

ПРОМЈЕНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И ПАДАВИНА У СОКОЦУ (1961–2022)**Татјана Попов^{1*}, Слободан Гњато¹, Горан Трбић¹, Марко Иванишевић¹, Дарко Боројевић² и Милица Ђорђевић²**¹Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ²Републички хидрометеоролошки завод Републике Српске, Бања Лука, Република Српска, БиХ

Сажетак: У раду су анализирани промјене температуре ваздуха и падавина у Сокоцу (Република Српска, Босна и Херцеговина) у периоду 1961–2022. године. Климатске промјене на истраживаном простору детерминисане су на бази линеарног тренда у периоду 1961–2022. године и на основу промјена које су се десиле између последње двије климатске нормале које препоручује Свјетска метеоролошка организација (1961–1990. и 1991–2020. године). Утврђено је да је у Сокоцу присутно значајно загријавање климатског система. Годишња и сезонске средње, максималне и минималне температуре ваздуха показале су статистички значајне позитивне трендове. Посматрано по сезонама, пораст температуре је присутан током цијеле године, али је најизраженији у сезони зима. Фреквенција појаве и интензитет температурних екстрема нарочито су повећани последњих деценија. У свим сезонама забиљежени су позитивни трендови падавина, иако је значајан пораст присутан једино у сезони прољеће. Осим пораста укупне количине падавина, утврђен је и позитиван тренд индекса екстремних падавина (за већину индекса и статистички значајан).

Кључне ријечи: климатске промјене, температура ваздуха, падавине, екстремни климатски индекси, тренд, климатске нормале, Соколац (Република Српска, Босна и Херцеговина).

Original scientific paper

CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN SOKOLAC (1961–2022)**Tatjana Popov^{1*}, Slobodan Gnjato¹, Goran Trbić¹, Marko Ivanišević¹, Darko Borojević² and Milica Đorđević²**¹University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H²Republic Hydrometeorological Institute of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H

Abstract: The paper had analyzed changes in air temperature and precipitation in Sokolac (Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina) during the 1961–2022 periods. Climate change over the researched area was determined based on a linear trend for the 1961–2022 periods and based on the changes that occurred between the last two thirty-year standard climatological periods recommended by the World Meteorological Organization (1961–1990 and 1991–2020). It was established that a significant warming of the climate system is present in Sokolac. Annual and seasonal mean, but also maximum and minimum air temperatures displayed statistically significant positive trends. Observed by seasons, the temperature increase was present through the entire year, but was most pronounced in the winter season. The frequency and intensity of temperature extremes have particularly increased in recent decades. Positive precipitation trends were recorded in all seasons, although a significant increase was present only during the spring season. In addition to the rise in the total precipitation, a positive trend in the extreme precipitation indices was also determined (for most indices, increase was statistically significant).

Keywords: climate change, air temperature, precipitation, extreme climate indices, trend, climate normals, Sokolac (Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina).

* Аутор за кореспонденцију: Татјана Попов, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, Е-mail: tatjana.popov@pmf.unibl.org
Corresponding author: Tatjana Popov, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, E-mail: tatjana.popov@pmf.unibl.org

УВОД

Глобална температура ваздуха у порасту је од краја 19. вијека, а нарочито посљедњих деценија (IPCC, 2021; Shen et al., 2022; Wang et al., 2018). Просјечна глобална температура ваздуха током посљедњих двадесет година (2003–2022) била је 1.03°C виша у поређењу са периодом 1850–1900. (тј. са преиндустријским периодом) (IPCC, 2021; Forster et al., 2023). Посљедња деценија (2013–2022) била је 1.15°C , а 2022. година 1.26°C топлија (Forster et al., 2023). Интензивни и нагли тренд загријавања у средњим географским ширинама наше хемисфере започео је током касних 1980-их (Lo & Hsu, 2010). Осим пораста средње температуре копна и океана на глобалном нивоу, на загријавање упућују и промјене индекса екстремних температура (и топлих и хладних) (Alexander, 2016; Gallant et al., 2014; Dunn & Morice, 2022; Dunn et al., 2020). Топли температурни индекси, као што су сви апсолутни температурни индекси, перцентилски индекси топле ноћи и топли дани, индекси засновани на фиксним вриједностима прагова тропске ноћи и љетни дани, те индекс дужине трајања трајање топлих таласа, забиљежили су изражене позитивне трендове, док су хладни индекси (перцентилски индекси хладне ноћи и хладни дани, индекси засновани на фиксним вриједностима прагова мразни дани и ледени дани, те индекс дужине трајања трајање хладних таласа) забиљежили негативне трендове.

Глобално загријавање потврђено је бројним студијама широм свијета, на различитим временским и просторним скалама – од континенталних (Bieli et al., 2015; Domínguez-Castro et al., 2020; Overpeck & Udall, 2020; Peña-Angulo et al., 2020; Twardosz et al., 2021; Collazo et al., 2022), преко регионалних (Vincent et al., 2018; Zittis et al., 2022; Kelebek et al., 2021; Kpanou et al., 2021; Lakatos et al., 2021; Ogrin et al., 2022; Salameh et al., 2019; Todaro et al., 2022; Fan et al., 2022; Hu et al., 2014) и националних (Amendola et al., 2019; Begert & Frei, 2018; Kosanic et al., 2019; Kumar et al., 2021; Mateus & Potito, 2022; Mullick et al., 2019; Ribes et al., 2022; Salnikov et al., 2023; Stanley et al., 2023; Tošić et al., 2016, 2023; Trbić et al., 2017; Finkel & Katz, 2017;

INTRODUCTION

Global air temperature had been increasing since the end of the 19th century, and especially in recent decades (IPCC, 2021; Shen et al., 2022; Wang et al., 2018). The average global air temperature during the last twenty years (2003–2022) was 1.03°C higher compared to the 1850–1900 periods (i.e. with the pre-industrial period's level) (IPCC, 2021; Forster et al., 2023). The last decade (2013–2022) was 1.15°C , and the year 2022 was 1.26°C warmer (Forster et al., 2023). An intense and abrupt warming trend over the middle latitudes of the our hemisphere began during the late 1980s (Lo & Hsu, 2010). In addition to the increase in the average temperature of land and oceans at the global level, changes in extreme temperature indices (both warm and cold) also suggest warming (Alexander, 2016; Gallant et al., 2014; Dunn & Morice, 2022; Dunn et al., 2020). Warm temperature indices, such as: all absolute temperature indices, percentile indices of warm nights and warm days, fixed threshold values indices of tropical nights and summer days, and the duration based index of warm spell duration index, recorded prominent positive trends, whereas the cold indices (percentile indices of cold nights and cold days, fixed threshold values indices of frost days and ice days, and duration based index of cold spell duration index) displayed negative trends.

Global warming has been confirmed by numerous studies around the world, on different temporal and spatial scales – from continental (Bieli et al., 2015; Domínguez-Castro et al., 2020; Overpeck & Udall, 2020; Peña-Angulo et al., 2020; Twardosz et al., 2021; Collazo et al., 2022), through regional (Vincent et al., 2018; Zittis et al., 2022; Kelebek et al., 2021; Kpanou et al., 2021; Lakatos et al., 2021; Ogrin et al., 2022; Salameh et al., 2019; Todaro et al., 2022; Fan et al., 2022; Hu et al., 2014) and national (Amendola et al., 2019; Begert & Frei, 2018; Kosanic et al., 2019; Kumar et al., 2021; Mateus & Potito, 2022; Mullick et al., 2019; Ribes et al., 2022; Salnikov et al., 2023; Stanley et al., 2023; Tošić et al., 2016, 2023; Trbić et al., 2017; Finkel & Katz, 2017; Ciftci & Sahin, 2023) to

Ciftci & Sahin, 2023) до локалних (Bonacci et al., 2021; Burić & Doderović, 2021; Doderović et al., 2020; Gnjato et al., 2021; Nimac et al., 2021; Popov et al., 2017a).

За разлику од температуре, промјене падавина (и средњих и екстремних) нису биле једнообразне, и углавном су биле мање значајне, како на глобалном нивоу (Alexander, 2016; Gu & Adler, 2023; Sun et al., 2021), тако и на мањим просторним скалама (Burić & Doderović, 2021; Zeder & Fischer, 2020; Zheng et al., 2022; Kelebek et al., 2021; Kömüscü & Aksoy, 2023; Kpanou et al., 2021; Li et al., 2019; Luppichini et al., 2022; Milošević et al., 2021; Ogrin et al., 2022; Popov et al., 2017b, 2018b; Portela et al., 2020; Senent-Aparicio et al., 2023; Fan et al., 2023; Hänsel et al., 2022; Harp & Horton, 2022; Ciftci & Sahin, 2023). Ипак треба истакнути да је у многим дијеловима свијета примијењен тренд пораста интензивних падавина (Alexander, 2016; Dunn et al., 2020; Sun et al., 2021). На примјер, годишња максимална дневна количина падавина повећана је у скоро двије трећине копнених површина свијета (Sarkar & Maity, 2021). У Европи је примијењен пораст учесталости појаве екстремних падавина у узаstopним данима (Du et al., 2022), као и позитивни трендови интензивних падавина током посљедњих тридесетак година (1991–2018) (Hänsel et al., 2022).

Наведени трендови промјене климе утврђени су и претходним истраживањима у Републици Српској и Босни и Херцеговини (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017a, 2017b, 2018a, 2019). Овај рад представља наставак тих истраживања, јер анализира дужи период у односу на претходна истраживања, а што је нарочито важно обухвата и период 2016–2022. године, тј. обухвата глобално најтоплије године од када се врше инструментална мјерења (од 1880. године) (NOAA National Centers for Environmental Information, 2023). У раду се детаљније анализирају промјене на простору Сокоца. Главни циљ истраживања јесте да се испитају трендови температура ваздуха, падавина и екстремних климатских индекса у Сокоцу у периоду 1961–2022. године и да се утврде промјене које су се десиле између посљедња два стандардна тридесетогодишња климатолошка периода

local (Bonacci et al., 2021; Burić & Doderović, 2021; Doderović et al., 2020; Gnjato et al., 2021; Nimac et al., 2021; Popov et al., 2017a).

Unlike air temperature, changes in precipitation (both mean and extreme) were not uniform, and were mostly less significant, both on a global scale (Alexander, 2016; Gu & Adler, 2023; Sun et al., 2021) and on smaller spatial scales (Burić & Doderović, 2021; Zeder & Fischer, 2020; Zheng et al., 2022; Kelebek et al., 2021; Kömüscü & Aksoy, 2023; Kpanou et al., 2021; Li et al., 2019; Luppichini et al., 2022; Milošević et al., 2021; Ogrin et al., 2022; Popov et al., 2017b, 2018b; Portela et al., 2020; Senent-Aparicio et al., 2023; Fan et al., 2023; Hänsel et al., 2022; Harp & Horton, 2022; Ciftci & Sahin, 2023). However, it should be noted that in many parts of the world, an increasing trend of intense precipitation has been observed (Alexander, 2016; Dunn et al., 2020; Sun et al., 2021). For example, annual maximum daily rainfall has increased over almost two-thirds of the world's land area (Sarkar & Maity, 2021). In Europe, a rising frequency of extreme precipitation on consecutive days (Du et al., 2022) and positive trends of intense precipitation during the last thirty years (1991–2018) (Hänsel et al., 2022) have been observed.

The aforementioned patterns of climate change were determined by previous research in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017a, 2017b, 2018a, 2019). This paper is a continuation of those studies, because it analyzes a longer period compared to the previous studies, and what is particularly important includes the 2016–2022 periods, which covers the warmest years globally since instrumental measurements have begun (i.e. from 1880) (NOAA National Centers for Environmental Information, 2023). The paper analyzes in more detail the changes in the Sokolac area. The main goal of the research was to investigate the trends of air temperature, precipitation and extreme climate indices in Sokolac during the 1961–2022 periods and to determine the changes that occurred between the last two standard thirty-year climatological periods

током цијеле године. Средња годишња температура ваздуха у периоду 1961–2015. износила је 6.9°C , а температуре најхладнијег и најтоплијег мјесеца -3.8°C и 16.7°C , редом (Попов, 2020). Најнижа температура забиљежена у наведеном периоду износила је -34.6°C (измјерена у јануару 1985. године), а највиша 36.1°C (измјерена у јулу 2013. године). Средња годишња количина падавина износила је 853.8 mm.

За анализу промјена температуре ваздуха и падавина на предметном подручју коришћени су подаци Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске са метеоролошке станице Соколац, која се налази на 43.92611° с. г. ш, 18.78917° и. г. д. и 913 m н. в. Коришћени су дневни подаци о средњим (T_a), максималним (T_{\max}) и минималним (T_{\min}) температурама, те дневни подаци о количинама падавинама (R). Хомогенизација података није вршена. Просјечне вриједности и основне статистичке одлике улазних варијабли у анализираном периоду 1961–2022. године приказане су у Таб. 1. На основу улазних варијабли израчунати су индекси екстремних температура и падавина које препоручује тим експерата за детекцију савремених климатских промјена (ETCCDI). Дефиниције коришћених индекса доступне су на: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml (перцентилски индекси приказани су у данима, а не у процентима). Израчунати су у софтверу RCLimDex (Zhang & Yang, 2004). Просјечне вриједности и основне статистичке одлике анализираних индекса у периоду 1961–2022. године приказане су у Таб. 2 и Таб. 3.

ut the year. Mean annual air temperature in the 1961–2015 periods was 6.9°C , and the air temperatures of the coldest and warmest month were -3.8°C and 16.7°C , respectively (Попов, 2020). The lowest temperature recorded in the mentioned period was -34.6°C (measured in January 1985), and the highest 36.1°C (measured in July 2013). The mean annual precipitation was 853.8 mm.

Data from the Republic of Srpska Hydrometeorological Institute at the Sokolac meteorological station, located at 43.92611° N latitude, 18.78917° E longitude and 913 m a. s. l, were utilized for the investigation of changes in air temperature and precipitation over the study area. Daily data on mean air temperatures (T_a), maximum (T_{\max}) and minimum (T_{\min}) air temperatures, and daily data on precipitation amounts (R) were used. Data homogenization was not performed. Average values and other basic statistics of used input variables for the investigated 1961–2022 periods are shown in Tab. 1. Based on the input variables, indices of extreme air temperature and precipitation, which are suggested by the team of experts for the detection of contemporary climate changes (ETCCDI), were calculated. Definitions of the used indices are available at: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml (percentile indices are shown in days, not percentages). They were calculated in RCLimDex software (Zhang & Yang, 2004). Average values and other basic statistics of the investigated indices for the 1961–2022 periods are shown in Tab. 2 and Tab. 3.

Таб. 1. Основне статистичке одлике улазних параметара (период 1961–2022. године)

Tab. 1. Basic statistical characteristics of input parameters (the 1961–2022 periods)

Параметар / Parameter	Аритметичка средина / Average	Стандардна девијација / Standard deviation	Максимална вриједност / Maximum value	Минимална вриједност / Minimum value	Коефицијент заобљености / Kurtosis	Коефицијент асиметрије / Skewness
T_a ($^{\circ}\text{C}$)	7.1	0.9	9.3	5.0	-0.519	0.324
T_{\max} ($^{\circ}\text{C}$)	13.6	1.2	15.6	11.3	-1.185	-0.051
T_{\min} ($^{\circ}\text{C}$)	1.3	0.9	3.7	-0.6	-0.262	0.141
R (mm)	860.6	143.1	1276.3	562	0.533	0.401

Таб. 2. Основне статистичке одлике анализираних индекса екстремних температура ваздуха
 (период 1961–2022. године)
 Tab. 2. Basic statistical characteristics of analyzed extreme air temperature indices
 (the 1961–2022 periods)

Индекс екстремних температура / Index of extreme temperature	TXx (°C)	TNn (°C)	TNx (°C)	TXn (°C)
Аритметичка средина / Average	32.3	-24.1	16.0	-9.4
Максимум / Maximum	36.1	-14.8	21.1	-3.0
Минимум / Minimum	27.6	-34.6	12.0	-18.8
Стандардна девијација / Standard deviation	2.0	4.2	1.9	3.0
Коефицијент асиметрије / Skewness	-0.127	-0.207	0.326	-0.631
Коефицијент заобљености / Kurtosis	-0.572	-0.118	0.291	1.111
Индекс екстремних температура / Index of extreme temperature	TX10p (дан / day)	TN10p (дан / day)	TX90p (дан / day)	TN90p (дан / day)
Аритметичка средина / Average	30.6	29.7	59.4	53.7
Максимум / Maximum	65.5	54.8	110.3	102.0
Минимум / Minimum	6.0	10.0	13.1	9.9
Стандардна девијација / Standard deviation	12.7	11.3	25.5	20.6
Коефицијент асиметрије / Skewness	0.615	0.367	-0.080	0.157
Коефицијент заобљености / Kurtosis	0.338	-0.466	-1.094	-0.409
Индекс екстремних температура / Index of extreme temperature	TR20 (дан / day)	SU25 (дан / day)	SU30 (дан / day)	FD0 (дан / day)
Аритметичка средина / Average	0.1	43.3	8.1	148.2
Максимум / Maximum	1.0	92.0	43.0	177.0
Минимум / Minimum	0.0	6.0	0.0	99.0
Стандардна девијација / Standard deviation	0.2	17.8	9.1	14.8
Коефицијент асиметрије / Skewness	4.156	0.388	1.659	-0.567
Коефицијент заобљености / Kurtosis	15.821	-0.222	2.963	0.708
Индекс екстремних температура / Index of extreme temperature	ID0 (дан / day)	WSDI (дан / day)	CSDI (дан / day)	GSL (дан / day)
Аритметичка средина / Average	34.0	16.4	1.1	224.3
Максимум / Maximum	72.0	66.0	12.0	270.0
Минимум / Minimum	7.0	0.0	0.0	178.0
Стандардна девијација / Standard deviation	12.3	16.0	2.8	22.0
Коефицијент асиметрије / Skewness	0.376	0.762	2.420	0.081
Коефицијент заобљености / Kurtosis	0.535	0.047	5.124	-0.348

Таб. 3. Основне статистичке одлике анализираних индекса екстремних падавина (период 1961–2022. године)

Tab. 3. Basic statistical characteristics of analyzed extreme precipitation indices (the 1961–2022 periods)

Индекс екстремних падавина / Index of extreme precipitation	PRCPTOT (mm)	RX1day (mm)	RX5day (mm)	SDII (mm/дан mm/day)	R10mm (дан / day)
Аритметичка средина / Average	841.7	49.8	79.1	7.7	27.3
Максимум / Maximum	1262.4	114.2	195.3	10.2	47.0
Минимум / Minimum	540.6	26.0	36.8	5.8	14.0
Стандардна девијација / Standard deviation	145.9	19.4	28.6	1.0	6.9
Коефицијент асиметрије / Skewness	0.448	1.693	2.268	0.253	0.658
Коефицијент заобљености / Kurtosis	0.530	3.158	6.902	-0.533	0.380
Индекс екстремних падавина / Index of extreme precipitation	R20mm (дан / day)	R95p (mm)	R99p (mm)	CWD (дан / day)	CDD (дан / day)
Аритметичка средина / Average	8.0	209.7	73.7	6.7	22.7
Максимум / Maximum	14.0	468.8	227.6	14.0	41.0
Минимум / Minimum	1.0	29.4	0.0	4.0	12.0
Стандардна девијација / Standard deviation	3.1	88.9	61.7	1.8	7.3
Коефицијент асиметрије / Skewness	0.182	0.512	0.672	1.503	0.771
Коефицијент заобљености / Kurtosis	-0.416	0.269	-0.425	4.364	-0.258

Непараметарски Ман-Кендалов тест и Сенов метод употребљени су за процјену нагиба трендова и њиховог статистичког значаја у периоду 1961–2022. Анализа промјена између последње двије климатске нормале (1961–1990. и 1991–2020.) обухватила је утврђивање разлика у просјечним вриједностима параметара два наведена периода и промјена у дистрибуцијама које су испитиване непараметарским Колмогоров-Смирновим тестом.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Декадни трендови годишњих и сезонских температура приказани су у Таб. 4 и на Сл. 2. Средња годишња температура ваздуха значајно је порасла за 0.40°C по деценији. И максималне и минималне температуре значајно су порасле током цијеле

The non-parametric Mann-Kendall test and Sen's method were performed to assess the slope of the trends and their statistical significance for the 1961–2022 periods. The analysis of the changes between the last two climate normals (1961–1990 and 1991–2020) covered determining the differences in the average values of the parameters between the two stated periods and determining the changes in the distributions, which were examined by the non-parametric Kolmogorov-Smirnov test.

RESULTS AND DISCUSSION

Decadal trends of annual and seasonal temperatures are shown in Tab. 4 and Fig. 2. The average annual air temperature rose significantly by 0.40°C per decade. Both maximum and minimum temperatures increased significantly throughout the year. However, maximum tempe-

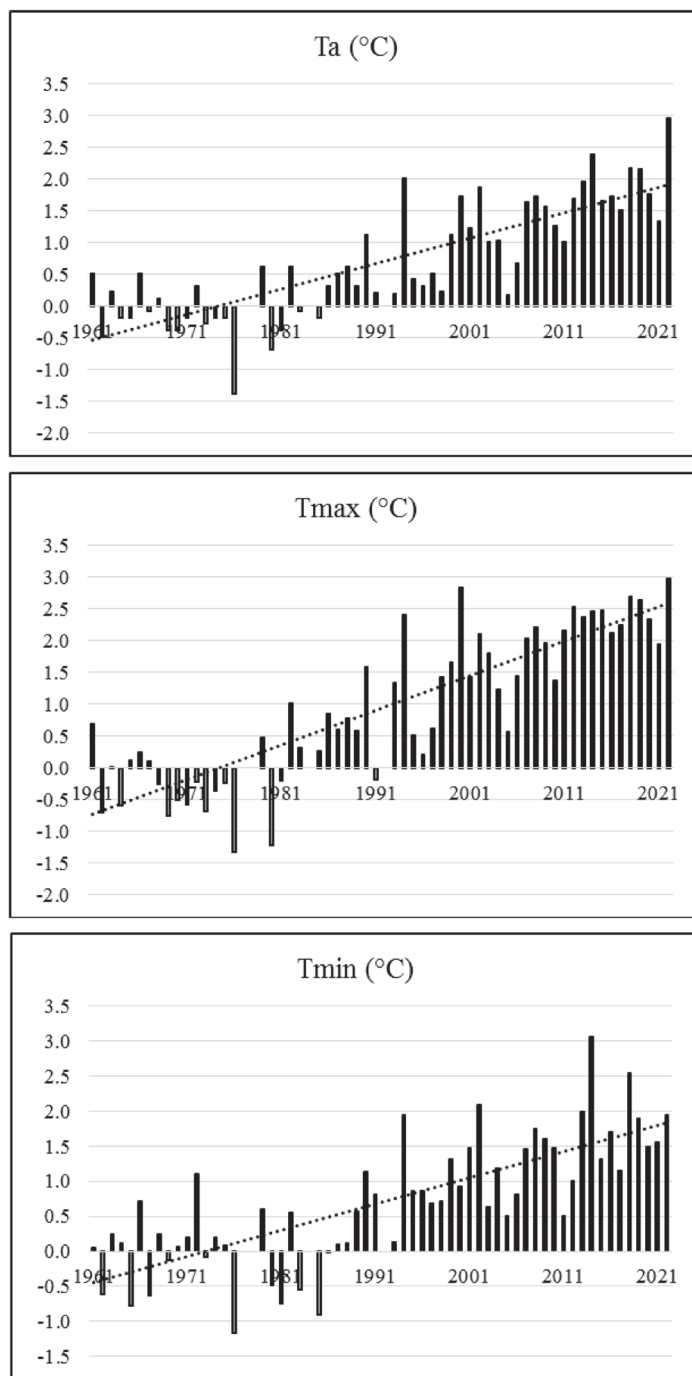
године. Ипак, максималне температуре су порасле по вишим стопама него минималне (на примјер, годишња максимална температура порасла је 0.60°C по деценији, а годишња минимална температура 0.40°C по деценији) – што је у сагласности са резултатима студија претходно спроведеним у Републици Српској и Босни и Херцеговини (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Popov et al., 2017a, 2018a, 2019) и региону (Bonacci et al., 2021; Burić et al., 2015; Domínguez-Castro et al., 2020; Тошић et al., 2023). За разлику од нижих подручја у перипанонском и субмедитеранском подручју, гдје су највећи пораст максималне и минималне температуре забиљежени у сезони љето (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Popov et al., 2017a, 2019), наведене екстремне температуре у овом брдско-планинском подручју највише су порасле у сезони зима (T_{max} и T_{min} за 0.84°C и 0.60°C по деценији, редом), а затим у сезони љето (T_{max} и T_{min} за 0.68°C и 0.51°C по деценији, редом). Иако је у многим дијеловима Републике Српске и Босне и Херцеговине пораст температуре у сезони јесен незнатан и инсигнификантан (Попов, 2020; Trbić et al., 2017), у Сокоцу су температуре и у овој сезони значајно порасле (0.24°C , 0.39°C и 0.30°C по деценији, редом).

temperatures increased at higher rates than minimum temperatures (for example, the annual maximum air temperature had risen by 0.60°C per decade, and the annual minimum air temperature by 0.40°C per decade), which is in agreement with the results obtained by studies previously conducted in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Popov et al., 2017a, 2018a, 2019) and the region (Bonacci et al., 2021; Burić et al., 2015; Domínguez-Castro et al., 2020; Тошић et al., 2023). In contrast to the lower areas in the Peripannonian and sub-Mediterranean regions, where the highest maximum and minimum temperatures increases were recorded in the summer season (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Popov et al., 2017a, 2019), the stated extreme temperatures in this hilly-mountainous area increased the most in the winter season (T_{max} and T_{min} had risen by 0.84°C and 0.60°C per decade, respectively), and then in the summer season (T_{max} and T_{min} had risen by 0.68°C and 0.51°C per decade, respectively). Although in many parts of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina the increase in temperatures during the autumn season is negligible and insignificant (Попов, 2020; Trbić et al., 2017), in Sokolac the temperatures even in this season increased significantly (0.24°C , 0.39°C and 0.30°C per decade, respectively).

Таб. 4. Просјечне вриједности и декадни трендови T_a , T_{max} и T_{min} (на годишњем и сезонском нивоу) у Сокоцу у периоду 1961–2022. године

Tab. 4. Average values and decadal trends in T_a , T_{max} and T_{min} (on an annual and seasonal levels) in Sokolac in the 1961–2022 periods

Варијабла / Variable		Година / Year	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Зима / Winter
T_a ($^{\circ}\text{C}$)	Просјек / Average	7.1	6.9	16.2	7.6	-2.5
	Нагиб тренда / Slope	0.40	0.26	0.54	0.24	0.54
	p-вриједност / p-value	< 0.0001	0.002	< 0.0001	0.018	< 0.0001
T_{max} ($^{\circ}\text{C}$)	Просјек / Average	13.6	13.3	23.4	14.6	2.8
	Нагиб тренда / Slope	0.60	0.43	0.68	0.39	0.84
	p-вриједност / p-value	< 0.0001	0.000	< 0.0001	0.002	< 0.0001
T_{min} ($^{\circ}\text{C}$)	Просјек / Average	1.3	1.0	9.2	2.0	-7.0
	Нагиб тренда / Slope	0.40	0.21	0.51	0.30	0.60
	p-вриједност / p-value	< 0.0001	0.007	< 0.0001	0.008	0.000



Сл. 2. Одступања T_a , T_{max} и T_{min} у Сокоцу од њихове просјечне вриједности у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2022. године (испрекидана линија приказује линеарни тренд)

Fig. 2. Deviations of T_a , T_{max} and T_{min} in Sokolac from their average value in the standard climatological 1961–1990 periods in the 1961–2022 periods (dashed line shows a linear trend)

Просјечне годишње вриједности T_a , T_{max} и T_{min} порасле су у периоду 1991–2020. у односу на референтни период 1961–1990. године за више од 1°C – 1.2°C , 1.8°C и 1.3°C , редом (Таб. 5). Сезонске средње температуре најви-

The average annual values of T_a , T_{max} and T_{min} increased in the 1991–2020 periods in comparison to the reference periods (1961–1990) by more than 1°C – 1.2°C , 1.8°C and 1.3°C , respectively (Tab. 5). Seasonal mean temperatures in-

ше су порасле у сезонама љето (1.7°C) и зима (1.5°C). Просјечна температура у сезони зима у посљедњој климатској нормали готово је удвостручена у односу на претходну. Просјечна максимална температура највише је порасла у сезони зима, за чак 2.3°C (у сезони љето само нешто мање, 2.2°C), као и минимална (у сезони зима за 1.6°C, а у сезони љето за 1.5°C). Резултати добијени Колмогоров-Смирновим тестом потврдили су да се између посљедње двије климатске нормале значајно промијенила и дистрибуција годишњих и сезонских T_a , T_{max} и T_{min} – помјерена према вишим температурама у каснијем периоду.

creased the most during the summer (1.7°C) and winter (1.5°C) seasons. The average temperature in the winter season in latter climatic normal is almost doubled compared to the previous one. The average maximum temperature increased the most during the winter season, by as much as 2.3°C (during the summer season only slightly less, 2.2°C), as well as the minimum temperature (during the winter season increased by 1.6°C, and during the summer season by 1.5°C). The results obtained by the Kolmogorov-Smirnov test confirmed that the distribution of annual and seasonal T_a , T_{max} and T_{min} changed significantly between the last two climatic normals – distribution shifted towards higher temperatures in the latter period.

Таб. 5. Разлика у просјечним вриједностима T_a , T_{max} и T_{min} (на годишњем и сезонском нивоу) у Сокоцу у периоду 1991–2020. у поређењу са периодом 1961–1990. године
 Tab. 5. The difference in the average values of T_a , T_{max} and T_{min} (on an annual and seasonal levels) in Sokolac in the 1991–2020 periods in relation to the 1961–1990 periods

T_a	Година / Year	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Зима / Winter
Просјек / Average					
1961–1990	6.4	6.4	15.2	7.1	-3.2
1991–2020	7.6	7.3	17.0	8.1	-1.8
Разлика / Difference					
°C	1.2	0.9	1.7	0.9	1.5
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test					
D	0.700	0.333	0.700	0.400	0.433
p-вриједност / p-value	<0.0001	0.071	<0.0001	0.016	0.007
T_{max}	Година / Year	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Зима / Winter
Просјек / Average					
1961–1990	12.6	12.6	22.2	14.0	1.6
1991–2020	14.4	13.9	24.4	15.1	3.9
Разлика / Difference					
°C	1.8	1.4	2.2	1.0	2.3
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test					
D	0.791	0.420	0.682	0.420	0.507
p-вриједност / p-value	<0.0001	0.014	<0.0001	0.014	0.002
T_{min}	Година / Year	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Зима / Winter
Просјек / Average					
1961–1990	0.6	0.6	8.4	1.4	-7.9
1991–2020	1.9	1.4	9.9	2.6	-6.3
Разлика / Difference					
°C	1.3	0.9	1.5	1.1	1.6
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test					
D	0.785	0.420	0.780	0.497	0.475
p-вриједност / p-value	<0.0001	0.014	<0.0001	0.002	0.004

Декадни трендови индекса екстремних температура у Сокоцу у периоду 1961–2022. године приказани су у Таб. 6 и на Сл. 3. Резултати анализе трендова такође показују да је на овом простору присутно загријавање. Индекси топлих температурних екстрема забиљежили су позитивне трендове, а индекси хладних температурних екстрема негативне. Наведено је у сагласности са обрасцима промјене утврђеним на глобалном нивоу (Dunn et al., 2020), у Европи (Domínguez-Castro et al., 2020; Peña-Angulo et al., 2020), региону (Bonacci et al., 2021; Burić et al., 2014, 2015; Malinovic-Milicevic et al., 2016; Tošić et al., 2023) и Републици Српској (Босни и Херцеговини) (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017а, 2018а, 2019). Сви утврђени трендови температурних индекса у Сокоцу су статистички значајни (осим тренда TR20 и CSDI који се изузетно ријетко јављају на истраживаном простору).

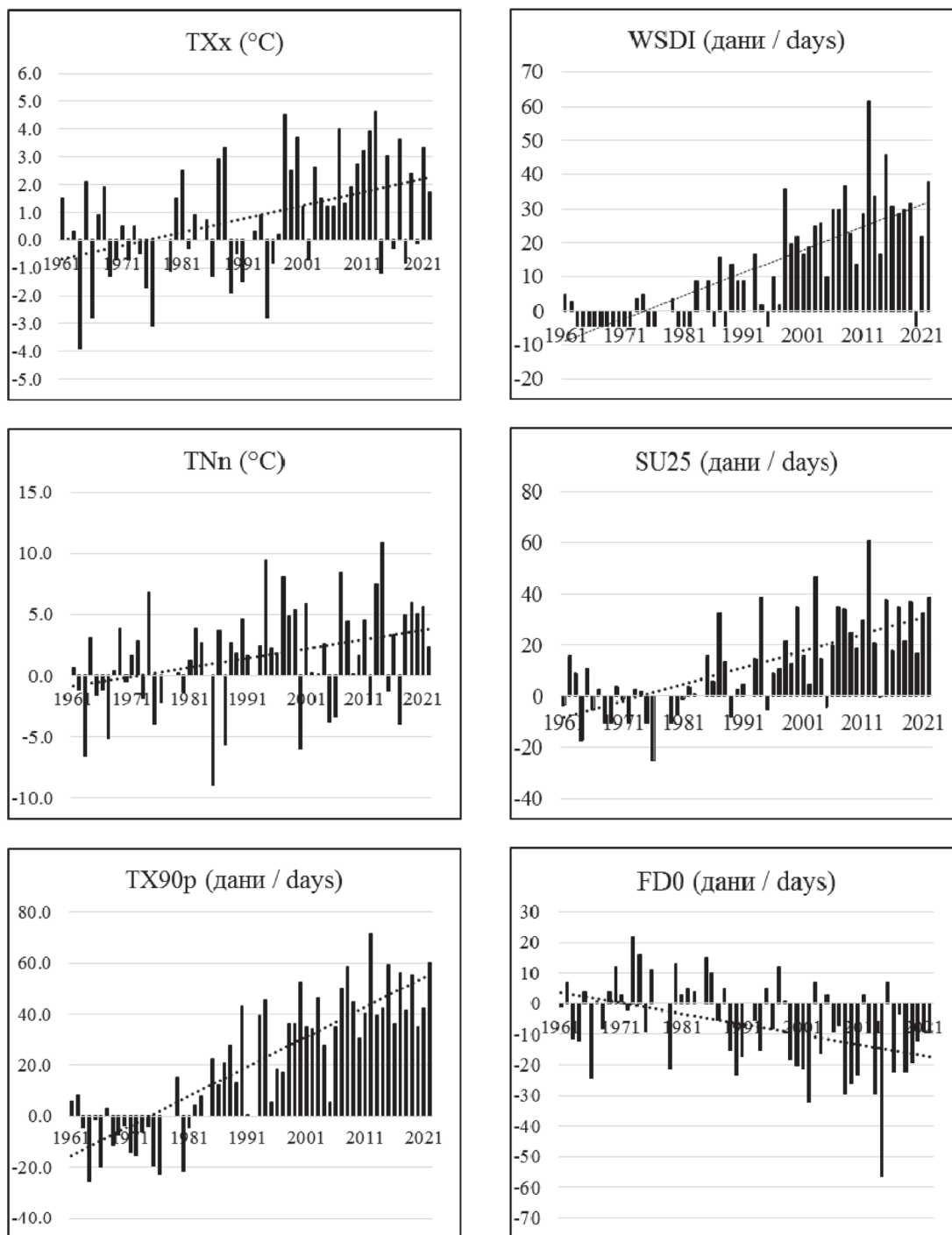
Decadal trends of extreme temperatures indices in Sokolac during the 1961–2022 periods are shown in Tab. 6 and Fig. 3. The trend analysis results also show that warming is present in this area. Indices of warm temperature extremes recorded positive trends, whereas indices of cold temperature extremes showed negative trends. This is in agreement with patterns of change found globally (Dunn et al., 2020), in Europe (Domínguez-Castro et al., 2020; Peña-Angulo et al., 2020), the region (Bonacci et al., 2021; Burić et al., 2014, 2015; Malinovic-Milicevic et al., 2016; Tošić et al., 2023) and the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina) (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017а, 2018а, 2019). All of estimated temperature trends in Sokolac were statistically significant (except for trends of TR20 and CSDI, which occur extremely rarely in the researched area).

Таб. 6. Декадни трендови индекса екстремних температура у Сокоцу у периоду 1961–2022. године
Tab. 6. Decadal trends in extreme temperature indices in Sokolac in the 1961–2022 periods

Индекс / Index	TXx	TNn	TNx	TXn
Нагиб тренда / Slope	0.54	0.89	0.64	0.87
р-вриједност / p-value	0.001	0.008	< 0.0001	< 0.0001
Индекс / Index	TX10p	TN10p	TX90p	TN90p
Нагиб тренда / Slope	-5.13	-4.51	12.55	8.66
р-вриједност / p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Индекс / Index	TR20	SU25	SU30	FD0
Нагиб тренда / Slope	0.00	7.20	2.17	-3.52
р-вриједност / p-value	0.309	< 0.0001	< 0.0001	0.002
Индекс / Index	ID0	WSDI	CSDI	GSL
Нагиб тренда / Slope	-4.88	7.35	0.00	3.50
р-вриједност / p-value	< 0.0001	< 0.0001	0.957	0.026

Од индекса заснованих на апсолутним вриједностима температуре највећа магнитуда тренда забиљежена је за TNn (0.89°C по деценији) и TXn (0.87°C по деценији). Дакле, већи пораст забиљежен је за минималне вриједности минималних и максималних температура, него за максималне, што је у супротности са резултатима добијеним за перипанонски и субмедитерански регион (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017а, 2019). Хладни перцентилски индекси TX10p и TN10p значајно су смањили фреквенцију појаве (за 5.13 и 4.51 дана по деценији, редом), док је магни-

Of the indices based on absolute values of temperature, the largest trend magnitude was recorded in TNn (0.89°C per decade) and TXn (0.87°C per decade). Thus, a greater increase was recorded for the minimum values of the minimum and maximum air temperatures than for the maximum, which is in contrast to the results obtained for the Peripannonian and sub-Mediterranean regions (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017а, 2019). The cold percentile indices TX10p and TN10p significantly reduced their frequency of occurrence (by 5.13 and 4.51 days per decade, respectively), whereas the magnitude of increase in the warm percentile indices



Сл. 3. Одступања одабраних индекса екстремних температура у Сокоцу од њихове просјечне вриједности у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2022. године (испрекидана линија приказује линеарни тренд)

Fig. 3. Deviations of selected extreme temperatures indices in Sokolac from their average value in the standard climatological 1961–1990 periods in the 1961–2022 periods (dashed line shows a linear trend)

туда пораста топлих перцентилских индекса TX90p и TN90p била двоструко већа (12.55 и 8.66 дана по деценији, редом). Хладни индекси засновани на фиксним вриједностима

TX90p and TN90p was twice as large (12.55 and 8.66 days per decade, respectively). Cold indices based on fixed threshold values of temperature FD0 and ID0 showed negative trends (decline by

прагова температуре $FD0$ и $ID0$ испољили су негативне трендове (смањење за 3.52 и 4.88 дана по деценији, редом), а топли $SU25$ и $SU30$ позитивне (пораст за 7.20 и 2.17 дана по деценији, редом). Нарочито је изражен тренд појаве тропских дана, који су се до 1990. године јављали свега неколико пута током године, док је у периоду након 1990. њихова фреквенција готово учетворостручена. Тропске ноћи се изузетно ријетко јављају на подручју Сокоца, па није утврђено постојање тренда у временској серији. Заправо, њихова појава биљежи се тек посљедњих година са порастом загријавања. До почетка 21. вијека није забиљежена ниједна појава тропских ноћи на овом простору. Тек је 2000, 2003. и 2007. године забиљежена по једна тропска ноћ за вријеме изузетно снажних топлих таласа који су у наведеним периодима захватили простор Босне и Херцеговине, региона и Европе. Резултати показују да топли таласи постају све чешћи на анализираном простору ($WSDI$ је порастао по линији тренда за чак 7.35 дана по деценији), али и у осталим дијеловима Републике Српске и Босне и Херцеговине (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017a, 2018a, 2019), те у региону и Европи генерално (Domínguez-Castro et al., 2020; Пења-Angulo et al., 2020). Нарочито снажни топли таласи у овом дијелу европског континента забиљежени су: 1994, 2003, 2007, 2013, 2015. и 2018. године (Bastos et al., 2020; Lhotka & Kyselý, 2015; Spensberger et al., 2020). Пројекције показују да ће њихов пораст до краја 21. вијека бити још израженији (De Luca & Donat, 2023; Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020; Tripathy et al., 2023; Fischer et al., 2021).

Просјечне годишње вриједности топлих индекса екстремних температура, као што су: TXx , TNn , TXn , TNx , $TX90p$, $TN90p$, $TR20$, $SU25$, $SU30$ и $WSDI$, у складу с утврђеним трендом загријавања, порасле су у посљедњој климатској нормали (1991–2020) у односу претходну (1961–1990), док су смањене просјечне годишње вриједности хладних индекса екстремних температура, као што су: $TX10p$, $TN10p$, $FD0$, $ID0$ и $CSDI$ (Таб. 7). Осим тога, између двије анализиране климатске нормале

3.52 and 4.88 days per decade, respectively), and warm indices based on fixed threshold values of temperature $SU25$ and $SU30$ showed positive trends (increase by 7.20 and 2.17 days per decade, respectively). The trend in the occurrence of tropical days, which until 1990 occurred only a few times during the year, is especially pronounced. In the period after 1990, their frequency has almost quadrupled. Tropical nights occur extremely rarely in the Sokolac area, so the existence of a trend in the time series has not been established. In fact, their appearance has only been recorded in recent years with the increasing warming. Until the start of the 21st century, no occurrence of tropical nights was recorded over this area. Only in 2000, 2003 and 2007 one tropical night occurred each year during the extremely strong heat waves that affected the area of Bosnia and Herzegovina, region and Europe during those periods. The results show that heat waves are becoming more frequent in the analyzed area ($WSDI$ increased according to the trend line by as much as 7.35 days per decade), but also in other parts of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina (Gnjato et al., 2021; Попов, 2020; Попов et al., 2017a, 2018a, 2019), and in the region and in Europe in general (Domínguez-Castro et al., 2020; Пења-Angulo et al., 2020). Particularly strong heat waves over this section of the European continent were recorded in: 1994, 2003, 2007, 2013, 2015 and 2018 (Bastos et al., 2020; Lhotka & Kyselý, 2015; Spensberger et al., 2020). Projections show that their increasing tendency will be even more pronounced by the end of the 21st century (De Luca & Donat, 2023; Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020; Tripathy et al., 2023; Fischer et al., 2021).

Average values (on an annual level) of warm extreme temperatures indices, such as: TXx , TNn , TXn , TNx , $TX90p$, $TN90p$, $TR20$, $SU25$, $SU30$ and $WSDI$, in accordance with the established warming trend, increased during the last climate normal (1991–2020) in relation to the previous one (1961–1990), whereas the average annual values of cold extreme temperatures indices, such as for example: $TX10p$, $TN10p$, $FD0$, $ID0$ and $CSDI$, decreased (Tab. 7). In addition, between the two analyzed climate normals, the

статистички значајно (осим у случају TR20 и CSDI из већ наведених разлога) промијенила се и дистрибуција вриједности топлих и хладних индекса – топлих према вишим вриједностима, а хладних према нижим вриједностима индекса (Таб. 7).

distribution of warm and cold indices' values has changed statistically significantly (except in the case of TR20 and CSDI for reasons already mentioned) – distribution of warm indices to higher values, and distribution of cold indices to lower index values (Tab. 7).

Таб. 7. Разлика у просјечним вриједностима индекса екстремних температура у Сокоцу у периоду 1991–2020. у поређењу са периодом 1961–1990. године
 Tab. 7. The difference in the average values of extreme temperatures indices in Sokolac in the 1991–2020 periods in relation to the 1961–1990 periods

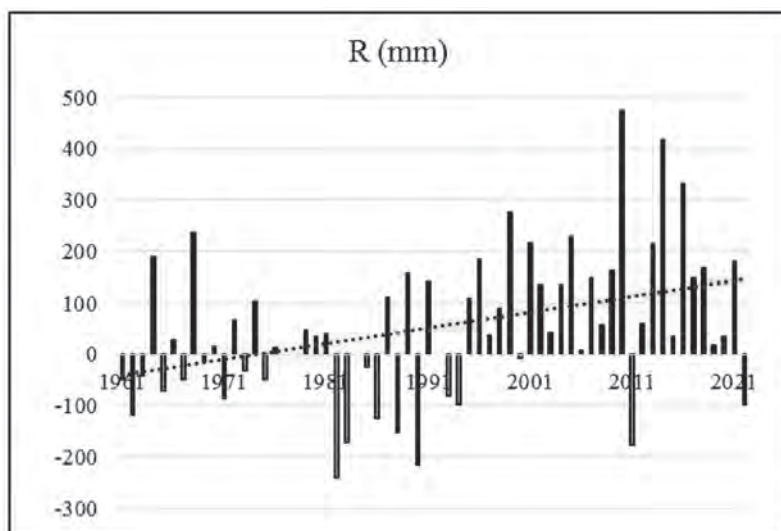
Индекс / Index	TXx	TNn	TNx	TXn
Просјек / Average				
1961–1990	31.5	-25.6	14.9	-10.7
1991–2020	33.0	-22.9	16.9	-8.3
Разлика / Difference				
°C	1.5	2.8	2.0	2.4
%	4.7	10.8	13.7	22.4
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test				
D	0.361	0.374	0.598	0.361
p-вриједност / p-value	0.052	0.040	<0.0001	0.052
Индекс / Index	TX10p	TN10p	TX90p	TN90p
Просјек / Average				
1961–1990	38.6	37.1	38.8	38.1
1991–2020	24.0	23.4	76.5	66.5
Разлика / Difference				
дани / days	-14.5	-13.7	37.7	28.4
%	-37.7	-37.0	97.2	74.4
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test				
D	0.613	0.579	0.756	0.722
p-вриједност / p-value	<0.0001	0.000	<0.0001	<0.0001
Индекс / Index	TR20	SU25	SU30	FD0
Просјек / Average				
1961–1990	0.0	31.3	3.4	155.1
1991–2020	0.1	52.9	11.5	141.9
Разлика / Difference				
дани / days	0.1	21.6	8.1	-13.3
%	0.0	69.0	237.0	-8.5
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test				
D	0.103	0.637	0.539	0.425
p-вриједност / p-value	0.998	<0.0001	0.001	0.013
Индекс / Index	ID0	WSDI	CSDI	GSL
Просјек / Average				
1961–1990	41.1	4.4	1.3	218.9
1991–2020	28.3	26.4	0.8	229.2
Разлика / Difference				
дани / days	-12.9	22.1	-0.5	10.4
%	-31.3	505.2	-36.2	4.7
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test				
D	0.470	0.754	0.111	0.401
p-вриједност / p-value	0.004	<0.0001	0.995	0.022

У анализираном периоду 1961–2022. године у Сокоцу су количине падавина порасле током цијеле године (Таб. 8 и Сл. 4). У свим сезонама забиљежени су позитивни трендови који су се кретали у распону од 2.54 % по деценији у сезони јесен до 4.06 % по деценији у сезони прољеће (једини статистички значајан пораст). На годишњем нивоу падавине су значајно порасле за 28.70 mm или 3.34 % по деценији. Иако се у већини подручја на сјеверу Републике Српске (Босне и Херцеговине) и на југу, у Херцеговини, количина падавина смањује у сезони љето (Попов, 2020), у Сокоцу је и у овој сезони присутан тренд пораста количине падавина.

During the analyzed 1961–2022 periods in Sokolac precipitation increased throughout the year (Tab. 8 and Fig. 4). The positive trends were recorded for all seasons, ranging from 2.54 % during the autumn season to 4.06 % per decade during the spring season (the only statistically significant increase). At the annual level, precipitation increased significantly by 28.70 mm or 3.34 % per decade. Although in most areas over the northern part of Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina) and in the south, in Herzegovina, the amount of precipitation is decreasing during the summer season (Попов, 2020), in Sokolac there is also an increasing trend of precipitation during this season.

Таб. 8. Просјечне вриједности и декадни трендови падавина (на годишњем и сезонском нивоу) у Сокоцу у периоду 1961–2022. године
Tab. 8. Average values and decadal trends in precipitation (on an annual and seasonal levels) in Sokolac in the 1961–2022 periods

Параметар / Parametre	Година / Year	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Зима / Winter
Просјек / Average	860.6	207.1	237.4	234.7	181.7
Нагиб тренда / Slope (mm)	28.70	8.40	8.00	5.96	5.00
Нагиб тренда / Slope (%)	3.34	4.06	3.37	2.54	2.75
p-вриједност / p-value	0.004	0.037	0.198	0.308	0.390



Сл. 4. Одступања годишњих падавина у Сокоцу од њиховог просјека у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2022. године (испрекидана линија приказује линеарни тренд)

Fig. 4. Deviations of annual precipitation in Sokolac from their average in the standard climatological 1961–1990 periods in the 1961–2022 periods (dashed line shows a linear trend)

Просјечне падавине, на годишњем и сезонском нивоу, порасле су у периоду 1991–2020. у односу на референтни период 1961–1990.

Average precipitation, on an annual and seasonal levels, increased in the 1991–2020 period in comparison to the reference 1961–1990 peri-

године у распону од 9.6 % у сезони љето до 20.2 % у сезони прољеће (Таб. 9). Резултати Колмогоров-Смирновог теста показали су да се дистрибуција годишњих падавина између посљедње двије климатске нормале статистички значајно промијенила – помјерена према већој количини падавина у периоду 1991–2020. године. Од сезонских падавина, значајно помјерање дистрибуције у истом правцу утврђено је само у сезони прољеће.

ods – in the range from 9.6 % during the summer season to 20.2 % during the spring season (Tab. 9). The results of the Kolmogorov-Smirnov test confirm that the distribution of annual precipitation between the last two climate normals changed statistically significant – shifted towards more rainfall in the 1991–2020 periods. Of the seasonal precipitation, a significant shift in distribution in the same manner was found only for the spring season.

Таб. 9. Разлика у просјечним вриједностима падавина (на годишњем и сезонском нивоу) у Сокоцу у периоду 1991–2020. у поређењу са периодом 1961–1990. године
 Tab. 9. The difference in the average values of precipitation (on an annual and seasonal levels) in Sokolac in the 1991–2020 periods in relation to the 1961–1990 periods

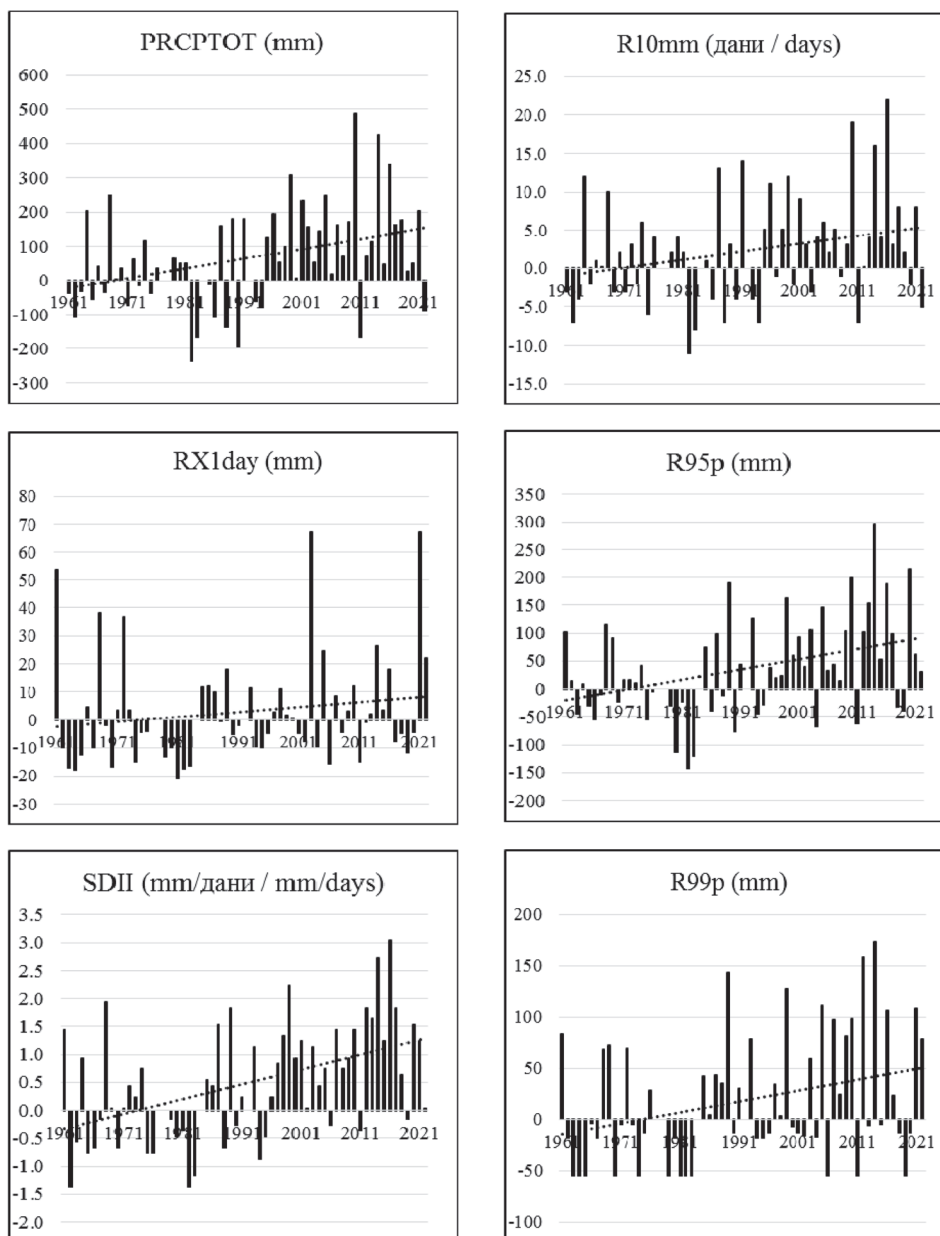
R	Година / Year	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Зима / Winter
Просјек / Average					
1961–1990	802.7	190.1	226.8	215.1	171.0
1991–2020	919.7	228.6	248.6	253.0	193.6
Разлика / Difference					
mm	117.0	38.4	21.7	37.9	22.6
%	14.6	20.2	9.6	17.6	13.2
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test					
D	0.400	0.367	0.267	0.267	0.233
p-вриједност / p-value	0.016	0.035	0.236	0.236	0.388

Трендови индекса екстремних падавина у Сокоцу у анализираном периоду 1961–2022. године показују да је присутан тренд пораста интензивних падавина, (иако нису промјене свих индекса још статистички значајне) (Таб. 10 и Сл. 5). На то указују значајни позитивни трендови падавина на веома влажне и екстремно влажне дане (пораст за 18.7 mm и 9.3 mm по деценији, редом), значајни позитивни трендови броја дана са пљусковитим падавинама (R10mm 1.0 дан по деценији и R20mm 0.5 дана по деценији), те значајни позитивни тренд SDII (0.3 mm/дан по деценији). Наведено потврђује и анализа просјечних вриједности индекса у Сокоцу у периоду 1991–2020. у односу на референтни период 1961–1990. године, као и помјерања у дистрибуцији између двије климатске нормале доказана Колмогоров-Смирновим тестом (значајна на нивоу $p < 0.05$ у случају PRCPTOT, SDII и R95p, те на нивоу $p < 0.10$ у случају RX1day, R20mm и R99p) (Таб. 11).

Trends in the extreme precipitation indices in Sokolac during the investigated 1961–2022 periods show that there is an upward trend of intense precipitation (although not the changes in all of the indices were yet statistically significant) (Tab. 10 and Fig. 5). This is indicated by the significant positive trends in precipitation on very wet and extremely wet days (increase by 18.7 mm and 9.3 mm per decade, respectively), significant positive trends in the number of days with downpours (R10mm 1.0 day per decade and R20mm 0.5 days per decade), and a significant upward trend of SDII (0.3 mm/day per decade). This is confirmed by the analysis of the indices' averages in Sokolac in the 1991–2020 periods in comparison to the reference period (1961–1990), and by the analysis of shifts in the distribution between the two climate normals, which were determined by the Kolmogorov-Smirnov test (significant shifts at the $p < 0.05$ level were found in the case of PRCPTOT, SDII and R95p, and at the $p < 0.10$ level in the case of RX1day, R20mm and R99p) (Tab. 11).

Таб. 10. Декадни трендови индекса екстремних падавина у Сокоцу у периоду 1961–2022. године
 Tab. 10. Decadal trends in extreme precipitation indices in Sokolac in the 1961–2022 periods

Индекс / Index	PRCPTOT	RX1day	RX5day	SDII	R10mm
Нагиб тренда / Slope	32.8	2.0	2.3	0.3	1.0
p-вриједност / p-value	0.004	0.073	0.123	0.000	0.040
Индекс / Index	R20mm	R95p	R99p	CWD	CDD
Нагиб тренда / Slope	0.5	18.7	9.3	0.0	0.5
p-вриједност / p-value	0.078	0.005	0.017	0.912	0.264



Сл. 5. Одступања одабраних индекса екстремних падавина у Сокоцу од њиховог просјека у стандардном климатолошком периоду 1961–1990. године у периоду 1961–2022. године (испрекидана линија приказује линеарни тренд)

Fig. 5. Deviations of selected extreme precipitation indices in Sokolac from their average values in the standard climatological 1961–1990 periods in the 1961–2022 periods (dashed line shows a linear trend)

Таб. 11. Разлика у просјечним вриједностима индекса екстремних падавина у Сокоцу у периоду 1991–2020. у поређењу са периодом 1961–1990. године
 Tab. 11. The difference in the average values of extreme precipitation indices in Sokolac in the 1991–2020 periods in relation to the 1961–1990 periods

Индекс / Index	PRCPTOT	RX1day	RX5day	SDII	R10mm
Просјек / Average					
1961–1990	774.4	46.9	72.4	7.2	25.0
1991–2020	905.0	49.7	81.3	8.1	29.5
Разлика / Difference					
–	130.7	2.8	8.9	0.9	4.5
%	16.9	6.0	12.3	13.2	18.1
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test					
D	0.470	0.341	0.213	0.467	0.324
p-вриједност / p-value	0.004	0.077	0.548	0.004	0.105
Индекс / Index	R20mm	R95p	R99p	CWD	CDD
Просјек / Average					
1961–1990	6.9	172.3	55.0	6.6	23.5
1991–2020	9.2	244.0	86.0	6.7	21.8
Разлика / Difference					
–	2.3	71.7	31.1	0.1	-1.7
%	33.9	41.6	56.5	1.4	-7.2
Колмогоров-Смирнов тест / Kolmogorov-Smirnov test					
D	0.335	0.499	0.341	0.073	0.171
p-вриједност / p-value	0.087	0.002	0.077	1.000	0.807

Утврђени температурни и падавински трендови снажно су повезани са одређеним обрасцима циркулација великих размјера (телеконекцијама) присутним на сјеверној хемисфери. Источноатлантски образац показује снажну и значајну позитивну корелацију са температуром (средњом, максималном, минималном и топлим температурним индексима) и негативну са хладним температурним индексима на цијелој територији Републике Српске (Босне и Херцеговине) током цијеле године (Popov et al., 2018a; Trbić et al., 2017). Значајна негативна корелација између Сјеверноатлантске осцилације и температуре (T_a , T_{max} и T_{min}) присутна је у сезони љето. На обрасце промјена у сезони прољеће значајно утиче и Арктичка осцилација – индекс Арктичке осцилације показује позитивну коре-

Determined temperature and precipitation trends are strongly associated with certain large-scale circulation patterns (teleconnections) present over the Northern Hemisphere. The East Atlantic pattern showed a strong and significant positive correlation with temperature (mean, maximum, minimum and warm temperature indices) and a negative one with the cold temperature indices over the entire territory of the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina) throughout the year (Popov et al., 2018a; Trbić et al., 2017). A significant negative correlation between the North Atlantic Oscillation and temperature (mean, maximum, minimum) is present during the summer season. The patterns of changes during the spring season are also significantly influenced by the Arctic Oscillation – the Arctic Oscillation index displays a positive

лацију са температуром и топлим индексима температура, те негативну са хладним индексима температура (Popov et al., 2018a; Trbić et al., 2017). Статистички значајна негативна корелација са Арктичком осцилацијом, Сјеверноатлантском осцилацијом и Источноатлантским/западноруским обрасцем постоји за већину индекса екстремних падавина у Босни и Херцеговини, а посебно је јака током сезоне зима (Popov et al., 2017b).

ЗАКЉУЧАК

На подручју Сокоца присутни су значајни трендови загријавања. То је потврдила анализа како средњих и екстремних температура, тако и индекса екстремних температура који се данас користе широм свијета за детерминисање климатских промјена. Наведени тренд загријавања присутан је на подручју цијеле Републике Српске (Босне и Херцеговине). Ипак, постоје разлике у интензитету загријавања у поједним дијеловима територије. Док је у перипанонском региону и субмедитеранском региону Херцеговине највећи пораст максималних и минималних температура ваздуха забиљежен у сезони љето, у брдско-планинском подручју Сокоца температуре су највише порасле у сезони зима. Такође, постоје разлике у обрасцима промјена падавина. Најизраженија је свакако позитиван тренд падавина у Сокоцу у сезони љето, јер у већини подручја на сјеверу, а поготово у Херцеговини, количине падавина опадају у овој сезони. Осим пораста укупне количине падавина, на годишњем нивоу и у свим сезонама, на простору Сокоца присутни су и значајни позитивни трендови индекса екстремних падавина.

С обзиром на то да глобалне пројекције указују на још интензивније промјене климатских услова до краја вијека, потребно је будућа истраживања усмјерити на детаљније анализе пројекција промјена на овом подручју, као и на анализу утицаја промијењених климатских услова на природне (водне ресурсе, сњежни покривач, биодиверзитет, хазарде и др.) и социоекономске системе.

correlation with temperature and warm temperature indices, and a negative one with the cold temperature indices (Popov et al., 2018a; Trbić et al., 2017). A statistically significant negative correlation with the Arctic Oscillation, the North Atlantic Oscillation and the East Atlantic/West Russian pattern exists for most of the extreme precipitation indices in Bosnia and Herzegovina, especially strong during the winter season (Popov et al., 2017b).

CONCLUSION

The significant warming trends are present in the Sokolac region. This tendency was confirmed by the analysis of both mean and extreme temperatures, but also of extreme temperature indices that are used worldwide today to determine changes in climate. The aforementioned warming trend is present over the entire territory of the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). However, there are differences in the intensity of warming in certain parts of the territory. While in the Peripannonian regions and sub-Mediterranean region of Herzegovina the highest increase in maximum and minimum air temperatures was present during the summer season, over the hilly and mountainous areas of Sokolac the temperatures increased the most during the winter season. Also, there are differences in the patterns of precipitation changes. The most prominent difference is certainly the positive trend of precipitation in Sokolac during the summer season, because in most areas in the north, and especially in Herzegovina, precipitation decreases during this season. In addition to the increase in the total amount of precipitation, on an annual level and in all seasons, there are also significant positive trends in the extreme precipitation indices in the Sokolac region.

Given that global projections indicate even more intense changes in climate conditions by the end of the century, it is required to focus future researches on more detailed analyzes of projections of changes in this area, as well as on the investigations of the impact of changed climate conditions on natural (water resources, snow cover, biodiversity, hazards, etc.) and socioe-

Даља истраживања климатских промјена у брдским и планинским подручјима Републике Српске и Босне и Херцеговине су неопходна, јер су досад била веома оскудна, с обзиром на веома мали број метеоролошких станица у овој зони.

Further research into climate change in the hilly and mountainous areas of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina is necessary, because so far they have been very scarce, given the very small number of meteorological stations in this zone.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Alexander, L. V. (2016). Global Observed Long-Term Changes in Temperature and Precipitation Extremes: A Review of Progress and Limitations in IPCC Assessments and Beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>
- Amendola, S., Maimone, F., Pelino, V., & Pasini, A. (2019). New Records of Monthly Temperature Extremes as a Signal of Climate Change in Italy. *International Journal of Climatology*, 39(4), 2491–2503. <https://doi.org/10.1002/joc.5952>
- Bastos, A., Fu, Z., Ciais, P., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Weber, U., Reichstein, M., Anthoni, P., Arneeth, A., Haverd, V., Jain, A., Joetzer, E., Knauer, J., Lienert, S., Loughran, T., McGuire, P. C., Obermeier, W., Padrón, R. S., ... Zaehle, S. (2020). Impacts of Extreme Summers on European Ecosystems: A Comparative Analysis of 2003, 2010 and 2018. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1810), Article 20190507. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0507>
- Begert, M., & Frei, C. (2018). Long-Term Area-Mean Temperature Series for Switzerland – Combining Homogenized Station Data and High Resolution Grid Data. *International Journal of Climatology*, 38(6), 2792–2807. <https://doi.org/10.1002/joc.5460>
- Bieli, M., Pfahl, S., & Wernli, H. (2015). A Lagrangian Investigation of Hot and Cold Temperature Extremes in Europe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(686), 98–108. <https://doi.org/10.1002/qj.2339>
- Bonacci, O., Bonacci, D., & Roje-Bonacci, T. (2021). Different Air Temperature Changes in Continental and Mediterranean Regions: A Case Study from Two Croatian Stations. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 1333–1346. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03702-0>
- Burić, D., & Doderović, M. (2021). Changes in Temperature and Precipitation in the Instrumental Period (1951–2018) and Projections up to 2100 in Podgorica (Montenegro). *International Journal of Climatology*, 41(S1), E133–E149. <https://doi.org/10.1002/joc.6671>
- Burić, D., Ducić, V., Mihajlović, J., Luković, J., & Dragojlović, J. (2015). Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 95(4), 53–66.
- Burić, D., Luković, J., Ducić, V., Dragojlović, J., & Doderović, M. (2014). Recent Trends in Daily Temperature Extremes over Southern Montenegro (1951–2010). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(1), 67–72. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-67-2014>
- Vincent, L. A., Zhang, X., Mekis, É., Wan, H., & Bush, E. J. (2018). Changes in Canada's Climate: Trends in Indices Based on Daily Temperature and Precipitation Data. *Atmosphere-Ocean*, 56(5), 332–349. <https://doi.org/10.1080/07055900.2018.1514579>
- Gallant, A. J. E., Karoly, D. J., & Gleason, K. L. (2014). Consistent Trends in a Modified Climate Extremes Index in the United States, Europe, and Australia. *Journal of Climate*, 27(4), 1379–1394. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00783.1>
- 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. <https://doi.org/10.2298/GSG-D2102001G>
- Gu, G., & Adler, R. F. (2023). Observed Variability and Trends in Global Precipitation During 1979–2020. *Climate Dynamics*, 61(1), 131–150. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06567-9>
- DeLuca, P., & Donat, M. G. (2023). Projected Changes in Hot, Dry, and Compound Hot-Dry Extremes over Global Land Regions. *Geophysical Research Letters*, 50, Article e2022GL102493. <https://doi.org/10.1029/2022GL102493>
- Doderović, M., Burić, D., Ducić, V., & Mijanović, I. (2020). Recent and Future Air Temperature and Precipitation changes in the Mountainous North of Montenegro. *Journal of the Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA*, 70(3), 189–201. <https://doi.org/10.2298/IJGI2003189D>
- Domínguez-Castro, F., Reig, F., Vicente-Serrano, S. M., Aguilar, E., Peña-Angulo, D., Noguera, I., Revuelto, J., van der Schrier, G., & El Kenawy, A. M. (2020). A Multidecadal Assessment of Climate Indices over Europe. *Scientific Data*, 7, Article 125. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0464-0>
- Du, H., Donat, M. G., Zong, S., Alexander, L. V., Manzanar, R., Kruger, A., Choi, G., Salinger, J., He, H. S., Li, M., Fujibe, F., Nandintsetseg, B., Rehman, S., Abbas, F., Rusticucci, M., Srivastava, A., Zhai, P., Lippmann, T., Yabi, I., ... Wu, Z. (2022). Extreme Precipitation on Consecutive Days Occurs More Often in a Warming Climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(4), E1130–E1145. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0140.1>
- Dunn, R. J. H., & Morice, C. P. (2022). On the Effect of Reference Periods on Trends in Percentile-Based Extreme Temperature Indices. *Environmental Research Letters*, 17, Article 034026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac52c8>
- Dunn, R. J. H., Alexander, L. V., Donat, M. G., Zhang, X., Bador, M., Herold, N., Lippmann, T., Allan, R., Aguilar, E., Barry, A. A., Brunet, M., Caesar, J., Chagnaud, G., Cheng, V., Cinco, T., Durre, I., de Guzman, R., Mar Htay, T., Ibadullah, W. M. W., ... Yussof, M. N. A. B. H. (2020). Development of an Updated Global Land in Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), Article e2019JD032263. <https://doi.org/10.1029/2019JD032263>
- Zeder, J., & Fischer, E. M. (2020). Observed Extreme Precipitation Trends and Scaling in Central Europe. *Weather and Climate Extremes*, 29, Article 100266. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100266>
- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., Howari, F., Jrrar, A., Kaskaoutis, D. G., Kulmala, M., Lazoglou, G., Mihalopoulos, N., Lin, X., Rudich, Y., Sciare, J., Stenchikov, G., Xoplaki, E., & Lelieveld, J. (2022). Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60(3), Article e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). *RCLimDex (1.0) User Manual*. Climate Research Branch Environment Canada.
- Zheng, G., Lia, Y., Chen, Q., Zhou, X., Gaod, G., Li, M., & Duan, T. (2022). The Increasing Predominance of Extreme Precipitation in Southwest China Since the Late 1970s. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 15(5), Article 100227. <https://doi.org/10.1016/j.aosl.2022.100227>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Kelebek, M. B., Batibeniz, F., & Öno, B. (2021). Exposure Assessment of Climate Extremes over the Europe–Mediterranean Region. *Atmosphere*, 12, Article 633. <https://doi.org/10.3390/atmos12050633>
- Kömüscü, A. Ü., & Aksoy, M. (2023). Long-Term Spatio-Temporal Trends and Periodicities in Monthly and Seasonal Precipitation in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*,

- 151(3), 1623–1649. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04349-1>
- Kosanac, A., Kavcic, I., van Kleunen, M., & Harrison, S. (2019). Climate Change and Climate Change Velocity Analysis Across Germany. *Scientific Reports*, 9, Article 2196. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38720-6>
- Kpanou, M., Laux, P., Brou, T., Vissin, E., Camberlin, P., & Roucou, P. (2021). Spatial Patterns and Trends of Extreme Rainfall over the Southern Coastal Belt of West Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 473–487. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03441-8>
- Kumar, N., Kumar Goyal, M., Kumar Gupta, A., Jha, S., Das, J., & Madramootoo, C. A. (2021). Joint Behaviour of Climate Extremes Across India: Past and Future. *Journal of Hydrology*, 597, Article 126185. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126185>
- Lakatos, M., Szentes, O., Cindrić Kalin, K., Nimac, I., Kozjek, K., Cheval, S., Dumitrescu, A., Iras, A., Stepanek, P., Farda, A., Kajaba, P., Mikulová, K., Mihic D., Petrovic, P., Chmani, B., & Pritchard, D. (2021). Analysis of Sub-Daily Precipitation for the PannEx Region. *Atmosphere*, 12, Article 838. <https://doi.org/10.3390/atmos12070838>
- Li, C., Zwiers, F., Zhang, X., Chen, G., Lu, J., Li, G., Norris, J., Tan, Y., Sun, Y., & Liu, M. (2019). Larger Increases in More Extreme Local Precipitation Events as Climate Warms. *Geophysical Research Letters*, 46(1228), 6885–6891. <https://doi.org/10.1029/2019GL082908>
- Lo, T. T., & Hsu, H. H. (2010). Change in the Dominant Decadal Patterns and the Late 1980s Abrupt Warming in the Extratropical Northern Hemisphere. *Atmospheric Science Letters*, 11(3), 210–215. <https://doi.org/10.1002/asl.275>
- Luppichini, M., Bini, M., Barsanti, M., Giannicchi, R., & Zanchetta, G. (2022). Seasonal Rainfall Trends of a Key Mediterranean Area in Relation to Large-Scale Atmospheric Circulation: How Does Current Global Change Affect the Rainfall Regime? *Journal of Hydrology*, 612, Article 128233. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128233>
- Lhotka, O., & Kyselý, J. (2015). Hot Central-European Summer of 2013 in a Long-Term Context. *International Journal of Climatology*, 35(14), 4399–4407. <https://doi.org/10.1002/joc.4277>
- Malinovic-Milicevic, S., Radovanovic, M. M., Stanojevic, G., & Milovanovic, B. (2016). Recent Changes in Serbian Climate Extreme Indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3), 1089–1098. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1491-1>
- Mateus, C., & Potito, A. (2022). Long-Term Trends in Daily Extreme Air Temperature Indices in Ireland from 1885 to 2018. *Weather and Climate Extremes*, 36, Article 100464. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100464>
- Milošević, D., Stojsavljević, R., Szabó, S., Stanek, U., Savić, S., & Mitrović, L. (2021). Spatio-Temporal Variability of Precipitation over the Western Balkan Countries and Its Links with the Atmospheric Circulation Patterns. *Journal of the Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA*, 71(1), 29–42. <https://doi.org/10.2298/IJGI2101029M>
- Mullick, R. A., Nur, R. M., Alam, J., & Ashraf Islam, K. M. (2019). Observed Trends in Temperature and Rainfall in Bangladesh Using Pre-Whitening Approach. *Global and Planetary Change*, 172, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.10.001>
- Nimac, I., Herceg-Bulić, I., Cindrić Kalin, K., & Perčec Tadić, M. (2021). Changes in Extreme Air Temperatures in the Mid-Sized European City Situated on Southern Base of a Mountain (Zagreb, Croatia). *Theoretical and Applied Climatology*, 146(1), 429–441. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03689-8>
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2023). *Monthly Global Climate Report for Annual 2022*. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213>
- Overpeck, J. T., & Udall, B. (2020). Climate Change and the Aridification of North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(22), 11856–11858. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006323117>

- Ogrin, M., Ogrin, D., Milošević, D., Pantelić, M., Dolinaj, D., Trobec, T., Glojek, K., & Savić, S. (2022). Changes in Daily Air Temperatures and Precipitation Across the Sava River Basin and Their Correlation with Large-Scale Atmospheric Circulations. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(3), 1675–1687. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04024-5>
- Opština Sokolac & Regionalni centar za okoliš za BiH. (2011). *Lokalni ekološki akcioni plan Opštine Sokolac*. Opština Sokolac.
- Peña-Angulo, D., Reig-Gracia, F., Domínguez-Castro, F., Revuelto, J., Aguilar, E., van der Schrier, G., & Vicente-Serrano, S. M. (2020). ECTACI: European Climatology and Trend Atlas of Climate Indices (1979–2017). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), Article e2020JD032798. <https://doi.org/10.1029/2020JD032798>
- Perkins-Kirkpatrick, S. E., & Lewis, S. C. (2020). Increasing Trends in Regional Heatwaves. *Nature Communications*, 11, Article 3357. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16970-7>
- Попов, Т. (2020). Утицај савремених климатских промјена на фитогеографска обиљежја Републике Српске. Географско друштво Републике Српске.
- 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. <https://doi.org/10.7251/HER2218079P>
- Popov, T., Gnjato, S., Trbić, G., & Ivanišević, M. (2017b). 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. <https://doi.org/10.5937/zrgfub1765005P>
- Popov, T., Gnjato, S., Trbić, G., & Ivanišević, M. (2018a). Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(1), 211–224. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/019>
- Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. (2018b). Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Időjárás*, 122(4), 433–452. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2018.4.5>
- Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. (2019). Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Geografije*, 124(1), 19–40. <https://doi.org/10.37040/geografije2019124010019>
- Portela, M. M., Espinosa, L. A., & Zelenakova, M. (2020). Long-Term Rainfall Trends and Their Variability in Mainland Portugal in the Last 106 Years. *Climate*, 8, Article 146. <https://doi.org/10.3390/cli8120146>
- Ribes, A., Boé, J., Qasmi, S., Dubuisson, B., Douville, H., & Terray, L. (2022). An Updated Assessment of Past and Future Warming over France Based on a Regional Observational Constraint. *Earth System Dynamics*, 13(4), 1397–1415. <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022>
- Salameh, A. A. M., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., Abu Hammad, A., & Esteban-Parra, M. J. (2019). Spatio-Temporal Analysis for Extreme Temperature Indices over the Levant Region. *International Journal of Climatology*, 39(15), 5556–5582. <https://doi.org/10.1002/joc.6171>
- Salnikov, V., Talanov, Y., Polyakova, S., Assylbekova, A., Kauazov, A., Bultekov, N., Musralinova, G., Kissebayev, D., & Beldeubayev, Y. (2023). An Assessment of the Present Trends in Temperature and Precipitation Extremes in Kazakhstan. *Climate*, 11(2), Article 33. <https://doi.org/10.3390/cli11020033>
- Sarkar, S., & Maity, R. (2021). Global Climate Shift in 1970s Causes a Significant Worldwide Increase in Precipitation Extremes. *Scientific Reports*, 11, Article 11574. <https://doi.org/10.1038/s41598>
- Senent-Aparicio, J., López-Ballesteros, A., Jimeno-Sáez, P., & Pérez-Sánchez, J. (2023). Recent Precipitation Trends in Peninsular Spain and Implications for Water Infrastructure Design. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, Article 101308. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101308>
- Spensberger, C., Madonna, E., Boettcher, M., Grams, C. M., Papritz, L., Quinting, J. F., Röthlisberger, M., Sprenger, M., & Zschen-derlein, P. (2020). Dynamics of Concurrent

- and Sequential Central European and Scandinavian Heatwaves. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(732), 2998–3013. <https://doi.org/10.1002/qj.3822>
- Stanley, K., Leps, N., Hänsel, S., Klippel, L., Imbery, F., & Walter, A. (2023). Recent Hot and Dry Summers in Germany in Comparison to Climate Projections. *Meteorologische Zeitschrift*, 32(2), 113–142. <https://doi.org/10.1127/metz/2022/1152>
- Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V. (2021). A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation. *Journal of Climate*, 34(1), 243–258. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0892.1>
- Shen, B., Song, S., Zhang, L., Wang, Z., Ren, C., & Li, Y. (2022). Temperature Trends in Some Major Countries from the 1980s to 2019. *Journal of Geographical Sciences*, 32(1), 79–100. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1937-1>
- Todaro, V., D’Oria, M., Secci, D., Zanini, A., & Tanda, M. G. (2022). Climate Change over the Mediterranean Region: Local Temperature and Precipitation Variations at Five Pilot Sites. *Water*, 14, Article 2499. <https://doi.org/10.3390/w14162499>
- Tošić, I., Tošić, M., Lazić, I., Aleksandrov, N., Putniković, S., & Djurdjević, V. (2023). Spatio-Temporal Changes in the Mean and Extreme Temperature Indices for Serbia. *International Journal of Climatology*, 43(5), 2391–2410. <https://doi.org/10.1002/joc.7981>
- Tošić, I., Zorn, M., Ortar, J., Unkašević, M., Gavrilov, M. B., & Marković, S. B. (2016). Annual and Seasonal Variability of Precipitation and Temperatures in Slovenia from 1961 to 2011. *Atmospheric Research*, 168, 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.09.014>
- Trbić, G., Popov, T., & Gnjato, 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>
- Tripathy, K. P., Mukherjee, S., Mishra, A. K., & Williams, A. P. (2023). Climate Change Will Accelerate the High-End Risk of Compound Drought and Heatwave Events. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(28), Article e2219825120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2219825120>
- Twardosz, R., Walanus, A., & Guzik, I. (2021). Warming in Europe: Recent Trends in Annual and Seasonal Temperatures. *Pure and Applied Geophysics*, 178(10), 4021–4032. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02860-6>
- Fan, Y., Li, J., Zhu, S., Li, H., & Zhou, B. (2022). Trends and Variabilities of Precipitation and Temperature Extremes over Southeast Asia During 1981–2017. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(4), Article 78. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00913-6>
- Fan, L. J., Yan, Z. W., Chen, D., & Li, Z. (2023). Assessment of Total and Extreme Precipitation over Central Asia Via Statistical Downscaling: Added Value and Multi-Model Ensemble Projection. *Advances in Climate Change Research*, 14(1), 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2023.01.004>
- Finkel, J. M., & Katz, J. I. (2017). Changing US Extreme Temperature Statistics. *International Journal of Climatology*, 37(13), 4749–4755. <https://doi.org/10.1002/joc.5115>
- Fischer, E. M., Sippel, S., & Knutti, R. (2021). Increasing Probability of Record-Shattering Climate Extremes. *Nature Climate Change*, 11(8), 689–695. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9>
- Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N., Palmer, M. D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Seneviratne, S. I., Trewin, B., Zhang, X., Allen, M., Andrew, R., Birt, A., Borger, A., ... Zhai, P. (2023). Indicators of Global Climate Change 2022: Annual Update of Large-Scale Indicators of the State of the Climate System and Human Influence. *Earth System Science Data*, 15(6), 2295–2327. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023>
- Hänsel, S., Hoy, A., Brendel, C., & Maugeri, M. (2022). Record Summers in Europe: Variations in Drought and Heavy Precipitation During 1901–2018. *International Journal*

- of Climatology*, 42(12), 6235–6257. <https://doi.org/10.1002/joc.7587>
- Harp, R. D., & Horton, D. E. (2022). Observed Changes in Daily Precipitation Intensity in the United States. *Geophysical Research Letters*, 49(19), Article e2022GL099955. <https://doi.org/10.1029/2022GL099955>
- Hu, Z., Zhang, C., Hu, Q., & Tian, H. (2014). Temperature Changes in Central Asia from 1979 to 2011 Based on Multiple Datasets. *Journal of Climate*, 27(3), 1143–1167. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-13-00064.1>
- Ciftci, N. D., & Sahin, A. D. (2023). Temperature and Precipitation Extremes' Variability in Turkey. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 135(4), 1436–5065. <https://doi.org/10.1007/s00703-023-00976-z>
- Collazo, S., Barrucand, M., & Rusticucci, M. (2022). Evaluation of CMIP6 Models in the Representation of Observed Extreme Temperature Indices Trends in South America. *Climatic Change*, 172, Article 21. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03376-1>
- Wang, J., Xu, C., Hu, M., Li, Q., Yan, Z., & Jones, P. (2018). Global Land Surface Air Temperature Dynamics Since 1880. *International Journal of Climatology*, 38(S1), e466–e474. <https://doi.org/10.1002/joc.5384>

Примљено / Received: 26. 05. 2023.

Исправљено / Revised: 30. 06. 2023.

Прихваћено / Accepted: 05. 07. 2023.