

## АНАЛИЗА ПРОМЈЕНА ЕКСТРЕМНИХ КЛИМАТСКИХ ИНДЕКСА У МОСТАРУ

Татјана Попов<sup>1\*</sup>, Слободан Гњато<sup>1</sup> и Горан Трбић<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска

**Сажетак:** Рад анализира промјене екстремних климатских индекса у Мостару (Босна и Херцеговина) у периоду 1961–2015. године. Функције густине вјероватноће за 30 индекса екстремних температура и падавина израчунате су за два потпериода: 1961–1990. и 1991–2015. године. Резултати показују да је већина топлих температурних индекса забиљежила значајно помјерање дистрибуције према вишим вриједностима индекса у другом периоду. Мање изражено помјерање према нижим вриједностима индекса утврђено је за хладне температурне индексе. Међутим, оба обрасца промјена указују да је на истраживаном подручју од 1990-их присутан изражен тренд загријавања. Анализе су показале да су најизраженије промјене забиљежене у сезони љето. Дистрибуција индекса екстремних падавина није показала једноставан образац помјерења у расподјели између два наведена периода. Промјене вриједности параметара дистрибуције Генерализованих екстремних вриједности (локацијског параметра, параметра дисперзије и параметра облика) сугеришу да су у посматраном периоду интензитет и варијабилност температура и падавина повећани.

**Кључне ријечи:** екстремни климатски индекси, функција густине вјероватноће, дистрибуција Генерализованих екстремних вриједности (ГЕВ), климатске промјене, Мостар (Босна и Херцеговина).

Original scientific paper

## ANALYSIS OF CHANGES IN EXTREME CLIMATE INDICES IN MOSTAR

Tatjana Popov<sup>1\*</sup>, Slobodan Gnjato<sup>1</sup> and Goran Trbić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska

**Abstract:** The study analyzes changes in extreme climate indices in Mostar (Bosnia and Herzegovina) during the 1961–2015 periods. The probability density functions for 30 extreme temperature and precipitation indices were calculated for the two sub-periods: 1961–1990 and 1991–2015. Given the results, majority of warm temperature indices displayed the significant distributional shifts towards higher index values in latter period. Less prominent shifts towards lower index values were determined for cold temperature indices. However, both patterns of change indicate a prominent warming trend over the study area since the 1990s. Seasonal analysis showed that most pronounced changes were detected during the summer season. The extreme precipitation indices did not exhibit a simple shift in the distribution between the two specified periods. Analysis of the Generalized Extreme Value distribution parameters (location, scale and shape) suggests that temperature and precipitation intensity and variability increased during the observed period.

**Key words:** extreme climate indices, probability density function, Generalized Extreme Value distribution, climate change, Mostar (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

Глобално осматрени тренд загријавања посебно је изражен од 1970-их година (Hartmann et al., 2013; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Истраживањима на глобалном нивоу утврђени су изражени трендови екстремних температура, који су конзистентни са загријавањем климатског система – у највећем дијелу копнених површина свијета забиљежено је смањење хладних температурних индекса и повећање топлих температурних индекса од средине 20. вијека (Alexander et al., 2006; Donat et al., 2013; Hartmann et al., 2013). Функције густине вјероватноће максималних и минималних температура помјериле су се према топлијим температурама готово у цијелом свијету (Donat & Alexander, 2012). У већини региона свијета утврђене су промјене коефицијента асиметрије расподеле према топлијим дијеловима дистрибуције (Donat & Alexander, 2012). Ови трендови такође су потврђени у Европи на континенталном нивоу (Klein Tank & Können, 2003). Истраживања су утврдила да ће регион Медитерана бити једно од примарних жаришта климатских промјена (тј. регион у којем ће климатски систем посебно реаговати на глобалне промјене) (Giorgi, 2006). Значајно повећање топлих температурних индекса и смањење хладних већ је забиљежено широм региона Медитерана (Burić et al., 2015; Espirito Santo et al., 2014; Fernández-Montes & Rodrigo, 2012; Fioravanti et al., 2016; Fonseca et al., 2016; Kioutsioukis et al., 2010). За разлику од конзистентног тренда загријавања који је глобално установљен за екстремне температуре, већина утврђених трендова индекса екстремних падавина (нпр. RX5day, R10mm, R95p и SDII) није била просторно и временски (сезонски) кохерентна (Donat et al., 2013). Ипак, већина ових индекса показала је значајне промјене према интензивнијим падавинама у многим регионима свијета. Слични обрасци промјене екстремних падавина (тј. појава трендова различитог знака) регистровани су и у Европи, у региону Медитерана (de Lima et al., 2015;

## INTRODUCTION

The globally observed warming trend has been particularly marked since the 1970s (Hartmann et al., 2013; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Global scale studies found prominent coherent trends in temperature extremes consistent with the warming of the climate system – a large majority of global land areas had experienced decrease in cold temperature indices and increase in warm temperature indices since the middle of the 20th century (Alexander et al., 2006; Donat et al., 2013; Hartmann et al., 2013). The probability density functions of both maximum and minimum temperatures have shifted towards warmer temperatures almost all over the world (Donat & Alexander, 2012). In most regions of the world, changes in skewness towards the hotter part of the distribution were detected (Donat & Alexander, 2012). These trends were also confirmed in Europe at continental scale (Klein Tank & Können, 2003). Research found that it is the region of the Mediterranean that would be one of the primary hot-spots of climate change (i.e. a region whose climate system will be particularly responsive to global change) (Giorgi, 2006). Significant increase in warm temperature indices and decrease in cold ones was already detected all over the Mediterranean region (Burić et al., 2015; Espirito Santo et al., 2014; Fernández-Montes & Rodrigo, 2012; Fioravanti et al., 2016; Fonseca et al., 2016; Kioutsioukis et al., 2010). In contrast to the consistent warming trends globally reported for the extreme temperature indices, most of the extreme precipitation indices (e.g. RX5day, R10mm, R95p and SDII) displayed changes that were not spatially and temporally (seasonally) coherent (Donat et al., 2013). However, majority of these indices showed significant changes towards more intense precipitation over numerous regions in the world (Donat et al., 2013). Similar patterns of change (i.e. occurrence of trends mixed in sign) in extreme precipitation were found in Europe over the Mediterranean region (de Lima et al., 2015;

Gajić-Čapka et al., 2015; Unkašević & Tošić, 2011).

Ова студија представља наставак истраживања климатских промјена у Босни и Херцеговини, а посебно промјена екстремних климатских услова (Popov et al., 2017a; Popov et al., 2017b; Trbić et al., 2017). Простор Мостара одабран је за анализу због свог положаја у субмедитеранском региону за који су пројектоване најизразитије промјене. Годишња средња, максимална и минимална температура ваздуха на овом подручју показују тренд раста од 1960. године за  $0.31^{\circ}\text{C}$ ,  $0.32^{\circ}\text{C}$  и  $0.28^{\circ}\text{C}$  по деценији, респективно (Popov et al., 2017a; Trbić et al., 2017). Тенденција загријавања присутна је у току цијеле године, али најизраженија је током љета ( $0.52^{\circ}\text{C}$ ,  $0.59^{\circ}\text{C}$  и  $0.46^{\circ}\text{C}$  по деценији) (Popov et al., 2017a; Trbić et al., 2017). Позитивни трендови топлих температурних индекса били су много израженији од опадајућих трендова хладних индекса. Највише вриједности трендова добијене су за топле температурне индексе: TNx ( $0.65^{\circ}\text{C}$  по деценији), TXx ( $0.50^{\circ}\text{C}$  по деценији), TN90p (9.28 дана по деценији), TX90p (8.97 дана по деценији), WSDI (6.73 дана по деценији), TR20 (5.63 дана по деценији) и SU30 (5.20 дана по деценији) (Popov et al., 2017a). Међутим, оба тренда потврђују да је загријавање климе присутно на овом подручју. Супротно температури, већина трендова екстремних падавина није статистички значајна. Трендови пораста индекса интензивних падавина, као што су RX1day, RX5day, SDII, R95p и R99p, указују на промјене ка интензивнијим падавинама; с друге стране, смањен је годишњи број дана са падавинама R1mm, R10mm и R20mm (Popov et al., 2017b).

С обзиром на то да су претходне студије (Popov et al., 2017a; Popov et al., 2017b) утврдиле трендове екстремних климатских индекса на подручју Мостара, главни циљ ове студије је истражити промјене у дистрибуцији индекса екстремних температура и падавина, како би се додатно потврдили уочени образци промјена.

Gajić-Čapka et al., 2015; Unkašević & Tošić, 2011).

This study represents a continuation of a research on climate change in Bosnia and Herzegovina, and particularly on changes in climate extremes (Popov et al., 2017a; Popov et al., 2017b; Trbić et al., 2017). Mostar area, due to its location in the submediterranean region, which is projected to exhibit most pronounced changes, was chosen as the case study area for the analysis. The annual mean, maximum and minimum temperatures over this area have displayed upward trends since the 1960 in the range of  $0.31^{\circ}\text{C}$ ,  $0.32^{\circ}\text{C}$  and  $0.28^{\circ}\text{C}$  per decade, respectively (Popov et al., 2017a; Trbić et al., 2017). A warming tendency was present throughout the year, but most prominent was in summer ( $0.52^{\circ}\text{C}$ ,  $0.59^{\circ}\text{C}$  and  $0.46^{\circ}\text{C}$  per decade, respectively) (Popov et al., 2017a; Trbić et al., 2017). The positive trends in warm temperature indices were much stronger than the downward trends in cold ones. The highest trend values were obtained for warm temperature indices: TNx ( $0.65^{\circ}\text{C}$  per decade), TXx ( $0.50^{\circ}\text{C}$  per decade), TN90p (9.28 days per decade), TX90p (8.97 days per decade), WSDI (6.73 days per decade), TR20 (5.63 days per decade) and SU30 (5.20 days per decade) (Popov et al., 2017a). However, both trends confirm that the climate warming is present over this area. In contrast to temperature, most of the trends in extreme precipitation indices were not statistically significant. However, upward trends in heavy precipitation indices such as RX1day, RX5day, SDII, R95p and R99p indicate changes towards more intense precipitation; on the other hand, annual number of days with precipitation R1mm, R10mm and R20mm decreased (Popov et al., 2017b).

Given that previous studies (Popov et al., 2017a; Popov et al., 2017b) already determined trends in extreme climate indices over the Mostar area, the main aim of this study is to investigate changes in distributions of extreme temperature and precipitation indices, in order to further confirm the observed patterns of changes.

ПОДАЦИ И МЕТОДЕ

DATA AND METHODS

Анализа промјена екстремних климатских индекса у периоду 1961–2015. године извршена је на основу климатолошких података о дневним максималним температурама (Tmax), дневним минималним температурама (Tmin) и дневним падавинама (R) са метеоролошке станице Мостар. Податке је обезбједио Федерални хидрометеоролошки завод Сарајево. Током посматраног периода станица није мијењала локацију и није било прекида у мјерењима. Основни статистички параметри улазних варијабли које су коришћене у истраживању дати су у Таб. 1. Годишња Tmax и Tmin на подручју Мостара износе 20.4°C и 10.5°C, респективно. Средња годишња количина падавина је око 1500 mm. У посматраном периоду, и Tmax и Tmin значајно су порасле за 0.3°C по деценији, док је годишња количина падавина несигнификантно смањена за 22.7 mm по деценији.

The analysis of changes in extreme climate indices during the 1961–2015 periods was carried out using climatological data set of daily maximum (Tmax), daily minimum temperatures (Tmin) and daily precipitation (R) collected at Mostar meteorological station. Data were provided by the Federal Hydrometeorological Institute Sarajevo. During the observed period station did not change location and there were no interruptions in measurements. Basic statistical parameters of the input variables used in the study are given in Tab. 1. The annual Tmax and Tmin in Mostar area are 20.4°C and 10.5°C, respectively. Mean annual precipitation is about 1500 mm. During the observed period, both Tmax and Tmin displayed significant upward trends in the range of 0.3°C per decade, whereas the annual precipitation decreased insignificantly by 22.7 mm per decade.

Таб. 1. Основни статистички параметри временских серија улазних варијабли у периоду 1961–2015. године

Tab. 1. Basic statistical parameters of the input variables time series in the 1961–2015 periods

Индекс / Index	х	MAX	MIN	STDEV	SKEW	KURT	TREND
Tmax	20.39	21.89	18.66	0.84	0.150	-0.594	$y = 0.0327x + 19.473$
Tmin	10.46	11.77	9.35	0.61	0.442	-0.542	$y = 0.0276x + 9.6843$
R	1496	2491	840	337	0.253	0.418	$y = -2.2702x + 1559.3$

Напомена: х – аритметичка средина, MAX – максимум, MIN – минимум, STDEV – стандардна девијација, SKEW – коефицијент асиметрије, KURT – коефицијент заобљености, TREND – Линеарни тренд.

Note: x – mean, MAX – maximum, MIN – minimum, STDEV – standard deviation, SKEW – Skewness, KURT – Kurtosis, TREND – Linear trend.

Наведене улазне варијабле коришћене су за израчунавање 27 екстремних климатских индекса које је препоручио CCI/CLIVAR тим експерата за детекцију савремених климатских промјена и индексе (ETCCDI) за процјену климатских промјена. Дефиниције индекса екстремних температура и падавина коришћених у истраживању доступне су на

The input variables were used for calculation of 27 extreme climate indices recommended by the CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) for climate change assessment. Definitions of the extreme temperature and precipitation indices used in the study are available at <http://etccdi>.



[http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml) (ETCCDI, 2009). Поред тога, коришћено је још неколико индекса дефинисаних као у Alexander et al. (2006).

Изабрани индекси обухватају:

- апсолутне индексе: максимална дневна минимална температура (TNx), минимална дневна минимална температура (TNn), максимална дневна максимална температура (TXx), минимална дневна максимална температура (TXn), годишња количина падавина на влажне дане (PRCPTOT), највећа 1-дневна количина падавина (RX1day), највећа 5-дневна количина падавина (RX5day) и стандардни дневни интензитет падавина (SDII);
- индексе засноване на перцентилима: хладне ноћи (TN10p), хладни дани (TX10p), топле ноћи (TN90p), топли дани (TX90p), веома влажни дани (R95p) и изузетно влажни дани (R99p);
- индексе засноване на фиксним вриједностима прагова: број ледених дана (ID0), број мразних дана (FD0), број љетних дана (SU25), број тропских дана (SU30), број тропских ноћи (TR20), влажни дани (R1mm), дани са интензивним падавинама (R10mm), дани са веома интензивним падавинама (R20mm) и дани са падавинама вишим од 25 mm (R25mm);
- индексе засноване на дужини трајања: трајање топлих периода (WSDI), трајање хладних периода (CSDI), дужина трајања вегетационог периода (GSL), узастопни суви дани (CDD) и узастопни влажни дани (CWD);
- индексе варијабилности: дневна температурна амплитуда (DTR) и апсолутна интрагодишња температурна амплитуда (ETR).

Индекси су израчунати употребом RClimDex (1.0) софтвера (Zhang & Yang, 2004). Основни статистички параметри временских серија одабраних екстремних климатских индекса дати су у Таб. 2.

[http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml) (ETCCDI, 2009). In addition, a few more indices defined as in Alexander et al. (2006) were calculated.

The selected indices cover:

- absolute indices: maximum value of daily minimum temperature (TNx), minimum value of daily minimum temperature (TNn), maximum value of daily maximum temperature (TXx), minimum value of daily maximum temperature (TXn), annual total wet-day precipitation (PRCPTOT), highest 1-day precipitation amount (RX1day), highest 5-day precipitation amount (RX5day) and simple precipitation intensity index (SDII);
- percentile-based indices: cold nights (TN10p), cold days (TX10p), warm nights (TN90p), warm days (TX90p), very wet days (R95p) and extremely wet days (R99p);
- fixed threshold-based indices: number of icing days (ID0), number of frost days (FD0), number of summer days (SU25), number of tropical days (SU30), number of tropical nights (TR20), wet days (R1mm), heavy precipitation days (R10mm), very heavy precipitation days (R20mm) and number of days above 25 mm (R25mm);
- duration-based indices: warm spell duration index (WSDI), cold spell duration index (CSDI), growing season length (GSL), consecutive dry days (CDD) and consecutive wet days (CWD);
- variability indices: daily temperature range (DTR) and intra-annual extreme temperature range (ETR).

The indices were calculated using RClimDex (1.0) software package (Zhang & Yang, 2004). Basic statistical characteristics of the selected indices time series are given in Tab. 2.

Таб. 2. Основни статистички параметри временских серија екстремних климатских индекса у периоду 1961–2015. године  
Tab. 2. Basic statistical parameters of the extreme climate indices time series in the 1961–2015 periods

Индекс / Index	x	MAX	MIN	STDEV	SKEW	KURT	TREND
TXx	38.91	43.10	34.60	1.90	-0.015	-0.583	$y = 0.0541x + 37.389$
TXn	0.47	4.80	-6.60	2.46	-0.595	0.317	$y = 0.0305x - 0.3879$
TNx	24.76	28.50	21.60	1.69	0.422	-0.704	$y = 0.063x + 22.999$
TNn	-4.99	-0.90	-10.90	2.25	-0.390	-0.237	$y = 0.0432x - 6.2004$
TX10p	34.12	64.82	14.02	11.25	0.486	0.088	$y = -0.3242x + 43.194$
TX90p	51.28	93.99	16.58	21.34	0.444	-0.635	$y = 0.9018x + 26.034$
TN10p	32.54	56.91	9.02	11.98	0.040	-0.682	$y = -0.4242x + 44.42$
TN90p	51.28	93.99	16.58	21.34	0.444	-0.635	$y = 0.9018x + 26.034$
ID0	1.15	15.00	0.00	2.64	3.877	16.792	$y = -0.0291x + 1.9616$
FD0	20.18	37.00	2.00	8.74	-0.060	-0.778	$y = -0.2013x + 25.818$
SU25	126.96	151.00	94.00	12.91	-0.300	-0.040	$y = 0.3174x + 118.08$
SU30	65.51	113.00	26.00	17.86	0.263	0.283	$y = 0.5357x + 50.509$
TR20	28.60	68.00	8.00	14.49	0.693	0.167	$y = 0.5661x + 12.749$
WSDI	14.04	72.00	0.00	17.21	1.515	1.883	$y = 0.7084x - 5.8$
CSDI	4.73	25.00	0.00	6.99	1.348	0.669	$y = -0.0747x + 6.8202$
GSL	342.71	364.00	304.00	14.82	-0.758	0.605	$y = 0.3302x + 333.46$
DTR	9.92	10.93	8.96	0.44	-0.045	-0.181	$y = 0.005x + 9.7814$
ETR	43.90	49.60	38.40	2.83	0.087	-0.609	$y = 0.0109x + 43.59$
PRCPTOT	1485	2484	834	337	0.262	0.437	$y = -2.2469x + 1548.2$
RX1day	80.80	127.00	51.30	19.53	0.720	-0.091	$y = 0.2523x + 73.735$
RX5day	153.86	269.90	90.90	35.92	0.941	1.650	$y = 0.0983x + 151.1$
SDII	14.32	19.10	9.80	1.96	0.151	0.343	$y = 0.0099x + 14.044$
R1mm	103.05	134.00	74.00	15.20	0.031	-0.794	$y = -0.2489x + 110.02$
R10mm	48.38	74.00	25.00	10.93	-0.065	-0.410	$y = -0.0785x + 50.58$
R20mm	24.82	51.00	10.00	7.57	0.568	1.688	$y = -0.0587x + 26.461$
R25mm	18.44	34.00	6.00	6.08	0.063	-0.145	$y = -0.043x + 19.64$
R95p	331.74	766.50	54.10	147.04	0.727	0.690	$y = 0.3743x + 321.26$
R99p	109.86	374.10	0.00	101.96	1.112	0.653	$y = 1.6201x + 64.499$
CDD	29.89	67.00	17.00	11.35	1.393	1.570	$y = -0.0235x + 30.549$
CWD	8.51	18.00	5.00	2.60	1.690	4.843	$y = 0.0072x + 8.3071$

Напомена: Као у Таб. 1. / Note: As in Tab. 1.

С обзиром на то да су претходна истраживања (Popov et al., 2017a; Popov et al., 2017b) утврдила трендове екстремних климатских индекса на анализираном подручју, ова студија фокусира се на истраживање промјена њихових дистрибуција. У циљу даљег испитивања промјена екстремних климатских

Given that previous studies (Popov et al., 2017a; Popov et al., 2017b) determined trends in extreme climate indices over the study area, this survey focuses on investigation of changes in their distributions. In order to further examine changes in extreme climate indices (and to confirm observed

индекса (и потврђивања уочених трендова) у периоду 1961–2015. године, за сваки индекс израчунате су функције густине вјероватноће (PDFs) за два потпериода: 1961–1990. и 1991–2015. године. Резултати су приказани на графиконима. Двосмјерни непараметријски Колмогоров-Смирнов тест за два узорка примијењен је у XLSTAT верзији 2014.5.03 како би се тестирао да ли су се дистрибуције индекса значајно промијениле између два наведена периода.

Колмогоров-Смирнов тест (К-С тест) непараметријски је тест који се користи да би се утврдило да ли се расподјеле два узорка разликују. Један је од најкоришћенијих непараметријских метода за упоређивање два узорка, пошто је осјетљив на разлике и у локацијском параметру и у параметру облика емпиријских кумулативних функција расподјеле два узорка (Dodge, 2010). Тест квантификује растојање између емпиријских функција дистрибуције два узорка – ако претпоставимо да први узорак има утврђену кумулативну расподјелу функције  $F(x)$ , а да други узорак  $G(x)$ ,  $D$  се дефинише као највеће вертикално растојање између двије емпиријске функције дистрибуције (Dodge, 2010):

$$D = \max_x |F(x) - G(x)|$$

Испитивана нулта хипотеза  $H_0$  гласи: оба узорка имају исту дистрибуцију:  $F(x) = G(x)$  за свако  $x$ . Нулта хипотеза одбацује се ако је израчуната  $p$ -вриједност нижа од дефинисаног нивоа значајности алфа (у овом случају за ниво алфа одређен је  $\alpha = 0.05$ ).

Такође, анализирани су промјене вриједности параметара дистрибуције Генерализованих екстремних вриједности (ГЕВ дистрибуција) (локацијског параметра, параметра дисперзије и параметра облика) максималних годишњих вриједности  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  и  $R$ . С обзиром на то да је теорија екстремне вриједности (ТЕВ) (на којој је заснована ГЕВ) грана статистике која описује понашање највећих вриједности у серији (Coles, 2001; Kioutsioukis et al., 2010), погодна је за анализу промјена климатских екстрема. Све је већи број истраживања

trends) during the 1961–2015 periods, the probability density functions (PDFs) for each index were calculated for two sub-periods: 1961–1990 and 1991–2015. The results were displayed on plots. Two-tailed nonparametric Kolmogorov-Smirnov test for two samples was performed in XLSTAT Version 2014.5.03 to test whether the indices' distributions changed significantly between the two specified periods.

The Kolmogorov-Smirnov test (K-S test) is a nonparametric test used to determine whether two distributions differ. It is one of the most useful nonparametric methods for comparing two samples, as it is sensitive to differences in both location and shape of the empirical cumulative distribution functions of the two samples (Dodge, 2010). It quantifies a distance between the empirical distribution functions of two samples – suppose that the first sample has an observed cumulative distribution function of  $F(x)$  and that the second sample has an observed cumulative distribution function of  $G(x)$ , the  $D$  is defined as the greatest vertical distance between two empirical distribution functions (Dodge, 2010):

$$D = \max_x |F(x) - G(x)|$$

The tested null hypothesis  $H_0$  is: both samples follow the same distribution:  $F(x) = G(x)$  for each  $x$ . The null hypothesis is rejected if the computed  $p$ -value is lower than the significance level alpha (in this case level alpha was set at  $\alpha = 0.05$ ).

Further, changes in Generalized Extreme Value (GEV) distribution parameters (location, shape and scale) of the annual maximum  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and  $R$  were analyzed. Given that the Extreme Value Theory (EVT) is the statistics branch that describes the behavior of the largest observations in a dataset (Coles, 2001; Kioutsioukis et al., 2010), it was suitable for the analysis of changes in climate extremes.

There is a growing number of research using the EVT to examine changes in extreme

која користе ГЕВ за утврђивање промјена екстремних климатских догађаја (Fischer et al., 2012; Furió & Meneu, 2011; Goubanova & Li, 2007; Kharin et al., 2007; Kioutsioukis et al., 2010; Unkašević & Tošić, 2009). Према теореме Fisher-Tippett, која чини суштину ГЕВ, асимптотска расподјела максимума припада Fréchet, Weibull или Gumbel дистрибуцији, без обзира на оригиналну дистрибуцију коришћених података – стога се понашање крајева серије података може одредити из ове три дистрибуције (Coles, 2001; Kioutsioukis et al., 2010). Флексибилност ГЕВ-а за описивање сва три типа понашања крајева дистрибуције чини је универзалним алатом за моделовање блокова максимума (нпр. годишњег) (Kioutsioukis et al., 2010). У овом истраживању, оцјена параметара ГЕВ дистрибуције годишњих максимума  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  и  $R$  извршена је коришћењем метода максималне вјеродостојности (MLE). Модел ГЕВ дистрибуције има функцију дистрибуције сљедећег облика:

$$G(z) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

дефинисану за  $\{z: 1 + \xi(z - \mu)/\sigma > 0\}$ , гдје параметри задовољавају  $-\infty < \mu < \infty$ ,  $\sigma > 0$  и  $-\infty < \xi < \infty$ , гдје су  $\mu$ ,  $\sigma$  и  $\xi$  утврђени параметри дистрибуције који одређују локацију, дисперзију и облик дистрибуције, респективно (Coles, 2001). Локацијски параметар  $\mu$  и параметар дисперзије  $\sigma$  одговарају средњој вриједности и варијанси екстрема, респективно. Параметар облика  $\xi$  диктира понашање краја максимума расподјеле, тј. описује његов облик – ако је  $\xi$  негативан (Weibull дистрибуција), горњи крај је ограничен; ако је  $\xi$  нула (Gumbel дистрибуција), сви моменти су ограничени; ако је  $\xi$  позитиван (Fréchet дистрибуција), горњи крај је неограничен, али виши моменти евентуално постају бесконачни (Coles, 2001; Kioutsioukis et al., 2010).

Утврђени су повратни периоди максималних  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  и  $R$ . Повратни период  $P$ -година дефинисан је као вриједност

climate events (Fischer et al., 2012; Furió & Meneu, 2011; Goubanova & Li, 2007; Kharin et al., 2007; Kioutsioukis et al., 2010; Unkašević & Tošić, 2009). The Fisher-Tippett theorem, which is in the core of the EVT, suggests that the asymptotic distribution of the maxima belongs to a Fréchet, Weibull, or Gumbel distribution, regardless of the original distribution of the observed data – therefore, the tail behavior of the data series can be estimated from one of these three distributions (Coles, 2001; Kioutsioukis et al., 2010). The flexibility of the GEV to describe all three types of tail behavior makes it a universal tool for modeling block maxima (e.g. annual) (Kioutsioukis et al., 2010). In this study, fitting of the GEV distribution to the stated samples of annual maximum  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and  $R$  was performed using the method of maximum likelihood estimation (MLE). The GEV distribution model has distribution functions of the form:

$$G(z) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

defined for  $\{z: 1 + \xi(z - \mu)/\sigma > 0\}$ , where the parameters satisfy  $-\infty < \mu < \infty$ ,  $\sigma > 0$ , and  $-\infty < \xi < \infty$ , where  $\mu$ ,  $\sigma$ , and  $\xi$  are the adjustable parameters of the distribution that determine the location, scale, and shape of the distribution, respectively (Coles, 2001). The location parameter  $\mu$  and the scale parameter  $\sigma$  are respectively, proportional to the mean and the variance of extremes. The shape parameter  $\xi$  dictates the tail behavior of the maximum distribution, i.e. describes the shape of the tail – if  $\xi$  is negative (Weibull distribution), the upper tail is bounded; if  $\xi$  is zero (Gumbel distribution) all moments are finite; if  $\xi$  is positive (Fréchet distribution), the upper tail is still unbounded but higher moments eventually become infinite (Coles, 2001; Kioutsioukis et al., 2010).

Further, return levels of  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and  $R$  maxima were determined. The  $P$ -year return level was defined as the value that is



коју годишња вриједност екстрема у просјеку превазиђе сваких  $P$ -година (тј. вриједност коју годишњи максимум надмаши у некој одређеној години са вјероватноћом  $p$ ) (Coles, 2001). У овој студији израчунате су вриједности  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  и  $R$  за повратне периоде од 2 и 20 година.  $R$  пакет `extRemes` (Gilleland & Katz, 2016) коришћен је за описану анализу екстремних вриједности.

exceeded by an annual extreme on average once every  $P$  years (i.e. the value exceeded by the annual maximum in any particular year with probability  $p$ ) (Coles, 2001). In this study, 2- and 10-yr return levels were calculated for  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and  $R$ . `extRemes` package for  $R$  (Gilleland & Katz, 2016) was used for performing this extreme value analysis.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Просјечне годишње вриједности улазних варијабли  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  и  $R$  које су коришћене за израчунавање екстремних климатских индекса у цијелом посматраном периоду и у два потпериода: 1961–1990. и 1991–2015. приказане су у Таб. 3. У посматраном периоду, и  $T_{max}$  и  $T_{min}$  забиљежиле су изражену тенденцију пораста, док су просјечне годишње количине падавина ( $R$ ) смањене.

## RESULTS AND DISCUSSION

Average annual values of input variables  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and  $R$ , used for calculation of extreme climate indices, for the full-observed period and the two sub-periods 1961–1990 and 1991–2015 are shown in Tab. 3. During the observed period, both  $T_{max}$  and  $T_{min}$  displayed prominent upward tendency, whereas average annual precipitation ( $R$ ) decreased.

Таб. 3. Просјечне годишње вриједности улазних варијабли у цијелом посматраном периоду и у два потпериода и резултати К-С теста

Tab. 3. Average annual values of input variables for the full-observed period and the two sub-periods and the results of K-S test

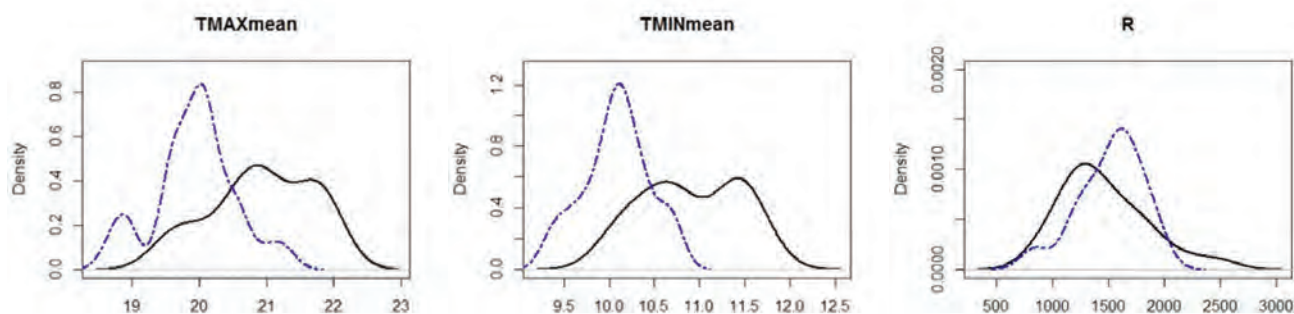
Варијабла / Variable	Просјек / Average			К-С тест / K-S test	
	1961–2015	1961–1990	1991–2015	D	p-вриједност / p-value
$T_{max}$	20.39	19.94	20.93	0.66	< 0.0001
$T_{min}$	10.46	10.08	10.91	0.6667	< 0.0001
$R$	1495.75	1522.74	1463.36	0.3067	0.1244

Сл. 1 и резултати К-С теста приказани у Таб. 3 јасно показују да су PDFs и  $T_{max}$  и  $T_{min}$  забиљежиле значајно ( $p < 0.0001$ ) помјерање према вишим вриједностима температуре (тј. топлијим условима). Посебно изражене промјене забиљежене

Fig. 1 and the K-S test results given in Tab. 3 clearly show that PDFs of both  $T_{max}$  and  $T_{min}$  displayed a significant ( $p < 0.0001$ ) shift towards higher temperature values (i.e. warmer conditions). Particularly pronounced changes were recorded in the upper tail of

су у горњем крају дистрибуције. PDFs падавина нису показале значајне промјене између периода 1961–1990. и 1991–2015. године. Међутим, примијећено је повећање горњег краја дистрибуције.

distribution. Precipitation PDFs did not exhibit significant changes between the 1961–1990 and 1991–2015 periods. However, increase in upper tail of distribution is noticed.



Сл. 1. Функције густине вјероватноће годишњих улазних варијабли у периоду 1961–1990. (испрекидана линија) и 1991–2015. (пуна линија)

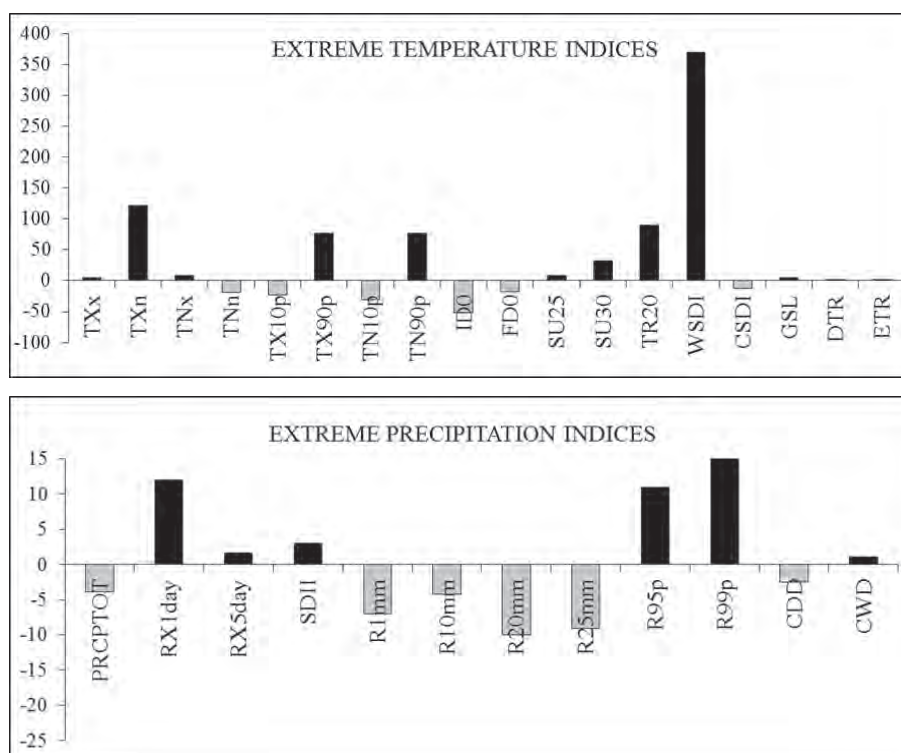
Fig. 1. Probability density functions of annual input variables for the 1961–1990 (dashed line) and 1991–2015 (solid line) periods

Просјечне годишње вриједности екстремних климатских индекса у цијелом посматраном периоду (1961–2015) и у два потпериода: 1961–1990. и 1991–2015. године дате су у Таб. 4. Сл. 2 показује да су између два наведена периода порасле просјечне вриједности топлих температурних индекса (нпр. TXn, TX90p, TN90p, SU25, SU30, TR20 и WSDI), док су просјечне вриједности хладних индекса смањене (нпр. TNn, TX10p, TN10p, ID0 и FD0). Нарочито висока стопа пораста забиљежена је за индекс трајање топлих таласа – између два периода просјечна вриједност WSDI повећана је готово 5 пута. У наведеном периоду, број дана са падавинама R1mm, R10mm, R20mm и R25mm благо је смањен. С друге стране, сви индекси интензивних падавина, као што су RX1day, RX5day, SDII, R95p и R99p, показали су тенденцију пораста.

Average annual values of extreme climate indices for the full-observed 1961–2015 periods and the two sub-periods: 1961–1990 and 1991–2015 are given in Tab. 4. Fig. 2 shows that between the two specified periods average values of warm temperature indices increased (e.g. TXn, TX90p, TN90p, SU25, SU30, TR20 and WSDI), whereas average values of cold ones decreased (e.g. TNn, TX10p, TN10p, ID0 and FD0). Particularly high growth rate was recorded in the duration of warm spells – between two periods WSDI increased almost 5-fold. During that period, number of days with precipitation R1mm, R10mm, R20mm and R25mm slightly decreased. On the other hand, all intensity indices such as RX1day, RX5day, SDII, R95p and R99p displayed an upward tendency.

Таб. 4. Просјечне годишње вриједности екстремних климатских индекса у цијелом посматраном периоду и у два потпериода  
 Tab. 4. Average annual values of extreme climate indices for the full-observed period and the two sub-periods

Индекс / Index	1961–2015	1961–1990	1991–2015	Индекс / Index	1961–2015	1961–1990	1991–2015
TXx	38.91	38.14	39.83	GSL	342.71	336.73	349.88
TXn	0.47	0.30	0.66	DTR	9.92	9.84	10.01
TNx	24.76	23.91	25.79	ETR	43.90	43.61	44.24
TNn	-4.99	-5.48	-4.41	PRCPTOT	1485.29	1511.93	1453.33
TX10p	34.12	37.99	29.47	RX1day	80.80	76.61	85.82
TX90p	51.28	37.97	67.26	RX5day	153.86	152.74	155.20
TN10p	32.54	37.90	26.11	SDII	14.32	14.13	14.55
TN90p	51.28	37.97	67.26	R1mm	103.05	106.43	99.00
ID0	1.15	1.50	0.72	R10mm	48.38	49.33	47.24
FD0	20.18	21.97	18.04	R20mm	24.82	26.00	23.40
SU25	126.96	122.00	132.92	R25mm	18.44	19.23	17.48
SU30	65.51	57.27	75.40	R95p	331.74	315.97	350.67
TR20	28.60	20.27	38.60	R99p	109.86	84.24	140.61
WSDI	14.04	5.23	24.60	CDD	29.89	30.23	29.48
CSDI	4.73	5.00	4.40	CWD	8.51	8.47	8.56



Сл. 2. Промјене просјечних годишњих вриједности екстремних климатских индекса у периоду 1991–2015. у односу на период 1961–1990. (у %)

Fig. 2. Changes in annual extreme climate indices average values in the 1991–2015 periods compared to the 1961–1990 periods (in %)

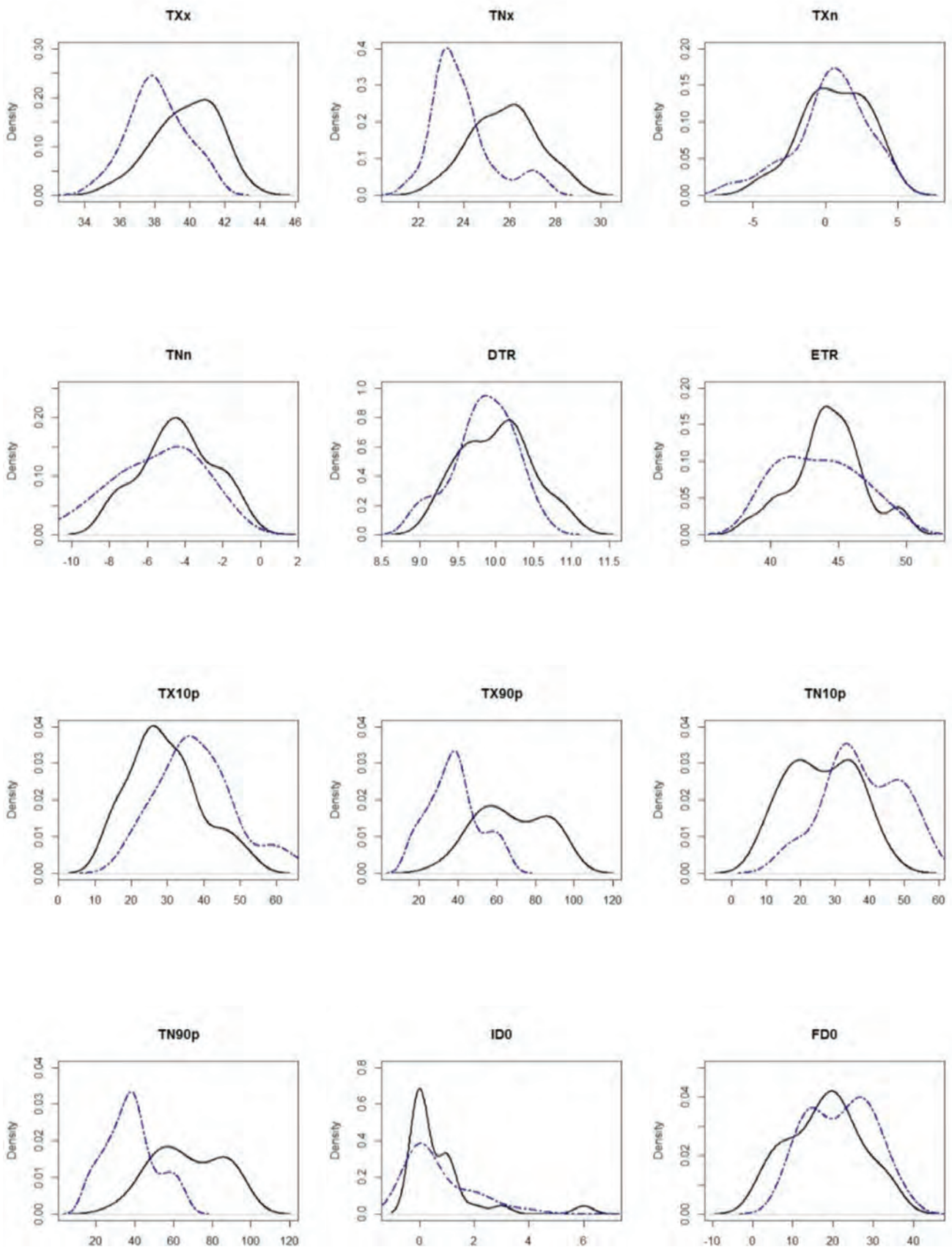
Промјене PDFs годишњих индекса екстремних температура и падавина у периоду 1991–2015. године у односу на период 1961–1990. године приказане су на Сл. 3 и Сл. 4. Резултати двосмјерног К-С теста за све индексе температура и падавина приказани су у Таб. 5.

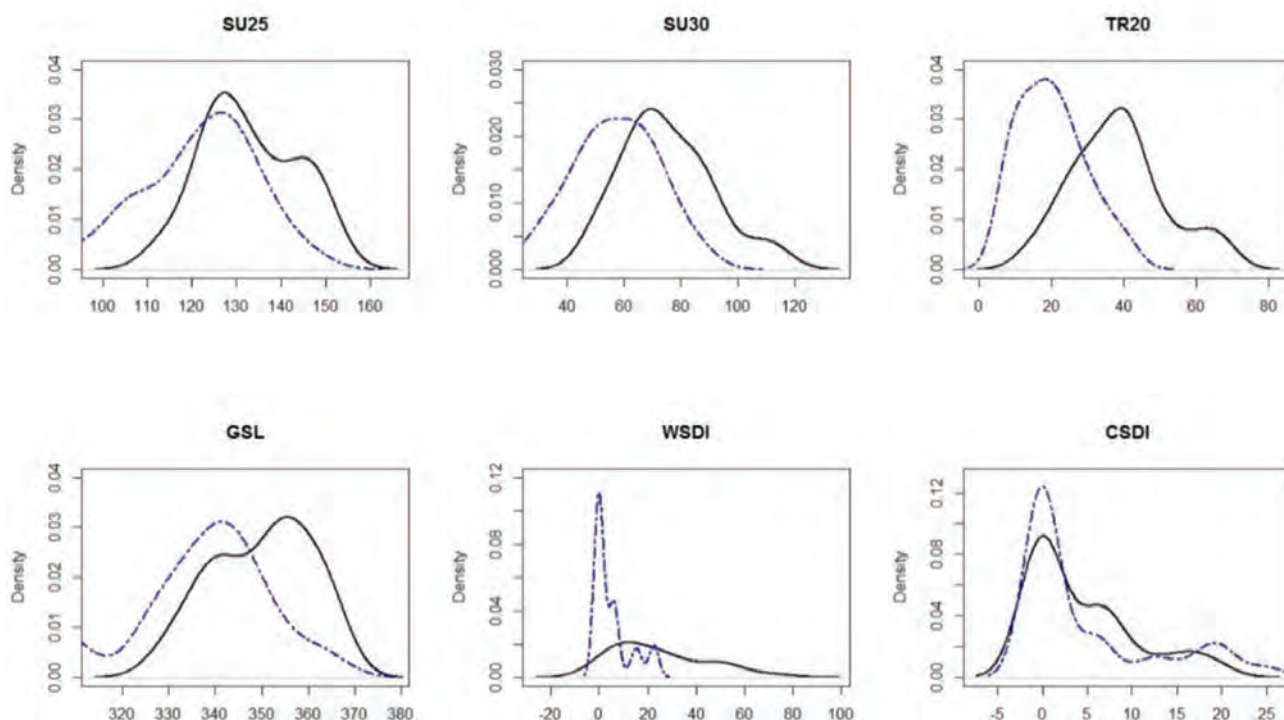
Анализа графика PDFs показује да су, како се и очекивало, топли температурни индекси помјерили своје дистрибуције према вишим вриједностима индекса, док је одговарајуће помјерање ка нижим вриједностима индекса утврђено код хладних индекса. Резултати К-С теста потврдили су да већина температурних индекса показује значајне промјене у дистрибуцији између два периода. Незнатне промјене утврђене су само за минималне вриједности  $T_{max}$  и  $T_{min}$  ( $TX_n$  и  $TN_n$ ), за индексе варијабилности температуре DTR и ETR и за хладне температурне индексе FD0, ID0 и CSDI због њихове врло ријетке појаве на подручју Мостара. Сл. 3 показује да је дошло до помјерања ка већој учесталости топлих дана и топлих ноћи ( $TX_{90p}$  и  $TN_{90p}$ ) крајем 20. вијека и на почетку 21. вијека, што је повезано са помјерањем ка мањој учесталости појаве хладних дана и хладних ноћи ( $TX_{10p}$  и  $TN_{10p}$ ). Резултати К-С теста потврђују да су PDFs ова четири температурна индекса показале статистички значајне промјене. Најзначајније промјене утврђене су за горњи крај дистрибуције топлих дана и топлих ноћи. Осим тога, чини се да се и облик дистрибуције промијенио. Слични обрасци промјена утврђени за топле дане и топле ноћи установљени су и за дистрибуције максималних годишњих вриједности  $T_{max}$  и  $T_{min}$  ( $TX_x$  и  $TN_x$ ). Насупрот томе, расподјела минималних годишњих вриједности  $T_{max}$  и  $T_{min}$  ( $TX_n$  и  $TN_n$ ) није значајно промијењена између два анализирана периода. Значајно повећање горњег краја дистрибуције утврђено је за топле температурне индексе SU30, TR20 и нарочито WSDI.

Changes in PDFs for each annual extreme temperature and precipitation indices in the 1991–2015 periods compared to the 1961–1990 periods are displayed in Fig. 3 and Fig. 4. The results of a two-tailed K-S test for all temperature and precipitation indices are summarized in Tab. 5.

The analysis of PDFs plots showed that, as expected, warm temperature indices shifted their distributions towards higher values, whereas the corresponding shift to lower index values was determined for cold ones. The K-S test results confirm that majority of temperature indices displayed significant distributional changes between the two periods. The insignificant changes were determined only for the minimum values of  $T_{max}$  and  $T_{min}$  ( $TX_n$  and  $TN_n$ ), for temperature variability indices DTR and ETR and for cold temperature indices FD0, ID0 and CSDI due its very rare occurrence over the Mostar area. Fig. 3 shows that there was a shift towards higher frequency of warm days and warm nights ( $TX_{90p}$  and  $TN_{90p}$ ) occurrence at the end of the 20 century and the beginning of the 21st century, associated with a shift towards the occurrence of fewer cold days and cold nights ( $TX_{10p}$  and  $TN_{10p}$ ). The K-S test results show that PDFs of these four temperature indices exhibited statistically significant changes. The most notable changes were found for the upper tail of the warm days and warm nights distributions. In addition, it seems that shape of distribution also changed. Similar patterns of change as for the warm days and warm nights were detected for maximum annual values of  $T_{max}$  and  $T_{min}$  ( $TX_x$  and  $TN_x$ ). In contrast, distribution of minimum annual values of  $T_{max}$  and  $T_{min}$  ( $TX_n$  and  $TN_n$ ) did not changed significantly between the two observed periods. A marked increase in the upper tail of the distribution was determined for warm temperature indices SU30, TR20 and particularly WSDI.







Сл. 3. Функције густине вјероватноће годишњих индекса екстремних температура у периоду 1961–1990. (испрекидана линија) и 1991–2015. (пуна линија)

Fig. 3. Probability density functions of annual extreme temperature indices for the 1961–1990 (dashed line) and 1991–2015 (solid line) periods

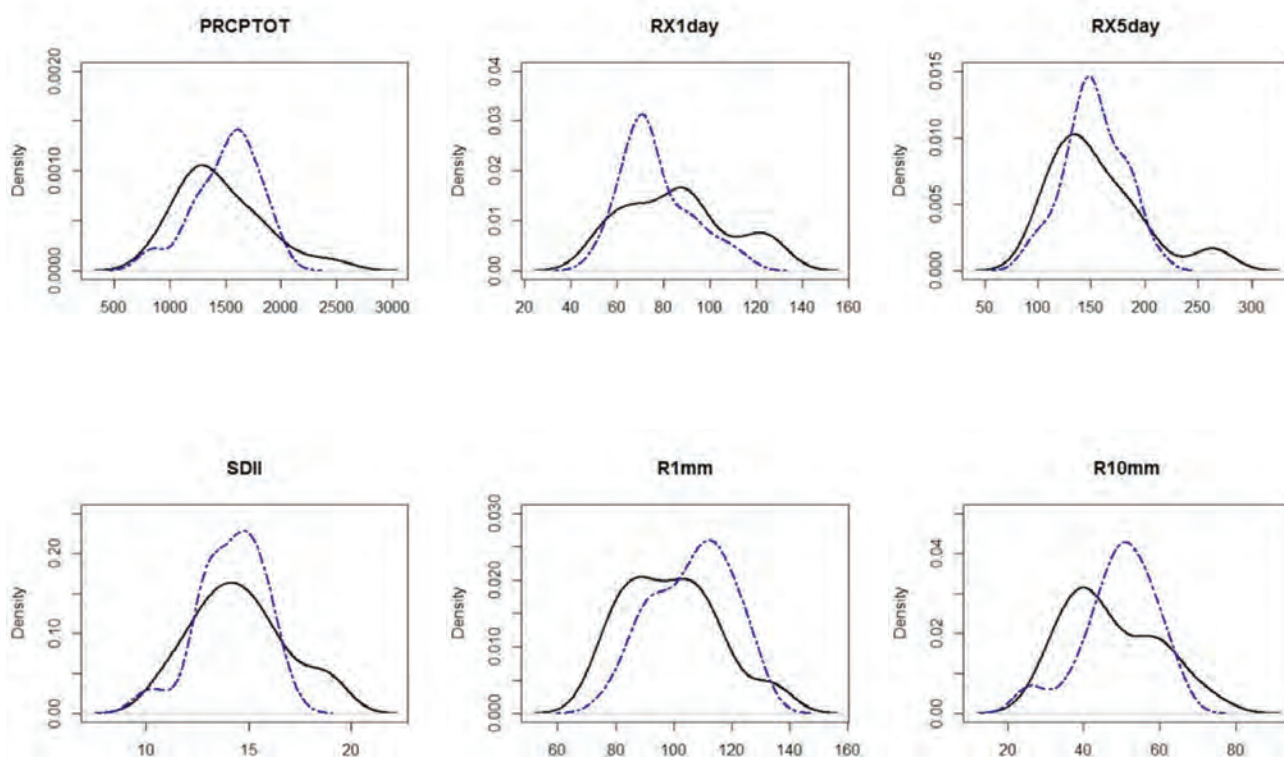
Таб. 5. Промјене дистрибуција годишњих екстремних климатских индекса између периода 1961–1990. и 1991–2015.

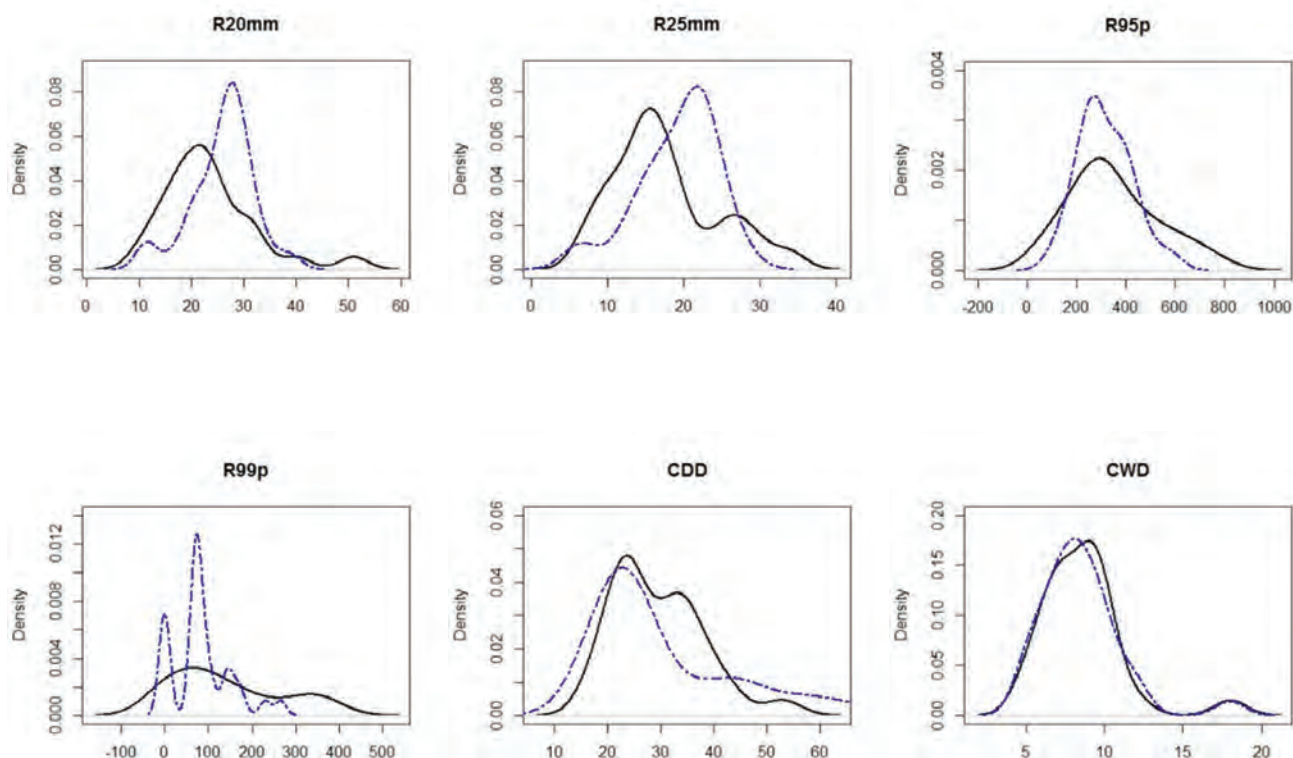
Tab. 5. Changes in distribution of annual extreme climate indices between the 1961–1990 and 1991–2015 periods

Индекс / Index	D	p-вриједност / p-value	Индекс / Index	D	p-вриједност / p-value	Индекс / Index	D	p-вриједност / p-value
TXx	0.4667	0.0032	SU25	0.4200	0.0109	RX5day	0.1867	0.6823
TXn	0.1200	0.9836	SU30	0.4667	0.0032	SDII	0.1667	0.8067
TNx	0.6400	< 0.0001	TR20	0.6133	< 0.0001	R1mm	0.2933	0.1575
TNn	0.2400	0.3628	WSDI	0.6067	< 0.0001	R10mm	0.3200	0.0972
TX10p	0.4400	0.0066	CSDI	0.1000	0.9985	R20mm	0.4133	0.0129
TX90p	0.7267	< 0.0001	GSL	0.4333	0.0078	R25mm	0.3600	0.0435
TN10p	0.4667	0.0032	DTR	0.2400	0.3628	R95p	0.2200	0.4724
TN90p	0.7267	< 0.0001	ETR	0.2333	0.3975	R99p	0.3067	0.1244
ID0	0.1800	0.7251	PRCPTOT	0.3067	0.1244	CDD	0.1933	0.6391
FD0	0.2600	0.2710	RX1day	0.3000	0.1402	CWD	0.0867	0.9999

Дистрибуције индекса екстремних падавина не показују једноставне обрасце помјерања у расподјели између два наведена периода (Сл. 4). Резултати К-С теста показују да су се само PDFs индекса R10mm, R20mm и R25mm статистички значајно помјериле према нижим вриједностима индекса, тј. ка мањем појављивању дана са наведеним количинама падавина у другом периоду. Промјене свих осталих индекса падавина нису биле значајне. Индекси интензивних падавина показују повећање варијансе дистрибуције и промјене облика дистрибуције. Резултати указују на повећање горњег краја дистрибуције индекса интензивних падавина као што су SDII, RX1day, RX5day, R95p и R99p (асиметрија у промјенама крајева дистрибуције). PDFs индекса CDD и CWD показују да су се њихове дистрибуције веома мало промијениле.

The extreme precipitation indices did not show a simple shift in the distribution between the two specified periods (Fig. 4). The K-S test results showed that only the PDFs of R10mm, R20mm and R25mm exhibited statistically significant shifts towards fewer days with these precipitation amounts in the latter period. Changes in all other precipitation indices were insignificant. Heavy precipitation indices displayed increase in distribution variance and changes in shape of the distribution. The results showed particularly pronounced increase in the upper tail of heavy precipitation indices such as SDII, RX1day, RX5day, R95p and R99p (an asymmetry in the changes of the distribution tails). PDFs of CDD and CWD showed that little changes in the distribution occurred.





Сл. 4. Функције густине вјероватноће годишњих индекса екстремних падавина у периоду 1961–1990. (испрекидана линија) и 1991–2015. (пуна линија)

Fig. 4. Probability density functions of annual extreme precipitation indices for the 1961–1990 (dashed line) and 1991–2015 (solid line) periods

Поред утврђених промјена у расподјелама годишњих временских серија, додатно су истраживане промјене PDFs сезонских улазних варијабли Tmax, Tmin и R, као и одабраних екстремних климатских индекса (TX10p, TX90p и RX1day). Просјечне сезонске вриједности улазних варијабли и одабраних екстремних климатских индекса за цијели посматрани период и за два потпериода дате су у Таб. 6.

In addition to determined shifts in distribution of annual time series, changes in PDFs of seasonal input variables Tmax, Tmin and R as well as selected extreme climate indices (TX10p, TX90p and RX1day) were further investigated. Average seasonal values of input variables and selected extreme climate indices for the full-observed period and the two sub-periods are given in Tab. 6.

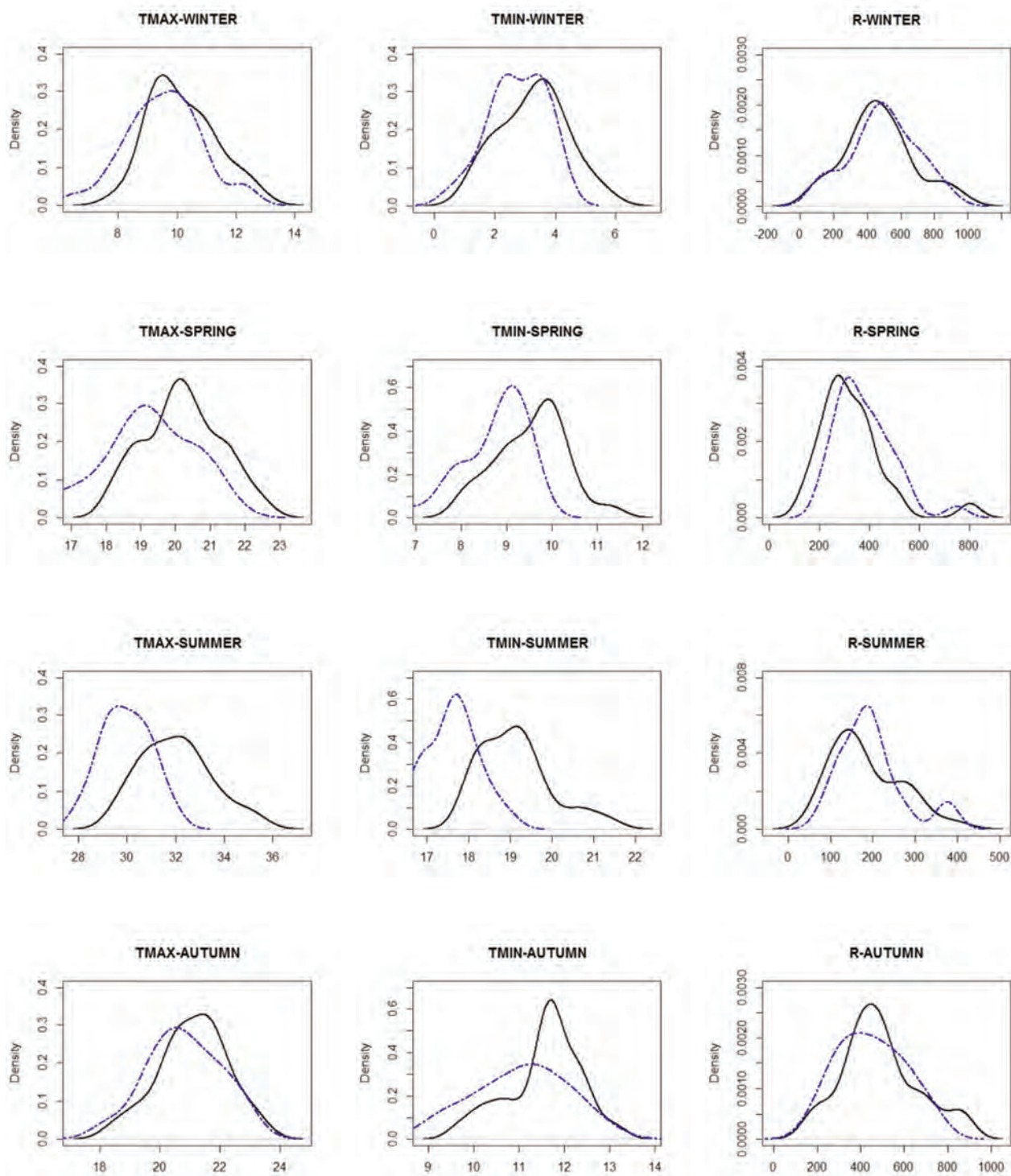


Таб. 6. Просјечне сезонске вриједности улазних варијабли и одабраних екстремних климатских индекса у цијелом посматраном периоду и у два потпериода  
 Tab. 6. Average seasonal values of input variables and selected extreme climate indices for the full-observed period and the two sub-periods

Индекс / Index	1961–2015	1961–1990	1991–2015	Индекс / Index	1961–2015	1961–1990	1991–2015
Tmax – з/w	9.82	9.54	10.18	TX10p – з/w	8.68	9.82	7.25
Tmax – п/sp	19.66	19.21	20.21	TX10p – п/sp	8.52	9.19	7.72
Tmax – љ/su	30.90	29.96	32.02	TX10p – љ/su	7.68	9.57	5.40
Tmax – j/a	20.94	20.81	21.11	TX10p – j/a	9.36	9.59	9.08
Tmin – з/w	2.98	2.75	3.27	TX90p – з/w	11.24	9.63	13.25
Tmin – п/sp	9.11	8.75	9.55	TX90p – п/sp	12.29	9.62	15.48
Tmin – љ/su	18.30	17.61	19.12	TX90p – љ/su	16.43	9.48	24.76
Tmin – j/a	11.28	11.04	11.56	TX90p – j/a	11.43	9.33	13.96
R – з/w	482.84	495.25	467.95	RX1day – з/w	59.24	60.65	57.47
R – п/sp	356.08	379.37	328.14	RX1day – п/sp	51.16	49.94	52.62
R – љ/su	190.93	196.32	184.45	RX1day – љ/su	41.75	42.53	40.82
R – j/a	467.85	450.03	489.23	RX1day – j/a	71.35	67.64	75.80

Анализа просјечних вриједности (Таб. 6) и PDFs (Сл. 5) сезонских Tmax и Tmin показује значајна помјерања према вишим вриједностима температура у другом периоду (промјене које нису значајне утврђене су само за Tmax у јесен и Tmin у зиму) (Таб. 7). Промјене су посебно биле изражене у сезони љето (потребно је напоменути да су у овом периоду године утврђене изражене промјене у горњем крају расподеле). PDFs топлог температурног индекса TX90p помјерене су према вишим вриједностима, док су PDFs хладног температурног индекса TX10p помјерене ка нижим вриједностима индекса (Сл. 6). Резултати К-С теста (Таб. 7) показују да су промјене хладног температурног индекса значајне само у сезони љето. Насупрот томе, значајне промјене топлог индекса установљене су током цијеле године, осим у сезони зима. Сезонске падавине показују мање изражене промјене. Значајна помјерања према нижим вриједностима (тј. ка сувљим условима) утврђене су само у сезони прољеће. Забиљежене промјене максималних годишњих падавина (RX1day) нису значајне ни у једној сезони.

The analysis of averaged values (Tab. 6) and PDFs (Fig. 5) of both seasonal Tmax and Tmin showed a significant shift towards higher temperature values in latter period (insignificant changes were detected only for Tmax in autumn and Tmin in winter) (Tab. 7). Changes were particularly pronounced in summer season (it should be noted that in this time of the year prominent changes were detected in upper tail of distribution). The PDFs of warm temperature index TX90p shifted towards higher values, whereas the PDFs of cold temperature index TX10p shifted to lower values (Fig. 6). The K-S test results (Tab. 7) showed that changes in cold index were significant only in summer season. In contrast, warm index displayed significant shifts throughout the year, except in winter. Seasonal precipitation exhibited fewer changes. Significant shift towards lower values (i.e. drier conditions) was detected only in spring season. Changes observed for maximum annual precipitation (RX1day) were insignificant in all seasons.



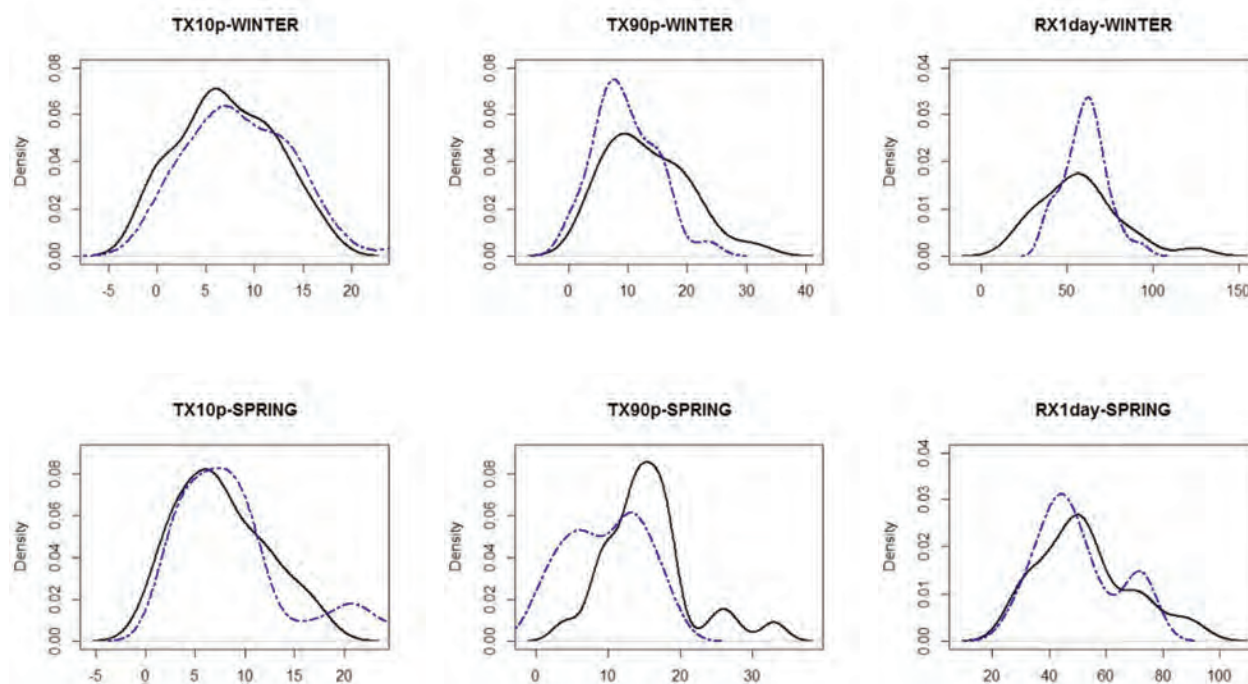
Сл. 5. Функције густине вјероватноће сезонских вриједности улазних варијабли у периоду 1961–1990. (испрекидана линија) и 1991–2015. (пуна линија)

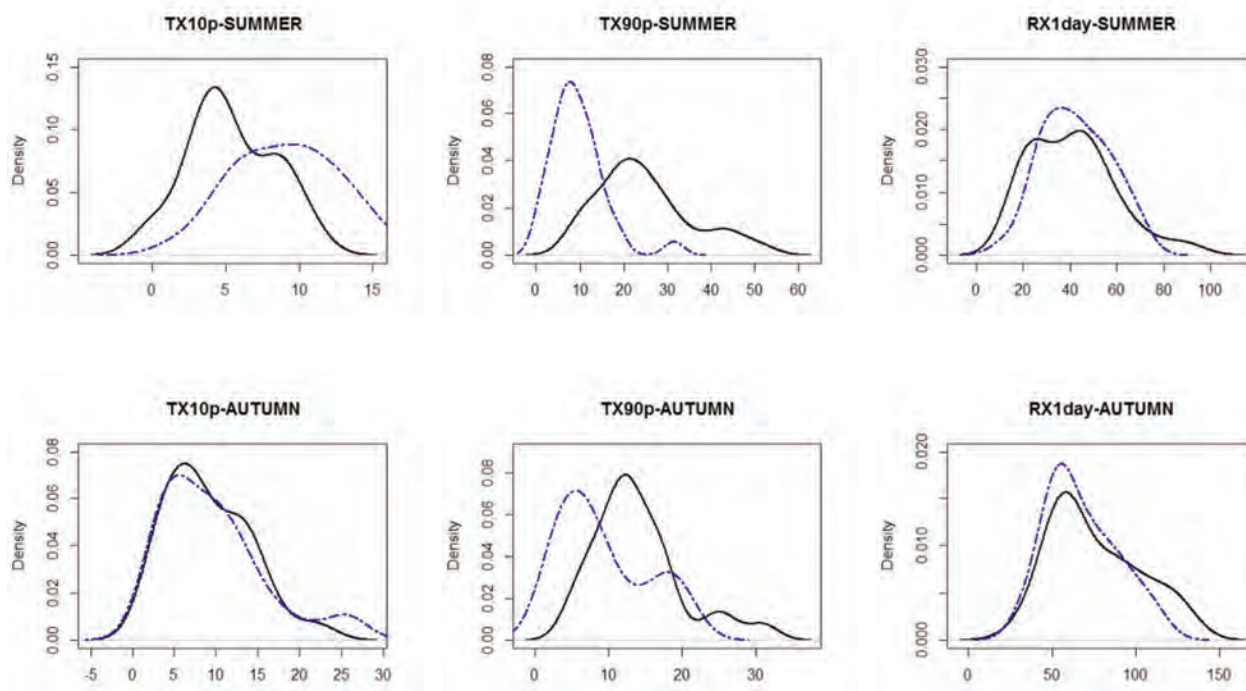
Fig. 5. Probability density functions of input variables seasonal values for the 1961–1990 (dashed line) and 1991–2015 (solid line) periods

Таб. 7. Промјене дистрибуција сезонских вриједности улазних варијабли и одабраних екстремних климатских индекса између периода 1961–1990. и 1991–2015.

Tab. 7. Changes in seasonal values of input variables and selected extreme climate indices distributions between the 1961–1990 and 1991–2015 periods

Индекс / Index	Tmax		Tmin		R	
	D	р-вриједност / p-value	D	р-вриједност / p-value	D	р-вриједност / p-value
Зима / Winter	0.3250	0.0944	0.2500	0.3270	0.1600	0.8441
Прољеће / Spring	0.4267	0.0093	0.5200	0.0007	0.3600	0.0435
Лјето / Summer	0.6200	0.0000	0.7933	0.0000	0.2600	0.2710
Јесен / Autumn	0.1867	0.6823	0.4200	0.0109	0.1667	0.8067
Индекс / Index	TX10p		TX90p		RX1day	
	D	р-вриједност / p-value	D	р-вриједност / p-value	D	р-вриједност / p-value
Зима / Winter	0.2167	0.5061	0.3000	0.1483	0.2333	0.4109
Прољеће / Spring	0.1467	0.9085	0.4600	0.0039	0.2400	0.3628
Лјето / Summer	0.4467	0.0055	0.7400	0.0000	0.2200	0.4724
Јесен / Autumn	0.1333	0.9555	0.4467	0.0055	0.1800	0.7251





Сл. 6. Функције густине вјероватноће сезонских вриједности одабраних екстремних климатских индекса у периоду 1961–1990. (испрекидана линија) и 1991–2015. (пуна линија)  
 Fig. 6. Probability density functions of selected extreme climate indices seasonal values for the 1961–1990 (dashed line) and 1991–2015 (solid line) periods

Утврђене вриједности параметара ГЕВ дистрибуције за цијели посматрани период и за два потпериода приказане су у Таб. 8. За цијели анализирани период 1961–2015. године, утврђени параметри за  $T_{max}$  ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\xi$ ) = (38.27, 1.89, -0.313), са стандардним грешкама 0.28, 0.20 и 0.09, респективно, а за  $T_{min}$  ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\xi$ ) = (24.05, 1.46, -0.112), са стандардним грешкама од 0.23, 0.17 и 0.13, респективно. Параметар облика ( $\xi$ ) негативан је и за  $T_{max}$  и за  $T_{min}$ ; стога, Weibull дистрибуција добро одговара овим серијама података. И  $T_{max}$  и  $T_{min}$  имају горњу границу, тј. постоје коначне вриједности које се не могу прекорачити. Параметри одређени за  $R$  ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\xi$ ) = (71.83, 15.36, -0.0004), са стандардним грешкама 2.41, 1.79 и 0.12, респективно. Више вриједности локацијског параметра  $T_{max}$  и  $T_{min}$  (за око 2°C) у периоду 1991–2015. године у односу на период 1961–1990. године сугеришу тенденцију пораста загријавања од 1990-их. Више вриједности параметара дисперзије показују да

The estimated GEV distribution parameters for the full-observed period and for the two sub-periods are shown in Tab. 8. For the full-observed 1961–2015 periods, the  $T_{max}$  parameter estimators ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\xi$ ) = (38.27, 1.89, -0.313), with standard errors of 0.28, 0.20 and 0.09, respectively; whereas for the  $T_{min}$  parameter estimators ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\xi$ ) = (24.05, 1.46, -0.112), with standard errors of 0.23, 0.17 and 0.13, respectively. The shape parameter ( $\xi$ ) is negative for both  $T_{max}$  and  $T_{min}$ ; therefore, the Weibull distribution fits these data sets well. Both  $T_{max}$  and  $T_{min}$  have an upper limit, so there are finite values that cannot be exceeded. For the  $R$  parameter estimators ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\xi$ ) = (71.83, 15.36, -0.0004), with standard errors of 2.41, 1.79 and 0.12, respectively. Higher values of location parameter for both  $T_{max}$  and  $T_{min}$  (for about 2°C) in the 1991–2015 periods compared to the 1961–1990 periods suggest increasing warming tendency since 1990s.



се варијабилност дистрибуције такође повећала у другом периоду. Анализа повратних периода показала је да су 2-годишњи и 20-годишњи догађаји и  $T_{max}$  и  $T_{min}$  постали уобичајенији од 1990-их. Наведено повећање вриједности повратних периода било је нешто израженије за  $T_{max}$ . Анализа параметара ГЕВ дистрибуције годишњих максималних падавина показала је да се вриједност локацијског параметара повећала у периоду 1991–2015. године у односу на референтни период, што указује на повећање интензитета падавина. Израчунате вриједности 2-годишњег и 20-годишњег повратног периода такође су повећане у односу на референтни период. Наведено је у сагласности са резултатима добијеним за Европу. Анализа извршена за период 1951–2010. године показала је да су, упркос значајној декадној варијабилности, 5-, 10- и 20-годишњи догађаји  $RX1day$  (али и  $RX5day$ ) у првом 20-годишњем периоду генерално постали чешћи током периода од 60 година (Van den Besselaar et al., 2013). Знатно већа вриједност параметра дисперзије указује на то да се и варијабилност падавина такође веома промијенила. Повећана вриједност параметра дисперзије у другом периоду у складу је са промјенама PDFs годишњих  $PRCTOT$ ,  $RX1day$ ,  $RX5day$ ,  $R95p$  и  $R99p$ . На примјер, доњи крај дистрибуције  $PRCTOT$  помјерио се ка сувљим условима, док се горњи крај дистрибуције помјерио према влажнијим условима.

Higher scale parameter values indicate that distribution variability also increased in latter period. The analysis of estimated return levels showed that the 2-year and 20-year events of both maximum  $T_{max}$  and  $T_{min}$  have become more common since the 1990s. This increase in return levels values was somewhat stronger for  $T_{max}$ . Analysis of annual maximum precipitations GEV distribution parameters showed that location parameter value increased in the 1991–2015 periods compared to the reference period, which indicates an increase in precipitation intensity. Estimated 2-year and 20-year return levels values also increased compared to the reference period. This follows the results obtained for Europe. Study carried out for the 1951–2010 periods found that, despite considerable decadal variability, 5-, 10- and 20-year events of 1-day (but also 5-day) precipitation for the first 20-year period generally became more common during the analyzed 60-year period (Van den Besselaar et al., 2013). Much higher value of scale parameter suggests that precipitation variability was also very affected. Increased scale parameter in latter period is consistent with changes observed for the PDFs of annual  $PRCTOT$ ,  $RX1day$ ,  $RX5day$ ,  $R95p$  and  $R99p$ . For instance, the lower tail of  $PRCTOT$  distribution shifted towards drier conditions, whereas the upper tail of distribution shifted towards wetter conditions.

Таб. 8. Параметри ГЕВ дистрибуције и повратни периоди израчунати за годишње максималне  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  и  $R$

Tab. 8. Estimated GEV distribution parameters and return levels fitted to annual maximum  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and  $R$

Параметар / Parameter	$T_{max}$			$T_{min}$			$R$		
	1961–2015	1961–1990	1991–2015	1961–2015	1961–1990	1991–2015	1961–2015	1961–1990	1991–2015
Локација / Location	38.269	37.597	39.341	24.051	23.308	25.318	71.836	69.895	76.645
Дисперзија / Scale	1.889	1.595	1.899	1.459	1.020	1.451	15.363	11.984	20.408
Облик / Shape	-0.313	-0.309	-0.445	-0.112	0.008	-0.327	0.000	-0.023	-0.162
Повратни периоди / Estimated return levels:									
2-г. / 2-year	38.923	38.150	39.983	24.575	23.682	25.819	77.466	74.269	83.908
20-г. / 20-year	41.922	40.697	42.470	27.736	26.376	28.074	117.443	104.315	124.778

## ЗАКЉУЧАК

У раду су анализирани промјене екстремних температура и падавина на подручју Мостара (Босна и Херцеговина) током периода 1961–2015. године. Студија се фокусира на истраживање промјена у дистрибуцији индекса екстремних температура и падавина између периода 1961–1990. и 1991–2015. године. Функције густине вјероватноће за сваки индекс израчунате су за два наведена потпериода, а двосмјерни непараметарски Колмогоров-Смирнов тест примијењен је да би се утврдио статистички значај уочених промјена. Добијени резултати показују да су топли температурни индекси показали значајно помјерање ка већим вриједностима индекса, које је било много израженије од помјерања према нижим вриједностима индекса утврђеним за хладне индексе. Међутим, оба обрасца промјена дистрибуција индекса указују да је на подручју Мостара присутна тенденција загријавања. Најизраженије промјене примијећене су у сезони љето. Индекси екстремних падавина нису показали једноставне обрасце помјерања дистрибуције између два наведена периода. Промјене параметара дистрибуције Генерализованих екстремних вриједности (локација, дисперзија и облик) указују на повећање интензитета и варијабилности екстремних температура и падавина.

Резултати добијени у овом истраживању сагласни су са резултатима других студија екстремних климатских услова у овом дијелу Европе. Даља истраживања свакако су неопходна, јер ће уочене промјене климатских екстрема имати велике социоекономске и природне посљедице. Промјене климатских екстрема знатно ће утицати на читав низ људских активности као што су: пољопривредна производња, управљање шумама, режим пожара, потребе за водом, производња и снабдијевање енергијом, туризам, здравље људи, заштита биодиверзитета итд. Истраживања у наредном периоду треба да се фокусирају на студије процјене утицаја, односно на анализу утицаја промјена климе на наведене секторе.

## CONCLUSION

The paper addresses the issue of changes in extreme temperature and precipitation over Mostar area (Bosnia and Herzegovina) during the 1961–2015 periods. The study focuses on investigation of changes in distribution of extreme temperature and precipitation indices between the 1961–1990 and 1991–2015 periods. The probability density functions for each index were calculated for the two specified sub-periods and two-tailed nonparametric Kolmogorov-Smirnov test was applied to determine statistical significance of the observed changes. Given the obtained results, warm temperature indices displayed a significant shift towards higher index values, which was much more prominent than the shift towards lower index values determined for the cold ones. However, both patterns of change suggest a warming tendency over the Mostar area. The most prominent changes were detected in summer season. The extreme precipitation indices did not show a simple shift in the distribution between the two specified periods. Changes in the Generalized Extreme Value (GEV) distribution parameters (location, scale and shape) suggest that intensity and variability of extreme temperature and precipitation increased.

The results obtained in this survey are similar to the results of other studies in this part of Europe related to climate extremes. Further research on these issues is certainly necessary given that observed changes in climate extremes will have a wide socioeconomic and natural impact. Changes in climate extremes will affect a range of human activities such as agriculture production, forest management, fire regime, water demands, energy production and supply, tourism, people health, biodiversity conservation, etc. They should focus on the impact assessment studies, i.e. the analysis of climate change effects on these sectors.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111, D05109.
- Burić, D., Ducić, V., Mihajlović, J., Luković, J. & Dragojlović, J. (2015). Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, XCV(4), 53–66.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer Series in Statistics. London: Springer-Verlag.
- de Lima, M. I. P., Santo, F. E., Ramos, A. M. & Trigo, R. M. (2015). Trends and Correlations in Annual Extreme Precipitation Indices for Mainland Portugal, 1941–2007. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(1), 55–75.
- Dodge, Y. (2010). *The Concise Encyclopedia of Statistics*. New York: Springer-Verlag.
- Donat, M. G. & Alexander, L. V. (2012). The Shifting Probability Distribution of Global Daytime and Night-Time Temperatures. *Geophysical Research Letters*, 39, L14707.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A. M. G., Kruger, A. C., Marengo, J., Peterson, T. C., Renom, M., Oria Rojas, C., Rusticucci, M., Salinger, J., Elrayah, A. S., Sekele, S. S., Srivastava, A. K., Trewin, B., Villarroya, C., Vincent, L. A., Zhai, P., Zhang, X. & Kitching, S. (2013). Updated Analyses of Temperature and Precipitation Extreme Indices since the Beginning of the Twentieth Century: The Hadex2 Dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), 2098–2118.
- ETCCDI (2009). Climate Change Indices, Definitions of the 27 Core Indices. Retrieved May 8, 2017 from [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)
- Espirito Santo, F., de Lima, M. I. P., Ramos, A. M. & Trigo, R. M. (2014). Trends in Seasonal Surface Air Temperature in Mainland Portugal, since 1941. *International Journal of Climatology*, 34(6), 1814–1837.
- Fernández-Montes, S. & Rodrigo, F. S. (2012). Trends in Seasonal Indices of Daily Temperature Extremes in the Iberian Peninsula, 1929–2005. *International Journal of Climatology*, 32(15), 2320–2332.
- Fioravanti, G., Piervitali, E. & Desiato, F. (2016). Recent Changes of Temperature Extremes over Italy: An Index-Based Analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(3), 473–486.
- Fischer, T., Su, B., Luo, Y. & Scholten, T. (2012). Probability Distribution of Precipitation Extremes for Weather Index–Based Insurance in the Zhujiang River Basin, South China. *Journal of Hydrometeorology*, 13(3), 1023–1037.
- Fonseca, D., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P. & Rocha, A. (2016). Recent Trends of Extreme Temperature Indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, 66–76.
- Furió, D. & Meneu, V. (2011). Analysis of Extreme Temperatures for Four Sites across Peninsular Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 104(1–2), 83–99.
- Gajić-Čapka, M., Cindrić, K. & Pasarić, Z. (2015). Trends in Precipitation Indices in Croatia, 1961–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 121(1), 167–177.
- Gilleland, E. & Katz, R. W. (2016). extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. *Journal of Statistical Software*, 72(8), 1–39.
- Giorgi, F. (2006). Climate Change Hot-Spots. *Geophysical Research Letters*, 33, L08707.
- Goubanova, K. & Li, L. (2007). Extremes in Temperature and Precipitation around the Mediterranean Basin in an Ensemble of Future Climate Scenario Simulations. *Global and Planetary Change*, 57(1–2), 27–42.

- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., & Zhai, P. M. (2013). Observations: Atmosphere and Surface. In Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (159–254). Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R. K., & Meyer, L. A. (eds.)]. Geneva: IPCC.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X. & Hegerl, G. C. (2007). Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the IPCC Ensemble of Global Coupled Model Simulations. *Journal of Climate*, 20(8), 1419–1444.
- Kioutsioukis, I., Melas, D. & Zerefos, C. (2010). Statistical Assessment of Changes in Climate Extremes over Greece (1955–2002). *International Journal of Climatology*, 30(11), 1723–1737.
- Klein Tank, A. M. G. & Können, G. P. (2003). Trends Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, 16(22), 3665–3680.
- 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.
- 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.
- Trbić, G., Popov, T. & Gnjato, S. (2017). Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica*, 21(2), 68–84.
- Unkašević, M. & Tošić, I. (2009). Changes in Extreme Daily Winter and Summer Temperatures in Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(1–2), 27–38.
- Unkašević, M. & Tošić, I. (2011). A Statistical Analysis of the Daily Precipitation over Serbia: Trends and Indices. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(1), 69–78.
- Van den Besselaar, E. J. M., Klein Tank, A. M. G. & Buishand, T. A. (2013). Trends in European Precipitation Extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2682–2689.
- Zhang, X. & Yang, F. (2004). *RCLimDex (1.0) User Manual*. Downsview: Climate Research Branch, Environment Canada.