

ANALYSIS OF THE CLIMATE CHANGE IN SLOVENIA: FLUCTUATIONS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS FOR THE PERIOD 1961-2011 (PART I)

DRAGAN MILOŠEVIĆ^{1*}, STEVAN SAVIĆ², IGOR ŽIBERNA³

¹ *Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Faculty of Science, University of Novi Sad; Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia*

² *Climatology and Hydrology Research Centre; Faculty of Science, University of Novi Sad; Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia*

³ *University of Maribor, Faculty of Arts, Department of Geography; Koroška cesta 160, Maribor, Slovenia*

Abstract: : This paper represents an analysis of the time series of selected meteorological parameters: mean, maximum and minimum air temperatures, sums of effective air temperature values with the temperature thresholds 5°C and 10°C, average precipitation quantities, number of days with frost, potential evapotranspiration and water balance. Study included data from 10 meteorological stations located on the territory of the Republic of Slovenia for the period 1961-2011. Analyzes were performed on a seasonal and annual basis. The obtained results showed a statistically significant positive trends of temperature parameters and potential evapotranspiration, while average precipitation quantities and water balance had a negative trend on the seasonal and annual basis. Positive trend of number of days with frost is present on most stations. In the second part of this paper, the obtained results were associated with the phenological data (data about the development of plants) in order to determine the intensity of correlation between them.

Key words: climate change, trends, Republic of Slovenia

Introduction

During the last few decades climate parameters were changing much faster than in the past. Air temperatures on global level show significant positive trend, especially during the last 30 years. Year 2011 is the twelfth warmest year since 1860 (0.34°C above the average for the standard normal period 1961-1990). Deviations of global annual precipitation quantities during the period 1900-2011 indicate that up to the middle of the XX century was less rainfall, followed by years with higher precipitation quantities, especially during the 60s and the first decade of the XXI century (compared to the precipitation quantity value for standard normal period). Year 2011 was the second rainiest years after 2010, but the amount of precipitation was distributed unevenly across regions (www.cru.uea.ac.uk).

Slovenia is situated in Central Europe on the contact of four distinct geographical regions: the Alps, the Dinaric Alps, subpannonian and submediterranean area. It extends between 45°25' and 46°30' north latitude and 13°23' and 16°36' east longitude (Ogrin in Prut, 2009). It covers an area of 20,273 km² and has a population of 2,055,527 according to the Statistical Office of the Republic of Slovenia on April 1, 2012 (www.stat.si).

* e-mail: draganmilosevic88@yahoo.com

Alpine, Mediterranean and continental climatic influences intertwine on the territory of Slovenia. However, most of Slovenia has a temperate continental climate (Ogrin, 2004). It is expected that some fluctuations of climate parameters took place and had been particularly pronounced in the last thirty years.

Climate change analysis in the Republic of Slovenia were made by Ogrin (2003; 2004), Ogrin and Prut (2009), Žiberna (2006; 2011) and Slovenian Meteorological Society (Roškar, 2010).

The aim of this study is to define the spatial and temporal characteristics and tendencies of selected meteorological parameters in the Republic of Slovenia. Comparing obtained results and results of other researchers will show are the changes of meteorological parameters in the Republic of Slovenia in accordance with the changes on the European continent or are there regional differences. In the following paper, which is connected with this study, obtained data from this paper is associated with the phenological data of selected plants in order to identify the impact of climate on vegetation.

Locations of meteorological stations, database and methods

In this paper the time series of selected meteorological parameters from 10 meteorological stations located on the territory of the Republic of Slovenia were used (figure 1, table 1). Data was analyzed for the period 1961-2011, except for station Bilje where data was recorded since 1963. Annual and seasonal variables were calculated from monthly values taken from the yearbooks of Slovenian Environmental Agency (ARSO).

Selected meteorological stations are located on the territory of different physical regions. In alpine macroregion meteorological stations Kredarica, Šmartno pri Slovenj Gradcu and Celje are located. The dinaric macroregion consists of meteorological stations located in Postojna, Ljubljana-Bežigrad and Novo Mesto. In subpannonian macroregion stations Maribor-Tabor, Murska Sobota-Rakičan and Lendava are located. The smallest macroregion is the submediterranean and within it is station Bilje. The relative height difference between the highest (Kredarica, 2514 m above sea level) and the lowest meteorological station (Bilje, 55 m above sea level) is 2459 m, while seven of ten investigated stations are located at an altitude between 188 and 455 m. Only station in Postojna (533 m above sea level) is characterized by higher altitude.

In this paper analyzed meteorological parameters are: air temperature (mean, maximum, minimum) and the sums of effective air temperature values with the temperature thresholds of 5°C and 10°C, average precipitation quantities, number of days with frost, potential evapotranspiration and water balance. Data was analyzed on a seasonal and annual basis. Simple linear regression and Man-Kendall test were used for obtaining trends and analyzing its statistical significance.

Simple linear regression was used to obtain trends of data time series on an annual and seasonal basis for all investigated parameters.

Mann-Kendall nonparametric statistical test (Sneyers, 1990) was used to demonstrate the statistical significance of trends. For the calculation software package MAKESENS was used, developed by the Finnish Meteorological Institute (Salmi et al., 2002). Statistical significance was defined at the level of freedom of 90%, 95%, 99% and 99.9%.

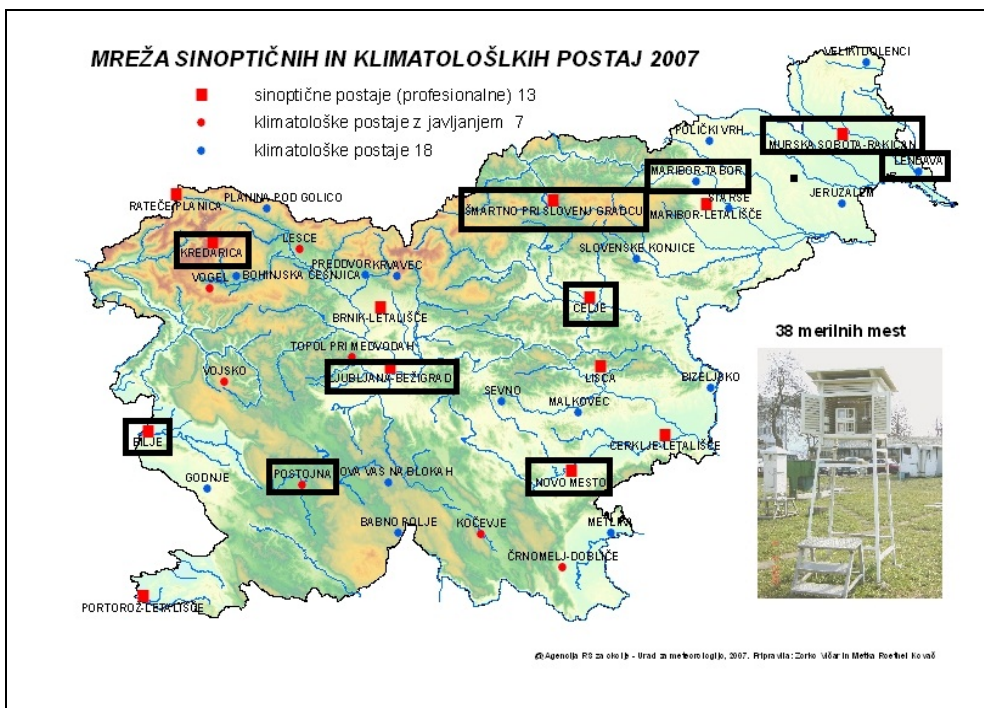


Figure 1. Locations of meteorological stations on the territory of the Republic of Slovenia (black rectangle-selected meteorological stations) (source: ARSO, 2007)

Table 1. Geographical coordinates, altitude, period of observation and type of meteorological stations in Slovenia (gl-main weather station, kl-climate station) (source: ARSO, 2012)

Meteorological stations	$\varphi^{\circ}\text{N}$	$\lambda^{\circ}\text{E}$	altitude (m)	Period of observation	Type
Kredarica (KR)	46°23'	13°51'	2514	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Postojna (PO)	45°46'	14°12'	533	01.01.1961-31.12.2011.	kl
Ljubljana-Bežigrad (LJB)	46°04'	14°31'	299	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Novo Mesto (NM)	45°48'	15°11'	220	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Celje (CLJ)	46°15'	15°15'	244	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Maribor- Tabor (MB)	46°32'	15°39'	275	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Šmartno pri Slovenj Gradu (ŠS)	46°29'	15°07'	455	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Murska Sobota-Rakičan (MS)	46°39'	16°11'	188	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Bilje (BLJ)	45°54'	13°38'	55	01.01.1963-31.12.2011.	gl
Lendava (LD)	46°34'	16°28'	195	01.01.1961-31.12.2011.	gl

Results and discussion

Trends of seasonal and annual mean, maximum and minimum air temperatures were analyzed. High positive trends of mean (table 2), maximum and minimum seasonal and annual temperatures indicate that there were changes in the second half of the XX and during the first decade of XXI century. This is in accordance with the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), who stated that the mean air temperature in the Northern Hemisphere during the second half of the twentieth century was "most likely" (chance > 90%) the highest in any 50 years period in the last 500 years (Solomon et al, 2007).

Table 2. Trends of seasonal and annual mean air temperature (°C/51y) in Slovenia in the period 1961-2011; bold⁺ - statistical significance of 90%, bold* - statistical significance of 95%, bold - statistical significance of 99% and bold*** - statistical significance of 99.9%**

ST.	WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN	YEAR
KR	1,8	2,0***	2,2***	0,3	1,5***
PO	1,7*	2,2***	2,7***	0,8	1,9***
LJB	2,5**	2,4***	2,9***	1,1*	2,3***
NM	2,6**	2,5***	3,1***	1,3*	2,4***
CLJ	2,5*	2,3***	2,7***	1,1*	2,2***
MB	2,4*	2,3***	3,0***	1,1*	2,2***
ŠS	2,1*	2,0***	2,5***	0,9⁺	1,9***
MS	2,4*	2,0***	2,7***	1,0⁺	2,0***
BLJ	0,2	2,0***	2,1***	0,9⁺	1,4***
LD	2,0*	1,3*	2,1***	0,4	1,4***

On all stations are present positive and statistically significant trends of mean air temperature, both on seasonal and annual level. The highest trend values are obtained for summer (3.1°C/51y in NM, 3.0°C/51y in MB, 2.9°C/51y in LJB), winter (2.6°C/51y in NM, 2.5°C/51y in LJB and CLJ, 2.4°C/51y in MB) and spring (2.5°C/51y in NM, 2.4°C/51y in LJB, 2.3°C/51y in MB and CLJ). The lowest trend values are obtained for autumn (1.3°C/51y in NM, 1.1°C/51y in LJB, MB and CLJ). All stations show statistically significant positive trend of mean annual air temperature. The largest increase occurred at stations: NM (2.4°C/51y) LJB (2.3°C/51y), MB and CLJ (2.2°C/51y) and they are all statistically significant at the level of 99.9%.

Similar results were obtained for the values of trends of mean maximum and mean minimum air temperature. The highest and statistically most significant positive trends of mean maximum air temperature are obtained for summer (3.3°C/51y in PO, 3.1°C/51y in MS, 3.0°C/51y in MB), winter (3.2°C/51y in CLJ, 2.9°C/51y in ŠS, 2.8°C/51y in LJB and MS) and spring (2.9°C/51y in PO, 2.6°C/51y in CLJ, 2.5°C/51y in MS). Lower trend values are obtained for autumn (1.0°C/51y in PO, 0.7°C/51y in CLJ and MS). On annual level all stations have statistically significant positive trends of mean maximum air temperature at the significance level of 99.9%. The largest increase occurred at stations: PO (2.4°C/51y), MS and LJ (2.3°C/51y), MB and ŠS (2.2°C/51y) while the lowest trend values are recorded at stations KR and BLJ (1.3°C/51y respectively 1.3°C/49y). The highest positive air

temperature trend is obtained for the values of the mean minimum air temperature. Trends of mean minimum air temperature are most pronounced and statistically significant in summer (3.5°C/51y in NM, 3.1°C/51y in MB, 2.9°C/51y in MS), winter (3.0°C/51y in NM, 2.7°C/51y in MS, 2.6°C/51y in CLJ) and spring (2.9°C/51y in NM, 2.4°C/51y in MB, 2.2°C/51y in LJB and KR and 2.2°C/49y in BLJ). On annual level all stations have statistically significant positive trend of mean minimum air temperature. The largest increase occurred at stations: NM (2.9°C/51y), MB (2.5°C/51y) and MS (2.3°C/51y), while the lowest trends were on stations: KR, PO, ŠS and LD (1.7°C/51y).

The sums of effective air temperature values with the temperature thresholds 5°C and 10°C were analyzed to get a better insight into the amount of heat that is on the disposal for plants development in Slovenia. The results showed that all stations reported statistically significant positive trends of effective air temperature sums of 5°C (621.3°C/51y in NM, 580.3°C/51y in LJB, 575.9°C/51y in MB) and 10°C (488.4°C/51y in NM, 465.4°C/51y in MB, 449.9°C/51y in LJB), which means that plants have a greater amount of heat available during the year. This is favourably only to a certain extent because each plant has different requirements for heat and an upper temperature limit to which its development is optimal.

The largest increase of the investigated temperature parameters occurred in the urban areas in Slovenia (LJB, MB, CLJ and NM). In these cities is evident the influence of urban heat island effect because all meteorological stations are located within the urban areas. In smaller places (BLJ, LD and PO) and on higher altitudes (KR and ŠS) the temperature rise has lower values. Meteorological station Kredarica (KR) is situated on 2514 m above sea level and there is no significant direct impact of anthropogenic influences why it is a good indicator of air temperature fluctuations.

Table 3. Trends of seasonal and annual mean precipitation quantities (mm/51y) in Slovenia in the period 1961-2011; bold⁺ - statistical significance of 90%, bold^{*} - statistical significance of 95%, bold^{} - statistical significance of 99% and bold^{***} - statistical significance of 99.9%**

ST.	WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN	YEAR
KR	7,8	10,7	4,8	22,0	144,3
PO	7,5	-19,8	-34,0[*]	4,6	-127,1
LJB	-7,3	-26,3	-13,2	16,3	-92,4
NM	9,9	-8,2	-13,1	15,2	15,4
CLJ	-9,4	-18,8	-16,5	10,0	-100,5
MB	-12,4	-19,4	-6,1	-10,0	-139,2⁺
ŠS	-1,5	-16,9	6,8	-0,9	-38,3
MS	-6,3	-6,7	0,2	-5,6	-51,7
BLJ	-23,4	-23,4	-44,7[*]	2,2	-273,0[*]
LD	-6,2	-18,7	-10,6	-4,5	-115,2

This paper presents an analysis of mean seasonal and annual precipitation quantity trends. Most stations have low and negative trend values which are not statistically significant (table 3). Only a few stations in summer (-34.0 mm/51y in PO and -44.7 mm/49y in BLJ) and on annual level (-139.2 mm/51y in MB and -273.0 mm/49y in BLJ) reported statistically significant negative trends. The trend of precipitation during the summer

indicates that on the stations BLJ nad PO there is approximately $\frac{1}{4}$ and respectively $\frac{1}{3}$ less precipitation. At station MB there is a negative trend of mean annual precipitation quantity of about 10% less precipitation, while at the station BLJ in the submediterranean region precipitation amount has declined by 20% compared to the average amount of precipitation for the investigated period. Due to less precipitation in Slovenia and higher air temperatures, especially during the spring and summer, the plants are under a greater pressure of changes made in environmental conditions.

The analysis of seasonal (except summer) and annual number of days with frost are investigated for 8 meteorological stations. At meteorological station KR does not exist recorded data on frost, while the station in LD had many years when data was not recorded so they are not analyzed. In winter, a statistically significant positive trend of the number of days with frost is present at stations: CLJ (5 days/51y), MB and NM (4 days/51y). Statistically most significant trends are obtained for stations with decreasing number of days with frost in winter (-10 days/51y in ŠS and -11 days/51y in PO). During the spring (-5 days/51y in PO, -4 days/51y in ŠS) and autumn (-4 days/51y in ŠS, -3 days/51y in PO and MB) there is a negative trend in the number of days with frost on most stations and some of them show statistical significance. Annually on most stations is present positive trend of number of days with frost, but without statistical significance (18 days/51y in CLJ, 8 days/51y in LJB and 8 days/49y in BLJ). Statistically significant trends on annual level (99.9% on Man-Kendall test) have negative values at stations PO (-61 days/51y) and ŠS (-55 days/51y). The largest decrease in the number of days with frost during the year was recorded at stations placed at higher altitudes in mountainous areas (ŠS and PO) as a result of high positive trends of air temperature parameters recorded at these stations.

The values of mean seasonal and annual potential evapotranspiration by Penman-Monteith method was analyzed. Daily values of potential evapotranspiration were taken from Slovenian Environmental Agency (ARSO). Calculated trends of seasonal and annual potential evapotranspiration are positive and statistically significant at most investigated stations (table 4). The biggest statistically significant positive trends are in summer (25.1 mm/49y in BLJ, 17.2 mm/51y in NM, 17.0 mm/51y in CLJ) and spring (16.2 mm/49y in BLJ, 12.0 mm/51y in NM, 11.8 mm/51y in LJB) at all stations, while in autumn (7.7 mm/49y in BLJ, 2.4 mm/51y in LJB) and winter (3.9 mm/49y in BLJ, 3.3 mm/51y in LJB) they are smaller. On an annual basis all stations have positive trends of potential evapotranspiration. Positive trends on 7 of 10 stations are statistically significant on the level of 99.9% and the highest are for stations: BLJ (159.0 mm/49y), LJB (102.3 mm/51y) and NM (102.1 mm/51y). Based on the results obtained for the investigated area the temperature is increasing, precipitation is decreasing and consequently evapotranspiration have higher values. This way, the plants through the stomata lose more humidity which adversely affects their development.

Water balance was calculated from the difference between the precipitation quantities and potential evapotranspiration values, while water runoff was not taken in the calculation due to the lack of data. During all seasons, except autumn, and on annual level negative trend of water balance values is present on most stations. Statistically significant negative trends of water balance occur during summer (-69.8 mm/49y in BLJ, -44.4 mm/51y in PO, -33.5 mm/51y in CLJ) and spring (-38.2 mm/51y in LJB, -29.9 mm/51y in MB, -29.2 mm/51y in CLJ). During the winter, most stations show negative trend of water balance but without statistical significance (up to -27.3 mm/49y in BLJ). During the autumn 5 stations show positive trend (up to 22.1 mm/51y in KR), and the same number of stations show negative trend (up to -10.7 mm/51y in MB) but without statistical significance. On an annual basis all stations, except KR (113.5 mm/51y) show negative trend of water balance values with statistical significance at stations: BLJ (-432.0 mm/49y), MB (-221.9 mm/51y) LJB (-194.8 mm/51y), CLJ (-194.1 mm/51y) and PO (-188.7 mm/51y). Due to the increase

of potential evapotranspiration and reduced precipitation quantities a decreasing trend of water balance is present on most stations. If the values of water runoff would be put into the equation of water balance it would have even lower values.

Table 4. Trends of seasonal and annual potential evapotranspiration (mm/51y) in Slovenia in the period 1961-2011; bold⁺ - statistical significance of 90%, bold* - statistical significance of 95%, bold - statistical significance of 99% and bold*** - statistical significance of 99.9%**

ST.	WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN	YEAR
KR	2,5⁺	3,0	5,0	-0,2	30,8⁺
PO	0,6	8,6^{**}	10,4^{**}	1,3	61,6^{***}
LJB	3,3^{**}	11,8^{***}	16,6^{***}	2,4⁺	102,3^{***}
NM	2,9⁺	12,0^{***}	17,2^{***}	2,0	102,1^{***}
CLJ	1,2	10,4^{***}	17,0^{***}	2,5	93,6^{***}
MB	3,0⁺	10,5^{***}	13,3^{***}	0,7	82,7^{***}
ŠS	1,1	11,2^{***}	14,9^{***}	1,2	85,1^{***}
MS	0,2	8,1^{**}	9,7^{**}	0,5	55,5^{**}
BLJ	3,9^{***}	16,2^{***}	25,1^{***}	7,7^{***}	159,0^{***}
LD	1,6	4,6	4,9	-1,1	24,9

By studying the temperature characteristics in Europe, Parry (2000) concluded that the last decade of the XX century is the warmest, considering the mean annual and mean winter temperatures. Also, Wiin-Nielsen (1997) has observed a sudden increase of temperature in the Northern Hemisphere from the mid 80s, with the highest values in 1994 and 1995. Kjellström (2004) highlights a significant increase of the annual maximum and minimum air temperatures in Europe. Alexandrov et al. (2004) stated that during the XX century was a rise of average temperatures, but statistically significant increase occurred only in the last twenty years in Bulgaria. At the same time, the same authors concluded, on the basis of these results, that the significant increase of average temperatures occurred during the summer period. In Serbia, there has been an increase of air temperature values at the north and east of the country, and decrease in the southeast of the country (Дуцић и Радовановић, 2005). In Vojvodina positive trends of annual maximum and minimum temperatures were observed, as well as the negative trend of the average number of frosty days (Савић, 2009). It could be concluded that the results of investigated meteorological parameters in the Republic of Slovenia are generally in accordance with the results of other researchers who have studied the area of Europe.

Conclusion

The analysis made in this paper showed that during the last 51 year there is a statistically significant positive trend of mean (from 1.4°C/51y in LD to 2.4°C/51y in NM), maximum (from 1.3°C/51y in KR to 2.4°C/51y in PO) and minimum (from 1.7°C/51y in ŠS to 2.9°C/51y in NM) annual temperatures on all analyzed stations. This temperature rise has been particularly pronounced in the summer, spring and winter. Trends of effective air temperature sums showed significant positive trends on all stations. Precipitation trends were negative on most stations on annual and seasonal basis (except in autumn) and they

were not statistically significant. Statistically significant negative trends of average precipitation quantities on annual level occurred at stations BLJ (-273.0 mm/49y) and MB (-139.2 mm/51y). During the seasons, statistically significant negative trend of average precipitation quantities occurred only in summer at stations BLJ (-44.7 mm/49y) and MB (-34.0 mm/51y). At most stations positive trend of number of days with frost per year is present, but with no statistical significance. Statistically significant negative trends of number of days with frost on annual level occurred at stations PO (-61 days/51y) and ŠS (-55 days/51y). With the increase of air temperature values rise of potential evapotranspiration is present and this trend was statistically significant on an annual basis on most stations (BLJ, 159.0 mm/49y) and during all seasons, except autumn. Water balance has a statistically significant negative trend on annual (BLJ, -432.0 mm/49y) and seasonal basis (except in autumn) on most stations.

Thesis about climate change, which runs between experts and scientists, especially in the last twenty years, largely has been confirmed in the results of the analysis of seasonal and annual values of the investigated parameters in the Republic of Slovenia. The greatest changes of parameters occurred during summer, spring and winter months. In the following paper, which is a continuation of this research, the correlation between meteorological parameters and the data regarding the development of plants was examined on the territory of the Republic of Slovenia for the period 1961-2011.

References

- Alexandrov, V., Schneider, M., Koleva, E. and Moisselin, J.M. (2004). Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology* 79 (3-4), 133-149.
- Дуцић, В. и Радовановић, М. (2005). *Клима Србије*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Кјелстрём, Е. (2004). Recent and future signatures of climate change in Europe. *Ambio* (23), 193-198.
- *** *Klimatološki godišnjaci*. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).
- Ogrin, D. (2003). Spreminjanje temperature zraka in padavin po letnih časih v Ljubljani in Trstu v obdobju 1851-2002. *DELA* (20), 115-131.
- Ogrin, D. (2004). *Modern climate change in Slovenia (Slovenia- a geographical overview)*. Ljubljana: Zveza geografov Slovenije.
- Ogrin, D. in Prut, D. (2009). *Aplikativna fizična geografija Slovenije*. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete.
- Parry, M.L. (2000). *Assessment of Potential Effects and Adaptation for Climate Change in Europe: Summary and Conclusions*. Norwich: Jackson Environment Institute, University of East Anglia.
- Roškar, J. (2010). *Stališče SMD o podnebnih spremembah*. Ljubljana: Slovesnko meteorološko društvo.
- Савић, С. (2009). *Кретање екстремних температуре ваздуха на подручју Војводине у периоду 1951-2000*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Депаргман за географију, туризам и хотелијерство, докторска дисертација.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002). *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – The excel template application MAKESENS*. Helsinki: Finnish Meteorological Institut.
- Sneyers, R. (1990). *On the statistical analysis of series of observations*. Geneve: World Meteorological Organisation.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (2007). *Climate Change 2007- The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: University Press.
- Wiin-Nielsen, A. (1997). A note on hemispheric and global temperature changes. *Atmosfera* (10), 125-135.
- www.cru.uea.ac.uk
- www.stat.si
- Žiberna, I. (2006). Trendi temperatur zraka v Mariboru kot posledica razvoja mestnega toplotnega otoka. *Revija za geografijo* 1 (1), 81-98.
- Žiberna, I. (2011). Trendi temperatur, višine padavin in vodne bilance v Mariboru v obdobju 1876-2010. *Revija za geografijo* 6 (1), 23-32.

АНАЛИЗА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА У СЛОВЕНИЈИ: ОСЦИЛАЦИЈЕ МЕТЕОРОЛОШКИХ ПАРАМЕТАРА У ПЕРИОДУ 1961-2011 (ПРВИ ДЕО)

ДРАГАН МИЛОШЕВИЋ^{1*}, СТЕВАН САВИЋ², ИГОР ЖИБЕРНА³

¹ *Универзитет у Новом Саду- Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство; Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад*

² *Центар за климатолошка и хидролошка истраживања, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду; Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад*

³ *Универзитет у Марибору- Филозофски факултет, Департман за географију; Корошка цеста 160, Марибор, Словенија*

Сажетак: У раду су анализирани временске серије одабраних параметара: средње, максималне и минималне температуре ваздуха, сума ефективних температура ваздуха са температурним праговима 5°C и 10°C, средња количина падавина, број дана са мразом, потенцијална евапотранспирација и водни биланс. Обрађени су подаци са 10 метеоролошких станица смештених на територији Републике Словеније за период 1961-2011. године. Анализе су рађене на сезонском и годишњем нивоу. Добијени резултати указују на статистички значајан раст температурних параметара и потенцијалне евапотранспирације, док количина падавина и водни биланс генерално показују негативан тренд на сезонском и годишњем нивоу. Број дана са мразом је у порасту на већини анализираних станица. У другом делу рада су добијени резултати повезани са подацима о развоју биљака (фенолошки подаци) у циљу утврђивања висине корелације између њих.

Кључне речи: климатске промене, трендови, Република Словенија

Увод

Последњих неколико деценија представља период у којем се климатске карактеристике мењају знатно брже него у прошлости. Температуре на глобалном нивоу имају тренд раста који је нарочито изражен у последњих тридесет година. Година 2011. заузима дванаесто место на листи најтоплијих година од 1860. године (0,34°C изнад просека за стандардни период 1961-1990). Одступања глобалне годишње количине падавина од 1900. до 2011. године у односу на стандардни период указују да је до половине XX века било мање падавина, након чега су године са већом количином падавина све учесталије, нарочито током 60-их година XX и првој деценији XXI века. Година 2011. је друга најкишовитија година након 2010, али је количина падавина била различито распоређена по регионима (www.cru.uea.ac.uk).

Република Словенија се налази у Средњој Европи на контакту четири различита географска региона: Алпа, динарских планина, субпанонског и субмедитеранског подручја. Простире се између 45°25' и 46°30' N и 13°23' и 16°36' E (Ogrin in Prut, 2009). Обухвата површину од 20273 km² и има 2055527 становника према подацима Статистичког завода Републике Словеније на дан 1. априла 2012. године (www.stat.si). Алпски, медитерански и континентални климатски утицаји се преплићу на територији Словеније. Ипак, највећи део Словеније има умерено континенталну климу (Ogrin, 2004). Када се говори о климатским параметрима за очекивати је да су се и на простору Словеније догодиле одређене флукуације које су нарочито изражене у последњих тридесет година.

* e-mail: draganmilosevic88@yahoo.com

Климатским променама на простору Републике Словеније су се бавили Ogrin (2003; 2004), Ogrin i Prut (2009), Žiberna (2006; 2011) и словеначко метеоролошко друштво (Roškar, 2010).

Циљ рада је да се дефинишу просторно-временске карактеристике и тенденције кретања одабраних метеоролошких параметара на простору Републике Словеније. Поређењем добијених резултата и резултата других истраживача треба уочити да ли су промене у Републици Словенији у складу са променама климе на Европском континенту или постоје одређене регионалне разлике. У другом делу рада који се надовезује на ову студију, добијени подаци су повезани са подацима о развоју одабраних биљака у циљу откривања утицаја климе на вегетацију.

Положај метеоролошких станица, база података и методологија истраживања

У раду су коришћене временске серије одабраних параметара са 10 метеоролошких станица које су смештене на територији Републике Словеније (прилог 1, табела 1). Подаци су обрађени за период од 1961. до 2011. године, изузев станице Биље на којој се подаци бележе од 1963. године. Годишње и сезонске варијабле су прорачунате на основу месечних вредности које су преузете из Метеоролошких годишњака Агенције Републике Словеније за околје (ARSO).

Одабране метеоролошке станице су смештене на територији различитих физичкогеографских региона Словеније. У алпском макрорегиону су смештене станице Кредарица, Шмартно при Словењ Градцу и Цеље. У динарском макрорегиону су смештене станице Постојна, Љубљана-Бежиград и Ново Место. У субпанонском макрорегиону су смештене станице Марибор-Табор, Мурска Собота-Ракичан и Лендава. Најмањи макрорегион у Словенији је субмедитерански и у оквиру њега је смештена станица Биље. Релативна висинска разлика између највише (Кредарица, 2514 m н.в.) и најниже метеоролошке станице (Биље, 55 m н.в.) износи 2459 m, док се седам од десет станица налази на висини између 188 и 455 m н.в. Још се једино станица у насељу Постојна (533 m н.в.) одликује већом надморском висином.

У раду су анализирани: температура ваздуха (средња, максимална, минимална и суме ефективних температура са температурним праговима 5°C и 10°C), средња количина падавина, број дана са мразом, потенцијална евапотранспирација и водни биланс. Подаци су обрађени на сезонском и годишњем нивоу. У раду су коришћени проста линеарна регресија и Мен-Кендал тест за добијање тренда и анализу његове статистичке значајности.

Проста линеарна регресија је коришћена за добијање трендова временских серија годишњих и сезонских параметара.

Мен-Кендал (Mann-Kendall) непараметарски статистички тест (Sneyers, 1990) је коришћен за показивање статистичке значајности трендова. За прорачуне је коришћен софтверски пакет МАКЕСЕНС (MAKESENS), који је развијен од стране Финског Метеоролошког Института (Salmi et al., 2002). Статистичка значајност је дефинисана на нивоу слободe од 90%, 95%, 99% и 99,9%.

Прилог 1. Локације метеоролошких станица на простору Словеније (црни правоугаоник- изабране метеоролошке станице) (извор: ARSO, 2007)

Табела 1. Географске координате, надморска висина, период осматрања и тип испитиваних метеоролошких станица у Словенији (гл- главна метеоролошка станица, кл- климатолошка станица) (извор: ARSO, 2012)

Резултати истраживања и дискусија

Извршена је анализа линије тренда сезонских и годишњих средњих, максималних и минималних температура ваздуха. Високи позитивни трендови средњих (табела 2), максималних и минималних сезонских и годишњих температура ваздуха указују да је дошло до одређених температурних промена у другој половини XX и првој деценији XXI века. Ово је у складу са сазнањима Међувладиног Панела за климатске промене (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) који сматрају да су средње температуре ваздуха на северној хемисфери у току друге половине XX века “највероватније“ (вероватноћа >90%) највише у било ком педесетогодишњем периоду у последњих 500 година (Solomon et al, 2007).

Табела 2. Висине трендова сезонских и годишњих средњих температура ваздуха (°C/51г) у Словенији у периоду 1961-2011. године; болд⁺ – статистичка значајност 90%, болд* – статистичка значајност 95%, болд – статистичка значајност 99% и болд*** – статистичка значајност 99,9%**

На свим станицама су присутни позитивни и статистички значајни трендови средњих температура ваздуха, како на сезонском тако и на годишњем нивоу. Најизразитији трендови су током лета (3,1°C/51г у НМ, 3,0°C/51г у МБ, 2,9°C/51г у ЉБ), зиме (2,6°C/51г у НМ, 2,5°C/51г у ЉБ и ЦЉ, 2,4°C/51г у МБ) и пролећа (2,5°C/51г у НМ, 2,4°C/51г у ЉБ, 2,3°C/51г у МБ и ЦЉ). Најнижа вредност тренда је током јесени (1,3°C/51г у НМ, 1,1°C/51г у ЉБ, МБ и ЦЉ). На годишњем нивоу се на свим станицама јављају статистички значајни трендови раста средње годишње температуре ваздуха. Највећи пораст се јавља на станицама: НМ (2,4°C/51г), ЉБ (2,3°C/51г), МБ и ЦЉ (2,2°C/51г) и они су статистички значајни на нивоу од 99,9%.

Слични резултати су добијени и за вредности трендова средњих максималних и минималних температура ваздуха. Најизразитији и статистички значајни трендови средњих максималних температура ваздуха су добијени за сезоне лета (3,3°C/51г у ПО, 3,1°C/51г у МС, 3,0°C/51г у МБ), зиме (3,2°C/51г у ЦЉ, 2,9°C/51г у ШС, 2,8°C/51г у ЉБ и МС) и пролећа (2,9°C/51г у ПО, 2,6°C/51г у ЦЉ, 2,5°C/51г у МС). Нижи трендови су добијени за сезону јесени (1,0°C/51г у ПО, 0,7°C/51г у ЦЉ и МС). На годишњем нивоу се на свим станицама јављају статистички значајни позитивни трендови средње максималне температуре ваздуха на нивоу значајности од 99,9%. Највећи пораст се јавља на станицама: ПО (2,4°C/51г), МС и ЦЉ (2,3°C/51г), МБ и ШС (2,2°C/51г) док су најнижи трендови забележени на станицама КР и БЉ (1,3°C/51г, односно 1,3°C/49г). Највећи тренд раста температура ваздуха је забележен за вредности средње минималне температуре. Трендови средњих минималних температура ваздуха су најизразитији и статистички најзначајнији за сезоне лета (3,5°C/51г у НМ, 3,1°C/51г у МБ, 2,9°C/51г у МС), зиме (3,0°C/51г у НМ, 2,7°C/51г у МС, 2,6°C/51г у ЦЉ) и пролећа (2,9°C/51г у НМ, 2,4°C/51г у МБ, 2,2°C/51г у ЉБ и КР, односно 2,2°C/49г у БЉ). На годишњем нивоу се на свим станицама јављају статистички значајни позитивни трендови средње минималне температуре ваздуха. Највећи пораст се јавља на станицама: НМ (2,9°C/51г), МБ (2,5°C/51г) и МС (2,3°C/51г), док су најнижи трендови на станицама: КР, ПО, ШС и ЛД (1,7°C/51г).

Ради бољег увида у количину топлоте са којом биљке располажу у току године на простору Словеније у раду су обрађене средње годишње вредности сума ефективних температура ваздуха изнад 5°C и 10°C. Добијени резултати су указали да се на годишњем нивоу на свим станицама јављају статистички значајни трендови раста сума ефективних температура ваздуха од 5°C (621,3°C/51г у НМ, 580,3°C/51г у ЉБ, 575,9°C/51г у МБ) и 10°C (488,4°C/51г у НМ, 465,4°C/51г у МБ, 449,9°C/51г у ЉБ) што значи да биљке имају већу количину топлоте на располагању у току године. Ово је добро само до одређене границе јер свака биљка има различиту потребу за

топлотом и горњу граничну вредност температуре ваздуха до које је њен развој оптималан.

Највећи пораст изучаваних температурних параметара се јавља у највећим, анализираним градским насељима Словеније (ЉБ, МБ, ЦЉ и НМ). Овде се поред утицаја глобалног пораста температуре ваздуха читава и утицај тзв. „урбаног острва топлоте“ јер су метеоролошке станице смештене унутар урбане зоне града. У мањим местима (БЉ, ЛД и ПО), као и на већим надморским висинама (КР и ШС) су трендови раста нижи. Метеоролошка станица Кредарица (КР) се налази на 2514 m н.в. и у њеној близини не постоји значајан непосредни антропогени утицај услед чега је одличан показатељ пораста температуре ваздуха карактеристичног за највећи део Планете.

У раду је извршена анализа трендова средњих сезонских и годишњих количина падавина. На већини станица трендови имају ниске и негативне вредности и нису статистички значајни (табела 3). Само се на неколико станица током лета (-34,0 mm/51г у ПО и -44,7 mm/49г у БЉ) и на годишњем нивоу (-139,2 mm/51г у МБ и -273,0 mm/49г у БЉ) јављају статистички значајни трендови. Тренд падавина у току лета указује да се на станици ПО и БЉ излучи за око $\frac{1}{4}$, односно $\frac{1}{3}$ мања количина падавина. На станици МБ је приметан тренд смањења средње годишње количине падавина за око 10%, док је на станици БЉ у субмедитеранском региону забележено смањење од 20% у односу на средњу количину падавина у изучаваном периоду. Услед мање количине падавина у Словенији и све виших температура ваздуха, нарочито током пролећа и лета, биљке се налазе под већим притиском измена услова животне средине.

Извршена је анализа сезонског (осим лета) и годишњег броја дана са мразом у Словенији на 8 метеоролошких станица. На станици КР се не бележе подаци о мразу, док за станицу ЛД постоји велики број година када се није бележио број дана са мразом због чега оне нису анализирани. У току зиме је приметан статистички значајан тренд раста броја дана са мразом на станицама ЦЉ (5 дана/51г), МБ и НМ (4 дана/51г). Статистички најзначајнији трендови су добијени за станице на којима се број дана са мразом у току зиме смањује (-10 дана/51г у ШС и -11 дана/51г у ПО). У току пролећа (-5 дана/51г у ПО, -4 дана/51г у ШС) и јесени (-4 дана/51г у ШС, -3 дана/51г у ПО и МБ) су забележени трендови смањења броја дана са мразом на већини станица од којих неки показују и статистичку значајност. На годишњем нивоу се на већини станица јавља тренд раста броја дана са мразом, али без статистичке значајности (18 дана/51г у ЦЉ, 8 дана/51г у ЉБ и 8 дана/49г у БЉ). На годишњем нивоу се статистички значајни трендови (99,9% према Мен-Кендал тесту) смањења броја дана са мразом јављају на станицама ПО (-61 дана/51г) и ШС (-55 дана/51г). Највеће смањење броја дана са мразом у току године је забележено на станицама смештеним на већим надморским висинама у планинским подручјима (ШС и ПО) као последица високих трендова раста температуре ваздуха забележених на овим станицама.

Табела 3. Висине трендова сезонских и годишњих средњих количина падавина (mm/51г) у Словенији у периоду 1961-2011. године; **болд⁺ – статистичка значајност 90%, **болд**^{*} – статистичка значајност 95%, **болд**^{**} – статистичка значајност 99% и **болд**^{***} – статистичка значајност 99,9%**

Анализирана је висина средње сезонске и годишње потенцијалне евапотранспирације по Penman-Monteith методи. Дневне вредности потенцијалне евапотранспирације по овој методи су преузете од Агенције Републике Словеније за околје (ARSO). Израчунати трендови сезонске и годишње потенцијалне евапотранспирације на већини станица у Републици Словенији су позитивни и статистички значајни (табела 4). Најизразитији и статистички најзначајнији трендови су током лета (25,1 mm/49г у БЉ, 17,2 mm/51г у НМ, 17,0 mm/51г у ЦЉ) и пролећа

(16,2 mm/49г у БЉ, 12,0 mm/51г у НМ, 11,8 mm/51г у ЉБ) на свим станицама, док су током јесени (7,7 mm/49г у БЉ, 2,4 mm/51г у ЉБ) и зиме (3,9 mm/49г у БЉ, 3,3 mm/51г у ЉБ) слабије изражени. На годишњем нивоу све станице имају тренд раста потенцијалне евапотранспирације. Трендови раста на 7 од 10 станица показују статистичку значајност од 99,9%, а највећи међу њима су за станице: БЉ (159,0 mm/49г), ЉБ (102,3 mm/51г) и НМ (102,1 mm/51г). На основу добијених резултата за простор Словеније који указују да су температуре све више, а да је падавина све мање, последица тога је и већа евапотранспирација. На тај начин, биљке кроз стоме губе већу количину влаге што неповољно утиче на њихов развој.

Водни биланс на територији Словеније је израчунат на основу разлике између висине падавина и потенцијалне евапотранспирације, док отицај воде, због недостатка података, није узет приликом рачунања. У току свих сезона, осим јесени, и на годишњем нивоу се јавља негативан тренд водног биланса на већини станица. Најизразитији и статистички најзначајнији негативни трендови водног биланса се јављају током лета (-69,8 mm/49г у БЉ, -44,4 mm/51г у ПО, -33,5 mm/51г у ЦЉ) и пролећа (-38,2 mm/51г у ЉБ, -29,9 mm/51г у МБ, -29,2 mm/51г у ЦЉ). Током зиме се на већини станица јавља негативан тренд водног биланса без статистичке значајности (до -27,3 mm/49г у БЉ). Током јесени се на 5 станица јавља позитиван тренд (до 22,1 mm/51г на КР), а на исто толико негативан (до -10,7 mm/51г у МБ), али без статистичке значајности. На годишњем нивоу све станице, осим КР (113,5 mm/51г) показују тренд смањења водног биланса који је статистички значајан на станицама: БЉ (-432,0 mm/49г), МБ (-221,9 mm/51г), ЉБ (-194,8 mm/51г), ЦЉ (-194,1 mm/51г) и ПО (-188,7 mm/51г). Услед повећања потенцијалне евапотранспирације и смањења количине падавина на већини станица долази до смањења водног биланса. Уколико би се у једначину унела и величина отицања воде путем површинских токова водни биланс би био још мањи.

Табела 4. Висине трендова средње сезонске и годишње потенцијалне евапотранспирације (mm/51г) у Словенији у периоду 1961-2011. године; болд⁺ – статистичка значајност 90%, болд^{*} – статистичка значајност 95%, болд^{} – статистичка значајност 99% и болд^{***} – статистичка значајност 99,9%**

Проучавајући температурне карактеристике у Европи, Пери (Parry, 2000) је закључио да последња декада XX века представља најтоплији период, посматрајући средње годишње и средње зимске температуре. Такође, Вин-Нилсен (Winn-Nielsen, 1997) је уочио нагло повећање температуре на северној хемисфери од друге половине 80-тих година, са тим да 1994. и 1995. представљају године са највишим топлотним пиковима. Кјелстром истиче значајан пораст годишњих максималних и минималних температура ваздуха у Европи (Kjellström, 2004). Александров и сар. (Alexandrov et al., 2004) проучавајући простор Бугарске, износе констатацију да је током XX века дошло до пораста средњих температура, али да се статистички значајан раст дешава тек последњих двадесетак година. Истовремено, исти аутори закључују, на основу добијених резултата, да се значајан пораст средњих температура ваздуха догодио током летњег периода године. У Србији је приметан генералан пораст температуре ваздуха на северу и истоку, а пад на југоистоку државе (Дуцић и Радовановић, 2005). У АП Војводини је примећен тренд пораста годишњих максималних и минималних температура ваздуха, као и опадајући тренд просечног броја мразних дана (Савић, 2009). Могло би се закључити да се добијени резултати изучаваних метеоролошких параметара у Републици Словенији генерално поклапају са резултатима других истраживача који су проучавали простор Европе.

Закључак

Анализе показују да је у последњих педесет и једну годину дошло до пораста средњих (од $1,4^{\circ}\text{C}/51\text{г}$ у ЈД до $2,4^{\circ}\text{C}/51\text{г}$ у НМ), максималних (од $1,3^{\circ}\text{C}/51\text{г}$ на КР до $2,4^{\circ}\text{C}/51\text{г}$ у ПО) и минималних (од $1,7^{\circ}\text{C}/51\text{г}$ у ШС до $2,9^{\circ}\text{C}/51\text{г}$ у НМ) годишњих температура ваздуха на свим анализираним станицама. Тај раст је нарочито изражен у летњем, пролећном и зимском периоду. Трендови сума ефективних температура ваздуха од 5°C и 10°C показују статистички значајне трендове раста на свим станицама. Трендови падавина су на већини станица негативни на годишњем и сезонском нивоу (осим јесени) и без статистичке значајности. Статистички значајни трендови пада количине падавина на годишњем нивоу се јављају на станици БЉ ($-273,0\text{ mm}/49\text{г}$) и МБ ($-139,2\text{ mm}/51\text{г}$). У току сезона статистички значајни трендови смањења количине падавина се јављају само током лета на станицама БЉ ($-44,7\text{ mm}/49\text{г}$) и МБ ($-34,0\text{ mm}/51\text{г}$). На већини станица су приметни трендови раста броја дана са мразом на годишњем нивоу, али без статистичке значајности. Статистички значајни трендови смањења броја дана са мразом се јављају на станицама ПО ($-61\text{ дан}/51\text{г}$) и ШС ($-55\text{ дана}/51\text{г}$). Са порастом температуре ваздуха у порасту је и потенцијална евапотранспирација чији је тренд статистички значајан на годишњем нивоу на већини станица (Биље, $150,0\text{ mm}/49\text{г}$) и у току свих сезона, осим јесени. Водни биланс има статистички значајан тренд смањења на годишњем (Биље, $-432,0\text{ mm}/49\text{г}$) и сезонском нивоу (осим јесени) на већини станица.

Теза о климатским променама која се провлачи међу стручном и научном јавности, нарочито током последњих двадесетак година, у доброј мери је потврђена и у резултатима анализа сезонских и годишњих вредности изучаваних параметара у Републици Словенији. Највеће промене се дешавају током летњих, пролећних и зимских месеци. Услед тога се у наредном раду, који представља наставак истраживања, приступило испитивању корелације између метеоролошких параметара и података о развоју биљака на територији Републике Словеније за период од 1961. до 2011. године.