

Nikola Milentijević^{1*}, Jovan Dragoljović*, Marija Cimbajević,
Dušan Ristić*, Kristina Kalkan**, Dragan Burić*****

** University of Priština temporarily settled in Kosovska Mitrovica, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Geography, Kosovska Mitrovica, Serbia*

*** University of Novi Sad, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Novi Sad, Serbia*

**** University of Montenegro, Faculty of Philosophy, Department of Geography, Nikšić, Montenegro*

**ANALYSIS OF EQUIVALENT TEMPERATURE - CASE OF
KRAGUJEVAC CITY**

Abstract: A more complete climate image of a site is obtained by analyzing bioclimatic indicators. In this paper, an analysis of the physiological sense of heat in the territory of the city of Kragujevac was presented. Bioclimatic considerations are based on the equivalent temperature, which represents the combined influence of air temperature and water vapor pressure. Based on these two climatic elements, the corresponding equations and the Krüger anthropo-climatic classifications, three climate types and nine physiological sensations of heat for the territory of the city of Kragujevac were isolated. Their significance in bioclimatology is that they cause different sensations of heat in healthy and sick people, and can serve as the basis for the expected types of bioclimate during the year. Urban areas are areas of higher population concentration to which the climate elements act stimulating or, on the contrary, discouraging, which depends on the person's health. For the needs of this work, a thirty-year climate period (1981-2010) was analyzed based on the data obtained from the weather station Kragujevac. There are significant historical and tourist sites and natural resources in the city and its surroundings, which can be valorized complementarily. Analyzed values of equivalent temperatures can be used for the planning of tourist activities and in means of tourist propaganda. For this purpose, this work can be a solid bioclimatic basis.

Key words: equivalent temperatures, Krüger anthropo-climatic classification, Kragujevac, urban areas

¹ nikola.milentijevic@pr.ac.rs (corresponding author)

Introduction

Bioclimatology as an interdisciplinary science studies different relationships between organisms and the perennial state of the atmosphere, as well as the permanent connection and multiple interaction in which the influence of the physical environment in relation to the returning human reaction is dominant (Pecelj, 1996). Climate is a very important natural resource for the development of tourism as a business. It is presented with climatic elements as variables, which serve to assess recreational needs using human bioclimatology methods (de Freitas, 2003). The climate affects human organism and this plays an enormous role in the quality of life of the human population. It is known that weather conditions have a significant impact on human health and that meteorological elements affect individuals, weather those elements are separate or combined (Trenberth et al., 2000; Oliver, 2005).

The subject of this paper is the analysis of equivalent temperatures in the territory of the city of Kragujevac, while the aim of this paper is to examine the impact of the mentioned bioclimatic index on tourism and recreation. There are many authors who are considering one or more bioclimatic indices on the example of larger area entities (Vujević, 1961; Pecelj et al., 1996; Malinović-Miličević, 2013; Basarin et al., 2014; Pecelj et al., 2017; Basarin et al., 2017), urban zones (Matzarakis & Endler, 2010; Matzarakis & Nastos, 2011; Pecelj, 2013; Pecelj et al., 2013) as well as spa locations (Pecelj, 1996; Majejka, 2003; Stojičević et al., 2016).

In the area of the city or in the surroundings there are numerous tourist motives, which give Kragujevac the role of a contractive zone, i.e. attracting tourists. Particularly distinguished are: the ambient units - the cultural and historical complex "Milošev venac", the Memorial park in Šumarice, numerous picnic sites (Žeželj, Bešnjaja, Lipar, Šumarice), the paleolithic site (Gradac near Batočina), water reservoirs (Grošnica and Dulen Lake), sacral objects - Voljavča and Drača monasteries, the church in Ramaća (Stankovic, 2013).

These resources represent the basis of the development of complementary aspects of tourism. In recent years, there has been an increasing interest in tourism and recreation around the world, as there is a general tendency to increase leisure time caused by the reduction of the working hours. For a tourist, information about the weather in their destination is highly important. Numerous authors dealt with the analysis of the subjective motive of choosing a place for rest that provides comfort zone.² Thus, Peri (1972) criticized the tourist brochure in which attention was paid to relatively high air temperatures in the middle of winter in the Mediterranean, and the typical rainfall at that time of the year was not mentioned. Terjung (1968) divided Alaska into several physioclimatic zones based on the comfort index. He showed that in much of Alaska it was cooler in July, that the intensity of wind was higher and that the national park, attracting the majority of tourists, is located outside the comfortable parts of the state (Holford, 1967). Therefore, discomfort can endanger and limit the influx of tourists. Therefore, the analysis of equivalent temperatures, as one of the significant bioclimatic

² Comfort zone or zone of feelings of comfort implies the limit values of the air temperature in which a person feels comfortable. The most pleasant feeling and normal heat exchange with ambient air is at the equivalent-effective temperature (EET) of 17.2-21.7°C, when the person is nude and from 16.7-20.6°C if he/she is dressed (Dukić, 2006).

characteristics, represents the basis of better tourist positioning. In this lies the broader, applicative significance of the analysis of equivalent temperatures.

Material and methods

The city of Kragujevac in the regional geographical sense belongs to the mesoregion of Central Serbia (Pavlović & Marković, 1995), that is, it represents the geographical backbone of the Šumadija subregion, which belongs to the Peripannonian Serbia (Fig. 1).

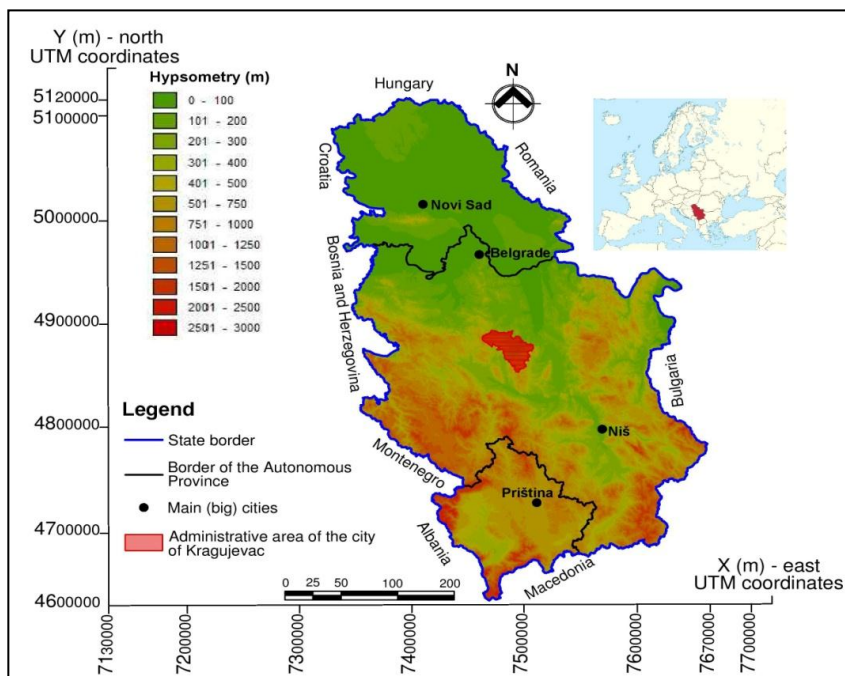


Fig. 1. Geographical position of the city of Kragujevac in the Republic of Serbia

The area of the city is located in the basin, which represents a small tectonic-fluvial expansion of the composite valley of Lepenica, open towards the northeast, towards the Veliko Pomoravlje. It is located between the orographic units - Rudnik, Crni vrh and Gledić Mountains. The town extends from both sides of Lepenica, mostly on the left side of the river (where the basin-valley floor is wider). The territory of the city extends to 835 km² and is one of the leading cities of Šumadija (Golubović, 2001).

Mathematical-geographical position of the Meteorological Station Kragujevac (Fig. 2) is determined by the following coordinates: $\varphi = 44^{\circ}02' N$; $\lambda = 20^{\circ}56' E$; $H_s = 185$ m (Meteorological annuals of Republic Hydrometeorological Service of Serbia - climatological data). It should be noted that the Meteorological Station Kragujevac is located in the immediate city area. For this reason, the analyzed data do not represent accurately the bioclimatic conditions of the wider territory of the city.

The problem could be overcome by setting up a network of automatic meteorological stations, which would provide better quality monitoring of climatic elements. In this way,

a better spatial distribution of bioclimatic parameters is obtained. A similar monitoring system already exists in the territory of the city of Novi Sad, and it consists of a network of 27 automatic meteorological stations (Šećerov et al., 2015; Milošević et al., 2016).

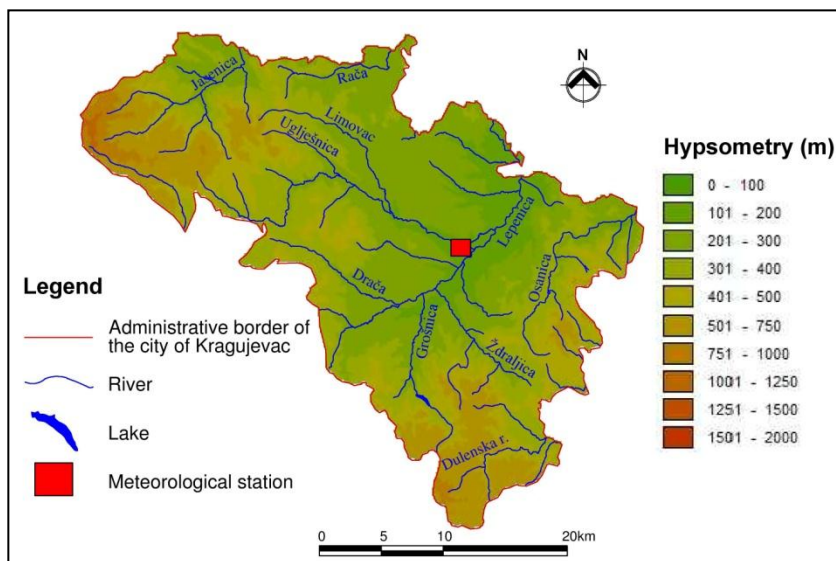


Fig. 2. Geographical position of the Meteorological Station Kragujevac

The methodological approach in this paper is based on the analysis of combined climatic elements. They allow the relative effect of each individual factor to be determined. The result of such combinations are sizes and indices such as: equivalent temperatures, cold index, air cooling power, radiation-equivalent-effective temperature, etc. In addition to standard climatic sizes, complex climate connections are used for bioclimatic analysis or regionalization. The essence of these connections is that when choosing climatic elements, the optimal feeling of comfort, i.e. zone of comfort or zones of comfortable feelings, is determined. Somewhere these are physiological sensations of heat (equivalent temperature), somewhere the zone of comfort, or the humidity zone (climodiagram of humidity). In this way, we obtain the starting point for the determination of biotypes through the appropriate scale, and then the bioclimatic analyzes that take into account the factors affecting the thermal comfort of a man, either in a closed or open space. All of this is influenced by factors of meteorological and non-meteorological nature (Vujević, 1956, Unkašević, 2003)

In addition to the classic methods used in bioclimatic research, new models and methods are emerging that can contribute to a better quality characterization of bioclimatic research. We particularly emphasize the model of heat exchange that can be used for more detailed bioclimatic research. It is the "MENEX-2005" (Man-EN Environment-EXchange) model that analyzes heat exchange and is based on the "human-environment" relationship. The model has an applicative significance in bioclimatology: tourism and recreation, climotherapy (human health, urban research); in spatial projects as well as residential and recreational area projects (Pecelj et al., 2007).

The analysis of bioclimatic elements has an impact on the selection of the location of the recreational zone, which from a medical standpoint has multiple significance. These are the reasons why we will place an accent on the bioclimatic analysis of the equivalent temperatures. The equivalent temperature (E_t) represents the combined effect of the air temperature t ($^{\circ}\text{C}$) and the voltage or pressure of the water vapor e (mm). Calculated on the basis of the equation:

$$E_t = t + 2e \quad (1)$$

It essentially consists of the measured air temperature and the extra temperature, which would arise if all the water vapor were condensed. It is a purely theoretical size used in bioclimatology and in the study of the energy balance of the atmosphere. Namely, the transition of water from one to the other is accompanied by the release or consumption of energy, which causes major changes in the geographical cover. To get 1 gram of water into the vapor state, the required energy is $2.533 \times 10^3 \text{ J}$ (Pecelj, 1996; Vujević, 1956). "In practice, E_t is determined based on the temperature of the humid thermometer and the corresponding scale. The body continuously drains heat and its consumption depends on the intensity of evaporation from the surface of the skin and the temperature of the surrounding air. For the body in full rest, E_t of the surrounding air is 37°C and it indicates the sweating moment" (Dukić, 2006).

The significance of equivalent temperatures is that they cause different sensations of heat in healthy and sick people. This confirms the knowledge that the human body should constantly maintain a temperature of 36.5°C , since deviations from the mentioned value are detrimental to health. In practice this means that during cold weather, heat loss must be prevented, and in the case of hot weather, the cooling that will not be harmful to the body should be allowed. Their main purpose is to assess the impact of atmospheric changes on the human organism, and a special scientific discipline – human biometeorology – has been distinguished. V. Becold introduced it. In 1944, German climatologist E. Krüger proposed a seven-point scale for the classification of equivalent temperatures. However, for the bioclimatic identification of weather types and biotypes, the Krüger scale was complemented with two more classes, and thus adapted to our latitudes (Vujević, 1956, Milosavljević, 1990, Stanković, 2000, Wallen, 1974).

Results and discussion

Equivalent temperatures are useful for determining the physiological sensations of heat and weather types, in accordance with the Krüger anthropoclimatic classification, which was complemented and divided into three weather conditions and nine physiological sensations of heat (Tab. 1).

Tab. 1. The classification of physiological sensations of heat (PSH) and weather types (VT) according to Krüger

E_t ($^{\circ}\text{C}$)	<5	5-18	18-22	22-30	30-40	40-50	50-58	58-70	>70
PSH	very cold	cold	very cool	chilly	warm	hot	little humidity	humid	very humid
VT	cold			pleasant			overheated		

Source: Vujević, 1961

In this paper, the equivalent temperatures for the thirty-year period (1981-2010) were analyzed in the case of MS Kragujevac (Tab. 2, Fig. 3, 4).

Tab. 2. Annual flow of air temperature, water vapor pressure and equivalent temperatures in Kragujevac (1981-2010)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Air temperature												
0.9	2.3	6.6	11.7	16.7	20.0	21.9	21.5	16.9	11.9	6.4	2.1	11.6
Water vapor pressure												
5.6	5.8	7.0	9.5	13.5	16.4	17.6	17.2	13.9	10.9	8.0	6.1	11.0
Equivalent temperatures												
12.1	13.9	20.6	30.7	43.7	52.8	57.1	55.9	44.7	33.7	22.4	14.3	33.6

Source: Meteorological Yearbook RHSS - climatological data

The city of Kragujevac and its surroundings are located in moderate width area and belong to the temperate climate zone. Within the annual air temperature fluctuations, one maximum and one minimum temperature are clearly distinguished (Fig. 3). Namely, the temperatures increase from January to July, when they reach the maximum (21.9°C), i.e. to August, when they drop until January, showing a minimum annual value (0.9°C). A more pronounced temperature jump occurs in March, indicating the beginning of the warmer part of the year, which coincides with the beginning of the vegetation period. The annual amplitude of the air temperature is above 20°C (22.8°C). T. Rakićević (1980) found that Kragujevac and its surroundings belong to the Šumadija climatic region, with four distinct seasons. The first half, which is dry and warm, is especially pleasant during the year. This is important for planning tourist and recreational activities. According to Köppen climate classification, Kragujevac basin belongs to the Cfbx climate where the mean temperature of the coldest month is above -3°C, while the mean temperature of the warmest month is lower than 22°C (Milentijević, 2016; Milovanović et al., 2017).

The annual flow of water vapor pressure follows the annual flow of air temperature (Tab. 2). Water vapor pressure is lower in winter than in summer. It increases until July when it reaches its maximum annual value (17.6 mb). In the autumn and winter half of the year, water vapor pressure drops to reach the annual minimum in January (5.6 mb). However, the annual fluctuations in water vapor pressure are not as pronounced as temperature fluctuations during the year. The water vapor pressure is characterized by high annual amplitude (12.0 mb). Cities with high water vapor values are generally characterized by moist cold in winter and moist heat in summer.

Cold weather type ($5^{\circ}\text{C} < E_t < 22^{\circ}\text{C}$) is represented since December, ending with March. The physiological sense of heat that appears as **cold** ($5-18^{\circ}\text{C}$) coincides with the winter period. The physiological sensation of warmth **very chilly** ($18-22.0^{\circ}\text{C}$) characterizes the first spring month, March (20.6°C). The physiological sense of heat **very cold** (5°C) is not represented, which is a favorable circumstance for tourism. In January, the lowest annual value of equivalent temperatures (12.1°C) is recorded. This practically means that in winter there is the least accumulated latent heat. Thus, the coldest month is January when there is the least trapped water vapor in the atmosphere during the year.

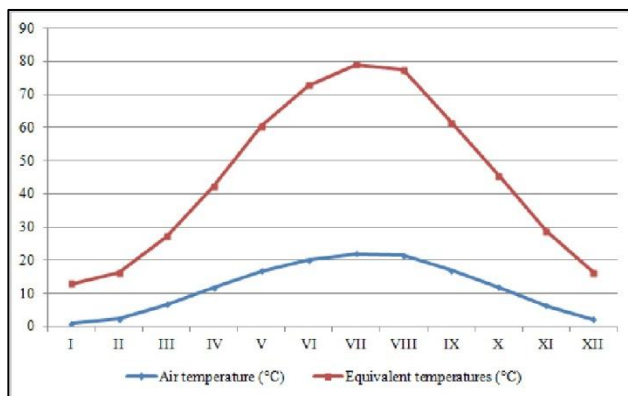


Fig. 3. Annual air temperature flow and equivalent temperatures in Kragujevac (1981-2010)

The pleasant weather type ($22.0 < E_t < 50.0^{\circ}\text{C}$) characterizes the greater part of the spring (April and May), as well as the whole autumn (September, October, November). All classes of this time type are represented. The physiological sense of heat, which according to the Krüger classification qualifies as **chilly** ($22.0-30.0^{\circ}\text{C}$), is only present in November (22.4°C). The type **warm** ($30.0-40.0^{\circ}\text{C}$) is present in April (30.7°C), when it is close to the boundary value of chilly, as well as in October (33.7°C). The type **hot** ($40.0-50.0^{\circ}\text{C}$) is present in May (43.7°C) and September (44.7°C).

Similar bioclimatic conditions are observed in the bioclimatic analysis of Banja Koviljača. The second half of April, May, September and the first half of October show favorable thermal conditions for most of the day (Stojićević et al., 2016). The larger areas, such as Vojvodina, show slightly different patterns of thermal comfort. Namely, the warm weather type is represented from the end of March to the last decade of October, which means it is shorter compared to the urban area of Kragujevac (Basarin et al., 2017). This is explained by the influence of high mean annual air temperatures, high amplitudes of temperature ($>22^{\circ}\text{C}$) and, above all, high summer temperatures ($>20^{\circ}\text{C}$), which is a feature of Vojvodina and Peripanonian area (Ducić & Radovanović, 2005). Warm weather type has the greatest importance in planning the tourist offer. Considering the duration of a warm weather type (5 months), the means of tourist propaganda should emphasize this fact. It gets important when taking into account that the average annual value of the equivalent temperatures belongs to a warm weather type, i.e., the **pleasant** class (33.6°C).

The overheated time type ($50.0 < E_t < 70.0^{\circ}\text{C}$) is represented with a class of a **little humid** ($50.0-58.0^{\circ}\text{C}$) during the hottest, summer season of the year (June, July, August). Classes **humid** and **very humid** are not represented, which presents favorable bioclimatic conditions from the aspect of tourism. The values of the equivalent temperatures during the summer months exceed the warm weather type, which is explained by the modifier effect of the urban area on the values of the annual air temperature flow. There is an increase in temperature in urban areas during the summer months ($>5^{\circ}\text{C}$ in relation to the environment). It is even more pronounced in late autumn, winter, and early spring, which is explained by the anticyclonic synoptic

situation. The real cause is heat production in the colder half of the year caused by anthropogenic activities (heating, traffic) and the release of heat at night due to higher daily absorption of solar radiation, which depends on the thermal characteristics of buildings (Savić et al., 2013; Unkašević, 1994).

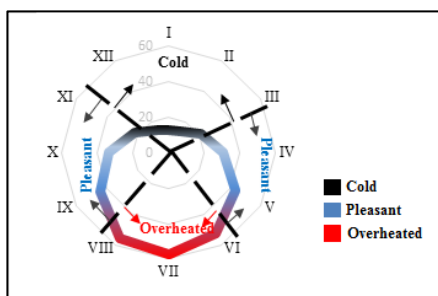


Fig. 4. Polar diagram of mean monthly values of equivalent air temperature with types of weather conditions according to Krüger model (1981-2010)

Conclusion

It can be concluded that in the area of the city of Kragujevac the **warm** weather type is dominant and it lasts for five months. Then all classes of physiological sensations of heat (**chilly, warm and hot**) are represented. If one takes into account that the class a **little humid** is at the boundary, it can be considered a class of warm weather type. However, the specified time type is not present in continuity, but it is interrupted by summer months (**overheated weather type**). **Cold** weather type is represented in the winter period of the year. The summer period includes the season when the largest amount of latent heat accumulates. In July and August, this is due to the thermal regime. The values of yearly temperature fluctuations and equivalent temperatures show some similarities.

The bioclimatic characteristics of the city of Kragujevac, based on equivalent temperatures, can be considered favorable, primarily from the medical point of view and aspects of tourism trends and recreation. Particularly favorable bioclimatic conditions are in the winter and summer half of the year, since the most extreme classes of physiological sensations of heat are not represented. It should be kept in mind that the analysis of equivalent temperatures was made on the basis of parameters from the only first-order weather station in the city. Due to the large heterogeneity of the space (835 km²) the presented results show the general state of equivalent temperatures. There are numerous factors that influence the pronounced microclimatic differences in the area: degree of urbanization, terrain orography, existing hydrographic objects, plant cover, etc. For this reason, it would be good to determine the monitoring of the necessary parameters for regular communication of bioprognosis.

© 2018 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

References

- Basarin, B., Kržič, A., Lazić, L., Lukić, T., Đorđević, J., Petrović Janićijević, B., Čopić, S., Matić, D., Hrnjak, I. & Matzarakis, A. (2014). Evaluation of Bioclimate Conditions in Two Special Nature Reserves in Vojvodina (Northern Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(4), 93-108.
- Basarin, B., Lukić, T., Mesaroš, M., Pavić, D., Đorđević, J. & Matzarakis, A. (2017). Spatial and Temporal Analysis of Extreme Bioclimate Conditions in Vojvodina, Northern Serbia. *International Journal of Climatology*, 38, 142-157. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5166>
- Вујевић, П. (1956). *Климатолошка статистика*. Београд: Научна књига [Vujević, P. (1956). *Klimatološka statistika*. Београд: Научна књига]
- Вујевић, П. (1961). Прилози за биоклиматологију области Копаноника. *Зборник радова Географског института "Ј. Цвијић"*, 18, 1-91. [Vujević, P. (1961). Prilozi za bioklimatologiju oblasti Kopaonika. *Zbornik radova Geografskog instituta "J. Cvijić"*, 18, 1-91.]
- Голубовић, П. (2001). *Географија Југославије*. Ниш: Природно-математички факултет [Golubović, P. (2001). *Geografija Jugoslavije*. Niš: Prirodno-matematički fakultet]
- de Freitas, C. R. (2003). Tourism Climatology - evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*, 48, 45-54.
- Дукић, Д. (1981). *Климатологија*. Београд: Научна књига [Dukić, D. (1981). *Klimatologija*. Београд: Научна књига]
- Дуцић, В. & Радовановић, М. (2005). *Клима Србије*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства [Ducić, V. & Radovanović, M. (2005). *Klima Srbije*. Београд: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva]
- Holford, I. (1967). Planning your days according to the weather. *Weather*, 22, 132-133.
- Мацејка, М. (2003). *Клима и њен здравствени значај у банјата Србије*. Београд: Српско географско друштво.
- Matzarakis, A. & Endler, C. (2010). Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *Int. J. Biometeorol.* 54, 479-483.
- Matzarakis, A. & Nastos, P. T. (2011). Human-biometeorological assessment of heat waves in Athens. *Theor. Appl. Climatol.* 105, 99-106.
- Milosavljević, M. (1990). *Klimatologija*. Београд: Научна књига
- Milošević, D. D., Savić, M. S., Marković, V., Arsenović, D. & Šećerov, I. (2016). Outdoor human thermal comfort in local climate zones of Novi Sad (Serbia) during heat wave period. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65(2), 129-137. DOI: 10.15201/hungeobull.65.2.4
- Milićević-Malinović, S. (2013). Bioclimatic Characteristic of Banat. *Journal of Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA*, 63(1), 11-20. DOI: 10.2298/IJGI1301011M
- Milentijević, N. (2016). Thermal Regime of the Kragujevac Basin. *Serbian Journal of Geosciences*, 2(1), 25-35.
- Milovanović, B., Ducić, V., Radovanović, M. & Milivojević, M. (2017). Climate Regionalization of Serbia according to Köppen Climate Classification. *Journal of Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA*, 67(2), 103-114. DOI: <https://doi.org/10.2298/IJGI1702103M>
- Oliver, E. J. (2005). Climate Comfort Indices. In E. J. Oliver (Eds.), *Encyclopedia of World Climatology* (pp. 89-94). Dordrecht, The Netherlands: Springer
- Павловић, М. & Марковић, Ј. (1995). *Географске регије Југославије*. Београд: ИШП Савремена администрација [Pavlović, M. & Marković, J. (1995). *Geografske regije Jugoslavije*. Београд: ИШП Савремена администрација]
- Пецељ, Р. М. (1996). Биоклиматске карактеристике Пећке бање. *Зборник радова, Физичко-географски процеси на Косову и Метохији II, Приштина*, 31-36. [Pecelj, R.M. (1996). Bioklimatske karakteristike Pečke banje. *Zbornik radova, Fizičko-geografski procesi na Kosovu i Metohiji II, Priština*, 31-36.]
- Пецељ, М., Попара, С., Јовић, Г. & Стевановић, В. (1996). Биоклиматске карактеристике Подунавља. *Зборник радова научног скупа "Подунавље у Србији"*. Завод за заштиту природе, 182-184. [Pecelj, M., Popara, S., Jović, G. & Stevanović, V. (1996). Bioklimatske

- karakteristike Podunavlja. Zbornik radova naučnog skupa "Podunavlje u Srbiji". Zavod za zaštitu prirode, 182-184.]
- Pecelj, R. M., Milinčić, M. M. & Pecelj, M. M. (2007). Bioclimatology and ecoclimatology prospecting: Right out development, *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 87(2), 199-210.
- Pecelj, M. (2013). Bioclimatic Indices based on The Menex Model – Example on Banja Luka. *Journal of Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA*, 63(1), 1-10. DOI: :10.2298/IJGI120803003
- Pecelj, M., Krajić, A., Trbić, G., Stevanović, V. & Golijanin, J. (2013). Bioclimatic Characteristics of the City of Novi Sad Based on Human Heat Balance. *Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Waste Management, Water Pollution, Indoor Climate (WWAI '13), Recent Advances in Environmental Science*, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge ISBN: 978-1-61804-167-8, ISSN: 2227-4359, Frederick University, Cyprus, Limasol, Cyprus, (2013), 244-249.
- Pecelj, M., Đorđević, A., Pecelj, M. R., Pecelj-Purković, J., Filipović, D. & Šećerov V. (2017). Biothermal conditions on Mt. Zlatibor based on thermophysiological indices. *Archives of Biological Sciences*, 69(3), 455-461. DOI: <https://doi.org/10.2298/ABS151223120P>
- Perry, A. (1972). Weather, climate and tourism. *Weather*, 27, 199-203.
- Ракићевић, Л. Т. (1980). Климатско рејонирање СР Србије. *Зборник радова Географског института ПМФ*, 27, 29-42. [Rakićević, L.T. (1980). Klimatsko rejoniranje SR Srbije. Zbornik radova Geografskog instituta PMF, 27, 29-42.]
- Станковић, М. С. (2000). *Туристичка географија*. Београд: Географски факултет [Stanković, M.S. (2000). Turistička geografija. Beograd: Geografski fakultet]
- Станковић, М. С. (2013). *Туристичка географија Србије – правци туристичких путовања*. Београд: Српско географско друштво [Stanković, M.S. (2013). Turistička geografija Srbije – pravci turističkih putovanja. Beograd: Srpsko geografsko društvo]
- Savić, S., Janoš, U., Tamaš, G., Milošević, D. & Popov, Z. (2013). Urban heat island research of Novi Sad (Serbia): A review. *Geographica Pannonica*, 17(1), 32-36. Retrieved from: http://www.dgt.uns.ac.rs/pannonica/volumes/volume17_1.htm
- Stojićević, G., Basarin, B. & Lukić, T. (2016). Detailed Bioclimate Analysis of Banja Koviljača (Serbia). *Geographica Pannonica*, 20(3), 127-135. DOI: 10.18421/GP20.03-01
- Šećerov, I., Savić, S., Milošević, D., Marković, V. & Bajšanski, V. I. (2015). Development of an automated urban climate monitoring system in Novi Sad (Serbia). *Geographica Pannonica*, 19(4), 174-183. DOI: 10.5937/GP15041745
- Unkašević, M. (1994). *Klima Beograda*. Beograd: Naučna knjiga
- Unkašević, M. (2003). Uticaj vremena i klime na čoveka. U Unkašević, M. (Ur.), *Primenjena meteorologija* (99-121). Beograd: Republički Hidrometeorološki Zavod Srbije
- Wallen, C. C. (1974). *A brief survey of meteorology as related to the biosphere*. Geneva: WHO

**Никола Милентијевић^{1*}, Јован Драгојловић^{*}, Марија
Цимбаљевић^{**}, Душан Ристић^{*}, Кристина Калкан^{**},
Драган Бурић^{***}**

** Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Природно-математички факултет, Одсек за географију, Косовска Митровица, Србија*

*** Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Србија*

**** Универзитет Црне Горе, Филозофски факултет, Одсек за географију, Никшић, Црна Гора*

**АНАЛИЗА ЕКВИВАЛЕНТНИХ ТЕМПЕРАТУРА - ПРИМЕР
ГРАДА КРАГУЈЕВЦА**

Апстракт: Потпунија климатска слика неког места добија се и анализом биоклиматских показатеља. У овом раду представљена је анализа физиолошког осећаја топлоте на територији града Крагујевца. Биоклиматска разматрања урађена су на основу еквивалентне температуре, која представља комбиновани утицај температуре ваздуха и напона водене паре. На основу ова два климатска елемента, одговарајуће једначине и Кригерове антропоклиматске класификације, издвојена су три временска типа и девет физиолошких осећаја топлоте за територију града Крагујевца. Њихов значај у биоклиматологији је у томе што изазивају различита осећања топлоте код здравих и болесних људи, па могу послужити као основ за очекиване типове биовремена током године. Урбане целине су подручја веће концентрације становништва на које климатски елементи делују стимулативно или напротив, дестимулативно, што зависи од здравственог стања особе. За потребе рада анализиран је тридесетогодишњи климатски период (1981-2010) на основу података метеоролошке станице Крагујевац. На простору града и његовог окружења постоје значајни историјско-туристички локалитети и природни ресурси, које се могу комплементарно валоризовати. Анализиране вредности еквивалентних температура се могу искористити за потребе планирања активности туриста и у средствима туристичке пропаганде. У ту сврху, овај рад може представљати солидну биоклиматску основу.

Кључне речи: еквивалентне температуре, Кригерава антропоклиматска класификација, Крагујевац, урбане целине

¹ nikola.milentijevic@pr.ac.rs (аутор за кореспонденцију)

Увод

Биоклиматологија као интердисциплинарна наука има за задатак да проучи различите односе између организама и вишегодишњег стања атмосфере, као и трајну везу и вишеструку интеракцију у којој је доминантан утицај физичке средине у односу на повратну човекову реакцију (Пецељ, 1996). Клима је природни ресурс од значаја за развој туризма као делатности. Она је представљена климатским елементима као варијаблама, који служе за процену рекреативних потреба примењујући методе хумане биоклиматологије (de Freitas, 2003). Деловање климе на људски организам има огромну улогу у квалитету живота људске популације. Познато је да временски услови имају значајан утицај на здравље људи и да метеоролошки елементи делују на човека појединачно и комбиновано (Trenberth et al., 2000; Oliver, 2005).

Предмет овог рада је анализа еквивалентних температура на територији града Крагујевца, док је циљ рада сагледавање утицаја наведеног биоклиматског индекса у функцији туризма и рекреације. Бројни су аутори који разматрају један или више биоклиматских индекса на примеру већих предеоних целина (Вујевић, 1961; Пецељ и сар., 1996; Malinović-Milićević, 2013; Basarin et al., 2014; Pecelj et al., 2017; Basarin et al., 2017), урбаних зона (Matzarakis & Endler, 2010; Matzarakis & Nastos, 2011; Pecelj, 2013; Pecelj et al., 2013) и бањских места (Пецељ, 1996; Маџејка, 2003; Stojićević et al., 2016).

На подручју града или у окружењу лоцирани су бројни туристички мотиви, који Крагујевцу дају улогу контрактивне зоне тј. привлачења туриста. Посебно се истичу: амбијенталне целине – културно-историјски комплекс "Милошев венац", Спомен парк у Шумарицама, бројна излетишта (Жежел, Бешњаја, Липар, Шумарице), палеолитски локалитет (Градац код Баточине), водојаже (Грошничко и Дуленско језеро), сакрални објекти - манастири Вољавча и Драча, црква у Рамаћи (Станковић, 2013). Наведени ресурси представљају основу развоја комплементарних видова туризма. Последњих година у целом свету расте интерес за туризмом и рекреацијом, јер постоји општа тенденција ка повећању слободног времена изазваног скраћењем радног дана. За туристу је информација о времену одређеног места од приоритетног значаја. Бројни аутори су се бавили анализом субјективног мотива избора места за одмор који обезбеђује зону комфора². Тако је Пери (1972) подвргао критици туристичке брошуре у којима је пажња посвећена релативно високим температурама ваздуха средином зиме у Средоземљу, а нису поменуте кише карактеристичне у то доба године. Терјунг (1968) је поделио Аљаску на неколико физиоклиматских зона на основу индекса комфора. Показао је да је у већем делу Аљаске прохладно и у јулу, да је осмотрен ветар већег интензитета и да се национални парк, који привлачи већину туриста, налази изван комфорних делова државе (Holford, 1967). Дакле, дискомфор може да угрози и ограничи прилив туриста. Према томе, анализа еквивалентних температура, као једне од значајних

² "Зона комфора или зона удобних осећаја" подразумева граничне вредности температуре ваздуха при којима се човек осећа пријатно. Најпријатнији осећај и нормална размена топлоте са околним ваздухом су при еквивалентно-ефективној температури (ЕЕТ) од 17,2-21,7°C, када је човек обнажен, а од 16,7-20,6°C, ако је одевен (Дукић, 2006).

биоклиматских карактеристика представља основу бољег туристичког позиционирања. У томе лежи и шири, апликативни значај анализе еквивалентних температура.

Материјал и методи

Град Крагујевац у регионалногеографском смислу припада мезорегији Средње Србије (Павловић & Марковић, 1995) односно представља географску окосницу Шумадијске субрегије, која припада Перипанонској Србији (Сл. 1).

Сл. 1. Географски положај града Крагујевца у Републици Србији (стр. 63)

Подручје града је смештено у котлини која представља мање тектонско-флувијално проширење композитне долине Лепенице, отворено према североистоку, ка Великом Поморављу. Смештен је између орографских целина – Рудника, Црног врха и Гледидких планина. Град се простире са обе стране Лепенице, највећим делом с леве стране реке (где је котлинско-долинско дно шире). Територија града се простире на 835 km² и представља један од водећих градова Шумадије (Голубовић, 2001). Математичкогеографски положај Метеоролошке станице Крагујевац (Сл. 2) је одређен следећим координатама: $\varphi = 44^{\circ}02' N$; $\lambda = 20^{\circ}56' E$; $H_s = 185 m$ (Метеоролошки годишњаци РХМЗ – климатолошки подаци). Треба узети у обзир да се Метеоролошка станица Крагујевац налази на ужем градском подручју. Из тог разлога анализирани подаци не представљају на најбољи начин биоклиматске услове шире територије града. Проблем би могао бити превазиђен постављањем мреже аутоматских метеоролошких станица, чиме би био обезбеђен квалитетнији мониторинг климатских елемената. На тај начин се добија боља просторна дистрибуција биоклиматских параметара. Сличан мониторинг систем већ постоји на територији града Новог Сада, а чини га мрежа од 27 аутоматских метеоролошких станица (Šećerov et al., 2015; Milošević et al., 2016).

Сл. 2. Географски положај Метеоролошке станице Крагујевац (стр. 64)

Методолошки приступ у раду заснива се на анализи комбинованих климатских елемената. Они омогућавају одређивање релативног дејства сваког појединачног чиниоца. Резултат таквих комбинација су величине и индекси као што су: еквивалентне температуре, индекс хладноће, ваздушна моћ хлађења, радијационо-еквивалентно-ефективна температура итд. Поред стандардних климатских величина, за биоклиматску анализу или рејонизацију користе се комплексне климатске везе. Суштина ових веза је да се при одабиру климатских елемената одреди оптималан осећај угодности, односно зона комфора или зона удобних осећаја. Негде су то физиолошки осећаји топлоте (еквивалентне температуре), негде зоне угодности, односно зоне оморине (климограм оморине). На тај начин се долази до полазне основе за одређивање биотипова путем одговарајућих скала, а затим биоклиматских анализа које уважавају факторе који утичу на термички комфор човека, било у затвореном или отвореном простору. На све то утичу фактори метеоролошке и неметеоролошке природе (Вујевић, 1956; Unkašević, 2003).

Поред класичних метода који се користе у биоклиматским истраживањима данас се појављују нови модели и методе који могу допринети квалитетнијој карактеризацији биоклиматских истраживања. Посебно истичемо модел размене

топлоте који може послужити за детаљнија биоклиматска истраживања. Ради се о моделу "MENEX-2005" (Man-ENvironment-EXchange) који анализира размену топлоте и заснован је на односу "човек-околина". Модел има апликативан значај у биоклиматологији: туризам и рекреација, климатотерапија (људско здравље, урбана истраживања), у просторним пројектима као и пројектима стамбених и рекреативних области (Pecelj et al., 2007).

Анализа биоклиматских елемената има утицаја на избор локације рекреативне зоне, што са медицинског становишта има вишеструки значај. То су разлози због којих ћемо се задржати на биоклиматској анализи еквивалентних температура. Еквивалентна температура (E_t) представља комбиновано дејство температуре ваздуха t ($^{\circ}\text{C}$) и напона или притиска водене паре e (mm). Израчунава се на основу једначине:

$$E_t = t + 2e \quad (1)$$

Она се у суштини састоји од измерене температуре ваздуха и допунске температуре, која би настала ако би се кондензовала сва водена пара. E_t је чисто теоријска величина која се употребљава у биоклиматологији и при изучавању енергетског биланса атмосфере. Наиме, прелаз воде из једног у друго агрегатно стање прати ослобађање или утрошак енергије, што изазива крупне промене у географском омотачу. Да би 1 грам воде прешао у парно стање потребна је енергија од $2,533 \times 10^3 \text{ J}$ (Пецељ, 1996; Вујевић, 1956). "У пракси се E_t одређује из вредности температуре влажног термометра и одговарајуће скале. Организам непрекидно излучује топлоту и њен утрошак зависи од интензитета испаравања са површине коже и температуре околног ваздуха. За тело у стању потпуног мировања, E_t околног ваздуха је 37°C и она означава тренутак знојења" (Дукић, 2006).

Значај еквивалентних температура је у томе што изазивају различите осећаје топлоте код здравих и болесних људи. Ово потврђују сазнања да људски организам треба стално да одржава температуру од $36,5^{\circ}\text{C}$, јер су одступања од поменуте вредности штетна по здравље. То у пракси значи да се при хладном времену мора спречавати губитак топлоте, а при топлом омогућити хлађење које неће бити штетно по организам. Њихова основна сврха је процена утицаја атмосферских промена на људски организам, па се издвојила посебна научна дисциплина – хумана биометеорологија. У литературу их уводи В. Бецолд. Немачки климатолог Е. Кригер је 1944. године предложио седмостепену скалу класификације еквивалентних температура. Међутим, за биоклиматску идентификацију временских типова и биотипова коришћена је Кригерова скала допуњена са још две класе и на тај начин прилагођена нашим географским ширинама (Вујевић, 1956; Milosavljević, 1990; Станковић, 2000; Wallen, 1974).

Резултати и дискусија

Еквивалентне температуре су корисне за одређивање физиолошких осећаја топлоте и временских типова, у складу са Кригеровом антропоклиматском класификацијом која је допуњена и рашчлањена на три временска стања и девет физиолошких осећаја топлоте (Таб. 1).

Таб. 1. Класификација физиолошких осећаја топлоте (ФОТ) и временских типова (ВТ) по Кригеру

Е _т (°C)	<5	5-18	18-22	22-30	30-40	40-50	50-58	58-70	<70
ФОТ	врло хладно	хла-дно	веома прохладно	свеже	угодно	топло	мало запарно	запарно	веома запарно
ВТ		хладни		пријатно			прегрејани		

Извор: Вујевић, 1961.

У овом раду анализиране су еквивалентне температуре за тридесетогодишњи период (1981-2010) на примеру МС Крагујевац (Таб. 2, Сл. 3,4).

Таб. 2. Годишњи ток температуре ваздуха, напона водене паре и еквивалентних температура у Крагујевцу (1981-2010)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год.
температура ваздуха												
0,9	2,3	6,6	11,7	16,7	20,0	21,9	21,5	16,9	11,9	6,4	2,1	11,6
напон (притисак) водене паре												
5,6	5,8	7,0	9,5	13,5	16,4	17,6	17,2	13,9	10,9	8,0	6,1	11,0
еквивалентне температуре												
12,1	13,9	20,6	30,7	43,7	52,8	57,1	55,9	44,7	33,7	22,4	14,3	33,6

Извор: Метеоролошки годишњаци РХМЗ – климатолошки подаци

Град Крагујевац са околином се налази на простору умерених ширина и припада климатском типу умереног појаса. У годишњем ходу температуре ваздуха јасно се издваја један максимум и један минимум температуре (Сл. 3). Наиме, температуре расту од јануара до јула, када достижу максимум (21,9°C), односно августа када опадају до јануара показујући минимум годишње вредности (0,9°C). Израженији скок температуре имају у марту, које указују на почетак топлијег дела године, што се поклапа са почетком вегетационог периода. Годишња амплитуда температуре ваздуха је изнад 20°C (22,8°C). Т. Ракићевић (1980) је установио да Крагујевац са околином припада Шумадијском климатском рејону, са четири јасно изражена годишња доба. Прва половина која је сува и топла је нарочито пријатно доба године. Ово је од значаја за планирање туристичких и рекреативних активности. Према Кепеновој класификацији климата, Крагујевачка котлина припада Сfbх климату са температуром најхладнијег месеца изнад -3°C, док је средња температура најтоплијег месеца нижа од 22°C (Milentijević, 2016; Milovanović et al., 2017).

Годишњи ток притиска водене паре прати годишњи ток температуре ваздуха (Таб. 2). Притисак водене паре је у зимским месецима мањи него у летњим. Он се повећава до јула када достиже максималну годишњу вредност (17,6 mb). У јесењој и зимској половини године притисак водене паре опада, да би годишњи минимум достигао у јануару (5,6 mb). Ипак, годишња колебања притиска водене паре нису тако изражена као промене температуре током године. Притисак водене паре карактерише и висока годишња амплитуда (12,0 mb). Места која имају високе вредности водене паре углавном карактеришу влажне хладноће зими, а лети влажне врућине.

Сл. 3. Годишњи ток температура ваздуха и еквивалентних температура у Крагујевцу (1981-2010) (стр. 67)

Хладни временски тип ($5^{\circ}\text{C} < E_t < 22^{\circ}\text{C}$) је заступљен од децембра закључно са мартом. Физиолошки осећај топлоте који се јавља као **хладно** ($5-18^{\circ}\text{C}$) поклапа се са зимским периодом. Физиолошки осећај топлоте **веома прохладно** ($18-22,0^{\circ}\text{C}$) карактерише први пролећни месец, март ($20,6^{\circ}\text{C}$). Физиолошки осећај топлоте **врло хладно** (5°C) није заступљен, што је повољна околност за туризам. У јануару се бележи најмања годишња вредност еквивалентних температура ($12,1^{\circ}\text{C}$). То практично значи да је зими најмање акумулиране латентне топлоте. У томе предњачи најхладнији месец јануар када је најмање заробљене водене паре у атмосфери у току године.

Пријатни временски тип ($22,0 < E_t < 50,0^{\circ}\text{C}$) карактерише већи део пролећа (април и мај), као и читаву јесен (септембар, октобар, новембар). Заступљене су све класе овог временског типа. Физиолошки осећај топлоте, који се према Кригеровој класификацији квалификује као **свеже** ($22,0-30,0^{\circ}\text{C}$) заступљен је само у новембру ($22,4^{\circ}\text{C}$). Класа **угодно** ($30,0-40,0^{\circ}\text{C}$) заступљена је у априлу ($30,7^{\circ}\text{C}$), када је блиска граничној вредности свеже, као и у октобру ($33,7^{\circ}\text{C}$). Класа **топло** ($40,0-50,0^{\circ}\text{C}$) заступљена је у мају ($43,7^{\circ}\text{C}$) и септембру ($44,7^{\circ}\text{C}$).

Сличне биоклиматске услове запажамо у биоклиматској анализи Бање Ковиљаче. Друга половина априла, маја, септембра и прва половина октобра показују повољне термичке услове током већег дела дана (Stojićević et al., 2016). Веће предеоне целине, попут Војводине показују нешто другачије обрасце термичког комфора. Наиме, пријатни временски тип је заступљен од краја марта до последње декаде октобра, чиме је краћи у односу на урбано подручје Крагујевца (Basarin et al., 2017). Ово се објашњава утицајем високих средњих годишњих температура ваздуха, високим амплитудама температуре ($>22^{\circ}\text{C}$) и пре свега, високим летњим температурама ($>20^{\circ}\text{C}$), што је одлика Војводине и Перипанонског обода (Дуцић & Радовановић, 2005). Пријатни временски тип има највећи значај у планирању туристичке понуде. С обзиром на трајање пријатног временског типа (5 месеци) требало би у средствима туристичке пропаганде истаћи ову чињеницу. Она добија на значају када се узме у обзир да просечна годишња вредност еквивалентних температура припада пријатном временском типу односно класи **угодно** ($33,6^{\circ}\text{C}$).

Прегрејани временски тип ($50,0 < E_t < 70,0^{\circ}\text{C}$) заступљен је са класом **мало запарно** ($50,0 - 58,0^{\circ}\text{C}$) током најтоплијег, летњег периода године (јун, јул, август). Класе **запарно** и **веома запарно** нису заступљене, што представља повољне биоклиматске услове са аспекта туризма. Вредности еквивалентних температура током летњих месеци прелазе границу пријатног временског типа, што се објашњава модификаторским утицајем урбаног подручја на вредности годишњег тока температуре ваздуха. Примећен је пораст температуре у урбаним подручјима током летњих месеци ($>5^{\circ}\text{C}$ у односу на околину). Он је чак израженији у касну јесен, зиму и рано пролеће, што се објашњава антициклоналном синоптичком ситуацијом. Стварни узрок је производња топлоте у хладнијој половини године изазвана антропогеним активностима (загревање, саобраћај) и ослобађање топлоте ноћу због веће дневне апсорпције Сунчевог зрачења које зависи од термичких карактеристика зграда (Savić et al., 2013; Unkašević, 1994).

Сл. 4. Поларни дијаграм средњих месечних вредности еквивалентне температуре ваздуха са типовима временских стања по моделу Кригера (1981-2010) (стр. 68)

Закључак

Може се извести закључак да је на подручју града Крагујевца доминантан **пријатни** временски тип који траје пет месеци. Тада су заступљене све класе физиолошког осећаја топлоте (**свеже, угодно и топло**). Ако се узме у обзир да је класа **мало запарно** на граници, могу се сматрати класом пријатног временског типа. Међутим, наведени временски тип није заступљен у континуитету, већ је прекинут летњим месецима (**прегрејани временски тип**). У зимском периоду године заступљен је **хладни** временски тип. Летњи период подразумева годишње доба када се акумулира највећа количина латентне топлоте. У томе предњаче јул и август што је последица термичког режима. Вредности годишњих токова температурних средњака и еквивалентних температура показује извесне сличности.

Биоклиматске карактеристике града Крагујевца, које се базирају на еквивалентним температурама, могу се сматрати повољним, пре свега са медицинског становишта и аспекта туристичких кретања и рекреације. Нарочито су повољни биоклиматски услови у зимској и летњој половини године, јер најекстремније класе физиолошког осећаја топлоте нису заступљене. Треба имати у виду је анализа еквивалентних температура извршена на основу параметара са једине станице I реда на територији града. Услед велике хетерогености простора (835 km²) представљени резултати приказују уопштено стање еквивалентних температура. Бројни су фактори који утичу на изражене микроклиматске разлике подручја: степен урбанизације, орографија терена, постојећи хидрографски објекти, биљни покривач и др. Из наведеног разлога било би добро утврдити праћење (мониторинг) потребних параметара за редовно саопштавање биопрогнозе.

© 2018 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

Литература (Погледати у енглеској верзији текста)