

Original scientific paper

UDC 556(497.11 Tulovska reka)
<https://doi.org/10.2298/GSGD2002045B>

Received: November 24, 2020

Corrected: December 07, 2020

Accepted: December 21, 2020

Jovan Blagojević^{1*}, Borislava Blagojević^{},
Vladislava Mihailović^{***}, Dragan Radivojević^{**}**

** MSc student, ETH Zurich, Switzerland*

*** University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Serbia*

**** University of Belgrade, Faculty of Forestry, Serbia*

PREDICTION OF MEAN RUNOFF IN A SMALL UNGAUGED BASIN USING RASTER CLIMATOLOGICAL DATA

Abstract: An analysis of mean annual runoff was conducted for a small ungauged catchment of the Tulovska River in the South Morava River Basin. Langbein's method, Turk's method and regional regression models were applied for obtaining the mean runoff. Long-term mean temperature, annual precipitation and the mean catchment elevation are used as input data. The estimations were conducted using various sources of climatological input data and the results were then compared. Precipitation and temperature data were derived, in a 10 km x 10 km resolution raster data format, from the digital data repository of the CarpatClim project. Point measurements of temperature and precipitation by the Republic Hydrometeorological Service of Serbia were also used as input data and compared with the raster data. The difference between the raster and point meteorological data were attributed to the effects of terrain elevation spatial variability, not captured in the raster data. The analyses showed that the predicted mean runoff can differ up to 50%, depending on the chosen method and the input data.

Key words: mean annual runoff, small ungauged basin, Langbein method, Turk method, raster climatological data

¹ blagojevic.jova@gmail.com (corresponding author)
ORCID: 0000-0002-3618-234X

Introduction

Water resources management deals with three key water-related components (quantity, quality and location) and their dynamics – variability in time (Ђорђевић, 1990). The complexity of each component calls for a multidisciplinary approach in water management topics. For instance, in the water quality sphere, a term "hydromorphologic factors" is introduced for water status monitoring through a set of parameters. These parameters include hydrologic regime indicators, continuity of river flow and morphologic conditions (Бабић-Младеновић & Нинковић, 2009). The topic of water quantity and its dynamics, a sub-discipline in many geosciences, focuses on hydrologic analyses for provision of hydrologic regime indicators. Usually, the hydrologic (quantity) regime is described by characteristics of low, mean and flood flow.

The hydrological regime of mean flow describes the long-term mean rate at which runoff is generated at different time scales. The key indicator in this set of mean flow regime characteristics is mean annual runoff, the average of annual runoff values estimated for long period – over many years. For many applications without a focus on the mean flow regime, estimating only the mean annual runoff value is sufficient. Choosing the appropriate methodology for the estimation depends on the available data. In gauged basins, at the location of hydrologic stations, a straightforward statistical approach is applied. Whereas in ungauged basins, modelling of runoff generating processes can be applied. If available, calibrated region specific models for ungauged basins may be used for mean annual runoff estimation (Mc Mahon et al., 2013). The advancement in the fields of climatological data observation, collection, management, visualization and analysis, has made valuable contribution to catchment studies. Spatially distributed climatologic data is nowadays stored in free-access digital repositories. The dissemination of such data is made easier by web-based cartography (Vaitis et al., 2018).

The research goal in this paper is to examine the consequence of coupling available digital climatological data with simple and widely used mean annual runoff estimation models at an ungauged, small drainage area catchment. Recommendations for adjustment of mean annual runoff models for applications on the territory of Serbia, were laid by Јанковић (2015), using processed point climatologic data. Following his findings, Благојевић et al. (2018) have obtained climatological data for 46 gauged catchments in Serbia by processing digital spatial data, and proposed an allowance factor for Turc's method and Θ parameter adjustment for Langbein method addressed in this research paper. Прохаска et al. (2019) increased the number of studied catchments to 71 and provided several spatially interpolated maps of region specific Θ parameter values to support runoff estimation in ungauged catchments.

The ungauged Tulovska River Catchment in South-East Serbia has been the focus of hydrological studies due to severe flooding of the Leskovac City suburbs adjacent to the South Morava River (Благојевић et al., 2008; Радивојевић et al., 2019). The initial idea for dealing with the flooding had been riverbed training in the suburban zone. The final chosen solution was the construction of a diversion channel for flood relief upstream of the suburban area. Thus, the project relevant hydrologic regime characteristics were to be determined based on a portion of the entire Tulovska River Catchment. These were primarily flood flow regime indicators, but for final sizing and modelling of the diversion structures, both mean and low flow indicators were important.

The adequacy of methods for mean annual runoff estimation using different input data sources, was evaluated for two simple and widely used models. The input data used were: 1) point observations at climatological stations 2) raster climatologic data for the Tulovska River Catchment. The results were compared method wise and input data wise. Because regional analyses have been conducted previously for the target region (Благојевић et al., 2010; Blagojević & Plavšić, 2013), the results were also compared with the estimated regional ranges of specific runoff (Исаиловић & Срна, 2001) and calibrated, regional specific regression models (Живковић, 2009).

Material and methods

Study area

The Tulovska River is a direct left tributary of the South Morava River. The river catchment spans from the north hillslopes of the Kukavica Mountain, where rivers Golema reka and Mala reka form Tulovska River. Its confluence into the South Morava River is located in the suburbs of the City of Leskovac, near the village of Gornje Krajince. The river flow direction is south-north and the river network branching is poor. The catchment shape is narrow and elongated in the upper and middle section, where it ends for the purpose of this study at the location of a railway culvert. The lower catchment section lies downstream of a highway and the railway culvert, in the mixed rural and suburban area by the South Morava River.

Hydrogeological and soil conditions, and vegetation characteristics can be split into two distinctive sections of the studied Tulovska River Catchment (Благојевић et al., 2008). The upper catchment section above 400 m a.s.l. (highest peak Vrvi kobila at 1,047 m a.s.l.), lies on poorly permeable to impermeable rocks (sedimentary, igneous and metamorphic), with steep terrain slopes. Uphill from the only settlement in this part, the village of Tulovo, the stream network is branched. This region is forested with prevailing coniferous woods, and sparse agricultural plots of land. Skeletal and podzolic soil are present in this area. The middle part of the basin (270-400 m a.s.l.) is characterized by mild terrain slopes on permeable, sandy-gravel sediments. Landslides, gullies and other forms of soil erosion are present. There are several rural settlements with household vegetable gardens, while the prevailing agricultural land use is vineyards on the slopes with northeastern and northwestern terrain exposure. The hydrographic network is poorly developed and ephemeral streams may be found. Sparse forest lies along the edge of this catchment section.

The Fig. 1 shows the location of the Tulovska River and its catchment within the surrounding area where rain gauges (RG) and weather/climatologic stations (CS) are located. The climatological characteristics of the catchment area correspond to the transitional type between the continental and the modified Mediterranean precipitation regime. Monthly precipitation sums at five RGs and the CSs Leskovac and Kukavica are shown in Fig. 1 for the standard normal period 1961-1990. At the locations of CSs, monthly temperature averages are also shown.

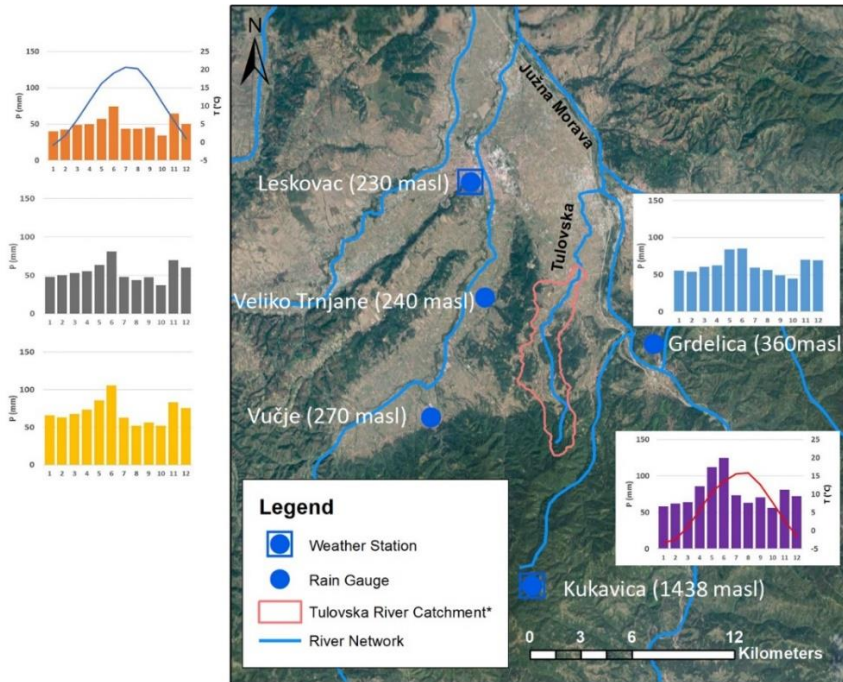


Fig. 1. Studied catchment location with the surrounding area; graphs of annual temperature and precipitation regimes, obtained from the rain gauges and weather/climatologic stations of RHMSS for the period 1961-1990 are shown next to the station locations (* the catchment contributing area up to the diversion channel intake location)

Definitions and annotation

In the paper, the term "mean annual runoff" is interchangeably used with "mean runoff", defined as the total volume of water discharging past a point of interest in a river or stream in one year divided by the contributing catchment area. The label used is Q_0 when expressed in mm or cm, while Q is used when in m^3/s or l/s , and referred to as "mean annual flow" or "mean flow". Specific runoff - q_0 , or runoff yield, is in $l/s/km^2$, indicating mean runoff per unit catchment area A (km^2).

Balance method - Turc

Turc's balance method (Turc, 1953) is based on the water balance equation at catchment scale:

$$P_0 = D_0 + Q_0 \pm \Delta Q_0, \quad (1)$$

where:

P_0 - mean annual precipitation,

D_0 - mean annual water loss,

Q_0 - mean annual runoff,

$\pm\Delta Q_0$ - volume change due to groundwater recharge/discharge.

When mean of all variables is calculated from a long, representative period (containing both wet and dry years), it is assumed that $\pm\Delta Q_0$ converges to zero. The Turc's formula is applied for mean water loss assessment, where the input variables are mean annual precipitation and mean annual temperature:

$$D_0 = P_0 \cdot \left(0.9 + \frac{P_0^2}{L^2}\right)^{-0.5} \quad (2)$$

The L value in equation (2) is calculated from:

$$L = 0.5 \cdot T_0^3 + 25 \cdot T_0 + 300, \quad (3)$$

where:

T_0 - mean annual temperature.

Here, T_0 is in °C, while P_0 , D_0 , and Q_0 are in mm. In order to harmonize dimensions of (2) and (3), the L value is expressed in mm, although parameter L has no physical interpretation. Јанковић (2015) has used the following form of the equation for mean annual runoff assessment (in mm), based on (1) and (2):

$$Q_0 = P_0 \cdot \left[1 - \left(0.9 + \frac{P_0^2}{L^2}\right)\right]^{0.5} \quad (4)$$

Average annual runoff in mm is then transformed to specific runoff in l/s/km² by the following expression for a common year:

$$q_0 = 0.0317 \cdot Q_0, \quad (5)$$

while for a leap year the constant is 0.0316. When q_0 is multiplied by catchment area A (km²), catchment mean annual flow is obtained in l/s. According to the findings of Благојевић et al. (2018) for catchments in Serbia, an allowance factor – multiplier of 1.239 is applied to mean annual flow in l/s for the final result, to provide a better fit of the estimated to the observed runoff in the available sample. The same allowance factor is also applied in this research.

Langbein method

In the Langbein method (Langbein, 1962), the same input data are used as in Turc's method: P_0 – mean annual catchment precipitation, and T_0 – mean annual catchment temperature. The relationship defined among variables in this method is:

$$\frac{Q_0}{E} = f\left(\frac{P_0}{E}\right), \quad (6)$$

where:

E - temperature factor,

Q_0 -mean annual runoff (cm).

For P_0 in cm and T_0 in °C, E is obtained from:

$$\log E = 0,027 \cdot T_0 + \theta. \quad (7)$$

The value of parameter $\Theta=0.855$ is recommended for small ungauged catchments in Serbia, as found by Благојевић et al. (2018) and used in this research. The research of Прохаска et al. (2019) addresses the issue of calibrating the Θ parameter of Langbein's method by fitting the modelled output to the observed runoff on the sample of 71 catchments. Several spatial interpolation techniques are considered in an attempt to create a thematic map of Θ parameter values. However, the authors do not recommend a definitive map. Nevertheless, a rough comparison of the Θ parameter of the Toponička River at hydrologic station Gornja Toponica ($A= 202 \text{ km}^2$) in the South Morava River Basin, with parameter range of 0.861 - 0.867, depending on the interpolation technique and mapping location, shows a small difference with the adopted parameter for this research.

The relationship (6) is given in tabular form (Tab. 1) by Јанковић (2015).

Tab. 1. The dependence among variables Q_o/E and P_o/E

P_o/E	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14
Q_o/E	0.01	0.03	0.08	0.20	0.48	1.00	1.80	2.60	3.40	5.00	7.00	9.00

Input data

The input data for the equations (1) - (7) are mean annual air temperature (T_o) and mean annual precipitation sum (P_o) in a long period. These climate characteristics for the Tulovska River Catchment are obtained from digital/raster maps and weather/climatologic stations published data.

Digital data. Mean annual precipitation and temperature in the period 1961-2010 are obtained from the digital repository of the CarpatClim project (Szalai et al., 2013). The raster maps are in horizontal resolution of $0,1^\circ$ by $0,1^\circ$. The data is verified according to mean temperatures at selected meteorologic stations in Serbia (Благојевић et al., 2018), and used for mean precipitation and air temperature assessment in the Tulovska River Catchment. The spatial data is in the WGS 1984 (EPSG:4326) projection, here shown for the close surrounding of the Tulovska River Catchment and Serbia within the wider region, in Fig. 2 for precipitation and in Fig. 3 for temperature.

The assessment of mean catchment annual precipitation and temperature is performed in GIS by using raster temperature and precipitation data and the catchment boundaries. The data manipulation and processing were conducted in a free and open-source Quantum Geographic Information System (QGIS). Tab. 2 shows climatologic characteristics assessed from digital data.

Climatological stations (gauged) data. The spatial interpolation of gauged air temperature and precipitation data (RHSS) from CS Leskovac and CS Kukavica to the Tulovska River Catchment is done according to the mean catchment altitude and the distance between the catchment gravity center and the CSs. A linear interpolation of climatologic gauged data is applied due to considerable altitude difference of CS Leskovac (230 m a.s.l.) and CS Kukavica (1,438 m a.s.l.), using the Tulovska River Catchment mean altitude ($X_{\text{mean}} = 429 \text{ m a.s.l.}$). The catchment gravity center is almost equally distant from the CS Leskovac and CS Kukavica, 25 km apart.

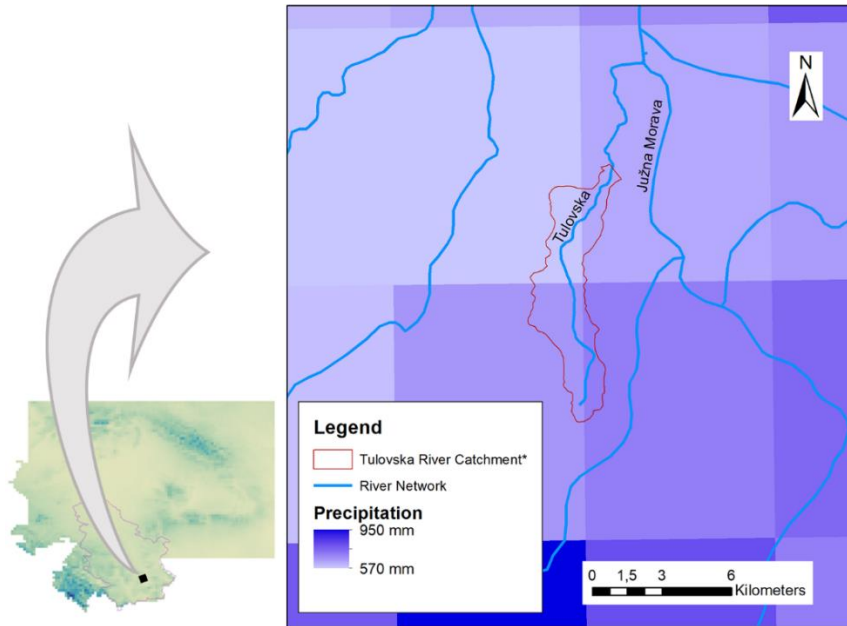


Fig. 2. Mean annual precipitation raster data in the Tulovska River catchment region, obtained from CarpatClim (Szalai et al., 2013)
 (* the catchment contributing area up to the diversion channel intake location)

The period of gauge data availability for CS Leskovac is 1946-2017 and for CS Kukavica 1961-2017. Both mean annual air temperature and mean annual precipitation are estimated for two intervals: 1961-2010, and 1961-2017. The selection of these two periods (intervals) should provide for comparison of mean annual runoff assessment results based on the input data from 1) digital raster maps and 2) climatological records (gauged data).

The values of input climatologic data for mean annual runoff assessment is given in Tab. 2 per data source and period.

Tab. 2. The Tulovska River Catchment precipitation input data from considered data sources

Period	P_o (mm)	T_o (°C)	Source
1961-2010	634.7	11.5	CarpatClim
1961-2010	676.6	10.1	Data record
1961-2017	684.5	10.3	Data record

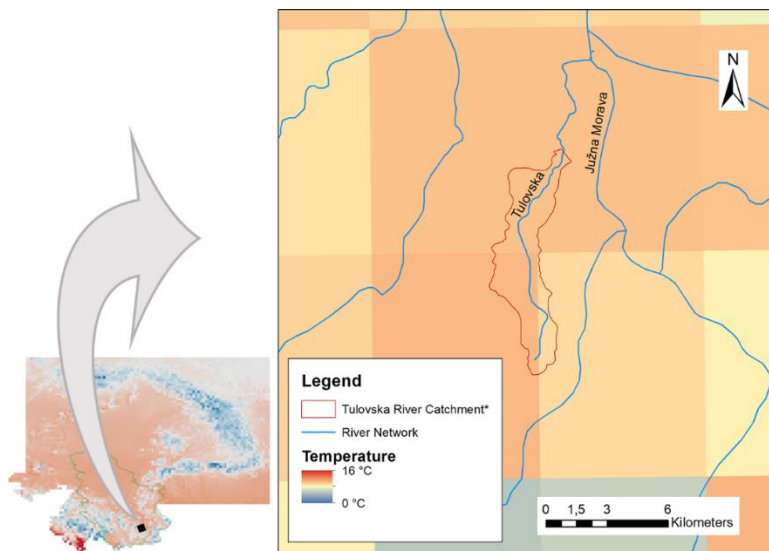


Fig. 3. Mean annual temperature raster data in the Tulovska River catchment region, obtained from CarpatClim (Szalai et al., 2013)
 (* the catchment contributing area up to the diversion channel intake location)

Results and discussion

Runoff predicted from raster climatologic data

The results of mean annual runoff assessment by the method of Langbein and Turc based on the raster climatologic data for the Tulovska River Catchment of 20.6 km², are given in the Tab. 3. The estimated runoff for the Tulovska River Catchment confirms the findings that Turc's method underestimates mean annual runoff in Serbia (Јанковић, 2015; Благојевић et al., 2018).

Tab. 3. Mean annual flow estimated from raster climatologic data

Method	Mean annual flow Q (l/s)	Specific runoff q_o (l/s/km ²)
Turc	31	1.38
Langbein	69	3.09

Runoff predicted from point climatologic data

Tab. 4. shows mean annual runoff predicted by the method of Langbein and Turc based on the processed CS data records. Mean flow/specific runoff assessment results (Tab. 4) show differences in flow of up to 30% method wise, while for the same method, depending on the input data processing period, the difference is negligible.

Tab. 4. Mean annual flow based on the processed precipitation and temperature data records

Method	Mean annual flow Q (l/s)		Specific runoff q _o (l/s/km ²)	
	1961-2010	1961- 2017	1961-2010	1961- 2017
Turc	67	66	3.25	3.20
Langbein	96	98	4.63	4.72

Runoff predicted by regional analysis

Specific runoff in the region of South Morava River where the Tulovska River belongs, is in the range of 6-8 l/s/km² according to the research of Исаиловић & Српа (2001). Regional analysis of water balance elements in this research is based on hydrologic and meteorological data in the period until 1990. Живковић (2009) has established a set of region-specific regression models for mean annual runoff estimation on the sample of 184 catchments, based on precipitation data in the period 1951-1980 and runoff in the period 1961-1990. The regional regression equations are variable - specific and region – specific. Two forms of the established equations are used here.

According to the regression equation for the region 8 – "Južno Moravski":

$$\ln q = 1.47 + 0.001X_{sr}, \quad (8)$$

where:

q - specific runoff (l/s/km²)

X_{sr} - mean catchment altitude (m a.s.l.).

Applied to the Tulovska River (8) gives q = 6.68 l/s/km², i.e. mean annual flow Q = 0.139 m³/s.

In the region 6 - "Južno Moravski", mean annual precipitation (P_o) and specific runoff (q) are linked by the following relation:

$$q = 0.113P_o - 69, \quad (9)$$

when P_o in mm, q is in l/s/km².

Mean annual runoff estimates according to equation (9) by Живковић (2009) are shown in Tab. 5.

Tab. 5. Mean annual runoff for the Tulovska River according to equation (9) for different periods and input data sources.

Period	P _o (mm)	Specific runoff q _o (l/s/km ²)	Mean annual flow Q (l/s)	Data source
1961-2010	634.7	2.78	57	CarpatClim
1961-2010	676.6	7.50	156	Data record
1961- 2017	683.4	8.18	170	Data record

A summary of all the predicted mean annual specific runoff values is shown on Fig. 4. All of the methods which take into account precipitation and temperature produce notably lower values of the mean annual runoff when using CarpatClim raster data as input. This is likely a consequence of the spatial resolution of the raster data (10 x 10 km), which cannot take into account the altitude variability in a catchment as small as the one

considered here. A better matching with the results of the regional methods is observed when using spatially interpolated climatological input data.

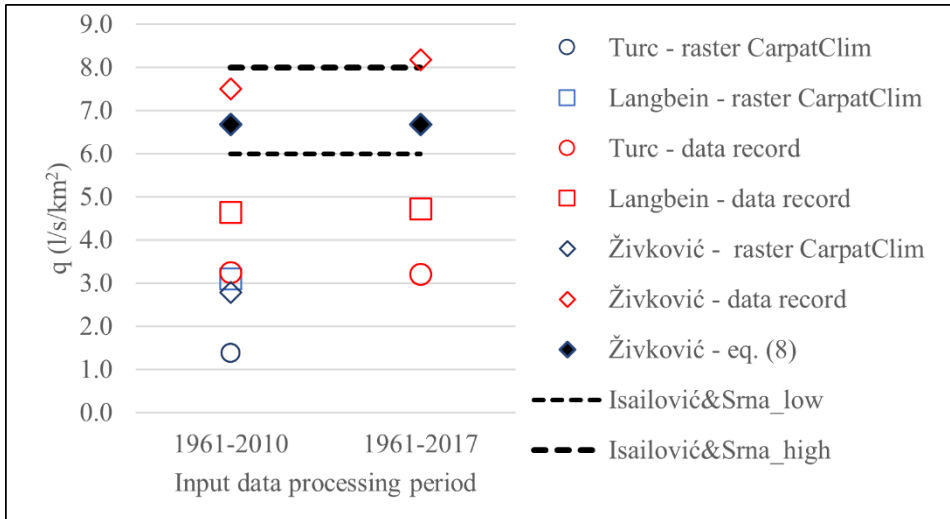


Fig. 4. Summary of the predicted specific runoff for the Tulovska River at the studied location (a single marker type is used for a method and the matching colors mark the same input data source)

Although none of the CSs is situated on the catchment area itself, a better fit with the region-specific runoff values suggests that using the data from the CSs and spatially interpolating it generates more realistic runoff values. Extending the input data processing period yields slightly higher runoff values, but does not introduce any notable changes in the results, compared to the 1961-2010 period.

The regional mean annual specific runoff range by Исаиловић & Срна (2001) and regional regression by Живковић (2009) yield well matching results when using the gauged meteorological data for the 1961-2010 period. However, it has to be taken into account that the calibration periods in the two studies overlap. The consequence of calibrating the regression parameters using data from overlapping periods is best illustrated by applying the equation (8), in which neither temperature nor precipitation is used. Still, the obtained mean annual specific runoff of $q = 6.68 \text{ l/s/km}^2$ (mean flow: $Q = 139 \text{ l/s}$) matches the expected regional value given by Исаиловић & Срна (2001).

Conclusion

The temperature and precipitation raster data used in this paper are verified using the gauging station network of RHMSS. Because of the raster data rough spatial resolution, an accurate representation of the spatial variability of climatological data due to a distinctly variable relief, cannot be expected. Consequently, for the here studied catchment with an area of 20.6 km^2 and an altitude difference of 800 m, the precipitation values obtained by interpolating the gauged values according to the basin altitude and the raster precipitation values differ by 6.7% (period 1961-2010) and by 7.6% for the extended period (1961-2017). The differences in the mean flow estimates based on these sets of

climatological data are far more significant and emphasize the need to consider multiple input data sources to support adopting a design mean flow value.

This study is in line with the findings about underestimating mean annual runoff in Serbia by the Turc's method (Јанковић, 2015; Благојевић et al., 2018). In addition, for both input data sources, the method predicted the lowest mean runoff of all, regardless of the allowance factor introduced by Благојевић et al. (2018).

The value of model parameter Θ in the Langbein's method used in this research is calibrated for the region of central Serbia, using CarpatClim data (Благојевић et al., 2018). The calibration was conducted on 46 catchments with an area up to 1,000 km², of which only 5 are smaller than 100 km², the smallest one being 79 km². The spatial variability of precipitation and temperature in these catchments is thus better captured in the CarpatClim raster data than in the Tulovska River Catchment. The same issue is present in the research of Прохаска et al. (2019) where, despite of the larger sample (71 catchments), the number of catchments smaller than 100 km² is 6.

Using raster climatological data as an input for mean runoff prediction favors larger basins and it should be taken into account when extracting data for small basins, as the one in this study. In order to further evaluate the suitability of Langbein's method for small ungauged catchments using raster input data, the spatially distributed Θ – parameter, i.e. the thematic map, as suggested by Прохаска et al. (2019), may be calibrated for the regions defined by Исаиловић & Срна (2001) and Живковић (2009).

Acknowledgements

This research is partially financed by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia TR 37005.

© 2020 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

- Бабих-Младеновић, М. & Нинковић, Д. (2009). Хидроморфолошке промене и управљање водама. *Водoprивреда*, 41(240-242), 137-144. [Babić-Mladenović, M. & Ninković, D. (2009). Hidromorfološke promene i upravljanje vodama. *Vodoprivreda*, 41(240-242), 137-144.]
- Благојевић, Б., Потих, О. & Радивојевић, Д. (2008). Коришћење хидролошких метода за неизучене сливове на примеру прорачуна великих вода Туловске реке, *Наука и пракса*, 11, 75-82. [Blagojević, B., Potić, O. & Radivojević, D. (2008) Korišćenje hidroloških metoda za neizučene slivove na primeru proračuna velikih voda Tulovske reke, *Nauka i praksa*, 11, 75-82.]
- Благојевић, Б., Плавшић, Ј. & Живковић, Н. (2010). Регионализација просечних вода на територији Србије. *Зборник радова Грађевинско-архитектонског факултета у Нишу*, 25, 1-8. [Blagojević, B., Plavšić, J. & Živković, N. (2010). Regionalizacija prosečnih voda na teritoriji Srbije. *Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu*, 25, 1-8.]
- Blagojević, B. & Plavšić, J. (2013). A normalized regression based regional model for generating flows at ungauged basins. *Water Science and Technology*, 68(1), 99-108.
- Благојевић, Ј., Плавшић, Ј., Ђатовић, С. & Тодоровић, А. (2018). Анализа средњих вода у Србији на основу дигиталних карата падавина и температура. *Водoprивреда*, 50(294-296), 177-187. [Blagojević, J., Plavšić, J., Ćatović, S. & Todorović, A. (2018). Analiza srednjih voda u

- Srbiji na osnovu digitalnih karata padavina i temperatura. *Vodoprivreda*, 50(294-296), 177-187.]
- Ђорђевић, Б. (1990). *Водопривредни системи*. Београд: Научна књига [Ђорђевић, В. (1990). *Vodoprivredni sistemi*. Beograd: Naučna knjiga]
- Исаиловић, Д. & Срна, П. (2001). *Хидролошки биланс површинских вода Србије и његове варијације. Управљање водама Србије*. Институт за водопривреду "Јарослав Черни", 17-36. [Isailović, D. i Srna, P. (2001). *Hidrološki bilans površinskih voda Srbije i njegove varijacije. Upravljanje vodama Srbije*. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 17-36.]
- Јанковић, Д. (2015). О одређивању просечног отицања са неизучених сливова на територији Србије. *Зборник радова 17. Саветовања CDXI – CDX, Вршац*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 816-825. [Janković D. (2015). O određivanju prosečnog oticanja sa neizučених сливова на територији Србије. *Zbornik radova 17. Savetovanja CDXI – CDX, Vršac*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 816-825.]
- Langbein, W.B. (1962). The water supply of arid valleys in intermountain regions in relation to climate. *Bulletin of the International association of Scientific Hydrology*, 7(1), 34-39.
- McMahon, T. A., Laaha, G., Parajka, J., Peel, M. C., Savenije, H. H. G., Sivapalan, M., Szolgay, J., Thompson, S. E., Viglione, A., Woods, R. A. & Yang, D. (2013). Prediction of annual runoff in ungauged basins. Bloschl, G (Ed.). Sivapalan, M (Ed.). Wagener, T (Ed.). Viglione, A (Ed.). Savenije, H (Ed.). *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales*, 1, 70-101. Cambridge University Press.
- Прохаска, О., Плавшић, Ј., Прохаска, С. & Тодоровић, А. (2019). Картирање параметара методе Лангбајна за прорачун средњих вода на неизученим сливовима на територији Србије. *Водопривреда*, 51 (297-299), 99-109. [Prohaska, O., Plavšić, J., Prohaska, S. & Todorović, A. (2019). Kartiranje parametara metode Langbajna za proračun srednjih voda na neizučеним сливовима на територији Србије. *Vodoprivreda*, 51 (297-299), 99-109.]
- Радивојевић, Д., Благојевић, Б., Михаиловић, В. & Благојевић, Ј. (2019). *Хидролошка студија - Хидролошке подлоге за потребе израде растеретног канала Туловске реке*, Институт Грађевинско-архитектонског факултета Универзитета у Нишу. [Radivojević, D., Blagojević, B., Mihailović, V. & Blagojević, J. (2019). *Hidrološka studija - Hidrološke podloge za potrebe izrade rasteretnog kanala Tulovske reke*, Institut Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu.]
- Републички хидрометеоролошки завод Србије (ПХМЗС). Метеоролошки годишњаци: 1. Климатолошки подаци 1948-2017. [Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZS): Meteorološki godišnjaci 1. Klimatološki podaci 1948-2017.] Retrieved from: http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php
- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnick, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T. & Spinoni, J. (2013). Climate of the Greater Carpathian Region. CARPATCLIM Database © European Commission – JRC. *Final Technical Report*. Retrieved from: www.carpatclim-eu.org.
- Turc, L. (1953). Le bilan d'eau des sols: relation entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Troisième journée l'hydraulique*, 12-14, 36-43. (Resume de l'auteur, Paris, 1953, paru dans l'Annuaire de l'agronomie, 1954, et Sols africains, 3, 1954, WMO, 1994).
- Vaitis, M., Feidas, H., Symeonidis, P. et al. (2019) Development of a spatial database and web-GIS for the climate of Greece. *Earth Science Informatics*, 12, 97–115. DOI: 10.1007/s12145-018-0351-9.
- Живковић, Н. (2009). *Просечни годишњи и сезонски отицаји река у Србији*. Универзитет у Београду Географски факултет, Београд. [Živković, N. (2009). *Prosečni godišnji i sezonski oticaji reka u Srbiji*. Univerzitet u Beogradu Geografski fakultet, Beograd.]

Оригинални научни рад

UDC 556(497.11 Tulovska reka)
<https://doi.org/10.2298/GSGD2002045B>

Примљено: 24. новембра 2020.

Исправљено: 07. децембра 2020.

Прихваћено: 21. децембра 2020.

Јован Благојевић^{1*}, Борислава Благојевић^{},
Владислава Михаиловић^{***}, Драган Радивојевић^{**}**

* Студент мастер студија, ЕТХ Цирих, Швајцарска

** Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет, Србија

*** Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Србија

ПРОСЕЧНО ОТИЦАЊЕ СА МАЛОГ НЕИЗУЧЕНОГ СЛИВА КОРИШЋЕЊЕМ РАСТЕРСКИХ КЛИМАТОЛОШКИХ ПОДАТАКА

Апстракт: У раду је спроведена анализа просечног годишњег отицања за мали, неизучени слив Туловске реке, у сливу Јужне Мораве. Примењене су метода Турка, метода Лангбајна и регионални изрази за добијање просечног отицаја. Као улазни подаци коришћене су средње температуре, просечне годишње падавине на сливу и средња надморска висина слива. Прорачуни су спроведени коришћењем различитих климатолошких улазних података, а резултати су затим упоређени. Подаци о падавинама и температури добијени су из дигиталног репозиторијума пројекта CarpatClim у растерском формату, просторне резолуције 10 km x 10 km. Коришћене су и вредности осмотрене на метеоролошким станицама РХМЗ. Разлике у вредностима растерских и осмотрених климатолошких података приписане су утицају висинске разлике терена, који растерски подаци нису били у стању да обухвате. Анализе су показале да процењене вредности отицаја могу да се разликују до 50% у зависности од одабира методе и улазних података.

Кључне речи: средње воде, мали неизучен сливови, метода Турка, метода Лангбајна, растерски климатолошки подаци

¹ j_blogojevic@hotmail.com (аутор за кореспонденцију)
ORCID: 0000-0002-3618-234X

Увод

Водопривреда се бави управљањем компонентама водних ресурса (количина, квалитет и локација) и њиховом динамиком – временском варијацијом (Ђорђевић, 1990). Сложеност сваке од компонената захтева мултидисциплинарни приступ питањима водопривреде. На пример, у области квалитета вода, термин "хидроморфолошки фактори", уведен је за праћење стања вода преко низа параметара. Ови параметри обухватају и показатеље хидролошког режима, континуитет речног тока и морфолошке услове (Бабић-Младеновић & Нинковић, 2009). Питање количине вода и њихове динамике, предмет су изучавања у многим подобластима геонаука и баве се питањима хидролошких анализа ради утврђивања показатеља хидролошког режима. Хидролошки режим, када је у питању количина воде, обично се описује карактеристикама малих, средњих и великих вода.

Хидролошки режим средњих вода описује дугогодишњи процес генерисања отицаја у различитим периодима дискретизације. Основни показатељ режима просечних вода је просечни годишњи отицај, средња вредност годишњих протицаја одређена за дугогодишњи период. За многе потребе, код којих није примарно одређивање режима средњих вода, довољно је одредити само вредност средњег годишњег протицаја. Избор одговарајуће методологије зависи од података који су на располагању. Код изучених сливова, на локацијама хидролошких станица, примењује се једноставни статистички приступ, док се код неизучених сливова може применити моделирање процеса који учествују у формирању отицаја. Уколико постоје, за неизучене сливове се користе калибрисани регионални модели (Mc Mahon et al., 2013). Напредак у областима осматрања, прикупљања, управљања, визуелизације и анализе климатолошких података, умногоме је допринео бољем изучавању сливова. Просторно расподељени климатолошки подаци се данас чувају у дигиталним репозиторијумима којима се може бесплатно приступити. Делење тих података је поједностављено захваљујући достигнућима у области картографије на интернету (Vaitis et al., 2018).

Циљ истраживања у овом раду је испитивање резултата примене дигиталних климатолошких података у једноставним, у пракси широко заступљеним, моделима за оцену просечног отицања у малом неизученом сливу. Препоруке за прилагођавање модела за оцену просечног отицања за услове на територији Србије дао је Јанковић (2015), користећи обрађене осмотрене климатолошке податке. На основу његових закључака, Благојевић и сар. (2018) су обрадом дигиталних климатолошких података за 46 сливова у Србији, предложили корекциони фактор у методи Турка и вредности параметра Θ у методи Лангбајна, која се користи у овом истраживању. Прохаска и сар. (2019) су, на основу истраживања које је обухватило 71 слив у Србији, дали неколико тематских карата за одређивање просечног отицања у неизученим сливовима. Ове карте су добијене просторном интерполацијом параметра Θ који се користи у методи Лангбајна.

Неизучени слив Туловске реке у југоисточној Србији је био предмет хидролошких студија због значајног плавлeња приградских насеља града Лесковца уз Јужну Мораву (Благојевић и сар., 2008; Радивојевић и сар., 2019). Испрва је решење за одбрану од поплава било уређење речног корита кроз приградска насеља. Као коначно решење је изабрана изградња растеретног канала до Јужне Мораве,

узводно од приградских насеља. Решење је захтевало да се одреде показатељи хидролошких режима за део слива Туловске реке. За овај случај су пре свега битни показатељи режима великих вода, али за димензионисање и коначно обликовање објеката у склопу растеретног канала, важни су и неки показатељи режима средњих и малих вода.

Провера прихватљивости метода за оцену просечног годишњег отицања на основу различитих улазних података, урађена је за две једноставне и у пракси заступљене методе прорачуна. Улазни подаци су били: (1) подаци осматрања са климатолошких станица и (2) растерски климатолошки подаци за Туловску реку. Резултати су упоређени међу методама и у односу на улазне податке. Захваљујући постојећим регионалним анализама спроведеним на датом подручју (Благојевић и сар., 2010; Благојевић & Plavšić, 2013), резултати су упоређени и са резултатима добијеним на основу опсега специфичног отицаја (Исаиловић & Срна, 2001) и калибрисаних регионалних модела (Живковић, 2009).

Методологија

Простор истраживања

Туловска река припада сливу Јужне Мораве и њена је директна лева притока. Речни слив се простире од северних и источних обронака планине Кукавице, одакле се Туловска река формира од Големе и Мале реке. Ушће у Јужну Мораву налази се у предграђу града Лесковца, близу села Доње Крајинце. Туловска река тече у смеру југ-север, а речна мрежа је слабо развијена. Слив је узан и издужен у горњем и средњем делу, где се налази изучавани профил – пропуст на железничкој прузи. У доњем, низводном делу слива уз Јужну Мораву је рурално и приградско подручје.

Хидрогеолошки и педолошки услови и вегетација могу се приказати за два изразита дела речног слива Туловске реке (Благојевић и сар., 2008). Горњи део слива, преко 400 m н.в. (највиши врх Врви кобила 1.047 m) лежи на слабо пропусним до непропусним стенама (седиментне, магматске и метаморфне стене) са изразито стрмим нагибима терена. Изнад јединог насељеног места у том делу слива, села Тулово, налази се разграната хидрографска мрежа. У овом делу слива су шуме (преовлађује листопадна шума) и ретко обрадиво земљиште. Педолошки покривач чине скелетоидно и скелетоид-оподзољено земљиште. Средњи део слива (између 270 и 400 m) са блажим нагибима терена, лежи на пропусним, песковито-шљунковитим седиментима. Терен одликују клизишта, вододерине и други облици ерозије гла. У овој области се налази неколико насеља са окућницама и преовлађују виногради на падинама са североисточном и северозападном експозицијом терена. Хидрографска мрежа је слабо развијена, налази се и на водотокове са слепим ушћима. По ободу овог појаса, налази се ретка шума.

На Сл. 1 су картиране Туловска река и изучавани део речног слива, као и кишомерне станице - кишомери и климатолошке станице (КС). Климатолошке одлике околине речног слива одговарају прелазном типу између континенталног и модификованог средоземног режима падавина. Унутаргодишња расподела падавина – месечне суме падавина на пет кишомерних станица и две климатолошке, такође су приказане на Сл. 1. за стандардни нормални период 1961-1990. На

локацијама климатолошких станица, приказана је и унутаргодишња расподела температуре ваздуха.

*Сл. 1. Локација истраживаног дела слива са околином; дијаграми унутаргодишње расподеле падавина и температуре ваздуха (оса десно) на кишомерним и климатолошким станицама осматрачке мреже РХМЗС у стандардном нормалном периоду 1961-1990. год. приказани су поред станица (*део слива до улазне грађевине диверзионог канала) (страна 48)*

Дефиниције и означавање

У раду равноправно користимо термин "средњи годишњи отицај" и "просечни отицај", а дефинишемо га као укупну запремину воде протеклу кроз речни профил током једне године, расподељену по површини слива. Ознаку Q_0 користимо када су јединице mm или cm, док ознаку Q користимо када исту величину изражавамо у m^3/s или l/s , а том приликом користимо термин "просечни годишњи протицај" или "просечни протицај". Специфични отицај - q_0 , или специфично отицање је у $l/s/km^2$ и означава просечни годишњи протицај по јединици површине слива A (km^2).

Метода биланса – Турка

Метода биланса – Турка (Турк, 1953) заснива се на билансној једначини. Једначина којом се описује биланс је:

$$P_0 = D_0 + Q_0 \pm \Delta Q_0 \quad (1)$$

где су:

P_0 – просечне падавине на сливу,

D_0 – просечни губитак воде на сливу,

Q_0 – просечно отицање,

$\pm \Delta Q_0$ – промена запремине на сливу услед исцрпљивања или допуњавања подземних вода.

Све просечне величине израчунате су за довољно дуг, репрезентативан период који укључује и сушне и водне године, чиме је уведена претпоставка да величина $\pm \Delta Q_0$ тежи нули. За израчунавање губитака примењена је формула Турка, чије су улазне величине просечне падавине и просечна температура:

$$D_0 = P_0 \cdot \left(0.9 + \frac{P_0^2}{L^2}\right)^{-0.5} \quad (2)$$

Вредност L у формули (2) се одређује као:

$$L = 0.5 \cdot T_0^3 + 25 \cdot T_0 + 300 \quad (3)$$

где је:

T_0 – просечна температура на сливу.

Овде се T_0 изражава у $^{\circ}C$, а P_0 , D_0 , и Q_0 у mm. Да би изрази (2) и (3) били димензионо исправни, може се сматрати да L има димензију у mm, иако у

физичком смислу параметар L нема тумачење. Коришћењем израза (1) и (2) добија се израз за прорачун слоја отицаја (y mm) (Јанковић, 2015):

$$Q_0 = P_0 \cdot \left[1 - \left(0.9 + \frac{P_0^2}{L^2} \right) \right]^{0.5} \quad (4)$$

Слој отицаја се може претворити у специфични отицај у $l/s/km^2$, следећим изразом за годину која није преступна:

$$q_0 = 0.0317 \cdot Q_0 \quad (5)$$

док је за преступну годину вредност константе у горњем изразу 0,0316. Када се q_0 помножи са површином слива A (km^2), добија се вредност просечног протицаја у излазном профилу у l/s . Према налазима Благојевић и сар. (2018) за сливове у Србији, треба применити корекциони фактор од 1,239 којим треба помножити средњи годишњи протицај у l/s . Утврђено је да се применом овог фактора боље слажу рачунске и осмотрене вредности отицања у расположивом узорку. Исти корекциони фактор је примењен у овом раду.

Метода Лангбајна

За методу Лангбајна (Langbein, 1962), коришћени су исти улазни подаци као и за методу Турка: P_0 – просечне падавине на сливу и T_0 – просечна температура на сливу. Зависност која је дефинисана у овој методи је:

$$\frac{Q_0}{E} = f\left(\frac{P_0}{E}\right) \quad (6)$$

где је:

E – температурни фактор,

Q_0 – средњи годишњи протицај (cm).

Када су вредности P_0 и T_0 , унете у cm и °C редом, E се рачуна преко израза:

$$\log E = 0,027 \cdot T_0 + \theta \quad (7)$$

Коришћена вредност параметра $\theta=0.855$ је препоручена за мале неизучене сливове у Србији (Благојевић и сар., 2018). Прохаска и сар. (2019) покушали су да калибришу параметар θ према узорку од 71 слива. У том раду је примењено неколико техника просторне интерполације у покушају стварања тематске карте вредности параметара θ , мада аутори нису препоручили коначну карту. Ипак, грубо упоређивање θ параметра који су ови аутори добили за слив Топоничке реке на хидролошкој станици Горња Топоница ($A = 202 km^2$) у сливу реке Јужне Мораве, са опсегом параметара од 0,861 – 0,867, (у зависности од технике интерполације и места картирања параметра), показује малу разлику у односу на усвојени параметар у овом истраживању.

Зависност (6) дефинисана је табеларно, у Таб. 1 (Јанковић, 2015).

Таб. 1. Зависност Q_0/E и P_0/E

P_0/E	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14
Q_0/E	0,01	0,03	0,08	0,20	0,48	1,00	1,80	2,60	3,40	5,00	7,00	9,00

Улазни подаци

Просечна годишња температура ваздуха T_0 и годишња сума падавина P_0 , у вишегодишњем периоду, представљају улазне податке који се користе у разматраним методама, једначине (1) - (7). Ове климатске карактеристике се односе на слив Туловске реке.

Дигитални подаци. Просечне падавине и температуре за период 1961-2010., преузете су са дигиталног репозиторијума пројекта CarpatClim (Szalai et al., 2013), у растерском формату са хоризонталном резолуцијом од $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Подаци су верификовани у односу на просечне падавине на неким метеоролошким станицама у Србији (Благојевић и сар., 2018), а затим су коришћени за одређивање просечних падавина и температура на сливу Туловске реке до траженог профила. Подаци су у пројекцији WGS 1984 (EPSG:4326) и приказани су графички за околину слива Туловске реке, као и за територију Србије са регионом, на Сл. 2 за падавине и Сл. 3 за температуру.

Одређивање просечних падавина и температура на сливу спроведено је у ГИС окружењу, коришћењем растерских података о падавинама и температурама и векторским подацима о граници слива. За манипулацију са дигиталним просторним подацима о просечним падавинама и температурама ваздуха и њихову обраду, коришћен је бесплатан програмски пакет QGIS, отвореног кода. Добијене вредности су приказане табеларно (Таб. 2).

Подаци са климатолошких станица. Преношење података осматрања температуре ваздуха и падавина (РХМЗ Србије, Метеоролошки годишњаки – климатолошки подаци) са локација климатолошких станица Лесковац и Кукавица из осматрачке мреже РХМЗ-а на слив Туловске реке, извршено је према средњој надморској висини слива и према растојању тежишта слива од климатолошке станице. Због велике разлике у надморским висинама станица Лесковац (230 m n.m.) и Кукавица (1.438 m n.m.), улазни подаци за прорачун отицаја добијени су линеарном интерполацијом осматраних вредности, према средњој надморској висини слива Туловске реке ($X_{sr} = 429$ m n.m.). Слив Туловске реке је приближно подједнако удаљен од станица Лесковац и Кукавица, чије је међусобно одстојање око 25 km.

*Сл. 2. Приказ растерских података о просечним температурама за регион слива Туловске реке у дигиталном репозиторијуму пројекта CarpatClim (Szalai et al., 2013)
(*део слива до улазне грађевине диверзионог канала) (страница 51)*

Расположиви подаци осматрања су за Лесковац у периоду 1946-2017., а за Кукавицу за период 1961-2017. године. Средње годишње падавине и средње годишње температуре одређене су за два периода: 1961-2010. и 1961-2017. Периоди су одабрани тако да се омогући поређење добијених резултата прорачуна средњих вода са улазним подацима заснованим на 1) растерским подацима са дигиталних карата и, 2) подацима са климатолошких станица. Сви улазни подаци коришћени за прорачун средњих вода су приказани табеларно (Таб. 2), према извору података и обухваћеном периоду.

*Сл. 3. Приказ растерских података о просечним падавинама за регион слива Туловске реке у дигиталном репозиторијуму пројекта CarpatClim (Szalai et al., 2013).
(*део слива до улазне грађевине диверзионог канала) (страница 52)*

Таб. 2. Улазни подаци о падавинама и температурама за слив Туловске реке

Период	P_o (mm)	T_o (°C)	Извор
1961-2010.	634,7	11,5	СарпатClim
1961-2010.	676,6	10,1	осматрања
1961-2017.	684,5	10,3	осматрања

Резултати и дискусија

Отицање на основу растерских података

Резултати прорачуна средњих вода по методи Лангбајна и методи Турка на основу растерских улазних података за Туловску реку површине слива 20,6 km², дати су у Таб. 3. Добијени резултати процене годишњих протицаја у анализираном профилу Туловске реке су потврдили сазнања да метода Турка у нашим условима даје потцењене вредности средњих вода (Јанковић, 2015; Благојевић и сар., 2018).

Таб. 3. Просечни годишњи протицај на основу растерских улазних података

Метода	Просечни протицај Q (l/s)	Спец. отицај q_o (l/s/km ²)
Турк	31	1,38
Лангбајн	69	3,09

Отицање на основу података у тачки

У Таб. 4 приказани су резултати процењеног просечног протицаја на разматраном излазном профилу слива, на основу података осматрања падавина и температуре ваздуха из података на две оближње климатолошке станице. У резултатима прорачуна (Таб. 4) може се видети да се добијене вредности просечног/специфичног отицај разликују до 30% по методама, и то за оба разматрана периода. За исту методу разлике у резултатима добијеним за два посматрана периода су незнатне.

Таб. 4. Просечни годишњи протицај на основу улазних података из података осматрања падавина и температура

Метода	Просечни протицај Q (l/s)		Специфични отицај q_o (l/s/km ²)	
	1961-2010.	1961- 2017.	1961-2010.	1961- 2017.
Турк	67	66	3,25	3,20
Лангбајн	96	98	4,63	4,72

Резултати на основу постојећих регионалних израза

Вредности специфичног отицаја просечних вода у одговарајућем региону Јужне Мораве коме припада Туловска река, према резултатима ранијег истраживања Исаиловића и Срне (2001), оквирно даје 6-8 l/s/km². Регионализација просечних вода је у овом истраживању рађена на основу хидрометеоролошких низова података до 1990. године.

Живковић (2009) је на узорку од 184 слива и на основу обраде података о падавинама у периоду 1951-1980. и протицаја у периоду 1961-1990., извео различите регионалне изразе за одређивање просечног вишегодишњег отицања. Изведени регионални изрази, важе за одређене области (регионе/рејоне) и користе различите независно променљиве. Овде су коришћена два регионална израза.

Према изведеном изразу зависности специфичног отицаја од средње надморске висине за регион 8 – "Јужно-Моравски":

$$\ln q = 1.47 + 0.001X_{sr} \quad (8)$$

где је:

q – специфични отицај (l/s/km²)

X_{sr} – средња надморска висина слива (m).

За Туловску реку према изразу (8) добија се специфични отицај $q = 6,68$ l/s/km, односно просечни протицај $Q = 0,139$ m³/s.

Други регионални израз Живковића повезује просечне падавине (P_0) и специфични отицај (q):

$$q = 0.113P_0 - 69 \quad (9)$$

а важи за регион 6, такође под називом "Јужно-Моравски". Јединице у којима се уносе падавине су mm, а специфични отицај се добија у l/s/km².

Резултати срачунаог просечног протицаја за Туловску реку до изучаваног профила добијени према изразу (9), а за различите улазне податке о падавинама, дати су у Таб. 5.

Таб. 5. Просечни протицај одређен на основу регионалног према једначини (9), за различите периоде и изворе улазних података

Период	P_0 (mm)	Специфични отицај q_0 (l/s/km ²)	Просечни протицај Q (l/s)	Извор
1961-2010.	634,7	2,78	57	CarpatClim
1961-2010.	676,6	7,50	156	осматрања
1961- 2017.	683,4	8,18	170	осматрања

На Сл. 4 сумирани су сви резултати за средњи годишњи специфични отицај са слива. Све методе код којих фигуришу падавине и температуре као резултат имају значајно ниже вредности средњег годишњег отицаја, када су као извор података коришћени дигитални растерски подаци. То је вероватно последица крупне просторне резолуције растерских података (10 x 10 km) која не може да обухвати варијације у надморској висини тако малог слива о ком се овде ради. Боље слагање резултата са оним израчунатим преко регионалних израза је добијено када су као улазни подаци коришћени просторно интерполирани климатолошки подаци.

Сл. 4. Приказ процењених специфичних отицаја за слив Туловске реке на посматраној локацији. Један тип маркера је коришћен за исти метод, а иста боја означава исти извор улазних података (страница 54)

Иако се ни једна климатолошка станица не налази на самом посматраном сливу, боље слагање са вредностима добијеним према регионалним изразима сугерише да су бољи - реалнији резултати добијени применом просторне интерполације осматраних података са климатолошких станица. Продужење периода са улазним подацима резултирало је нешто већим вредностима отицаја, али разлике нису значајне у поређењу са периодом 1961-2010. год.

Регионални средњи специфични отицај према Исаиловићу и Срњи (2001) и регресионе једначине према Живковићу (2009) дају резултате који се добро слажу, када се као улазни подаци користе осматрани метеоролошки подаци из периода 1961-2010. Међутим, треба имати у виду да се периоди калибрације из ове две студије поклапају. Последица калибрације параметара регресије коришћењем података из периода који се преклапају, најбоље се види у резултату добијеном према једначини (8). У овој једначини не фигуришу ни падавине ни температура, а добијен је средњи специфични отицај $q = 6,68 \text{ l/s/km}^2$ (средњи отицај: $Q = 139 \text{ l/s}$) који се слаже са очекиваном регионалном вредношћу која је добијена у раду Исаиловића и Срње (2001).

Закључак

Растрски подаци о падавинама и температури, коришћени у овом раду, верификовани су према подацима са осматрачке мреже РХМЗС. Услед грубе просторне резолуције растрских података, не може се очекивати верни приказ просторне расподеле климатолошких података услед изразито променљивог рељефа. Као последица тога, за овде изучавани слив од $20,6 \text{ km}^2$ и висинску разлику од 800 m , вредност падавина са станица интерполована према надморској висини слива, разликује се у односу на растрске податке за $6,7\%$ (за период 1961-2010.) и за $7,6\%$ за продужени период (1961-2017.). Међутим, разлике у оцени просечног отицања на основу једног и другог скупа климатолошких података су далеко веће и указују на потребу да се узме у обзир више извора улазних података, да би се могла усвојити једна, меродавна вредност.

Резултати овог рада су у складу са налазима у вези са одређивањем средњег годишњег отицања на територији Србије помоћу Туркове методе (Јанковић, 2015; Благојевић и сар., 2018). И уз употребу корекционог фактора, ова метода даје најниже вредности отицаја, за оба извора улазних података.

Вредност параметра Θ у методи Лангбајна која је коришћена у овом раду, калибрисана је за простор централне Србије помоћу података из репозиторијума SaoratClim (Благојевић и сар., 2018). Калибрисање је извршено помоћу података са 46 сливова, површине до 1.000 km^2 , од којих је само 5 сливова са површином мањом од 100 km^2 , а најмањи има 79 km^2 . Просторна расподела падавина и температура на овим сливовима је тиме боље представљена у растрским подацима репозиторијума SaoratClim, него што је на сливу Туловске реке. Исти проблем види се у раду Прохаске и сар. (2019), где је упркос већем укупном броју разматраних сливова (71), само 6 са површином мањом од 100 km^2 .

Употреба растрских климатолошких података за одређивање просечног отицања погодује већим сливовима, што треба узети у обзир када се користе на малим сливовима као што је случај у овом раду. Да би се даље испитала

примењивост Лангбајнове методе на малим сливовима са растерским улазним подацима, просторно расподељен параметар Θ , одн. тематска карта, као што су предложили Прохаска и сар. (2019), могла би се калибрисати за регионе које су дефинисали Исаиловић и Срна (2001) и Живковић (2009).

Захвалница

Део истраживања у раду је финансиран из пројекта технолошког развоја ТР 37005 код Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије.

© 2020 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)