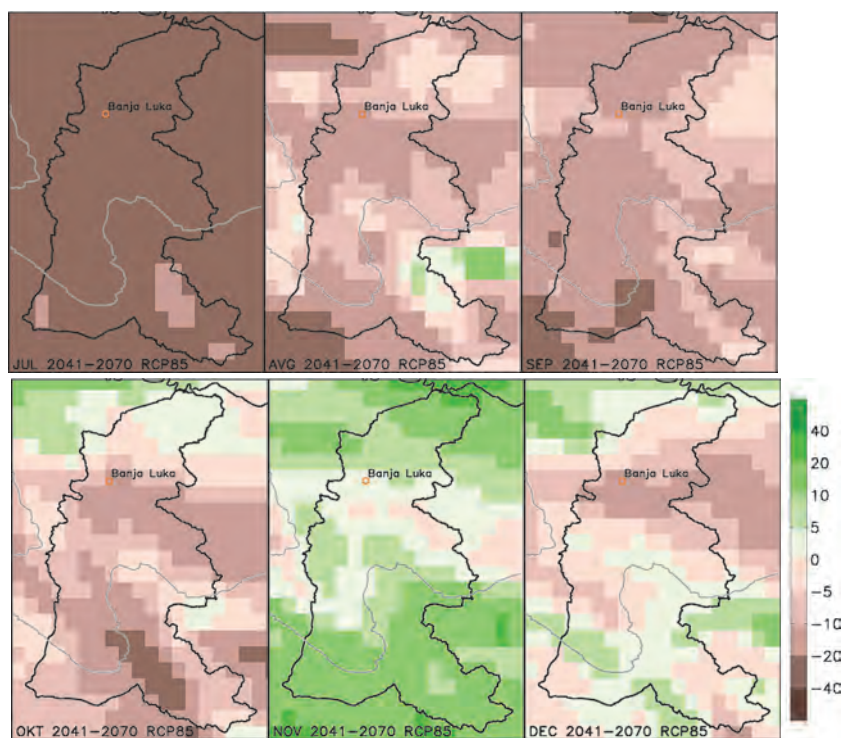
Сл. 7. Промјена мјесечних акумулираних падавина (RR) према сценарију RCP8.5 за период 2011–2040. године у односу на период 1971–2000. (y %)
 Fig. 7. Change in monthly accumulated precipitation (RR) according to the RCP8.5 scenario for the 2011–2040 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)



Сл. 8. Промјена сезонских и годишњих акумулираних падавина (RR) према сценарију RCP8.5 за период 2011–2040. године у односу на период 1971–2000. (у %)

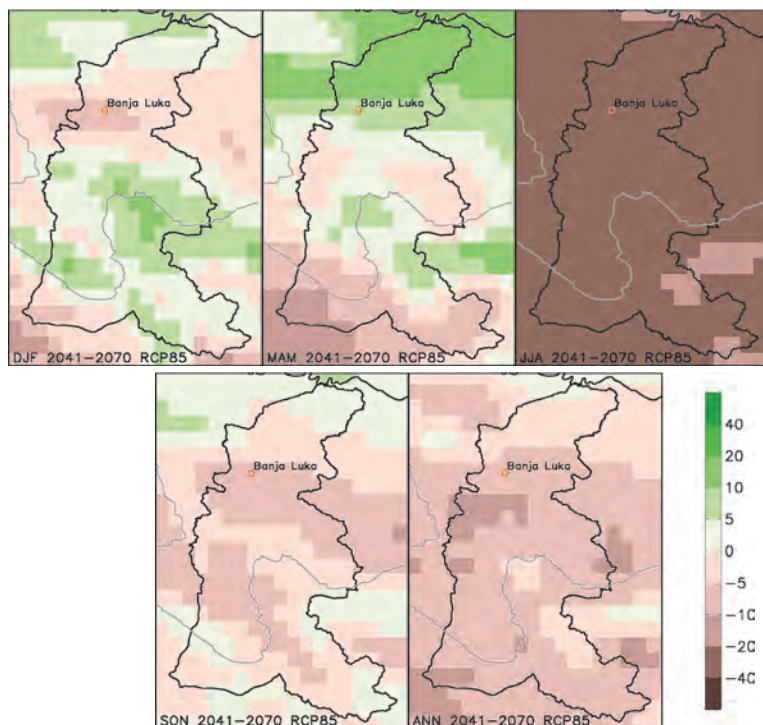
Fig. 8. Change in seasonal and annual accumulated precipitation (RR) according to the RCP8.5 scenario for the 2011–2040 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)





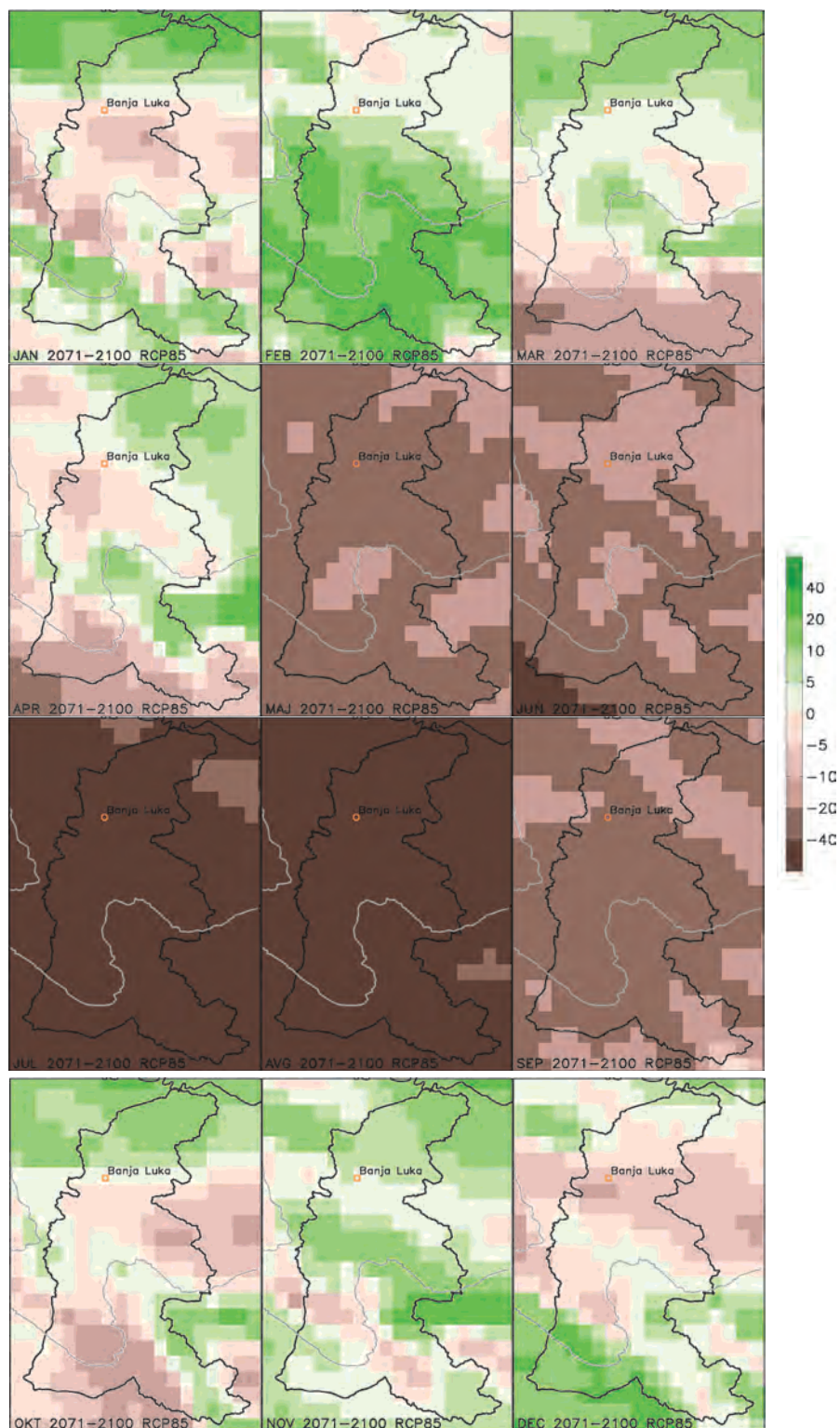
Сл. 9. Промјена мјесечних акумулираних падавина (RR) према сценарију RCP8.5 за период 2041–2070. године у односу на период 1971–2000. (y %)

Fig. 9. Change in monthly accumulated precipitation (RR) according to the RCP8.5 scenario for the 2041–2070 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)



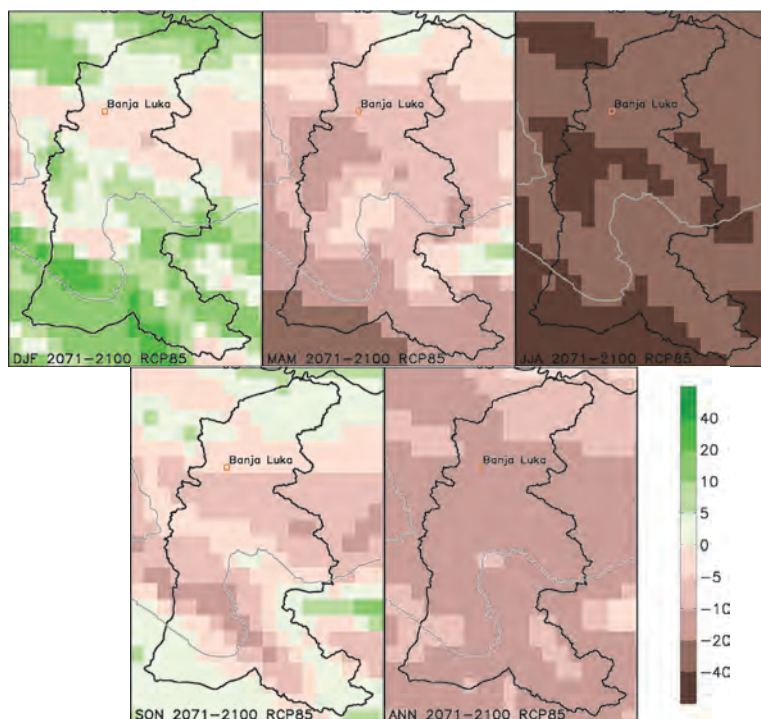
Сл. 10. Промјена сезонских и годишњих акумулираних падавина (RR) према сценарију RCP8.5 за период 2041–2070. године у односу на период 1971–2000. (y %)

Fig. 10. Change in seasonal and annual accumulated precipitation (RR) according to the RCP8.5 scenario for the 2041–2070 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)



Сл. 11. Промјена мјесечних акумулираних падавина (RR) према сценарију RCP8.5 за период 2071–2100. године у односу на период 1971–2000. (у %)

Fig. 11. Change in monthly accumulated precipitation (RR) according to the RCP8.5 scenario for the 2071–2100 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)



Сл. 12. Промјена сезонских и годишњих акумулираних падавина (RR) према сценарију RCP8.5 за период 2071–2100. године у односу на период 1971–2000. (у %)

Fig. 12. Change in seasonal and annual accumulated precipitation (RR) according to the RCP8.5 scenario for the 2071–2100 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)

Пројектоване промјене висине сњежног покривача

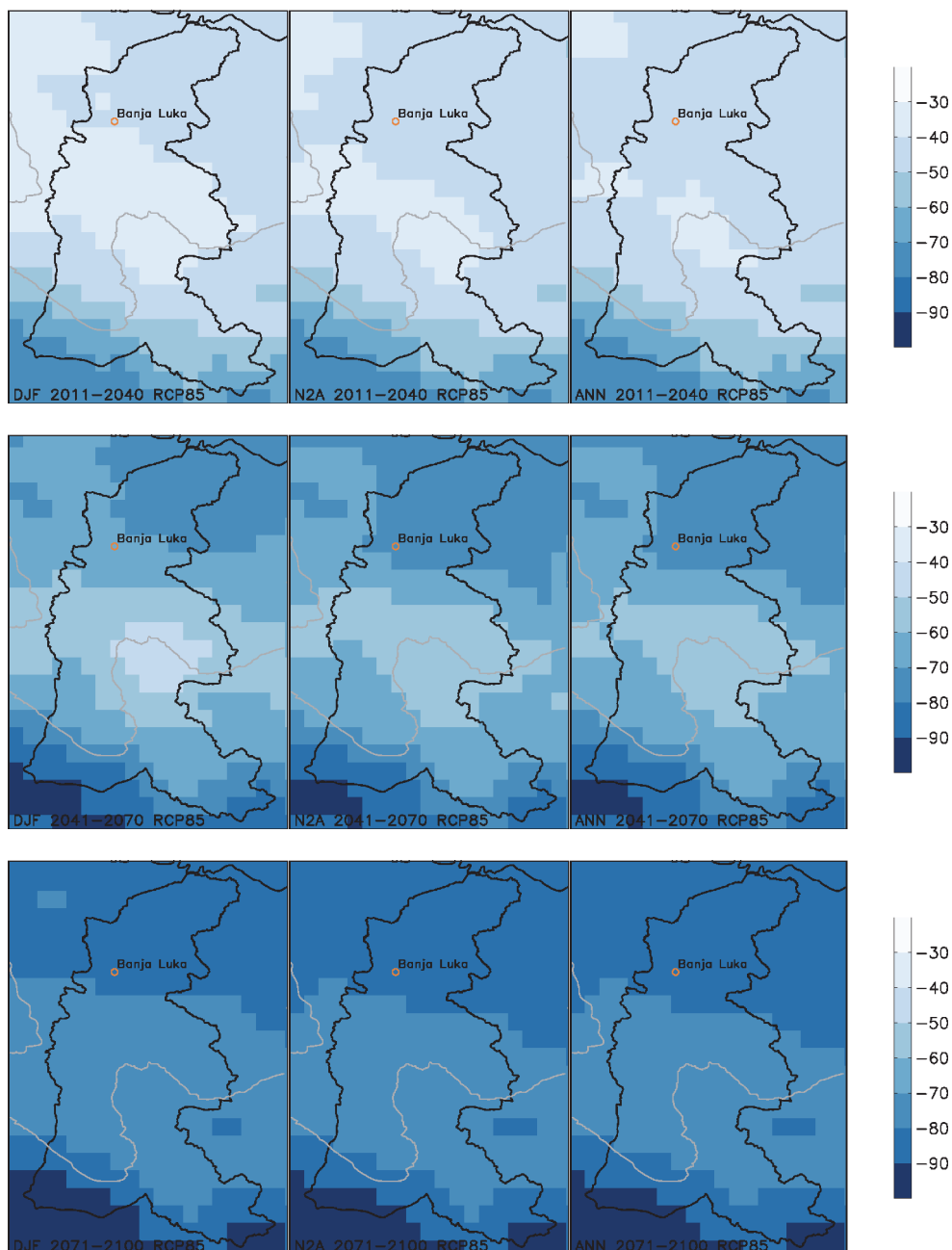
Projected changes in the height of the snow cover

На Сл. 13 и Сл. 14 приказане су промјене средње висине акумулираног снијега за сезону DJF, затим период новембар–април (N–A) и промјене на годишњем нивоу, изражене у % у односу на референтни период 1970–2000. године, за будуће периоде 2011–2040, 2041–2070. и 2071–2100. године, према сценарију RCP8.5. За период 2011–2040. године, промјене у средњој висини сњежног покривача за период N–A крећу се од -40 % у централном дијелу слива до -80 % на крајњем југу, у односу на вриједности из референтног периода 1971–2000. У сезони DJF промјене су од -60 % на сјеверу до више од -90 % у појединим областима на југу. За периоде 2041–2070. и 2071–2100. промјене су још израженије, тако да за период 2071–2100. године, очекиване промјене у средњој висини сњежног покривача за период N–A крећу се од -70 % у централним дијеловима слива до вриједности које су веће од -90 % на јужној граници слива.

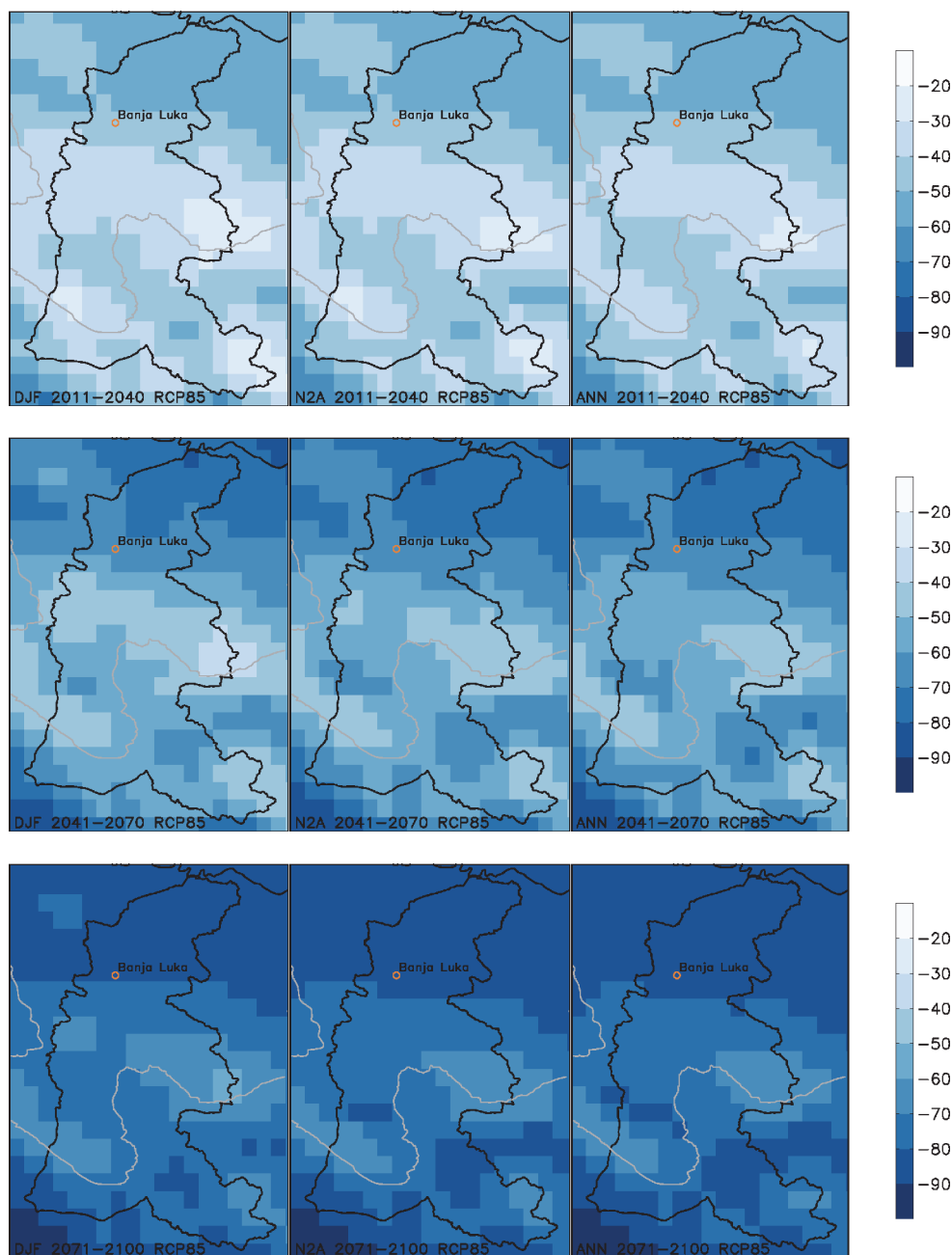
On Fig. 13 and Fig. 14 shows the changes in the average height of the accumulated snow for the DJF season, then the period November–April (N–A) and the changes at the annual level, expressed in % compared to the reference period 1970–2000. year, for the future periods 2011–2040, 2041–2070. and 2071–2100. according to the RCP8.5 scenario. For the period 2011–2040. year, changes in the average height of the snow cover for the period N–A range from -40 % in the central part of the basin to -80 % in the extreme south, compared to the values from the reference period 1971–2000. In the DJF season, the changes range from -60 % in the north to more than -90 % in certain areas in the south. For the periods 2041–2070. and 2071–2100. the changes are even more pronounced, so that for the period 2071–2100. year, the expected changes in the average height of the snow cover for the period N–A range from -70 % in the central parts of the basin to values that are greater than -90 % at the southern border of the basin.

Проmjена броја дана са сњажним покривачем за први период 2011–2040. је негативна и за цијели слив у просјеку износи око -40 %, док се за посљедњи период промјена креће у интервалу од -70 % до -90 %. У сва три анализирана периода смањење броја дана са сњажним покривачем је израженије у доњем дијелу слива Врбаса.

Change in the number of days with snow cover for the first period 2011–2040. is negative and for the entire basin is on average about -40 %, while for the last period the change ranges from -70 % to -90 %. In all three analyzed periods, the decrease in the number of days with snow cover is more pronounced in the lower part of the Vrbas basin.



Сл. 13. Промјена средње висине акумулираног снјега (SNO) према сценарију RCP8.5 за периоде 2011–2040, 2041–2070. и 2071–2100. у односу на период 1971–2000. (у %)
Fig. 13. Change in the mean height of accumulated snow (SNO) according to the RCP8.5 scenario for the 2011–2040, 2041–2070 and 2071–2100 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)



Сл. 14. Промјена броја дана са сњежним покривачем (SNOD) према сценарију RCP8.5 за периоде 2011–2040, 2041–2070. и 2071–2100. у односу на период 1971–2000. (у %)
Fig. 14. Change in the number of days with snow cover (SNOD) according to the RCP8.5 scenario for the 2011–2040, 2041–2070 and 2071–2100 periods compared to the 1971–2000 periods (in %)

Неизвјесност у резултатима
и опсег могућих промјена

Uncertainty in results and range of
possible changes

Неизвјесност у резултатима промјене температуре и падавина према климатском сценарију RCP8.5 за слив ријеке Врбас процијењена је анализом резултата глобалних

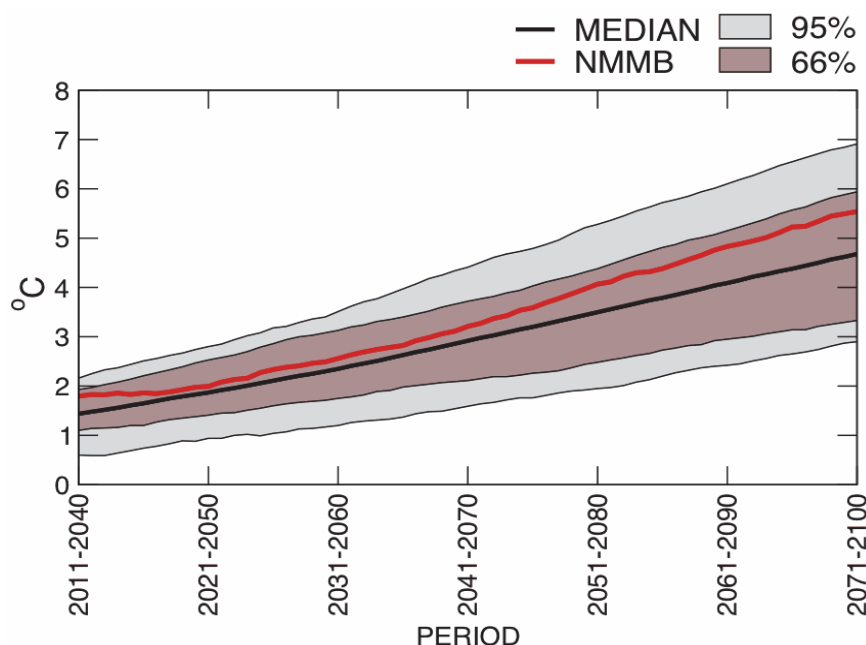
Uncertainty in the results of changes in temperature and precipitation according to the climate scenario RCP8.5 for the Vrbas river basin was assessed by analyzing the results of global

климатских модела који су учествовали у CMIP5 пројекту (Taylor et al., 2012), а који су коришћени и у Петом извјештају Међувладиног панела за климатске промјене (IPCC, 2013). На основу резултата модела процијењен је могући опсег промјене средње вриједности температуре и падавина. У анализи су коришћени резултати 39 различитих модела за период 2011–2100. Резултати су доступни кроз сервис Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl/start.cgi>).

На Сл. 15. и Сл. 16 приказан је опсег могуће аномалије средње температуре и падавина за територију слива ријеке Врбас за период 2011–2100. у односу на период 1971–2000. према сценарију RCP8.5. Средња аномалија температуре и падавина израчуната је за сукцесивне тридесетогодишње периоде почевши од периода 2011–2040. Опсег је процијењен на основу резултата 39 различитих модела који су учествовали у пројекту CMIP5, средња вриједност ових резултата приказана је дебелом црном линијом. Браон зона је опсег дефинисан са 66 %, док је сива зона опсег са 95 % анализираних резултата. Црвена линија је резултат регионалног модела NMMB.

climate models that participated in the CMIP5 project (Taylor et al., 2012), which were also used in the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change climate change (IPCC, 2013). Based on the results of the model, the possible range of changes in the mean values of temperature and precipitation was estimated. The analysis used the results of 39 different models for the period 2011–2100. The results are available through the Climate Explorer service (<http://climexp.knmi.nl/start.cgi>).

On Fig. 15 and Fig. 16 shows the range of possible anomalies in mean temperature and precipitation for the territory of the Vrbas river basin for the period 2011–2100. in relation to the period 1971–2000. according to the RCP8.5 scenario. The mean anomaly of temperature and precipitation was calculated for successive thirty-year periods starting from the period 2011–2040. The range was estimated based on the results of 39 different models that participated in the CMIP5 project, the mean value of these results is shown as a thick black line. The brown zone is the range defined by 66 %, while the gray zone is the range with 95 % of the analyzed results. The red line is the result of the NMMB regional model.



Сл. 15. Опсег могуће аномалије средње температуре ваздуха за слив ријеке Врбас за период 2011–2100. у односу на период 1971–2000. године према сценарију RCP8.5

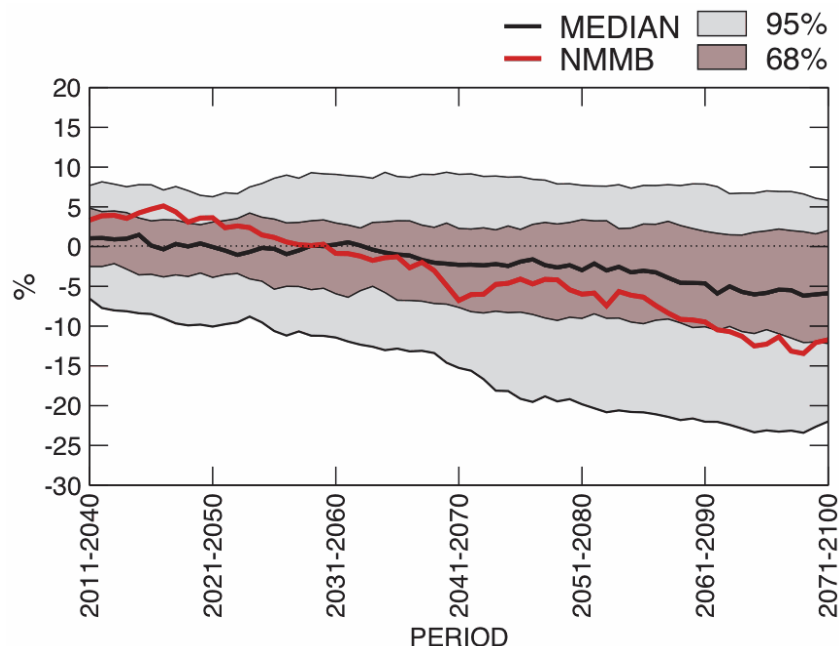
Fig. 15. Range of possible anomaly of mean air temperature for the Vrbas River basin for the 2011–2100 periods in relation to the 1971–2000 periods according to the RCP8.5 scenario

Према приказаним резултатима (Сл. 15) средња вриједност 39 модела за промјену температуре у периоду 2071–2100. према сценарију RCP8.5 у односу на период 1971–2000. је нешто мањи од 5 °C. Опсег вјероватне вриједности (са вјероватноћом од 66 %) промјене за исти период је од 3.2 °C до 6 °C, док се у опсегу од 2.9 °C до 6.9 °C налази 95 % анализираних резултата. Резултат регионалног модела NMMB се у цијелом периоду налази у вјероватном опсегу (66 %) промјене температуре и послје периода 2041–2070. нешто је виши од средње вриједности 39 модела. За посљедњих тридесет година вриједност регионалног модела је 5.5 °C и већа је за приближно 0.8 °C у односу на моделски средњак. За периоде прије периода 2041–2070. године, резултат регионалног модела је веома близак средњој вриједности.

Према приказаним резултатима (Сл. 16) средња вриједност 39 модела за промјену акумулираних падавина у периоду 2071–2100. према сценарију RCP8.5 у односу на период 1971–2000 је око -6 %. Опсег вјероватне вриједности (са вјероватноћом од 66 %) промјене за исти период је од +1 % до -12 %, док се у опсегу од +5 % до -22 % налази 95 % анализираних резултата. Резултат регионалног модела NMMB се током цијелог анализираних периода налази у вјероватном опсегу (66 %) промјене падавина, а послје периода 2031–2060. негативна аномалија је већа од средње вриједности осталих анализираних модела. Пред крај анализираних периода вриједност NMMB модела је за који проценат мања од доње границе распона од 66 %, за посљедњих тридесет година вриједност регионалног модела је веома блиска доњој граници овог опсега. Послје периода 2031–2050. године, моделски средњак има искључиво негативне вриједности. Такође, јасно је да током цјелокупног посматраног периода (2011–2100) и моделски средњак и резултат регионалног модела, као и 66 % и 95 % опсези имају негативан тренд, што указује да у случају сценарија RCP8.5, и даљег пораста глобалне температуре, просјечне вриједности климе слива ријеке Врбас би попримале аридније карактеристике.

According to the results shown (Fig. 15), the mean value of 39 models for temperature change in the period 2071–2100. according to the RCP8.5 scenario in relation to the period 1971–2000. is slightly lower than 5 °C. The range of probable value (with a probability of 66 %) of change for the same period is from 3.2 °C to 6 °C, while 95 % of the analyzed results are in the range from 2.9 °C to 6.9 °C. The result of the NMMB regional model is in the probable range (66 %) of the temperature change after the period 2041–2070. it is slightly higher than the mean value of 39 models. For the last thirty years, the value of the regional model is 5.5 °C and is higher by approximately 0.8 °C compared to the model mean. For the periods before the period 2041–2070. year, the result of the regional model is very close to the mean value.

According to the results shown (Fig. 16), the mean value of 39 models for changes in accumulated precipitation in the period 2071–2100. according to the RCP8.5 scenario, compared to the period 1971–2000, it is about -6 %. The range of the probable value (with a probability of 66 %) of the change for the same period is from +1 % to -12 %, while 95 % of the analyzed results are in the range from +5 % to -22 %. The result of the NMMB regional model is within the probable range (66 %) of the change in precipitation during the entire analyzed period, and after the period 2031–2060. the negative anomaly is higher than the mean value of the other analyzed models. Towards the end of the analyzed period, the value of the NMMB model is by what percentage less than the lower limit of the range of 66 %, for the last thirty years the value of the regional model is very close to the lower limit of this range. After the period 2031–2050. year, the model median has exclusively negative values. Also, it is clear that during the entire observed period (2011–2100) both the model mean and the result of the regional model, as well as the 66 % and 95 % ranges have a negative trend, which indicates that in the case of the RCP8.5 scenario, and a further rise in global temperature, the average value of the climate of the Vrbas river basin would take on more arid characteristics.



Сл. 16. Опсег могуће аномалије средњих падавина за слив ријеке Врбас за период 2011–2100. у односу на период 1971–2000. према сценарију RCP8.5

Fig. 16. The range of possible mean precipitation anomaly for the Vrbas River basin for the 2011–2100 periods in relation to the 1971–2000 periods according to the RCP8.5 scenario

Према приказаним резултатима могућих опсега промјене температуре и падавина према сценарију RCP8.5 видљиво је да се резултати регионалног NMMB модела за промјене средњих температура и падавина налазе у вјероватном опсегу могућих промјена (66 %). Током друге половине XXI вијека сценарио регионалног модела је нешто „топлији“ и „сувљи“ од моделског средњака, с обзиром на то да су разлике у односу на моделски средњак релативно мале, резултат регионалног модела се може сматрати добрим репрезентом овог сценарија.

ЗАКЉУЧАК

У раду су приказане очекиване промјене температуре ваздуха, количине падавина и сњежног покривача у сливу ријеке Врбас до краја XXI вијека, према климатском сценарију RCP8.5. Пројекције климатских промјена указују да се на територији слива ријеке Врбас могу очекивати пораст температуре и смањивање сума падавине и сњежног покривача. Опсег могућих промјена

According to the presented results of the possible ranges of changes in temperature and precipitation according to the RCP8.5 scenario, it is visible that the results of the regional NMMB model for changes in mean temperatures and precipitation are in the probable range of possible changes (66 %). During the second half of the 21st century, the scenario of the regional model is somewhat “warmer” and “drier” than the model mean, considering that the differences compared to the model mean are relatively small, the result of the regional model can be considered a good representation of this scenario.

CONCLUSION

The paper presents the expected changes in air temperature, precipitation and snow cover in the Vrbas river basin until the end of the 21st century, according to the RCP8.5 climate scenario. Projections of climate change indicate that in the territory of the Vrbas river basin, an increase in temperature and a decrease in precipitation and snow cover can be expected. The range of possible changes in air temperatures (with a probability of

температура ваздуха (са вјероватноћом од 66 %) креће се у интервалу од 3.2 °C до 6 °C, док је у опсегу од 2.9 °C до 6.9 °C 95 % анализираних резултата. Према приказаним резултатима средња вриједност акумулираних падавина у периоду 2071–2100. је око -6 %. Опсег вјероватне вриједности (са вјероватноћом од 66 %) промјене за исти период је од +1 % до -12 %, док се у опсегу од +5 % до -22 % налази 95 % анализираних резултата.

Неопходна су додатна истраживања која би утврдила могуће промјене климатских индекса које се односе на интензивне падавине и екстремне температуре. Ово је посебно битно из разлога што се за период 2011–2040. очекује повећање падавина. Додатна истраживања употпунила би слику климатских промјена у сливу ријеке Врбас и створила бољу фундаменталну основу за планирање мјера и активности које се односе на прилагођавање на климатске промјене.

Захвалница: Аутори се захваљују Министарству за научно-технолошки развој, високо образовање и информационо друштво у Влади Републике Српске на помоћи у истраживању. Рукопис је резултат научно-истраживачког пројекта под називом Динамика климатских промјена и могућност адаптације у Републици Српској (Број: 19.0321/961-741/19).

66 %) ranges from 3.2 °C to 6 °C, while 95 % of the analyzed results are in the range from 2.9 °C to 6.9 °C. According to the presented results, the average value of accumulated precipitation in the period 2071–2100. is about -6 %. The range of the probable value (with a probability of 66 %) of the change for the same period is from +1 % to -12 %, while 95 % of the analyzed results are in the range from +5 % to -22 %.

Additional research is necessary to determine possible changes in climate indices related to intense precipitation and extreme temperatures. This is particularly important for the reason that for the period 2011–2040. expects an increase in precipitation. Additional research would complete the picture of climate change in the Vrbas river basin and create a better fundamental basis for planning measures and activities related to adaptation to climate change.

Acknowledgment: The authors would like to thank the Ministry of Scientific and Technological Development, Higher Education and Information Society in the Government of the Republic of Srpska for their assistance in the research. The manuscript is the result of a scientific research project entitled Dynamics of climate change and the possibility of adaptation in the Republic of Srpska (Number: 19.0321/961-741/19).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Bajić, D., & Trbić, G. (2016). *Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina*. Faculty of Natural Sciences and Mathematics of the University of Banja Luka. http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/klimatski_atlas.pdf
- Dejanovic, T., Trbić, G., & Popov, T. (2019). Hail as a Natural Disaster in Bosnia and Herzegovina. In W. L. Filho, G. Trbić, & D. Filipovic (Eds.), *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change* (pp. 245–266). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03383-5_17
- Djurdjevic, V., & Rajkovic, B. (2008). Verification of a coupled atmosphere-ocean model using satellite observations over the Adriatic Sea. *Annals Geophysics*, 26, 1935–1954. <https://doi.org/10.5194/angeo-26-1935-2008>
- Djurdjevic, V., & Krzic, A. (2013). High-Resolution Downscaling of ERA40 Reanalysis with Nonhydrostatic Regional NMMB Model. International Conference Climate Change Impacts on Water Resources, 17–18 October, 2013, Belgrade, Serbia. http://www.jcerni.org/images/stories/cciw/poster_CCI-WR_2013.pdf
- Djurdjevic, V., Krzic, A., & Pejanovic, G. (2014). High Resolution Downscaling of CMCC-CM 21st Century Data with Nonhydrostatic Regional NMMB Model. Milankovitch An-

- niversary UNESCO Symposium, 3–5 September 2014, Belgrade, Serbia. http://www.jcerni.org/images/stories/maus/Book_of_Abstracts_2014.pdf
- Djurdjevic, V., Trbić, G., Krzic, A., & Bozanic, D. (2019). Projected Changes in Multi-day Extreme Precipitation Over the Western Balkan Region. In W. L. Filho, G. Trbić, & D. Filipovic (Eds.), *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change* (pp. 15–28). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03383-5_2
- Giorgi, F., Hewitson, B., Christensen, J., Hulme, M., Von Storch, H., Whetton, P., Jones, R., Mearns, L., Fu, C., Arritt, R., Bates, B., Benestad, R., Boer, G., Buishand, A., Castro, M., Chen, D., Cramer, W., Crane, R., Crossley, J. F., ... Xue, Y. (2001). Regional Climate Information–Evaluation and Projections. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson (Eds.), *Climate Change, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 583–638). Cambridge University Press.
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Gnjato, S., Popov, T., Trbić, G., & Ivanišević, M. (2019). Climate Change Impact on River Discharges in Bosnia and Herzegovina: A Case Study of the Lower Vrbas River Basin. In W. L. Filho, G. Trbić, & D. Filipovic (Eds.), *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change* (pp. 79–92). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03383-5_6
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jacob, D., Bärring, L., Christensen, O. B., Christensen, J. H., de Castro, M., Déqué, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Sánchez, E., Schär, C., Seneviratne, S. I., Somot, S., van Ulden, A., & van den Hurk, B. (2007). An Inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day Climate. *Climatic Change*, 81, 31–52. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9213-4>
- Janjic, Z. I. (2003). A nonhydrostatic model based on a new approach. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82, 271–285. <https://doi.org/10.1007/s00703-001-0587-6>
- Janjic, Z., & Gall, R. L. (2012). *Scientific Documentation of the NCEP Nonhydrostatic Multiscale Model on the B Grid (NMMB), Part I Dynamics* (NCAR Technical Note No. NCAR/TN-489+STR). University Corporation for Atmospheric Research. <https://doi.org/10.5065/D6WH2MZX>
- Klein, R. J. T., Midgley, G. F., Preston, B. L., Alam, M., Berkhout, F. G. H., Dow, K., & Shaw, M. R. (2014). Adaptation Opportunities, Constraints, and Limits. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 899–943). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap16_FINAL.pdf
- Lovrić, N., & Tošić, R. (2018). Assessment of soil erosion and sediment yield using erosion potential method: Case study – Vrbas River basin (B&H). *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98(1), 1–14. <https://doi.org/10.2298/GSGD180215002L>
- Moss, R., Babiker M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J. F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J. ... Zurek, M. (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change*,

- Impacts, and Response Strategies* (IPCC Expert Meeting Report on New Scenarios, 19–21 September, 2007). Intergovernmental Panel on Climate Change. Noordwijkerhout.
- Oprašić, S., Avdić, S., Selmanagić Bajrović, A., Muharemović, A., Prašović, S., Trbić, G., Husika, A., Krajinović, B., Stojanović, B., Zorić, B., Bajić, D., Vojinović, Đ., Arnautović Aksić, D., Zahirović, E., Krečinić, E., Omerčić, E., Kupusović, E., Tica, G., Čustović, H., ... Federal Hydrometeorological Service. (2016). *Third National Communication Bosnia and Herzegovina under UNFCCC*. UNDP. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ba/TNC-Report-ENG.pdf>
- Ostojić, A., Vaško, Ž., Cvetković, M., & Pašalić, B. (2019). Fruit Self-Sufficiency Assessment in Bosnia and Herzegovina. *Western Balkan Journal of Agricultural Economics and Rural Development*, 1(2), 135–154. <https://doi.org/10.5937/WBJAE1902135O>
- Pérez, C., Haustein, K., Janjic, Z., Jorba, O., Huneus, N., Baldasano, J. M., Black, T., Basart, S., Nickovic, S., Miller, R. L., Perlwitz, J. P., Schulz, M., & Thomson, M. (2011). Atmospheric Dust Modeling from Meso to Global Scales with the Online NMMB/BSC-Dust Model – Part 1: Model Description, Annual Simulations and Evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11, 17551–17620. <https://doi.org/10.5194/acpd-11-17551-2011>
- Popov, T., Gnjata, S., & Trbić, G. (2018a). Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia and Hercegovina. *IDŐJÁRÁS – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 122(4), 433–452. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2018.4.5>
- Popov, T., Gnjata, S., Trbić, G., & Ivanišević, M. (2018b). Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(1), 211–224. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/019>
- Popov, T., Gnjata, S., & Trbić, G. (2019a). Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Geografije*, 124(1), 19–40. <https://doi.org/10.37040/geografije2019124010019>
- Popov, T., Gnjata, S., & Trbić, G. (2019b). Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In W. L. Filho, G. Trbić, & D. Filipovic (Eds.), *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change* (pp. 213–228). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03383-5_15
- Popov, T., Gnjata, S., Trbić, G., & Ivanišević, M. (2019c). Analysis of Extreme Precipitation Indices in the East Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Journal of the Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA*, 69(1), 1–16. <https://doi.org/10.2298/IJGI1901001P>
- Scoccimarro, E., Gualdi, S., Bellucci, A., Sanna, A., Fogli, P. G., Manzini, E., Vichi, M., Oddo, P., & Navarra, A. (2011). Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High Resolution Coupled General Circulation Model. *Journal of Climate*, 24(16), 4368–4384. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4104.1>
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/bams-d-11-00094.1>
- Topalović, Ž., Blagojević, V., & Sudar, N. (2018). Određivanje hidrograma velikih voda za potrebe izrade mapa opasnosti i rizika od poplava –na primjeru sliva rijeke Vrbas, BiH. *Vodoprivreda*, 50, 291–293.
- Tošić, R., Lovrić, N., Dragičević, S., & Manojlović, S. (2018). Assessment of torrential flood susceptibility using GIS Matrix Method: Case study – Vrbas River basin (B&H). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(2), 369–382. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/032>
- Tošić, R., Blagojević, V., Trifković, M., Sudar, T., Dragičević, S., Lovrić, N., & Topalović, Ž. (2022). A methodology for mapping under torrential flood risk: Case study–the Rebro-

- vacki brook basin/Banja Luka Municipality (B&H). *Carpathian Journal of Earth and Environment Sciences*, 17(2), 307–322. <https://doi.org/10.26471/cjees/2022/017/224>
- Трбић, Г. (2011). Екоклиматска регионализација Перипанонског обода Републике Српске. Географско друштво Републике Српске.
- Trbić, G., Bajić, D., Popov, T., & Oprašić, S. (2013). Drought Issues in Bosnia and Herzegovina. *Гласник/Herald*, 17, 103–120. <https://doi.org/10.7251/HER1714103T>
- Trbić, G., Popov, T., & Gnjacko, S. (2017). Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica*, 21(2), 68–84. <https://doi.org/10.18421/GP21.02-01>
- Trbic, G., Bajic, D., Djurdjevic, V., Ducic, V., Cupac, R., Markež, Đ., Vukmir, G., Dekić, R., & Popov, T. (2018). Limits to Adaptation on Climate Change in Bosnia and Herzegovina: Insights and Experiences. In W. L. Filho & J. Nalau (Eds.), *Limits to Climate Change Adaptation* (pp. 245–259). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64599-5_14
- Trbic, G., Djurdjevic, V., Vujdinovic Mandic, M., Ivanisevic, M., Cupac, R., Bajic, D., Zahirovic, E., Filipovic, D., Dekic, R., Popov, T., & Gnjacko, S. (2021). The Impact of Climate Change on Grapevines in Bosnia and Herzegovina. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 6(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00206-7>
- Žurovec, O., Čadro, S., & Sitaula, B. K. (2017). Quantitative Assessment of Vulnerability to Climate Change in Rural Municipalities of Bosnia and Herzegovina. *Sustainability*, 9(7), 1208. <https://doi.org/10.3390/su9071208>