

Original scientific paper

UDC 627.152.15 (497.11)

<https://doi.org/10.2298/GSGD1702019L>

Received: October 15, 2017

Corrected: November 25, 2017

Accepted: December 5, 2017

Marko Langović^{1*}, Sanja Manojlović*, Zoran Čvorović**

** University of Belgrade, Faculty of Geography, Serbia*

*** University of Belgrade, Faculty of Security Studies, Serbia*

TRENDS OF MEAN ANNUAL RIVER DISCHARGES IN THE ZAPADNA MORAVA RIVER BASIN

Abstract: Zapadna Morava River basin covers a surface of 15850 km², which is approximately 18% of the territory of the Republic of Serbia. In its basin, 38 active surface stations are registered. The goal of this paper is the trend analysis of the mean annual river discharges in the Zapadna Morava River basin and their noticing in a longer series of time, as well as determining their intensity. Fifty years period of time (1965 – 2014) is taken for a time series. Because there is no empirical data for mean annual discharge values for all stations for the given period, the number of the hydrological stations, which are processed in this paper, is reduced to 21. Mann-Kendall test has been used for noticing the trend, Sen test has been used for estimating the curves inclinations of the linear trend, while Pettitt's test has been used for determining the turning point of change. Also, classification of the years by water richness has been performed in this paper in order to determine wet and dry periods. For the needs of identification of medium watery, wet and dry years, the combined method has been used on the data examples from representative stations in the basin. Based on the processed data and the obtained results, it has been established that the most rivers in the basin of the Zapadna Morava River have a slightly decreasing trend of the flow values, whereby the change of the trend is not significant. On the most rivers, the change period has begun in the early eighties of the past century. On a large number of profiles, the watery period was appearing in the beginning of eighties, while the dry season is characteristic for the period from 1990 to 1994.

Key words: trend, Zapadna Morava, Mann-Kendall test, wateriness, classification of the years by water richness

¹mlangovic@gef.bg.ac.rs (corresponding author)

Introduction

Availability, quantity and quality of the water resources have been one of the most current global and scientific themes in the last decades. A numerous problems of the global character, which are related with the water resources, are appearing: on the one side, the number of victims and material damage is getting bigger because of extreme floods, and on the other side, the always actual and open question: "Is there enough water for the total world's population?" (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014). Catastrophic floods in particular parts of the world, followed by long and heavy droughts, are the consequences of the variability of climate elements and factors, as well as a bigger anthropogenic influence and anthropoppression of the population on the natural environment and the living space (Yazid & Humphries, 2015).

Observing and noticing the changes in a longer hydrological time series is important for the scientific and practical research (Liang & Liu, 2014), especially for the needs of solving the water management problems, designing the objects of the water management, water use etc. When we are using the time series data in a hydrological analysis, it is important to fulfill three assumptions: homogeneity, stationary and independency of the time series (Jeneiova et al., 2014).

The mean annual discharge (Q_{sr}), as a basic indicator for studying the water regimes of the river courses, represents the main indicator which is used for noticing the trends of the river regimes in a longer period of time. In addition to deliberation about the presence and importance of the trend, the perennial watery and drought cycles are also analyzed in this paper. The analysis has been conducted on the values of the mean annual river discharges in the Zapadna Morava River basin for the period of fifty years (1965 – 2014). The goal of this paper is to present that a time interval is very important for the trend analysis (Stojković et al., 2014), as well as the changes which happened within the series and identification of the exact years of the change.

The trend of mean annual discharges has been researched in many global and domestic studies, but the methodology applied in this study is different and therefore may have significant effect on drawing conclusions. The method which has been used in this paper is recommended by numerous worlds' authors: Gao et al., 2011; Meysam et al., 2012; Jeneiova et al., 2014, etc. Statistical analysis of the mean annual and seasonal flows was also the object of the hydrological studies in Serbia: Дуцић et al., 2006; Mustafić, 2012; Stojković et al., 2014; Kovačević-Majkić & Urošev, 2014; Ђокић, 2015; Симић, 2016, etc.

Material and methods

The basin of the Zapadna Morava River encompasses a surface of 15850 km². On the north it borders the Kolubara River basin, on the west Drina River basin, on the south Beli Drim River basin, while on the east the basin leans on the Velika and Južna Morava River basins. Zapadna Morava represents the left component of the river Velika Morava and it is formed by the rivers Đetinja and Golijska Moravica in the Požega Valley, on the altitude of 302 m. From this place to the confluence with Južna Morava, it is 210 km long. River Zapadna Morava receives a large number of tributaries, especially on the right side: Ibar (8059 km²), Rasina (981 km²), Bjelica (376 km²), etc. On the right side, the coming rivers

are: Gruža (622 km²), Čemernica (625 km²), Kamenica, etc (Гавриловић & Дукић, 2002).

In the basin of the Zapadna Morava River, 38 active hydrological stations of the surface water are registered. However, because there is no empirical data for the taken time period of fifty years (1965 – 2014), the data from 21 hydrological stations have been used (which are obtained from the hydrological yearbooks of the RHMS Serbia) – profile Jasika (1) (Zapadna Morava), profiles Batrage (2) (Ribariće)², Raška (3), Ušće (4) and Lopatnica (5) (Ibar), profiles Novi Pazar (6) and Raška (7), profiles Mlanča (8), Deviči (9) and Ušće (10) (Studenica), profile Biljanovac (11) (Jošanica), profile Bogutovac (12) (Lopatnica), profile Ribnica (13) (Ribnica), profile Požega (14) (Skrapež), profile Arilje (15) (Moravica), profile Guča (16) (Bjelica), profile Prijedor (17) (Kamenica), profile Preljina (18) (Čemernica), profile Guberevac (19) (Gruža) and profiles Brus (20) and Bivolje (21) (Rasina) (Fig. 1).

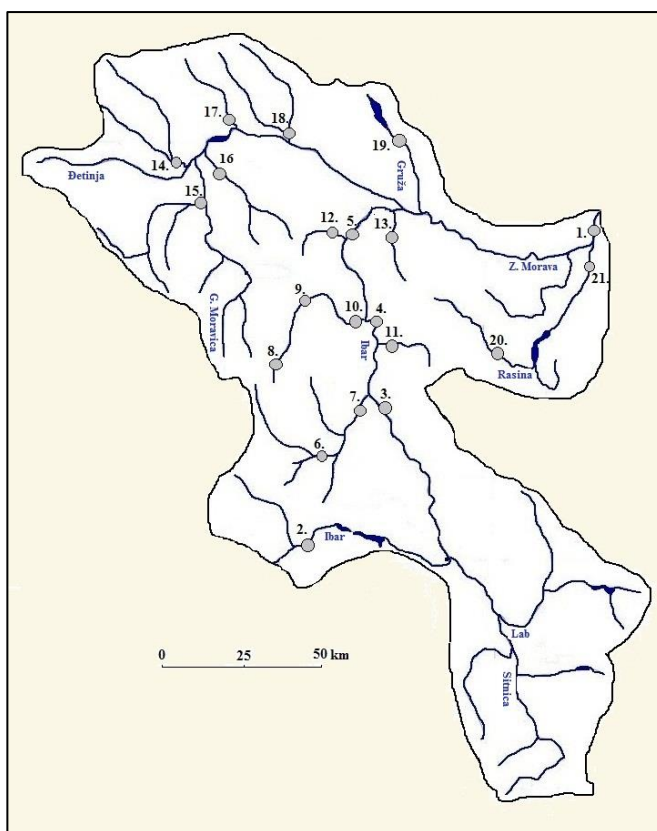


Fig. 1. Zapadna Morava River basin with denoted hydrological stations whose data were used in this paper

²Until 1979, the hydrological station was located in the rural area of the village Ribariće, and after the construction of the Gazivode reservoir on the Ibar River, the new station "Batrage" started its work in 1980, more upstream. Dates from both stations are connected in a single time series, since the differences in the river flows are negligible.

For determining the existence of a trend in changing the flow values, we used the *Mann-Kendall test*, on which many trend analyses of the meteorological and hydrological parameters are based (Douglas, 2000; Blain, 2016; Sun et al., 2016). This test is non – parametric, i.e. it does not require the normal data distribution and it is based on comparison of all data in a time series (Kendall, 1962). It is a test that identifies the trend of series, based on comparison of the relative magnitudes of the data change. If the trend value is less than 0, then a decreasing trend exists in the time series, but if the trend value is bigger than 0, it represents a growing trend (Yue & Wang, 2004). The Mann-Kendall test goes by the assumption that time series are independent (Mustafić, 2012). However, in many cases, it happens that annual series of flows do not fulfill that condition.

The zero hypothesis of the Mann-Kendall test works under the assumption that there is no monotony trend in a time series. For the zero hypotheses testing, control statistics are used (Kendall, 1962). If the value Z (level of the significance) is bigger than 1.96 (what corresponds to the significance level of 0.05), we are concluding that the monotony trend exists in the time series. Otherwise, if the value is smaller, the trend does not exist. Often, the trend analysis can lead to the wrong conclusion, because of non-stationary time series, particularly because there are multi-year watery and drought cycles in the series. Therefore it is necessary to use several full cycles of the time series, in order to make a representative trend (Stojković et al., 2014). The Sen Estimate test allows us to estimate the curves of the linear inclination (the curves of the linear trend) (Hannaford & Buys, 2012). The value of the Sen Indicator represents an average increase/ decrease values of the annual flow.

Certain statistical methods deal with determining points of the change in some time series. In this research we are using a non-parametric test - *Pettitt's test*. The test determines a significant change in a data series. It is similar to non-parametric Mann–Whitney test (Gu et al., 2016). Tests of the homogeneity, among which is Pettitt's test, show that the data is homogenous and that important points of interruption in a data series may be identified.

In geographical and hydrological studies of the water regimes and trends, an important method which is often used is *Classification of the years by water richness*, which indicates a trend of the multi-annual regimes wateriness in one flow. Based on the trend of dominant flow in the basin we can determine the wateriness of the total basin, or smaller sub-basins. Then we can separate the years or the time series, which were distinguished by average wateriness, watery or dry, very watery or very dry, and catastrophically watery or dry years. In the Zapadna Morava River basin there is a fluctuation of the flow values on annual level. Thus, one of the most important tasks in this study is to evaluate how much the annual discharge values vary from the expected average values, i.e. it is necessary to determine whether it is more likely for less or more watery rich years to occur, and which are more expressed (Ђокић, 2015). The question is how to execute classification of the years by water richness in a period of time. For that purpose, several allocations may be applied, whereby the most famous are: Gumbel, GEV, Person type, Streamflow Drough Index (SDI), combined method (which is used in this study) and others.

Results and discussion

The non-parametric *Mann-Kendall test* has been used for determining the existence of the mean annual discharges. Of 21 researched hydrological stations in the Zapadna Morava River basin, the growing trend of the mean annual discharges was noticed at 19.04% of profiles (4 stations), while the decreasing trend was noticed at 76.19% of profiles (16 stations). Declining trend of discharge values, which is not statistical significant, was noticed at 66.67% of profiles (14 stations), while the increasing trend without statistical significance was registered on all profiles with growing trend. The remaining 9.52%, i.e. two stations, have statistically significant decreasing trend. At one station (4.76%) trend stagnation was determined, i.e. there were no changes in the flow values in the studied time series. Test results showed that values of the main annual river discharge have a dominant decreasing trend, which is in accordance with most river flows on the territory of Serbia.

By analyzing the smaller parts of the basins, sub-basins, we can notice certain differences in dominance of the growing and decreasing trend. On Ibar River, on the profiles Raška, Ušće and Lopatnica, a mild decreasing trend was noticed, while on the Batrage profile the trend is a little more expressed. The average rate of decreasing ranges from 0.001 m³/s/year on the Lopatnica profile to 0.12 m³/s/year on the Raška profile. On the Batrage profile level of significance is 0.001 (0.1%), which indicates high significance. On the Batrage profile Z has the value – 4.09, which indicates a significant decreasing trend of river flow value, on a given level of significance (Tab. 1).

Tab. 1. Results of Mann-Kendall test for selected stations in the Zapadna Morava River basin (1965-2014)

| | Profile | River | Qsr (m ³ /s) | Z – value of trend | B – Sen estimate | α – level of significance |
|-----|------------|-----------|-------------------------|--------------------|------------------|---------------------------|
| 1. | Jasika | Z. Morava | 101.6 | -1.06 | -0.276 | - |
| 2. | Batrage | Ibar | 8.55 | -4.09 | -0.122 | *** |
| 3. | Raška | | 37.52 | -0.93 | -0.12 | - |
| 4. | Ušće | | 43.33 | -0.76 | -0.08 | - |
| 5. | Lopatnica | | 54.22 | -0.04 | -0.001 | - |
| 6. | N. Pazar | | 4.01 | -0.44 | -0.004 | - |
| 7. | Raška | Raška | 7.27 | 0.70 | 0.014 | - |
| 8. | Biljanovac | Jošanica | 3.38 | -1.11 | -0.008 | - |
| 9. | Devići | Studenica | 2.92 | -1.05 | -0.007 | - |
| 10. | Mlanča | | 4.78 | -0.27 | -0.004 | - |
| 11. | Ušće | | 7.01 | -0.09 | -0.001 | - |
| 12. | Bogutovac | Lopatnica | 1.89 | -0.50 | -0.003 | - |
| 13. | Ribnica | Ribnica | 1.38 | 0.95 | 0.003 | - |
| 14. | Požega | Skrapež | 4.68 | -1.52 | -0.025 | - |
| 15. | Arilje | Moravica | 10.57 | -0.87 | -0.026 | - |
| 16. | Guča | Bjelica | 2.32 | -0.02 | -0.001 | - |
| 17. | Prijedor | Kamenica | 1.91 | 0.02 | 0.001 | - |
| 18. | Preljina | Čemernica | 3.95 | 0.57 | 0.007 | - |
| 19. | Guberevac | Gruža | 1.37 | 0.00 | 0.00 | - |
| 20. | Brus | Rasina | 2.38 | -1.99 | -0.015 | * |
| 21. | Bivolje | | 7.24 | -0.83 | 0.021 | - |

Source: Hydrological yearbooks of RHMS of Serbia, 1965 – 2014)

*** - level of significance of 0.001 (0.1%); * - level of significance of 0.5 (moderate statistical significance); - level of significance higher than 0.1 i.e. does not indicate any significance in this parameter change

For determining compliance between the research results of the trend on Ibar River profiles with the long-term changes of the main annual flows in the whole basin, the trends on profiles of its bigger tributaries have been researched. On 75% profiles in Ibar River basin a decreasing trend has been noticed, with average rates ranging from 0.003 m³/s/ year on the profile Bogutovac to 0.008 m³/s/year on the profile Biljanovac, which indicates that a mildly decreasing trend is dominant. On two profiles, a mildly growing trends of discharge values have been noticed - in the lower course of the Raška River (profile Raška) with 0.7 and on the middle course of the Ribnica River (profile Ribnica) with value of 0.95. Average annual growing rates had values between 0,003 and 0.014 m³/s/year. All registered changes of the trend in the Ibar River basin do not show significance at any level, i.e. significance is defined with the value of $\alpha > 0.1$.

The rest of the Zapadna Morava River basin shows similar trends as Ibar River basin. On more than a half of the profiles (66.2%) a mildly decreasing trend has been noticed with minimal values on the profiles Guča (Bjelica) and Arilje (Golijska Moravica), and with some higher values on the river Skrapež (-1.52) and on a very course of river Zapadna Morava (-1.06). On profiles of the left tributaries of the Zapadna Morava River, a mildly growing trend of flow values has been registered - profile Prijedor (Kamenica) with an average annual growth of 0.001 m³/s/year and Preljina (Čemernica) with an annual growth of 0.007 m³/s/year. On the profile Guberevac on the Gruža River, a stagnant type of the trend has been registered, i.e. Z has the value 0. The regulation of the river's water flow by discharging the water from the Gruža accumulation is one of the reasons for the presence of the stagnant type on Gruža River. This process compensates the potential water reduction. A general conclusion is that the left tributaries of Zapadna Morava River show a solid stable level of the mean annual discharge values. From all other profiles, only on the Rasina River (Brus) a temperate significance on the 0.05 level exists, which means that in the time series of fifty years a significant decreasing trend of discharge values exists (Tab. 1).

A long term changes of the trend are graphically presented for the selected profiles on Fig. 2. Based on the values of the trend, obtained by the Mann-Kendall test, a classification of the trends into a five categories has been performed: expressively declining trends, mildly declining trends, stagnant trends, mildly growing trends and expressively growing trends.

A stagnant trend has been registered on two profiles (9.52%) - on the profiles Lopatnica (Fig. 2a) and Guberevac. The largest group consists of rivers with a mildly decreasing trend, which encompasses 47.6% of the profiles, with profile Ušće on the Ibar River, as an example (Fig. 2b). A group with expressively decreasing trend include 19.04% of the examined profiles, from which only a half is statistically significant - profile Batrage (Fig. 3c). A group of mildly growing trends contains about 19.04% of the researched profiles - examples: profiles Preljina (Fig. 2d) and Ribnica where the highest growing trend from all researched rivers and stations has been noticed. A group of extremely growing trends was not registered in the framework of research stations in the Zapadna Morava River basin, for the studied period.

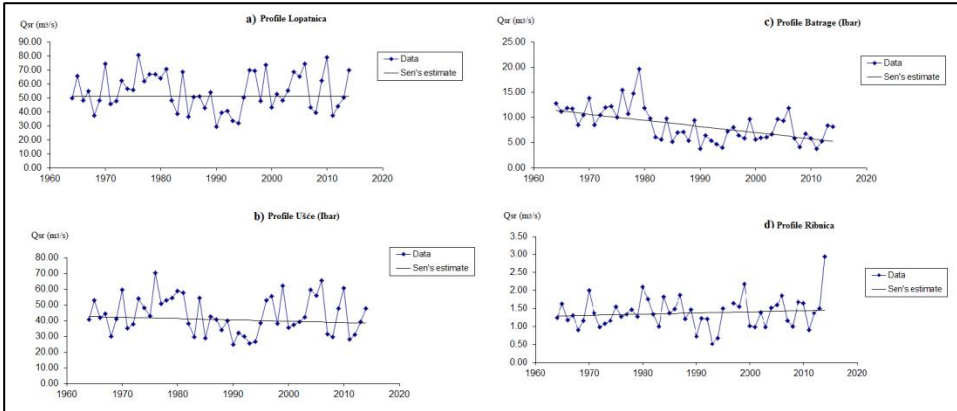


Fig. 2. Graphical view of stagnant (a), mildly decreasing (b), expressively decreasing (c) and mildly growing trend (d)

By the *Pettitt's test*, significant changes in the data series have been determined, when the point of change was not clearly defined. By the test, the points of change have been determined in the observed period of fifty years, and only on two profiles the change was significant. On the Batrage profile (Fig. 3a), the year 1981, when a negative change occurred (a decreasing trend), and was determined to be the point of change. Considering the fact that the level of significance is less than 0.05, an alternative hypothesis is accepted and it can also be concluded that the observed time series are not homogeneous. After 1981, the discharge values decreased for almost 50%.

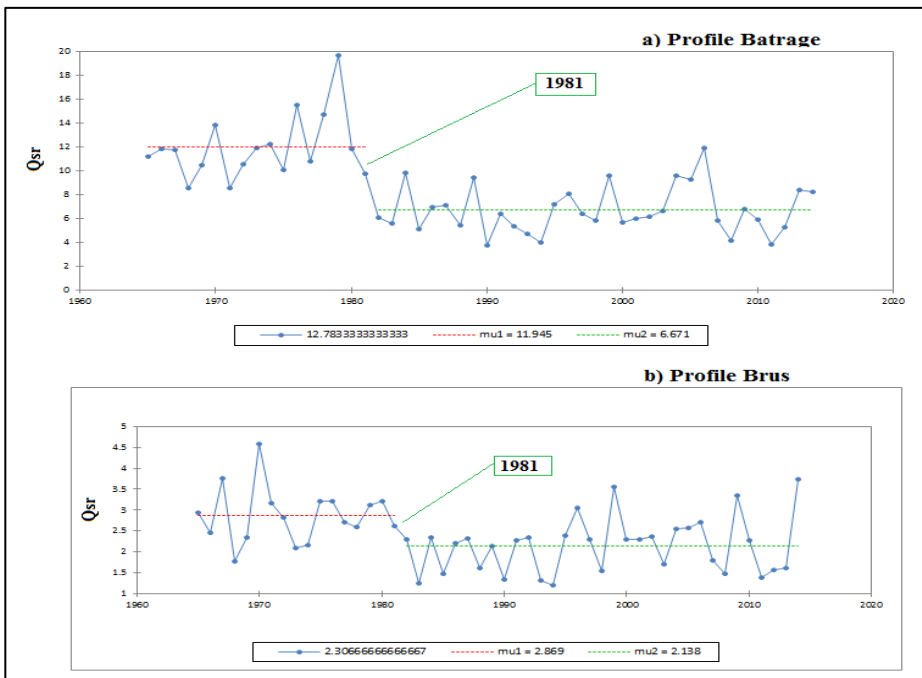


Fig. 3. Graphical view of trends and points of change for two representative profiles: profile Batrage (a) and profile Brus (b)

A similar trend has also been noticed on the Brus profile (Fig. 3b), where the significance level also had a value under 0.05, and 1981 was established to be the ground breaking year. Before the point of the change, the average value of the mean annual discharge was 2.869 m³/s, while after the change the value was 2.138 m³/s. The series that are not homogeneous, as well as breakpoints for both profiles, are graphically presented in the Fig. 3.

On all other profiles (Tab. 2), the point of change has been identified, followed by a decrease or increase of the mean annual river flow values. The level of the significance has a value greater than 0.05, which indicates that the changes are not statistically significant, and that the observed time series were almost homogeneous. In more than a third of the profiles (38.1%), the breaking point was in 1981, after which, in most cases, there was a decrease in the discharge value. An average annual discharge values are expectedly distinguished by a decreasing trend and the points of change of that trend have been noticed predominately in the eighties of the last century (Ђокић, 2015).

Tab. 2. Results of the Pettitt's test for representative stations in the Zapadna Morava River basin (1965-2014)

| | Profile | River | p – level of significance | Qsr (before the point of change) | Qsr (after point of change) | Point of change (year) |
|-----|------------|-----------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1. | Jasika | Z. Morava | 0.095 | 101.75 | - | 1987 |
| 2. | Batrage | Ibar | 0.0001 | 11.945 | 6.671 | 1981 |
| 3. | Raška | | 0.0898 | 37.617 | - | 1981 |
| 4. | Ušće | | 0.1084 | 43.381 | - | 1981 |
| 5. | Lopatnica | | 0.3707 | 54.308 | - | 1981 |
| 6. | N. Pazar | Raška | 0.1410 | 3.988 | - | 1982 |
| 7. | Raška | | 0.1227 | 7.270 | - | 1995 |
| 8. | Biljanovac | Jošanica | 0.0049 | 3.389 | - | 2006 |
| 9. | Devići | Studenica | 0.5207 | 2.913 | - | 1989 |
| 10. | Mlanča | | 0.7469 | 4.771 | - | 1984 |
| 11. | Ušće | | 0.4875 | 7.013 | - | 1981 |
| 12. | Bogutovac | Lopatnica | 0.6701 | 1.894 | - | 1987 |
| 13. | Ribnica | Ribnica | 0.5528 | 1.386 | - | 1994 |
| 14. | Požega | Skrpež | 0.1445 | 4.713 | - | 1986 |
| 15. | Arilje | Moravica | 0.515 | 10.53 | - | 1987 |
| 16. | Guča | Bjelica | 0.421 | 1.312 | - | 1981 |
| 17. | Prijevor | Kamenica | 0.213 | 2.142 | - | 1986 |
| 18. | Preljina | Čemernica | 0.7623 | 3.985 | - | 1981 |
| 19. | Guberevac | Gruža | 0.414 | 3.331 | - | 1986 |
| 20. | Brus | Rasina | 0.0061 | 2.689 | 2.138 | 1981 |
| 21. | Bivolje | | 0.0934 | 7.254 | - | 1982 |

Source: Hydrological yearbooks of RHMS of Serbia, 1965 – 2014)

Factors that have determined the quantity of the water and its flow in the riverbed and their dynamics are: precipitation that is excreted in the basin, air temperature through evaporation of the water (Burić et al., 2012), slope of the terrain, a geological composition and pedological cover, vegetation cover and anthropogenic influences (Ђокић, 2015). Many studies of the similar type, on the European river profiles, have shown that the variability of the flow values is the result of atmospheric circulation, which has influenced the distribution of precipitation on the planet. This phenomenon causes a

decrease of precipitation and mean annual discharge values on the rivers in the southern Europe (Stojković et al., 2014), which is reflecting in dominantly decreasing trends of river discharges in Serbia. When exploring trends of mean annual and seasonal river discharges in the European countries, Stahl et al. (2010), indicate that one third of researched rivers have mildly decreasing (negative) trend. In their research, two such regions have been pointed out: Spain and southern France on one side, and central and southeastern Europe on the other side. A large number of studies has confirmed the previous assumptions that rivers with a decreasing trend of discharge values belong to the Mediterranean and Black Sea basins, while those belonging to the North Sea and the Atlantic Ocean basins are characterized by a stagnant or positive trend.

Of the previously mentioned factors, the amount of precipitation has the greatest impact on the changes of the river discharge values in the Zapadna Morava River basin, through its intensity, shape and pluviometric regime. The most expressive and most significant trend in the change of the mean annual flow rates, in the conducted analysis, has been noticed on the profile of Batrage (Ribariće) on the upper flow of the Ibar River. The question is what influenced the reduction in the flow value of $4.09 \text{ m}^3/\text{s}$ for a period of fifty years? In order to determine the exact period of intensive reduction in the discharge values, 25-year cycles have been tested during the fifty years studying period. A stronger reduction of the mean annual discharge values has occurred in the first cycle (1965-1989), which can be noticed by observing Fig. 2c. Based on the fact that the amount of precipitation is the most important factor which influences the change in the discharge values, the relationship between the annual rainfall amount and the mean annual discharges for the Batrage station has been explored. The data from the rainfall stations located in the nearest environment, in the upper part of River Ibar basin, for the cycle 1965-1989 have been used: Ribariće, Brnjak and Pridvorica stations. A high coefficient of determination has been noticed (over 0.85 for the Ribariće station), which shows us, that the changes in the flow values on the profile of Batrage, were caused by a change in the amount of precipitation. Also, the Mann-Kendall test has been applied on the annual values of precipitation, which are obtained from the Ribariće station, where the value Z was determined (-2.64), and where the average annual decrease of the value of precipitation was -0.232 mm/year.

On the other station where a significant decreasing trend of flow has been registered, Brus (Rasina), a positive correlation to the amount of precipitation was also established, thanks to the data of the annual amount of precipitation on the stations: Brus, Vlajkovci and Kriva Reka, which are found more upstream in the Rasina River basin. Along the climatic factors, use of water has also influenced the dominant decreasing trends in discharge values, especially because of the water supply of the settlements of the Kopaonik region (Paljevštica system). Water supply system Paljevštica exists from 1971, but in the early 1980s, it was significantly expanded by joining other settlements of the Brus municipality to this water system (settlements Kobilje, Paljevštica, the part of Brus around industrial zone etc.). Zelenakova et al. (2012) state that the most frequent anthropogenic cause of decrease of flow value, besides the construction of reservoirs, is the use of the water in the river's sources for water supply. In the period 1961-1985, Rasina River had about 1.36 times more water per year, than in the period 1985 – 2009 (Stričević, 2015).

For a longer period of time, there have been certain differences in the discharge values on the same river profiles. Some river flows are extremely rich in water, while the same flows, in the certain years, hardly had enough water for covering the riverbed. For this reason, in the hydrological and geographical studies, the method *Classification of years by water richness* has been used, which indicates a trend in the multi-year flow regime of a single river course. For the mentioned purpose, for all processed courses (for which there are empirical data of the mean annual river discharges for 50 years), a combined method has been used, applied in many global and domestic studies (Симић, 2016). On the basis of the mean annual value of the flow rate, for the observed series and its standard deviations, the classification of years by water richness was done in accordance with:

$Q_{sr} \pm \delta$ - a medium watery year

$Q_{sr} \pm 2\delta$ - a watery /dry year

$Q_{sr} \pm 3\delta$ - a very watery / very dry year

For the classification of years by water richness, the period 1965-2014 has been considered, for several hydrological profiles located in the basin of the Zapadna Morava River and the Ibar River (Jasika, Lopatnica, Raška, Batrage, Biljanovac, Ribnica, Arilje, Požega and Brus). From the histograms of mean annual values of flow (Fig. 4), it can be noticed that some years are very rich with water, but others are poor. Because of the large surface that Basin of Zapadna Morava River covers, there are regional differences in the years that are rich/poor in water. In the first analyzed profile on the Ibar River – Batrage (Fig. 4a), 1976 was pointed out as particularly rich in water, when the mean annual discharge value was 19.63 m³/s (2.5 times higher than the average for the observed period – 8.55 m³/s), while the poorest in water was 1991 with 3.94 m³/s. On the second analyzed profile of the Ibar River (Raška), 1976 (Fig. 4b) was the year with highest waters (2 times more than the average value).

On the Jasika profile (Fig. 4c) the year 1970 was especially watery, with a Q_{sr} value of 157.62 m³/s, while the 1994 was the least watery (1.5 times less than the average). A particularly watery year on the river Skrapež (Fig. 4d) was 1975 (with values of more than twice of the average), while on the Rasina River (Fig. 4f) it was in 1970 - the year when the highest values of flows have been noticed. On the Ribnica profile (Fig. 4e), the least watery year coincides with the Ibar river - 1994, since it represents a tributary that gives Ibar River large amount of water. Because of the large amount of precipitation in May 2014, which affected the basin of the lower Ibar, the most watery year on the Ribnica basin was 2014, the year in which the value of the annual discharge was twice as high as the average.

Based on the histograms analysis of all studied profiles, it can be concluded that there are lower average flows, than those with higher average values. For all profiles, during the examined period, the discharge value was above the average value for 22 years (44%) and under the average value for 28 years (56%). These results are in accordance with the general tendency of predominately decreasing trends of mean annual discharge values, which were determined by previous statistical tests.

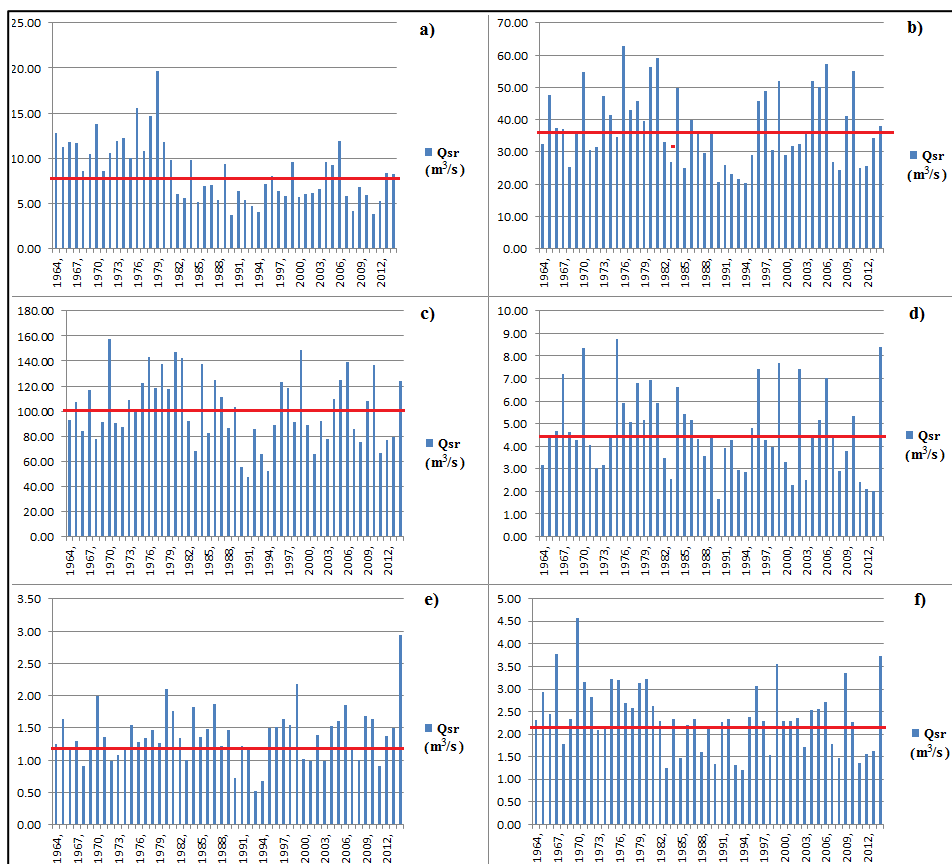


Fig. 4. Histograms of mean annual flows (Q_{sr}) for representative profiles – Batrage (a), Raška (b), Jasika (c), Skrapež (d), Ribnica (e), Brus (f)

Based on the water richness, most of the years belong to the medium watery years, in all observed rivers, which are certainly the regularity of all flows in Serbia (Оцокољић, 1994). However, due to the size and shape of the basin, the various climatic and topographic conditions of the terrain, there are disproportions in the number of years belonging to a certain category.

In the whole Zapadna Morava River basin, the medium watery years are most frequent, always over 50% of the total number of years, but their participation varies from profiles. They are appearing, on average, every second year, on most of the examined profiles. The most dominant are the medium watery years in the upper flow of the Ibar River, on the profile of Batrage – 76.5% and on the profiles Jasika, Raška and Biljanovac – 70.6%. The smallest share of medium watery years has been noticed on the profile of Lopatnica – 56.9% and on the Brus profile (Rasina) – 58.8%. The longest period of medium waters in continuity has been noticed on the profile of Batrage (Ibar) with a 13 years long period (1995-2007), when it was replaced by one drought year. The shortest periods of appearance of medium waters characterize the sector of Lopatnica, where they lasted for a maximum of four years continually (1964-1967; 1972-1975; 1977-1980).

Tab. 3. Classification of years by water richness for three representative profiles (1965 – 2014)

| | Rank | Qsr (m ³ /s) | Year | Years (Num.) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--|--------------|
| Profile Batrage - Ibar | Very dry | < 1.76 | - | - |
| | Dry | 1,76-5,15 | 1985,1990,1993,1994,2008,2011 | 6 |
| | Medium watery | 5.15-11.94 | 1965,1966,1967,1968,1969,1971,1972, 1973,1975,1977,1980,1981,1982,1983, 1984, 1986,1987,1988,1989,1991,1992, 1995,1996,1997,1998,1999,2000,2001, 2002,2003,2004,2005,2006,2007,2009, 2010,2012,2013,2014 | 39 |
| | Watery | 11.94-15.34 | 1970,1974,1978 | 3 |
| | Very watery | >15.34 | 1976,1979 | 2 |
| Profile Brus - Rasina | Very dry | <0.91 | - | - |
| | Dry | 0.91-3.12 | 1983,1985,1988,1990,1993,1994,1998, 2008,2011,2012,2013 | 11 |
| | Medium watery | 1.65-3.12 | 1965,1966,1968,1969,1970,1972, 1973,1974,1977,1978,1981,1982,1984, 1986,1987,1989,1991,1992,1995,1996, 2000,2001,2002,2003,2004,2005,2006, 2007,2010 | 29 |
| | Watery | 3.12- 3.86 | 1967,1971,1975,1976,1979,1980,1999, 2009,2014 | 9 |
| | Very watery | >3.86 | 1970 | 1 |
| Profile Jasika - Z. Morava | Very dry | <46.75 | - | - |
| | Dry | 46.75 – 74.1 | 1983,1990,1991,1993,1994,2011 | 6 |
| | Medium watery | 74.1 – 128.9 | 1965,1966,1967,1968,1969,1971,1972, 1973,1974,1975,1977,1979,1982,1985, 1986,1987,1988,1989,1992,1995,1996, 1997,1998,2000,2001,2002,2003,2004, 2005,2007,2008,2009,2012,2013,2014 | 35 |
| | Watery | 128.9 – 156 | 1976,1978,1980,1981,1984,1999,2006, 2010 | 8 |
| | Very watery | > 156 | 1970 | 1 |

Source: Hydrological yearbooks of RHMS of Serbia, 1965 – 2014)

In the observed period, watery years occurred at least on the profiles of Batrage and Ušće (six times), than on profile Raška (eight times), on profiles Jasika and Arilje (nine times), on the profiles Brus and Biljanovac (ten times), on the profile Požega (11 times) and the most on the Loptanica profile (twelve times). Watery years had the greatest share in the time series, while there were significantly fewer very watery years. The fact that there was little catastrophic watery years on every researched profile, coincides with the general decreasing trends of the flow values, for all flows in Serbia. Their largest number has been noticed on the Požega profile (3 times - 1970, 1975 and 2014) and profiles of Batrage and Raška (2 times - on the first - 1976 and 1979, and on the second - in 1977 and 1999).

The share of the drought years is in the balance with share of the watery years on the Batrage profile (11.6%). For other profiles, the number of drought years, in a wider sense, is lower in relation to the watery ones, except on the Brus profile (where we can notice one additional drought year) and the profile of Ušće (with even three additional drought years). A very/catastrophic drought year has been noticed on two profiles - Biljanovac (2011) and Ušće (1990) (Tab. 4).

Tab. 4. Numerical and percentage share of years by water richness on other researched profiles (1965-2014)

| Profile | Požega | | Arijlje | | Lopatnica | | Raška | | Biljanovac | | Ušće | |
|---------------|--------|-----|---------|-----|-----------|-----|-------|-----|------------|-----|------|-----|
| Rank | Y | % | Y | % | Y | % | Y | % | Y | % | Y | % |
| Very dry | - | | - | | - | | | | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Dry | 8 | 16 | 6 | 12 | 10 | 20 | 7 | 14 | 6 | 12 | 8 | 16 |
| Medium watery | 31 | 62 | 35 | 70 | 28 | 56 | 35 | 70 | 33 | 66 | 35 | 70 |
| Watery | 8 | 16 | 8 | 16 | 11 | 22 | 6 | 12 | 9 | 18 | 5 | 10 |
| Very watery | 3 | 6 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Summary | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 |

Source: Hydrological yearbooks of RHMS of Serbia, 1965 – 2014)

Based on the classification of years by water richness, the following conclusions may be drawn:

- The difference in the proportion of all ranks is not expressed among profiles, which indicates that there is an agreement in terms of the number of years according to the characteristics of their values, i.e. it can be concluded that there is a certain cycle of chronological replacement of dry and wet periods on the entire surface of the basin;
- In the upper flows of the rivers (Zapadna Morava, Ibar, Rasina), the number of years with medium and large waters is higher compared to the lower flows - which is a consequence of higher precipitation in mountainous areas of the basins, as well as reduced anthropogenic activity;
- The years that have been distinguished as very watery in some basins are in a positive correlation with the high average annual precipitation that has occurred in those years.

Conclusion

Studying the changes of series of hydrological data in a long time series, and the observation of trends, are significant data for the consideration of the global state of wateriness in the river basin of a particular river. In this research, the values of the mean annual discharges of the rivers in the Zapadna Morava River basin have been used as a basic hydrological indicator. By non-parametric tests, it has been shown that most rivers are characterized by a slightly decreasing flow discharge (about 50% of the profiles), which is in accordance with the majority of the rivers of central and southern Serbia. On only two profiles, the change that took place was significant, i.e. there was a more intensive decline in the flow rate in the period 1965 - 2014: Batrage (-4.09 m³/s) and Brus (-1.99 m³/s). The factors that influence the decreasing trends the most are: climatic (amount of precipitation and annual temperature) and anthropogenic factors.

Based on the applied tests and methods, it has been established that the water level of the Zapadna Morava River is decreasing. The point of change in the main annual discharge values, on the most hydrological profiles, has been noticed at the beginning of the eighties (from 1980 to 1984), which coincides with the reduction of annual precipitation. The high degree of determination coefficient, on most of the examined profiles, indicates that changes in flow values are caused by changes in the amount of

precipitation. According to all this, the knowledge of the change in the annual discharge value is significant because it helps us perceive the state of wateriness on the entire surface of the basin. Further research must include, first of all, an analysis of seasonal flow trends in order to determine an exact season when there was a major decrease/increase of discharge values, as well as, a more complete analysis of the factors that have influenced this state.

References

- Blain, G. (2013). The modified Mann-Kendall test: on the performance of three variance correlation approaches. *Bragantia, Campinas*, 72(4), 416-425.
- Бурић, Д., Станојевић, Г., Луковић, Ј., Гавриловић, Љ. & Живковић, Н. (2012). Климатске промене и водност река – пример Колубаре, Бели Брод. *Гласник српског географског друштва*, 92(1), 123-134.
- Douglas, E. M., Vogel, R. M. & Kroll, C. N. (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology*, 240(1-2), 90-105.
- Дуцић, В., Николић, Ј. & Драгићевић, С. (2006). Промене параметара протицаја Дунава код хидролошке станице Оршава у периоду 1841 – 2000. *Гласник Српског географског друштва*, 86(1), 35-46.
- Ђокић, М. (2015). Нишава – потамолошка студија. *Докторска дисертација*. Ниш: Департман за географију ПМФ-а, Универзитет у Нишу
- Gao, P., Mu, X-M, Wang, F. & Li, R. (2011). Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River. *Hydrological Earth System Sciences*, 1, 1-10.
- Гавриловић, Љ. & Дукић, Д. (2014). *Реке Србије, 2. прерађено издање*. Београд: Завод за уџбенике
- Gu, C., Mu, X., Zhao, G., Gao, P., Sun, W. & Yu, Q. (2016). Changes in stream flow and their relationships with climatic variations and anthropogenic activities in the Poyang lake basin, China. *Water*, 8(12), 564.
- Hannaford, J. & Buys, G. (2012). Trends in seasonal river flow regimes in the UK, *Journal of Hydrology*, 475, 158-174.
- Jeneiova, K., Kohnova, S. & Sabo, M. (2014). Detecting trends in the annual maximum discharges in the Vah River Basin, Slovakia, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 10(2), 133-144.
- Kendall, M. (1962). *Rank correlation methods*. New York: Hafner Publishing Company.
- Kovačević-Majkić, J. & Urošev, M. (2014). Trends of mean annual and seasonal discharges of rivers in Serbia. *Zbornik radova Instituta "Jovan Cvijić"*, 64(2), 143-160.
- Liang, L. & Liu, Q. (2014). Streamflow sensitivity analysis to climate change for a large water – limited basin. *Hydrology Process*, 28, 1767-1774.
- Meysam, S., Akhond-Ali, A-M., Adib, A. & Daneshkhah, A. (2012): Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research*, 7, 4540 – 4552.
- Mustafić, S. (2012). Geografski faktori kao determinante intenziteta erozije na primeru sliva Nišave. *Doktorska disertacija*. Београд: Географски факултет, Универзитет у Београду.
- Оцокољић, М. (1994). Цикличност сушних и водних периода у Србији. *Посебна издања*, 41. Географски институт "Јован Цвијић" САНУ
- РХМЗС, Хидролошкигодишњаци (1965 – 2014). Београд
- Симић, С. (2016). Водни потенцијал и хидрогеографска рејонизација Ваљевских планина. *Докторска дисертација*. Београд: Географски факултет, Универзитет у Београду.
- Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L.M., van Lanen, H.A.J., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M. & Jodar, J. (2010). Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near – natural catchments. *Hydrological and Earth System Sciences*, 14, 2367-2382.
- Stojković, M., Plavšić, J. & Proharska, S. (2014). Dugoročne promene godišnjih i sezonskih proticaja: primer reke Save. *Vodoprivreda*, 46, 29-48.

- Стричевић, Љ. (2015). Водни ресурси Расинског округа и њихов утицај на регионални развој. *Докторска дисертација*. Департман за географију ПМФ-а, Универзитет у Нишу.
- Sun, S., Barraud, S., Castebrunet, H., Aubin, J.B & Marmonier P. (2016). Long – term trend evolution of the temperature of the groundwater upstream and downstream a stormwater infiltration basin. *Conference Novatech*
- Yazid, M. & Humphries, U. (2015). Regional observed trends in daily rainfall indices of extremes over the Indochina Peninsula from 1960 to 2007. *Climate*, 3, 168-192.
- Yue, S. & Wang, C. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water resources management*, 18, 201-218.
- Zelenakova, M., Purcz, P., Solakova, T. & Demeterova B. (2012). Analysis of trends of low flow in river stations in Eastern Slovakia. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 60(5), 265-274.

Оригинални научни рад

UDC 627.152.15 (497.11)

<https://doi.org/10.2298/GSGD1702019L>

Примљено: 15. октобра 2017.

Исправљено: 25. новембра 2017.

Прихваћено: 5. децембра 2017.

Марко Ланговић¹*, Сања Манојловић*, Зоран Чворовић^{}**

** Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија*

*** Универзитет у Београду, Факултет Безбедности, Србија*

ТРЕНДОВИ СРЕДЊИХ ГОДИШЊИХ ПРОТИЦАЈА РЕКА У СЛИВУ ЗАПАДНЕ МОРАВЕ

Апстракт: Слив Западне Мораве захвата површину од 15850 km², односно око 18% територије Републике Србије. У њеном сливу регистровано је 38 активних површинских хидролошких станица. Циљ овог рада је анализа трендова средњегодишњих протицаја река у сливу Западне Мораве, њихово учачање у дужим временским серијама и одређивање њиховог интензитета. За временску серију узет је педесетогодишњи период (1965-2014). Због непостојања емпиријских података о вредностима средњегодишњих протицаја на свим станицама за дати период, број хидролошких станица обрађених у овом раду сведен је на 21. За учачање тренда коришћен је Mann-Kendall тест, за оцену кривине нагиба линеарног тренда Сенов тест, док је за утврђивање преломне тачке промене коришћен Pettitt's тест. У раду је извршено и рангирање година по водности ради детерминисања влажних и сушних периода. За потребе издавања средње водних, сушних и водних година коришћен је комбиновани метод, на примеру података репрезентативних станица у сливу. На основу обрађених података и добијених резултата утврђено је да већину река у сливу Западне Мораве карактерише благо опадајући тренд вредности протицаја, при чему регистрована промена тренда није значајна. Код већине речних токова, до промене вредности протицаја дошло је почетком 80-их година прошлог века. На великом броју профила посебно водни период наступио је почетком 80-их година, док је веома сушни карактеристичан за период 1990-1994.

Кључне речи: тренд, Западна Морава, Mann-Kendall тест, водност, рангирање година по водности

¹ mlangovic@gef.bg.ac.rs (аутор за кореспонденцију)

Увод

Једну од посебно актуелних светских и научних тема, последњих деценија, представља доступност, количина и квалитет водних ресурса. Бројни проблеми, глобалног карактера, јављају се у вези са водним ресурсима: са једне стране све је већи број жртава и материјалне штете које узрокују екстремне поплаве, а са друге стране увек актуелно и отворено питање: "Да ли има довољно воде за укупну светску популацију?" (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014). Катастрофалне поплаве у одређеним деловима света, праћене дугим и тешким сушама, последице су варијабилности климатских елемената и фактора, али и све већег антропогеног дејства и антропо-пресије становништва на природно окружење и животни простор (Yazid & Humphries, 2015).

Посматрање и уочавање промена у дужим хидролошким временским серијама је важно за научна и практична истраживања (Liang & Liu, 2014), посебно за потребе решавања водопривредних проблема, пројектовање објеката водопривреде, коришћењу вода итд. У хидролошким анализама, приликом коришћења временских серија података, најчешће се морају испунити три претпоставке: да постоји хомогеност, стационарност и независност временских серија (Јењеова и др., 2014).

Средњи годишњи протицај (Qsr), као основни показатељ проучавања водних режима речних токова, представља главни индикатор коришћен ради уочавања трендова речних режима у дугорочном временском периоду. Осим разматрања о присутности и значајности тренда, у раду су анализирани и вишегодишњи водни и сушни циклуси. Анализа је спроведена над вредностима средњих годишњих протицаја река у сливу Западне Мораве за период од 50 година (1965-2014). Рад има за циљ да прикаже: да је временски интервал јако важан чинилац за анализу тренда (Stojković и др., 2014), затим промене које су се у оквиру серија догодиле, као и издвајање тачних година промене.

Тренд средњегодишњих протицаја истраживан је у многим светским и домаћим студијама, али методологија која је примењивана је различита, те стога може имати значајан утицај на доношење закључака. Методе коришћене у раду препоручене су од бројних светских аутора: Gao и др., 2011; Meysam и др., 2012; Јењеова и др., 2014 итд. Статистичка анализа трендова средњегодишњих и сезонских протицаја била је предмет многих хидролошких проучавања код нас: Дуцић и др., 2006; Мустафић, 2012; Стојковић и др., 2014; Ковачевић-Мајкић & Урошев, 2014; Ђокић, 2015; Симић, 2016, итд.

Материјал и методи

Слив Западне Мораве захвата површину од 15850 km². На северу се граничи са сливом Колубаре, на западу са сливом реке Дрине, на југу са сливом Белог Дрима, док се на истоку наклања на сливове Велике и Јужне Мораве. Западна Морава представља леву саставницу Велике Мораве, а настаје спајањем Бетиње и Голијске Моравице у Пожешкој котлини, на надморској висини од 302 m. Од тог места до ставе са Јужном Моравом дугачка је 210 km. Западна Морава прима велики број притока, посебно са десне стране: Ибар (8059 km²), Расина (981 km²), Бјелица (376

km²) итд. Са леве стране притичу јој Гружа (622 km²), Чемерница (625 km²), Каменица итд. (Гавриловић & Дукић, 2002).

У сливу Западне Мораве регистровано је 38 активних хидролошких станица површинских вода. Међутим, због непостојања емпиријских података за узети временски низ од 50 година (1965-2014), коришћени су подаци са 21 хидролошке станице (добијени из Хидролошких годишњака РХМЗ Србије) - профил Јасика (1) (Западна Морава), профили Батраге (2) (Рибариће)², Рашка (3), Ушће (4) и Лопатница (5) (Ибар), профили Нови Пазар (6) и Рашка (7) (Рашка), профили Мланча (8), Девићи (9) и Ушће (10) (Студеница), профил Биљановац (11) (Јошаница), профил Богутовац (12) (Лопатница), профил Рибница (13) (Рибница), профил Пожега (14) (Скрапеж), профил Ариље (15) (Голијска Моравица), профил Гуча (16) (Бјелица), профил Пријевор (17) (Каменица), профил Прељина (18) (Чемерница), профил Губеревац (19) (Гружа) и профили Брус (20) и Бивоље (21) (Расина) (Сл. 1).

Сл. 1. Слив Западне Мораве са означеним хидролошким станицама чији су подаци коришћени у раду (стр. 21)

За утврђивање постојања тренда промене вредности протицаја коришћен је *Mann-Kendall тест*, на коме су засноване многе анализе тренда метеоролошких и хидролошких параметара (Douglas, 2000; Blain, 2016; Sun и др., 2016). Овај тест је непараметарски, односно не захтева да подаци буду нормално дистрибуирани, и заснива се на поређењу свих података у временској серији са подацима који следе у времену (Kendall, 1962). Реч је о тесту који идентификује тренд низа на основу поређења релативних магнитуда промене података. Уколико се покаже да је вредност тренда мања од 0, тада у временској серији постоји опадајући тренд, а уколико је вредност тренда већа од 0, констатован је растући тренд (Yue & Wang, 2004). Mann- Kendall тест полази од претпоставке да су временске серије независне (Mustafić, 2012). Међутим, у многим случајевима, дешава се да годишње серије протицаја тај услов не испуњавају.

Нулта хипотеза Mann-Kendall теста је постављена под претпоставком да у временској серији нема монотоног тренда. За тестирање нулте хипотезе користи се контролна статистика (Kendall, 1962). Уколико је вредност Z (ниво значајности) већа од 1,96 (што одговара прагу значајности од 0,05), закључујемо да у временској серији постоји монотони тренд, а у супротном уколико је мања вредност, тренд не постоји. Анализа тренда може често да доведе до погрешног закључка због нестационарности временских серија, односно због постојања вишегодишњих водних и сушних циклуса у серијама. Из тог разлога неопходно је за оцену тренда узети неколико пуних циклуса временске серије како би тренд био репрезентативан (Stojković и др., 2014). Sen estimate или Сенов тест процене нам омогућава процењивање кривине (нагиба) криве линеарног тренда (Hannaford & Vuys, 2012). Вредност Сеновог показатеља представља просечан пораст/пад вредности средњегодишњих протицаја.

² До 1979. године хидролошка станица се налазила у атару насеља Рибариће, а након изградње акумулације Газиводе на Ибру, нова станица "Батраге" отпочела је са радом 1980. године нешто узводније. Подаци са обе станице су спојене у једну временску серију, јер су разлике у дотоку и протоку воде занемарљиве.

Одређене статистичке методе баве се одређивањем тачака промена у некој временској серији. У овом раду коришћен је још један непараметарски тест – *Pettitt's test*. Тестом се одређује сигнификантна промена у низу података. Реч је о верзији непараметарског Mann–Whitney теста (Gu и др., 2016). Тестови хомогености, међу којима се налази и Pettitt's test показују да су подаци хомогени и да се могу идентификовати значајне тачке прекида у серији података.

У географским и хидролошким истраживањима водних режима и трендова важан метод је *Рангирање година по водности*, који нам указује на тренд у вишегодишњем режиму водности једног тока. На основу тренда доминантног тока у сливу, можемо утврдити и водност целокупног слива или мањих субсливова, а затим издвојити године или временске низове који су се одликовали средњим водама, водним или сушним, веома водним или сушним и катастрофално водним или сушним водама. У сливу Западне Мораве постоји колебање вредности протицаја на годишњем нивоу. Према томе, један од важнијих задатака овог рада је да се види и колико годишње вредности протицаја одступају од неке просечне, очекиване вредности, односно потребно је утврдити да ли се чешће јављају мање водне или више водне године и које су израженије (Ђокић, 2015). Поставља се питање како извршити рангирање година према водности у току неког временског периода. У ту сврху се може применити више расподела од којих су најпознатије: Gumbel, GEV, Person type, Streamflow Drough Index (SDI), комбиновани метод (коришћен у раду) и други.

Резултати и дискусија

За утврђивање постојања тренда средњих годишњих протицаја коришћен је непараметарски *Mann-Kendall test*. Од 21 истраживане хидролошке станице у сливу Западне Мораве, пораст тренда средњих годишњих протицаја, забележен је код 19,05% профила (4 станице), док је пад тренда уочен код 76,19% профила (16 станица). Пад тренда вредности протицаја који није статистички значајан констатован је на 66,7% профила, док је пораст без статистичке значајности присутан на свим профилима на којима је и регистрован. Осталих 9,5%, односно две станице, одликују се статистички значајним падом тренда. На једној станици (4,8%) утврђена је стагнантност у тренду, односно није било промене вредности протицаја у проучаваној временској серији. Резултати теста су показали да на нивоу средњегодишњих вредности, протицај има доминантан тренд опадања, што је у сагласности са већином токова на простору Србије.

Анализирајући по мањим целинама, субсливовима, уочавају се одређене разлике у доминантности растућих или опадајућих трендова протицаја. На реци Ибар, на профилима Рашка, Ушће и Лопатница, констатован је благ тренд опадања, док је на профилима Батраге тренд нешто израженији. Просечна стопа смањења износи од 0,001 m³/s/god на профилима Лопатница, до 0,12 m³/s/god на профилима Рашка. На профилима Батраге ниво сигнификантности износи 0,001 (0,1%) што указује на високу сигнификантност. На профилима Батраге Z има вредност – 4,09, што указује на значајан тренд опадања вредности протицаја, на датом прагу значајности.

Таб. 1. Резултати Манн-Кендалл теста за одабране станице у сливу Западне Мораве (1965-2014)

| | Профил | Река | Qsr (m ³ /s) | Z – вредност тренда | B – Сенова процена | α – ниво значајности |
|-----|------------|-------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1. | Јасика | З. Морава | 101,6 | -1,06 | -0,276 | - |
| 2. | Батраге | Ибар | 8,55 | -4,09 | -0,122 | *** |
| 3. | Рашка | | 37,52 | -0,93 | -0,12 | - |
| 4. | Ушће | | 43,33 | -0,76 | -0,08 | - |
| 5. | Лопатница | | 54,22 | -0,04 | -0,001 | - |
| 6. | Нови Пазар | | 4,01 | -0,44 | -0,004 | - |
| 7. | Рашка | Рашка | 7,27 | 0,70 | 0,014 | - |
| 8. | Биљановац | | 3,38 | -1,11 | -0,008 | - |
| 9. | Девићи | Студеница | 2,92 | -1,05 | -0,007 | - |
| 10. | Мланча | | 4,78 | -0,27 | -0,004 | - |
| 11. | Ушће | | 7,01 | -0,09 | -0,001 | - |
| 12. | Богутовац | Лопатница | 1,89 | -0,50 | -0,003 | - |
| 13. | Рибница | Рибница | 1,38 | 0,95 | 0,003 | - |
| 14. | Пожега | Скрапеж | 4,68 | -1,52 | -0,025 | - |
| 15. | Ариље | Г. Моравица | 10,57 | -0,87 | -0,026 | - |
| 16. | Гуча | Бјелица | 2,32 | -0,02 | -0,001 | - |
| 17. | Пријевор | Каменица | 1,91 | 0,02 | 0,001 | - |
| 18. | Прељина | Чемерница | 3,95 | 0,57 | 0,007 | - |
| 19. | Губеревац | Гружа | 1,37 | 0,00 | 0,00 | - |
| 20. | Брус | Расина | 2,38 | -1,99 | -0,015 | * |
| 21. | Бивоље | | 7,24 | -0,83 | 0,021 | - |

(Хидролошки годишњаци РХМЗ Србије, 1965 – 2014)

*** - ниво значајности од 0,001 (0,1%); * - ниво значајности од 0,5 (умерена статистичка значајност); - означава ниво значајности већи од 0,1 тј. не указује на икакву сигнификантност у промени параметра

За утврђивање складности између резултата испитивања тренда на профилима реке Ибар са дугорочним променама средњегодишњих протицаја у целом сливу, испитивани су трендови на профилима његових већих притока. На 75% профила у сливу Ибра констатован је тренд опадања са просечном стопом смањења од 0,003 m³/s/god на профилу Богутовац, до 0,008 m³/s/god на профилу Биљановац, што указује да се ради о благим трендовима опадања. На два профила су констатовани блажи трендови пораста вредности протицаја – у доњем току реке Рашке (профил Рашка) од 0,7 и на средњем току реке Рибнице (профил Рибница) са вредношћу од 0,95. Просечне годишње стопе пораста имале су вредност између 0,003 и 0,014 m³/s/god. Све регистроване промене тренда у сливу реке Ибар, не показују сигнификантност ни на једном нивоу, односно значајност је дефинисана са вредношћу $\alpha > 0,1$.

Остатак слива Западне Мораве показује сличне трендове као и субслив Ибра. На више од половине профила (66,2%) забележен је блажи пад тренда, са минималним вредностима на профилима Гуча (Бјелица) и Ариље (Голијска Моравица), и са нешто већим вредностима на реци Скрапеж (-1,52) и самом току Западне Мораве (-1,06). На профилима левих притока Западне Мораве регистровани су благи трендови пораста вредности - профил Пријевор (Каменица) са просечним годишњим порастом од 0,001 m³/s/god и Прељина (Чемерница) са просечним годишњим порастом од 0,007 m³/s/god. На профилу Губеревац на реци

Гружи регистрован је стагнантан тип тренда, односно Z има вредност 0. Као један од разлога појаве стагнантног типа, јесте и регулисање протока воде реком, испуштањем воде из акумулације Гружа, чиме се надомештава евентуално смањење. Општи закључак је да леве притоке З. Мораве, показују солидан ниво стабилности када су у питању вредности протицаја. Од свих осталих профила једино на Реци Расини (Брус) постоји умерена значајност на нивоу 0,05, што означава да у оквиру временске серије од 50 година, постоји статистички значајно смањење тренда протицаја.

Дугорочне промене тренда графички су представљене за одабране профиле на Сл. 2. На основу вредности тренда, добијеног помоћу Mann-Kendall теста извршена је класификација трендова на пет категорија: изразито опадајући тренд, благо опадајући тренд, стагнантни тренд, благо растући тренд и изразито растући тренд.

Готово стагнантан тренд регистрован је на два профила (9,52% - 2 станице) – на профили Лопатница (Сл. 2а) и Губеревац. Најбројнију групу чине реке са благо опадајућим трендом којима припада 52,38% профила (11 станица), са примером профила Ушће на реци Ибар (Сл. 2б). У групу река са изразито опадајућим трендом спада 19,05% профила (4 станице), од којих је половина само статистички сигнификантно – нпр. профил Батраге (Сл. 2в). Групу благо растућих трендова сачињава око 19,05% испитаних профила (4 станице) – нпр. профили Прељина (Сл. 2г) и Рибница на којима је забележен највиши тренд пораста од свих истраживаних река и станица. Група изразито растућих трендова није регистрована у оквиру истраживачких станица у сливу Западне Мораве за посматрани период.

Сл. 2. – Графички приказ стагнантног (а), благо опадајућег (б), изразито опадајућег (в) и благо растућег тренда (г) (стр. 25)

Pettitt's тестом одређене су сигнификантне промене у низу података, онда када није јасно одређена тачка промене. Тестом су утврђене тачке промена у посматраном периоду од 50 година, а на само два профила са значајношћу. На профили Батраге, као тачка промене, је издвојена 1981. година, када је дошло до негативне промене (пада у тренду). С обзиром на чињеницу да је ниво сигнификантности мањи од 0,05, прихвата се алтернативна хипотеза и може се закључити да посматране временске серије нису хомогене. Након 1981. године дошло је до смањења вредности протицаја за готово 50%.

Сл. 3. – Графички приказ тренда и тачке прелома за два изабрана профила (стр. 25)

Сличан тренд је забележен и на профили Брус где је ниво значајности такође имао вредност испод 0,05, а као преломна година издвојена је 1981. Пре тачке промене, просечна вредност средњег годишњег протицаја износила је 2,869 m³/s, док је након промене вредност износила 2,138 m³/s. На Сл. 3 графички су представљени низови који нису хомогени, а такође издвојене су и преломне тачке на оба профила.

На свим осталим профилима, утврђене су тачке промене након којих је уследило смањење или пораст средњих вредности вредности протицаја. Ниво сигнификантности има вредност већу од 0,05, што указује на то да промене нису биле статистички значајне, а да су посматране временске серије готово хомогене. У више од трећине профила (38,1%) као тачка прелома је издвојена 1981. година, након које су у највећем броју случајева забележени падови вредности протицаја.

Просечне годишње вредности протицаја се очекивано одликују трендом опадања вредности, а тачке промене таквог тренда јављају се углавном осамдесетих година прошлог века (Ђокић, 2015).

Таб. 2. – Резултати Pettitt's теста за одабране станице у сливу Западне Мораве (1965-2014)

| | Профил | Река | p – ниво сигнифи- кантности | Qsg пре тачке промене | Qsg након тачке промене | Година промене |
|-----|----------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1. | Јасика | З. Морава | 0,095 | 101,75 | - | 1987 |
| 2. | Батраге | Ибар | 0,0001 | 11,945 | 6,671 | 1981 |
| 3. | Рашка | | 0,0898 | 37,617 | - | 1981 |
| 4. | Ушће | | 0,1084 | 43,381 | - | 1981 |
| 5. | Лопатница | | 0,3707 | 54,308 | - | 1981 |
| 6. | Нови Пазар | Рашка | 0,1410 | 3,988 | - | 1982 |
| 7. | Рашка | | 0,1227 | 7,270 | - | 1995 |
| 8. | Биљановац | Јошаница | 0,0049 | 3,389 | - | 2006 |
| 9. | Девићи | Студеница | 0,5207 | 2,913 | - | 1989 |
| 10. | Мланча | | 0,7469 | 4,771 | - | 1984 |
| 11. | Ушће | | 0,4875 | 7,013 | - | 1981 |
| 12. | Богутовац | Лопатница | 0,6701 | 1,894 | - | 1987 |
| 13. | Рибница | Рибница | 0,5528 | 1,386 | - | 1994 |
| 14. | Пожега | Скрапеж | 0,1445 | 4,713 | - | 1986 |
| 15. | Ариље | Г. Моравица | 0,515 | 10,53 | - | 1987 |
| 16. | Гуча | Бјелица | 0,421 | 1,312 | - | 1981 |
| 17. | Пријевор | Каменица | 0,213 | 2,142 | - | 1986 |
| 18. | Прељина | Чемерница | 0,7623 | 3,985 | - | 1981 |
| 19. | Губеревац | Гружа | 0,414 | 3,331 | - | 1986 |
| 20. | Брус | Расина | 0,0061 | 2,689 | 2,138 | 1981 |
| 21. | Бивоље | | 0,0934 | 7,254 | - | 1982 |

(Хидролошки годишњаци РХМЗ Србије, 1965 – 2014)

Фактори који су условили количину и проток воде у речном кориту и њихову динамику су: количина падавина која се излучи на површину слива, температура ваздуха преко испаравања воде (Бурић и др., 2012), нагиб терена, геолошки састав и педолошки покривач, вегетациони покривач и антропогени утицаји (Ђокић, 2015). Многе студије сличног типа на профилима европских река показале су да варијабилност вредности протицаја представља резултат атмосферске циркулације, која је утицала на расподелу падавина на планети. Овај феномен узрокује смањење падавина и средњих годишњих протицаја река у јужној Европи (Stojković и др., 2014), што се огледа и у доминантно опадајућим трендом протицаја река у Србији. Приликом истраживања трендова средњих годишњих и сезонских протицаја река у државама Европе, Stahl и др. (2010) указују да трећину истраживаних река чине оне са благо опадајућим (негативним) трендом. У свом истраживању издвојили су два таква региона: Шпанија и јужна Француска са једне и централна и југоисточна Европа са друге стране. Велики број студија потврдило је претходне претпоставке да реке са негативним трендом вредности протицаја припадају сливу Средоземног и Црног мора, док оне које припадају сливу Северног мора и Атлантског океана бележе стагнантан или позитиван тренд.

Од претходно напоменутих фактора, највећи утицај на промене вредности протицаја у сливу Западне Мораве има количина падавина, преко свог интензитета, облика и плувиометријског режима. Најизразитији и најзначајнији тренд промене

вредности средњих годишњих протицаја, у спроведеној анализи, забележен је на профилу Батраге (Рибариће) на горњем току реке Ибар. Поставља се питање шта је утицало на смањење вредности протицаја од 4,09 m³/s, за период од 50 година. Да би се утврдио тачан период интензивног смањења вредности протицаја тестирани су и 25-огодишњи циклуси у оквиру проучавног периода од 50 година. До јачег смањења средњегодишњих протицаја дошло је у првом циклусу (1965-1989), што се може уочити и посматрањем Сл. 2в. С обзиром на чињеницу да је количина падавина најважнији фактор који утиче на промене вредности протицаја, проверен је и однос суме годишњих падавина и средњегодишњих протицаја за станицу Батраге. Коришћени су подаци са кишомernih станица које су лоциране у најближем окружењу, у сливу горњег тока Ибра, за циклус 1965-1989: Рибариће, Брњак и Придворица. Утврђен је висок коефицијент детерминације (преко 0,85 за станицу Рибариће), што показује да су промене вредности протицаја на профилу Батраге условљене променом у количини падавина. Такође, Mann-Kendall тест примењен је на вредности годишње количине падавина добијених са станице Рибариће, где је утврђена вредност Z од -2,64 и где је просечно годишње смањење вредности падавина износило -0,232 mm/god.

На другој станици, на којој је регистрован значајнији пад вредности протицаја, Брусу (на Расини), такође је утврђена позитивна корелација са количином падавина, захваљујући подацима о годишњој количини падавина на станицама: Брус, Влајковци и Крива Река које се налазе узводније у сливу Расине. На смањење вредности протицаја поред климатских фактора утицало је и коришћење воде горњег тока Расине за водоснабдевање насеља Копоничког краја (систем Паљевштица). Водоводни систем Паљевштица, постоји од 1971. године, али је почетком 80-их година, знатно проширен прикључивањем и других насеља општине Брус на систем водоснабдевања (Кобиље, Паљевштица, део Бруса око индустријске зоне итд). Zelenakova и др. (2012) наводе да је најчешћи антропогени узрок смањења вредности протицаја, поред изградње акумулација, коришћење вода у извориштима река за потребе водоснабдевања. Расином је у периоду 1961-1985 у просеку годишње протекло око 1,36 пута више воде него у периоду 1985-2009 (Стричевић, 2015).

У току дужег временског периода постоје одређене разлике у вредностима протицаја на истим речним профилима. Неки речни токови су изузетно богати водом, док су исти токови одређених година једва имали довољно воде да се прекрије речно корито. Из тог разлога, у хидролошким и географским проучавањима користи се метод *Рангирање година по водности* који нам указује на тренд у вишегодишњем режиму водности једног тока. За поменуту сврху, за све обрађене токове (за које постоје емпиријски подаци средњих годишњих протицаја за 50 година) коришћен је комбиновани метод, примењиван у многим светским и домаћим студијама (Симић, 2016). На основу просечне годишње вредности протицаја за посматрани низ и његове стандардне девијације, извршено је рангирање година по водности, по принципу:

$Q_{sg} \pm \delta$ – средње водна година

$Q_{sg} \pm 2\delta$ – водна / сушна година

$Q_{sg} \pm 3\delta$ - веома водна / веома сушна година

За рангирање година по водности разматран је период 1965-2014 на неколико хидролошких профила који се налазе у сливу Западне Мораве и Ибра (Јасика, Лопатница, Рашка, Батраге, Биљановац, Рибница, Ариље, Пожега и Брус). Са хистограма средњих годишњих вредности протицаја (Сл. 4), може се уочити да су неке године веома богате водом, а друге сиромашне. Због велике површине коју слив захвата постоје регионалне разлике у годинама које су богате/сиромашне водом. На првом анализираном профилу на реци Ибар – Батраге (Сл. 4а), као посебно богата водом издвојена је 1976. година, када је средњи годишњи протицај износио 19,63 m³/s (2,5 пута већи од просечног за посматрани период – 8,55 m³/s), док је најмање богата водом била 1991. година са 3,94 m³/s. На другом анализираном профилу реке Ибар (Рашка), најбогатија водом такође је била 1976. година (Сл. 4б) (2 пута више од просечне вредности).

На профилу Јасика (Сл. 4в) посебно водна била је 1970. година са вредности Q_{sr} од 157,62 m³/s, док је најмања богата била 1994. година (1,5 пута мања од просечне). Посебно водна година на реци Скрапеж (Сл. 4г) је била 1975. година (са вредности протицаја дупло већим од просечне), док је на реци Расини (Сл. 4ђ) то била 1970. година када су забележене највише вредности протицаја. На профилу Рибница (Сл. 4д) најмање водна година се поклапа са реком Ибар – 1994. година, јер она претставља притоку која Ибру доноси већу количину воде. Због велике количине падавина у мају 2014. године, која је захватила слив доњег Ибра, најводнија година у сливу Рибнице била је 2014. година, када је вредност средњегодишњег протицаја била дупло виша од просечне.

На основу анализе хистограма свих истраживаних профила може се закључити да су бројнији нижи просечни протицаји од оних који се налазе изнад просечне вредности. У просеку за све профиле, током испитиваног периода, протицај је био изнад просечне вредности 22 године (44%), а испод просека 28 година (56%). Овакви резултати у складу су са општом тенденцијом појаве преовлађујуће опадајућих трендова вредности средњих годишњих протицаја, утврђених претходним статистичким тестовима.

Сл. 4. Хистограми средњегодишњих вредности протицаја (m³/s) за одабране профиле – Батраге (а), Рашка (б), Јасика (в), Скрапеж (г), Рибница (д) и Брус (ђ)

Према водности највећи број година спада у средње водне године код свих посматраних река, што је свакако и правилност код свих токова у Србији (Оцокољић, 1994). Међутим, због величине и облика слива, различитих климатских и топографских услова терена јављају се диспропорције у броју година које припадају одређеној категорији.

У целом сливу Западне Мораве најзаступљеније су средње водне године, увек преко 50% од укупног броја година, с тим да њихово учешће варира од профила. Оне се јављају у просеку сваке друге године, на већини испитиваних профила. Најдоминантније су средње године у горњем току реке Ибар, на профилу Батраге – 76,5% и на профилима Јасика, Рашка и Биљановац – 70,6%. Најмањи удео средње водних година забележен је на профилу Лопатница – 56,9% и на профилу Брус (Расина) – 58,8%. Најдужи период средњих вода у континуитету забележен је на профилу Батраге (Ибар) са временским трајањем од 13 година (1995-2007), када је смењен једном сушном годином. Најкраћи периоди појаве средњих вода

карактеристични су за сектор Лопатница, где су трајали највише четири године у континуитету (1964-1967; 1972-1975; 1977-1980).

Таб. 3. Рангирање година по водности за три репрезентативна профила (1965 – 2014)

| | Ранг | Qsr | Година | Бр. год |
|------------------------------|--------------|--------------|--|---------|
| Профил Батраге - Ибар | Веома сушна | < 1,76 | - | - |
| | Сушна | 1,76-5,15 | 1985,1990,1993,1994,2008,2011 | 6 |
| | Средње водна | 5,15-11,94 | 1965,1966,1967,1968,1969,1971,1972,1973,1975,1977,1980,1981,1982,1983,1984,1986,1987,1988,1989,1991,1992,1995,1996,1997,1998,1999,2000,2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2009,2010,2012,2013,2014 | 39 |
| | Водна | 11,94-15,34 | 1970,1974,1978 | 3 |
| | Веома водна | >15,34 | 1976,1979 | 2 |
| Профил Брус - Расина | Веома сушна | <0,91 | - | - |
| | Сушна | 0,91-3,12 | 1983,1985,1988,1990,1993,1994,1998,2008,2011,2012,2013 | 11 |
| | Средње водна | 1,65-3,12 | 1965,1966,1968,1969,1970,1972,1973,1974,1977,1978,1981,1982,1984,1986,1987,1989,1991,1992,1995,1996,2000,2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2010 | 29 |
| | Водна | 3,12- 3,86 | 1967,1971,1975,1976,1979,1980,1999,2009,2014 | 9 |
| | Веома водна | >3,86 | 1970 | 1 |
| Профил Јасика - З. Морана | Веома сушна | <46,75 | - | - |
| | Сушна | 46,75 – 74,1 | 1983,1990,1991,1993,1994,2011 | 6 |
| | Средње водна | 74,1 – 128,9 | 1965,1966,1967,1968,1969,1971,1972,1973,1974,1975,1977,1979,1982,1985,1986,1987,1988,1989,1992,1995,1996,1997,1998,2000,2001,2002,2003,2004,2005,2007,2008,2009,2012,2013,2014 | 35 |
| | Водна | 128,9 – 156 | 1976,1978,1980,1981,1984,1999,2006,2010 | 8 |
| | Веома водна | > 156 | 1970 | 1 |

(Хидролошки годишњаци РХМЗ Србије (1965-2014))

У посматраном периоду водне године јавиле су се најмање пута на профилу Батраге и Ушће (по 6 пута), затим на профилу Рашка (8 пута), на профилима Јасика и Ариље (9 пута), профилима Брус и Биљановац (10 пута), профилу Пожега (11 пута) и највише на профилу Лопатница (12 пута). Највећи удео у временској серији имале су водне године, док је изразито мање било веома водних година. Чињеница да је веома и катастрофално водних година било мало на сваком истраживаном профилу, поклапа се са општим смањењем тренда вредности протицаја за све токове у Србији. Њихов највећи број забележен је на профилу Пожега (3 пута – 1970, 1975 и 2014) и профилима Батраге и Рашка (2 пута – на првом 1976 и 1979, а на другом 1977 и 1999).

Удео сушних година је у равнотежи са водним годинама на профилу Батраге (11,6%). Код осталих профила број појављивања сушних година, у ширем смислу, мањи је у односу на водне, осим на профилу Брус (где је забележена једна сушна година више) и профилу Ушће (чак три сушне године више). Веома/Катастрофално

сушне године забележене су свега на два профила – Биљановац (2011. година) и Ушће (1990. година) (Таб. 4).

Таб. 4. Бројчани и процентуални удео година према категоријама водности за остале истраживане профиле (1965-2014)

| Профили | Пожега | | Ариље | | Лопатница | | Рашка | | Биљановац | | Ушће | |
|--------------|--------|-----|-------|-----|-----------|-----|-------|-----|-----------|-----|------|-----|
| | Г | % | Г | % | Г | % | Г | % | Г | % | Г | % |
| Веома сушна | - | | - | - | - | | | | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Сушна | 8 | 16 | 6 | 12 | 10 | 20 | 7 | 14 | 6 | 12 | 8 | 16 |
| Средње водна | 31 | 62 | 35 | 70 | 28 | 56 | 35 | 70 | 33 | 66 | 35 | 70 |
| Водна | 8 | 16 | 8 | 16 | 11 | 22 | 6 | 12 | 9 | 18 | 5 | 10 |
| Веома водна | 3 | 6 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Укупно | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 |

(Хидролошки годишњаци РХМЗ Србије (1965-2014))

На основу извршеног рангирања година по водности могу се издвојити одређени закључци:

- Разлика у уделу свих рангова није изражена међу профилима, што указује на то да постоји сагласност у погледу броја година по карактеристикама њихове вредности тј. може се закључити да постоји одређени циклус хронолошког смењивања сушних и влажних периода на целој површини слива;
- У горњим токовима река (Западна Морава, Ибар, Расина) број година са средњим и великим водама је већи у односу на доње токове – што је последица веће количине падавина у планинским деловима сливова, као и смањене антропогене активности;
- Године које су у појединим сливовима издвојене као веома водне, у позитивној корелацији су са великом средњом годишњом количином падавина која се јавила тих година.

Закључак

Проучавање промена низа хидролошких података у дужим временским серијама, и уочавање трендова представљају значајне податке за сагледавање глобалног стања водности у сливу одређене реке. У раду су коришћене вредности средњих годишњих протицаја река у сливу Западне Мораве, као основног хидролошког показатеља. Непараметарским тестовима утврђено је да већину река карактерише благо опадајући тренд вредности протицаја (око 50% профила), што је у сагласности са већином река централне и јужне Србије. На свега два профила, промена која се догодила је сигнификантна, односно дошло је до интензивнијег опадања вредности протицаја (за период 1965-2014): Батраге (-4,09 m³/s) и Брус (-1,99 m³/s). Као фактори који су највише утицали на опадање трендова издвојени су климатски (количина падавина и температура ваздуха) и антропогени.

На основу примењених тестова и метода утврђено је да се водност слива Западне Мораве смањује. Тачка промене просечних вредности протицаја на већини хидролошких профила је забележена почетком осамдесетих година (од 1980 – 1984. године), што се поклапа са смањењем годишње количине падавина. Висок степен коефицијента детерминације, на већини испитиваних профила, указује да су

промене вредности протицаја у највећем броју условљене променама у количини падавина. Према свему реченом, познавање промена вредности протицаја на годишњем нивоу је значајно, јер се тиме увиђа стање водности на целој површини слива. Каснија истраживања морају обухватити, пре свега, анализу трендова сезонских протицаја да би се уочило тачно годишње доба када је дошло до највећег пада/пораста вредности протицаја, као и потпунију анализу фактора који су утицали на такво стање.

Литература (погледати у енглеској верзији текста)