

**REPRESENTATION OF CERTAIN INDICATORS OF CLIMATE CHANGE IN THE
AREA OF EASTERN SERBIA IN THE PERIOD 1991-2012 COMPARED TO THE
REFERENCE PERIOD 1961-1990**

ZORAN NIKIĆ^{1*}, MILENA ANDJELIĆ¹, LJUBOMIR LETIĆ¹, VASO MRVALJEVIĆ¹,
VESNA NIKOLIĆ¹

¹*University of Belgrade – Faculty of Forestry, Department of Ecological Engineering for Soil and Water Resources
Protection, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade*

Abstract: Climate change that has occurred at the end of the last and at the beginning of this century, among other things, has a certain impact on forests as well. For the territory of Eastern Serbia, for two periods of climate observations, the reference period 1961-1990 and the period 1991-2012, a comparative analysis of the following climatic elements was done: air temperature, amount of precipitation and relative humidity of air. Calculations were performed on the basis of collected and systematized data from 11 meteorological stations (6 synoptic/main climatological and 5 regular climatological) that were part of the Republic Hydrometeorological Service, situated in the area of Eastern Serbia. Analysis of the anomalies of air temperature and precipitation as indicators of climate change for the period 1991-2012 compared to the reference period 1961-1990 was done separately for each of the four seasons (winter, spring, summer, autumn) and summarized for each period. The results of the comparative analysis show that in the period 1991-2012 compared to the reference period 1961-1990, there was an increase in the average annual air temperature, as well as the increase in the average air temperature for all four seasons, and a decrease in the average annual amounts of precipitation and the decrease in the relative humidity of air.

Key words: climate change, reference period, seasons, climatic elements, Eastern Serbia.

Introduction

Natural and anthropogenic factors have influence on the quantitative and qualitative characteristics of forests. One of the natural factors is also the climate in the concerned area. The influence of climatic factors on the development of forest stands, and even entire life on Earth has been remarkable since the emergence of the first living organisms. Their fossil remains show how the flora and fauna adapted and changed over geological history, among other things, under the influence of climate change as well. There are numerous and very significant researches in the world and also in our country about the interconnectivity of climate and forests (Myneni R.C. et al., 1997; Harrington R. et al., 1999; Krstić M., 1999; Chmielewski F.M. et al., 2004; Karadžić D., 2007; Ruml M. et al.,

¹ *E-mail: zoran.nikic@sfb.bg.ac.rs

Article history: Received 10.07.2014 ; Accepted: 02.10.2014

This paper was carried out in the framework of the scientific research project from the Research Programme in the Field of Technological Development No. 37008, funded by the Republic of Serbia - Ministry of Science and Technological Development.

2012. and others). Climate change is the reality in recent time as well, and that is why a considerable attention of researchers around the world is devoted to this global problem.

The latest Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change on the scientific bases of climate change (IPCC WGI AR5, 2013), presented the key findings and scientific information on anthropogenic influences on the climate system of the Earth. The Report points out that in most regions of the world there is apparent evidence on the impact of anthropogenic factors on the climate system and that human activities most likely represent the dominant cause of the observed global warming in the period from the mid-20th century to the present day (Figure 1). The calculation results of the linear trend of the time series of the average annual global surface air temperatures over land and sea for the period 1880-2012 given in the Report, show an increase in the average global air temperature of about 0.85°C , with the highest rate of the increase in the period 1979-2012, on the average of 0.2°C per decade. The increase in the average global air temperature over land is much higher and during the last three decades was about 0.3°C per decade, and the first decade of the 21st century was the warmest decade in the period of instrumental meteorological measurements started in the mid-19th century. Thereby, it is pointed out that the warming in the entire climate system during the last decade was confirmed by a number of data and scientific information that testified about the warming of the atmosphere and oceans, reduction of snow and ice cover, increase of the average sea level and increase of the atmospheric concentrations of gases with the greenhouse effect.

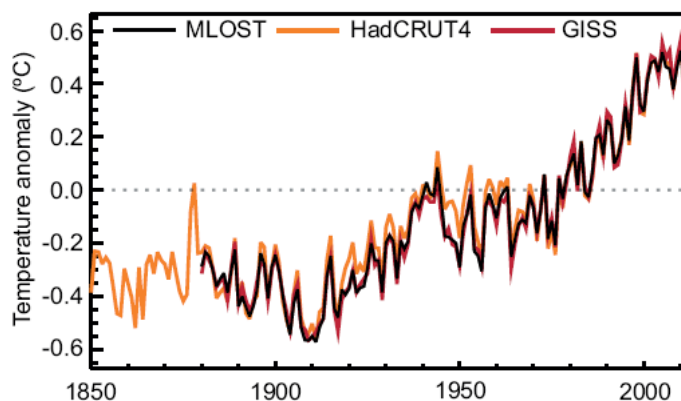


Figure 1. Deviation of the average annual global surface air temperature over land and sea in relation to the reference climatological period 1961-1990 for a variety of global climate data base: MLOST, HadCRUT4, GISS (IPCC WGI AR5, 2013)

Analysis of the regional climate change shows that the trend of increase in air temperature has been marked as well in all continents since the mid-20th century. The increase in the average annual air temperature over Europe in the period 1850-2011 was higher than the global increase of around 1.3°C (EEA, 2012). In the region of Southern Europe, the upward trend in the average annual air temperature of 0.34°C per decades was registered, while in Central and Northern Europe the increase in the air temperature of 0.32°C per decades was registered. In regard to the trend of precipitation registered during the 20th century, there were significant regional and local differences. For example, in Central and Northern Europe the upward trend in the average annual amounts of precipitation was registered, while in the region of Southern Europe, to which our country belongs to, predominantly declining trend in precipitation was registered, which in some locations reached 70 mm per decade.

Climate change leads to changes in the functioning of all living beings, their reproduction and distribution. Climate change, manifested through increase or decrease in the air temperature, amount of precipitation, humidity of air, number of sunshine hours and change in other climate elements, may influence the occurrence of drought, groundwater level, soil moisture, disease occurrence and secondly, this has a considerable effect on the forest. It has been proven that climate change is causing vulnerability of woody species, changes in competition between species, changes to the structure or type of vegetation, reduces the number or leads to the disappearance of certain species (Karadžić D., 2007). The climate on the area of Serbia has been analysed relatively frequently with different points of view (Živković N. and Andjelković G., 2004; Živković N. and Smiljanić S., 2005; Unkašević M. and Tošić I., 2011; Bajat B. et al., 2012 ; Luković J. et al., 2013 and others). Therefore, any reliable indicator of climate change for an area gaining significance in terms of viewing the current state of vitality of forest stands, predicting susceptibility of forests to climate change and on that basis, timely taking optimum remedial measures.

The aim of the subjected paper is that through a comparative analysis of the air temperature, amount of precipitation and relative humidity of air, show how and what are the changes of these climate elements in the area of Eastern Serbia in the period 1991-2012 compared to the reference climatological period 1961-1990.

Material and Methods

The study area geographically belongs to Eastern Serbia and extends approximately between 44°45' and 42°55' of the northern latitude and 21°20' and 23°00' of the eastern longitude (Figure 2). Administratively, this area includes the counties of: Bor, Zaječar, part of Braničevski (east of Požarevac), part of Pirot (north of the Nišava River), part of the Pomoravski (east of Paraćin) and part of Niš (east of the Južna Morava River (South Morava River) and north of the Nišava River).

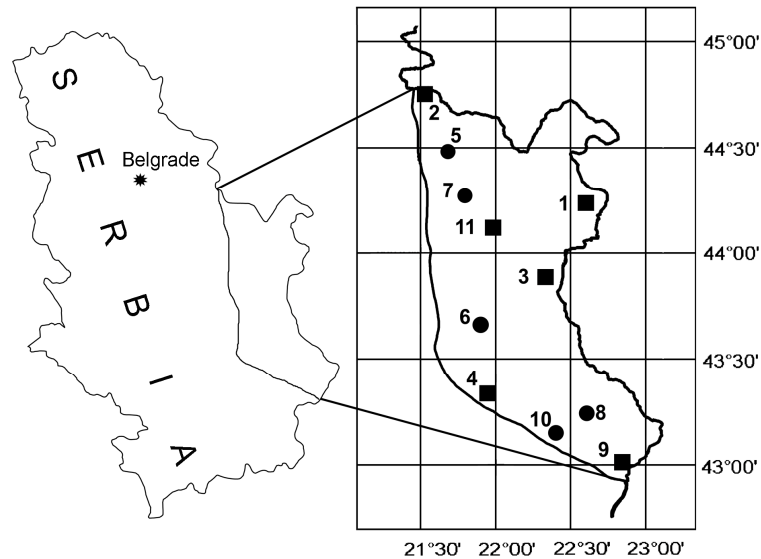


Figure 2. Geographical location of the study area and layout of the meteorological stations
 Legend: ■-Synoptical station; ●-Climatological station; 1-Negotin; 2-Veliko Gradište; 3-Zaječar; 4-Niš; 5-Petrovac na Mlavi; 6-Sokobanja; 7-Žagubica; 8-Pirot; 9-Dimitrovgrad; 10-Babušnica; 11-Cmi vrh

On the area of Eastern Serbia, tectonic units of the highest rang confront: Dacian Basin and Carpatho-Balkanides in the eastern part and Carpatho-Balkanides and Serbian crystalline core in the western part. The above mentioned geotectonic entiereities are characterized by the specific historical-geological processes of the terrain formation, structural, lithological, geomorphological, physical-geographic, climatic, hydrogeological, hydrographical and other environmental conditions (Nikić Z., 2003). This diversity has caused the formation of numerous soil types as well.

In the study area, a continental climate is represented, which, according to Rakićević T., (1980), is characterized by the annual temperature amplitude of $\leq 23^{\circ}\text{C}$, and over 50% of the total precipitation amount falls in the summer half of the year. In general, the climate in this area is the result of distance from the sea (Adriatic) and openness to the influence of continental air masses that from Eastern and Northern Europe, over the Wallachian Plain, penetrate into the Timok River Basin and over the Pannonian Plain into the Pomoravlje (Rakićević T., 1976). However, the most important climatic factors that condition the forest type, according to Majer (in: Krstić M., 1999), are the following: amount of precipitation and relative humidity of air in the vegetational period, air temperature (average annual and also in the vegetational period), the lowest temperature during the year, appearance of the first autumn and spring frost.

From the study area, the meteorological data were analysed from a total of 11 meteorological stations, where 6 belonging to the category of synoptical/main climatological and 5 to the category of regular climatological, which were part of the meteorological observation network of the Republic Hydrometeorological Service of Serbia (Figure 2). General information about these meteorological stations are shown in Table 1. For the subjected analysis, of climatic elements from these 11 meteorological stations, the average monthly values of air temperature, precipitation and relative humidity of air were used. Measured values were taken from the website of the Republic Hydrometeorological Service of Serbia (RHMSS) and from published meteorological yearbooks of the RHMSS. A comparative analysis was conducted for two time intervals of the meteorological measurements and observations: standard climatological (reference) thirty-year period 1961-1990 and twenty two year period 1991-2012 and for four seasons, winter, spring, summer, autumn.

Table 1. Basic information about the meteorological stations in Eastern Serbia from which data of the meteorological measurements and observations for the analysis of climatic elements and indicators of climate change were used (RHMZS)

No.	Meteorological station	Meteorological station category	Altitude (m)	Latitude	Longitude
1	Negotin	S	42	44° 14N	22° 33E
2	Veliko Gradište	S	80	44° 45N	21° 31E
3	Zaječar	S	144	43° 53N	22° 17E
4	Niš	S	204	43° 20N	21° 54E
5	Petrovac na Mlavi	C	282	44° 20N	21° 20E
6	Sokobanja	C	300	43° 39N	21° 51E
7	Žagubica	C	314	44° 12N	21° 47E
8	Pirot	C	370	43° 09N	22° 36E
9	Dimitrovgrad	S	450	44° 01N	22° 45E
10	Babušnica	C	495	43° 04N	22° 26E
11	Crni vrh	S	1 027	44° 08N	21° 58E

Legend: S-Synoptical; C-Climatological

Calculation of values of the climatic elements (air temperature, precipitation, relative humidity of air) was made separately for the reference climatological period 1961-1990 and separately for the period 1991-2012. Based on the average daily values for the air temperature, precipitation and relative humidity of air taken from the database, the average monthly values were calculated, then the average values for each season for each meteorological station and in the end, the average values for the reference period for each season and then the reference period itself. Calculation of values for seasons was conducted on the basis of the previously calculated average monthly and then the average values for the season for both periods of climatic observations were calculated.

Results and Discussion

The following indicators were calculated: average value for the reference period, average value for each meteorological station for the season and average values for the season for the reference period. Comparative representation of the calculated values was performed by calculating the value deviations of the determined element for the year, that is, the season for the period 1991-2012, compared to the reference period 1961-1990. All calculated values are shown in the tables in the appendix and the graphs below.

Air temperature

Based on the presented data in Table 2, the following can be stated:

- average air temperature for the reference period 1961-1990 was 10.1°C , and for the period 1991-2012, 10.8°C , i.e., the average air temperature for the period 1991-2012 was higher by 0.7°C compared to the period 1961-1990 (Figure 3),
- at all 11 measurement stations there was an increase in the average air temperature in the period 1991-2012 compared to the period 1961-1990 in the range from 0.5°C to 1.1°C (column e).

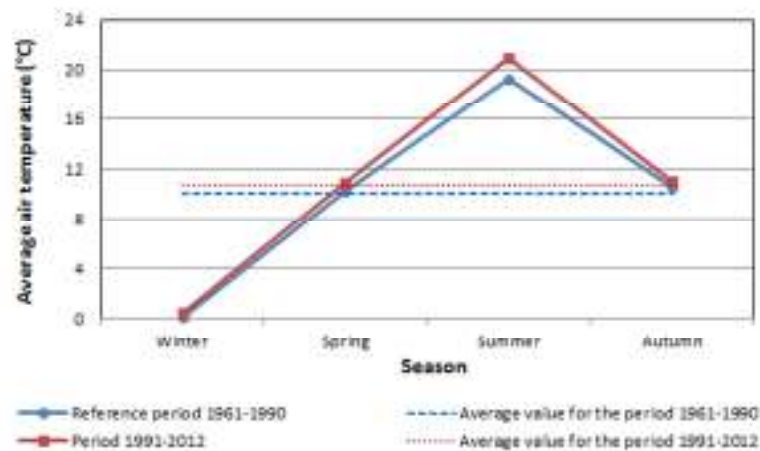


Figure 3. Comparative representation of the air temperature by seasons and the average annual air temperature for the reference period 1961-1990 and the period 1991-2012 in Eastern Serbia

Basic characteristics of the air temperature regime (Table 3) are as follows:

- For the period 1991-2012 compared to the reference period 1961-1990, for all meteorological stations, for all four seasons, the average air temperatures increased, except

for the meteorological station Žagubica for the winter season, where there was a decrease in the average air temperature by 0.1°C (column h).

- For the reference period 1961-1990, the average annual air temperature for the winter season was 0.1°C , the spring season 10.3°C , the summer season 19.3°C and for the autumn season 10.6°C (column d).

- For the period 1991-2012, the average annual air temperature for the winter season was 0.4°C , the spring season 10.9°C , 21.0°C and for the autumn season 11.0°C (column f).

- Comparative analysis of the average air temperature for the seasons for the period 1991-2012 compared to the reference period 1961-1990, shows an increase in the average air temperature for all four seasons, for the winter season of 0.3°C , the spring season of 0.6°C , the summer season of 1.7°C and for the autumn season of 0.4°C (column h). According to Ahas R., et al. (2002), the increase in the air temperature by seasons influences that the spring comes earlier, summer lasts longer and thus results in a longer duration of the vegetational period. From this, it realistically follows that due to the longer duration of the vegetational period, the vegetation needs more humidity and greater amounts of water.

- For the reference period 1961-1990, the range of the average air temperatures for the winter season was from -3.2°C (Crni vrh) to 1.3°C (Niš), for the spring season in the range from 6.3°C (Crni vrh) to 11.7°C (Niš), for the summer season from 15.3°C (Crni vrh) to 21.2°C (Negotin), for the autumn season from 7.2°C (Crni vrh) to 11.8°C (Niš) (column d).

- For the period 1991-2012, the range of the average air temperatures for the winter season was from -2.9°C (Crni vrh) to 1.7°C (Niš), for the spring season in the range from 6.4°C (Crni vrh) to 12.5°C (Negotin), for the summer season from 16.7°C (Crni vrh) to 23.2°C (Negotin), for the autumn season from 7.3°C (Crni vrh) to 12.4°C (Niš) (column f).

- In the reference period 1961-1990, the largest range of the average air temperatures by seasons was for the summer season and amounted to 5.9°C , and the lowest for the winter season and was 4.5°C , while for the spring season it was 5.4°C and 4.6°C for the autumn. In the period 1991-2012, the largest range of the average air temperature was for the summer season and amounted to 6.5°C , and the lowest for the winter season and amounted to 4.6°C , while for the spring season it was 6.1°C and 5.1°C for the autumn.

- Oscillations of the difference in the average air temperatures in the period 1991-2012 during the seasons were higher (average $t_{\text{max}}r^{\circ}\text{Cseason} : \text{average } t_{\text{min}}r^{\circ}\text{Cseason} = 1.4$) than in the previous period (average $t_{\text{max}}r^{\circ}\text{Cseason} : \text{average } t_{\text{min}}r^{\circ}\text{Cseason} = 1.3$).

- On the average, the autumn was warmer than the spring for both analysed time intervals at 6 meteorological station (Nis, Žagubica, Pirot, Dimitrovgrad, Babušnica, Crni vrh), and the spring was warmer on the average or the temperature was the same for the autumn for both periods at 2 meteorological stations (Negotin and Zaječar). On the other meteorological stations (Veliko Gradište, Petrovac, Sokobanja) this ratio was different, that is, without some regularity in terms of the periods and seasons.

- The largest and smallest difference of the average air temperature for the season between the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990, that is, the increase in the average temperature was: for the winter season the largest was in Negotin 0.7°C , and the lowest in Dimitrovgrad 0.1°C , for the spring season the largest was in Negotin 1.1°C , and the lowest on Crni vrh 0.1°C , for the summer season the largest was in Babušnica 2.1°C , and the lowest in Dimitrovgrad 1.3°C , for the autumn season the largest was in Petrovac 0.9°C , and the lowest on Crni vrh 0.1°C (column h).

In addition to the previously shown (Table 3), it has been observed that for the meteorological stations at higher altitudes (Žagubica, Dimitrovgrad, Babušnica and Crni vrh), for all four seasons, the negative values of the difference in the average air temperatures were reported (column e and g), while for the meteorological stations located

at lower altitudes of the terrain, it was the opposite situation, i.e., the values were positive. This shows how the increase in altitudes of the measuring point of observation (meteorological stations) contributes to mitigating the value of the increase in the air temperature in the studied area, in this case for Eastern Serbia. Specifically, for example, for the hypsometrically highest meteorological station of Crni vrh, the difference in temperature for all four seasons compared to the average seasonal air temperature is expressed through a negative value, and for the hypsometrically lowest meteorological station of Negotin, the temperature differences for each season are positive and that for both time intervals.

Precipitation – pluviometric regime

In the area of the Republic of Serbia, the continental pluviometric regime is represented. Its characteristic, among other things, is the occurrence of two precipitation maximums and two minimums during the year. According to Kolić B., (1986) the primary maximum occurs mostly at the beginning of the summer season (June), sometimes in late spring (May), and the second is usually in mid-autumn season (October), in some areas in late autumn (November). The primary minimum is at the end of the winter season (February) or early spring season (March) and the secondary minimum usually at the beginning of the autumn season (September). However, the territory of Eastern Serbia in some of its parts receive different amounts of precipitation as a result of the relief, that is, altitude and slope exposition (Rakićević T., 1976).

Average amount of precipitation (Table 4) for the reference period 1961-1990 was 652.1 *mm*, and for the period 1991-2012, 646.3 *mm*. With the highest average amounts of precipitation in both periods was the meteorological station of Crni vrh with 810.1 *mm* for the reference period 1961-1990 (column c) and 791.9 *mm* for the period 1991-2012 (column d), and with the least amounts of precipitation was the station of Niš with 589.6 *mm* for the reference period 1961-1990 (column c) and 591.8 *mm* for the period 1991-2012 (column d).

Calculated average decrease in the amounts of precipitation by measurement points was relatively small and was only 5.8 *mm* (column e), i.e., 5.8 $L \cdot m^{-2}$, or 0.9% (column F), or by comparing the total average amounts of precipitation, the difference was 64.1 *mm* (column e), i.e., 64.1 $L \cdot m^{-2}$, or also 0.9%. It has been noted that in the period 1991-2012, compared to the reference period 1961-1990, at the station of Negotin there was a decrease in the average amount of precipitation in the amount of 43.0 *mm* (43.0 $L \cdot m^{-2}$), and at the station of Babušnica, an increase in the average amount of precipitation in the amount of 78.8 *mm* was registered (78.8 $L \cdot m^{-2}$).

For the reference period 1961-1990, the average amount of precipitation by meteorological stations per season (Table 5) was 139.2 *mm* for winter, 177.3 *mm* for spring, 190.8 *mm* for summer and 144.8 *mm* for autumn (column d), and for the period 1991-2012, for the winter season was 143.1 *mm*, 160.6 *mm* for the spring season, 179.0 *mm* for the summer season and 163.6 *mm* for the autumn season (column f).

For the reference period 1961-1990, from the analysed 11 meteorological stations, the highest and lowest average amounts of precipitation by season were as follows: for the winter season the highest was 159.4 *mm* (Sokobanja) and the lowest 125.8 *mm* (Pilot), for the spring season the highest was 220.3 *mm* (Crni vrh) and the lowest 156.0 *mm* (Babušnica), for the summer season the highest was 276.4 *mm* (Crni vrh) and the lowest 156.6 *mm* (Negotin and Niš), for the autumn season the highest was 174.7 *mm* (Crni vrh) and the lowest 134.5 *mm* (Niš) (column d). For the period 1991-2012, the highest and lowest average amounts of precipitation by season were as follows: for the winter season the highest was 165.6 *mm* (Sokobanja) and the lowest 117.3 *mm* (Pilot), for the spring season the highest was 198.3 *mm* (Crni vrh) and the lowest 136.1 *mm* (Negotin), for the summer

season the highest was 218.4 mm (Crni vrh) and the lowest 142.9 mm (Niš), for the autumn season the highest was 213.0 mm (Crni vrh) and the lowest 138.6 mm (Piroć) (column f).

From the point of distribution of precipitation during the year, it is interesting to see what is the proportion of precipitation of certain seasons in the average amounts of precipitation by meteorological stations for the periods. In the average amounts of precipitation by meteorological stations for the reference period 1961-1990, the proportion of precipitation for the winter season was 21.3%, for the spring season 27.2%, for the summer season 29.3% and 22.2% for the autumn season (column e). For the period 1991-2012, the proportion of precipitation for the winter season was 22.1%, for the spring season of 24.9%, for the summer season, 27.7% and 25.3% for the autumn season (column g). It is noticeable that in the period 1991-2012, there was a slight decrease in the difference between the maximum and minimum amount of precipitation for the season (summer 27.7% : winter 22.1%) (column g), compared to the period 1961-1990, where that ratio was more pronounced (summer 29.3% : winter 21.3%) (column e).

The most rainy season for both time intervals was the summer season, when the average 29.3% fell in the reference period 1961-1990 (column e), that is, 27.7% in the period 1991-2012 (column g), of the average amount of precipitation in Eastern Serbia. The driest season was the winter season, with an average of 21.3% (period 1961-1990), that is, 22.1% (period 1991-2012) of the average amount of precipitation. However, from these data it has been also observed that, in the period 1991-2012, there was a decrease in precipitation in the summer season, and increase in the winter season.

The distribution of the shown decrease and increase in the average amount of precipitation by seasons in the period 1991-2012 is interesting. Calculated by seasons, the character and size of difference in the amount of precipitation per meteorological stations between the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990 was as follows: the winter season was with an increase in precipitation of 3.9 mm (2.8%), the spring season with a decrease of 16.7 mm (9.4%), the summer season with a decrease of 11.8 mm (6.2%) and the autumn season with an increase of 18.8 mm (13.0%) (column h and i). Generally, for Eastern Serbia in the period 1991-2012, compared to the reference period 1961-1990, a decrease in the average amount of precipitation for the spring and summer seasons, and an increase for the winter and autumn seasons was expressed (Figure 4). Thereby, between this seasonal increase and decrease in precipitation, a decrease of 5.8 mm was greater in the period 1991-2012 and that was in the vegetational period of the year.

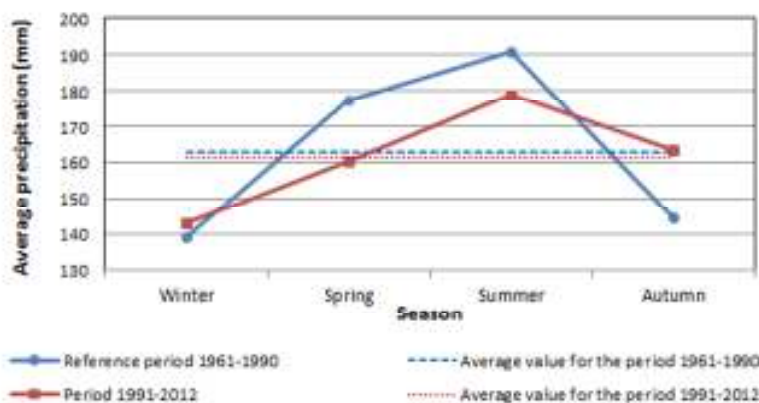


Figure 4. Comparative representation of the average precipitation for the reference period 1961-1990 and the period 1991-2012, by seasons and the average seasonal amount of precipitation for the specified periods in Eastern Serbia

From the standpoint of the overall climate change, a particular importance has a general decrease in the total amount of precipitation in the period 1991-2012. However, it can be seen that the greatest amounts of precipitation occur in the spring and summer seasons in both periods at all meteorological stations. In these seasons, the hypsometrically higher meteorological stations recorded higher amounts of precipitation than the hypsometrically lower. In doing so, based on the available data, a greater number of measuring points, which are at the hypsometrically lower terrains compared to the stations from the mountainous areas, is noticeable, which has a certain weight in the mass of data. It is realistic to assume that the decrease in the amounts of precipitation negatively affects the quantity and quality of groundwater and surface water and soil moisture, and by that, directly affect the vitality of forest stands.

Average relative humidity of air - higric regime

For the area of Eastern Serbia, the average annual relative humidity of air was calculated (Table 6) for the reference period 1961-1990 and it was 75.5% (column c), and for the period 1991-2012 it was 74.7% (column d). The obtained results show a decrease in the relative humidity of air for the period 1991-2012 of only -0.8% (column e).

However, the distribution and size of the shown decrease of the relative humidity of air for the period 1991-2012 by seasons is interesting. Based on shown in Table 7, it can be seen that in the period 1991-2012, the decrease in the average relative humidity of air for the spring season was -1.0%, and for the summer season the decrease was -3.2% (column h). Thereby, for the same period the average relative humidity of air for the winter season increased by about 0.1%, and for the autumn season increased by 0.9% (column h). The results show that for the period 1991-2012, generally there was a decrease in the relative humidity of air, with the largest decrease in the summer and then the spring season, while the largest increase in the average relative humidity of air was in the autumn and then the winter season (Figure 5).

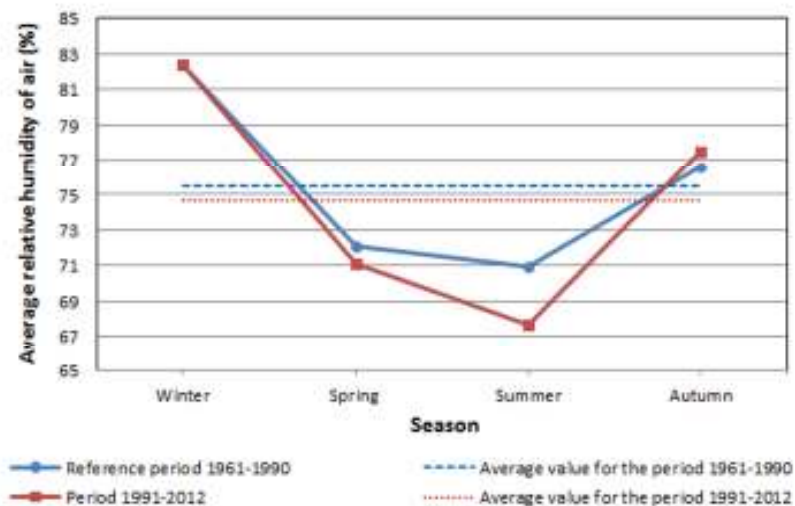


Figure 5. Comparative representation of the relative humidity of air for the reference period 1961-1990 and the period 1991-2012, by seasons and the average humidity of air for the specified periods in Eastern Serbia

The most humid season for both reference periods was the winter and was almost identical, 82.4%, while the driest was the summer season, with a percentage of humidity from 70.9% (period 1961-1990) to 67.7% (period 1991-2012) (column d and f). The autumn was more humid than the spring (76.6% versus 72.1% for the period 1961-1990 and 77.5% versus 71.1% for the period 1991-2012) (columns d and f), although the autumn was minimally warmer in both periods.

By comparing, for the reference period 1961-1990, the average relative humidity of air in Eastern Serbia with the average relative humidity of air by seasons, it is noted that for the winter season, the humidity of air increased by 9.1%, for the spring season decreased by -4.5%, for the summer season decreased by -6.1%, and for the autumn season increased by 1.5% (column e). For the period 1991-2012, compared to the average relative humidity of air in Eastern Serbia, the relative humidity of air for the winter season increased by 10.3%, for the spring season decreased by -4.8%, for the summer season decreased by -9.3% and for the autumn season increased by 3.7% (column g).

One of the reasons why the winter was the most humid probably was the air temperature that in the winter season was above zero on the average, so there was a possibility of evaporation. On the other hand, in the summer season, the average amounts of precipitation were the highest, but at that time, the air temperature was the highest and the sunny days longest. These factors during the summer season, unlike the winter, probably contribute to air drying, i.e., decrease in its relative humidity. Optimal humidity of air is one of the most important climatic factors particularly for the development of forests, because the humidity of air directly affect the vitality (physiology, reproduction and dynamics) of the forest population (Walther G-R., et al., 2002).

Conclusion

This paper shows the calculated average values of the air temperature, amount of precipitation and relative humidity of air, for the winter, spring, summer and autumn seasons, for 11 meteorological stations from the area of Eastern Serbia, as well as a summary for the reference period 1961-1990 and the period 1991-2012. These two analysed time intervals are not with the same number of years out of real reasons, and because of that, the recorded values are not absolutely relevant, but clearly indicate that they are in the trend of the modern climate change that is a characteristic for the region of Southern Europe.

Comparative analysis of the calculated elements shows that in the period 1991-2012, compared to the reference period 1961-1990, there was an increase in the average air temperature, decrease in the average amount of precipitation and decrease in the average relative humidity of air for the area of Eastern Serbia.

At the level of the analysed periods 1961-1990 and 1991-2012, it was established that the average annual air temperature in the period 1991-2012 increased by 0.7°C, that is, a trend of increase in the average annual air temperature of 0.35°C per decades was registered, which corresponded to a decade-long trend of increase in the average annual air temperature in the region of Southern Europe. Increase in the air temperature was noted at all meteorological stations for all seasons, ranging from 0.1°C to 2.1°C, except at the station of Žagubica for the winter season, where there was a decrease in the average temperature of -0.1°C. By seasons, the average increase in the annual air temperature for the period 1991-2012 compared to the reference period 1961-1990, for the winter season was 0.3°C, for the spring season 0.6°C, for the summer season 1.7°C and for the autumn season 0.4°C. The amplitude of oscillation of the average air temperature in the reference period 1961-1990 for the annual winter season was 4.5°C, for the spring season 5.2°C, for the summer season 5.9°C, and for the winter season 4.6°C, while for the period 1991-2012, the amplitude was higher and for the annual winter season was 4.6°C, for the spring season 6.1°C, for the

summer season 6.5°C and for the winter season 5.1°C. The temperature increase can be also seen in the ratio of the average maximum and average minimum air temperature by seasons; for the reference period 1961-1990 this ratio was 1.31, and for the period 1991-2012 it was 1.41.

Unlike the air temperature where there was an increase, for precipitation, the comparative analysis showed a decrease in the average amount of precipitation in the period 1991-2012 compared to the reference period 1961-1990 by 5.8 mm (i.e., 5.8 L·m⁻²), or 0.9%. Distribution of this decrease in precipitation has the following character by seasons: for the winter season, an increase in precipitation of 3.9 mm or 0.8% was presented, for the spring season a decrease in the amount of precipitation of -16.7 mm or -9.4% was reported, for the summer season a decrease in the amount of precipitation of -11.8 mm or -6.2% was shown, and for the winter season an increase in the amount of precipitation of 18.8 mm or 13.0% was reported.

By comparing the average relative humidity of air in Eastern Serbia for the period 1991-2012 with the reference period 1961-1990, a decrease of approximately 3.3% was shown. However, by comparing the average relative humidity of air by seasons for these two periods, the ratio was as follows: for the winter season an increase was about 0.1%, for the spring season a decrease of 1%, for the summer season a decrease of -3.2% and for the autumn season an increase in the relative humidity was 0.9%.

Reported changes of the analysed climate indicators in the area of Eastern Serbia can have particularly adverse effects on water resources and vegetation, that is, forests. Decrease in the amount of precipitation at the annual level in real terms reflects on the decrease in the amount of infiltrating waters into the soil and thus on the dynamic aquifer water reserves, that is, on the decrease in the abundance of wells and springs, then the decrease in the discharge of surface waters, as well as the soil moisture. On the other hand, an increase in the air temperature during the warm period of the year generally contributes to greater evaporation of aquifer and surface waters, as well as a faster decrease in the soil humidity. This, over time, can significantly affect the overall vegetation in this area.

In the area of Eastern Serbia, the meteorological stations within the observation network of the RHMS have been distributed predominantly in hypsometrically lower regions, close to major settlements, while there are relatively few stations in the mountainous regions. Due to the fact that in the area of Eastern Serbia forests are mainly on the hypsometrically higher terrains, in order to more realistic overview the impact of climatic factors on them, it is necessary to position meteorological stations in the mountainous areas as well, for example, on Stara planina and other mountains.

Reference

- Ahas R., Aasa A., Menzel A., Fedotova V.G., Scheifinger H. (2002). Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology*, Volume 22, Issue 14, DOI: 10.1002/joc.818 (1727-1738.)
- Bajat B., Pejović M., Luković J., Manojlović P., Ducić V., Mustafić S. (2012). Mapping average annual precipitation in Serbia (1961-1990) by using regression kriging. *Theor Appl Climatol*, DOI 10.1007/s00704-012-0702-2
- Chmielewski F.M., Muller A., Bruns E. (2004). Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-1990. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121: 69-78.
- EEA (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*, Report No 12/2012.
- Harrington R., Woilwod I., Sparks T. (1999). Climate change and trophic interactions. *Tree*, 14 (4): 146-150.
- Karadžić D. (2007). Klimatske promene i njihov potencijalni uticaj na prouzrokuje bolesti šumskog drveća i žbunja. U *Zbornik radova "Šume i promene klime"*. Beograd: (253-164).
- Kolić B. (1988). *Šumska ekoklimatologija*. Beograd: Naučna knjiga.
- Krstić M. (1999). Улога и значај метеорологије у шумарству. У *Зборник радова "Саветовање Метеоролошки подаци – национално благо"* (стр. 154-160). Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије, 25-28. октобар, Врњачка бања.
- Luković J., Bajat B., Blagojević D., Kilibarda M. (2013). *Spatial pattern of recent rainfall trends in Serbia (1961-2009)*. Reg Environ Change, DOI 10.1007/s10113-013-0459-x.

- Мунени R.C., Keeling C.D., Tucker C.J., Asrar G., Nemani R.R. (1997). Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 386: 698-702.
- Никић З. (2003). *Хидрогеолошка анализа формирања и регионализација малих вода*. Београд: Задужбина Андрејевић.
- Ракићевић Т. (1980). Климатско рејонирање СР Србије. У *Зборник радова "Географског института ПМФ"* (Свеска 27, стр. 29-42). Београд.
- Ракићевић Т. (1976). Климатске карактеристике источне Србије. У *Зборник радова "Географског института Јован Цвијић"* (књига 28, стр. 41-67). Београд.
- Ruml M., Vuković A., Vujadinović M., Đurđević V., Ranković-Vasić Z., Atanacković Z., Sivcev B., Marković N., Matijašević S., Petrović N. (2012). On the use of regional climate models: Implications of climate change for viticulture in Serbia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 158: 53-62
- Unkašević M., Tošić I. (2011). A statistical analysis of the daily precipitation over Serbia: trends and indices. *Theor Appl Climatol*, 106 (69-78), DOI 10.1007/s00704-011-0418-8.
- Живковић Н., Анђелковић Г. (2004). Висински градијенти падавина у Србији, *Гласник српског географског друштва*, Свеска 84(2), 31-36.
- Живковић Н., Смиљанић С. (2005). Изотермна карта источне Србије. *Гласник српског географског друштва*, 85(1), 31-38.
- Walther G-R, Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *International weekly journal of science Nature*, Vol 416, doi: 10.1038/416389a (389-395).
- www.ipcc.ch: *Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013: The Physical Science Basis (IPCC WGI AR5, 2013)*.

Appendix

Table 2. Average air temperatures and their differences for the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990

No.	Meteorological station	Average air temperature		Difference between the periods
		Period from - to		
		1961–1990	1991–2012	
		(°C)	(°C)	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	Negotin	11.1	12.2	1.1
2	Veliko Gradište	10.9	11.5	0.6
3	Zaječar	10.4	11.2	0.8
4	Niš	11.4	12.2	0.8
5	Petrovac na Mlavi	11.0	11.8	0.8
6	Sokobanja	10.1	11.0	0.9
7	Žagubica	9.5	10.2	0.7
8	Pirot	10.5	11.4	0.9
9	Dimitrovgrad	9.7	10.2	0.5
10	Babušnica	9.7	10.6	0.9
11	Crni vrh	6.4	6.9	0.5
Average air temperature		10.1	10.8	0.7

Table 3. Average seasonal air temperatures, their difference compared to the average seasonal temperature for the reference period and the difference of the average seasonal air temperatures between the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990

No.	Meteorological station	Season	Average air temperature				Difference between the periods (°C*)
			Period from - to				
			1961-1990		1991-2012		
			Average	Difference	Average	Difference	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
			(°C)	(r°C*)	(°C)	(r°C*)	(°C*)
1	Negotin	3/W	0.4	0.3	1.1	0.7	0.7
		II/Sp	11.4	1.1	12.5	1.6	1.1
		Jl/Su	21.2	1.9	23.2	2.2	2.0
		J/A	11.3	0.7	11.8	0.8	0.5
2	Veliko Gradište	3/W	0.6	0.5	1.0	0.6	0.4
		II/Sp	11.3	1.0	11.8	0.9	0.5
		Jl/Su	20.2	0.9	21.7	0.7	1.5
		J/A	11.5	0.9	11.7	0.7	0.2
3	Zaječar	3/W	0.1	0.0	0.6	0.2	0.5
		II/Sp	10.7	0.4	11.5	0.6	0.8
		Jl/Su	20.2	0.9	21.9	0.9	1.7
		J/A	10.7	0.1	10.9	-0.1	0.2
4	Niš	3/W	1.3	1.2	1.7	1.3	0.4
		II/Sp	11.7	1.4	12.2	1.3	0.5
		Jl/Su	20.6	1.3	22.4	1.4	1.8
		J/A	11.8	1.2	12.4	1.4	0.6
5	Petrovac na Mlavi	3/W	1.0	0.9	1.4	1.0	0.4
		II/Sp	11.5	1.2	11.8	0.9	0.3
		Jl/Su	20.2	0.9	21.8	0.8	1.6
		J/A	11.4	0.8	12.3	1.3	0.9
6	Sokobanja	3/W	0.3	0.2	0.7	0.3	0.4
		II/Sp	10.3	0.0	11.2	0.3	0.9
		Jl/Su	19.3	0.0	21.1	0.1	1.8
		J/A	10.7	0.1	11.1	0.1	0.4
7	Žagubica	3/W	-0.4	-0.5	-0.5	-0.9	-0.1
		II/Sp	9.8	-0.5	10.3	-0.6	0.5
		Jl/Su	18.6	-0.7	20.2	-0.8	1.6
		J/A	10.0	-0.6	10.3	-0.7	0.3
8	Pirot	3/W	0.8	0.7	1.1	0.7	0.3
		II/Sp	10.8	0.5	11.4	0.5	0.6
		Jl/Su	19.5	0.2	21.5	0.5	2.0
		J/A	11.0	0.4	11.8	0.8	0.8
9	Dimitrovgrad	3/W	0.1	0.0	0.2	-0.2	0.1
		II/Sp	9.8	-0.5	10.1	-0.8	0.3
		Jl/Su	18.6	-0.7	19.9	-1.1	1.3
		J/A	10.3	-0.3	10.6	-0.4	0.3
10	Babušnica	3/W	0.0	-0.1	0.3	-0.1	0.3
		II/Sp	9.9	-0.4	10.7	-0.2	0.8
		Jl/Su	18.5	-0.8	20.6	-0.4	2.1
		J/A	10.2	-0.4	10.8	-0.2	0.6
11	Crni vrh	3/W	-3.2	-3.3	-2.9	-3.3	0.3
		II/Sp	6.3	-4.0	6.4	-4.5	0.1
		Jl/Su	15.3	-4.0	16.7	-4.3	1.4
		J/A	7.2	-3.4	7.3	-3.7	0.1
Average seasonal air temperature		3/W	0.1		0.4		0.3
		II/Sp	10.3		10.9		0.6
		Jl/Su	19.3		21.0		1.7
		J/A	10.6		11.0		0.4

Legend: 3/W-winter; II/Sp-spring; Jl/Su-summer; J/A-autumn

Table 4. Average amounts of precipitation and their differences for the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990

No.	Meteorological station	Average precipitation		Difference between the periods	
		Period from - to			
		1961-1990.	1991-2012.	(mm)	(%)
		(mm)	(mm)		
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
1	Negotin	646.0	603.0	-43.0	-6.7
2	Veliko Gradište	674.8	658.2	-16.6	-2.5
3	Zaječar	610.5	580.6	-29.9	-4.9
4	Niš	589.6	591.8	2.2	0.4
5	Petrovac na Mlavi	696.1	686.6	-9.5	-1.4
6	Sokobanja	669.6	684.0	14.4	2.2
7	Žagubica	645.4	637.7	-7.7	-1.2
8	Pirot	604.3	569.1	-35.2	-5.8
9	Dimitrovgrad	635.5	636.1	0.6	0.1
10	Babušnica	591.0	669.8	78.8	13.3
11	Crni vrh	810.1	791.9	-18.2	-2.2
Average precipitation amounts by meteorological stations		652.1	646.3	-5.8	-0.9

Table 6. Average relative humidity of air and its differences for the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990

No.	Meteorological station	Average relative humidity of air		Difference between the periods
		Period from - to		
		1961-1990.	1991-2012.	(r%)
		(%)	(%)	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	Negotin	73.0	69.7	-3.3
2	Veliko Gradište	74.3	72.6	-1.7
3	Zaječar	75.6	72.5	-3.1
4	Niš	70.7	69.2	-1.5
5	Petrovac na Mlavi	76.1	74.5	-1.6
6	Sokobanja	75.6	78.0	2.4
7	Žagubica	77.8	82.5	4.7
8	Pirot	75.2	72.6	-2.6
9	Dimitrovgrad	72.1	73.1	1
10	Babušnica	78.3	78.7	0.4
11	Crni vrh	81.8	78.1	-3.7
Average relative humidity of air (by meteorological stations)		75.5	74.7	-0.8

Table 5. Average seasonal amounts of precipitation, their participation in the average precipitation for the reference period and the difference of the average seasonal precipitation between the period 1991-2012 and the reference period 1961-1990

No.	Meteorological station	Season	Average seasonal precipitation				Difference of the seasonal precipitation between the periods	
			Period from - to					
			1961-1990		1991-2012			
			Average	Participation	Average	Participation	(mm)	(%)
(a)	(b)	(c)	(mm)	(%*)	(mm)	(%*)	(h)	(i)
			(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
1	Negotin	3/W	148.6	23.0	155.0	25.7	6.4	4.3
		II/Sp	187.5	29.0	136.1	22.6	-51.4	-27.4
		Jl/Su	156.6	24.3	158.1	26.2	1.5	1.0
		J/A	153.3	23.7	153.8	25.5	0.5	0.3
2	Veliko Gradište	3/W	150.5	22.3	139.8	21.2	-10.7	-7.1
		II/Sp	173.5	25.7	157.3	23.9	-16.2	-9.3
		Jl/Su	212.0	31.4	197.4	30.0	-14.6	-6.9
		J/A	138.8	20.6	163.7	24.9	24.9	17.9
3	Zaječar	3/W	135.3	22.1	135.0	23.3	-0.3	-0.2
		II/Sp	175.1	28.7	138.2	23.8	-36.9	-21.1
		Jl/Su	163.5	26.8	163.2	28.1	-0.3	-0.2
		J/A	136.6	22.4	144.2	24.8	7.6	5.6
4	Niš	3/W	135.2	22.9	132.1	22.3	-3.1	-2.3
		II/Sp	163.3	27.7	161.2	27.2	-2.1	-1.3
		Jl/Su	156.6	26.6	142.9	24.2	-13.7	-8.7
		J/A	134.5	22.8	155.6	26.3	21.1	15.7
5	Petrovac na Mlavi	3/W	145.7	20.9	149.9	21.8	4.2	2.9
		II/Sp	188.7	27.1	160.3	23.4	-28.4	-15.1
		Jl/Su	215.9	31.0	206.3	30.0	-9.6	-4.4
		J/A	145.8	21.0	170.1	24.8	24.3	16.7
6	Sokobanja	3/W	159.4	23.8	165.6	24.2	6.2	3.9
		II/Sp	174.0	26.0	164.3	24.0	-9.7	-5.6
		Jl/Su	179.2	26.8	175.8	25.7	-3.4	-1.9
		J/A	157.0	23.4	178.3	26.1	21.3	13.6
7	Žagubica	3/W	127.1	19.7	132.8	20.8	5.7	4.5
		II/Sp	176.9	27.4	159.6	25.0	-17.3	-9.8
		Jl/Su	204.1	31.6	182.9	28.7	-21.2	-10.4
		J/A	137.3	21.3	162.4	25.5	25.1	18.3
8	Pirot	3/W	125.8	20.8	117.3	20.6	-8.5	-6.8
		II/Sp	162.6	26.9	152.0	26.7	-10.6	-6.5
		Jl/Su	179.7	29.8	161.2	28.3	-18.5	-10.3
		J/A	136.2	22.5	138.6	24.4	2.4	1.8
9	Dimitrovgrad	3/W	131.7	20.7	129.1	20.3	-2.6	-2.0
		II/Sp	172.5	27.2	165.1	25.9	-7.4	-4.3
		Jl/Su	191.9	30.2	183.7	28.9	-8.2	-4.3
		J/A	139.4	21.9	158.2	24.9	18.8	13.5
10	Babušnica	3/W	132.7	22.5	155.2	23.2	22.5	17.0
		II/Sp	156.0	26.4	174.6	26.1	18.6	11.9
		Jl/Su	163.2	27.6	178.9	26.7	15.7	9.6
		J/A	139.1	23.5	161.1	24.0	22.0	15.8
11	Crni vrh	3/W	138.7	17.1	162.2	20.5	23.5	16.9
		II/Sp	220.3	27.2	198.3	25.0	-22.0	-10.0
		Jl/Su	276.4	34.1	218.4	27.6	-58.0	-21.0
		J/A	174.7	21.6	213.0	26.9	38.3	21.9
Average precipitation by meteorological stations		3/W	139.2	21.3	143.1	22.1	3.9	2.8
		II/Sp	177.3	27.2	160.6	24.9	-16.7	-9.4
		Jl/Su	190.8	29.3	179.0	27.7	-11.8	-6.2
		J/A	144.8	22.2	163.6	25.3	18.8	13.0

Legend: 3/W-winter; II/Sp-spring; Jl/Su-summer; J/A-autumn

Table 7. Seasonal average relative humidity of air, its difference compared to the average seasonal relative humidity of air for the reference period and the difference of the seasonal average relative humidity of air between the 1991-2012 and the reference period 1961-1990

No.	Meteorological station	Season	Average seasonal relative humidity of air				Difference between the periods (r%)
			Period from - to				
			1961-1990		1991-2012		
			Average	Difference	Average	Difference	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
1	Negotin	3/W	81.1	-1.3	78.5	-3.9	-2.6
		II/Sp	70.4	-1.7	65.2	-5.9	-5.2
		JI/Su	65.3	-5.6	60.4	-7.3	-4.9
		J/A	75.2	-1.4	74.7	-2.8	-0.5
2	Veliko Gradište	3/W	81.2	-1.2	80.7	-1.7	-0.5
		II/Sp	69.8	-2.3	67.7	-3.4	-2.1
		JI/Su	70.9	0.0	67.5	-0.2	-3.4
		J/A	75.3	-1.3	74.7	-2.8	-0.6
3	Zaječar	3/W	80.9	-1.5	78.8	-3.6	-2.1
		II/Sp	73.1	1.0	68.8	-2.3	-4.3
		JI/Su	70.8	-0.1	65.5	-2.2	-5.3
		J/A	77.5	0.9	76.9	-0.6	-0.6
4	Niš	3/W	78.9	-3.5	78.0	-4.4	-0.9
		II/Sp	65.9	-6.2	64.7	-6.4	-1.2
		JI/Su	64.9	-6.0	61.6	-6.1	-3.3
		J/A	73.0	-3.6	72.7	-4.8	-0.3
5	Petrovac na Mlavi	3/W	84.0	1.6	84.0	1.6	0.0
		II/Sp	72.8	0.7	70.3	-0.8	-2.5
		JI/Su	71.6	0.7	67.5	-0.2	-4.1
		J/A	75.9	-0.7	75.8	-1.7	-0.1
6	Sokobanja	3/W	82.4	0.0	84.5	2.1	2.1
		II/Sp	73.4	1.3	75.0	3.9	1.6
		JI/Su	71.3	0.4	71.9	4.2	0.6
		J/A	75.4	-1.2	80.5	3.0	5.1
7	Žagubica	3/W	84.1	1.7	88.1	5.7	4.0
		II/Sp	74.5	2.4	78.5	7.4	4.0
		JI/Su	74.1	3.2	78.5	10.8	4.4
		J/A	78.6	2.0	85.4	7.9	6.8
8	Piroć	3/W	81.9	-0.5	81.1	-1.3	-0.8
		II/Sp	71.8	-0.3	68.1	-3.0	-3.7
		JI/Su	70.5	-0.4	66.8	-0.9	-3.7
		J/A	76.8	0.2	74.6	-2.9	-2.2
9	Dimitrovgrad	3/W	79.1	-3.3	80.7	-1.7	1.6
		II/Sp	68.3	-3.8	69.1	-2.0	0.8
		JI/Su	67.8	-3.1	67.6	-0.1	-0.2
		J/A	73.4	-3.2	75.2	-2.3	1.8
10	Babušnica	3/W	84.8	2.4	87.8	5.4	3.0
		II/Sp	74.6	2.5	79.7	8.6	5.1
		JI/Su	74.7	3.8	66.1	-1.6	-8.6
		J/A	79.1	2.5	81.3	3.8	2.2
11	Crni vrh	3/W	87.7	5.3	84.7	2.3	-3.0
		II/Sp	78.4	6.3	74.8	3.7	-3.6
		JI/Su	78.1	7.2	71.5	3.8	-6.6
		J/A	82.9	6.3	81.1	3.6	-1.8
Average seasonal relative humidity of air (for 1 meteorological station)	3/W	82.4	9.1	82.4	10.3	0.1 ⁺	
	II/Sp	72.1	-4.5	71.1	-4.8	-1.0	
	JI/Su	70.9	-6.1	67.7	-9.3	-3.2	
	J/A	76.6	1.5	77.5	3.7	0.9	

Legend: 3/W-winter; II/Sp-spring; JI/Su-summer; J/A-autumn; 0.1⁺-difference occurred due to rounding to one decimal place

**ПРИКАЗ НЕКИХ ИНДИКАТОРА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА НА ПОДРУЧЈУ
ИСТОЧНЕ СРБИЈЕ У ПЕРИОДУ 1991-2012. ГОДИНА У ОДНОСУ НА
РЕФЕРЕНТНИ ПЕРИОД 1961-1990. ГОДИНА**

ЗОРАН НИКИЋ¹, МИЛЕНА АНЂЕЛИЋ¹, ЉУБОМИР ЛЕТИЋ¹, ВАСО МРВАЉЕВИЋ¹,
ВЕСНА НИКОЛИЋ¹

¹*Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Одсек за еколошки инжењеринг у заштити земљишних
и водних ресурса, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд*

Сажетак: Климатске промене до којих је дошло крајем прошлог и почетком овог века, имају одређеног утицаја између осталог и на шуме. За територију источне Србије за два периода климатских осматрања, референтни период 1961–1990. године и период 1991-2012. године, урађена је упоредна анализа следећих климатских елемената: температуре ваздуха, количине падавина и релативне влажности ваздуха. Прорачуни су спроведени на основу прикупљених и систематизованих података са 11 метеоролошких станица (6 синоптичких/главних климатолошких и 5 обичних климатолошких) које су у саставу Републичког хидрометеоролошког завода, а налазе се на простору источне Србије. Анализа аномалија температуре ваздуха и падавина као индикатора климатских промена за период 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990. година урађена је посебно за сваку од четири годишње сезоне (зима, пролеће, лето, јесен) и сумарно за сваки период. Резултати упоредне анализе показују да је у периоду 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990, дошло до повишења просечне годишње температуре ваздуха као и до повишења просечне температуре ваздуха за све четири сезоне, а до смањења просечних годишњих количина падавина и смањења релативне влажности ваздуха.

Кључне речи: климатске промене, референтни период, годишње сезоне, климатски елементи, источна Србија.

Увод

На квантитативне и квалитативне карактеристике шума имају утицаја природни и антропогени фактори. Један од природних фактора јесте и клима на предметном подручју. Утицај климатских фактора на развој шумске састојине, па и укупног живог света на Земљи је изузетан још од настанка првих живих организама. Њихови фосилни остаци показују како се биљни и животињски свет прилагођавао и мењао током геолошке историје, између осталог и под утицајем климатских промена. О узајамној повезаности климе и шума постоје бројна и веома значајна истраживања у свету и код нас (Muneri R.C. et al., 1997; Harrington R. et al., 1999; Крстић М., 1999; Chmielewski F.M. et al., 2004; Karadžić D., 2007; Ruml M. et al., 2012. и други). Климатске промене и у рецентном времену су реалност и због тога се овом глобалном проблему посвећује значајна пажња истраживача широм света.

У најновијем Петом научном извештају Међувладиног панела за промену климе о научним основама промена климе (IPCC WGI AR5, 2013) изнете су кључне констатације и научне информације о антропогеним утицајима на климатски систем Земље. У Извештају се истиче да у већини региона света постоје очигледни докази о утицају антропогених фактора на климатски систем и да људске активности највероватније представљају доминантан узрок осмотреном глобалном загревању у периоду од средине 20. века до данас (слика 1). Резултати прорачуна линеарног тренда временских серија средњих годишњих глобалних приземних температура ваздуха изнад копна и мора за период 1880-2012. година дати у Извештају, показују пораст средње глобалне температуре ваздуха за око 0,85°C, са највећом брзином пораста у периоду 1979-2012, у просеку за 0,2°C по деценији. Пораст средње глобалне температуре изнад копна знатно је већи и у току последње три деценије износи око 0,3°C по деценији, а прва деценија 21. века најтоплија је деценија у периоду

инструменталних метеоролошких мерења започетих средином 19. века. При томе се истиче да је загревање у читавом климатском систему у току последњих деценија потврђено бројним подацима и научним информацијама које сведоче о загревању атмосфере и океана, смањењу снега и леденог покривача, порасту средњег нивоа мора и порасту атмосферских концентрација гасова са ефектом стаклене баште.

Слика 1. Одступања средње годишње глобалне приземне температуре ваздуха изнад копна и мора у односу на референтни климатолошки период 1961-1990. година за различите базе глобалних климатских података: MLOST, HadCRUT4, GISS (IPCC WGI AR5, 2013)

Анализа регионалних промена климе показује да је на свим континентима од средине двадесетог века такође забележен тренд пораста температуре ваздуха. Пораст средње годишње температуре ваздуха изнад Европе у периоду 1850-2011. година већи је од глобалног пораста и износи око $1,3^{\circ}\text{C}$ (ЕЕА, 2012). У региону Јужне Европе регистрован је тренд пораста средње годишње температуре ваздуха од $0,34^{\circ}\text{C}$ по деценији, док је у Централној и Северној Европи регистрован пораст температуре од $0,32^{\circ}\text{C}$ по деценији. У погледу тренда падавина регистрованом у току 20. века, постоје велике регионалне и локалне разлике. Тако на пример, у Централној и Северној Европи регистрован је тренд пораста средњих годишњих количина падавина, док је у региону Јужне Европе, коме припада и наша земља, регистрован претежно тренд смањења падавина који на појединим локалитетима достиже 70 mm по деценији.

Са променама климе долази до измена у функционисању свих живих бића, њиховом размножавању и распрострањењу. Климатске промене које се манифестују кроз повишење или снижавање температуре ваздуха, количине падавина, влажности ваздуха, броја сунчаних часова и промене других климатских елемената, могу утицати на појаву суша, ниво подземних вода, влажност земљишта, појаву болести и друго, а то се значајно одражава и на шуме. Доказано је да климатске промене доводе до рањивости дрвенастих врста, промене конкуренције између врста, до промене структуре или типа вегетације, смањује бројност или доводи до нестанка појединих врста (Karadžić D., 2007). Клима на простору Србије анализирана је релативно често са различитих гледишта (Живковић Н. и Анђелковић Г., 2004; Живковић Н. и Смиљанић С., 2005; Unkašević M. i Тошић I., 2011; Вајат В. и др., 2012; Luković J. и др., 2013 и други). Због тога сваки поуздани показатељ климатских промена за неко подручје добија на значајности са аспекта сагледавања тренутног стања виталности шумских састојина, прогнозирања осетљивости шума на промене климе и на основу тога, благовремено предузимање оптималних мера санације.

Циљ предметног рада јесте да кроз упоредну анализу за температуру ваздуха, количине падавина и релативну влажност ваздуха, покаже какве и колике су промене ових климатских елемената на подручју источне Србије у периоду 1991-2012. година у односу на референтни климатолошки период 1961-1990. година.

Материјал и методе рада

Подручје проучавања географски припада источној Србији и простире се приближно између $44^{\circ}45'$ и $42^{\circ}55'$ северне географске ширине и $21^{\circ}20'$ и $23^{\circ}00'$ источне географске дужине (слика 2). Административно овом простору припадају окрузи: Борски, Зајечарски, део Браничевског (источно од Пожаревца), део Пиротског (северно од Нишаве), део Поморавског (источно од Параћина) и део Нишавског (источно од Јужне Мораве и северно од Нишаве).

На простору источне Србије сучељавају се геотектонске јединице највишег реда: Дакијски басен и Карпато-балканиди у источном делу и Карпато-балканиди и Српско кристаласто језгро у западном делу. Наведене геотектонске целине одликују се специфичним историјско-геолошким процесима формирања терена, структурним, литолошким, геоморфолошким, физичко-географским, климатским, хидрогеолошким, хидрографским и другим условима средине (Никић З., 2003). Оваква различитост условила је и формирање бројних типова земљишта.

Слика 2. Географски положај проучаваног подручја и распоред метеоролошких станица

Легенда: ■-Синоптичка станица; ●-Климатолошка станица; 1-Неготин; 2-Велико Градиште; 3-Зајечар; 4-Ниш; 5-Петровац на Млави; 6-Сокобања; 7-Жагубица; 8-Пирот; 9-Димитровград; 10-Бабушница; 11-Црни Врх

На проучаваном подручју заступљен је континентални тип климе који према Ракићевић Т., (1980) карактерише годишња амплитуда температуре $\leq 23^{\circ}\text{C}$, а у летњој половини године излучи се преко 50% укупне суме падавина. Уопштено, клима на овом подручју последица је удаљености од мора (Јадранског) и отворености утицају континенталних ваздушних маса које из источне и северне Европе преко Влашке низије продиру у Тимочки басен и преко Панонске низије у Поморавље (Ракићевић Т., 1976). Међутим, најзначајнији климатски фактори који условљавају тип шуме су по Мајегу (у: Крстић М., 1999): количина падавина и релативна влажност ваздуха у вегетационом периоду, температура ваздуха (средња годишња и у вегетационом периоду), најнижа температура у току године, време појаве првог јесењег и пролећног мрза.

Са проучаваног подручја анализирани су метеоролошки подаци са укупно 11 метеоролошких станица и то 6 из категорије синоптичких/главних климатолошких и 5 из категорије обичних климатолошких, а које су у саставу метеоролошке осматрачке мреже Републичког хидрометеоролошког завода Србије (слика 2). Општи подаци о овим метеоролошким станицама приказани су у табели 1. Са ових 11 метеоролошких станица од климатских елемената за предметну анализу су употребљене средње месечне вредности за температуру ваздуха, падавине и релативну влажност ваздуха. Мерене вредности преузете су са сајта Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗС) и из публикованих метеоролошких годишњака РХМЗС. Упоредна анализа спроведена је за два временска интервала метеоролошких мерења и осматрања: стандардни климатолошки (референтни) тридесетогодишњи период 1961-1990. година и двадесетдвогодишњи период од 1991. до 2012. године и за четири сезоне, зима, пролеће, лето, јесен.

Табела 1. Основни подаци о метеоролошким станицама у источној Србији са којих су коришћени подаци метеоролошких мерења и осматрања за анализу климатских елемената и индикатора климатских промена (РХМЗС)

Прорачун вредности климатских елемената (температура ваздуха, падавине, релативна влажност ваздуха) извршен је посебно за референтни климатолошки период 1961-1990. година и посебно за период 1991-2012. година. На основу из базе података преузетих средњих дневних вредности за температуру ваздуха, падавине и релативну влажност ваздуха, рачунате су средње месечне вредности, затим средње вредности за сваку годишњу сезону за сваку метеоролошку станицу и на крају, средње годишње вредности за референтни период за сваку сезону и онда за референтни период. Прорачун вредности за годишње сезоне обављен је на основу претходно израчунатих средњих месечних, а затим су рачунате средње вредности за сезону за оба периода климатских осматрања.

Резултати и дискусија

Израчунати су следећи показатељи: просечна вредност за референтни период, просечна вредност за сваку метеоролошку станицу за годишњу сезону и просечне вредности за годишњу сезону за референтни период. Упоредни приказ израчунатих вредности извршен је израчунавањем одступања вредности одређеног елемента за годину, односно годишњу сезону за период 1991-2012. година, у односу на референтни период 1961-1990. година. Све израчунате вредности приказане су у табелама у додатку (appendix) и на графицима у тексту.

Температура ваздуха

На основу приказаног у табели 2. може се констатовати следеће:

- просечна температура ваздуха за референтни период 1961-1990. година је $10,1^{\circ}\text{C}$, а за период 1991-2012. година $10,8^{\circ}\text{C}$, односно просечна температура ваздуха за период 1991-2012, виша је за $0,7^{\circ}\text{C}$ у односу на период 1961-1990. година (слика 3),
- на свих 11 мерних места дошло је до повишења просечне температуре ваздуха у периоду 1991-2012. година у односу на период 1961-1990. година у распону од $0,5^{\circ}\text{C}$ до $1,1^{\circ}\text{C}$ (колона е).

Слика 3. Упоредни приказ температуре ваздуха по сезонама и средња годишња температура ваздуха за референтни период 1961-1990. и период 1991-2012. година у источној Србији

Основне карактеристике температурног режима ваздуха (табела 3) су следеће:

- За период 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990. година, за све метеоролошке станице, за све четири сезоне повишене су просечне температуре ваздуха осим за метеоролошку станицу Жагубица за годишњу сезону зима, где је дошло до смањења просечне температуре ваздуха за $0,1^{\circ}\text{C}$ (колона h).
- За референтни период 1961-1990. година, просечна температура ваздуха за годишњу сезону зима је $0,1^{\circ}\text{C}$, сезону пролеће $10,3^{\circ}\text{C}$, сезону лето $19,3^{\circ}\text{C}$ и сезону јесен $10,6^{\circ}\text{C}$ (колона d).
- За период 1991-2012. година просечна температура ваздуха за годишњу сезону зима је $0,4^{\circ}\text{C}$, сезону пролеће $10,9^{\circ}\text{C}$, сезону лето $21,0^{\circ}\text{C}$ и сезону јесен $11,0^{\circ}\text{C}$ (колона f).
- Упоредна анализа просечне температуре ваздуха за годишње сезоне за период 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990. година, показује повишење просечне температуре ваздуха за све четири сезоне, код зимске сезоне за $0,3^{\circ}\text{C}$, пролећне за $0,6^{\circ}\text{C}$, летње за $1,7^{\circ}\text{C}$ и јесење за $0,4^{\circ}\text{C}$ (колона h). Према Ahas R., et al. (2002) повишење температуре ваздуха по сезонама има утицаја да пролећа стижу раније, лета трају дуже и тиме се остварује дуже трајање вегетационог периода. Из овога реално следи да због дужег трајања вегетационог периода, вегетацији је потребно више влаге и веће количине вода.
- За референтни период 1961-1990. година распон просечних температура ваздуха за сезону зима је у опсегу од $-3,2^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $1,3^{\circ}\text{C}$ (Ниш), за сезону пролеће у опсегу од $6,3^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $11,7^{\circ}\text{C}$ (Ниш), за сезону лето од $15,3^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $21,2^{\circ}\text{C}$ (Неготин), за сезону јесен од $7,2^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $11,8^{\circ}\text{C}$ (Ниш) (колона d).
- За период 1991-2012. година распон просечних температура ваздуха за сезону зима је у опсегу од $-2,9^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $1,7^{\circ}\text{C}$ (Ниш), за сезону пролеће у

опсегу од $6,4^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $12,5^{\circ}\text{C}$ (Неготин), за сезону лето од $16,7^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $23,2^{\circ}\text{C}$ (Неготин), за сезону јесен од $7,3^{\circ}\text{C}$ (Црни Врх) до $12,4^{\circ}\text{C}$ (Ниш) (колона f).

- У референтном периоду 1961-1990. година највећи распон просечних температура ваздуха по годишњим сезонама је за летњу и износи $5,9^{\circ}\text{C}$, а најмањи за зимску сезону и износи $4,5^{\circ}\text{C}$, док је за пролеће $5,4^{\circ}\text{C}$ и за јесен $4,6^{\circ}\text{C}$. У периоду 1991-2012. година највећи распон просечне температуре је за летњу сезону и износи $6,5^{\circ}\text{C}$, а најмањи за зимску сезону и износи $4,6^{\circ}\text{C}$, док је за пролеће $6,1^{\circ}\text{C}$ и за јесен $5,1^{\circ}\text{C}$.

- Осцилације разлика просечних температура ваздуха у периоду 1991-2012. година током годишњих сезона су веће (просечна $t_{\text{max}}^{\circ}\text{C}_{\text{сезон.}}$: просечна $t_{\text{min}}^{\circ}\text{C}_{\text{сезон.}}$ = 1,4), него у претходном периоду (просечна $t_{\text{max}}^{\circ}\text{C}_{\text{сезон.}}$: просечна $t_{\text{min}}^{\circ}\text{C}_{\text{сезон.}}$ = 1,3).

- Јесен је просечно топлија од пролећа за оба анализирана временска интервала на 6 метеоролошких станица (Ниш, Жагубица, Пирот, Димитровград, Бабушница, Црни Врх), а пролеће је просечно топлије или су температуре исте са јесењим за оба периода на 2 метеоролошке станице (Неготин, Зајечар). На осталим метеоролошким станицама (Велико Градиште, Петровац на Млави, Соко бања) овај однос је различит, односно без неке правилности у односу на периоде и на сезоне.

- Највећа и најмања разлика просечне температуре ваздуха за годишњу сезону између периода 1991-2012. година и референтног периода 1961-1990. година, односно повишење просечне температуре износи: за зимску сезону највеће је за Неготин $0,7^{\circ}\text{C}$, а најмање за Димитровград $0,1^{\circ}\text{C}$, за пролећну сезону највеће је за Неготин $1,1^{\circ}\text{C}$, а најмање за Црни Врх $0,1^{\circ}\text{C}$, за летњу сезону највеће је за Бабушницу $2,1^{\circ}\text{C}$, а најмања за Димитровград $1,3^{\circ}\text{C}$, за јесењу сезону највеће је за Петровац на Млави $0,9^{\circ}\text{C}$, а најмање за Црни Врх $0,1^{\circ}\text{C}$ (колона h).

Поред претходно приказаног (табела 3) уочава се да за метеоролошке станице на хипсометријски вишим котама (Жагубица, Димитровград, Бабушница и Црни Врх) за све четири сезоне су исказане негативне вредности разлике просечних температура ваздуха (колона е и g), док је за метеоролошке станице које се налазе на хипсометријски нижим котама терена супротно, тј. позитивна вредност. Ово показује како повећање коте надморске висине мерног места осматрања (метеоролошке станице) доприноси ублажавању величине повишења температуре ваздуха за изучавану област, у овом случају за источну Србију. Конкретно на пример, за хипсометријски највишу метеоролошку станицу Црни Врх разлика температуре за све четири сезоне у односу на просечну сезонску температуру ваздуха је исказана кроз негативну вредност, а за хипсометријски најнижу метеоролошку станицу Неготин, вредности разлике температуре за сваку сезону су позитивне и то за оба временска интервала.

Падавине - плувиометријски режим

На простору Републике Србије заступљен је континентални плувиометријски режим. Његова карактеристика, између осталог, јесте током године појава два максимума и два минимума падавина. Према Kolić В., (1986) примарни максимум се јавља најчешће почетком летње сезоне, (јун), понекад крајем пролећа (мај), а секундарни максимум је најчешће средином јесење сезоне (октобар), у неким областима крајем јесени (новембар). Примарни минимум је крајем зимске сезоне (фебруар) или почетком пролећне сезоне (март), а секундарни минимум најчешће почетком јесење сезоне (септембар). Међутим, територија источне Србије у појединим својим деловима добија различите количине падавина као последица рељефа, односно надморске висине и експозиције падина (Ракићевић Т., 1976).

Просечна количина падавина (табела 4) за референтни период 1961-1990. година износи 652,1 *mm*, а за период 1991-2012. година, 646,3 *mm*. Са највећим просечним количинама падавина у оба периода је метеоролошка станица Црни Врх са 810,1 *mm* за референтни период 1961-1990. (колона с) и 791,9 *mm* за период 1991-2012. година (колона d), а са најмањим станица Ниш са количином 589,6 *mm* за референтни период 1961-1990. (колона с) и 591,8 *mm* за период 1991-2012. година (колона d).

Израчунато просечно смањење количине падавина по мерном месту је релативно мало и износи само 5,8 *mm* (колона е), тј. 5,8 $L \cdot m^{-2}$ или 0,9% (колона f), односно поређењем укупних просечних количина падавина разлика износи 64,1 *mm* (колона е), тј. 64,1 $L \cdot m^{-2}$ или такође 0,9%. Запажа се да је у периоду 1991-2012. година у поређењу са референтним периодом 1961-1990. година, на станици Неготин дошло до смањења просечне количине падавина у износу од 43,0 *mm* (43,0 $L \cdot m^{-2}$), а на станици Бабушница је исказано повећање просечне количине падавина у износу од 78,8 *mm* (78,8 $L \cdot m^{-2}$).

За референтни период 1961-1990. година просечна количина падавина по метеоролошкој станици по годишњој сезони (табела 5) је за зиму 139,2 *mm*, за пролеће 177,3 *mm*, за лето 190,8 *mm* и за јесен 144,8 *mm* (колона d), а за период 1991-2012. година за зимску сезону је 143,1 *mm*, за пролеће 160,6 *mm*, за лето 179,0 *mm* и за јесен 163,6 *mm* (колона f).

За референтни период 1961-1990. година од 11 анализираних метеоролошких станица највеће и најмање просечне количине падавина по годишњој сезони су следеће: за сезону зима највеће су 159,4 *mm* (Сокобања) и најмање 125,8 *mm* (Пирот), за сезону пролеће највеће су 220,3 *mm* (Црни Врх) и најмање 156,0 *mm* (Бабушница), за сезону лето највеће су 276,4 *mm* (Црни Врх) и најмање 156,6 *mm* (Неготин и Ниш), за сезону јесен највеће су 174,7 *mm* (Црни Врх) и најмање 134,5 *mm* (Ниш) (колона d). За период 1991-2012. година највеће и најмање просечне количине падавина по годишњој сезони су: за сезону зима највеће су 165,6 *mm* (Сокобања) и најмање 117,3 *mm* (Пирот), за сезону пролеће највеће су 198,3 *mm* (Црни Врх) и најмање 136,1 *mm* (Неготин), за сезону лето највеће су 218,4 *mm* (Црни Врх) и најмање 142,9 *mm* (Ниш), за сезону јесен највеће су 213,0 *mm* (Црни Врх) и најмање 138,6 *mm* (Пирот) (колона f).

Са аспекта расподеле падавина током године интересантно је колики је удео падавина појединих сезона у просечним количинама падавинама по метеоролошкој станици за периоде. У просечним количинама падавина по метеоролошкој станици за референтни период 1961-1990. година удео падавина за зимску сезону је 21,3%, за пролећну сезону 27,2%, за летњу сезону 29,3% и јесењу сезону 22,2% (колона е). За период 1991-2012. година, удео падавина за зимску сезону је 22,1%, за сезону пролеће 24,9%, за сезону лето 27,7% и јесен 25,3% (колона g). Приметно је да је у периоду 1991-2012. година дошло до благог умањења разлике између највеће и најмање количине падавина за сезону (лето 27,7% : зима 22,1%) (колона g), у поређењу са периодом 1961-1990. година где је тај однос био нешто израженији (лето 29,3% : зима 21,3%) (колона е).

Најкишовитија годишња сезона за оба временска интервала је лето, када је просечно пало 29,3% у референтном периоду 1961-1990. (колона е), односно 27,7% у период 1991-2012. (колона g), од просечне количине падавина у источној Србији. Најсувља сезона је зима, са просечно 21,3% (период 1961-1990), односно 22,1% (период 1991-2012) од просечне количине падавина. Међутим и из ових података се запажа да је у периоду 1991-2012. година дошло до смањења падавина у летњој сезони, а повећања у зимској сезони.

Занимљив је распоред исказаног смањења и повећања просечне количине падавина по годишњим сезонама у периоду 1991-2012. година. Израчунат по годишњим сезонама карактер и величина разлике количине падавина по метеоролошкој станици између периода 1991-2012. година и референтног периода 1961-1990. година је следећи: сезона зимска је са повећањем падавина за 3,9 *mm* (2,8%), сезона пролећна је са смањењем за 16,7 *mm* (9,4%), сезона летња је са смањењем за 11,8 *mm* (6,2%) и сезона јесења је са повећањем за 18,8 *mm* (13,0%) (колона h и i). Генерално, за источну Србију исказано је у периоду 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990. смањење просечне количине падавина за сезону пролеће и лето, а повећање за зиму и јесен (слика 4). При томе је између овог сезонског повећања и смањења падавина, веће смањење за 5,8 *mm* у периоду 1991-2012. година и то у вегетационом периоду године.

Слика 4. Упоредни приказ просечних количина падавина за референтни период 1961-1990. и период 1991-2012. година по сезонама и средње сезонске количине падавина за наведене периоде у источној Србији

Са гледишта укупних климатских промена одређени значај има констатовано генерално смањење укупне количине падавина у периоду 1991-2012. година. Међутим, уочава се да на свим метеоролошким станицама у оба периода највеће количине падавина се излуче у годишњој сезони пролеће и лето. У овим сезонама на хипсометријски вишим метеоролошким станицама забележене су веће количине падавина него на хипсометријски нижим. При томе на основу расположивих података приметан је већи број мерних места која су на хипсометријски нижим теренима у односу на станице из планинске области, што у маси података има одређену тежину. Реално је предпоставити да се смањење количина падавина неповољно одражава на квантитет и квалитет подземних и површинских вода и влаге у земљишту. и тиме директно на виталност шумске састојине.

Средња релативна влажност ваздуха – хигрични режим

За простор источне Србије израчуната просечна годишња релативна влажност ваздуха (табела 6) за референтни период 1961-1990. година износи 75,5% (колона с), а за период 1991-2012. година 74,7% (колона d). Добијени резултати показују смањење релативне влажности ваздуха за период 1991-2012. година од свега -0,8% (колона е).

Међутим, занимљив је распоред и величина исказаног смањења релативне влажности ваздуха за период 1991-2012. година по годишњим сезонама. На основу приказаног у табели 7. види се да за период 1991-2012. година, смањење просечне релативне влажности ваздуха за пролећну сезону износи -1,0%, а за летњу сезону смањење износи -3,2% (колона h). При томе за исти период просечна релативна влажност ваздуха за сезону зима већа је за око 0,1%, а за сезону јесен већа је за 0,9% (колона h). Добијени резултати показују да је за период 1991-2012. година генерално дошло до смањења релативне влажности ваздуха, при чему највеће смањење је у летњој и затим пролећној сезони, док је највеће повећање просечне релативне влажности ваздуха у јесењој и затим зимској сезони (слика 5).

Слика 5. Упоредни приказ релативне влажности ваздуха за референтни период 1961-1990. и период 1991-2012. година по сезонама и средња влажност ваздуха за наведене периоде у источној Србији

Највлажнија сезона за оба референтна периода је зима и износи скоро истоветно, 82,4%, док је најсувља сезона летња, са процентом влаге од 70,9% (период

1961-1990) до 67,7% (период 1991-2012) (колона d и f). Јесен је влажнија од пролећа (76,6% према 72,1% за период 1961-1990. и 77,5% према 71,1% за период 1991-2012) (колона d и f), иако је јесен минимално топлија у оба периода.

Поређењем за референтни период 1961-1990. година просечне релативне влажности ваздуха за источну Србију са просечним релативним влажностима ваздуха по сезонама, уочава се да је за зимску сезону влажност ваздуха већа за 9,1%, за пролећну сезону је мања за -4,5%, за летњу сезону је мања за -6,1%, а за јесењу сезону је већа за 1,5% (колона e). За период 1991-2012. година, у односу на просечну релативну влажност ваздуха за источну Србију, релативна влажност ваздуха за зимску сезону је већа за 10,3%, за пролећну сезону је мања за -4,8%, за летњу сезону је мања за -9,3%, а за јесењу сезону је већа за 3,7% (колона g).

Један од разлога да је зима највлажнија вероватно јесте температура ваздуха која је у зимској сезони просечно изнад нуле, па постоји могућност испаравања. Са друге стране у летњој сезони просечно су највеће количине падавина, али су тада највише температуре ваздуха и дуги сунчани дани. Ови фактори током летње сезоне за разлику од зимске, вероватно доприносе исушивању ваздуха, односно смањивању његове релативне влажности. Оптимална влажност ваздуха је један од значајних климатских фактора посебно за развој шума, јер влажност ваздуха непосредно утиче на виталност (физиологију, репродукцију и динамику) шумске популације (Walther G-R., et al., 2002).

Закључак

У раду су за подручје источне Србије, за 11 метеоролошких станица приказане израчунате просечне вредности температура ваздуха, количине падавина и релативне влажност ваздуха, за годишњу сезону зима, пролеће, лето и јесен, као и сумарно за референтни период 1961-1990. година и период 1991-2012. година. Ова два анализирана временска интервала нису са истим бројем година из реалних разлога и због тога забележене вредности нису апсолутно релевантне, али јасно указују да су у тренду савремених климатских промена које су карактеристичне за регион Јужне Европе.

Упоредна анализа израчунатих елемената показује да је у периоду 1991-2012. година у поређењу са референтним периодом 1961-1990. година, дошло до повишења просечне температуре ваздуха, смањења просечне количине падавина и смањења просечне релативне влажности ваздуха, за простор источне Србије.

На нивоу анализираних периода 1961-1990. година и 1991-2012. година, утврђено је повишење просечне годишње температуре ваздуха у периоду 1991-2012. година за 0,7°C, односно регистрован је тренд раста средње годишње температуре ваздуха од 0,35°C по деценији који кореспондира деценијском тренду пораста средње годишње температуре ваздуха у региону Јужне Европе. Повишење температуре ваздуха је констатовано на свим метеоролошким станицама за све сезоне, у распону од 0,1°C до 2,1°C, осим на станици Жагубица за сезону зима, где је дошло до смањења просечне температуре за -0,1°C. По годишњим сезонама просечно повишење годишње температуре ваздуха за период 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990. година, за сезону зима износи 0,3°C, за сезону пролеће 0,6°C, за сезону лето 1,7°C и за сезону јесен 0,4°C. Амплитуда осциловања просечне температуре ваздуха у референтном периоду 1961-1990. година за годишњу сезону зима износи 4,5°C, за пролеће 5,2°C, за лето 5,9°C, за зиму 4,6°C, док за период 1991-2012. година амплитуда је већа и за годишњу сезону зима износи 4,6°C, за пролеће 6,1°C, за лето 6,5°C и зиму 5,1°C. Повишење температуре види се и кроз однос просечне максималне и просечне минималне температуре ваздуха по сезони, за

референтни период 1961-1990. година тај однос износи 1,31, а за период 1991-2012. година износи 1,41.

За разлику од температуре ваздуха где је дошло до повишења, за падавине је упоредном анализом утврђено смањење количине просечних падавина у периоду 1991-2012. година у односу на референтни период 1961-1990. година за 5,8 *mm* (тј. 5,8 $L \cdot m^{-2}$) или за 0,9%. Распоред овог смањења падавина има следећи карактер по годишњим сезонама: за сезону зима исказано је повећање падавина за 3,9 *mm* или 0,8%, за сезону пролеће исказано је смањење количина падавина за -16,7 *mm* или -9,4%, за сезону лето је исказано смањење количина падавина за -11,8 *mm* или -6,2%, а за сезону зима исказано је повећање количине падавина за 18,8 *mm* или 13,0%.

Поређењем просечне релативне влажности ваздуха за источну Србију за период 1991-2012. година са референтним периодом 1961-1990. година, исказано је смањење за око 3,3%. Међутим, поређењем просечне релативне влажности ваздуха по годишњим сезонама за ова два периода, однос је следећи: за сезону зима повећање је око 0,1%, за сезону пролеће смањење је -1%, за сезону лето смањење је -3,2%, а за сезону јесен повећање релативне влажности ваздуха је 0,9%.

Исказане промене анализираних климатских индикатора на простору источне Србије могу имати посебно нежељене ефекте на ресурс вода и вегетације односно шума. Смањење количина падавина на годишњем нивоу реално се одражава на смањење количина инфилтрираних вода у подземље и тиме на динамичке резерве изданских вода односно смањивање издашности врела и извора, затим смањивање протицаја површинских водотокова, као и влаге у земљишту. Са друге стране повишење температуре ваздуха током топлог периода године генерално доприноси већем испаравању изданских и површинских вода, као и бржем смањивању влаге у земљишту. Ово се током времена значајно може одразити на укупну вегетацију на овом простору.

На простору источне Србије метеоролошке станице у саставу осматрачке мреже РХЗС распоређене су доминантно у хипсометријски нижим пределима, у близини већих насеља, док су у планинским пределима релативно малобројне. С обзиром на то да се на простору источне Србије шуме налазе углавном на хипсометријски вишим теренима, у циљу реалнијег сагледавања утицаја климатских фактора на њих, потребно је и у планинским областима постављење метеоролошких станица, на пример на Старој планини и другим планинама.

Литературу видети на страни 131

Додатак

Табела 2. Просечне температуре ваздуха и њихове разлике за период 1991-2012. година и референтни период 1961-1990. година

Табела 3. Сезонске просечне температуре ваздуха, њихова разлика у односу на просечну сезонску температуру за референтни период и разлика сезонских просечних температура ваздуха између периода 1991-2012. година и референтног периода 1961-1990. година

Табела 4. Просечне количине падавина и њихове разлике за период 1991-2012. година и референтни период 1961-1990. година

Табела 6. Просечне релативне влажности ваздуха и њихове разлике за период 1991-2012. година и референтни период 1961-1990. година

Табела 5. Сезонске просечне количине падавина, њихов удео у просечним падавинама за референтни период и разлика сезонских просечних падавина између периода 1991-2012. године и референтног периода 1961-1990. година

Табела 7. Сезонске просечне релативне влажности ваздуха, њихова разлика у односу на просечну сезонску релативну влажност ваздуха за референтни период и разлика сезонских просечних релативних влажности ваздуха између периода 1991-2012. година и референтног периода 1961-1990. година