

Vladimir Ćurić*, **Uroš Durlević***, **Nemanja Ristić***, **Ivan Novković***,
Nina Čegar*

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

GIS APPLICATION IN ANALYSIS OF THREAT OF FOREST FIRES AND LANDSLIDES IN THE SVRLJIŠKI TIMOK BASIN (SERBIA)

Abstract: Forest fires and landslides represent very frequent natural disasters in Serbia. The Svrljiški Timok river basin is located in the southeastern part of the Republic of Serbia, and according to natural characteristics it represents a significant area for geohazard study. The task of the research is to analyse natural and anthropogenic condition by determining locations which are susceptible to forest fires and landslides in order to protect the population and infrastructure. Using Geographic Informational Systems (GIS) and available data, their processing was started for the susceptibility of the terrain to forest fires using the RC index. For the analysis of the territory occurrence of landslides the statistical Probability method (PM) and Landslide Susceptibility Index (LSI) were used. The obtained results indicate that 20.81% of the area of the Svrljiški Timok basin has a very high susceptibility to forest fires, while 29.21% of the terrain is highly susceptible to landslides. The results gained processing the RC index can be applied to adequate risk management of forest fires, improvement of monitoring and early warning systems in the study area. Sustainable management of agricultural land and improvement of environmental protection can be implemented on the basis of the obtained results for the most endangered areas of landslides.

Key words: GIS, forest fires, landslides, Svrljiški Timok basin, environment

¹vlado.curic@yahoo.com (corresponding author)

Introduction

In the XXI century, humanity is increasingly facing natural disasters and their consequences for the environment. Excessive exploitation of natural resources, climate change, natural disasters, inadequate waste management and loss of biodiversity across the planet represent major challenges for humanity (Lerner, 2007; Lukić et al., 2021; Durlević, 2021). The territory of the Republic of Serbia is endangered by various natural disasters: earthquakes, landslides, avalanches, torrential floods, droughts and forest fires. The consequences of natural disasters can be significant for the population in human and material terms (Blaikie et al., 2014; Novković et al., 2021; Sirin & Medvedeva, 2022; Singh et al., 2022). The occurrence and distribution of forest fires is connected to their seasonal and time correlation (Kim et al., 2021).

Wildfires are uncontrolled combustions that spread spontaneously in the area under the forest. They cause clearly visible and conspicuous changes in biogeographical conditions, and the effect they have on the environment depends on their size, duration and intensity (Драгићевић & Филиповић, 2009; Драгојевић, 2019). The trend of forest fires in Serbia and Europe has been increasing in the last couple of decades. The combined effect of rising global air temperature and human activities is causing increase in the number of forest fires (Lukić et al., 2017; Durlević et al., 2021). Intense heat waves in Serbia were recorded during 2007 and 2012, when more than 1000 fires threatened human lives, infrastructure and forest ecosystems. According to existing data, forest communities are represented in 31.1% of the territory in Serbia (Gigović et al., 2019). In the area of the Svrlijski Timok basin, the percentage of the surface area under forests is slightly above the average, and amounts to 34.1%.

Landsliding is defined as a process caused by the movement of parts of the torn masses under the effects of gravity. By synergy of specific geological, hydrological, relief, climatic and biogeographical characteristics under the influence of gravity, it is possible to create and start landslides. According to the available results, it has been determined that 25% of the surface of the Republic of Serbia is susceptible to landslides and rockfalls (Dragicevic et al., 2011; Dragičević et al., 2012).

Due to the existence of a specific geological substrate (scree, Neogenic sediments), there are prerequisites for the landslidings on the territory of the Svrlijski Timok basin. Both recent and paleo landslides have been identified in the study area.

In order to better represent the terrain endangerment, GIS has found major application in modern research. Data modeling in geographic information systems is a powerful tool for calculating and describing data on the effects of potential risks (Gheshlaghi et al., 2020; Parajuli et al., 2020; Valjarević et al., 2021). The purpose of the paper is to present and segregate areas in the basin that are very sensitive to the occurrence of forest fires and landslides by processing natural and anthropogenic conditions. Adequate representation of endangered territories would enable more efficient environmental management by services responsible for emergency management, nature protection, etc. (Yan et al., 2022).

Material and Methods

Study area

The Svrlijig Timok basin is located in Eastern Serbia and covers a surface of 726.10 km². The south border of the basin is the Svrliške Mountains, where the highest point in the basin is located - Zeleni vrh, with an altitude of 1334 m. In the east, a drainage divide extends to the peaks of the Tresibaba Mountain, and descends into the Knjaževac valley, where the confluence with Trgoviški Timok lies, forming Beli Timok. In the north, the basin stretches to the eastern slopes of Devica Mountain and the peak of Kondil (663 m). On the west side, the basin is limited by the mountains: Devica, Golak and Kalafat (Fig. 1).

Administratively, the basin territory includes the municipalities of Knjaževac, Sokobanja, Svrlijig, Niš, Niška Banja, Bela Palanka, and Pirot.

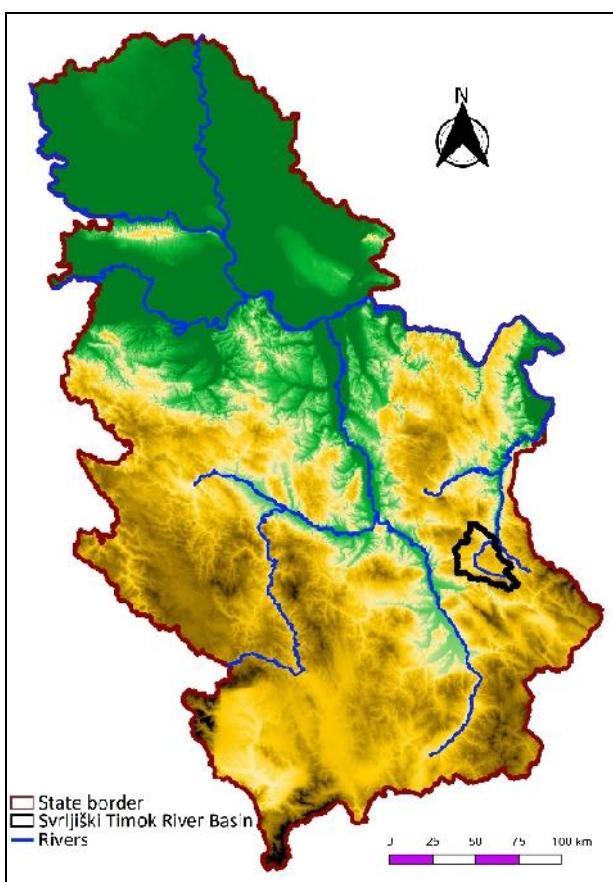


Fig. 1. Geographical position of the basin

The geological structure of the Svrlijig Timok basin consists of rocks of different structure dating from different geological periods. There are two types of rocks, igneous and sedimentary. Mesozoic clastic and carbonate sediments (50% of the catchment area) and tertiary clastic sediments (29.7% of the catchment area) dominate (Bogosavljević et al., 2007).

In the river valleys of the Timok basin, alluvial deposits (alluvium), vertisol and soils on the clay substrate take turns. Fluvisols are formed by the deposition of carried materials in river valleys during floods and they are present along Svrljiški Timok and along smaller watercourses as well. This type of soil was formed in the narrow river valleys in the hilly and mountainous area by carrying away substrates from higher terrains, torrents and recent sedimentation of eroded material at the foothill of these terrains (Сибиновић, 2008; Đukić, 2020).

From the geomorphological aspect, the analysis of hypsometric characteristics of the Svrljiški Timok basin determined that 44.84% of the territory is in the zone of 400-600 m above sea level, and that the average altitude is 587.73 m. The highest point is at 1334 m (Zeleni vrh - Svrljiške Mountains), and the lowest at 213 m (the river confluence in Trgoviški Timok).

In the study area, there is a slope from 0° up to 70°, which is present mainly in the southern and central parts of the basin. The average slope is 9.66°. As for the aspects of the terrain, the most present are the eastern (17.78%) and northeastern (15.97%).

The high mountain ranges of the Svrljiške Mountains prevent greater penetration of air masses from the south, and the penetration of continental air masses from the north is kept by Tresibaba Mountain, so that orographic factors significantly affect the climatic characteristics of the basin. The average annual air temperature is 7.97°C, while the average annual precipitation is 704.1 mm.

Svrljig Timok is formed by merging three smaller karst rivers near the village Okruglica in the Svrljig valley. These are Turija, Manojlička River and Visovska River. The river built a composite valley with 3 valleys (Svrljiška, Aroška and Knjaževačka) and two gorges (gorge near Niševac and Svrljiška gorge) (Милијашевић, 2014). The surface of the basin is 726.10 km², and the length of Svrljiški Timok is 64.25 km. The total length of all surface flows in the basin is 888.41 km, and the river network density is 1.22 km/km².

The benefits of environmental factors, and especially the moisture climate, have led to a variety of plant cover. According to available data, one third of the basin is covered with deciduous forests, while 22.43% of the territory is represented by complexes of agricultural plots. The basis of the fauna consists of Mediterranean, sub-Mediterranean, Central European and Central Balkan endemic types with slight admixtures of Eastern European species. Of the large game, deer, pheasant, wild boar, wolf, fox and bear are represented.

Methodology

Forest ecosystems, for centuries, have been exposed to various disruptions, especially fires. The formula was used to find out which areas are most endangered by wildfires (Erten et al., 2004):

$$RC = 7VT + 5(S + A) + 3(DR + DS), \quad (1)$$

where: RC - forest fires susceptibility index, VT - vegetation type index, S - slope index, A - aspects index, DR - road distance index and DS - settlements and buildings distance index.

The factor that most affects the occurrence of forest fires is land use, followed by slope and aspects, which affect the speed of fire spread. Forest fires spread faster on higher and on south-facing slope sides where the sun rays fall at a higher angle, the radiation duration is longer, and therefore the heating is higher. The southern, southeastern and southwestern slopes are suitable for heliophyte forests that are more sensitive to fires. Each of the factors was analysed and in the GIS software were given values from 1 (least susceptible to forest fires) to 5 (most susceptible).

Tab. 1. Index classes for calculating susceptibility to forest fires (Erten et al., 2004)

Value	Vegetation type and land use	Terrain slope [°]	Aspects	Road distance [m]	Settlements and building distance [m]
1	Water surfaces	<5	N	>600	>400
2	Agricultural land, settlements, sparse vegetation	5-10	Flat	450-600	300-400
3	Meadows and pastures	10-25	E	300-450	200-300
4	Deciduous forests	5-35	W	150-300	100-200
5	Coniferous and mixed forests	>35	S	<150	<100

The vegetation index was obtained on the basis of the CORINE Land Cover database (2018), where different types of vegetation were given values from 1 to 5 depending on the level of susceptibility of a certain class to forest fires (Tab. 1).

To obtain the slope index, a digital elevation model was used – EU-DEM with a spatial resolution of 25 m, from which the terrain slope in degrees was obtained, then divided into classes based on the values from the table.

The aspect index was calculated as the slope index, from the digital elevation model, where the azimuth angle was obtained, then the classification on the four cardinal directions was derived and they were given a value from 1 to 5.

To calculate the distance index from different objects and roads, satellite images and topographic maps were used. Digitization of the content was performed, and then buffer zones of appropriate width were determined. The distance of 150 m was taken for the roads and it was classified into 5 categories (from 150 to over 600 m). All roads in this area have been considered; local, unpaved and forest roads, which affect the possibility of fire occurrence. Such roads are used for illegal logging, as for other activities, which can lead to accidental fire.

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

$$W_{ij} = A_{ij}' \cdot (A - A') A' \cdot (A_{ij} - A_{ij}'), \quad (2)$$

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

Then, various factors and classes are integrated into a unique Landslide Susceptibility Index (LSI), which is achieved based on the formula (Voogd, 1983):

$$LSI = \sum_{i=1}^n W_{ij}, \quad (3)$$

where: W_{ij} – class value. Finally, all obtained index values are classified into four categories of landslide potential occurrence (low, medium, high and very high). In the first place, the application of this method requires data on existing landslides in the study area, which are taken in vector format from the database of landslides in Eastern Serbia (Dragičević et al, 2011).

The parameters that were taken into calculating the terrain susceptibility to the landsliding occurrence are: geological structure, geomorphological characteristics of the terrain (slope, aspect, curvature), land use (CORINE Land Cover, 2018), and distance from watercourses.

Data on the geological structure of the terrain were obtained by digitizing the contents of the geological map scale of 1:100,000 (Tab. 2). Relief characteristics were obtained from EU-DEM.

Tab. 2. Geological substrate and coefficients

Geological substrate	Coefficients
Scree	5.2993
Travertine	0.0100
Alluvial sediments	0.5682
Fluvial terraces sediments	0.9771
River lake terrace	0.6454
Tertiary clastic sediments	3.0207
Mesozoic clastic sediments	1.2342
Mesozoic clastic and carbonate sediments	0.2065
Mesozoic carbonate sediments	0.0174
Volcaniclastic	0.0553
Igneous rocks	0.3577
Paleozoic clastic sediments	0.0150

The slope is represented by the reclassification of slope values into 7 classes (Tab. 3). The aspect of the relief is classified on 4 cardinal and 4 ordinal directions, while the curvature is presented as a combination of profile and planar curvature in 9 classes (Zevenbergen & Thorne, 1987).

Tab. 3. Morphometric terms and coefficients

Slope (°)	Value	Aspect	Value	Curvature	Value
< 2	0.3835	North	0.8525	1 - V/V	1.1701
2-5	1.1134	Northeast	0.5769	2 - Ge/V	1.1245
5-10	1.4853	East	0.6503	3 - X/V	0.6440
10-15	0.7828	Southeast	1.2365	4 - V/Gr	1.3178
15-20	0.3702	South	1.6594	5 - Ge/Gr	1.1919
20-30	0.1906	Southwest	1.2692	6 - X/Gr	0.9764
> 30	0.1045	West	1.1128	7 - V/X	0.8235
		Northwest	0.8500	8 - Ge/X	1.0505
				9 - X/X	0.8168

Watercourses were digitized from topographic maps scale 1:50,000, then buffer zones from watercourses were determined and divided into 6 classes. The first class is below 100 m, then 100 to 200 m, the third from 200 to 300 m, the fourth from 300 to 400 m, the fifth from 400 to 500 m and the sixth over 500 m (Tab. 4).

Tab. 4. Coefficients for land use and distance from watercourses

Land use	Value	Watercourses distance (m)	Value
Larger settlements	1.0273		
Industrial and commercial zones	0		
Non-irrigated agricultural areas	1.2272		
Vineyards	0		
Orchards	0	<100	1.3305
Meadows	0.5327	100-200	1.2771
Complex of agricultural plots	2.1237	200-300	1.1106
Agricultural land with natural vegetation	2.0204	300-400	0.9588
Deciduous forests		400-500	0.8230
Coniferous forests	0.2857	>500	0.4375
Mixed forests	0		
Pastures	0		
Woody-shrubby vegetation	0.0104		
Areas with sparse vegetation	0.5729		
	1.8185		

After overlapping all parameters with already existing landslides, the weight coefficients are calculated using the PM method, for each parameter individually. The sum of all classes of reclassified parameters resulted in the spatial distribution (LSI) in the study area. The obtained values of the LSI index are then reclassified into 4 classes of terrain susceptibility to landslides: low, medium, high and very high.

Results and Discussion

Forest fires and landslides are natural disasters that cause serious human and economic losses every year (Eriksen, 2021; Zhao et al., 2022; Martins et al., 2022). Therefore, it is inevitable to map terrain susceptibility to forest fires and landslides, in order to improve disaster management and mitigation strategies (Betts, 2017; Zhao et al., 2022; Li et al., 2022).

By analyzing thematic maps and their processing in geographic information systems, synthetic maps for basin endangerment were obtained.

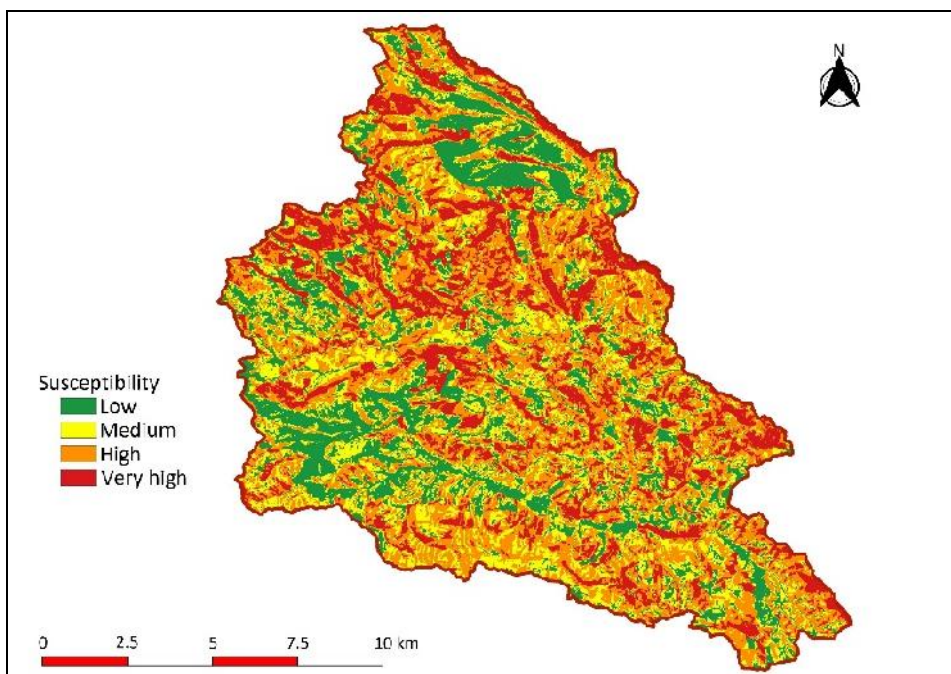


Fig. 2. Map of the terrain susceptibility of forest fires

Very high susceptibility occurs in 20.81% of the basin territory, it covers 151.11 km² of the territory (Fig. 2). High susceptibility is the most common and covers 35.73% of the study area (259.43 km²). The medium susceptibility covers 164.33 km² or 22.63% of the basin. Low susceptibility is the least represented with a share of 20.83% or 151.25 km² of the Svrliški Timok basin area (Tab. 5).

Tab. 5. Susceptibility to forest fires

Degree of susceptibility	Area (km ²)	Share in total area (%)
Very high	212.14	20.81
High	199.93	35.73
Medium	201.20	22.63
Low	112.91	20.83
Total	726.18	100.00

Very high susceptibility to forest fires is caused by specific natural and anthropogenic conditions. Terrains with a slope higher than 35°, with southern aspect and presence of coniferous and mixed forests, are most susceptible to forest fires. Also, the endangerment increases if the road distance is less than 150 m, buildings and settlements distance is less than 100 m. The most susceptible areas to wildfire occurrence are located along the drainage divide in the mountains surrounding the basin and in the central parts of the basin. Also, settlements in the farthest northeastern part of the basin, north of Knjaževac, are extremely endangered. Settlements with very high or high susceptibility to landslide occurrence are: Zorunovac, Slatina, Vina, Bulinovac, Balanovac, Sastavci, Grezna, Glogovac, part of Knjaževac, Rgošte, Podvis, Orešac, Vasilj, Šuman Topla, Beli Potok, Svrliška Topla, Palilula, Varoš, Miljkovac, Slivje, Lalinac, Grbavce, Plužina, Niševac, Merdželat, Prekonoga, Đurinac, Ribare, Željevo, Beloinje,

Okruglica, Željevo, Izvor, Drajinac, Vitanovac, Pajež, Miranovačka Kula, Periš, Lukovo, Guševac, Bučum, part of Svrljig and Krenta.

Low and medium susceptibility are represented mainly in the immediate proximity of water surfaces (Fig. 3).

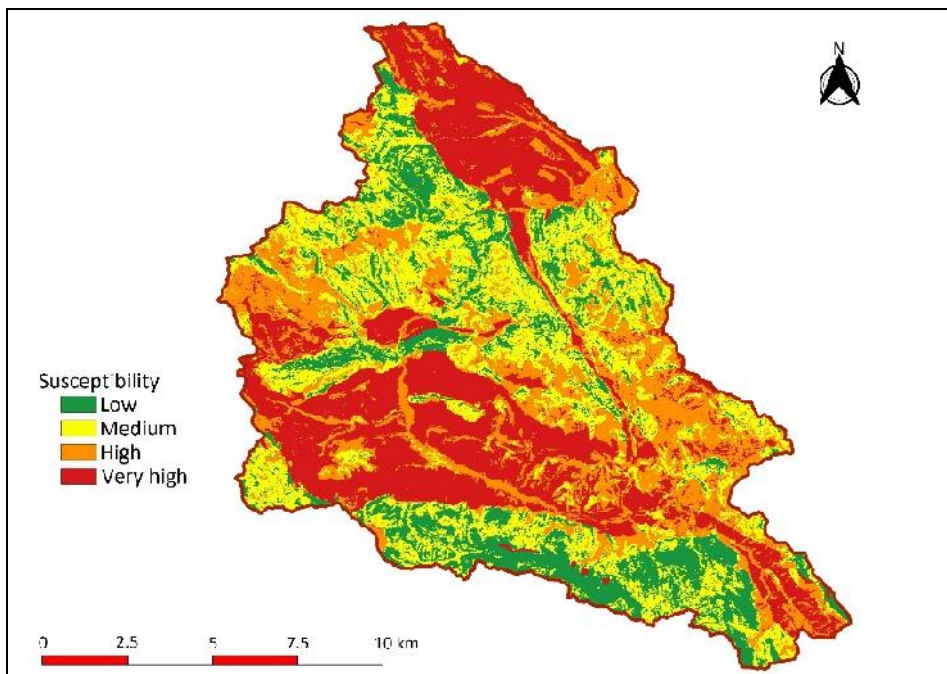


Fig. 3. Landslide susceptibility terrain map

Based on the processed data in geographic information systems, it can be concluded that classes of high and very high landslide endangerment are represented in more than 56% of the study area. Very high susceptibility occurs on 29.21% of the share in the total area of the basin and covers an area of 212.14 km². High susceptibility covers 27.53% of the share, or 199.93 km². On 27.71% of the catchment area, medium susceptibility occurs (201.2 km²), while low is the least represented, with a share of 15.55%, which is 112.91 km² (Tab. 6). The most endangered areas are in the central, southeastern and northeastern parts of the basin.

Tab. 6. Susceptibility to landslides

Degree of susceptibility	Area (km ²)	Share in total area (%)
Very high	212.14	29.21
High	199.93	27.53
Medium	201.20	27.71
Low	112.91	15.55
Total	726.18	100.00

In such terrains there is a synergy of natural conditions that creates the most favorable conditions for the occurrence of the landsliding. Of the rock types, the most susceptible to landslides are: scree, tertiary clastic sediments and Mesozoic clastic sediments. The largest number of landslides occurs on slopes between 2° and 10°. As

regards of aspects, the most susceptible areas to landslides are southern-facing slopes (south, southeast, southwest). When it comes to the curvature of the terrain, the most optimal are vertically flat, horizontally concave and completely linear terrains. An area less than 100 m away from rivers is most susceptible to landslides. Agricultural areas are exposed to intensive anthropopression and as such represent the most endangered terrains.

Settlements that are very high or highly susceptible to landslide occurrence are: Pajež, Kozja, Miranovačka Kula, Gulijan, Crnojevica, Okruglica, Merželat, Slivje, Lalinac, Plužina, Niševac, Davidovac, Radmirovac, Galibabinac, Mečji Do, Božinovac, Beli Potok, Palil, Svrliška Topla, Zorunovac, Balanovac, Bulinovac, Glogovac, Žrne, Ponor, Krenta, Bučum, Vlahovo, Šesti Gabar, Manojlica, Guševac.

Conclusion

Analysis of natural (geological, pedological, relief, hydrological, climatic, biogeographical) and anthropogenic (land use, distance from roads and settlements) conditions, obtained results on the vulnerability of the Svrliški Timok basin to forest fires and landslides. The following methods were used to estimate landslides: Probability and Landslide Susceptibility Index. It is concluded that very high susceptibility occurs at 29.21% and covers an area of 212.14 km², while high susceptibility covers 27.53% of the area, or 199.93 km². These classes appear in the area where the most favourable conditions to the emergence of this process are represented. To protect the population from the consequences of the landsliding process, it is necessary to implement prevention measures and eliminate landslide occurrence factors as much as possible. The presence of forest vegetation has great importance, because it would significantly reduce water runoff (Zivkovic et al., 2015).

The application of sustainability index to forest fires led to results which show that about 20.81% of the basin belongs to the class of very high risk of forest fires. These are mainly coniferous, deciduous and mixed forests that cover a significant place in the research area. The high susceptibility class occurs on 35.73% of the total catchment area.

In this way, the highest degree risk zones have been determined, which should first be taken into consideration when establishing monitoring systems, fire barriers, etc. Sensors can be installed in the endangered areas to monitor the area and at the same time to be alarms that would give a signal to the fire and local services to suppress and prevent such situations (Barmpoutis et al., 2020; Dampage et al., 2022). Similar sensors provided positive results in the natural park of Sierra Mariola in Spain (Molina-Pico et al., 2016). These methods could prevent natural disasters, which can have long-term consequences: from loss of forest fund, carbon dioxide emissions into the already polluted atmosphere, disruption of the natural balance, disruption of normal ecosystem functioning, loss of settlements to depletion of land cover (Тадич, 2020).

© 2022 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Publisher's Note: Serbian Geographical Society stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia.

References

- Barmoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., & Grammalidis, N. (2020). A Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing. *Sensors*, *20*, 6442.
- Betts, H., Basher, L., Dymond, J., Herzig, A., Marden, M. & Phillips, C. (2017). Development of a landslide component for a sediment budget model. *Environmental Modelling & Software*, *92*, 28-39.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (2014). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Abingdon, UK: Routledge.
- Bogosavljević, S., Zlatković, B. & Randelović, V. (2007). Flora klisure Svrljiškog Timoka. 9th Symposium on Flora of Southeastern Serbia and Neighbouring Regions, Niš.
- Dampage, U., Bandaranayake, L., Wanasinghe, R., Kottahachchi, K. & Jayasanka, B. (2022). Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning. *Scientific Reports*, *12*, 46.
- 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.
- Драгићевић, С. & Филиповић, Д. (2009). Природни услови и непогоде у планирању и заштити простора. Београд: Универзитет у Београду, Географски факултет. [Dragičević, S. & Filipović, D. (2009). *Природни услови и непогоде у планирању и заштити простора*. Београд: Универзитет у Београду, Географски факултет.]
- 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.
- Драгојевић, М. (2019). Примена ГИС-а у утврђивању угрожености Националног парка „Тара” бујичним поплавама и шумским пожарима. Завршни рад. Београд: Универзитет у Београду, Географски факултет. [Dragojević, M. (2019). *Primena GIS-a u utvrđivanju угрожености Nacionalnog parka „Tara” bujičnim poplavama i šumskim požarima*. Završni rad. Београд: Универзитет у Београду, Географски факултет.]
- Durlević, U. (2021). Assessment of torrential flood and landslide susceptibility of terrain: Case study – Mlava River Basin (Serbia). *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, *101*(1), 49-75.
- Durlević, U., Novković, I., Lukić, T., Valjarević, A., Samardžić, I., Krstić, F., Batočanin, N., Mijatov, M. & Čurić, V. (2021). Multihazard susceptibility assessment: A case study – Municipality of Štrpce (Southern Serbia). *Open Geosciences*, *13*(1), 1414-1431.
- Đukić, N. (2020). Prostorna i vremenska varijabilnost silikatnih algi (Bacillariophyta) i procena ekološkog statusa reke Timok. Doktorska disertacija. Sremska Kamenica: Univerzitet Educons, Fakultet zaštite životne sredine.
- Eriksen, C. (2022). Wildfires in the Atomic Age: Mitigating the Risk of Radioactive Smoke. *Fire*, *5*, 2.
- Gheshlaghi A.H, Feizizadeh, B. & Blaschke, T. (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, *63*(3), 481-499.

- Gigović, L., Pourghasemi, H.R., Drobnjak, S. & Bai, S. (2019). Testing a new ensemble model based on SVM and random forest in forest fire susceptibility assessment and its mapping in Serbia's Tara National Park. *Forests*, 10, 408.
- Kim, T., Hwang, S. & Choi, J. (2021). Characteristics of Spatiotemporal Changes in the Occurrence of Forest Fires. *Remote Sensing*, 13, 4940.
- Lerner, L.A. (2007). Assessing global exposure to natural hazards: Progress and future trends. *Environmental Hazards*, 7, 10-19.
- Li, L., Xu, C., Xu, X., Zhang, Z. & Cheng, J. (2022). Inventory and Distribution Characteristics of Large-Scale Landslides in Baoji City, Shaanxi Province, China. *International Journal of Geo-Information*, 11, 10.
- 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 Serbian case study. *Acta geographica Slovenica*, 57, 51-63.
- Lukić, T., Micić Ponjiger, T., Basarin, B., Sakulski, D., Gavrilov, M., Marković, S., Zorn, M., Komac, B., Milanović, M., Pavić, D., Mesaroš, M., Marković, N., Durlević, U., Morar, C. & Petrović, A. (2021). Application of Angot precipitation index in the assessment of rainfall erosivity: Vojvodina Region case study (North Serbia). *Acta geographica Slovenica*, 61(2), 123-153.
- Martins, A., Novais, A., Santos, J.L. & Canadas, M.J. (2022). Promoting Landscape-Level Forest Management in Fire-Prone Areas: Delegate Management to a Multi-Owner Collaborative, Rent the Land, or Just Sell It? *Forests*, 13, 22.
- Милијашевић, Д. (2014). Физичкогеографски фактори водног биланса и могућности одрживог коришћења водних ресурса у сливу Тимока. Докторска дисертација. Београд: Универзитет у Београду, Географски факултет. [Milijašević, D. (2014). Fizičkogeografski faktori vodnog bilansa i mogućnosti održivog korišćenja vodnih resursa u slivu Timoka. Doktorska disertacija. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.]
- Molina-Pico, A., Cuesta-Frau, D., Araujo, A., Alejandre, J. & Rozas, A. (2016). Forest Monitoring and Wildland Early Fire Detection by a Hierarchical Wireless Sensor Network. *Journal of Sensors*, 2016(3-4), 1-8.
- Novkovic, I., Markovic, G.B., Lukic, D., Dragicevic, S., Milosevic, M., Djurdjic, S., Samardzic, I., Lezaic, T. & Tadic, M. (2021). GIS-Based Forest Fire Susceptibility Zonation with IoT Sensor Network Support, Case Study—Nature Park Golija, Serbia. *Sensors*, 21, 6520.
- Parajuli, A., Gautam, P.A., Sharma, P.S., Bhujel, B.K., Sharma, G., Thapa, B.P., Bist, S.B. & Poudel, S. (2020). Forest fire risk mapping using GIS and remote sensing in two major landscapes of Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2569-2586.
- Сибиновић, М. (2008). Фактори и фазе економско-географског развоја Књажевца и околине. Књажевац: Књажевачки клуб „Бранко Миљковић“. [Sibinović, M. (2008). Faktori i faze ekonomsko-geografskog razvoja Knjaževca i okoline. Knjaževac: Knjaževački klub „Branko Miljković“.]
- Singh, S., Singh, H., Sharma, V., Shrivastava, V., Kumar, P., Kanga, S., Sahu, N., Meraj, G., Farooq, M. & Singh, S.K. (2022). Impact of Forest Fires on Air Quality in Wolgan Valley, New South Wales, Australia-A Mapping and Monitoring Study Using Google Earth Engine. *Forests*, 13, 4.
- Sirin, A. & Medvedeva, M. (2022). Remote Sensing Mapping of Peat-Fire-Burnt Areas: Identification among Other Wildfires. *Remote Sensing*, 14, 194.
- Тодић, М. (2020). Примена ГИС-а у анализи угрожености Парка природе „Шарган-Мокра Гора шумским пожарима“. Мастер рад. Београд: Универзитет у Београду, Географски факултет. [Tadić, M. (2020). Primena GIS-a u analizi ugroženosti Parka prirode „Šargan-Mokra Gora šumskim požarima“. Master rad. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.]
- Valjarević, A., Morar, C., Živković, J., Niemets, L., Kićović, D., Golijanin, J., Gocić, M., Martić-Bursač, N., Stričević, Lj., Žiberna, I., Bačević, N., Milevski, I., Durlević, U. & Lukić, T. (2021). Long term monitoring and connection between topography and cloud cover distribution in Serbia. *Atmosphere*, 12(8), 964.

- Yan, Z., Wei, F., Deng, X., Li, C., He, Q. & Qi, Y. (2022). Does the Policy of Ecological Forest Rangers (EFRs) for the Impoverished Populations Reduce Forest Disasters?-Empirical Evidence from China. *Forests*, *13*, 80.
- Zevenbergen, W. L. & Thorne, R. C. (1987). Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, *12*, 12-56.
- Zhao, P., Masoumi, Z., Kalantari, M., Aflaki, M. & Mansourian, A. (2022). A GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping and Variable Importance Analysis Using Artificial Intelligent Training-Based Methods. *Remote Sensing*, *14*, 211.
- Zhao, S., Zeng, R., Zhang, H., Meng, X., Zhang, Z., Meng, X., Wang, H., Zhang, Y. & Liu, J. (2022). Impact of Water Level Fluctuations on Landslide Deformation at Longyangxia Reservoir, Qinghai Province, China. *Remote Sensing*, *14*, 212.
- Zivkovic, N., Dragicevic, S., Ristic, R., Novkovic, I., Djurdjic, S., Lukovic, J., Zivkovic, Lj. & Jovanovic, S. (2015). Effects of Vegetation on Runoff in Small River Basins in Serbia. *Fresenius Environmental Bulletin*, *24*(6), 2082-2089.

Оригинални научни рад

UDC 007:912]:004:[551.515.9](282)(497.11)
<https://doi.org/10.2298/GSGD2201107C>

Примљено: 07. априла 2022.

Исправљено: 15. маја 2022.

Прихваћено: 25. маја 2022.

Владимир Ђурић¹*, Урош Дурлевић*, Немања Ристић*, Иван Новковић*, Нина Чегар*

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

ПРИМЕНА ГИС-А У АНАЛИЗИ УГРОЖЕНОСТИ ШУМСКИМ ПОЖАРИМА И КЛИЗИШТИМА У СЛИВУ СВРЉИШКОГ ТИМОКА (СРБИЈА)

Апстракт: Шумски пожари и клизишта представљају веома учестале природне непогоде у Србији. Слив Сврљишког Тимока налази се у југоисточном делу Републике Србије, и по природним карактеристикама представља подручје од значаја за проучавање геоазарда. Задатак истраживања јесте анализа природних и антропогених услова са циљем утврђивања локација које су подложне настанку шумских пожара и клизишта како би се заштитило становништво и инфраструктура. Применом географских информационих система (ГИС) и доступних података приступило се њиховој обради за подложност терена шумским пожарима применом RC индекса. За потребе анализе територије за настанак клизишта коришћени су статистички Probability метод (PM) и Landslide Susceptibility Index (LSI). Добијени резултати указују да је на 20,81% подручја слива Сврљишког Тимока заступљена врло висока подложност настанка шумских пожара, док је 29,21% терена изразито подложно настанку клизишта. Резултати добијени обрадом RC индекса могу се применити за адекватно управљање ризиком од шумских пожара, унапређење система мониторинга и раног упозоравања на истраживаном простору. Одрживо управљање пољопривредним површинама и унапређење заштите животне средине могуће је спровести на основу добијених резултата за најугроженија подручја клизиштима.

Кључне речи: ГИС, шумски пожари, клизишта, слив Сврљишког Тимока, животна средина

¹ vlado.curic@yahoo.com (аутор за кореспонденцију)

Увод

У 21. веку човечанство се све чешће суочава са природним катастрофама и њиховим последицама по животну средину. Прекомерна експлоатација природних ресурса, климатске промене, природне непогоде, неадекватно управљање отпадом и губитак биодиверзитета широм планете представљају велике изазове за човечанство (Lerner, 2007; Lukić et al., 2021; Durlević, 2021).

Простор Републике Србије угрожен је различитим природним непогодама: земљотресима, клизиштима, снежним лавинама, бујичним поплавама, сушама и шумским пожарима. Последице настале деловањем природних катастрофа могу бити значајне по становништво у људском и материјалом погледу (Blaikie et al., 2014; Novković et al., 2021; Sirin & Medvedeva, 2022; Singh et al., 2022). Појава и дистрибуција шумских пожара повезана је са сезонским и временским корелацијама истих (Kim et al., 2021).

Шумски пожари представљају неконтролисано сагоревање које се стихијски шири на простору под шумом. Изазивају јасно уочљиве и изражене промене биогеографских услова, а ефекат који имају на животну средину зависи од њихове величине, дужине трајања и интензитета (Драгићевић & Филиповић, 2009; Драгојевић, 2019). Тренд шумских пожара у Србији и Европи се у последњих неколико деценија повећава. Садејство повећане глобалне температуре ваздуха и људских активности узрокује пораст броја шумских пожара (Lukić et al., 2017; Durlević et al., 2021). Интензивни топлотни таласи у Србији забележени су током 2007. и 2012. године, када је више од 1000 пожара угрозило људске животе, инфраструктуру и шумске екосистеме. Према постојећим подацима, у Србији су на 31,1% територије заступљене шумске заједнице (Gigović et al., 2019). На простору слива Сврљишког Тимока, проценат површине под шумама је нешто већи од просека, и износи 34,1%.

Клижење тла се дефинише као процес настао услед померања делова откинутих маса под дејством силе земљине теже. Синергијом специфичних геолошких, хидролошких, рељефних, климатских и биогеографских карактеристика под утицајем силе гравитације, могуће је стварање и покретање клизишта. Према доступним резултатима, утврђено је да је 25% површине Републике Србије подложно настанку клизишта и одрона (Dragicević et al., 2011; Dragičević et al., 2012).

На територији слива Сврљишког Тимока услед постојања специфичне геолошке подлоге (сипар, неогени седименти) постоје предуслови за формирање клижења тла. На истраживаном подручју идентификована су како рецентна, тако и палео-клизишта.

Ради бољег приказа угрожености терена, географски информациони системи (ГИС) нашли су велику примену у савременим истраживањима. Моделовање података у ГИС представља ефикасан и поуздан алат за израчунавање и опис података о ефектима потенцијалних опасности (Gheshlaghi et al., 2020; Parajuli et al., 2020; Valjarević et al., 2021). Циљ рада јесте да обрадом природних и антропогених услова прикаже и издвоји подручја у сливу која су врло осетљива на појаву шумских пожара и клизишта. Адекватан приказ угрожених територија омогућио би ефикасније управљање животном средином од стране служби надлежних за управљање ванредним ситуацијама, заштиту природе и др (Yan et al., 2022).

Материјали и методе

Простор истраживања

Слив Сврљишког Тимока налази се у Источној Србији и заузима површину од 726,10 km². Слив је ограничен на југу Сврљишким планинама, где се уједно налази и највиша тачка у сливу – Зелени врх, са надморком висином од 1334 m. На истоку се вододелница пружа врховима планине Тресибабе, и спушта у Књажевачку котлину, где се Сврљипки Тимок спаја са Трговишким Тимоком, формирајући Бели Тимок. На северу слив се пружа до источних падина Девице и врха Конђил (663 m). Са западне стране слив је ограничен планинама: Девица, Голак и Калафат (Сл. 1).

У административном погледу, територији слива припадају општине: Књажевац, Сокобања, Сврљиг, Ниш, Нишка Бања, Бела Паланка и Пирот.

Сл. 1. Географски положај слива (стр. 109)

Геолошку грађу слива Сврљишког Тимока чине стене различитог састава које датирају из различитих геолошких периода. Заступљене су две врсте стена, магматске и седиментне. Доминирају мезозојски кластични и карбонатни седименти (50% површине слива) и терцијарни кластични седименти (29,7% површине слива) (Bogosavljević et al., 2007).

У речним долинама слива Тимока смењују се алувијални наноси (флувисоли), смоница и земљишта на глиновитој подлози. Флувисоли се формирају таложењем ношених материјала у речним долинама за време поплава и заступљени су дуж Сврљишког Тимока као и дуж мањих водотокова. Ова врста земљишта формирана је у уским долинама река у брдско-планинском подручју спирањем супстрата са виших терена, бујичним водотоцима и рецентном седиментацијом тако еродираниог материјала у подножју тих терена (Сибиновић, 2008; Đukić, 2020).

Са геоморфолошког аспекта, анализом хипсометријских карактеристика слива Сврљишког Тимока утврђено је да се 44,84% територије налази у зони 400–600 m надморске висине, а да средња надморска висина износи 587,73 m. Највиша тачка налази се на 1334 m (Зелени врх – Сврљишке планине), а најнижа на 213 m (ушће реке у Трговишки Тимок).

На истраживаном подручју присутан је нагиб терена од 0°, па све до 70° који је присутан углавном у јужним и централним деловима слива. Средњи нагиб износи 9,66°. Што се експозиције терена тиче, најприсутније су источна (17,78%) и североисточна (15,97%).

Високи планински венци Сврљишких планина спречавају веће продоре ваздушних маса са југа, а продоре континенталних ваздушних маса, са севера, задржава планина Тресибаба, тако да орографски фактори значајно утичу на климатске карактеристике слива. Просечна годишња температура ваздуха износи 7,97°C, док је просечна годишња сума падавина 704,1 mm.

Сврљипки Тимок настаје спајањем три мање крашке реке код села Округлица у Сврљишкој котлини. То су Турија, Манојличка река и Висовска река. Река је изградила композитну долину са 3 котлине (Сврљипска, Арошка и Књажевачка) и две клисуре (клисура код Нишевца и Сврљипска клисура) (Милијашевић, 2014). Површина слива износи 726,10 km², а дужина Сврљишког Тимока

је 64,25 km. Укупна дужина свих површинских токова у сливу је 888,41 km, а густина речне мреже износи 1,22 km/km².

Погодности фактора природне средине, а посебно климе са обиљем влаге, условиле су појаву разноврсног биљног покривача. Према доступним подацима, једна трећина слива прекривена је листопадним шумама, док 22,43% територије представљају комплекси пољопривредних парцела. Основу фауне чине медитерански, суб-медитерански, средњеевропски и средњобалкански ендемски типови са незнатним примесама источноевропских врста. Од крупне дивљачи заступљени су срна, фазан, дивља свиња, вук, лисица и медвед.

Методологија

Шумски екосистеми су вековима изложени различитим поремећајима, а нарочито пожарима. Како би се открило која подручја су најугроженија шумским пожарима коришћена је формула (Erten et al., 2004):

$$RC = 7VT + 5(S + A) + 3(DR + DS), \quad (1)$$

где је: RC – индекс подложности настанку шумских пожара, VT – индекс типа вегетације, S – индекс нагиба терена, A – индекс експозиције, DR – индекс удаљености од саобраћајница и DS – индекс удаљености од насеља и изграђених објеката.

Начин коришћења земљишта је фактор који највише утиче на настанак шумских пожара, затим следе нагиб и експозиција, који утичу на брзину ширења пожара. Шумски пожари се шире брже на већим нагибима и на присојним странама Сунчеви зраци падају под већим углом, трајање радијације је дуже, самим тим је и загревање веће. Јужне, југоисточне и југозападне падине су погодне за хелиофитне шуме које су осетљивије на пожаре. Сваком од фактора је анализиран и у ГИС софтверу додељена је вредност од 1 (најмање подложне шумским пожарима) до 5 (најподложније).

Таб. 1. Класе индекса за израчунавање подложности настанку шумских пожара (Erten et al., 2004)

Вредност	Тип вегетације и нач. коришћења земљишта	Угао наг. терена [°]	Експозиција рељефа	Удаљеност од саобраћајница [m]	Удаљеност од насеља и објеката [m]
1	Водене површине	<5	N	>600	>400
2	Пољ. Површине, насеља, оскудна вегетација	5-10	неекспонирано	450-600	300-400
3	Ливаде и пашњаци	10-25	E	300-450	200-300
4	Листопадне шуме	5-35	W	150-300	100-200
5	Четинарске и мешовите шуме	>35	S	<150	<100

Индекс вегетације добијен је на основу базе података CORINE Land Cover (2018), где су различитим типовима вегетације додељене вредности од 1 до 5 у зависности од нивоа подложности одређене класе настанку шумских пожара (Таб. 1).

За добијање индекса нагиба терена коришћен је дигитални модел висина – EU-DEM просторне резолуције 25 m, из кога је добијен нагиб терена у степенима, затим је подељен у класе на основу вредности из табеле.

Индекс експозиције је израчунат као и индекс нагиба, из дигиталног модела висина, при чему је добијен угао азимута, затим је извршена класификација на четири основне стране света и додељена им је вредност од 1 до 5.

Како би се израчунао индекс удаљености од различитих објеката и саобраћајница коришћени су сателитски снимци и топографске карте. Извршена је дигитализација садржаја, а затим су одређене бафер зоне одговарајуће ширине. За путеве је узета удаљеност од 150 m и сврстана је у 5 категорија (од 150 до преко 600 m). Узети су у обзир сви путеви који се налазе на овој површини: локални, земљани и шумски, који утичу на могућност појаве пожара. Такви путеви се користе за илегалне сече шума, као и за друге активности, приликом којих може доћи до случајног пожара.

За прорачун предиспонираности терена за настанак процеса клижења тла коришћен је Probability method (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):

$$W_{ij} = A_{ij}' \cdot (A - A')A' \cdot (A_{ij} - A_{ij}'), \quad (2)$$

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.

Затим се врши интеграција различитих фактора и класа у јединствени индекс подложности процесу клижењу тла (Landslide Susceptibility Index – LSI), што се постиже на основу формуле (Voogd, 1983):

$$LSI = \sum_{i=1}^n w_{ij}, \quad (3)$$

где је W_{ij} – вредност сваке класе. Коначно, све добијене вредности индекса класификују се у четири категорије могућности појаве клизишта (ниска, средња, висока и врло висока). За примену овог метода потребни су пре свега подаци о постојећим клизиштима на простору истраживане територије, који су у векторском формату преузети из базе података о клизиштима у Источној Србији (Dragićević et al, 2011).

Параметри који су узети у обзир приликом прорачуна подложности терена настанку клизишног процеса су: геолошка грађа, геоморфолошке карактеристике терена (нагиб терена, експозиција, закривљеност), намена земљишта (CORINE Land Cover, 2018), као и удаљеност од водотока.

Подаци о геолошкој грађи терена добијени су дигитализацијом садржаја са геолошке карте размера 1:100.000 (Таб. 2). Рељефне карактеристике добијене су из EU-DEM.

Таб. 2. Геолошка грађа и коефицијенти

Геолошка грађа	Коефицијенти
Сипар	5,2993
Бигар	0,0100
Алувијални седименти	0,5682
Седименти речне терасе	0,9771
Речно-језерска тераса	0,6454
Терцијарни кластични седименти	3,0207
Мезозојски кластични седименти	1,2342
Мезозојски кластични и карбонатни седименти	0,2065
Мезозојски карбонатни седименти	0,0174
Вулканокластити	0,0553
Магматске стене	0,3577
Палеозојски кластични седименти	0,0150

Нагиб терена представљен је рекласификацијом вредности нагиба у 7 класа (Таб. 3). Експозиција рељефа класификована је на 4 главне и 4 помоћне стране света, док је закривљеност представљена у виду комбинације профилне и планарне закривљености у 9 класа (Zevenbergen & Thorne, 1987).

Таб. 3. Морфометријски услови и коефицијенти

Нагиб терена (°)	Вредност	Експозиција	Вредност	Закривљеност терена	Вредност
< 2	0,3835	Север	0,8525	1 - V/V	1,1701
2-5	1,1134	Североисток	0,5769	2 - Ge/V	1,1245
5-10	1,4853	Исток	0,6503	3 - X/V	0,6440
10-15	0,7828	Југоисток	1,2365	4 - V/Gr	1,3178
15-20	0,3702	Југ	1,6594	5 - Ge/Gr	1,1919
20-30	0,1906	Југозапад	1,2692	6 - X/Gr	0,9764
> 30	0,1045	Запад	1,1128	7 - V/X	0,8235
		Северозапад	0,8500	8 - Ge/X	1,0505
				9 - X/X	0,8168

Речни токови дигитализовани су са топографских карата размера 1:50.000, затим су одређене бафер зоне удаљености од водотока и подељене у 6 класа. Прва класа износи испод 100 m, затим следи од 100 до 200 m, трећа од 200 до 300 m, четврта од 300 до 400 m, пета од 400 до 500 m и шеста преко 500 m (Таб. 4).

Таб. 4. Коэффициенти за намену земљишта и удаљеност од река

Немена земљишта	Вредност	Удаљеност од водотока (m)	Вредност
Већа насеља	1,0273		
Индустријске и комерцијалне зоне	0		
Ненаводњаване пољ. површине	1,2272		
Виногради	0		
Воћњаци	0	<100	1,3305
Ливаде	0,5327	100-200	1,2771
Комплекс пољ. парцела	2,1237	200-300	1,1106
Пољ. површине са прир. вегетацијом	2,0204	300-400	0,9588
Листопадне шуме	0,2857	400-500	0,8230
Четинарске шуме	0	>500	0,4375
Мешовите шуме	0		
Пашњаци	0,0104		
Дрвенасто-жбунаста вегетација	0,5729		
Површине са оскудном вегетацијом	1,8185		

Након преклапања свих параметара са већ постојећим клизиштима приступа се додели тежинских коефицијената, за сваки параметар појединачно, прорачунат применом РМ методе. Сумом свих класа рекласификованих параметара добија се просторни распоред (LSI) на територији истраживања. Добијене вредности LSI индекса се затим рекласификују на 4 класе подложности терена клижењу тла: ниска, средња, висока и врло висока.

Резултати и дискусија

Шумски пожари и клизишта представљају природне непогоде које сваке године изазивају озбиљне људске и економске губитке (Eriksen, 2021; Zhao et al., 2022; Martins et al., 2022). Због тога је неопходно извршити мапирање подложности терена шумским пожарима и клизиштима ради побољшања управљања катастрофама и унапређење стратегија за ублажавање последица (Betts, 2017; Zhao et al., 2022; Li et al., 2022).

Анализом тематских карата и њиховом обрадом у географским информацио-ним системима, добијене су синтезне карте за угроженост слива.

Сл. 2. Карта подложности терена за настанак шумских пожара (стр. 115)

Врло висока подложност јавља се на 20,81% територије слива, односно обухвата 151,11 km² површине територије (Сл. 2). Висока подложност је најзаступљенија и покрива 35,73% истраживаног простора (259,43 km²). Средња подложност обухвата 164,33 km² односно 22,63% удела у сливу. Најмање заступљена је ниска подложност са уделом од 20,83%, тј. 151,25 km² површине слива Сврљишког Тимока (Таб. 5).

Таб. 5. Подложност настанка шумских пожара

Степен подложности	Површина (km ²)	Удео у ук. површини (%)
Врло висока	212,14	20,81
Висока	199,93	35,73
Средња	201,20	22,63
Ниска	112,91	20,83
Укупно	726,18	100,00

Врло висока подложност за настанак шумских пожара предиспонирана је специфичним природним и антропогеним условима. Терени са нагибом већим од 35° који су окренути ка јужној експозицији и одликују се присуством четинарских и мешовитих шума, најподложнији су настанку шумских пожара. Такође, угроженост се повећава уколико је удаљеност простора од саобраћајница мања од 150 m, а од објеката и насељених места мања од 100 m. Подручја која су најподложнија за настанак пожара налазе се уз развође на планинама које окружују слив, као и у централним деловима. Такође, изузетно су угрожена насељена места у крајњем североисточном делу слива, северно од Књажевца. Насеља која су врло високо или високо подложна настанку клизишта су: Зоруновац, Слатина, Вина, Булиновац, Балановац, Саставци, Грезна, Глоговац, део Књажевца, Ргоште, Подвис, Орешац, Васиљ, Шуман Топла, Бели Поток, Сврљишка Топла, Палилула, Варош, Миљковац, Сливје, Лалинац, Грбавче, Плужина, Нишевац, Мерцелат, Преконога, Ђуринац, Рибаре, Жељево, Белоиње, Округлица, Жељево, Извор, Драјинац, Витановац, Пајеж, Мирановачка Кула, Периш, Луково, Гушевац, Бучум, део Сврљига и Крента.

Ниска и средња подложност заступљене су углавном у непосредној близини водених површина (Сл. 3).

Сл. 3. Карта подложности терена за формирање клизишта (стр. 116)

На основу обрађених података у географским информационим системима, може се закључити да су класе високе и врло високе угрожености терена клизиштима заступљене на више од 56% истраживаног простора. Врло висока подложност јавља се на 29,21% удела у укупној површини Слива и заузима површину од 212,14 km². Висока подложност заузима 27,53% удела, односно 199,93 km². На 27,71% површине слива јавља се средња подложност (201,2 km²), док је ниска најмање заступљена, са уделом од 15,55%, што је 112,91 km² (Таб. 6). Подручја која су најугроженија налазе се у централном, југоисточном и североисточном делу слива.

Таб. 6. Подложност настанка шумских пожара

Степен подложности	Површина (km ²)	Удео у ук. површини (%)
Врло висока	212,14	29,21
Висока	199,93	27,53
Средња	201,20	27,71
Ниска	112,91	15,55
Укупно	726,18	100,00

На оваквим теренима јавља се синергија природних услова која ствара најповољније услове за настанак клизишног процеса. Од литолошке грађе, стене најподложније клижењу тла су: сипари, терцијарни кластични седименти и мезозојски кластични седименти. Највећи број клизишта јавља се на нагибима између 2° и 10°. Што се тиче експозиције, терени најподложнији клизиштима окренути су ка при-

сојним странама (југ, југоисток, југозапад). Када је у питању закривљеност терена, најпогоднији су вертикално равни а хоризонтално конкавни и потпуно линеарни терени. Простор удаљен од река мање од 100 m најподложнији је клижењу тла. Пољопривредне површине подложне су интензивној антропопресији и као такве представљају најугроженије терене.

Насеља која су врло високо или високо подложна настанку клизишта су: Пајеж, Козја, Мирановачка Кула, Гулијан, Црнојевица, Округлица, Мерделат, Сливје, Лалинац, Плужина, Нишевац, Давидовац, Радмировац, Галибабинац, Мечји До, Божиновац, Бели Поток, Палилула, Сврљишка Топла, Зоруновац, Балановац, Булиновац, Глоговац, Жрне, Понор, Крента, Бучум, Влахово, Шести Габар, Манојлица, Гушевац.

Закључак

Анализом природних (геолошки, педолошки, рељефни, хидролошки, климатски, биогеографски) и антропогених (намена земљишта, удаљеност простора од саобраћајница и насеља) услова, добијени су резултати о угрожености слива Сврљишког Тимока шумским пожарима и клизиштима. За процену клизишта коришћене су методе: Probability и Landslide Susceptibility Index. Констатовано је да се врло висока подложност јавља се на 29,21% и заузима површину од 212,14 km², док висока подложност заузима 27,53% површине, односно 199,93 km². Ове класе јављају се на теренима на којима су заступљени услови који највише погодују настанку овог процеса. Како би се извршила заштита становништва од последица процеса клижења тла, потребно је спроводити мере превенције и у што већој мери елиминисати факторе настанка клизишта. Од великог је значаја присуство шумске вегетације која би у значајној мери редуковала отицање воде (Zivković et al., 2015).

Применом индекса подложности шумским пожарима дошло се до резултата који показују да око 20,81% територије целокупног слива припада класи врло високе угрожености шумским пожарима. То су углавном четинарске, листопадне и мешовите шуме које заузимају значајно место у простору истраживања. Класа високе подложности јавља се на 35,73% укупне површине слива.

На овај начин су одређене ризичне зоне највишег степена, на које би требало прво обратити пажњу приликом установљавања система мониторинга, противпожарних препрека и слично. На угроженим просторима могу се поставити сензори који би вршили мониторинг простора и уједно били и узбуњивачи који би дали сигнал ватрогасним и локалним службама за сузбијање и спречавање оваквих ситуација (Varnpoutis et al., 2020; Dampage et al., 2022). Овакви сензори дали су позитивне резултате у природном парку Мариола у Шпанији (Molina-Pico et al., 2016). Помоћу ових метода могле би да се спрече природне непогоде, које могу да имају далекосежне последице: од губитка шумског фонда, емисије угљендиоксида у већ загађену атмосферу, нарушавање природне равнотеже, прекидање нормалног функционисања екосистема, губитка насеља до осиромашења земљишне покривке (Тадић, 2020).

© 2022 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)