

ПРИМЈЕНА GIS-а И РЕГРЕСИОНИХ МОДЕЛА У МОДЕЛОВАЊУ ПРОМЈЕНА ТЕМПЕРАТУРА ВАЗДУХА НА ПРИМЈЕРУ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ³

Апстракт:

У раду су представљене промјене температуре ваздуха и њихова просторна расподела у Републици Српској. Истраживања су вршена за периоде 1961-1990. и 1999-2008, на бази метеоролошких података и статистичких модела интерполације, заснованим на регресионим моделима. Употребом висинског модела терена (DEM), те конструисане регресионе једначине и Kriging модела просторне интерполације у ГИС софтверској апликацији MapInfo израчунате су вриједности средњих температура ваздуха за комплетну површину посматраног простора. Добијени резултати истраживања показују да је највећи тренд повећања температура, на годишњем нивоу, у сјеверозападном и сјевероисточном дијелу Републике Српске, односно на подручју Посавине. На подручју централног планинског појаса регистрована су незнатна повећања температуре ваздуха, док је на подручју источног дијела високог херцеговачког крша присутан, чак, благи пад температура ваздуха.

Кључне ријечи:

Република Српска, температура ваздуха, климатске промјене, интерполација, ГИС.

Original scientific papers
Davorin Bajic⁴
Goran Trbic⁵

APPLICATION OF GIS AND REGRESSION MODELS IN MODELING TEMPERATURE CHANGES ON THE EXAMPLE OF REPUBLIKA SRPSKA⁶

Abstract:

This paper aims to present the changes in air temperature and its spatial distribution in Republika Srpska. The research was conducted in the periods 1961-1990 and 1999-2008, based on meteorological data and statistical interpolation model, acted on regression models. By using high-altitude terrain model (DEM), a constructed regression equation and Kriging interpolation of spatial models in MapInfo GIS software application, we calculated the values of average air temperature for all surfaces of the space observed. The results showed that the biggest trend of increasing temperature, per annum, was at the northwest and northeast of Republika Srpska and in the area of Posavina. There was only a slight increase of air temperature in the area of the central mountain belt, whereas in the eastern highland Herzegovina karsts region we measured temperature drops.

Key words:

Republika Srpska, air temperature, climate changes, interpolation, GIS.

¹ Мр Даворин Бајић, виши асистент, Природно-математички факултет, Универзитета у Бањој Луци

² Др Горан Трбић, доцент, Природно-математички факултет, Универзитета у Бањој Луци

³ Рад представља резултате истраживања на пројекту под насловом "Утицај климатских промјена на животну средину и одрживи развој Републике Српске", који је суфинансирало Министарство науке и технологије у Влади Републике Српске.

⁴ Ма Davorin Bajic, Senior Assistant, Faculty of Sciences, University of Banja Luka.

⁵ PhD Goran Trbic, Professor Assistant, Faculty of Sciences, University of Banja Luka.

⁶ The paper presents research on a project entitled "The impact of climate change on the environment and sustainable development of Republika Srpska", which is co-financed by the Ministry of Science and Technology of Republika Srpska.

Увод

Температура ваздуха један је од најважнијих климатских елемената, који је често предмет анализе стручних и научних експертиза из различитих сфера људског дјеловања. Велики број људских активности директно или индиректно зависе од квантитативних и квалитативних својстава температуре ваздуха. У климатолошким опсервацијама, веома је битно прецизно сагледати основна својства температуре ваздуха, на комплетној површини посматраног простора. Међутим, поступак идентификације температурних својстава ваздуха на комплетној површини посматраног простора веома је комплексан поступак, који у одређеној мјери захтијева дати ниво апстракције и генерализације. Наиме, на једној страни, изражена хетерогеност температурних својстава условљена климатским факторима, те на другој страни, мали број локација гдје се егзактно мјере температуре ваздуха (метеоролошке станице), отежавају прецизно сагледавање температурних својстава на комплетној површини анализираниг простора. Нарочито је наведени проблем присутан на територијама као што је Република Српска, гдје је покривеност мрежом метеоролошких станица веома мала а модификаторско дјеловање комплекса климатских фактора веома изражено. Сем тога, просторни размјештај метеоролошких станица доста је неравномјеран и углавном је концентрисан на веће урбане центре. На сјеверном подручју Републике Српске готово све метеоролошке станице се налазе на надморским висинама испод 200 m, изузетак је метеоролошка станица која се налази на Мраковици.

У досадашњим радовима регионални расподјела температуре ваздуха на подручју Републике Српске вршена је само на бази моделовања гдје су генерисани елементи хоризонталне интерполације. Моделовањем температуре ваздуха гдје је поред хоризонталне детерминисана и вертикална интерполација дата је доста квалитетнија и комплекснија слика о њеној просторној расподјели.

Introduction

Air temperature is one of the most important climate parameters, and it is often a subject of analysis done by professional and scientific expertise from various fields of human activity. A large number of human activities directly or indirectly depend on the quantitative and qualitative characteristics of air temperature. When it comes to climate observations, it is crucial to accurately survey the basic properties of air temperature, especially to consider the properties of temperature on the entire surface of the space observed. However, the process of identification of the temperature properties of air within the whole range of observed area is a very complex procedure, which to some extent requires a specified level of abstraction and generalization. Specifically, the heterogeneity of temperature caused by climatic factors and few locations with the exact measurements of air temperature (weather stations) both make it difficult to accurately decide on the temperature properties of the entire surface of the analyzed area. In particular, this problem is present in countries such as Republika Srpska, where the network coverage of meteorological stations is very small and the modifying effects of the complex climatic factors are very strong. In addition, the spatial distribution of meteorological stations is rather uneven and mainly concentrated in larger urban centers. In the northern area of Republika Srpska, almost all weather stations are located at elevations below 200 m, with the exception of a weather station located at the Mrakovica Peak.

In earlier studies, the regional distribution of air temperature in Republika Srpska was conducted only on the basis of modeling, which generated elements of the horizontal interpolation. The process of modeling of air temperature, which took into consideration both horizontal and vertical interpolation, generated a clearer picture of its spatial distribution.

Опис методолошког поступка

Температура ваздуха, као једно од физичких својстава атмосфере и веома битан климатски елемент, зависи од великог броја климатских фактора. Комплекс климатских фактора знатно модификује климатска својства, чак и на релативно малом географском простору, уколико је тај простор хетероген у погледу физичко-географске структуре, то се посебно односи на температуре ваздуха које су нарочито подложне модификацијама под дејством наведених фактора.

Описане чињенице захтијевају примјену различитих аналитичких поступака у идентификацији температурних својстава на комплетној површини посматраног простора. Значај идентификације температурних својстава довео је до појаве великог броја методолошких поступака којима се покушавају планарно утврдити температурна својства. Сви поступци који се употребљавају заснивају се на различитим статистичким и картографским моделима *интерполације*. У новијој климатолошкој литератури углавном се употребљавају модели интерполације засновани на регресионим статистичким моделима. Поред тога, велику помоћ код примјене модела интерполације омогућавају ГИС апликације.

Поступак интерполације температура ваздуха за простор Републике Српске, примијењен у овоме раду, може се описати кроз неколико аналитичких етапа:

У поступку интерполације кориштене су двије варијабле: средње температуре ваздуха за посматране временске периоде (°C) мјерене у метеоролошким станицама (Бања Лука, Приједор, Градишка, Србац, Добој, Бијељина, Соколац, Вишеград, Чемерно, Гацко, Билећа и Требиње)¹ и надморске висине односних метеоролошких станица;

Уврштавањем посматраних варијабли у модел линеарне регресије, температуре ваздуха као зависне промјењиве и надморске висине као независне промјењиве, одређена је *регресиона једначина* за сваки посматрани временски период, према математичком обрасцу:

¹ Због облика територије Републике Српске али и веома малог броја метеоролошких станица на којима се врши мониторинг за потребе рада коришћени су и подаци са метеоролошких станица које се налазе на подручју Федерације БиХ, а то су: Сарајево, Бихаћ, Бугојно, Тузла, Зеница, Иван Седло, Мостар и Ливно.

Description of the methodological procedure

Air temperature, as one of the physical properties of the atmosphere and a very important climatic element, depends on many of climatic factors. The complex of climatic factors significantly modifies the properties of climate, even within a relatively small geographic area, if the area in question is heterogeneous in terms of physical-geographical structure. Air temperature is particularly subject to modification under the influence of these factors.

The facts given require the application of diverse analytical procedures in order to identify the temperature characteristics of the entire surface of the space observed. The importance of identifying temperature properties has led to a large number of methodological procedures, which attempt to determine temperature properties. All the methods used are based on different statistical and cartographic models of interpolation. Recent climate studies mainly use interpolation models based on regressive statistical models. In addition, GIS applications have proved to be of a great assistance when it comes to interpolation model application.

The procedure of interpolation of air temperature in Republika Srpska, as applied in this paper, follows several analytical stages:

The process of interpolation capitalized on two variables: average air temperature for the different time periods (C) measured at weather stations (Banja Luka, Prijedor, Gradiska, Srbac, Doboј, Bijeljina, Sokolac, Visegrad, Cemerno, Gacko, Bileca and Trebinje)¹ and respective altitude of these meteorological stations;

The inclusion of the observed variables in linear regression model, air temperature as the dependent variable and altitude as independent variable, all led down to the regression equation for each observed time period, and the equation followed this mathematical form:

¹ Due to the shape of the territory of Republika Srpska and a very small number of meteorological stations where the monitoring was done, we also used meteorological stations located in the BiH Federation: Sarajevo, Bihac, Bugojno, Tuzla, Zenica, Ivan Sedlo, Mostar and Livno.

$$T = a_t + b_t Z$$

$$b_t = \frac{n \sum ZT - \sum Z \sum T}{n \sum Z^2 - (\sum Z)^2}$$

$$a_t = \bar{T} - b_t \bar{Z}$$

Гдје су:

T - Зависна промјењива (Температура ваздуха);
 Z - Независна промјењива (Надморска висина);
 a_t, b_t - Регресиони параметри.

In which:

T - Dependent variable (air temperature);
 Z - The independent variable (altitude);
 a_t, b_t - Regressive parameters.

Након формирања регресионе једначине, израчунавањем регресионих параметара, израчунате су естимоване (прилагођене) вриједности „ T_e “ посматране зависне промјењиве за сваки временски период и за сваку метеоролошку станицу. Естимоване вриједности се израчунавају на основу формиране регресионе једначине, у којој добијени регресиони параметри представљају својеврсне константе. Уврштавањем варијабле „ Z “ (надморске висине) за сваку посматрану метеоролошку станицу у постављену формулу добију се естимоване вриједности средњих температура ваздуха „ T “.

Сљедећа етапа се односи на израчунавање *резидуалног остатка*. Резидуални остатак „ T' “ се добије када се од стварних (измјерених) вриједности средњих температура ваздуха одузму естимоване вриједности за сваку метеоролошку станицу у посматраном временском периоду:

$$T' = T - T_e$$

Користећи ГИС софтверску апликацију MapInfo вриједности резидуалног остатка су подвргнуте просторној интерполацији користећи Kriging методу просторне интерполације. Овим поступком резидуални остатак за посматране просторне тачке (метеоролошке станице) интерполиран је тако да је одређен резидуал за комплетну површину анализираног простора.

Употребом висинског модела терена (DEM) и конструисане регресионе једначине у ГИС апликацији су израчунате естимоване вриједности средњих температура ваздуха за комплетну површину посматраног простора.

After establishing the regression equations, the calculation of regressive parameters gave us the estimated values of “ T_e ” (observed dependent variable for each time period and for each weather station). Estimated values are calculated on the basis of the established regression equations, in which obtained regressive parameters are a sort of a constant. By including the variable “ Z ” (elevation observed for each weather station) in the formula, we obtained estimated values of average air temperature “ T ”.

The next phase relates to the calculation of residual waste. Residual remain “ T' ” is derived when estimated values for each weather station in the reporting period are subtracted from the actual (measured) values of average air temperature:

$$T' = T - T_e$$

By using MapInfo GIS software application, values of the residual remains were subjected to spatial interpolation using the Kriging method of spatial interpolation. Using this method the rest of the residual for the observed spatial points (weather stations) was interpolated so as to determine residues for the entire space of the analyzed area.

Usage of high-altitude terrain model (DEM) and the constructed regression equation in the GIS application both gave us the values of average air temperature for all surfaces of the space observed.

У последњој фази сабирањем естимованих вриједности и резидуалног остатка за сваку просторну тачку посматране територије (коришћењем опције „растер калкулатор“ у ГИС апликацији) добијене су интерполиране вриједности средњих температура ваздуха за комплетну површину анализираног простора:

$$T = T_c + T'$$

Посматрајући изложени модел може се констатовати да су у њему генерисани елементи и хоризонталне и вертикалне интерполације температура ваздуха. Вертикални фактор исказан надморским висинама и хоризонтални фактор исказан размјештајем копна и мора најзначајнији су фактори модификације климатских параметара, тиме и модификације температура ваздуха. Уважавајући изложену тврдњу може се констатовати да презентовани модел има одређени значај у смислу валидности резултата. Када је у питању валидност резултата она је провјерена тестирањем модела. Наиме, изостављајући поједине метеоролошке станице из анализе добијени интерполирани резултати за локације изостављених станица били су сагласни измјереним резултатима у њима. Из наведених разлога, те позитивног теста валидности, креирани модел интерполације може се вјеродостојно користити за идентификацију обиљежја температуре ваздуха за територију Републике Српске.

Резултати и дискусија

Термички режим Републике Српске доминантно је условљен географском ширином, атмосферском циркулацијом и орографијом терена. На термички режим, али и климу опћенито, утичу два акциона центра атмосфере: азорски антициклон који условљава стабилно, а љети и топло вријеме и исландски циклон, који доноси падавине. Зими се повремено региструје и утицај сибирског антициклона, који је праћен хладним и углавном сувим временом, док је љети присутан и утицај антициклона сахарског, односно, медитерантског поријекла, који условљава изузетно топлово и суво вријеме (Дуцић, В, 2008). На географску расподелу температуре ваздуха на подручју Републике Српске наглашен утицај имају регионални климатски модификатори, гдје посебно

In the final phase, adding estimated values to the residues of each spatial point of the observed area (using the option “Raster Calculator” in the GIS application) we obtained the interpolated values of average air temperature for all surfaces of the analyzed area:

$$T = T_c + T'$$

Looking at the model presented, we can conclude that it generated elements of the horizontal and vertical interpolation of air temperature. The vertical factor expressed by altitudes and the horizontal factor expressed by deployment of mainland and sea are the most important factors of climate parameters modification and air temperature modification. Recognizing the exposed argument, it can be stated that the presented model has certain significance in terms of the validity of results. As for the validity of the results, it was verified by model testing. Specifically, omitting certain meteorological stations from the analysis, the interpolated results for the omitted locations were in accordance with the results we got from these locations. For these reasons and due to the positive test of validity, the created model of interpolation can be authentically used for the purpose of air temperature identification in the territory of Republika Srpska.

Results and discussion

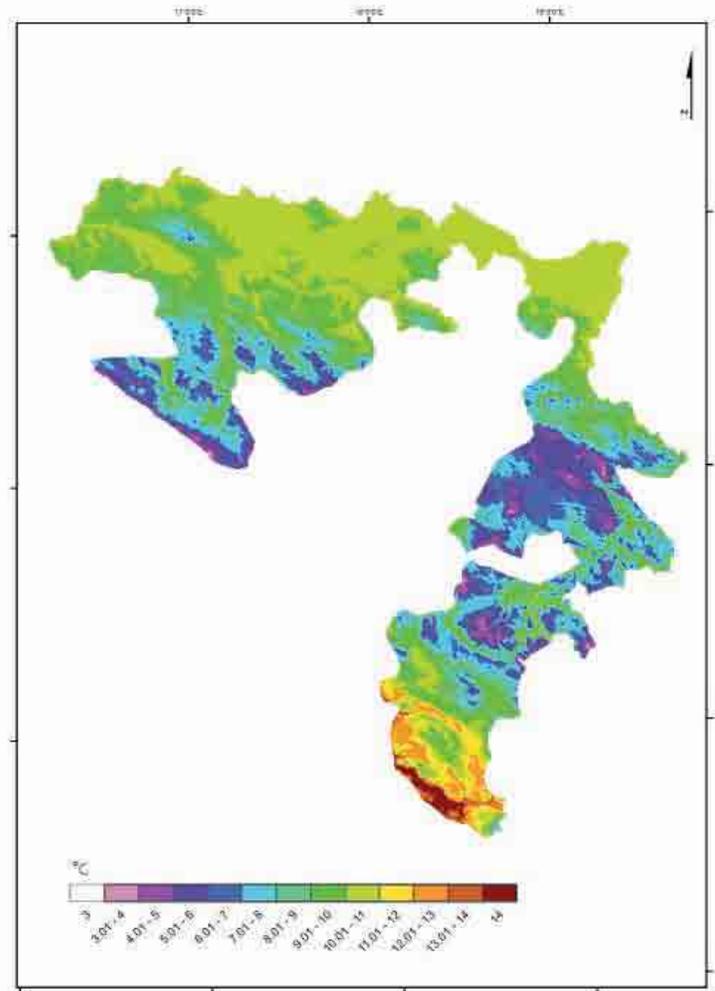
The temperature regime of Republika Srpska is predominantly conditioned by latitude, atmospheric circulation and orography of the terrain. The temperature regime and climate in general are affected by two action centers of atmosphere: the Azores anticyclone, which comprises the stable, and in summer warm weather, and the Icelandic cyclone, which brings precipitation. In the winter, the temperature is occasionally influenced of the Siberian anticyclone, which is followed by a cold and mostly dry weather, whereas in summer there is the influence of anticyclones of Sahara, and Mediterranean origin, which causes extremely warm and dry time (Ducic, V., 2008). The geographical distribution of air temperature in Republika Srpska is influenced by regional

истичемо разлике у надморској висини и експозицији рељефа. Од осталих модификаторских фактора издвајамо утицај Јадранског мора, геолошке подлоге, те урбаних система.

У сјеверном и западном дијелу Републике Српске, на подручјима до 500m н. в. средње годишње температуре ваздуха имале су вриједност од 10 до 11°C (период 1961-1990). Централни планински дио, односно подручја преко 500m н. в. карактеришу средње годишње температуре у интервалу од 4°C до 10°C, изузев највиших планинских врхова на којима је температура испод 4°C. Најтоплије дио Републике Српске је подручје ниске Херцеговине и јужног дијела херцеговачких Рудина, гдје средње годишње температуре имају просјечну вриједност од 11 до 14°C, а област Требиња и Поповог поља и преко 14°C (Прилог. 1).

climate modifiers, pointing out the difference in altitude and exposition of relief. Among the other modifiers, there are the Adriatic Sea impact, and geological and urban systems.

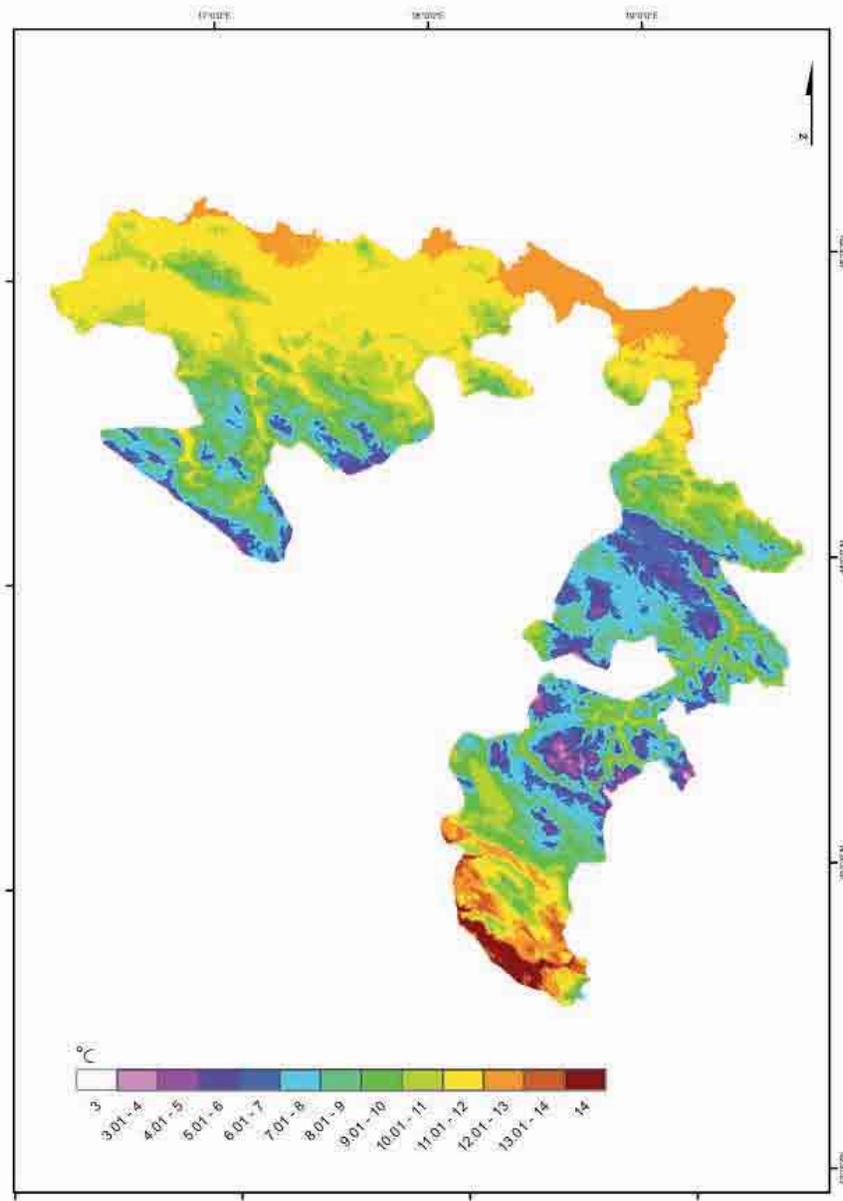
In the northern and western part of Republika Srpska, in areas up to 500 m altitude, average annual air temperature had a value of 10°C to 11°C (period 1961-1990). The central mountain regions, i.e. areas over 500m altitude, are characterized by average annual temperature in the range of 4°C to 10°C, except for mountain peaks where the temperature is below 4°C. Warmest part of Republika Srpska is the region of lowland Herzegovina and the southern part of the Herzegovinian Rudina, where the average annual temperature has the value of 11°C to 14°C and the towns of Trebinje and Popovo Polje where the temperature rises above 14°C (Figure 1).



Прилог 1: Средње годишње температуре ваздуха Републике Српске, 1961-1990.
Figure 1. Average annual air temperature in Republika Srpska 1961-1990.

Истраживања температуре ваздуха за период 1999-2008. година показују да је евидентно повећање на готово читавом подручју Републике Српске. У сјеверном и сјеверозападном дијелу Републике Српске, средње годишње температуре ваздуха имале су вриједност и преко 12°C. У централно планинском подручју средње годишње температуре су доста сличне у односу на вриједности за период 1961-1990. На подручју јужног дијела источне Херцеговине присутан је благи пораст средњих годишњих температура (Прилог 2).

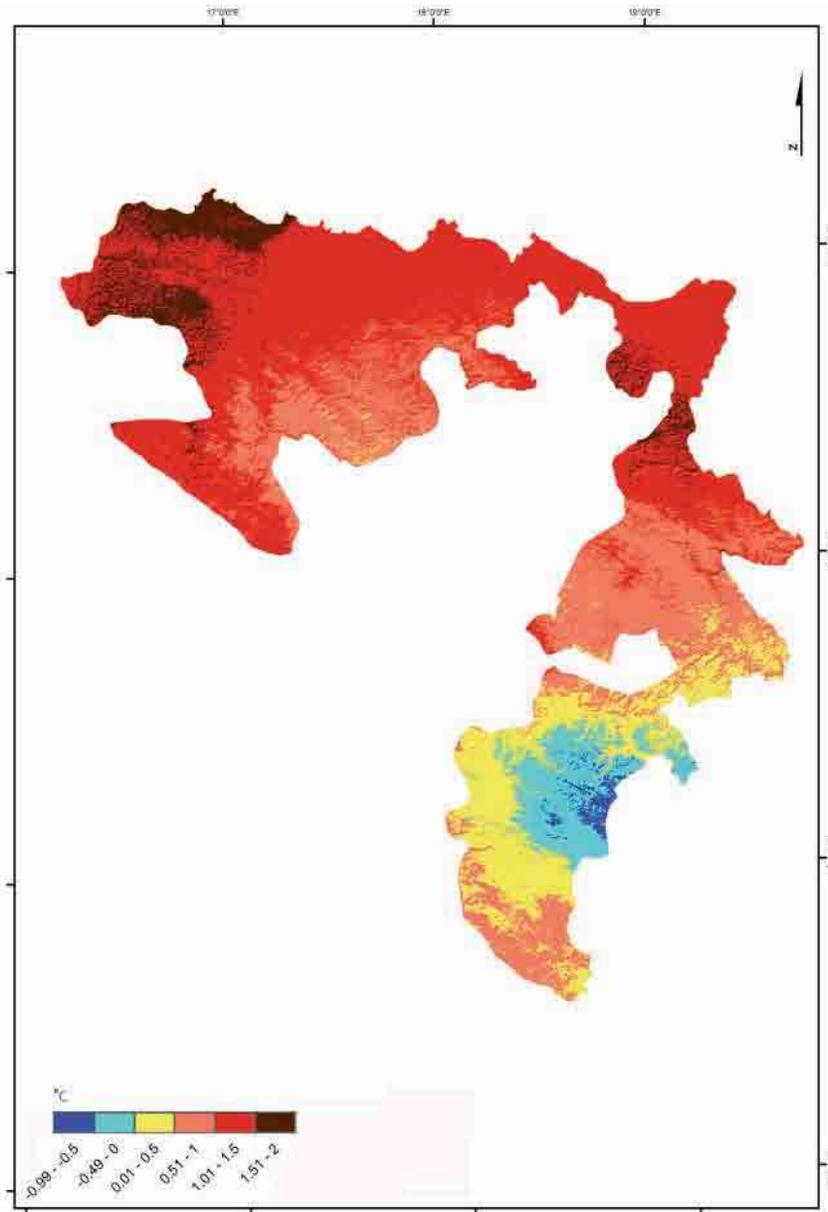
The research on air temperature for the period 1999-2008 shows that the evident increase in almost entire territory of Republika Srpska. In the northern and northwestern part of the country, the average annual air temperature had the value of over 12°C. In the central mountainous region, the average annual temperatures were quite similar in comparison to the values for the period 1961-1990. In the area of the southern part of eastern Herzegovina, there was a slight increase in average annual temperature (Figure 2).



Прилог 2: Средње годишње температуре ваздуха Републике Српске, 1999-2008.
Figure 2. Average annual air temperature of Republika Srpska, 1999-2008.

На синтезном прилогу бр. 3. представили смо промјене средњих годишњих температура на основу комапације два посматрана периода 1999-2008. и 1961-1990. Највећа повећања температуре су у сјеверозападном и сјевероисточном дијелу, гдје су вриједности веће и до 2°C на годишњем нивоу. На подручју ниске Херцеговина присутан је благо повећање температура до 1°C на годишњем нивоу. Међутим, најинтересантније је подручје високе Херцеговине гдје је присутно благо опадање температура.

The synthesis figure no. 3 presents changes in average annual temperature based on two observed comparison, for periods 1999-2008 and 1961-1990. The greatest increase in temperature was measured in the northwest and northeast, where values were up to 2°C higher per year. In the area of lowland Herzegovina there was a slight increase in temperature up to 1°C per year. However, the most interesting area is highland Herzegovina, where there was an evident slight decrease of temperature.



Прилог 3: Разлике средњих годишњих температура ваздуха Републике Српске, 1961-1990. и 1999-2008.
Figure 3. Differences in average annual air temperature of Republika Srpska, 1961-1990 and 1999-2008

Закључак

Имајући у виду да анализу термичког режима Републике Српске нисмо вршили за два идентична периода, што је било технички неизводљиво, добијени резултати ипак упућују на одређене промјене средњих годишњих температура. Иако се нисмо бавили узроцима који су условили промјене, односно, колебање средњих годишњих температура, добијени резултати егзактно показују да промјене имају изразито регионални карактер. Највеће промјене и тренд повећања забиљежени су у сјеверозападном дијелу и донекле сјевероисточном дијелу Републике Српске, док је на дијелу високе Херцеговине, а нарочито на подручјима преко 1000m н. в, на нази поређења два периода, регистрован благи пад средњих годишњих температура. Добијени резултати показују да су неопходно додатна истраживања која ће обухвати комплексну анализу више климатских елемената, утврдити међусобне везе и просторну расподјелу и детерминисати њихов утицај на поједине привредне гране које највише зависе од промјене климатских услова. То се прије свега односи на пољопривреду, водопривреду, туризам и шумарство, те остале привредне гране које на директан или индиректан начин климатске промјене могу утицати.

Conclusion

Bearing it in mind that the analysis of the temperature regime of Republika Srpska was not performed over two identical periods, (this not being technically feasible), the results still indicate certain trends in fluctuation of average annual temperature. Although we did not deal with the causes that brought about the changes i.e. fluctuation of average annual temperature, the results exactly show a distinctly regional character of these changes. The biggest change and trend of increase were recorded in the north-western and slightly northeast of Republika Srpska. The parts of highland Herzegovina, especially areas over 1000 m altitude, recorded a slight decline in average annual temperature based on comparison of two periods. The results display the need for additional research that will involve more complex analysis of climatic elements, determine the relationship and spatial distribution, and finally estimate their impact on certain industries that depend mostly on climate changes. This primarily relates to agriculture, water management, tourism and forestry, and other industries which directly or indirectly may affect climate changes.

ЛИТЕРАТУРА и извори / Bibliography:

1. Hartwig Dobesch, Pierre Dumolard, Izabela Dyras; (2007); Spatial Interpolation for Climate Data : The use of GIS in climatology and meteorology, ISTE Ltd, 6 Fitzroy Square, London. www.iste.co.uk
2. D.L. Liu, J. Mo, H. Fairweather, and B Timbal (2009): A GIS tool to evaluate climate change impact: functionality and case study, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009. <http://mssanz.org.au/modsim09>.
3. Shujun Li, David G. Tarboton, Mac McKee; (2008): GIS-based temperature interpolation for distributed modeling of reference evapotranspiration, Civil and Environmental Engineering Department, Utah State University, Logan, UT 84322..
4. Liu, J.; (2009): A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations, Environmental Modelling & Software, 24, 411-422.
5. Савезни хидрометеоролошки завод СФРЈ, Метеоролошки годишњаци I, 1961-1985.
6. Federal Hydrometeorological Institute SFRJ, Meteorological Yearbooks I, 1961-1985.
7. Републички хидрометеоролошки завод, Документација и материјал, 1985-1990, 1999-2008.
8. Hydrometeorological Institute Republika Srpska, Documentation and materials, 1999-2008.