

Original scientific paper

UDC 556.166:624.131.542(497.11)  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2101049D>

Received: March 22, 2021

Corrected: April 18, 2021

Accepted: May 07, 2021

**Uroš Durlević<sup>1</sup>\***

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

## **ASSESSMENT OF TORRENTIAL FLOOD AND LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY OF TERRAIN: CASE STUDY – MLAVA RIVER BASIN (SERBIA)**

**Abstract:** Torrential floods and landslides are frequent natural disasters in Serbia, but also in the Mlava River Basin. Due to the large number of settlements, the main goal of this research is to determine the locations that are most susceptible to torrential floods and landslides in the Mlava River Basin. Using geographic information systems (GIS), the first step is the analysis the susceptibility of the terrain to torrential floods using the Flash Flood Potential Index (FFPI) method. According to the obtained data, it was determined that 31.53% of the Mlava River Basin is susceptible, and 10.46% is very susceptible to torrential floods. The second step is the analysis of the susceptibility of the terrain to landslides, for which the statistical Probability method (PM) and the Landslide Susceptibility Index (LSI) were used. According to the results of the LSI index and PM method, 8.09% and 14.04% of the basin area is in the category of high and very high susceptibility to landslides. This paper represents a significant step towards a better understanding of unfavorable natural conditions in the Mlava River Basin, and the obtained results are applicable to numerous human activities in the research area (environmental protection, sustainable management of agricultural plots, protection of water and forest resources and ecosystems, etc.).

**Key words:** torrential floods, FFPI, landslides, LSI, GIS, Mlava River Basin

---

<sup>1</sup> durlevicuros@gmail.com (corresponding author)

## Introduction

Natural and anthropogenic induced disasters are very common in the world, and can cause great material damage and significant loss of human lives. Determining the extent and compensation for flood damage is difficult to implement in practice (Alcantara, 2002; Toya & Skidmore, 2007; Živković et al., 2015; Spalevic et al., 2017; Blöschl et al., 2019; Lovrić et al., 2019). The emergence of natural and anthropogenic extremes (climate change, biodiversity loss, overexploitation of natural resources) around the world leads us to pay more attention to their environmental impacts and economic activities (Guzzetti et al., 2005; Schmidt et al., 2006; Lerner, 2007).

Due to the fact that the increase of the frequency and intensity of natural disasters poses a great danger to humanity (Blaikie et al., 2014), the preparedness of a community can affect the level of expected consequences (Lukić et al., 2013, 2016, 2017, 2018a, 2018b; Durlević et al., 2019). Due to the specific geographical position and natural conditions (diversity of geological, pedological, hydrological, relief and climatological conditions), Serbia often faces different natural disasters.

Of the natural disasters with the highest risk to the population and economic activities, torrential floods (Ristić & Nikić, 2007; Ristić et al., 2009, 2012) and landslides are the most common natural disasters in Serbia (Dragičević et al., 2012). The frequency of these disasters, their intensity and prevalence throughout the country, make them a constant threat with serious consequences for the environment, economic and social sphere. According to previous research, it has been determined that 25% of the surface of the Republic of Serbia is susceptible to landslides (Dragicevic et al., 2011), while more than 12,000 torrents have been registered on the same territory (Kostadinov, 2007). The appearance of intense precipitation, sudden snow melting or coincidence of these phenomena, leads to the formation of intense surface runoff and the movement of material eroded from the slopes into the hydrographic network, rapid water concentration and the formation of torrential flood waves (Ristić & Malosević, 2011; Lovrić & Tosić, 2017). From the environmental aspect, the occurrence of torrential floods can significantly reduce the quality of surface waters due to the increased concentration of substances of physical, chemical and microbiological character (Langović et al., 2017; Doderović et al., 2020; Durlević, 2020).

Regarding landslides, due to the synergy of specific geological (clastic sediments), relief (high terrain slope), climatological (abundant precipitation) and biogeographical (absence of vegetation) characteristics under the influence of gravity, landslide creation and initiation may occur.

On the territory of Serbia, the Mlava River Basin is significantly endangered by various natural disasters. The research of the susceptibility of the Mlava River Basin to torrential floods and landslides is of a great importance due to the large number of settlements located in this basin and the necessity for adequate environmental management. It is necessary to know well the natural conditions of the researched area in order for the analysis of natural disasters to be relevant. Apart from the population in populated areas, the richness of flora and fauna in this area can be significantly endangered by natural and anthropogenic processes. In addition to the above, these disasters significantly affect economic activities and infrastructure (Dai et al., 2002; Tošić et al., 2014; Hao et al., 2020; Meena et al., 2021; Morar et al., 2021).

For the purpose of more precise analysis, GIS tools have been implemented to a great extent in the management of natural disasters. GIS and data modelling are very powerful tools for calculating and describing some data on the effects of potential hazards (Erener & Düzgün, 2012; Shahabi & Hashim, 2015; Nikolova & Penkov, 2016; Valjarević et al., 2018a; Valjarević et al., 2018b). QGIS 3.10 software package was used for this research. The selection of areas most vulnerable to torrential floods and landslides could enable more adequate and efficient environmental management by local, regional and state services responsible for nature protection and emergency management.

## Materials and methods

### Study area

The Mlava River Basin is located in the north-western part of Eastern Serbia and covers an area of 1,843.28 km<sup>2</sup>. The Mlava River originates from the Žagubičko vrelo Spring, which erupts in the extreme south-eastern part of the Žagubicka kotlina Valley below the northern slopes of the Beljanica Mountain. It is one of the longest rivers in Eastern Serbia, which flows into the Danube River after 120 km of flow (Manojlović et al., 2012). In regional terms, the entire basin consists of three parts: Homolje, Upper Mlava and Stig. The largest settlement in the Mlava River Basin is Petrovac.

The easternmost point of the basin is located on the Homolje Mountains (Crni Vrh Peak), 44° 08' N and 21° 58' E. The westernmost point of the Mlava River Basin is located at 44° 44' N and 21° 10' E on the Danube River near Ram. The northernmost point of the basin is located on the Danube River at 44° 46' N and 21° 12' E. The southernmost point of the Mlava River Basin is located at the top of the Velika Tresta, at 44° 04' N and 21° 54' E.

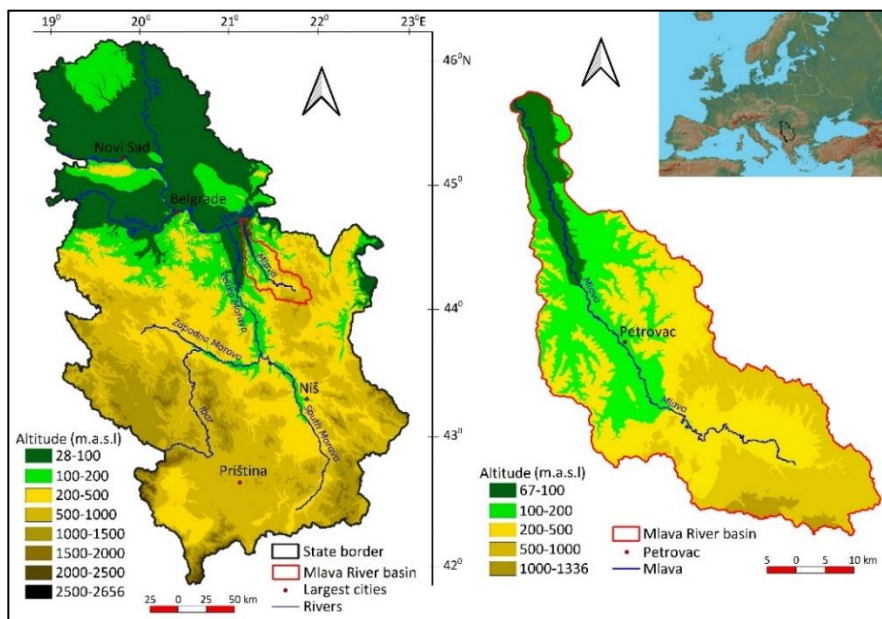


Fig. 1. Geographical position of the Mlava River Basin

From a geological point of view, a large area of the basin is covered with clastic sediments of Paleozoic, Mesozoic and Tertiary age. In the total share of the basin surface, Tertiary clastic deposits (39.12%) and Mesozoic carbonate sediments (21.95%) are the most prevalent. The rest of the basin is covered with other deposits (Paleozoic – sandstone and mudstone, aeolian, alluvial), igneous and metamorphic rocks.

Specific relief conditions prevail in the researched area. The zones with the highest altitudes are represented in the southern and south-eastern parts of the basin. The highest points in the basin are on the Beljanica Mountain (1,336 m) and Crni Vrh Mountain (1,037 m), and the lowest is at the confluence of the Mlava River and Danube River (67 m) (Manojlović et al., 2012). The northern and western part of the basin is characterized by a relatively small slope of the terrain (0-10°), while the highest degrees of terrain inclination (> 65°) appear on steep slopes in the central, southern and south-eastern parts of the Mlava River Basin. As far as the sunshine of the terrain is concerned, the western, south-western and north-western exposures are the most prevalent in this territory.

Due to the pronounced vertical distribution of the relief, the climatic characteristics of the basin differ significantly in this territory. The northern and western part of the basin (due to low altitude) are characterized by higher average annual air temperature (9-12 °C) and lower annual rainfall (600-700 mm) in contrast to the southern and south-eastern areas in the basin, where temperature conditions are lower (3-8 °C), and the annual amount of precipitation is higher (700-900 mm).

The most important watercourse is the Mlava River, which flows into the Danube River after 120 km and is one of the largest tributaries of the Danube River in Eastern Serbia. River network density of the basin is 1.11 km/km<sup>2</sup>, and the most important tributaries of the Mlava River are Vitovnica and Čokordnin rivers.

Under the influence of specific natural conditions (numerous types of rocks, large altitude difference, different climatic characteristics and rich hydrological regime), this area is inhabited by numerous species of flora and fauna. Due to its great ecological significance, there are legally protected areas within the basin: Krupajsko vrelo Spring, Žagubičko vrelo Spring, Busovata, Samar natural bridge, Osanica River Gorge, intermittent spring Homoljska potajnica etc.

## ***Methodology***

The Flash Flood Potential Index was used to determine the susceptibility of the terrain to the occurrence of torrential floods. The method was developed in order to improve the connection, i.e. the interaction of torrential floods and certain physical-geographical characteristics of a territory. Physical and chemical characteristics of the soil define water retention and infiltration. Rock types differently affect the occurrence and strength of the torrential floods depending on their resistance to decay and erosion. The geometry of the terrain, especially the slope, determines the speed and concentration of the runoff so that the increased slope of the terrain causes a greater intensity of torrential floods. Knowledge of the vegetation cover in the investigated area is of a great importance due to the process of water infiltration. Seasonal changes in the vegetation of deciduous forests greatly affect the possibility of the development of torrential floods, and forest fires also have a negative effect on the land, where the strength of infiltration decreases due to the burning of

organic matter. Land use manner and especially urbanization play an important role in water infiltration, concentration and runoff behavior. By applying remote sensing, it is possible to determine and analyze the degree of terrain bareness, which, in addition to rock types, terrain slopes and vegetation, plays a major role in the occurrence of torrential floods. Together, these natural and anthropogenic conditions provide information on the possibility of torrents occurring in a particular area (Smith, 2003).

The Flash Flood Potential Index method is obtained based on the formula (Smith, 2003):

$$FFPI = \frac{M+S+L+V}{4},$$

where M is the slope of the terrain, S is the rock types, L is the purpose of the land and V is the degree of bareness of the terrain.

Terrain slope (M) is based on a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 10 m. DEM was obtained using content from Google Earth. The data on the altitude of the researched area were used, after which the KML file was converted into text in GPS Visualizer. The text containing the data on the altitudes of the points in the Mlava River Basin was inserted into the QGIS where a digital elevation model was obtained via IDW (Inverse Distance Weighted) interpolation. At the beginning, the slope, expressed as a percentage, is calculated, and then the formula is applied:

$$M = 10^{n/30},$$

where n is the slope of the terrain expressed in %. If n is greater or equal to 30%, then the value of M is always 10.

In the analysis of the influence of rock types (S) for the formation of torrents, geological maps of SFR Yugoslavia with a scale of 1:100,000 were used, after which the classification was performed based on the predisposition of the geological base for the formation of torrents.

*Tab. 1. Coefficients for rock types*

Rock type	Value
Metamorphic rocks	7
Tertiary clastic sediments	9
Alluvial sediments	2
River terrace sediments	4
Deluvium proluvium	7
Paleozoic clastic sediments	9
Mesozoic carbonate sediments	5
Mesozoic and carbonate clastic sediments	7
Igneous rocks	5
Mesozoic clastic sediments	8
Debris	8
Volcanoclastic rocks	9
Ultramafic	7
Aeolian sediments	5

Tertiary clastic sediments, Paleozoic clastic deposits and volcanoclastic rocks are most susceptible to torrential floods (Tab. 1). Modern research seeks to develop a system of warnings and regulations on land use, which aim to minimize loss of life and material

damage (Luzi & Pergalani, 1999; Crozier & Glade, 2005; Dragičević et al., 2009, 2010; Zorn & Komac, 2011). The land use index (L) is calculated on the basis of data obtained from the geospatial database Corine Land Cover (2018), which belongs to the European Environment Agency (EEA). For the purpose of obtaining this index, land use classes were determined in values from 1 to 9, depending on the characteristics important for the occurrence and development of torrents.

Tab. 2. Coefficients for land use

Land use	Value
Larger settlements	4
Industrial and commercial zones	4
Surface mines	9
Landfills	9
Non-irrigated agricultural land	5
Meadows	6
Complex of agricultural plots	7
Agricultural areas with natural vegetation	6
Deciduous forests	5
Coniferous forests	2
Mixed forests	3
Pastures	5
Woody-shrubby vegetation	6
Areas with sparse vegetation	9
Water surfaces	1

Areas created by anthropogenic activity (landfills, surface mines) and areas with sparse vegetation have the greatest susceptibility to torrents. On the other hand, due to the high power of water absorption, the lowest values were assigned to forest ecosystems (Tab. 2).

The Bare Soil Index (BSI) was used to obtain the vegetation density index (V). In order to obtain the mentioned index, multispectral satellite images of the Sentinel 2 satellite belonging to the European Space Agency (ESA) were processed within the Copernicus program. The scene was filmed in August 2019. The remote sensing technique has unusual advantages and potentials in the field of regional assessment of soil erosion and torrent (Vrieling, 2006; Guo & Li, 2009; Mutekanga et al., 2010; El Haj El Tahir et al., 2010, Durlević et al., 2019).

BSI is calculated according to the formula (Diek et al., 2017):

$$BSI = \frac{(B11+B4) - (B8+B2)}{(B11+B4) + (B8+B2)},$$

where B11 is the shortwave infrared spectral channel (SWIR), B4 is the red spectral channel, B8 is the near infrared spectral channel (NIR), and B2 is the blue spectral channel.

In order to obtain the V coefficient, the formula was used:

$$V = 7.68 \cdot \ln(BSI+1) + 8.$$

To avoid negative values in the final result, a value of 1 is added. The Probability method, the Landslide Susceptibility Index (LSI) and the results of empirical research were used to determine the terrains susceptible to landslides. When talking about the landslide inventory, the data were obtained using the content from the geomorphological

map of Serbia (Menković et al., 2003) and the results of research on geohazard assessment in the territory of Eastern Serbia (Dragičević et al., 2011).

The criteria included in the calculation are: geological base, terrain slope, exposure, terrain curvature, distance from watercourses and land use. Terrain exposure and slope data were obtained and reclassified via a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 10 meters. Terrain curvature was also obtained through a digital elevation model, and the obtained data were reclassified into 9 classes (Zevenbergen & Thorne, 1987). The results and values were reclassified as follows:

*Tab. 3. Morphometric characteristics and coefficients*

Terrain slope (°)	Value	Exposure	Value	Terrain curvature	Value
		North	0.9781	1 - V/V	1.1722
< 2	0.2168	Northeast	1.2573	2 - Ge/V	1.9010
2-5	1.6735	East	1.7707	3 - X/V	0.8182
5-10	2.6168	Southeast	1.7908	4 - V/Gr	1.2057
10-15	1.0864	South	1.773	5 - Ge/Gr	0.8785
15-20	0.3972	Southwest	0.8334	6 - X/Gr	1.0702
20-30	0.1307	West	0.7381	7 - V/X	0.9523
> 30	0.0166	Northwest	0.6478	8 - Ge/X	1.5619
		Unexposed	0.3971	9 - X/X	0.7571

For the slope of the terrain, values from 0.0166 were assigned for the degree of inclination of the terrain higher than 30° to 2.6168 for the terrain of the slope 5-10°. All these classes have different benefits for landslide occurrence. At terrain exposure, the values vary from the smallest (unexposed - 0.3971) to the largest (southeast - 1.7908) depending on the sunshine of the terrain where the largest number of landslides occurs. The curvature of the terrain is divided into 9 classes. The highest value is given to vertically flat and horizontally convex terrains (Ge/V - 1.9010), while the smallest values are given to horizontal and vertical convex terrains (X/X - 0.7571) (Tab. 3).

*Tab. 4. Geological formations and coefficients*

Rock type	Value
Tertiary clastic deposits	2.6127
Alluvial deposits	0.3369
River terrace deposits	0.0430
Deluvium proluvium	0.0774
Paleozoic clastic deposits	0.0792
Mesozoic carbonate deposits	0.0256
Igneous rocks	0.0026
Mesozoic clastic deposits	0.1398
Metamorphic rocks	0.0478

When it comes to the geological base, the surfaces that are built of Tertiary clastic deposits have the greatest predisposition for landslides (Tab. 4). Apart from them, all other sedimentary, igneous and metamorphic rocks have certain susceptibility.

Larger settlements, a complex of agricultural plots and agricultural areas with natural vegetation are a very suitable area for landslides. Areas that are 200-300 meters away from watercourses have the highest predisposition for the process of soil landslides, so that the highest coefficients are assigned to such areas (Tab. 5).

Tab. 5. Coefficients for land use and distance from rivers

Land use	Value	Distance from watercourse (m)	Value
Larger settlements	2.8845	< 100	0.8906
Surface mines	0.2846	100-200	1.3867
Non-irrigated agriculture surfaces	0.1170	200-300	1.4736
Meadows	0.9804	300-400	1.2331
Complex of agriculture surfaces	0.1170	400-500	1.0089
Agricultural surfaces with natural vegetation	1.5154	> 500	0.4962
Deciduous forests	0.6318		
Woody-shrubby vegetation	0.6340		

To calculate the susceptibility of the terrain to landslides, the Probability method (PM) was first used, which is based on the assumption that landslides are caused by certain factors and that future landslides will occur under the same conditions as the existing ones. The possibility of landslides in a certain class is calculated by the formula (Van Westen, 1997):

$$W_{ij} = \frac{A_{ij}' \cdot (A - A')}{A' \cdot (A_{ij} - A_{ij}')} ,$$

where  $W_{ij}$  is the value of class and parameter  $j$ ;  $A_{ij}'$  - landslide area in a certain class and parameter  $j$ ;  $A_{ij}$  - area of a certain class and parameter  $j$ ;  $A'$  - total landslide area in the observed territory;  $A$  - total area of the observed territory.

The higher the obtained value, the stronger the dependence of the landslide occurrence on a given factor and vice versa (Lee & Pradhan, 2006; Новковић, 2016). The Landslide Susceptibility Index (LSI) is then calculated by the formula (Voogd, 1983):

$$LSI = \sum_{i=1}^n W_{ij} ,$$

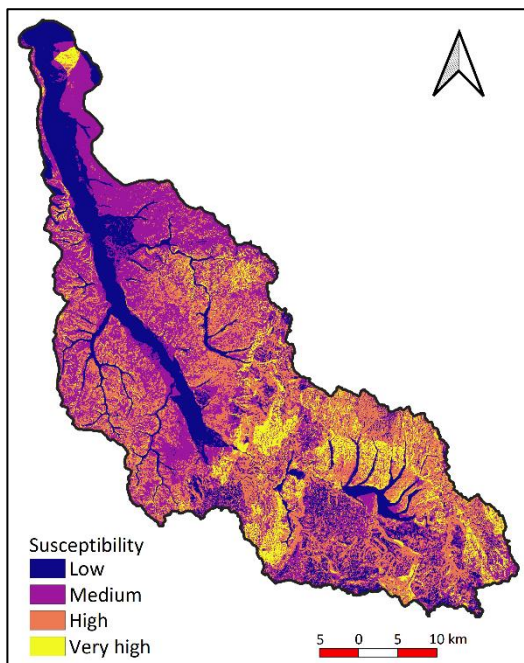
where  $W_{ij}$  is the value of each class.

Finally, all obtained index values are classified into four categories of landslide possibilities (low, medium, high and very high).

## Results and Discussion

By processing data in geographic information systems, synthetic maps of the susceptibility of the Mlava River Basin to torrential floods and landslides were obtained. The obtained results show the possibility of torrents occurring under appropriate natural conditions. Whether this will really be the case depends on a large number of factors, which is why we are talking about the predisposition, i.e. the susceptibility of the terrain to the occurrence and development of this disaster (Новковић, 2016). Using the FFPI method, 192.34 km<sup>2</sup> of the investigated area was determined, which is very susceptible to torrents (Fig. 2).





*Fig. 2. Susceptibility of the Mlava River Basin to torrential floods*

This type of susceptibility is partly present in the very north of the basin, and the largest part lies in the central, southern and south-eastern part, with 10.46% of the total share in the area. Very high predisposition of the terrain for torrential floods is conditioned by specific natural and anthropogenic conditions: geological background (presence of clastic and volcanoclastic rocks), large slope of the terrain (> 30%), presence of areas with sparse vegetation, surface mines and high degree of bare terrain. By the synergy of these conditions, the terrain becomes extremely susceptible to torrential floods. Approximately 579.65 km<sup>2</sup> of the basin have a high susceptibility to torrents, which makes up 31.53% of the total catchment area. The medium susceptibility is represented on an area of 711.72 km<sup>2</sup> and covers 38.71% of the investigated area. Low susceptibility is most characteristic of the area around the Mlava River and its larger tributaries. This category covers an area of 354.9 km<sup>2</sup> and covers 19.3% of the study area.

Settlements that (in whole or in part) have a very high or high susceptibility to torrents in the Mlava River Basin are: rural settlements Kostolac, Šljivovac, Zaova, Polatna, Sibnica, Kočetin, Bošnjak, Lopušnik, Dobrnje, Vošanovac, Burovac, Đurinac, Busur, Čovdin, Veliko Laole, Medvedica, Bliznak, Krupaja, Suvi Do, Laznica, Selište, Milatovac, Jošanica, Osanica, Krepoljin, Malo Laole, Leskovac, Stamnica, Vitovnica, Melnica, Ranovac, Kladurovo, Trnovče, Dubočka, Rašanac, Manastirica, Aljudovo, Kobilje, Zabrega and Šapine. On the territory of the Republic of Serbia, the river basins of Ljig, Kolubara, Josanička reka and Ibar (on the territory of Central Serbia) were analyzed by the FFPI method.

Tab. 6. Application of FFPI method in Serbia and Republika Srpska (B&H) and share of susceptibility classes in the total catchment area

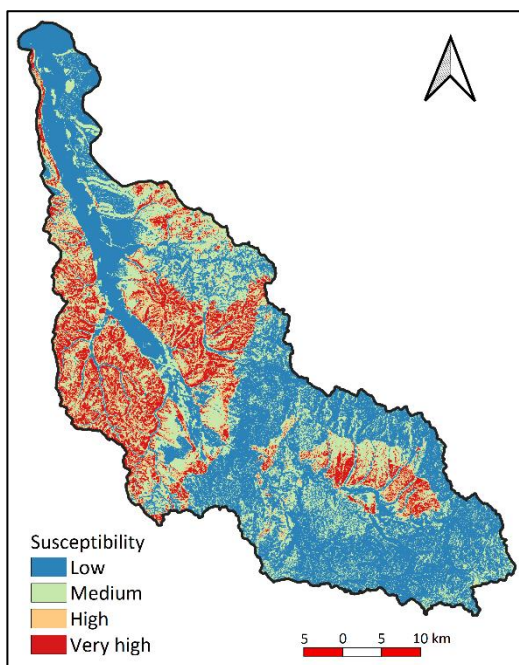
Author	River Basin	Low (%)	Medium (%)	High (%)	Very high (%)
НОВКОВИЋ, 2016	Ljig (Serbia)	13.3	57.8	21.4	7.5
Kostadinov et al., 2017	Kolubara (Serbia)	5.54	36.33	53.54	4.59
Novković et al., 2018	Jošanička (Serbia)	10.6	34.6	48	6.8
Dragičević et al., 2019	Ibar (Serbia)	47.75	39.73	9.43	3.09
Lovrić et al., 2019	Ukrina (Republic of Srpska – B&H)	19.33	39.81	31.21	9.65

In the Ljig River Basin (area 686.31 km<sup>2</sup>), the class of very high susceptibility occurs on 7.5% of the catchment area, high susceptibility on 21.4%, medium susceptibility occupies 57.8%, and low susceptibility on 13.3% of the total basin area (НОВКОВИЋ, 2016). For the Kolubara River Basin (area 3,638.4 km<sup>2</sup>), the class of very high susceptibility occurs at 4.59% of the basin area, high susceptibility 53.54%, medium 36.33% and weak 5.54% (Kostadinov et al., 2017).

The example of the Josanička reka River Basin (area 257.61 km<sup>2</sup>) is dominated by the class of high susceptibility to torrential floods with 48% in the total share of the area. Very high susceptibility covers 6.8%, medium 34.6%, and low 10.6% of the researched area (Novković et al., 2018). For the Ibar River Basin, it was determined that of its total area in Central Serbia (3,483.36 km<sup>2</sup>), very high susceptibility of the terrain to torrential floods covers 3.09% of the basin, high 9.43%, medium 39.73% and low 47.75% (Dragičević et al., 2019).

Susceptibility to torrential floods with this method was also analyzed in the region, Republika Srpska (B&H), for the Ukrina River Basin. In this basin, which covers an area of 1,498.81 km<sup>2</sup>, it was found that the class of very high susceptibility covers 9.65% of the basin area, high susceptibility category 31.21%, medium susceptibility occurs at 39.81% and low at 19.33% of the observed territory (Lovrić et al., 2019).

In the Bâsca River Basin in Romania (area 785.1 km<sup>2</sup>), the class of high susceptibility to torrential floods covers an area of 0.85%, medium susceptibility 28.07%, low susceptibility 71.05% and minimum 0.03% (Minea, 2013). Moderate susceptibility to torrential floods dominates the Bâsca Chiojdului River Basin (area 340 km<sup>2</sup>) with a share of 48%. Very low susceptibility is present on 2% of the area, low covers 22%, high 25% and very high 3% of the basin area (Prăvălie & Costache, 2014). In the settlement of Joseni (lower course of the Sărăţel River) the class of very low susceptibility occurs on 18% of the investigated area, weak on 34%, medium coverage 28%, and high and very high coverage 20% of the investigated area (Costache et al., 2015).



*Fig. 3. Susceptibility of the Mlava River Basin to landslides*

In the Mlava River Basin 139 landslides have been identified, both recent and paleoclipsed, covering an area of 102.55 km<sup>2</sup> (Dragičević et al., 2011). Based on the Probability method, LSI index and analysis of existing landslides, a synthetic map of the predisposition of the investigated area to landslides was obtained (Fig. 3).

Very high susceptibility occurs at 258.69 km<sup>2</sup>. Empirical research in the Mlava River Basin has shown that most landslides are activated on Tertiary clastic deposits. The slope of the terrain that affects this disaster is 5-10°, the territory is mainly facing the eastern and south-eastern exposure. Regarding the curvature of the topographic surface, the highest weighting coefficients were assigned to vertically flat and horizontally convex terrains (Ge/V) and vertically flat and horizontally concave terrains (Ge/X). On non-irrigated agricultural areas, surface mines and areas 200-300 m away from watercourses, there are the greatest preconditions for landslides.

Settlements that (in whole or in part) have a very high or high predisposition to landslides in the Mlava River Basin are: rural settlement Kostolac, Šapine, Zabrega, Boževac, Kobilje, Crljenac, Starčevo, Rašanac, Trnovče, Bistrica, Malo Laole, Ždrelo, Čovdin, Suvi Do, Laznica, Milatovac, Vezičevo, Burovac, Tabanovac, Oreškovića, Krvije, Vošanovac, Dobrnje, Četereže, Brzohode, Bošnjak, Sibnica, Kočetin, Veliki Popovac, Orljevo, Tinjarevo, Mirijevo, Tičevać, Vrbnica and Toponica.

In addition to the mentioned settlements, torrential floods and landslides also endanger local roads that connect rural settlements, but also biodiversity, primarily deciduous forests in hilly and mountainous areas and various game (deer, rabbits, pheasants, badgers, etc.).

High susceptibility is most present in the central and south-eastern part of the basin, on an area of 149.11 km<sup>2</sup>, which makes 8.09% of the total area of the basin. Combined with a very high susceptibility (14.04%), it is concluded that these two classes cover more than 22% of the researched area. Medium (549.15 km<sup>2</sup> with 29.8% in the total share of the area) and low (885.86 km<sup>2</sup> with 48.07% in the total share of the area) susceptibility are mainly present in the Mlava River Valley, in the northern, southern, eastern and south-eastern part of the basin.

## **Conclusion**

In the territory of the Mlava River Basin, the predisposition of the terrain for the occurrence of torrential floods and landslides was researched and analyzed. Torrents have been causing great problems to the local population, settlements and agricultural areas for decades. On the other hand, there are a large number of paleo-landslides and recent landslides in the investigated area, so it was necessary to investigate the possibility of these natural disasters.

Using the FFPI method, it was identified that 10.46% of the basin area is very susceptible to torrential floods. It is necessary to perform additional tests in endangered parts of the basin in order to determine and implement protection measures, such as biological, biotechnical, technical works, erosion control on agricultural plots and administrative measures (Kostadinov et al., 2019). Afforestation of the terrain and adequate management of agricultural areas would lead to a reduction in the percentage of terrain under high and very high susceptibility to torrents.

By applying the Probability method and LSI index, the obtained results for the predisposition of the basin to landslides indicate that a large number of settlements belong to the class of very high susceptibility to landslides (14.04% of the basin area). In order to protect the local population from the consequences of the landslide process, it is necessary to implement prevention measures, i.e. to eliminate the factors of landslide occurrence as much as possible. One of the measures is the optimal positioning of future residential, commercial and infrastructural facilities. In order for the amount of water not to accumulate in a small space, it is necessary to carry out adequate drainage of the terrain, so that the improvement of sewage systems is one of the most important preventive measures. The afforestation process can also be one of the protection measures if the landslides are small, while in large landslides, the sliding plane can be at a much greater depth than the depth of the root system. In addition to the implementation of protection measures, it is necessary to monitor the condition of the area in order for the protection of nature and the environment to be at an adequate level.

© 2021 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

- Alcantara, A. I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47 (2-4), 107-124.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (2014). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge: Abingdon, UK.
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Boháč, M., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Frolova, N., Ganora, D., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Koskela, J. J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Salinas, J. L., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. & Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, 108-111.
- Costache, R., Pravalie, R., Mitof, I. & Popescu, C. (2015). Flood vulnerability assessment in the low sector of Saratel Catchment. Case study: Joseni Village. *Carpathian J. Earth Environ. Sci.*, 10(1), 161-169.
- Crozier, M. J. & Glade, T. (2005). Landslide Hazard and risk: Issues, concepts, and approach. In Glade, T., Anderson, M. & Crozier, M. J. (Eds). *Landslide hazard and risk* (1-40). Chichester: John Wiley & Sons.
- Dai, F. C., Lee, C. F. & Ngai, Y. Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64(1), 65-87.
- Diek, S., Fornallaz, F., Schaepman, M. & de Jong, R. (2017). Barest Pixel Composite for Agricultural Areas Using Landsat Time Series. *Remote Sensing*, 9, 1245, 1-31.
- Doderović, M., Mijanović I., Burić, D. & Milenković, M. (2020). Assessment of the water quality in the Morača River basin (Montenegro) using water quality index. *Bulletin of Serbian Geographical Society*, 100(2), 67-81.
- Dragičević, S., Novković, I. & Prica, M. (2009). The risk of slope processes on the territory of Ub municipality. *Bulletin of Serbian Geographical Society*, 88(3), 37-44.
- Dragičević, S., Milevski I., Novković, I. & Milojković, B. (2010). The natural conditions as a limiting factor for the development of Serbian-Macedonian border area. *Bulletin of Serbian Geographical Society*, 90(4), 29-44.
- Dragičević, S., Novković, I., Carević, I., Živković, N. & Tošić, R. (2011). Geohazard Assessment in the Eastern Serbia. *Forum Geografic*, 10(1), 10-19.
- Dragicevic, S., Filipovic, D., Kostadinov, S., Ristic, R., Novkovic, I., Zivkovic, N., Andjelkovic, G., Abolmasov, B., Secerov, V. & Djurdjic, S. (2011). Natural Hazard Assessment for Land-use Planning in Serbia. *International Journal of Environmental Research*, 5(2), 371-380.
- Dragičević, S., Carević, I., Kostadinov, S., Novković, I., Albomasov, B., Milojković, B. & Simić, D. (2012). Landslide susceptibility zonation in the Kolubara River Basin (Western Serbia) – Analysis of input data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(2), 37-47.
- Dragičević, S., Kostadinov, S., Novković, I., Momirović, N., Stefanović, T., Radović, M. & Jeličić, M. (2019). Bujične poplave kao faktor rizika za putnu mrežu u slivu Ibra. *Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine (Palić-Subotica)*, 261-266.
- Durlević, U., Momčilović, A., Čurić, V. & Dragojević, M. (2019). Gis application in analysis of erosion intensity in the Vlasina River Basin. *Bulletin of the Serbian geographical society*, 99(2), 17-36.
- Durlević, U. (2020). The Analysis of the Quality of Surface Water of Danube in the Republic of Serbia for 2018. *Collection of papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade*, 68, 53-70.
- El Haj El Tahir, M., Kääb, A. & Xu, C. Y. (2010). Identification and mapping of soil erosion areas in the Blue Nile, Eastern Sudan using multispectral ASTER and MODIS satellite data and the SRTM elevation model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1167-1178.
- Erener, A. & Düzgün, B. S. H. (2012). Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method? *Environ. Earth Sci.*, 66, 859-877.
- Guo, S. Y. & Li, Z. G. (2009). Development and achievements of soil and water conservation monitoring in China. *Sci. Soil Water Conserv.*, 7, 19-24.

- Guzzetti, F., Stark, C. & Salvati, P. (2005). Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy. *Environ. Manag.*, 36 (1), 15-36.
- Hao, L., Rajaneesh, A., van Westen, C., Sajinkumar, K. S., Martha, R. T., Jaiswal, P. & McAdoo, G. B. (2020). Constructing a complete landslide inventory dataset for the 2018 monsoon disaster in Kerala, India, for land use change analysis. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2899-2918.
- Kostadinov, S. (2007). Erosion and torrent control in Serbia: Hundred years of experiences. Presented at the Erosion and Torrent Control as a Factor in Sustainable River Basin Management, Belgrade.
- Kostadinov, S., Dragičević, S., Stefanović, T., Novković, I. & Petrović, M. A. (2017). Torrential flood prevention in the Kolubara river basin. *J. Mt. Sci.* 14(11), 2230-2245.
- Kostadinov, S., Tošić, R., Hrkalović, D., Nikolić, S., Sudar, N., Kapović Solomun, M., Dragičević, S., Momirović, N., Cupać, R., Bosankić, G. & Bundalo, S. (2019). *Kontrola erozije zemljišta u funkciji smanjenja rizika od poplava u slivu reke Vrbas*, Republika Srpska. *Vodoprivreda*, 51(300-302), 211-224.
- Langović, M., Manojlović, S. & Čvorović, Z. (2017). Trends of mean annual river discharges in the Zapadna Morava river basin. *Bulletin of Serbian Geographical Society*, 97(2), 19-45.
- Lee, S. & Pradhan, B. (2006). Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Earth System Science*, 115(6), 661-672.
- Lerner, L. A. (2007). Assessing global exposure to natural hazards: Progress and future trends. *Environ. Hazards*, 7, 10-19.
- Lovrić, N. & Tošić, R. (2017). Validation of landslide susceptibility maps (Case study: Urban area of the municipality of Banja Luka – B&H). *Bulletin of the Serbian geographical society*, 97(1), 19-34.
- Lovrić, N., Tošić, R., Dragičević, S. & Novković, I. (2019). Assessment of torrential flood susceptibility: Case study – Ukrina River Basin (B&H). *Bulletin of the Serbian geographical society*, 99(2), 1-16.
- Lukić, T., Gavrilov, M. B., Marković, S. B., Komac, B., Zorn, M., Mladjan, D., Đorđević, J., Milanović, M., Vasiljević, Dj. A., Vujičić, M. D., Kuzmanović, B. & Prentović, R. (2013). Classification of the natural disasters between the legislation and application: experience of the Republic of Serbia. *Acta geographica Slovenica*, 53-1, 149-164.
- Lukić, T., Leščešen, I., Sakulski, D., Basarin, B. & Jordaan, A. (2016). Rainfall erosivity as an indicator of sliding occurrence along the southern slopes of the Bačka loess plateau: a case study of the Kula settlement, Vojvodina (North Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 11-2, 303-318.
- Lukić, T., Marić, P., Hrnjak, I., Gavrilov, M. B., Mladjan, D., Zorn, M., Komac, B., Milošević, Z., Marković, S. B., Sakulski, D., Jordaan, A., Đorđević, J., Pavić, D. & Stojsavljević, R. (2017). Forest fire analysis and classification based on a Serbian case study. *Acta geographica Slovenica*, 57-1, 51-63.
- Lukić, T., Bjelajac, D., Fitzsimmons, K. E., Marković, S. B., Basarin, B., Mladan, D., Micić, T., Schaetzel, J. R., Gavrilov, M. B., Milanović, M., Sipos, G., Mezósi, G., Knežević Lukić, N., Milinčić, M., Létal, A. & Samardžić, I. (2018a). Factors triggering landslide occurrence on the Zemun loess plateau, Belgrade area, Serbia. *Environmental Earth Sciences*, 77, 519.
- Lukić, T., Dunjić, J., Đerčan, B., Penjišević, I., Milosavljević, S., Bubalo-Živković, M. & Solarević, M. (2018b). Local Resilience to Natural Hazards in Serbia. Case Study: The West Morava River Valley. *Sustainability*, 10, 2866, 1-16.
- Luzi, L. & Pergalani, F. (1999). Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: the 'Oltre Po Pavese' Case History (Regione Lombardia – Italy). *Natural Hazards*, 20(1), 57-82.
- Manojlović, P., Mustafić, S. & Mladenović, B. (2012). Chemical and mechanical water erosion ratio in the Mlava River Basin. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 92(1), 39-46.
- Meena, S. R., Ghorbanzadeh, O., van Westen, C. J., Nachappa, G. T., Blaschke, T., Singh, P. R. & Sarkar, R. (2021). Rapid mapping of landslides in the Western Ghats (India) triggered by 2018 extreme monsoon rainfall using a deep learning approach. *Landslides*, 18, 1937-1950.

- Menković, Lj., Koščal, M. & Mijatović, M. (2003). *Geomorphological Map of Serbia at 1:500,000*. Geozavod-Gemini & Magic map, S. Palanka, Serbia.
- Minea, G. (2013). Assessment of the Flash Flood Potential of Bâsca River Catchment (Romania) Based on Physiographic Factors. *Cent. Eur. J. Geosci.*, 5(3), 344-353.
- Morar, C., Lukić, T., Basarin, B., Valjarević, A., Vujičić, M., Niemets, L., Telebenieva, I., Boros, L. & Nagy, G. (2021). Shaping Sustainable Urban Environments by Addressing the Hydro-Meteorological Factors in Landslide Occurrence: Ciuperca Hill (Oradea, Romania). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 5022.
- Mutekanga, F. P., Visser, S. M. & Stroosnijder, L. (2010). A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngenge watershed in Uganda. *Geoderma*, 160, 165-174.
- Nikolova, V. & Penkov, A. (2016). GIS spatial analysis of the distribution of snow depth: a study of Western Rhodopes, Bulgaria. *Bulletin of Serbian Geographical Society*, 96(1), 46-55.
- Новковић, Д. И. (2016). Природни услови као детерминанте геохазарда на примеру сливова Љига, Јошаничке и Врањскобањске реке. *Докторска дисертација*. Универзитет у Београду, Географски факултет, 1-423. [Novković, D. I. (2016). Prirodni uslovi kao determinante geohazarda na primeru slivova Ljiga, Jošaničke i Vranjskobanjske reke. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, 1-423.]
- Novković, I., Dragičević, S., Živković, N., Tošić, R. & Čvorović, Z. (2018). Vulnerability assessment of the Jošanička River Basin to torrential floods and forest fires. *Advances in GeoEcology*, 45 - Soil and water resources protection in the changing environment. Catena, Soil Sciences, Schweizerbart Science Publishers, 65-78.
- Práválie, R. & Costache, R. (2014). The analysis of the susceptibility of the flash floods genesis in the area of the hydrographical basin Bâsca Chiojdului River. *Forum Geografic*, 8(1), 39-49.
- Ristić, R. & Nikić, Z. (2007). Sustainability of the System for Water Supply in Serbia from the aspect of Erosion Hazard. *J. Water Resour. Manage.*, 47-57, 225-227.
- Ristić, R., Radić, B. & Vasiljević, N. (2009). Karakteristike velikih voda na bujičnim slivovima u Srbiji. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 89(4), 161-189.
- Ristić, R. & Malošević, D. (2011). *Hidrologija bujičnih tokova*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- Ristić, R., Kostadinov, S., Abolmasov, B., Dragičević, S., Trivan, G., Radić, B., Trifunović, M. & Radosavljević, Z. (2012). Torrential floods and town and country planning in Serbia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 23-35.
- Schmidt, T. P., Greiving, S., Kallio, H., Fleischhauer, M. & Jarva, J. (2006). Economic risk maps of floods and earthquakes for European regions. *Quatern. Int. (Elsevier)*, 150, 103-112.
- Shahabi, H. & Hashim, M. (2015). Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment. *Scientific Reports*, 5, 9899.
- Smith, G. (2003). *Flash Flood Potential: Determining the Hydrologic Response of FFMP Basins to Heavy Rain by Analyzing Their Physiographic Characteristics*. Salt Lake City: NWS Colorado Basin River Forecast Center.
- Spalevic, V., Lakicevic, M., Radanovic, D., Billi, P., Barovic, G., Vujacic, D., Sestras, P. & Khaledi Darvishan, A. (2017). Ecological-Economic (Eco-Eco) Modelling in the River Basins of Mountainous Regions: Impact of Land Cover Changes on Sediment Yield in the Velicka Rijeka, Montenegro. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 45 (2), 602-610.
- Tošić, R., Dragičević, S., Zorn, M. & Lovrić, N. (2014). Landslide susceptibility zonation: A case study from Banja Luka Municipality (Bosnia and Herzegovina). *Acta geographica Slovenica*, 54 (1), 189-202.
- Toya, H. & Skidmore, M. (2007). Economic development and the impacts of natural disasters. *Economics Letters*, 94, 20-25.
- Valjarević, A., Djekić, T., Stevanović, V., Ivanović, R. & Jandžiković, B. (2018a). GIS numerical and remote sensing analyses of forest changes in the Toplica region for the period of 1953–2013. *Applied Geography*, 92, 131-139.

- Valjarević, A., Srećković-Batočanin, D., Valjarević, D. & Matović, V. (2018b). A GIS- based method for analysis of a better utilization of thermal-mineral springs in the municipality of Kursumljia (Serbia). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 948-957.
- Van Westen, C. (1997). Statistical Landslide Hazard Analysis. ILWIS 2.1 for Windows application guide. ITC Publication, Enschede: 73-84.
- Voogd, H. (1983). *Multi-criteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, London.
- Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*, 65, 2-18.
- Zevenbergen, W. L. & Thorne, R. C. (1987). Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 12-56.
- Zorn, M. & Komac, B. (2011). Damage caused by natural disasters in Slovenia and globally between 1995 and 2010. *Acta geographica Slovenica*, 51(1), 7-41.
- Živković, N., Dragičević, S., Ristić, R., Novković, I., Đurđić, S., Luković, J., Živković, Lj. & Jovanović, S. (2015). Effects of vegetation on runoff in small river basins in Serbia. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 2082-2089.



Оригинални научни рад

UDC 556.166:624.131.542(497.11)  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2101049D>

Примљено: 22. марта 2021.  
Исправљено: 18. априла 2021.  
Прихваћено: 07. маја 2021.

**Урош Дурлевић<sup>1\*</sup>**

*\* Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија*

## **ПРОЦЕНА ПОДЛОЖНОСТИ ТЕРЕНА ЗА НАСТАНАК БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА И КЛИЗИШТА: СТУДИЈА СЛУЧАЈА – СЛИВ РЕКЕ МЛАВЕ (СРБИЈА)**

**Апстракт:** Бујичне поплаве и клизишта представљају честе природне непогоде у Србији, али и у сливу реке Млаве. Због великог броја насеља, основни циљ овог истраживања је утврђивање локација које су најподложније настанку бујичних поплава и клизишта у сливу Млаве. Употребом географских информационих система (ГИС), први корак представља анализа подложности терена за настанак бујичних поплава применом методе Flash Flood Potential Index (FFPI). Према добијеним подацима, утврђено је да је 31,53% слива Млаве подложно, а 10,46% веома подложно бујичним поплавама. Други корак представља анализа подложности терена за настанак клизишта, за шта су коришћени статистички Probability метод (PM) и Landslide Susceptibility Index (LSI). Према резултатима LSI индекса и PM методе, 8,09% и 14,04% површине слива налази се у категорији високе и врло високе подложности клизиштима. Овај рад представља значајан корак ка бољем разумевању неповољних природних услова у сливу реке Млаве, а добијени резултати су апликативни за бројне људске активности у истражном простору (заштита животне средине, одрживо управљање пољопривредним парцелама, заштита водних и шумских ресурса и екосистема, и др.).

**Кључне речи:** бујичне поплаве, FFPI, клизишта, LSI, GIS, слив реке Млаве, Србија

---

<sup>1</sup> durlevicuros@gmail.com (аутор за кореспонденцију)

## Увод

Природно и антропогено изазване непогоде веома су честе у свету, и могу проузроковати велику материјалну штету и значајан губитак људских живота. Утврђивање обима и надокнада штете услед поплава је тешко спроводиво у пракси (Alcantara, 2002; Toya & Skidmore, 2007; Živković et al., 2015; Spalevic et al., 2017; Blöschl et al., 2019; Lovrić et al., 2019). Појава природних и антропогених екстрема (климатске промене, губитак биодиверзитета, прекомерна експлоатација природних ресурса) широм света наводи нас да обратимо већу пажњу на њихове утицаје на животну средину и економске активности (Guzzetti et al., 2005; Schmidt et al., 2006; Lerner, 2007).

Сходно чињеници да повећање учесталости и интензитета природних непогода представља велику опасност по човечанство (Blaikie et al., 2014), припремљеност неке заједнице може утицати на висину очекиваних последица (Lukić et al., 2013, 2016, 2017, 2018a, 2018b; Durlević et al., 2019).

Због специфичног географског положаја и природних услова (различитост геолошких, педолошких, хидролошких, рељефних и климатских услова), Србија се често суочава са различитим природним непогодама. Од природних непогода са највећим ризиком по становништво и привредне активности, бујичне поплаве и, (Ristić & Nikić, 2007; Ristić et al., 2009, 2012) клизишта су најчешће природне непогоде у Србији (Dragičević et al., 2012). Учесталост ових непогода, њихов интензитет и распрострањеност у целој земљи, чине их сталном претњом са озбиљним последицама по животну средину, економску и социјалну сферу. Према ранијим истраживањима, утврђено је да је 25% површине Републике Србије подложно настанку клизишта и одрона (Dragicevic et al., 2011), док је на истој територији регистровано више од 12.000 бујичних водотока (Kostadinov, 2007). Појавом интензивних падавина, наглим топљењем снега или коинциденцијом ових појава, долази до формирања интензивног површинског отицаја и покретања материјала еродованог са падина у хидрографску мрежу, брзе концентрације вода и формирања бујичног поплавног таласа (Ristić & Malošević, 2011; Lovrić & Tošić, 2017). Са еколошког аспекта, појава бујичних поплава може значајно смањити квалитет површинских вода услед повећане концентрације материја физичког, хемијског и микробиолошког карактера (Langović et al., 2017; Doderović et al., 2020; Durlević, 2020).

По питању клизишта, услед синергије специфичних геолошких (кластични седименти), рељефних (висок нагиб терена), климатских (обилне падавине) и биоеколошких (одсуство вегетације) карактеристика под утицајем силе гравитације, могуће је стварање и покретање клизишта.

На територији Србије, слив Млаве је значајно угрожен различитим природним непогодама. Истраживање подложности слива Млаве бујичним поплавама и клизиштима је од великог значаја због великог броја насеља која се налазе у овом сливу и неопходности за адекватно управљање животном средином. Потребно је добро познавати природне услове истраживаног простора како би анализа природних непогода била релевантна. Осим становништва у насељеним областима, богатство флоре и фауне на овом подручју може бити значајно угрожено природним и антропогеним процесима. Осим наведеног, ове непогоде значајно

утичу и на привредне делатности и инфраструктуру (Dai et al., 2002; Tošić et al., 2014; Hao et al., 2020; Meena et al., 2021; Morar et al., 2021).

У циљу прецизније анализе, ГИС алати нашли су велику примену у управљању природним непогодама. ГИС и моделовање података су врло моћни алати за израчунавање и опис неких података о ефектима потенцијалних опасности (Erener & Düzgün, 2012; Shahabi & Hashim, 2015; Nikolova & Penkov, 2016; Valjarević et al., 2018a; Valjarević et al., 2018b). За ово истраживање коришћен је софтверски пакет QGIS 3.10. Издавање подручја која су најосетљивија на бујичне поплаве и клизишта, могло би да омогући адекватније и ефикасније управљање животном средином од стране локалних, регионалних и државних служби одговорних за заштиту природе и управљање ванредним ситуацијама.

## Материјали и методе

### *Простор истраживања*

Слив Млаве обухвата северозападни део Источне Србије и има површину од 1.843,28 km<sup>2</sup>. Река Млава настаје од Жагубичког врела које избија у крајњем југоисточном делу Жагубичке котлине испод северних падина Бељанице. То је једна од дужих река Источне Србије, која се после тока од 120 km улива у Дунав (Manojlović et al., 2012). У регионалном погледу, цео слив састоји се од три целине: Хомоље, Горња Млава и Стиг. У сливу Млаве, највеће насеље је Петровац.

Најисточнија тачка слива налази се на Хомољским планинама (Црни Врх) 21° 58' ИГД и 44° 08' СГШ. Најзападнија тачка слива Млаве се налази на 21° 10' ИГД и 44° 44' СГШ на Дунаву код Рама. Најсевернија тачка слива налази се на Дунаву на 44° 46' СГШ и 21° 12' ИГД. Најјужнија тачка слива Млаве налази на врху Велика Треста, на 44° 04' СГШ и 21° 54' ИГД.

*Сл. 1. Географски положај слива Млаве (стр. 51)*

Са геолошког аспектa, велика површина слива прекривена је кластичним седиментима палеозојске, мезозојске и терцијарне старости. У укупном уделу у површини слива, највише су заступљени терцијарни кластични седименти (39.12%) и мезозојски карбонатни седименти (21.95%). Остатак слива прекривен је другим седиментима (палеозојским – пешчари и глинци, еолским, алувијалним), магматским и метаморфним стенама.

На истраживаном простору јављају се специфични рељефни услови. Зоне са највишим надморским висинама заступљене су у јужним и југоисточним деловима слива. Највише тачке у сливу су врх Бељаница 1.336 m и Црни Врх 1.037 m, а најнижа је код Рама на Дунаву 67 m (Manojlović et al., 2012). Северни и западни део слива одликује релативно мали нагиб терена (0-10°), док се највиши степени инклинације терена (>65°) појављују на стрмим падинама у централним, јужним и југоисточним деловима слива Млаве. Што се тиче осунчаности терена, на овој територији најзаступљеније су западна, југозападна и северозападна експозиција.

Услед изразите вертикалне рашчлањености рељефа, климатске карактеристике слива се битно разликују на овој територији. Северни и западни део слива (због

мале надморске висине) одликује већа средња годишња температура ваздуха (9-12 °C) и мања годишња количина падавина (600-700 mm) за разлику од јужних и југоисточних области у сливу, где су температурни услови нижи (3-8 °C), а годишња сума падавина већа (700-900 mm).

Најважнији водоток је река Млава која се након 120 km тока улива у Дунав и једна је од највећих притока Дунава у Источној Србији. Густина речне мреже слива износи 1,11 km/km<sup>2</sup>, а најважније притоке Млаве су Витовница и Чокорднин. Под утицајем специфичних природних услова (бројни типови стена, велика висинска разлика, различите климатске карактеристике и богат хидролошки режим) овај простор настаниле су бројне врсте флоре и фауне. Због великог еколошког значаја, у оквиру слива постоје законом заштићена подручја: Жагубичко врело, Крупајско врело, Бусовата, прераст Самар, Клисурса Осаничке реке, Хомољска потајница итд.

### **Методологија**

Flash Flood Potential Index је коришћен за утврђивање подложности терена на појаву бујичних поплава. Метод је развијен како би унапредио везу, односно узајамно деловање бујичних поплава и одређених физичко-географских карактеристика неке територије. Физичко-хемијске карактеристике земљишта дефинишу задржавање и инфилтрацију воде. Типови стена различито утичу на појаву и снагу бујичних поплава у зависности од њихове отпорности на распадање и ерозију. Геометрија терена, посебно нагиб одређује брзину и концентрацију отицања тако да повећан нагиб терена узрокује већи интензитет бујичних поплава. Познавање вегетацијског покривача на истраживаном простору има велики значај због процеса инфилтрације воде. Сезонске промене вегетације листопадних шума у великој мери утичу на могућност развоја бујичних поплава, а шумски пожари негативно утичу и на земљиште, где се услед спаљивања органске материје смањује снага инфилтрације. Начин коришћења земљишта и посебно урбанизација имају важну улогу у инфилтрацији воде, концентрацији и понашању отицања. Применом даљинске детекције могуће је одредити и анализирати степен оголићености терена, који поред типова стена, нагиба терена и вегетације, има велику улогу за настанак бујичних поплава. Заједно, ови природни и антропогени услови пружају информације о могућности настанка бујица на одређеном подручју (Smith, 2003).

Метод Flash Flood Potential Index добија се на основу формуле (Smith, 2003):

$$FFPI = \frac{M+S+L+V}{4}$$

где је М нагиб терена, S представља типове стена, L је намена земљишта и V представља степен оголићеност терена.

Нагиб терена (M) базиран је на дигиталном моделу висина (DEM) просторне резолуције 10 m. DEM је добијен коришћењем садржаја из програма Google Earth. Искоришћени су подаци о надморској висини истраживаног простора, након чега је у GPS Visualizer извршено конвертовање KML фајла у текст. Текст у којем се налазе подаци о надморским висинама тачака у сливу Млаве је убачен у QGIS где је путем IDW (Inverse Distance Weighted) интерполације добијен дигитални модел висина. На почетку се израчунава нагиб, изражен у процентима, а затим се примењује формула:

$$M = 10^{n/30},$$

где је  $n$  нагиб терена изражен у %. Ако је  $n$  веће или једнако 30%, онда је вредност  $M$  увек 10.

У анализи утицаја типова стена ( $S$ ) за настанак бујица коришћене су геолошке карте СФРЈ размера 1:100.000, након чега је извршена класификација на основу предиспонираности геолошке подлоге за настанак бујица.

Таб. 1. Коефицијенти за типове стена

Тип стена	Вредност
Метаморфне стене	7
Терцијарни кластични седименти	9
Алувијални седименти	2
Седименти речне терасе	4
Делувијум пролувијум	7
Палеозојски кластични седименти	9
Мезозојски карбонатни седименти	5
Мезозојски и карбонатни кластични седименти	7
Магматске стене	5
Мезозојски кластични седименти	8
Сипар	8
Вулканокластичне стене	9
Ултрамафити	7
Еолски седименти	5

Терцијарни кластични седименти, палеозојски кластични седименти и вулканокластичне стене најподложније су за настанак бујичних поплава (Таб. 1). Савремена истраживања теже развоју система упозорења и прописа о коришћењу земљишта, чији је циљ минимизирање губитака живота и материјалне штете (Luzi & Pergalani, 1999; Crozier & Glade, 2005; Dragičević et al., 2009, 2010; Zorn & Komac, 2011). Индекс намене земљишта ( $L$ ) израчунава се на основу података добијених из геопросторне базе Corine Land Cover (2018) која припада Европској агенцији за заштиту животне средине (ЕЕА). За потребе добијања овог индекса, одређене су класе коришћења земљишта у вредностима од 1 до 9, у зависности од карактеристика значајних за појаву и развој бујица.

Таб. 2. Коефицијенти за намену земљишта

Намена земљишта	Вредност
Већа насеља	4
Индустријске и комерцијалне зоне	4
Површински копови	9
Депоније	9
Ненаводњаване пољопривредне површине	5
Ливаде	6
Комплекс пољопривредних парцела	7
Пољопривредне површине са природном вегетацијом	6
Листопадне шуме	5
Четинарске шуме	2
Мешовите шуме	3
Пашњаци	5
Дрвенасто-жбунаста вегетација	6
Површине са оскудном вегетацијом	9
Водене површине	1

Највећу подложност за настанак бујица имају простори који су настали антропогеним деловањем (депонije, површински копови) и површине са оскудном вегетацијом. Са друге стране, због велике моћи апсорпције воде, најниже вредности додељене су шумским екосистемима (Таб. 2). За добијање индекса густине вегетације (V) коришћен је индекс степена оголићености терена – Bare Soil Index (BSI). У сврху добијања поменутог индекса обрађени су мултиспектрални сателитски снимци сателита Sentinel 2 који припада Европској свемирској агенцији (ESA), у оквиру програма Copernicus. Сцена је снимљена августа 2019. године.

Техника даљинског откривања има несвакидашње предности и потенцијале у области регионалне процене ерозије земљишта и бујица (Vrieling, 2006; Guo & Li, 2009; Mutekanga et al., 2010; El Haj El Tahir et al., 2010, Durlević et al., 2019).

BSI се рачуна по формули (Diek et al., 2017):

$$BSI = \frac{(B11+B4) - (B8+B2)}{(B11+B4) + (B8+B2)},$$

где је B11 краткоталасни инфрацрвени спектрални канал (SWIR), B4 представља црвени спектрални канал, B8 блиски инфрацрвени спектрални канал (NIR), и B2 плави спектрални канал.

Да би се добио V коефицијент, коришћена је и формула:

$$V = 7,68 \cdot \ln (BSI+1) + 8.$$

Како би се избегле негативне вредности у коначном резултату, додата је вредност 1. За утврђивање терена који су подложни настанку клизишта коришћени су Probability метод, Landslide Susceptibility Index (LSI) и резултати емпиријских истраживања. Када се говори у инвентару клизишта, подаци су добијени коришћењем садржаја са геоморфолошке карте Србије (Menković et al., 2003) и резултата истраживања процене геохазарда на територији Источне Србије (Dragičević et al., 2011).

Критеријуми који су ушли у прорачун су: геолошка подлога, нагиб терена, експозиција, закривљеност терена, удаљеност од водотока и начин коришћења земљишта. Подаци за експозицију и нагиб терена добијени су и рекласификовани преко дигиталног модела висина (DEM) просторне резолуције 10 m. Закривљеност терена је такође добијена путем дигиталног модела висина, а добијени подаци су рекласификовани у 9 класа (Zevenbergen & Thorne, 1987). Резултати, односно вредности су рекласификоване и приказани у Таб. 3.

Таб. 3. Морфометријске карактеристике и коефицијенти

Нагиб терена (°)	Вредност	Експозиција	Вредност	Закривљеност	Вредност
		Север	0,9781	1 - V/V	1,1722
< 2	0,2168	Североисток	1,2573	2 - Ge/V	1,9010
2-5	1,6735	Исток	1,7707	3 - X/V	0,8182
5-10	2,6168	Југоисток	1,7908	4 - V/Gr	1,2057
10-15	1,0864	Југ	1,773	5 - Ge/Gr	0,8785
15-20	0,3972	Југозапад	0,8334	6 - X/Gr	1,0702
20-30	0,1307	Запад	0,7381	7 - V/X	0,9523
> 30	0,0166	Северозапад	0,6478	8 - Ge/X	1,5619
		Неекспонирано	0,3971	9 - X/X	0,7571

За нагиб терена додељене су вредности од 0,0166 за степен инклинације терена већи од 30° до 2,6168 за терен нагиба 5-10°. Све наведене класе имају различиту погодност за настанак клизишта. Код експозиције терена, вредности варирају од најмање (неекспонирано – 0,3971) до највеће (југоисток – 1,7908) у зависности од осунчаности терена на којем се јавља највећи број клизишта. Закривљеност терена подељена је у 9 класа. Највећа вредност придаје се вертикално равним, а хоризонтално конвексним теренима (Ge/V – 1,9010), док најмању вредност имају хоризонтални и вертикални конвексни терени (X/X – 0,7571) (Таб. 3).

Таб. 4. Геолошке формације и коефицијенти

Типови стена	Value
Терцијарни кластични седименти	2,6127
Адувијални седименти	0,3369
Седименти речне терасе	0,0430
Делувијум пролувијум	0,0774
Палеозојски кластични седименти	0,0792
Мезозојски карбонатни седименти	0,0256
Магматске стене	0,0026
Мезозојски кластични седименти	0,1398
Метаморфне стене	0,0478

Када се ради о геолошкој подлози, највећу предиспонираност за настанак клизишта имају површине које су изграђене од терцијарних кластичних седимената (Таб. 4). Осим њих, све остале седиментне, магматске и метаморфне стене имају одређену подложност. Већа насеља, комплекс пољопривредних парцела и пољопривредне површине са природном вегетацијом представљају веома погодан простор за настанак клизишта. Простори који су 200-300 метара удаљени од водотока имају највећу предиспонираност за процес клижења тла, тако да су највећи коефицијенти додељени оваквим подручјима (Таб. 5).

Таб. 5. Коефицијенти за намену земљишта и удаљеност од река

Намена земљишта	Вредност	Удаљеност од водотока (m)	Вредност
Већа насеља	2,8845	< 100	0,8906
Површински копови	0,2846	100-200	1,3867
Ненаводњаване пољ. површине	0,1170	200-300	1,4736
Ливаде	0,9804	300-400	1,2331
Комплекс пољопривредних парцела	0,1170	400-500	1,0089
Пољопривредне површине са природном вегетацијом	1,5154	> 500	0,4962
Листопадне површине	0,6318		
Дрвенасто-жбунаста вегетација	0,6340		

За прорачун процене подложности терена за настанак клизишта, прво је коришћен Probability метод (PM), који се заснива на претпоставци да клизишта настају деловањем одређених фактора и да ће будућа клизишта настати под истим условима као постојећа. Могућност појаве клизишта у одређеној класи се рачуна по формули (Van Westen, 1997):

$$W_{ij} = \frac{A_{ij}' \cdot (A - A')}{A' \cdot (A_{ij} - A_{ij}')},$$

где је  $W_{ij}$  – вредност класе  $i$  параметра  $j$ ;  $A_{ij}'$  – површина клизишта у одређеној класи  $i$  параметра  $j$ ;  $A_{ij}$  – површина одређене класе  $i$  параметра  $j$ ;  $A'$  – укупна површина клизишта на посматраној територији;  $A$  – укупна површина посматране територије. Што је добијена вредност већа, јача је зависност појаве клизишта од датог фактора и обрнуто (Lee & Pradhan, 2006; Новковић, 2016). Landslide Susceptibility Index (LSI) се затим рачуна по формули (Voogd, 1983):

$$LSI = \sum_{i=1}^n W_{ij},$$

где је  $W_{ij}$  – вредност сваке класе. На крају се све добијене вредности индекса класификују у четири категорије могућности појаве клизишта (ниска, средња, висока и врло висока).

## Резултати и дискусија

Обрадом података у географским информационим системима, добијене су синтезне карте подложности слива Млаве бујичним поплавама и клизиштима. Добијени резултати показују могућност појаве бујица при одговарајућим природним условима. Да ли ће заиста бити тако, зависи од великог броја фактора, па се због тога говори о предиспонираности, односно подложности терена за настанак и развој ове непогоде (Новковић, 2016). Применом FFPI методе, детерминисано је 192,34 km<sup>2</sup> истраживаног простора који је веома подложен настанку бујица (Сл. 2).

Сл. 2. Подложност слива Млаве бујичним поплавама (стр. 57)

Овакав тип подложности једним делом заступљен је на самом северу слива, а највећи део лежи у централном, јужном и југоисточном делу, са 10,46% укупним уделом у површини. Врло висока предиспонираност терена за настанак бујичних поплава условљена је специфичним природним и антропогеним условима: геолошком подлогом (присуство кластичних и вулканокластичних стена), великим нагибом терена (>30%), заступљеношћу површина са оскудном вегетацијом, површинских копова и великим степеном оголићености терена. Синергијом ових услова, терен постаје изразито подложен настанку бујичних поплава. Високу подложност за настанак бујица има 579,65 km<sup>2</sup> слива, што чини 31,53% укупне површине слива. Средња подложност заступљена је на површини од 711,72 km<sup>2</sup> и покрива 38,71% истраживаног простора. Ниска подложност највише је карактеристична за простор око реке Млаве и њених већих притока. Ова категорија обухвата територију од 354,9 km<sup>2</sup> и захвата 19,3% површине истраживаног простора.

Насеља која (целим или одређеним делом) имају врло високу или високу подложност настанку бујица у сливу Млаве су: рурално насеље Костолац, Шљивовац, Заова, Полатна, Сибница, Кочетин, Бошњак, Лопушник, Добрње, Вошановац, Буровац, Ђуринац, Бусур, Ђовдин, Велико Лаоле, Медвеђица, Близнак, Крупаја, Суви До, Лазница, Селиште, Милатовац, Јошаница, Осаница, Крепољин, Мало Лаоле, Лесковац, Стамница, Витовница, Мелница, Рановац, Кладурово, Трновче, Дубочка, Рашанац, Манастирица, Аљудово, Кобиље, Забрега и Шапине.



Таб. 6. Примена FFPI методе у Србији и Републици Српској (БиХ) и удео класа подложности у укупној површини слива

Аутор	Слив	Ниска (%)	Средња (%)	Висока (%)	Врло висока (%)
Новковић, 2016	Љиг (Србија)	13,3	57,8	21,4	7,5
Kostadinov et al., 2017	Колубара (Србија)	5,54	36,33	53,54	4,59
Novković et al., 2018	Јошаница (Србија)	10,6	34,6	48	6,8
Dragičević et al., 2019	Ибар (Србија)	47,75	39,73	9,43	3,09
Lovrić et al., 2019	Укрина (Република Српска – БиХ)	19,33	39,81	31,21	9,65

На територији Републике Србије, FFPI методом анализирани су сливови Љига, Колубаре, Јошанице и Ибра (на територији Централне Србије). У сливу реке Љиг (површина 686,31 km<sup>2</sup>) класа врло високе подложности јавља се на 7,5% површине слива, висока подложност на 21,4%, средња подложност заузима 57,8%, а ниска 13,3% од укупне површине слива (Новковић, 2016). За слив Колубаре (површина 3.638,4 km<sup>2</sup>) класа врло високе подложности јавља се на 4,59% површине слива, висока обухвата 53,54%, средња 36,33% и слаба 5,54% (Kostadinov et al., 2017).

На примеру слива Јошанице (површина 257,61 km<sup>2</sup>) доминира класа високе подложности бујичним поплавама са 48% у укупном уделу површине. Врло висока подложност обухвата 6,8%, средња 34,6%, а ниска 10,6% површине истраживаног простора (Novković et al., 2018). За слив Ибра утврђено је да од његове укупне површине у Централној Србији (3.483,36 km<sup>2</sup>) врло висока подложност терена бујичним поплавама обухвата 3,09% слива, висока 9,43%, средња 39,73% и ниска 47,75% (Dragičević i dr., 2019).

Подложност бујичним поплавама овим методом анализирана је и у региону, Републици Српској (БиХ), за слив реке Укрине. У овом сливу који захвата површину од 1.498,81 km<sup>2</sup> утврђено је да класа врло високе подложности обухвата 9,65% површине слива, категорија високе подложности 31,21%, средња подложност се јавља на 39,81% и ниска на 19,33% посматране територије (Lovrić et al., 2019).

У сливу реке Bâsca у Румунији (површина 785,1 km<sup>2</sup>), класа високе подложности бујичним поплавама покрива површину од 0,85%, средња подложност 28,07%, ниска 71,05% и минимална 0,03% (Minea, 2013). Средња подложност бујичним поплавама доминира у сливу реке Bâsca Chiojdului (површина 340 km<sup>2</sup>) са уделом од 48%. Врло ниска подложност заступљена је на 2% површине, ниска покрива 22%, висока 25% и врло висока 3% површине слива (Prăvălie & Costache, 2014). У насељу Жосени (доњи ток реке Sărățel) класа врло слабе подложности јавља се на 18% истраживане површине, слаба на 34%, средња обухвата 28%, а висока и врло висока захвата 20% површине истраживаног простора (Costache et al., 2015).

*Сл. 3. Подложност слива Млаве клизиштима (стр. 59)*

У сливу Млаве идентификовано је 139 клизишта, како рецентних, тако и палео-клизишта, које заузимају површину од 102,55 km<sup>2</sup> (Dragičević et al., 2011). На основу Probability методе, LSI индекса и анализе постојећих клизишта, добијена је синтезна карта предиспонираности истраживаног простора клизиштима (Сл. 3).

Врло висока подложност јавља се на 258,69 km<sup>2</sup>. Емпиријским истраживањима у сливу Млаве, утврђено је да се већина клизишта активира на терцијарним кластичним седиментима. Нагиб терена који погодује овој непогоди је 5-10°, територија је углавном окренута ка источној и југоисточној експозицији. Што се тиче закривљености топографске површине, највећи тежински коефицијенти додељени су вертикално равним а хоризонтално конвексним теренима (Ge/V) и вертикално равним, а хоризонтално конкавним теренима (Ge/X). На ненаводњаваним пољопривредним површинама, површинским коповима и просторима удаљеним 200-300 m од водотока постоје највећи предуслови за настанак клизишта.

Насеља која (целим или одређеним делом) имају врло високу или високу предиспонираност терена за настанак клизишта у сливу Млаве су: рурално насеље Костолац, Шапине, Забрега, Божевац, Кобиље, Црљенац, Старчево, Рашанац, Трновче, Бистрица, Мало Лаоле, Ждрело, Ћовдин, Суви До, Лазница, Милатовац, Везичево, Буровац, Табановац, Орешковица, Крвије, Вошановац, Добрње, Четереже, Брзоходе, Бошњак, Сибница, Кочетин, Велики Поповац, Орљево, Тињарево, Миријево, Тичеваћ, Врбница и Топоница. Осим поменутих насеља, настанком бујичних поплава и клизишта угрожени су и локални путеви који повезују рурална насеља, али и биодиверзитет, пре свега листопадне шуме у брдско-планинским пределима и разноврсна дивљач (срне, зечеви, фазани, јазавци итд).

Висока подложност највише је заступљена у централном и југоисточном делу слива, на површини од 149,11 km<sup>2</sup> што чини 8,09% укупне површине слива. У комбинацији са врло високом подложношћу (14,04%) закључује се да ове две класе обухватају више од 22% истраживаног простора. Средња (549,15 km<sup>2</sup> са 29,8% у укупном уделу површине) и ниска (885,86 km<sup>2</sup> са 48,07% у укупном уделу површине) подложност углавном су заступљене у долини Млаве, у северном, јужном, источном и југоисточном делу слива.

## **Закључак**

На територији слива Млаве истражена је и анализирана предиспонираност терена за настанак бујичних поплава и клизишта. Бујице већ деценијама уназад праве велике проблеме локалном становништву, насељима и пољопривредним површинама. Са друге стране, велики је број палеоклизишта и рецентних клизишта на истраживаном простору, тако да је било неопходно истражити могућност појаве ових природних непогода.

Употребом FFPI методе, идентификовано је да је 10,46% површине слива врло подложно бујичним поплавама. Потребно је извршити додатна испитивања у угроженим деловима слива како би се утврдиле и реализовале мере заштите, попут биолошких, биотехничких, техничких радова, контроле ерозије на пољопривредним парцелама и административних мера (Kostadinov i др., 2019). Пошумљавање терена и адекватно управљање пољопривредним површинама довело би до смањења процента терена под високом и веома високом подложношћу бујицама.

Применом Probability методе и LSI индекса, добијени резултати за предиспонираност слива клизиштима указују да велики број насеља припада класи врло високе подложности за појаву клизишта (14,04% површине слива). Како би се

заштитило локално становништво од последица процеса клижења тла, потребно је спроводити мере превенције, односно у што већој мери елиминисати факторе настанка клизишта. Једна од мера је и оптимално позиционирање будућих стамбених, привредних и инфраструктурних објеката. Како се количина воде не би нагомилавала на малом простору, потребно је спровести адекватно одводњавање терена, тако да је унапређење канализационих система једна од најважнијих превентивних мера. Процес пошумљавања такође може представљати једну од мера заштите уколико су клизишта мала, док код великих клизишта, клизна равна може бити на знатно већој дубини од дубине кореновог система. Поред спровођења мера заштите, неопходно је вршити мониторинг, односно пратити стање простора како би заштита природе и животне средине била на адекватном нивоу.

© 2021 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)