



# ***ГИС ЖУРНАЛ***

***број 1/2018***

***ЗБОРНИК РАДОВА СА***

## ***ГИС Форума 2018***

***<<Место сусрета ГИС стручњака>>***



## ПРЕДИКЦИЈА ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА

Јован Ковачевић<sup>1</sup>, Никола Станчић<sup>2</sup>

**Апстракт:** Температура ваздуха представља један од метеоролошких параметара који се најчешће мере. Прецизна мерења температуре ваздуха врше се у метеоролошким станицама, чији просторни размештај може бити неравномеран и за поједине примене неодговарајући. Због тога се прибегава предикцији температуре ваздуха, како би се обезбедио неопходни температурни модел за одговарајуће примене. У оквиру овог рада приказана је техника стохастичке предикције температуре ваздуха користећи се програмским језиком „R“. Приказан је и пример анализе и одабира оптималног сета предиктора неопходних за предикцију температуре. Како „R“ у основи представља статистички пакет, истовремено су приказане и његове могућности коришћења као ГИС алата.

**Кључне речи:** предикција, температура ваздуха, програмски језик „R“

## AIR TEMPERATURE PREDICTION

**Abstract:** Air temperature is one of the most often measured meteorological parameters. Precise air temperature measurements are done in meteorological stations, whose spatial distribution may be uneven and for some applications unsuitable. Therefore, in order to provide the necessary temperature model for the appropriate applications, prediction of air temperature is performed. This paper presents a methodology of stochastic prediction of air temperature using the programming language "R". An example of the analysis and selection of the optimal set of predictors necessary for the prediction of temperature is provided. As "R" is basically statistical package, at the same time its possibilities as a GIS tool are shown.

**Key words:** prediction, air temperature, programming language "R"

### Увод

Температура ваздуха представља измерену температуру на висини од 2 m изнад површи терена помоћу одговарајућег и по прописима калибрисаног термометра [1]. Температура ваздуха представља један од основних услова окружења и учествује у многим важним процесима (еколошки, атмосферски, процеси даљинске детекције...). Температура ваздуха представља улазни параметар многих прорачуна и модела, где је за постизање оптималне тачности потребно обезбедити податке о температури високе просторне резолуције [2]. Метеоролошке станице као репрезентативни извор података температуре често имају неравномеран просторни размештај, па није могуће коришћење њихових података у изворном облику. Уместо тога, прибегава се предикцији температуре ваздуха где се улазна тачкаста мерења доводе у везу са сетом предиктора који се сматрају од значаја за предвиђање и помоћу њих се врши предвиђање температуре ваздуха на подручју од интереса.

Постоји велики број метода предикције, при чему је њихова подела на основу квантификације просторне површи врши на детерминистичке и стохастичке [3]. Детерминистичке методе унапред усвајају облик математичких функција којима ће се вршити предикција циљне променљиве и не разматрају стохастичке карактеристике предиктора и измерених вредности атрибута у узорку. Стохастичке методе су оне методе код којих се вредности атрибута предиктује водећи рачуна о стохастичким карактеристикама предиктора и измерених вредности узорка.

Програмски језик „R“ представља језик и окружење отвореног кода намењено за статистичке прорачуне и графику [4]. Услед велике могућности проширења R-а, овај преваходно статистички алат нашао је примену и у бројним другим областима. Велик број библиотека свесних простора и алата који ефикасно баратају просторним подацима омогућавају коришћење R-а и као ГИС

<sup>1</sup> Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Бул. Краља Александра 73, jkovacevic@grf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Бул. Краља Александра 73, nstancic@grf.bg.ac.rs

окружења. Због своје јаке статистичке позадине, посебно је погодан за потребе геостатистичке предикције, па је због тога и искоришћен као ГИС окружење у оквиру овог рада.

### Улазни подаци

Под улазним подацима неопходним за решавање задатка предикције температуре ваздуха подразумевају се:

- вредности измерене температуре ваздуха из метеоролошких станица за одређени датум;
- сет расположивих предиктора од значаја за предикцију температуре ваздуха.

### Подаци мерења температуре ваздуха

Подаци о температурама преузети су са веб странице „Националних центара за информације о животној средини“ [5]. Одабрана су мерења за датум 4.4.2015. извршена у 12:00 часова, која обухватају мерења температуре из метеоролошких станица Словеније, Хрватске, Босне и Херцеговине, Црне Горе, Србије и Македоније. Основне информације о преузетим подацима приказани су у наставку.

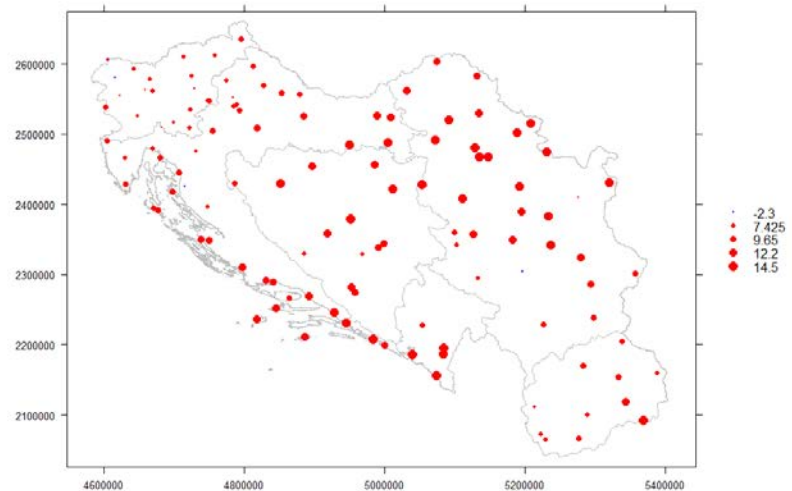
**Табела 4.** Број мерења по свакој држави

Држава	Словенија	Хрватска	БиХ	Црна Гора	Србија	Македонија	Укупно
Број мерења	20	41	14	5	31	11	122

**Табела 5.**

Основни статистички параметри

Параметар	Вредност
Број мерења	122
Минимум	-2.30 °C
Максимум	14.50 °C
Медијана	9.65 °C
Средња вредност	9.40 °C
Стандардна девијација	3.65 °C



**Слика 1.** Просторни распоред измерених температура креиран *bubble* функцијом

### Коришћени предиктори

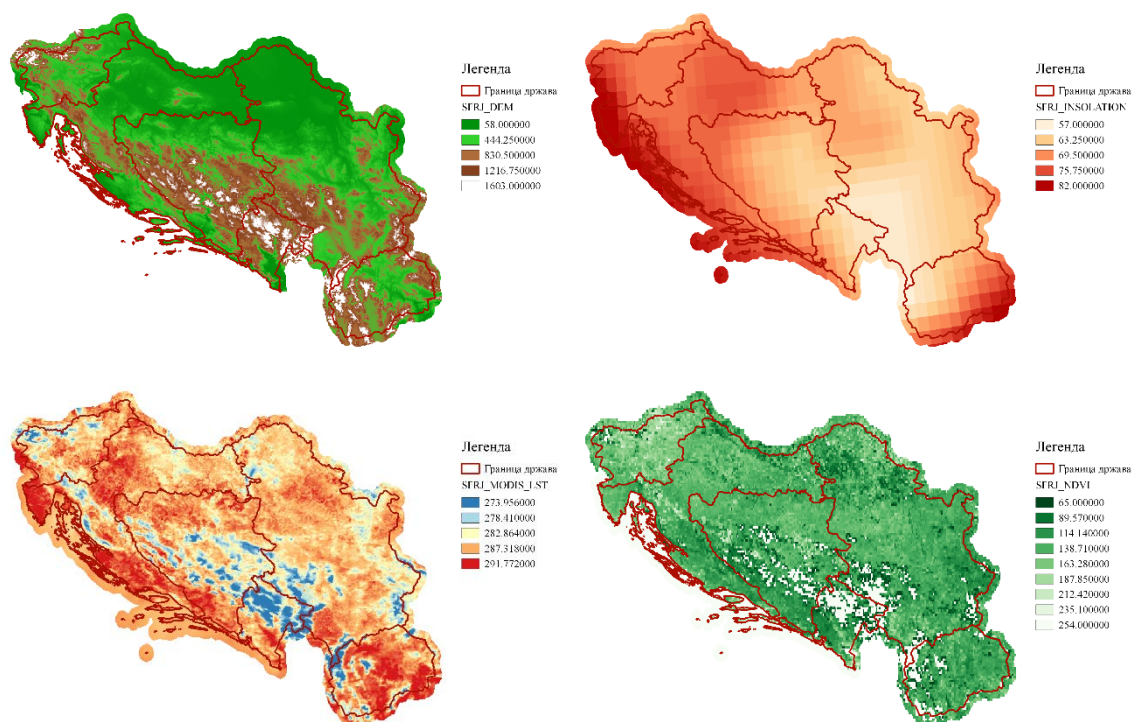
За потребе предикције температуре одабран је сет предиктора. Предиктори су преузети као растери у стандардном *GeoTIFF* формату. Извршена је њихова репројекција у пројекцију *ETRS89 / ETRS-LAEA EPSG:3035* (где је било потребе), након чега је извршено исецање полазних растера за подручје бафера Југославије и њихов ресамплинг како би се њихове димензије (матрице слика) поклапале.

Овај поступак је урађен за следеће предикторе:

1. Дигитални елевациони модел – *SRTM 1 km grid Global* [6]
2. Глобални 10-дневни *NDVI* композит – *Global 10-daily Normalized Difference Vegetation Index* [7]
3. Карта температуре земљишта – *MODIS LST 8-Day Global 1km* [8]
4. Карта количине осунчаности земљине површине – *Global Solar Insolation (8 day)* [9]

**Табела 6.** Сумарни преглед предиктора са њиховом просторном и временском резолуцијом

Назив предиктора	Просторна резолуција	Временски период на који се односи
<i>SRTM DEM</i>	1 km	/
<i>Global 10-daily NDVI</i>	1 km	1.4.2015. - 10.4.2015.
<i>MODIS LST 8-Day Global</i>	1 km	30.3.2015. - 6.4.2015.
<i>Global Solar Insolation (8 day)</i>	≈ 30 km (0.25°)	30.3.2015. - 6.4.2015.



**Слика 2.** Приказ коришћених предиктора

Пре него што се приступило предикцији, извршена је анализа предиктора из полазног скупа, како би се детектовали они који су статистички од значаја. За те потребе прво је од свих предиктора креиран полазни линеарни модел. Формула овог модела гласи:

$$T \sim SFRJ_{MODIS\ LST} + SFRJ_{DEM} + SFRJ_{INSOLATION} + SFRJ_{NDVI}$$

$T$  – температура ваздуха

$SFRJ_{MODIS\ LST}$  – вредност температура земљишта

$SFRJ_{DEM}$  – висина терена из дигиталног елевационог модела

$SFRJ_{INSOLATION}$  – вредност количине инсолације

$SFRJ_{NDVI}$  – нормализовани вегетациони индекс разлике

Овај полазни модел је пуштен кроз *stepwise* алгоритам, како би предиктори који нису од значаја за одређивање температуре ваздуха били одбачени. Као резултат су остављена преостала су два предиктора. Коначан модел предикције температуре гласи:

$$T \sim SFRJ_{DEM} + SFRJ_{INSOLATION}$$

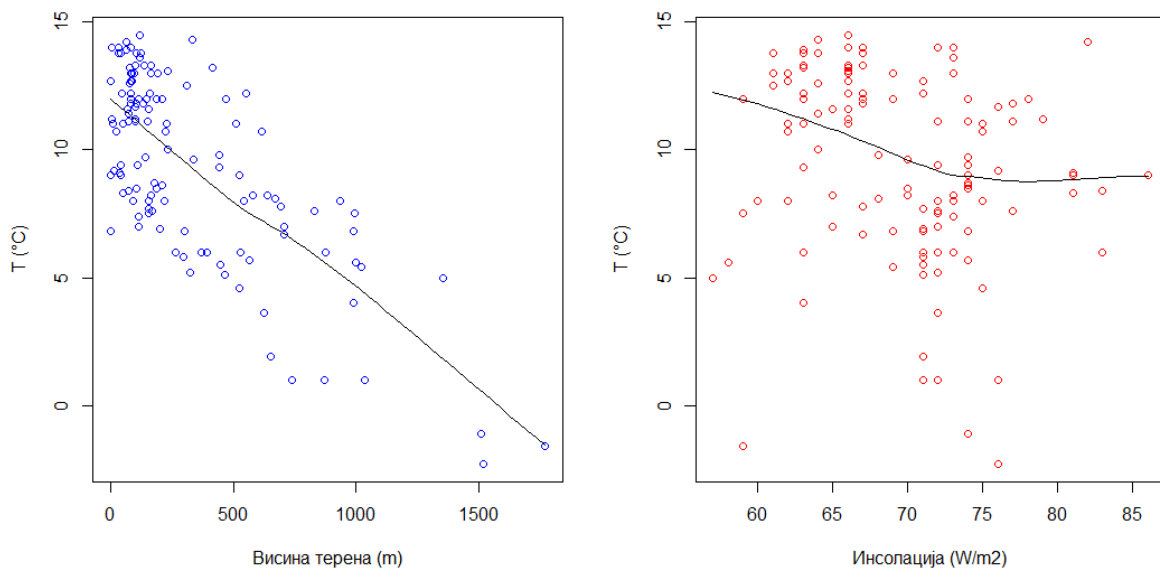
$T$  – температура ваздуха

$SFRJ_{DEM}$  – висина терена из дигиталног елевационог модела

$SFRJ_{INSOLATION}$  – вредност количине инсолације

### Анализа зависности између предиктора и узорка

Анализа зависности између предиктора и узорка извршена је утврђивањем односа циљне променљиве (температуре) са сваким појединачним предиктором. То је урађено помоћу изгачаног дијаграма расејања (scatterplot).



**Слика 3.** Дијаграми расејања висине терена и температуре ваздуха (лево) и количине инсолације и температуре ваздуха (десно)

Анализом дијаграма може се лако уочити да постоји линеарна зависност између висине терена и температуре ваздуха. Зависност постоји и у случају количине инсолације и температуре ваздуха, где је однос линеаран до одређене граничне вредности, након чега однос постаје константан. На овај начин оправдан је наставак предикције температуре ваздуха

### Предикција температуре ваздуха

На основу одабраних предиктора и узоркованих мерења температуре ваздуха извршена је предикција температуре ваздуха на подручју од интереса. За те потребе на располагању постоји велики број метода и интерполационих функција, које се разликују по томе да ли и како респектују предикторе, да ли узимају у обзир просторну структуру површи, да ли се ослањају на стохастичке или детерминистичке претпоставке итд... [3]

У оквиру овог рада, температура ваздуха је предиктована коришћењем две различите стохастичке методе предикције, и то:

1. Обичним кригингом;
2. Регресионим кригингом.

Ове методе подразумевају да је претходно извршена квантификација просторне структуре површи променљиве чија се предикција врши.

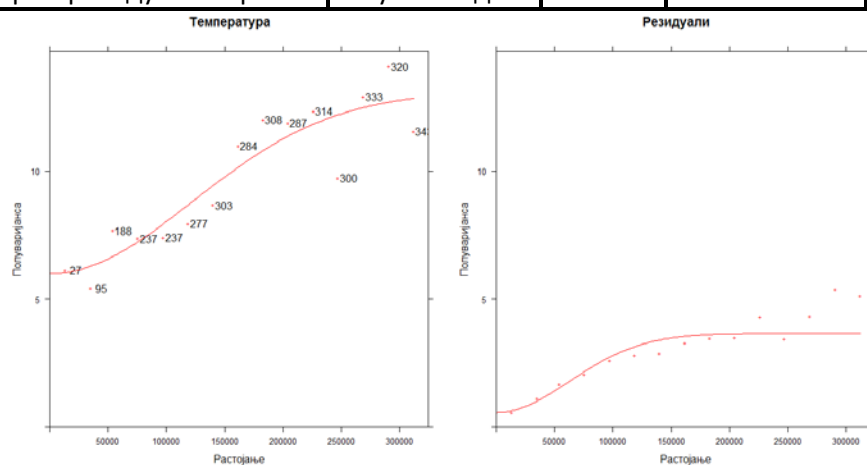
### Квантификација просторне структуре површи променљиве

Под квантификацијом просторне структуре површи подразумева се моделирање вариограма, као функције којом се описује степен просторне зависности просторног случајног поља [3]. У конкретном случају, вариограм ће приказати меру међусобне корелације између узоркованих температура ваздуха, као и опис корелисаности температуре ваздуха у узоркованим тачкама и у оним тачкама где се вредност температуре предиктује.

Вариограм може бити представљен различитим моделима. За потребе овог пројекта срачуната су два вариограма тј. вариограм мерења и вариограм резидуала мерења. У оба случаја коришћен је Гаусов модел вариограма. Резултати моделирања вариограма дати су у наставку:

**Табела 7.** Вредности параметара експерименталних вариограма

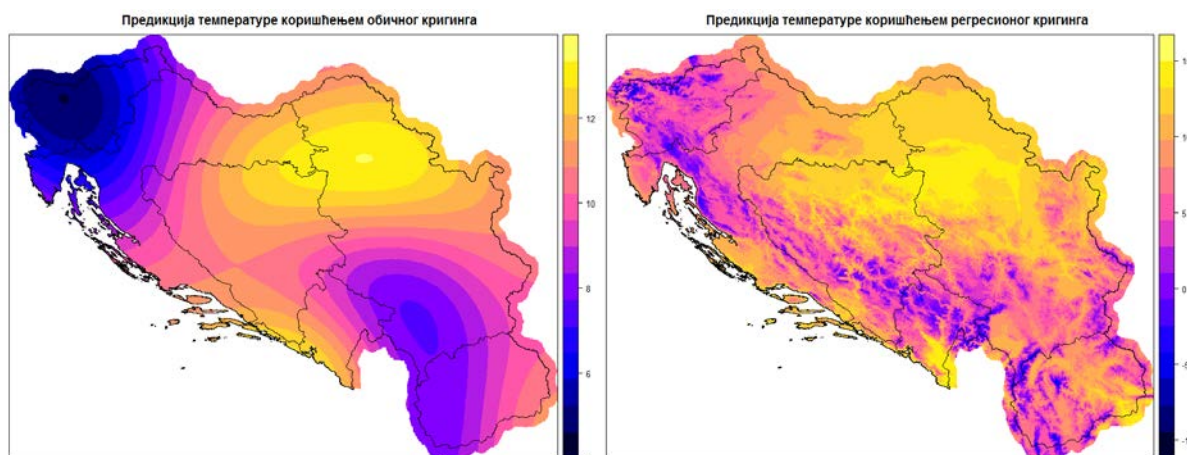
	Модел	Праг	Домет [m]	Грумен
Вариограм мерења	Гаусов модел	7.1083	172064.7468	5.9986
Вариограм резидуала мерења	Гаусов модел	3.0810	88361.9895	0.5705



**Слика 4.** График вариограма мерења (лево) и вариограма резидуала мерења (десно)

### Резултати предикције

Након извршене квантификације просторне структуре површи извршена је предикција циљне променљиве – температуре ваздуха. Резултати две методе могу се видети на следећој слици.



**Слика 5.** Резултати предикције обичним кригингом (лево) и регресионим кригингом (десно)

Визуелно резултати изгледају веома различито и свакако да би предност требало дати регресионом кригингу. Да би то било и статистички потвршено, извршена је и анализа квалитета предикције.

### Анализа квалитета предикције

Анализа квалитета предикције температуре извршена је методом кросвалидације. Овим поступком су оцењени најважнији параметри обе коришћене методе. Приказа срачунатих статистичких параметара дат је у следећој табели:

**Табела 8.** Преглед параметара оцене квалитета предикције методом кросвалидације

Тип кригинга	Обични	Регресиони
Средња грешка предикције (идеално 0)	0.009	0.047
Средња квадратна грешка предикције (идеално што мања)	7.255	1.234
Средња квадратна нормализована грешка предикције (идеално блиска 1)	1.050	1.106
Коефицијент корелације мерења и предикције (идеално 1)	0.673	0.953
Коефицијент корелације резидуала мерења и предикције (идеално 0)	-0.022	-0.061
Коефицијент детерминације	0.45	0.91

На основу претходних резултата предикције и табеле параметара кросвалидације, може се потврдити да су резултати добијени регресионим кригингом знатно бољи у односу на обични кригинг. То се може пре свега рећи на основу вредности коефицијента детерминације, где се регресиони кригинг показао значајно боље.

### Закључак

У оквиру овог рада успешно је извршена предикција температуре ваздуха за територију бивше СФРЈ коришћењем програмског језика „R“. Важна напомена је да су сви подаци који су коришћени у оквиру задатка на располагању за бесплатно преузимање, као и да су сви софтвери коришћени за реализацију задатка отвореног кода.

Успешна реализација задатка илуструје могућности програмског језика „R“ помоћу којег, уз расположивост податка, је могуће направити повезану целину и обезбедити устаљену процедуру решавања задатка предикције температуре. Иако се примарно ради о статистичком окружењу, може се закључити да успешно реализује и уобичајене ГИС функционалности. Проблем који се јавља јесте одсуство уобичајеног ГИС интерфејса на какав је већина корисника навикла. Уместо тога, неопходно је умеће скриптовања у „R“-у где донекле могу помоћи разна окружења за писање кода (нпр. *RStudio*). За многе кориснике, управо овај недостатак може бити пресудан приликом одабира окружења за предикцију температуре ваздуха.

### Литература

- [1] Jin, M. L. & Dickinson R. E. (2010). Land Surface Skin Temperature Climatology: Benefitting from the Strengths of Satellite Observations / *Environmental Research Letters*, 5 (2010), 4, 04404
- [2] Taheri Shahraiyini & H., et al. (2017). High-Resolution Air Temperature Mapping in Urban Areas / A Review on Different Modelling Techniques: *THERMAL SCIENCE: Year 2017*, Vol. 21, No. 6A, pp. 2267-2286
- [3] Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). Digital terrain modeling : principles and methodology / *Zhilin Li, Qing Zhu, Christopher Gold*. Boca Raton [etc.] : CRC Press, c2005.
- [4] The R Project for Statistical Computing - <https://www.r-project.org/> (29. априла 2018)
- [5] National Centers for Environmental Information - <https://www.ncei.noaa.gov/> (29. априла 2018)
- [6] SRTM 1 km grid Global - <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1> (29. априла 2018)
- [7] Global 10-daily NDVI <http://land.copernicus.eu/global/products/ndvi> (29. априла 2018)
- [8] MODIS LST 8-Day Global 1km- [https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table/mod11a2](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod11a2) (29. априла 2018)
- [9] Global Solar Insolation (8 day) - [http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES\\_INSOL\\_E](http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_INSOL_E) (29. априла 2018)