

DETERMINISTIC MODELING OF LANDSLIDE AND ROCKFALL RISK

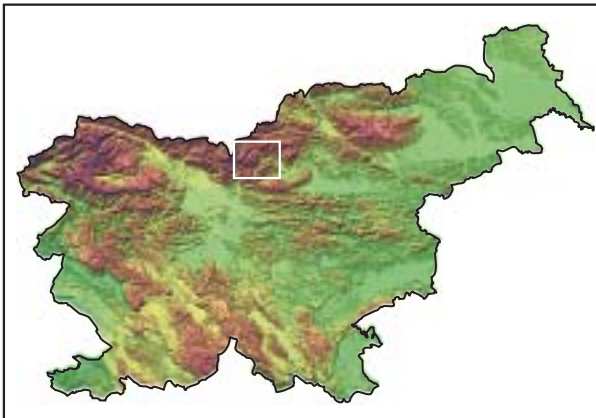
DETERMINISTIČNO MODELIRANJE OGROŽENOSTI ZARADI ZEMELJSKIH PLAZOV IN SKALNIH PODOROV

Matija Zorn
Blaž Komac



Landslide in village of Raduha in the source area of a larger fossil landslide
(photography Matija Zorn, August 25, 2000).

Zemeljski plaz v vasi Raduha se je sprožil v plazni kotanji večjega fosilnega
zemeljskega plazu (fotografija Matija Zorn, 25. 8. 2000).



Deterministic modeling of landslide and rockfall risk

UDC: 551.4:528.9

COBISS: 1.01

ABSTRACT: The article presents two deterministic methods for the elaboration of landslide and rockfall source area maps and, considering human activity in the landscape, for the elaboration of landslide and rockfall risk maps.

Risk maps are one of the fundamental bases for protection against natural disasters since they illustrate the risks to areas of human activity due to various natural processes.

Using the weighting method and for the first time the matrix method, we established the extent of landslide and rockfall source areas in the Upper Savinja Valley and the risk due to these processes relative to settlement, roads, land use, and rivers and streams.

The methodology for elaborating maps using both approaches is described in detail as well as the differences between them.

The basic purpose of risk maps is to direct human encroachment in the landscape to safe areas.

KEYWORDS: geomorphology, geomorphic processes, landslide, rockfall, risk map

The editorial ship received this paper for publishing in October 20th 2004.

Deterministično modeliranje ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov

UDK: 551.4:528.9

COBISS: 1.01

IZVLEČEK: Predstavljamo deterministični metodi za izdelavo kart plazovitih in podornih območij ter, ob upoštevanju človekovega delovanja v pokrajini, za izdelavo kart ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov.

Karte ogroženosti so ena od temeljnih podlag za varovanje pred naravnimi nesrečami. Prikazujejo ogroženost območij človekove dejavnosti zaradi različnih naravnih procesov.

Podrobno je opisana metodologija izdelave kart z obema metodama ter razlike med njima.

Z metodo ponderiranja in s prvič uporabljeno metodo matrik smo določili obseg plazovitih in podornih območij v Zgornji Savinjski dolini ter ogroženost zaradi teh procesov glede na poselitve, državne ceste, rabo tal in vodotoke.

Temeljni namen kart ogroženosti je usmerjanje človekovih posegov v pokrajini na varna območja.

KLJUČNE BESEDE: geomorfologija, geomorfni procesi, zemeljski plaz, skalni podor, karta ogroženosti

Prispevek je prispel v uredništvo 20. oktobra 2004.

ADDRESSES – NASLOVA:

Matija Zorn, B. Sc.

Anton Melik Geographical Institute
Scientific Research Centre of the Slovenian Academy
of Sciences and Arts

Gosposka ulica 13
SI – 1000 Ljubljana

Slovenia

Phone – telefon: +386 (1) 470 63 48

Fax – faks: +386 (1) 425 77 93

E-mail – e-pošta: matija.zorn@zrc-sazu.si

Blaž Komac, M. Sc.

Anton Melik Geographical Institute
Scientific Research Centre of the Slovenian Academy
of Sciences and Arts

Gosposka ulica 13
SI – 1000 Ljubljana

Slovenia

Phone – telefon: +386 (1) 470 63 57

Fax – faks: +386 (1) 425 77 93

E-mail – e-pošta: blaz.komac@zrc-sazu.si

Contents

1	Introduction	57
2	Use of risk maps in Slovenia and abroad	57
3	Methodology of elaboration of maps	58
3.1	The method of weighting influential factors	58
3.2	The matrix method	60
4	Landslide and rockfall areas in the Upper Savinja Valley	69
4.1	Surface characteristics	69
4.2	Results of calculations	71
4.2.1	Differences in calculated results using the two methods	72
5	Landslide and rockfall risk areas in the Upper Savinja Valley	73
5.1	Settlement risk areas	73
5.1.1	Landslide risk to settlement areas	73
5.1.2	Rockfall risk to settlement areas	74
5.2	Risk to roads	75
5.2.1	Roads at risk due to landslides	75
5.2.2	Roads at risk due to rockfalls	76
5.3	Risk to land use categories	77
5.3.1	Landslide risk to land use categories	77
5.3.2	Rockfall risk to land use categories	78
5.4	Risk to rivers and streams	79
5.4.1	Landslide risk to rivers and streams	80
5.4.2	Rockfall risk to rivers and streams	81
6	Conclusion	81
7	References	83

Vsebina

1	Uvod	84
2	Uporaba kart ogroženosti v Sloveniji in tujini	84
3	Metodologija izdelave kart	85
3.1	Metoda ponderiranja vplivnih dejavnikov	85
3.2	Metoda matrik	87
4	Plazovita in podorna območja v Zgornji Savinjski dolini	90
4.1	Značilnosti površja	90
4.2	Rezultati izračunov	91
4.2.1	Razlike v izračunih med metodama	92
5	Ogrožena območja zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov v Zgornji Savinjski dolini	92
5.1	Ogroženost območij poselitve	92
5.1.1	Ogroženost območij poselitve zaradi zemeljskih plazov	92
5.1.2	Ogroženost območij poselitve zaradi skalnih podorov	93
5.2	Ogroženost državnih cest	94
5.2.1	Ogroženost državnih cest zaradi zemeljskih plazov	94
5.2.2	Ogroženost državnih zaradi skalnih podorov	95
5.3	Ogroženost zemljiških kategorij	95
5.3.1	Ogroženost zemljiških kategorij zaradi zemeljskih plazov	95
5.3.2	Ogroženost zemljiških kategorij zaradi skalnih podorov	96
5.4	Ogroženost vodotokov	97
5.4.1	Ogroženost vodotokov zaradi zemeljskih plazov	97
5.4.2	Ogroženost vodotokov zaradi skalnih podorov	98
6	Sklep	99
7	Literatura	100

1 Introduction

Using the example of the Upper Savinja Valley, we present two deterministic methods for the elaboration of landslide and rockfall source area maps (hazard maps), that is, geomorphic process maps for landslides and rockfalls, and, considering human activity in the landscape, for the elaboration of landslide and rockfall risk maps.

The methods for the elaboration of such maps are divided into direct (qualitative) or empirical and indirect (quantitative) methods. The direct method is the method of geomorphological mapping. The precision of this method depends on the experience and knowledge of those doing the mapping, and therefore these products require more time for elaboration. They are subjective, but because of the field work they are also more precise – albeit more expensive – than maps elaborated using indirect methods (van Westen et al. 1999, 137).

Indirect methods are divided into probabilistic or statistical and deterministic. The elaboration of maps using indirect methods is less expensive and quicker. Deterministic methods are also subjective. Using probabilistic methods, we determine the intensity and dimensions of processes by comparing indirectly selected landscape elements and the actual situation (van Westen et al. 1999, 137; Komac 2003, 16).

In preparing this article, we used the method of weighting influential factors that has previously been used in Slovenia (see Pečnik 2002; Natek et al. 2003; Ribičič et al. 2003), and we also developed a new method, the so-called »matrix« method.

Using the two methods, we defined the size of landslide and rockfall source areas and the differences in landslide and rockfall risk relative to settlement, roads, land use, and rivers and streams.

Risk maps are a model and present only that part of actual or truly present risk defined by the variables or influential factors employed. The actual risk is higher than the established risk because there also are other unknown or unpredictable factors that influence the occurrence of rockfalls and landslides. The »unfortunate coincidence of circumstances« is also a possible cause. The actual risk can also be lower because the time dimension of natural events is completely different to human conception of time (Komac et al. 2004).

2 Use of risk maps in Slovenia and abroad

Risk maps are elaborated from maps of natural processes that illustrate the distribution of natural processes and their intensity and the consideration of human activities in the landscape. Risk maps are one of the fundamental bases for protection against natural disasters since they illustrate the risks due to various natural processes to areas of human activity or habitation. On their basis, we can determine the suitability of an area for a particular use (Mikoš 1997, 5). In Slovenia, the practice of elaborating risk maps is not yet common, but in future such maps will become an important factor in the spatial development of Slovenia. The goals related to reducing the risk from natural and other disasters proclaimed in the *Strategy of Spatial Development of Slovenia (Strategija 2003)* include among others that the rational use of space and the safety of the population should be ensured by suitable planning (p. 6), that spatial development should be oriented outside of areas that are at risk by natural or other disasters and that protection from their consequences should be improved (p. 7), and that spatial development in risk areas should be adapted to the degree of risk (p. 18).

In some alpine countries, defining risk areas is a widespread and legislated form of protection from natural disasters (Mikoš 1997, 2). In Austria, the elaboration of risk maps of »torrerial and landslide areas« was required in 1975 by the law on forests (Forstgesetz 1975) and further by a special decree in 1976 (Verordnung 1976). These are public documents and must be used in spatial planning and the construction of objects (Komac and Zorn 2002, 179). Slovenia has a cadastre of landslides (Ribičič et al. 1994; Medmrežje 1)

and of avalanches (Horvat 2001, 137; Pavšek 2002, 25), but they are not linked and are not available to the public. Among others, insurance companies abroad frequently employ such maps. The wrong attitude of certain institutions in Slovenia could be recognized from the argumentation of the decision to reject the financing of the 'Atlas of natural and other risks to Slovenia': »From the viewpoint of natural and other disasters, an atlas of risks to Slovenia can only present a picture of the situation at a specific time and can not be the basis for ensuring the readiness of the country for natural and other disasters because the assessments of risk change as the factors that influence the assessment of risk change« (Ministrstvo 2004).

3 Methodology of elaboration of maps

For the elaboration of geomorphic process maps illustrating landslide and rockfall source areas, we considered four influential factors: lithology, slope, maximum 24-hour precipitation, and forest cover. The information layers employed were in raster form, and the modeling was done with the Idrisi software program.

For the elaboration of the lithology threat map, we used a 1:100,000-scale geological map (Mioč et al. 1983; Premru 1983) and calculated slope using a digital elevation model with a basic cell of 25×25 meters (Podobnikar et al. 2000). For the influence of maximum precipitation, we used the 1:250,000-scale *Maximum 24-Hour Precipitation Map for a 100-year Return Period (Maksimalne 1995)*. We obtained the forest cover data from the local unit of the Forestry Survey in Nazarje.

For the elaboration of the landslide and rockfall risk map, we combined the landslide source area map (landslide hazard map) with the rockfall source area map (rockfall hazard map) and compared the acquired data layer with sociogeographical elements.

3.1 The method of weighting influential factors

The majority of maps of geomorphic processes in Slovenia were elaborated using the method of weighting influential factors; however, maps of the landslide and rockfall risk had not yet been elaborated.

For each of the influential factors, we first elaborated two maps, one for landslides and the other for rockfalls, that illustrated the degree of threat. We determined the degree of threat on the basis of our own knowledge and the available literature.

Due to the different scales used to measure individual factors, it was necessary to standardize the individual influential factors (Pečnik 2002, 70) and convert their absolute values into relative values by dividing the values within a layer by its highest value. In this way, we can compare different maps (Perko 1992, 74).

The influence of different factors on the occurrence of slope processes is not equal and therefore each factor must be weighted. The basic requirement of weighting is that the sum of all weights equals 1. Defining weights is subjective since we must judge how much weight to give an individual factor (Pečnik 2002, 70), particularly where it is difficult to rely on the literature. Using standardization and weighting, we elaborate partial maps.

Table 1: Employed weighting of influential factors.

	Landslides	Rockfalls
Slope	2/5	7/10
Lithology	2/5	3/10
24-hour maximum precipitation	1/10	–
Forest cover	1/10	–

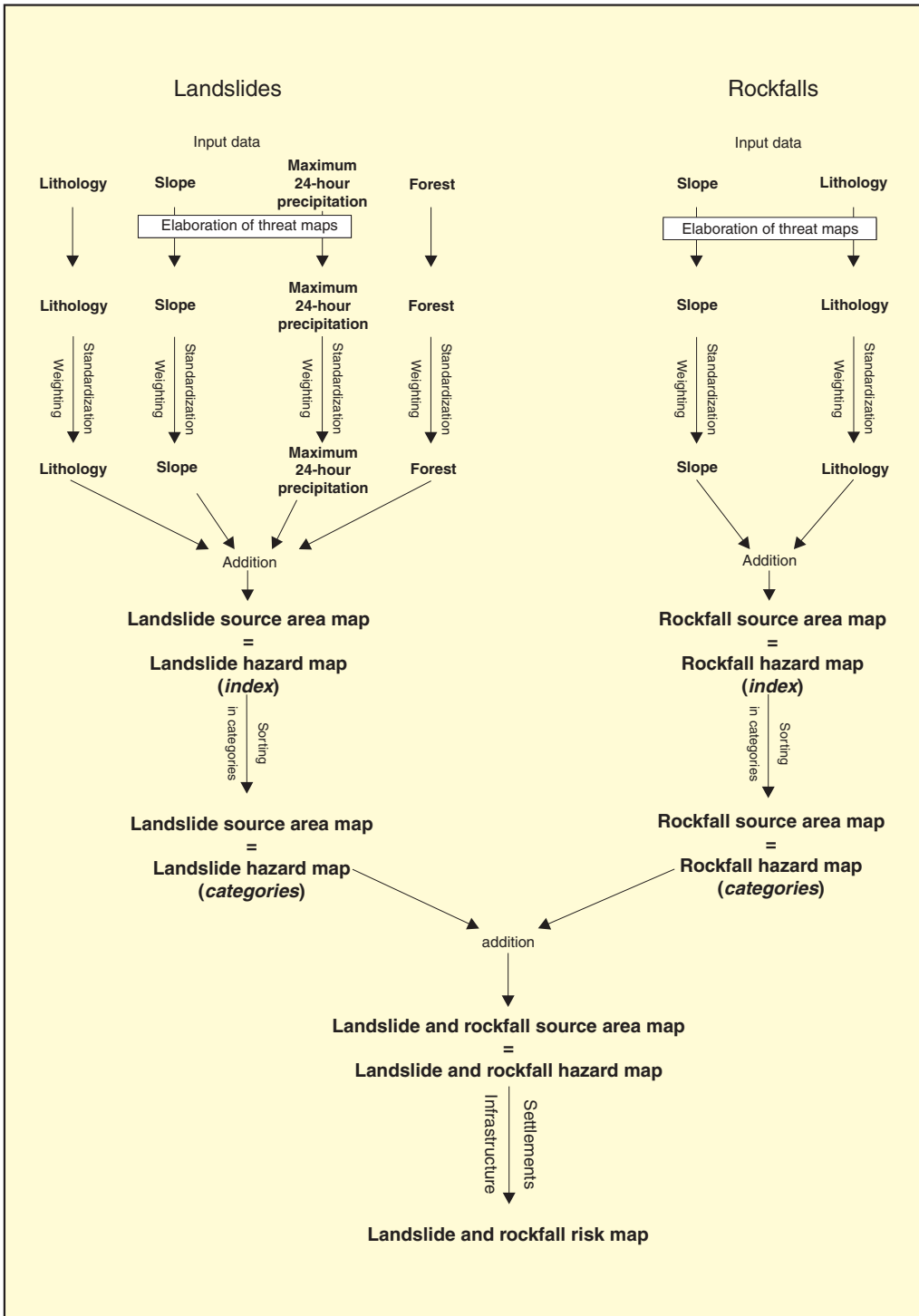


Figure 1: Procedure for elaborating a landslide and rockfall risk map using the weighting method.

The next phase is the combining of the partial maps (Perko 1992, 74; Pečnik 2002, 71) during which the individual layers are summed up and the sum is divided by the number of layers. The acquired index with values of 0 to +1 expresses the possibility of triggering landslides or rockfalls (landslide or rockfall hazard). Areas where all the individual layers rank in the highest category have the highest value of 1 (Perko 1992, 74). The numerical 0–1 span is then usually divided into three or five categories that represent the landslide or rockfall hazard.

The main part of the procedure for the elaboration of landslide and rockfall source area maps (hazard maps) from the threat maps employs the equation.

$$\kappa = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{X_n * p_n}{Y_n} \right)}{N}$$

Key:

κ = map of landslide or rockfall source area (landslide or rockfall hazard map)

n = layer

N = total number of layers

p = weight

X = threat map of influential factor

Y = the highest value of layer

The result is two geomorphic process maps that show landslide and rockfall source areas. If we sum them up and divide by two, we get a joint process map of landslide and rockfall source areas.

To obtain the risk map, we must place data layers illustrating settlement, infrastructure, and rivers and streams on the landslides and rockfalls process map. Depending on the accuracy of the databases employed, it is clear in which risk area each object or feature is situated. In this phase, we approach the fundamental principles of geography because a risk map illustrates the interrelationship of natural-geographical and sociogeographical factors in the landscape. The degree of risk, that is, the possibility of landslides or rockfalls, is important for the long-term direction of settlement and other human activities in the landscape.

The advantage of the weighting method is the simplicity and short duration of the procedure. Its weaknesses are methodological since it is a deterministic method and it is subjective. On the joined landslide and rockfall risk map, it is not possible to distinguish landslide and rockfall source areas, nor can we deduce the quantitative influence of individual influential factors from the values presented. Furthermore, the map does not show areas without risk.

3.2 The matrix method

The most important weakness of the weighting method is the weighting itself, which depends on the experience of the researcher and on the type and accuracy of the original data. In the case of the Upper Savinja Valley, we tested a new method developed by the authors in cooperation with Dr. Karel Natek (Department of Geography, University of Ljubljana).

Using this method with the same bases, we first elaborated two partial maps illustrating landslide and rockfall source areas (hazard maps). First we elaborated two maps (one for landslides and another for rockfalls) for each of the influential factors illustrating the degree of threat. This part of the procedure is subjective because the matrix method is also deterministic. The degree of threat was defined on the basis of our own knowledge and the available literature. To this point, the methods are the same.

From here on, however, the weighting of influential factors is unnecessary, and instead only a decision about the sequence of multiplication in the matrixes is required. For rockfalls we assumed that the slope is more important than the lithology, and for landslides that the lithology is more important than the slope, which in turn is more important than forest cover or maximum precipitation.

Instead of weighting, we used multiplication and ranging, thus sorting influential factors by their importance. For this form of data, we can claim with higher certainty that the result is more realistic than using subjectively defined weights.

Table 2: Matrix with ranges; comparison of the influence of slope and lithology on the possibility of the occurrence of rockfalls.

Range		Lithology				
		1	2	3	4	5
Slope	1	25	23	21	18	16
	2	23	18	14	12	9
	3	21	14	11	7	5
	4	18	12	7	4	2
	5	16	9	5	2	1

Table 3: Matrix with ranges; comparison of the influence of slope and lithology on the possibility of the occurrence of rockfalls, classified according to their actual weight.

Range		Lithology				
		1	2	3	4	5
Slope	1	25	24	22	20	17
	2	23	19	15	13	10
	3	21	14	11	8	6
	4	18	12	7	4	3
	5	16	9	5	2	1

We entered the acquired values into the matrixes and with their help calculated partial maps or threat maps that illustrate the absolute calculated values. In the next phase, we calculated landslide and rockfall hazard indexes. This part of the procedure is the same as with the previous method, but the acquired values are directly connected with the original values.

The main part of the procedure for the elaboration of landslide and rockfall source area maps (hazard maps) from the threat maps employs the equation.

$$\kappa = \frac{\prod_{k=1}^{\infty} (M_k)}{R_{\max}} = \frac{\prod_{k=1}^{\infty} \begin{pmatrix} k R_1 \\ k R_m \end{pmatrix}}{R_{\max}} = \frac{\prod_{k=1}^{\infty} \begin{pmatrix} k^{-1} R_1 * x_1 \\ k^{-1} R_m * x_m \end{pmatrix}}{R_{\max}}$$

Key:

κ = map of landslide or rockfall source area (landslide or rockfall hazard map)

k = sequence number of matrix

m = sequence in matrix

M = matrix

R = range

R_{\max} = the highest range of the last matrix

x = influential factor

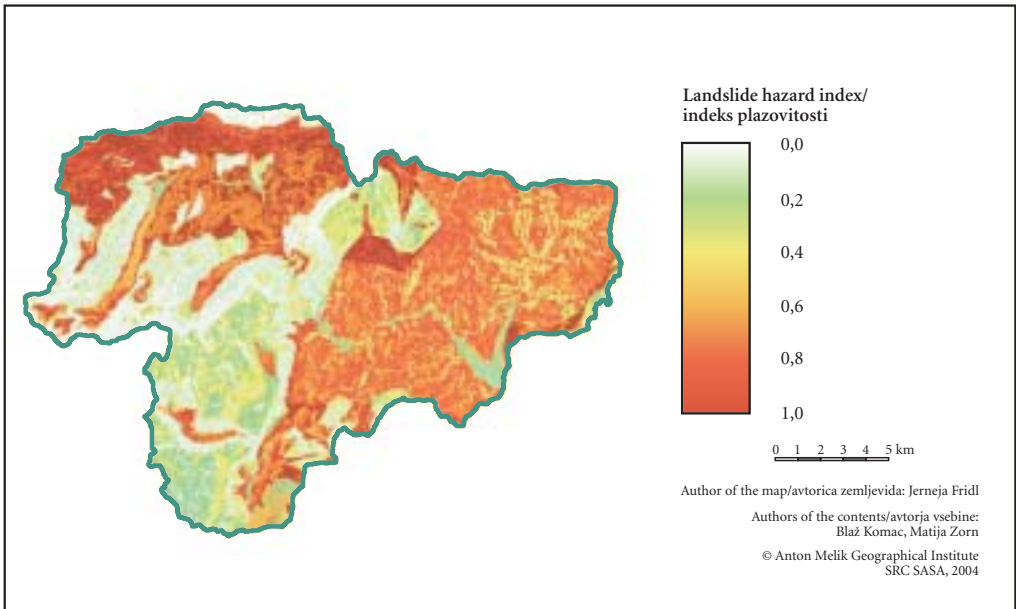


Figure 2: Landslide source area map (hazard map) elaborated using the weighting method showing the index of landslide possibility.

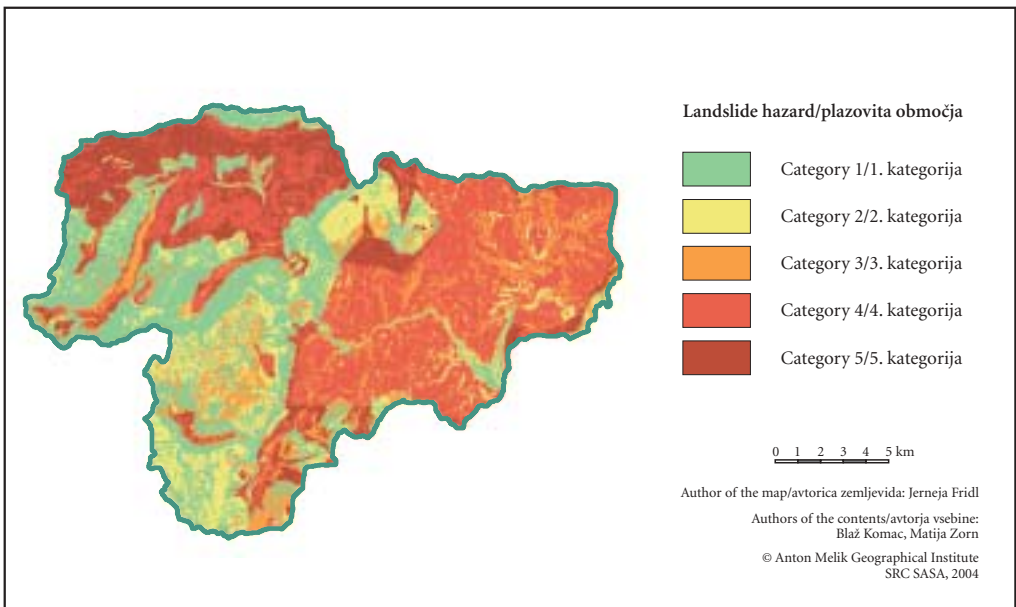


Figure 3: Landslide source area map (hazard map) elaborated using the weighting method showing landslide categories.

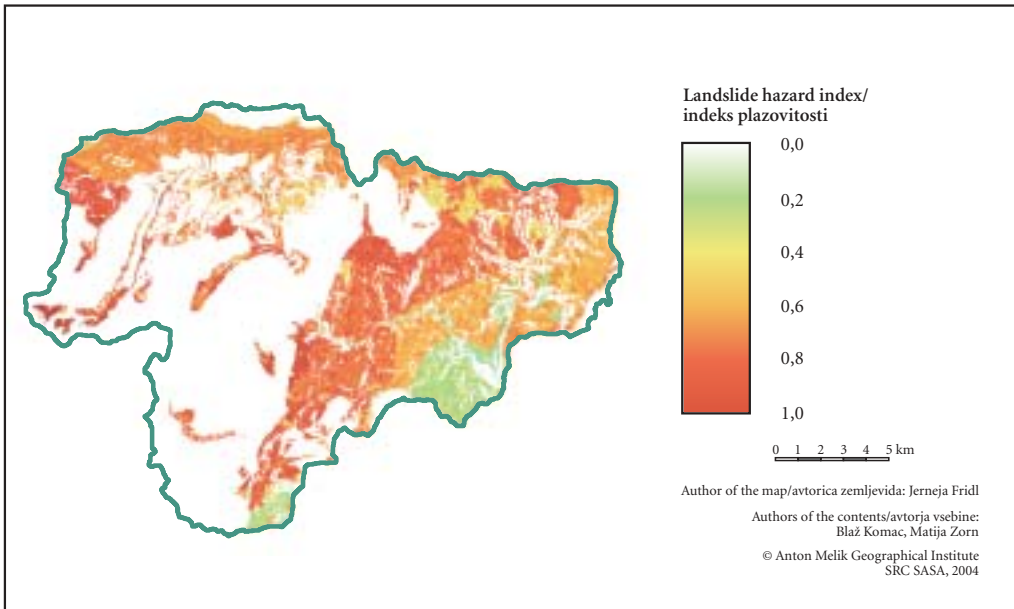


Figure 4: Landslide source area map (hazard map) elaborated using the matrix method showing the index of landslide possibility.

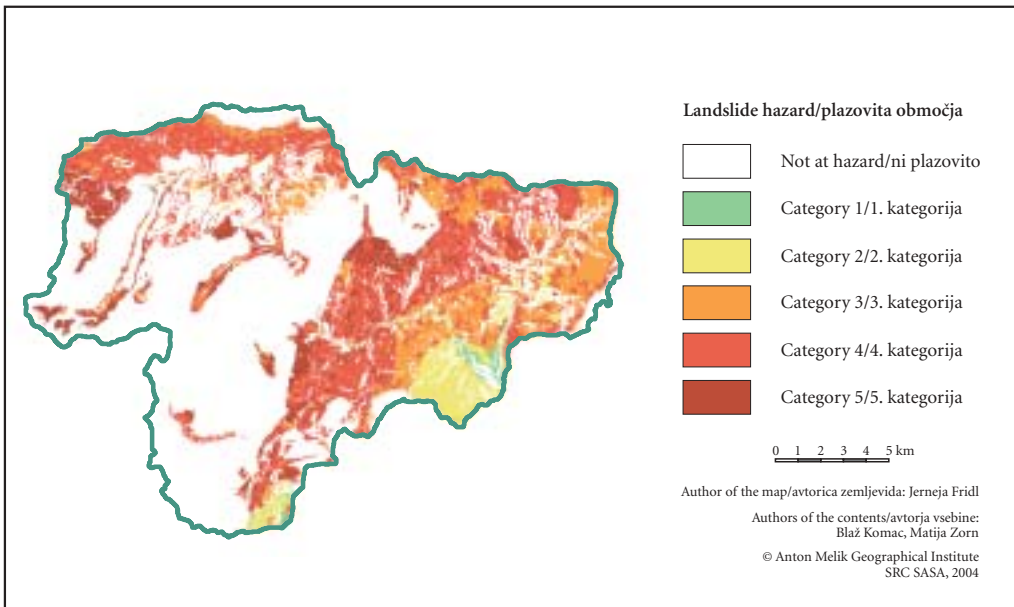


Figure 5: Landslide source area map (hazard map) elaborated using the matrix method showing landslide categories.

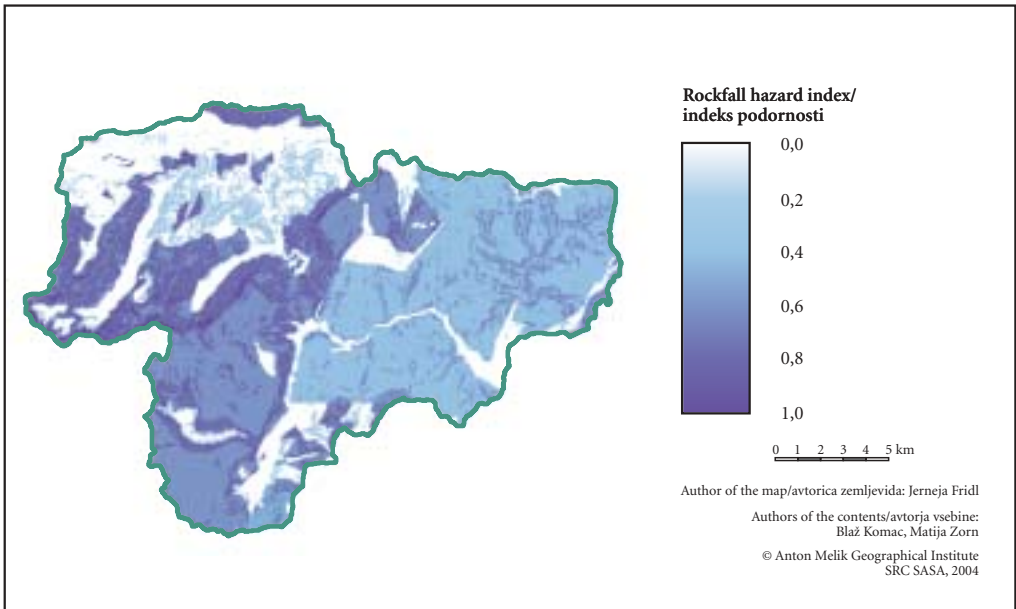


Figure 6: Rockfall source area map (hazard map) elaborated using the weighting method showing the index of rockfall possibility.

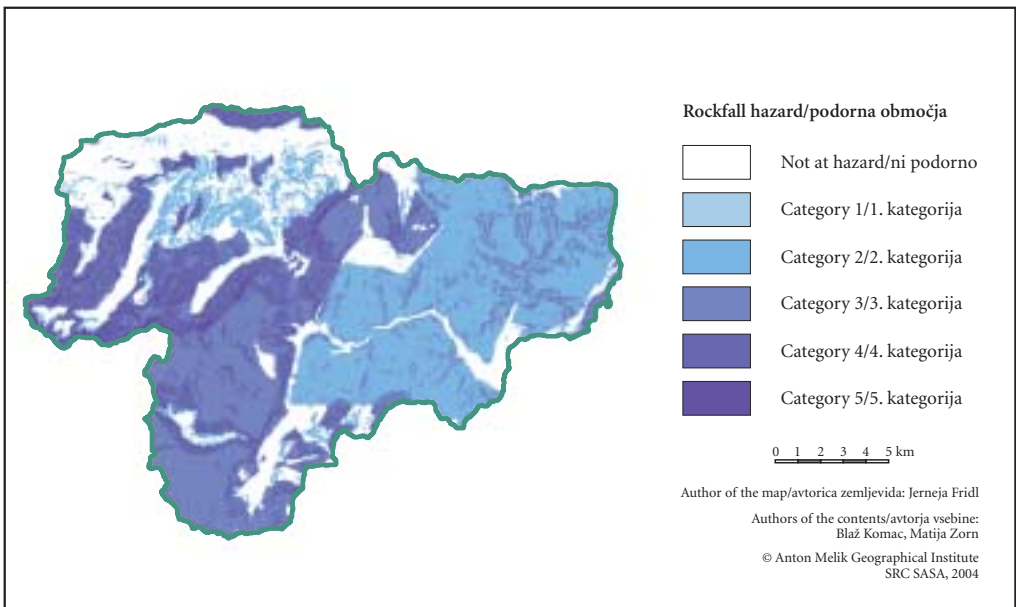


Figure 7: Rockfall source area map (hazard map) elaborated using the weighting method showing rockfall categories.

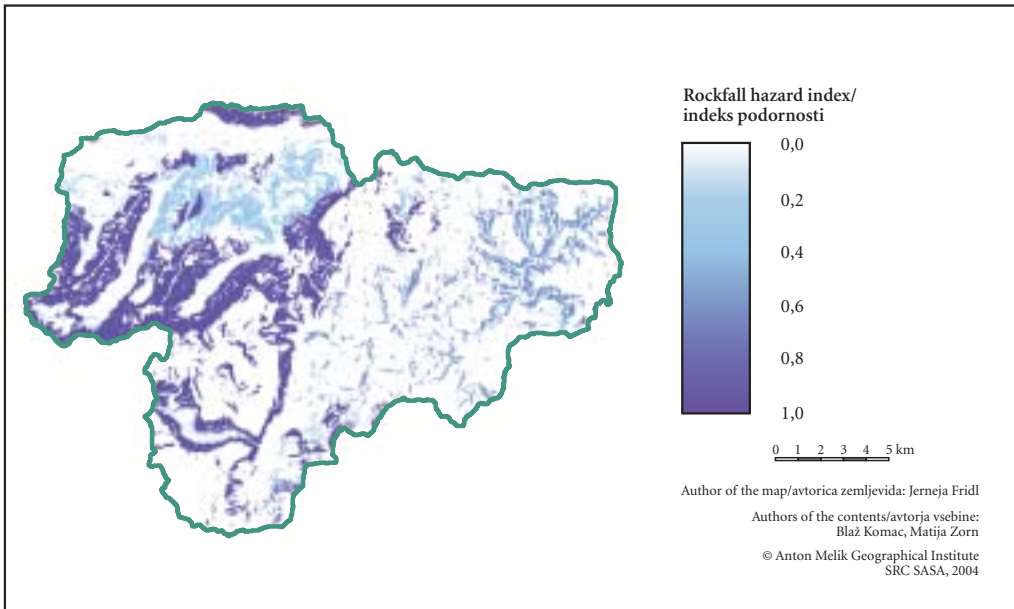


Figure 8: Rockfall source area map (hazard map) elaborated using the matrix method showing the index of rockfall possibility.

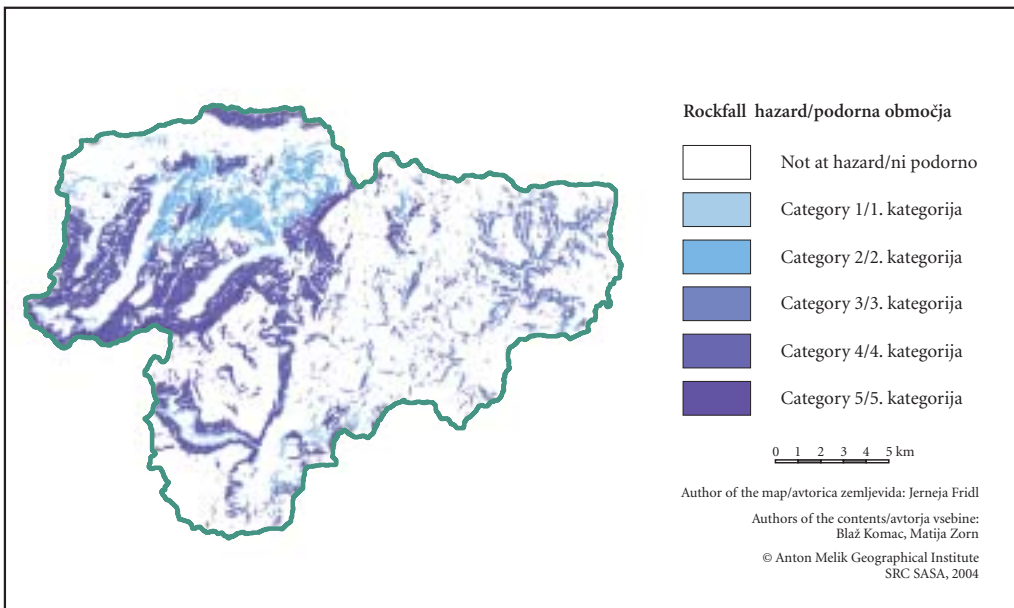


Figure 9: Rockfall source area map (hazard map) elaborated using the matrix method showing rockfall categories.

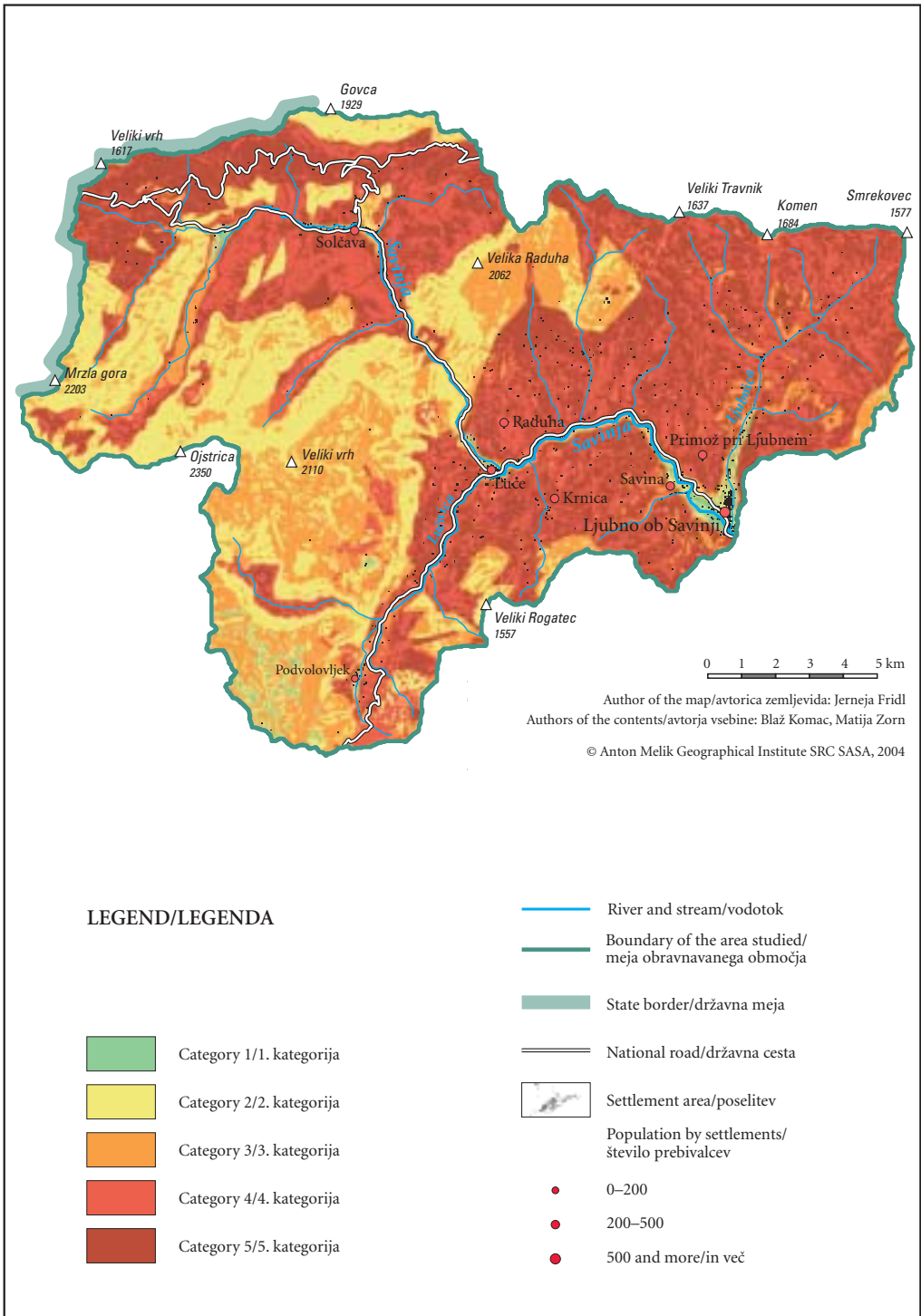


Figure 10: Landslide and rockfall risk map elaborated using the weighting method.

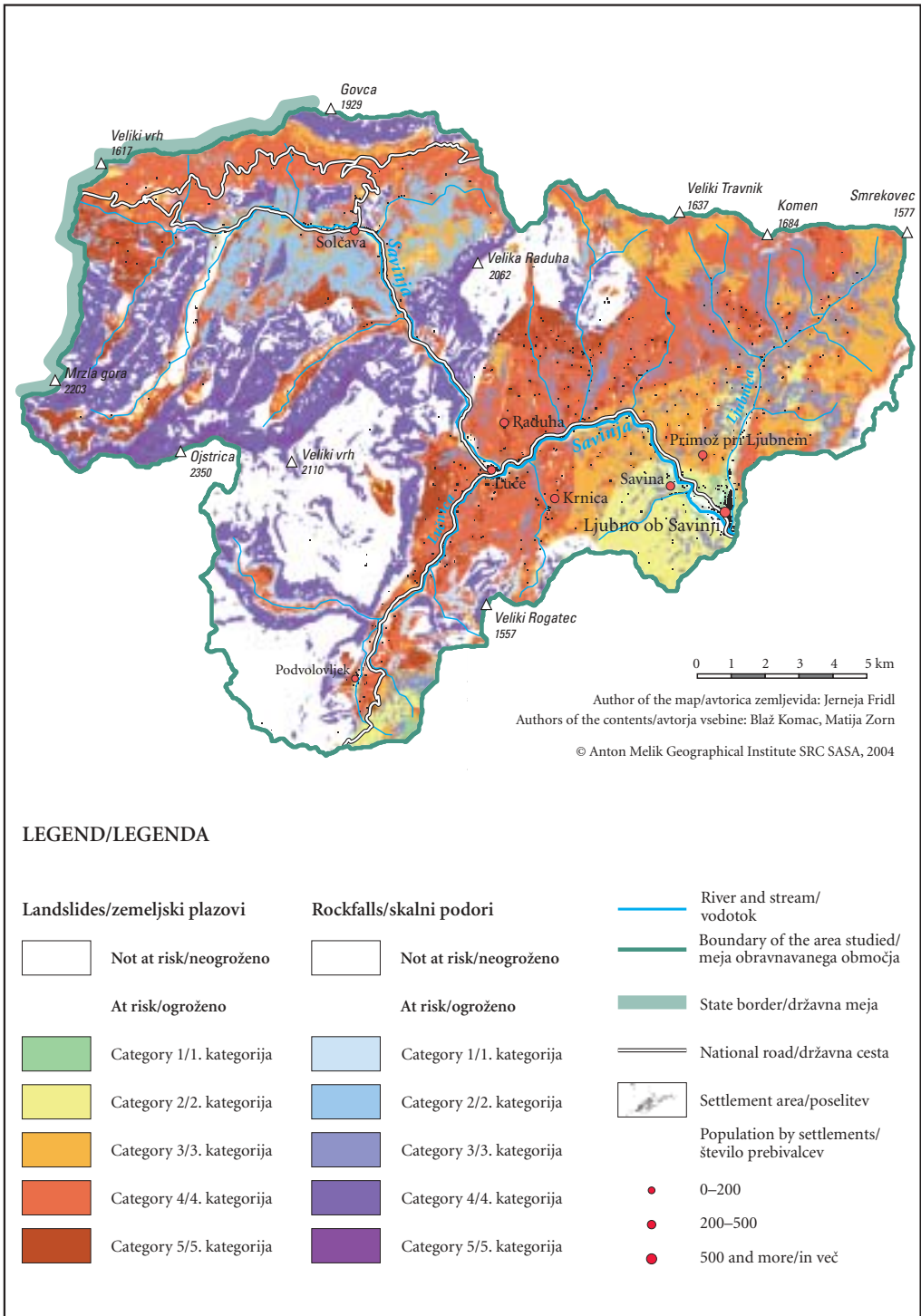


Figure 11: Landslide and rockfall risk map elaborated using the matrix method.

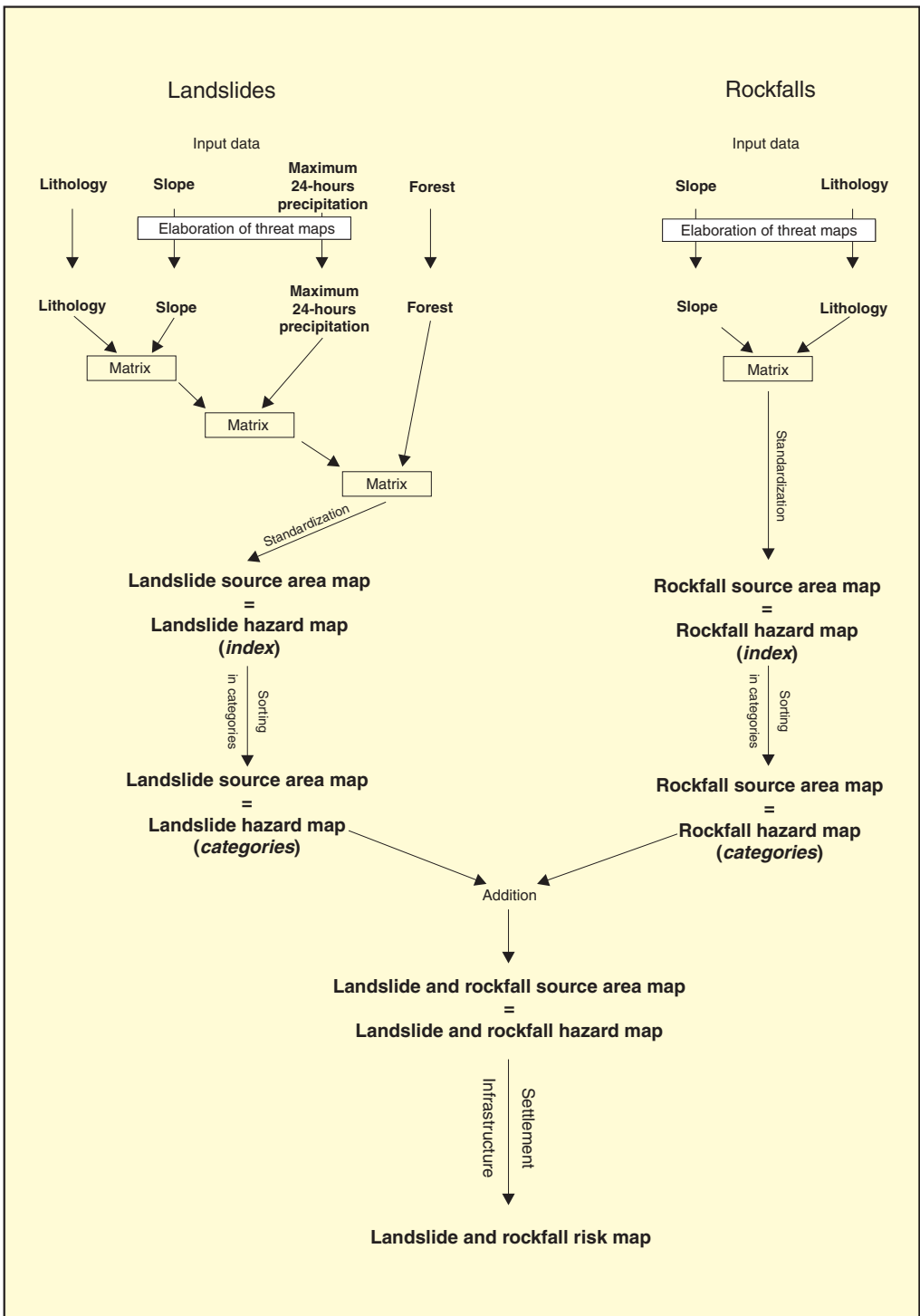


Figure 12: Procedure for the elaboration of landslide and rockfall risk maps using the matrix method.

To finish, we classified the relative index values according to the frequency distribution of phenomena into categories and attributed a relative value to them that represents the possibility of the occurrence of the phenomenon. In this phase of the procedure we were still able to determine the proportion that the individual factors contributed to the result.

We then elaborated the landslide and rockfall hazard maps, summed them up, and got the geomorphic processes map that illustrates the spatial dimensions and possibility of the occurrence of landslides and rockfalls. Each process is shown with a different color scale so we can distinguish between them. We used the scale from five categories in which the lower numbers denote the lower possibility of the occurrence of landslides or rockfalls.

On the final map elaborated using the weighting method, we were unable to distinguish landslide and rockfall source areas since it only showed a common index. Only the partial maps on which the dominant process was clearly shown were of use.

The advantages of the matrix method include the possibility of distinguishing processes on the final map, the possibility of defining areas where are no landslides or rockfalls, less subjectivity, and better verification to the level of individual cells of the digital elevation model. Its main disadvantage is that it is a more complicated and longer procedure.

The maps elaborated through the matrix procedure and the weighting procedure described in chapter 3.1 illustrate source areas and it is therefore necessary to consider the possible range or influential area of processes in their interpretation as well.

4 Landslide and rockfall areas in the Upper Savinja Valley

4.1 Surface characteristics

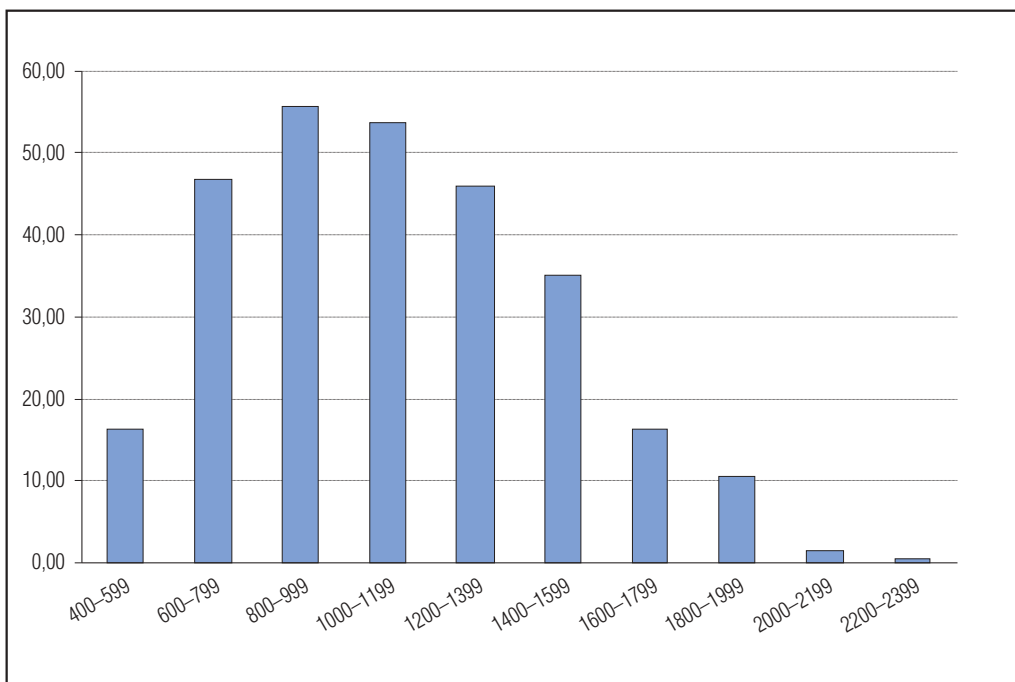


Figure 13: Surface area of the Savinja watershed above Ljubno in km² according to altitude belts (m).

The watershed of the Savinja River above Ljubno occupies 282.3 km². The majority of the land lies below 1,200 meters, and a quarter of the land lies between 800 and 1,200 meters. Almost two fifths of the watershed lies above 1,000 meters. Areas at altitudes between 400 and 600 meters occupy only 6% or 16 square kilometers, and between 600 and 800 meters occupy 47 square kilometers.

Only 0.1% of the watershed has a slope less than 2° where intensive slope processes do not occur. Moderate erosion of material occurs on two percent of the watershed with slopes of 2° to 6°. Erosion on farmland can occur on one sixteenth of the watershed with slopes of 6° to 11.9°. Very strong surface wash, which in places can develop into linear erosion, occurs on 50 km² of the land with slopes of 12° to 19.9°, and landslips occur on these surfaces. Relative to slope, the landslide hazard is great in two fifths of the watershed. Steeper rock walls with slopes above 32° cover just under one quarter of the watershed or 68 km². Extremely steep areas with slopes over 55° cover 8 km².

Table 4: Surface area of watershed according to slope classes and dominant geomorphic processes (Natek 1983, 66).

Slope classes (°)	Surface area (km ²)	Proportion of total surface (%)	Dominant geomorphic processes
under 2	0.36	0.13	Relatively weak and mainly surface wash with frequent stagnation of water.
2–5.9	6.76	2.39	Moderate erosion and stronger soil erosion on cultivated fields; creeping of regolith in forest.
6–11.9	16.52	5.85	Strong soil erosion on cultivated fields and meadows; triggering of smaller landslides.
12–19.9	49.07	17.38	Very strong surface wash developing into linear erosion; frequent landslides.
20–31.9	115.51	40.92	Very strong erosion with dominant linear erosion and frequent landslides.
32–54.9	26.99	9.56	In our conditions, 32° is a natural angle of repose and there is therefore no consolidated soil blanket; frequent rockfalls.
above 55	67.81	24.02	Walls from which every flaking particle of rock falls due to the influence of gravity.

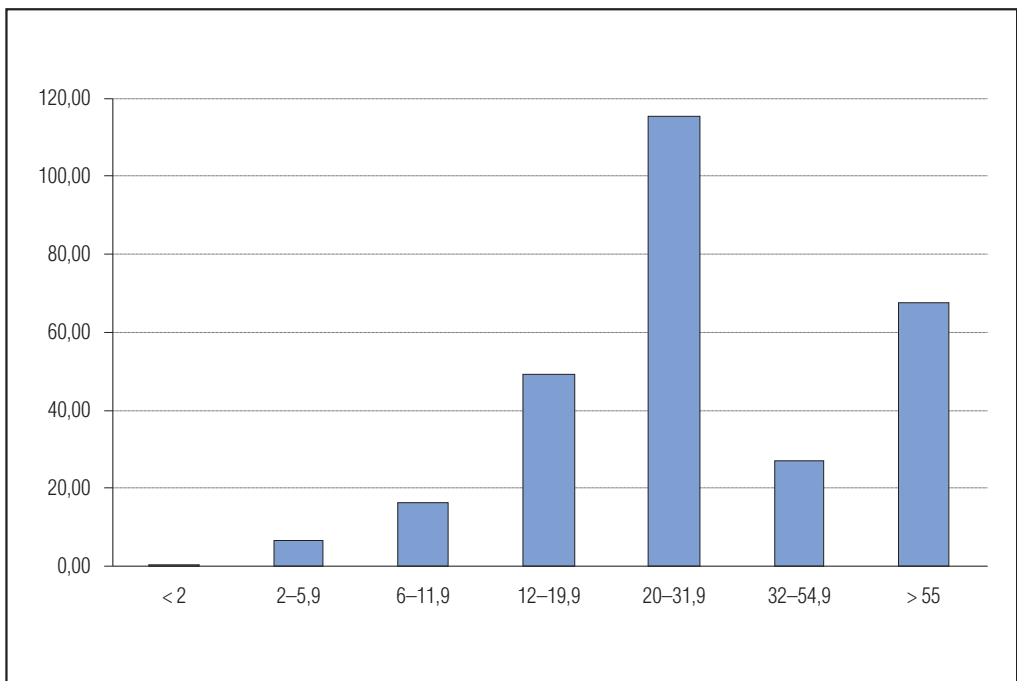


Figure 14: Surface area of the Savinja watershed above Ljubno in km² according to slope classes (slope in degrees).

4.2 Results of calculations

According to the calculations using the weighting method, landslides can occur over practically the entire watershed. A third of the landslide source area is covered by category four areas, and categories two, three, and five each cover a seventh. Category one areas encompass 65 km² or almost one fifth of the watershed. According to the weighting method, rockfalls can occur over 220 km² or approximately three quarters of the watershed. Category two areas cover two fifths of the watershed, category three areas cover one third, category four areas cover one fifth, and category five areas cover only 3.7 km².

Calculations using the matrix method show that areas where landslides and rockfalls are unlikely to occur encompass approximately one quarter of the watershed. Landslides can occur over six tenths of the watershed, and rockfalls can occur over one third of the watershed. Landslides do not occur on 154 km² of the watershed. One half of the landslide source areas lie in category four areas, one quarter in category three areas, and one eighth in category five areas. Rockfall source areas occupy 91 km² or a third of the watershed. Of these, 54% lie in category four areas, a good fifth each in category three and two areas, and a twentieth each in category one and five areas. Rockfalls are not likely to occur on 191 km² of the region.

Table 5: Extent of landslide and rockfall source areas, calculated using the weighting method.

Category	Landslide source area (km ²)	Rockfall source area (km ²)
1	65.02	0.00
2	41.21	90.37
3	42.06	76.34
4	91.86	50.39
5	42.14	3.68
Total	282.29	220.78

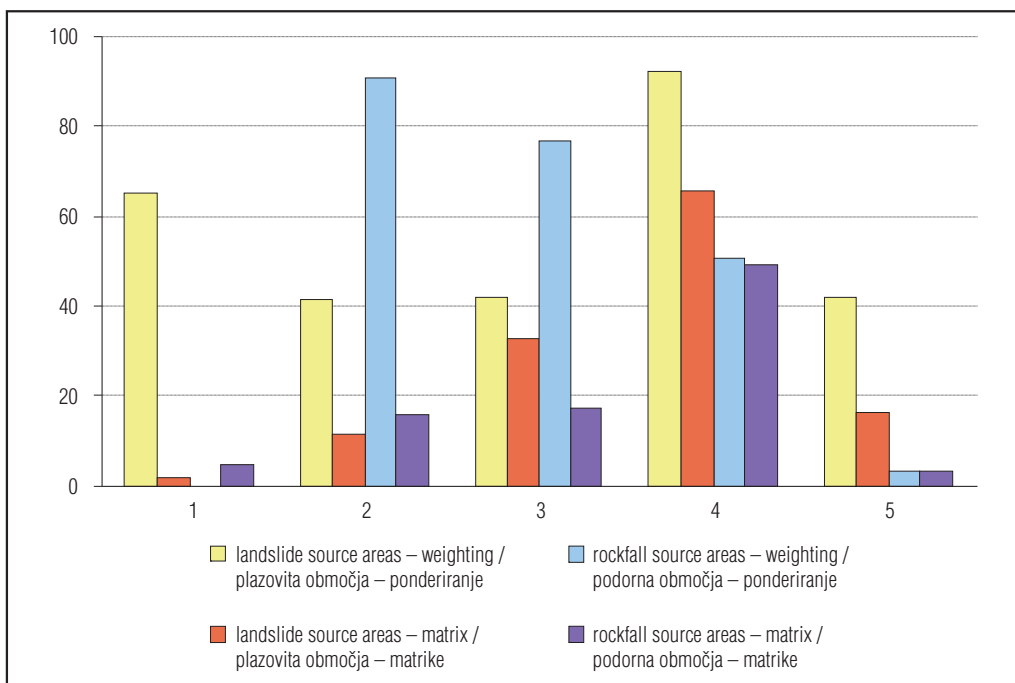


Figure 15: Comparison of surface areas (km²) of landslide and rockfall source areas by categories, calculated using the weighting and matrix methods.

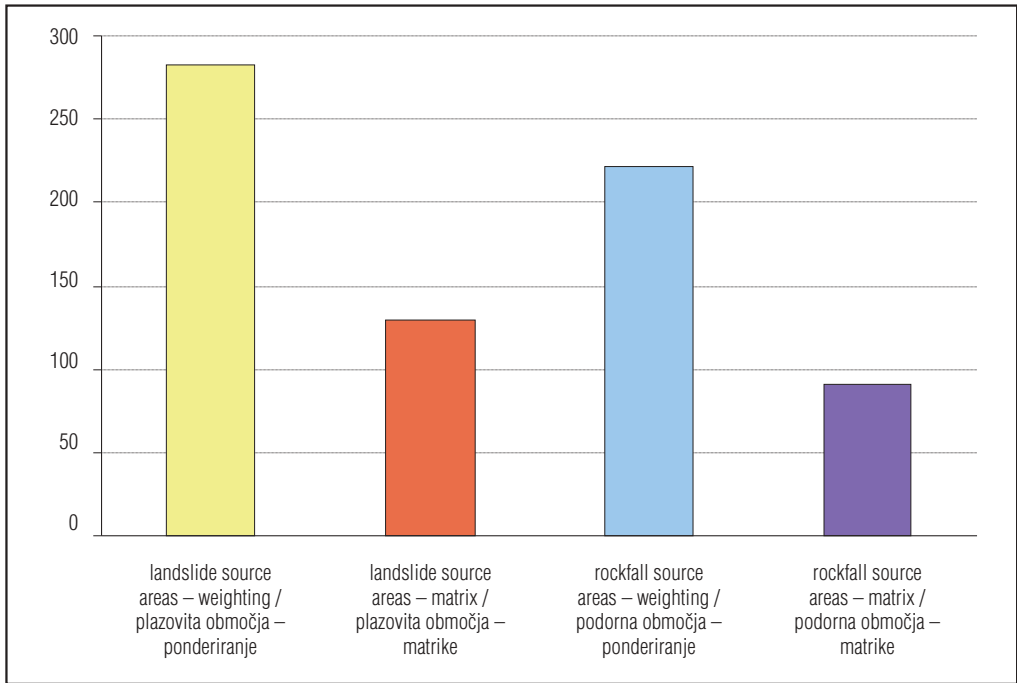
Figure 16: Comparison of total surface areas (km²) of landslide and rockfall source areas calculated using the weighting and matrix methods.

Table 6: Extent of landslide and rockfall source areas, calculated using the matrix method.

Category	Landslide source area (km ²)	Rockfall source area (km ²)
1	2.49	5.23
2	11.38	15.45
3	32.69	16.87
4	65.44	49.40
5	16.34	3.68
Total	128.34	90.64

4.2.1 Differences in calculated results using the two methods

The first and most important difference using the two methods is that the extent of landslide and rockfall source areas calculated using the matrix method is 2.3 times smaller than that calculated using the weighting method. The calculation using the matrix method is more accurate because the weighting method does not provide an illustration of the areas where the processes do not occur. The differences are therefore greatest in the definition of these areas.

The differences are larger in defining rockfall source areas than in defining landslide source areas.

In the maps of landslide source areas, the greatest differences occur for the category one areas, where the extent of individual areas differs by almost one fifth of the size of the watershed. In category two and five areas, the calculated extent differs by approximately one tenth of the size of the watershed.

In the maps of rockfall source areas, the greatest differences are for the category two areas, where the extent of individual areas differs by one quarter of the size of the watershed. The deviation is also great for the category three areas, where the calculated extent differs by approximately one fifth of the size of the watershed.

The landslide and rockfall source areas calculated using the matrix method are almost a quarter smaller overall than the areas calculated using the weighting method.

A surprising fact is that similar or even higher deviations also occur using direct methods such as geomorphological mapping or the analysis of aerial photographs where the results can differ by 55–65% or even up to 80% due to great subjectivity (Ardizzone et al. 2002, 3).

5 Landslide and rockfall risk areas in the Upper Savinja Valley

In the next phase, we compared the process maps with several sociogeographical elements to obtain risk maps. Since risk maps elaborated using the methods described above only illustrate source areas of processes but not their areas of influence, in modeling the risk areas we also considered areas within one hundred meters of buildings, roads, and rivers and streams to be risk areas.

5.1 Settlement risk areas

Settled areas occupy only 0.26% of the area studied (we recorded 1,218 buildings), but studying the risk to settled areas is certainly most important for ensuring the safety of the population.

5.1.1 Landslide risk to settlement areas

According to the weighting method, seventy hectares of settlement areas are at risk due to landslides. One quarter of the buildings lie in areas of the least risk, a third in category four areas, and just under one tenth in category five areas.

In the 100-meter belt around settlement areas, which encompasses 17 km², one eighth of the surface area lies in each of the category one and five risk areas.

According the matrix method, we calculated that 452 buildings or just under two fifths of the buildings lie in areas not at risk by landslides. For the purposes of managing or planning settlement, the fact that 315 buildings lie in category four risk areas and one tenth of the buildings at risk lie in each of the category one and category five risk areas is important. There are 13 km² within the 100-meter belt around settlement areas, of which 4 km² occupy the area within 50 meters from the settlement areas. One half of the surface area of this inner belt lies in category four risk areas and one fifth in category five risk areas.

Table 7: Risk to settlement areas and their immediate surroundings due to landslides, calculated using the weighting method.

Risk categories	Settlement area		Surroundings 0–50 m		Surroundings 50–100 m	
	Number of cells	ha	Number of cells	ha	Number of cells	ha
1	279	17.44	1,067	66.69	1,587	99.19
2	238	14.88	1,359	84.94	1,921	120.06
3	138	8.63	1,232	77.00	2,725	170.31
4	372	23.25	3,713	232.06	9,358	584.88
5	91	5.69	1,077	67.31	3,022	188.88
Total	1,118	69.89	8,448	528	18,613	1,163.32

Table 8: Risk to settlement areas and their immediate surroundings due to landslides, calculated using the matrix method.

Risk category	Settlement area		Surroundings 0–50 m		Surroundings 50–100 m	
	Number of cells	ha	Number of cells	ha	Number of cells	ha
1	149	9.31	748	46.75	837	52.3125
2	81	5.06	672	42.00	1,406	87.88
3	60	3.75	664	41.50	1,863	116.44
4	309	19.31	2,974	185.88	7,285	455.31
5	143	8.94	1,389	86.81	2,844	177.75
Total	742	46.37	6,447	402.94	14,235	889.69

5.1.2 Rockfall risk to settlement areas

According to the weighting method, buildings lying in 455 cells covering 28 hectares are directly at rockfall risk. Nine tenths of these lie in category two risk areas, 38 are in category three risk areas, and two buildings are in category four risk areas. Settlements at rockfall risk occupy 0.1% of the watershed.

We also analyzed the risk to the immediate area of the buildings in the 0–50 and 50–100 meter belts. The risk areas within the full 100-meter belt cover about 9.8 km², of which the inner belt comprises 2.7 km². Nine hectares of this land lie in category four risk areas, and 156 hectares in category three risk areas.

Using the matrix method, we determined that only five buildings are at risk from rockfalls, the consequence of sparse settlement in areas with great slope. One building stands in a category two rockfall risk areas, three are in category three rockfall risk areas, and one in a category four rockfall risk areas.

The 100-meter belt around the buildings encompasses one km², of which 15 hectares lie within 50 meters of the buildings. Three fifths of this inner belt lies in risk category three and one fifth in risk category two areas.

Table 9: Risk to settlement areas and their immediate surroundings due to rockfalls, calculated using the weighting method.

Risk categories	Settlement area		Surroundings 0–50 m		Surroundings 50–100 m	
	Number of cells	ha	Number of cells	ha	Number of cells	ha
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	415	25.94	3,802	237.63	9,306	581.63
3	38	2.38	546	34.13	1,945	121.56
4	2	0.13	23	1.44	124	7.75
Total	455	28.45	4,371	273.9	11,375	710.94



Figure 17: The landslide that occurred on November 3, 1990, in the village of Raduha is visible on the right; on the left, the Slapnik farm is situated in the slide basin of a smaller landslide. Above the farm is the almost 400-meter-wide semicircular source area of an older landslide (photography Matija Zorn, May 26, 2004).

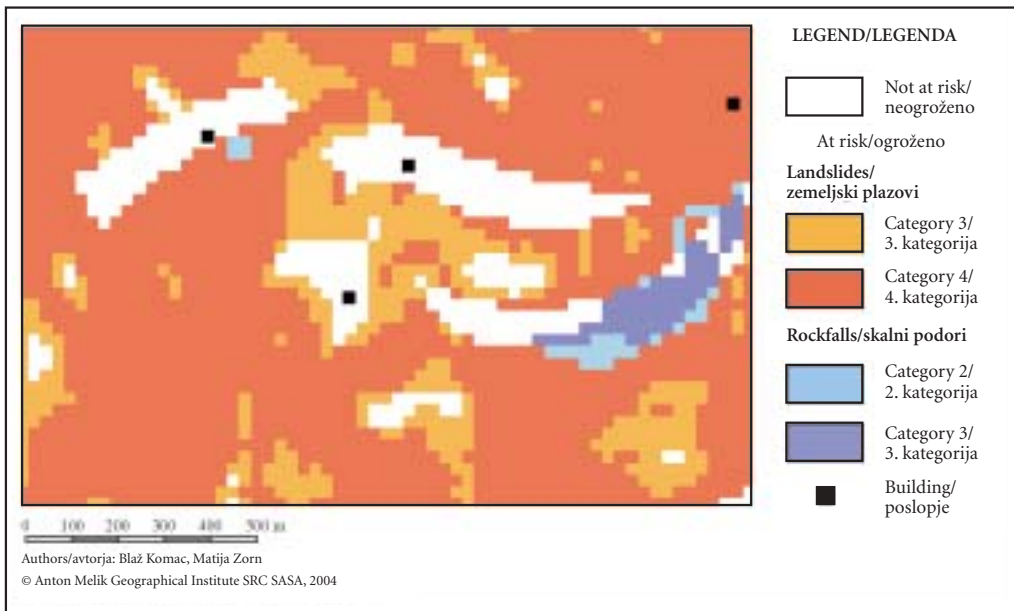


Figure 18: Section from the risk map elaborated using the matrix method that shows the adaptability of traditional settlement to natural conditions.

Table 10: Risk to settlement areas and their immediate surroundings due to rockfalls, calculated using the matrix method.

Risk categories	Settlement area		Surroundings 0–50 m		Surroundings 50–100 m	
	Number of cells	ha	Number of cells	ha	Number of cells	ha
1	0	0.00	4	0.25	51	3.19
2	1	0.06	54	3.38	353	22.06
3	3	0.19	174	10.88	1,002	62.63
4	1	0.06	18	1.13	117	7.31
Total	5	0.31	250	15.63	1,523	95.19

5.2 Risk to roads

To establish the risk to roads, we overlaid the landslide and rockfall source area map with an information layer showing the national road network, which in the Upper Savinja Valley measures about 55 km (Pregledna 2002).

5.2.1 Roads at risk due to landslides

According to the calculations using the weighting method, all the roads in the region studied are at risk from landslides. One third of the roads run through risk category five areas, one quarter through risk category four areas, and one sixth through risk category three areas. There are 12 km² of risk areas within the 100-meter belt along the roads.

The analysis using the matrix method showed lower values due to its greater accuracy. In this case, two thirds of the road network is at risk from landslides. There are 1.5 km of road in risk category five areas, and 22.7 km or four tenths of the roads are in risk category four areas. Some 8 km² of surface areas are at risk within the 0–100 meter belts, the most in risk category four areas.

Table 11: Roads and their immediate surroundings at landslide risk, calculated using the weighting method.

Risk categories	Roads (ha)	Surroundings 0–50 m (ha)	Surroundings 50–100 m (ha)
1	4.16	87.88	75.98
2	3.42	66.61	52.27
3	4.32	95.67	94.03
4	6.41	155.74	155.08
5	9.56	202.55	198.70
Total	27.86	608.45	576.05

Table 12: Roads and their immediate surroundings at landslide risk, calculated using the matrix method.

Risk categories	Roads (ha)	Surroundings 0–50 m (ha)	Surroundings 50–100 m (ha)
1	1.69	34.22	25.05
2	1.95	41.47	37.38
3	3.11	67.87	65.62
4	11.38	250.35	241.04
5	0.78	19.21	23.84
Total	18.91	413.11	392.92

5.2.2 Roads at risk due to rockfalls

According to the weighting method, 18 km of roads are at risk from rockfalls. Almost one seventh of the roads run through risk category four areas, a third through risk category three areas, and a half through risk category two areas. There are 4 km² of risk areas within the 100-meter belt along the roads, of which half is in risk category two areas and a third in risk category three areas.

Using the matrix method, we established that the road area at risk from rockfalls is two and a half times smaller than that calculated using the weighting method and occupies 3.5 hectares. Forty percent of the roads lie in risk category two areas, a fifth in risk category three areas, and a third in risk category four areas. There are 175 meters of road in risk category five areas, 8.7 km in risk category one areas, and 2.3 km in risk category four areas. Almost 160 hectares are at risk from rockfalls within the 0–100 meter belts along the roads.

Table 13: Roads and their immediate surroundings at rockfall risk, calculated using the weighting method.

Risk categories	Roads (ha)	Surroundings 0–50 m (ha)	Surroundings 50–100 m (ha)
1	0	0	0
2	4.36	103.28	107.15
3	3.05	69.68	73.68
4	1.30	27.71	26.48
5	0.09	1.24	0.64
Total	8.79	201.90	207.95

Table 14: Roads and their immediate surroundings at rockfall risk, calculated using the matrix method.

Risk categories	Roads (ha)	Surroundings 0–50 m (ha)	Surroundings 50–100 m (ha)
1	0.08	1.14	1.61
2	1.37	33.76	35.10
3	0.79	17.92	22.16
4	1.16	25.06	24.24
5	0.09	1.24	0.64
Total	3.49	79.12	83.75



Figure 19: The »Panorama Road« crossing the Macesnik landslide beneath Mount Oševa (photography Matija Zorn, August 25, 2000).

5.3 Risk to land use categories

To establish the risk to land use categories, we compared the landslide and rockfall source area map with the *Agricultural Land Use Map* (Raba 2002).

5.3.1 Landslide risk to land use categories

According to the weighting method, 282 km² of the watershed is at risk, mostly meadows, forest, orchards, and built-up areas. Half of the meadows lie in risk category four areas, and a sixth in risk category five areas. A third of forest lies in risk category four areas, and a sixth in each of the risk category two, three, and five areas. Two fifths of the built-up areas (in contrast with settlements in Chapter 5.1, all urban areas are included here) are in risk category four areas, and an eighth in risk category five areas. A similar distribution according to risk categories is characteristic of orchards. There are 15 km² of barren risk areas, 4 km² of pastures, and 21 hectares of cultivated fields. Three fifths of the cultivated fields are located in risk category one areas, a fifth in risk category two areas, and a tenth in each of the risk category three and four areas.

According to the matrix method, 127 km² are at risk. The most at risk are barren areas, pastures, and orchards because four fifths of the barren areas and a half of the pastures and orchards are in risk category five areas. Three fifths of the meadows at risk are in risk category four areas, and three tenths in risk category five areas. Almost half of the built-up areas, totaling 3 km², lies in risk category four areas, and a fifth lies in risk category five areas.

Table 15: Landslide risk to land use areas, calculated using the weighting method (ha).

Risk categories	Cultivated field	Orchard	Meadow	Forest	Built-up	Pasture	Barren	Rivers and streams
1	12.75	3.00	304.75	4,812.88	64.13	206.44	1,074.00	24.31
2	3.94	8.69	397.38	3,238.44	66.63	131.56	254.13	20.50
3	2.00	10.25	245.81	3,770.44	60.63	19.63	83.19	14.31
4	1.75	43.13	1,193.88	7,718.31	167.00	9.25	40.63	11.81
5	0.06	8.06	442.88	3,644.19	56.25	19.75	40.69	2.25
Total	20.50	73.13	2,584.69	23,184.25	414.63	386.63	1,492.63	73.19

Table 16: Landslide risk to land use areas, calculated using the matrix method (ha).

Risk categories	Cultivated field	Orchard	Meadow	Forest	Built-up	Pasture	Barren	Rivers and streams
1	2.88	4.31	56.31	139.13	34.50	0.00	0.94	11.38
2	1.00	8.13	0.00	963.13	24.50	0.00	0.06	5.13
3	0.19	4.25	147.44	3,062.13	40.06	5.06	5.31	4.44
4	2.38	0.00	1,028.63	5,315.38	137.50	7.94	9.13	9.81
5	0.56	15.69	493.56	983.31	60.38	16.94	61.25	2.56
Total	7.00	32.38	1,725.94	10,463.06	296.94	29.94	76.69	33.31

5.3.2 Rockfall risk to land use categories

According to the weighting method, 220 km² of surface areas are directly at risk. The most at risk are the barren areas, one fifth of which lie in risk category five areas; three fifths are in risk category four areas. More than two fifths of the pastures lie in risk category four areas. Forest covers the greatest amount of area in the studied region. Two fifths of the forest lies in risk category two areas, and a fifth in risk category four areas. Two hundred hectares of built-up areas are at risk, four fifths of which are in risk category two areas and a sixth in risk category three areas. Seven tenths of meadows at risk lie in risk category two areas, a third in risk category three areas, and five hectares in risk category four areas.

Calculated using the matrix method, the total surface of risk areas is smaller by more than half that given by the calculations using the weighting method and occupies 90 km². Particularly at risk are barren areas, pastures, and forests. A quarter of the barren areas lie in risk category five areas, and the remaining proportion lies in risk category four areas. Nine tenths of the pastures lie in risk category four areas. Half of the forested surfaces lie in risk category four areas, a fifth in risk category two and three areas, and a smaller proportion in risk category one areas. Meadows at risk occupy 38 hectares; six tenths of these lie in risk category three areas, a quarter in risk category two areas, and a tenth in risk category four areas. Rockfalls present a direct risk to 11 hectares of built-up areas, more than half of which lie in risk category three areas, a third in risk category two areas, and a tenth in risk category four areas. Some 0.63 hectares of orchards are at risk, and no cultivated fields are at risk from rockfalls.

Table 17: Rockfall risk to land use areas, calculated using the weighting method (ha).

Risk categories	Cultivated field	Orchard	Meadow	Forest	Built-up	Pasture	Barren	Rivers and streams
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.56	49.94	1,148.44	7,610.56	166.56	4.94	0.00	12.56
3	0.00	1.56	523.88	6,562.94	32.81	182.94	323.69	5.94
4	0.00	0.00	5.19	4,090.44	1.13	158.19	783.75	0.06
5	0.00	0.00	0.00	100.69	0.00	11.94	255.44	0.00
Total	3.56	51.50	1,677.50	18,364.63	200.50	358.00	1,362.88	18.56



Figure 20: Lower part of the Macesnik landslide beneath Mount OIševa (photography Matija Zorn, August 25, 2000).

Table 18: Rockfall risk to land use areas, calculated using the matrix method (ha).

Risk categories	Cultivated field	Orchard	Meadow	Forest	Built-up	Pasture	Barren	Rivers and streams
1	0.00	0.00	1.19	483.81	0.31	4.69	32.81	0.00
2	0.00	0.19	9.94	1,525.44	3.63	0.25	5.75	0.06
3	0.00	0.44	21.81	1,650.38	6.13	0.06	8.25	0.13
4	0.00	0.00	5.06	3,992.31	1.13	158.13	783.75	0.00
5	0.00	0.00	0.00	100.69	0.00	11.94	255.44	0.00
Total	0.00	0.63	38.00	7,752.63	11.19	175.06	1,086.00	0.19

5.4 Risk to rivers and streams

To establish the »risk« to rivers and streams, we covered the landslide and rockfall source area map with the map of rivers and streams in the Upper Savinja Valley (*Vodotoki* 2004). Rivers and streams measure approximately 280 km in length and occupy 0.5% of the studied area. We made the analysis of surface rivers and streams as we did the analysis of roads using a 5 × 5 meter digital elevation model that we derived from the 25 × 25 meter digital elevation model.

Landslides and rockfalls can form barriers across valleys with floods occurring behind them and after their rupture, below them as well. In the studied area, one such barrier was created by the Tratičnik landslide in the Podvolovljek Valley in November 1990. A lake formed that flooded several houses to the roofs, and after the rupture of the barrier, a two-meter high wave ravaged the lower part of Luče several kilometers downstream (Natek 1991, 64). We defined the level of such risk to individual rivers and streams by determining the risk to the areas along the rivers and streams.



Figure 21: The source area of the Tratičnik landslide that formed a barrier across the Podvolovljek Valley and created a temporary lake (photography Matija Zorn, August 25, 2000).

5.4.1 Landslide risk to rivers and streams

According to the analysis using the weighting method, 1.8 km² of river and stream areas are at risk from landslides, of which two fifths are in risk category four areas and a fifth are in risk category five areas. The 100-meter belt areas along the rivers and streams occupy 72 km². As much as a fifth of the area along rivers and streams within the 100-meter belt lies in risk category five areas and four tenths in risk category four areas.

Table 19: Landslide risk to river and stream areas, calculated using the weighting method (ha).

Risk categories	Roads (ha)	Surroundings 0–50 m (ha)	Surroundings 50–100 m (ha)
1	17.82	392.80	446.05
2	21.37	393.72	299.53
3	28.64	594.04	639.21
4	74.93	1,586.77	1,362.81
5	36.63	829.51	705.91
Total	179.39	3,796.84	3,453.50

Table 20: Landslide risk to river and stream areas, calculated using the matrix method (ha).

Risk categories	Roads (ha)	Surroundings 0–50 m (ha)	Surroundings 50–100 m (ha)
1	5.93	95.42	41.33
2	13.04	236.38	164.11
3	41.24	677.37	440.39
4	57.53	1,257.51	1,038.55
5	9.37	231.15	219.41
Total	127.10	2,497.83	1,903.78

According to the matrix method analysis, 1.3 km² of river and stream areas are at risk from landslides, of which almost a half are in risk category four areas and a third in risk category three areas. From this data we can conclude there is a great risk to the area from landslides that occur due to the influence of the groundwater.

5.4.2 Rockfall risk to rivers and streams

Analysis using the weighting method indicated that 96 hectares of river and stream areas are directly at risk from rockfalls. A quarter of the rivers and streams lie in risk category three areas, and two thirds in risk category two areas. More than half of the 100-meter belt areas along the rivers and streams occupy risk category one areas.

Using the matrix method, we determined that the area at risk from rockfalls is eight times smaller than that calculated using the weighting method and occupies 12 hectares. The distribution of areas according to risk categories also differs considerably. One quarter of the areas lies in risk category two and three areas, and two fifths in risk category four areas. About fifty meters of rivers and streams lie in risk category five areas. The areas within the 0–50 meter belts along the rivers and streams occupy 7 km², and the areas within the 50–100 meter belts along the rivers and streams occupy 12 km².

Table 21: Rockfall risk to river and stream areas, calculated using the weighting method (ha).

Risk category	Rivers and streams	Surroundings 0–50 m	Surroundings 50–100 m
2	65.62	1,393.28	1,302.90
3	24.52	617.92	701.41
4	6.02	239.01	368.54
5	0.03	5.17	13.75
Total	96.20	2,255.38	2,386.60

Table 22: Rockfall risk to river and stream areas, calculated using the matrix method (ha).

Risk category	Rivers and streams	Surroundings 0–50 m	Surroundings 50–100 m
1	0.63	41.18	90.04
2	2.97	177.80	299.21
3	3.30	253.30	450.86
4	5.46	220.91	347.05
5	0.03	5.17	13.75
Total	12.39	698.37	1,200.90

6 Conclusion

Calculations using the matrix method indicated that landslides or rockfalls can occur on 80% of the studied area.

A half of the watershed falls into landslide and rockfall hazard category four and five areas, and the directing of human activities to safer areas is imperative. In areas of a moderate possibility of the occurrence of landslides and rockfalls, which occupy 50 km², human activities are possible given appropriate prior protection measures. A great possibility of landslides and rockfalls occurring exists in 20 km² of the watershed. In these areas, any further intensive land use, especially new construction, should be avoided. Costs are the lowest if danger is avoided, and while preventive measures are somewhat more expensive, the complete recovery from the consequences of geomorphic processes is the most expensive.

The question arises regarding what protective measures are needed on the already settled or used areas in the highest risk category, which altogether total 0.1 km². In such cases, it is vital that the elaboration of risk maps is followed by detailed geomorphological mapping and sociogeographical studies of the risk area.

Table 23: Risk areas, calculated using the matrix method.

	Type of risk	Total risk area (ha)
Settlement areas	Landslides	76.00
	Rockfalls	0.30
Roads	Landslide	19.00
	Rockfalls	3.00
Rivers and streams	Landslides	127.00
	Rockfalls	12.00

The landslide and rockfall risk map is an estimation of the actual situation that we obtain through modeling. Its reliability depends on the quality of the cartographical bases and the methods used. To a certain extent, the estimation is also a measure of probability, indicating the existence of the possibility of a process occurring in a specific area. We can obtain a more precise measure of probability by comparing deterministic risk maps with the extent of actual landslides and rockfalls established by mapping.

The quality of risk maps depends on the data layers used, particularly the basic data layer for the calculation of slope, the digital elevation model. The lithology data layer is also important, but regrettably it is substantially less accurate because a 1:25,000-scale digital geological map does not yet exist and the 1:100,000-scale map available is relatively inexact and is only useful at the regional level. We can, however, use the 1:25,000-scale digital pedological map. For the elaboration of landslide source area maps, we should also consider the »thickness of regolith« map (Ribičič et al. 2003, 402), but for the time being, we can only include this factor indirectly. The 24-hour maximum precipitation map was elaborated for the all of Slovenia, but due to the width of its classes (50 mm) is only suitable for use at the regional level.

Risk maps are most useful at the regional and national levels, while for directing human activities at the local or individual levels their accuracy at the moment – in spite of the modern methods and means employed to create them – is relatively low.

On process maps and risk maps, we present primarily the spatial extents of phenomena and establish which areas are more and which are less at risk. Because of the short period of observations, in most cases we do not know the frequency of the occurrence of landslides and rockfalls, so it is difficult if not impossible to predict when a particular phenomenon is going to occur in some region or the possibility of its occurrence at a specific moment. For this reason, field work is extremely important, on the basis of which we can establish framework border values for individual influential factors.

For the time being, the available software programs do not allow the accurate calculation of the spatial spread of landslides and rockfalls. Risk maps illustrate source areas of geomorphic processes but not necessarily their areas of influence. In this study, we tried to avoid this weakness by calculations of areas at risk in the immediate vicinity of the individual buildings or other areas at risk.

Table 25: Advantages and weaknesses of the weighting and matrix methods.

	Weighting method	Matrix method
Time required for elaboration	+	–
Complexity of procedure	+	–
Subjectivity	–	+
Ability to distinguish processes on the final map	–	+
Illustrates non-risk areas	–	+
Verification of influential factors on the level of individual cells of the digital elevation model	–	+
Illustrates area of influence of processes	–	–
Illustrates intensity of processes	–	–
Illustrates time of occurrences of processes*	–	–

Note: + marks advantage of method, – marks weakness of method.

* Maps for predicting the time of occurrence of processes have not yet been created.

7 References

- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F., Reichenbach, P. 2002: Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, pp. 3–14. Katlenburg-Lindau.
- Forstgesetz. Bundesgesetzblatt der Republik Österreich, 440/1975, 3. 7. 1975. Wien.
- Horvat, A. 2001: Metode določanja erozijsko ogroženih območij. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2002: Aplikativne možnosti geografije pri preučevanju pobočnih procesov. *Dela*, 18, pp. 171–193. Ljubljana.
- Komac, B., Natek, K., Pečnik, M., Zorn, M. 2004. Ogroženost Zgornje Savinjske doline zaradi recentnih geomorfnihih procesov. 19. zborovanje slovenskih geografov. *Erico*. Velenje.
- Komac, M. 2003: Napoved tveganja pred plazovi z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Doktorska disertacija. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo. Ljubljana.
- Maksimalne 24-urne padavine za 100 letno povratno dobo: merilo 1 : 250.000. 1995. Hidrometeorološki zavod republike Slovenije, Oddelek za klimatologijo. Ljubljana.
- Medmrežje 1: http://www.arso.gov.si/podrocja/sanacije/podatki/PLAZ-skupaj_2001j.xls (29. 6. 2004).
- Mikoš, M. 1997: Ocena ogroženosti alpskega sveta z naravnimi ujmani. *Gradbeni vestnik*, 46, 1–3, pp. 2–7. Ljubljana.
- Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, 29. 10. 2004 (sklep številka: 404-03-16/2004/389), Ministrstvo za obrambo, 10. 11. 2004 (sklep številka: 808-00-1/2004-360). Ljubljana.
- Mioč, P., Žnidarčič, M., Jerše, Z. 1983: Ravne na Koroškem. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Natek, K. 1983: Metoda izdelave in uporabnost splošne geomorfološke karte. Magistrska naloga. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Natek, K. 1991: Plazovi v Gornji Savinjski dolini. *Ujma*, 5, pp. 62–65. Ljubljana.
- Natek, K., Komac, B., Zorn, M. 2003: Mass movements in the Julian Alps (Slovenia) in the aftermath of the easter earthquake on april 12, 1998. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 37, pp. 29–43. Krakow.
- Pavšek, M. 2002: Snežni plazovi v Sloveniji. *Geografija Slovenije*, 6. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Pečnik, M. 2002: Možnosti nastanka zemeljskih plazov na osnovi geomorfoloških značilnosti površja v Zgornji Savinjski dolini. Diplomsko delo. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Perko, D. 1992: Ogroženost Slovenije zaradi naravnih nesreč. *Ujma*, 6, pp. 74–77. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Stančič, Z., Oštir, K. 2000. Data integration for the DTM production. *International Cooperation and Technology Transfer, Proceedings of the Workshop*, 32-6W8/1, pp. 134–139. Ljubljana.
- Pregledna karta državnega cestnega omrežja Republike Slovenije v merilu 1 : 250.000. 2002. Direkcija Republike Slovenije za ceste. Ljubljana.
- Premru, U. 1983: Ljubljana. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Raba kmetijskih zemljišč, različica 1.0. 2002. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.
- Ribičič, M., Buser, I., Hobljaj, R. 1994. Digitalno atributna/tabelarična baza zemeljskih plazov Slovenije za terenski zajem podatkov. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih. *Rudnik živega srebra Idrija*, pp. 139–153. Idrija.
- Ribičič, M., Šinigoj, J., Komac, M. 2003: New general engineering geological map of Slovenia. *Geologija*, 46, 2, pp. 397–404. Ljubljana.
- Strategija prostorskega razvoja Slovenije. 2003. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Urad za prostorsko planiranje. Ljubljana.
- van Westen, C. J., Seijmonsbergen, A. C., Mantovani, F. 1999: Comparing Landslide Hazard Maps. *Natural Hazards*, 20, 2–3, pp. 137–158. Dordrecht.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Gefahrenzonenpläne. *Bundesgesetzblatt der Republik Österreich*, 436/1976, 30. 7. 1976. Wien.
- Vodotoki. 2004. EIONET v Sloveniji. Medmrežje: <http://nfp-si.eionet.eu.int/ewnsi/index.htm> (30. 6. 2004).

1 Uvod

Na primeru Zgornje Savinjske doline predstavljamo deterministični metodi za izdelavo kart plazovitih in podornih območij oziroma procesnih geomorfoloških kart za zemeljske plazove in skalne podore ter, ob upoštevanju človekovega delovanja v pokrajini, za izdelavo kart ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov.

Metode izdelave tovrstnih kart delimo na neposredne oziroma kvalitativne ali izkustvene in posredne ali kvantitativne. Neposredna je metoda geomorfološkega kartiranja. Točnost te metode je odvisna od izkušenj in znanja tistih, ki kartirajo, zato izdelki zahtevajo več časa za izdelavo, so subjektivni, zaradi terenskega dela pa natančnejši in dražji od kart, izdelanih s posrednimi metodami (van Westen s sod. 1999, 137).

Posredne metode delimo na probablistične oziroma statistične ali verjetnostne in deterministične. Izdelava kart s posrednimi metodami je cenejša in krajša. Deterministične metode so subjektivne, pri probablističnih metodah pa intenzivnost in razširjenost procesov ugotovljamo s primerjavo posredno določenih pokrajinskih prvin in dejanskega stanja (van Westen s sod. 1999, 137; Komac 2003, 16).

Pri pripravi tega prispevka smo uporabili metodo ponderiranja vplivnih dejavnikov, ki je bila v Sloveniji že uporabljena (na primer Pečnik 2002; Natek s sod. 2003; Ribičič s sod. 2003), razvili pa smo tudi novo metodo, tako imenovano metodo matrik.

Z obema metodama smo določali velikost plazovitih in podornih območij ter razlike ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov glede na poselitev, državne ceste, rabo tal in vodotoke.

Karte ogroženosti so model in prikazujejo le tisti del dejanske ali resnično prisotne ogroženosti, ki jo določajo uporabljene spremenljivke oziroma vplivni dejavniki. Dejanska ogroženost je večja od ugotovljene, saj na nastanek skalnih podorov in zemeljskih plazov vplivajo še drugi, neznani ali nenapovedljivi dejavniki. Pride lahko tudi do »nesrečnega spleta okoliščin«. Dejanska ogroženost je lahko tudi manjša, saj je časovna dimenzija naravnega dogajanja povsem drugačna od človeškega dožemanja časa (Komac s sod. 2004).

2 Uporaba kart ogroženosti v Sloveniji in tujini

Iz kart naravnih procesov ali procesnih kart, ki prikazujejo razširjenost naravnih procesov in njihovo intenziteto, ob upoštevanju človekovega delovanja v pokrajini izdelamo karte ogroženosti. So ena od temeljnih podlag za varovanje pred naravnimi nesrečami in prikazujejo ogroženost območij človekove dejavnosti ali bivanja zaradi različnih naravnih procesov. Na njihovi podlagi lahko določimo primernost nekega območja za določeno rabo (Mikoš 1997, 5). V Sloveniji praksa izdelovanja kart ogroženosti še ni zaživela, vendar bodo takšne karte postale pomemben dejavnik prostorskega razvoja Slovenije. V Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (2003) je med cilji, povezanimi z zmanjševanjem ogroženosti zaradi naravnih in drugih nesreč, med drugim navedeno, naj se z ustreznim načrtovanjem zagotavlja racionalna raba prostora in varnost prebivalstva (str. 6), naj se prostorski razvoj usmerja zunaj območij, ki so ogrožena zaradi naravnih ali drugih nesreč, oziroma naj se izboljša zaščita pred njihovimi posledicami (str. 7). Prostorski razvoj na ogroženih območjih naj bi se prilagajal stopnji ogroženosti (str. 18).

V nekaterih alpskih državah je določanje ogroženosti prostora razširjena in zakonodajno sprejeta oblika varstva pred naravnimi ujmami (Mikoš 1997, 2). V Avstriji so leta 1975 z zakonom o gozdovih (Forstgesetz 1975) in leta 1976 s posebno odredbo (Verordnung 1976) določili izdelavo načrtov ogroženosti »hudourniških in plazovitih območij«. Dokument je javen in se ga mora uporabljati pri prostorskem načrtovanju ter graditvi objektov (Komac in Zorn 2002, 179). V Sloveniji obstajata kataster zemeljskih (Ribičič s sod. 1994; Medmrežje 1) in snežnih plazov (Horvat 2001, 137; Pavšek 2002, 25), ki med seboj nista povezana in nista dostopna javnosti. V tujini so tudi zavarovalnice pogosti naročniki takšnih kart. Napačen pristop nekaterih ustanov v Sloveniji vidim v obrazložitvi odločitve o zavrnitvi financiranja izdelave Atlsa ogroženosti Slovenije z vidika naravnih in drugih nesreč: »Atlas ogroženosti Slovenije, z vidika naravnih

in drugih nesreč, lahko predstavlja le posnetek nekega stanja v določenem času, ne more pa biti osnova za zagotavljanje pripravljenosti države na naravne in druge nesreče, ker se ocene ogroženosti spreminjajo, dopolnjujejo, kot se spreminjajo dejavniki, ki na ocene ogroženosti vplivajo» (Ministrstvo 2004).

3 Metodologija izdelave kart

Za izdelavo procesnih kart, ki prikazujejo plazovita in podorna območja, smo upoštevali štiri vplivne dejavnike: kamninsko zgradbo, naklon površja, maksimalne 24-urne padavine in pokritost z gozdom. Uporabljeni informacijski sloji so bili v rastrski obliki, modelirali smo s programskim paketom Idrisi.

Za izdelavo karte nevarnosti zaradi kamninske zgradbe smo uporabili geološko karto v merilu 1 : 100.000 (Mioč s sod. 1983; Premru 1983). Naklone smo izračunali s pomočjo digitalnega modela višin z osnovno celico 25 × 25 m (Podobnikar s sod. 2000). Za vpliv maksimalnih padavin smo uporabili karto Maksimalne 24-urne padavine za 100-letno povratno dobo v merilu 1 : 250.000 (Maksimalne 1995). Podatke o pokritosti z gozdom smo dobili od območne enote Zavoda za gozdove v Nazarjah.

Za izdelavo karte ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov smo karto plazovitih območij združili s karto podornih območij in dobljeni podatkovni sloj primerjali z družbenogeografskimi prvinami.

3.1 Metoda ponderiranja vplivnih dejavnikov

Večina kart geomorfni procesov v Sloveniji je bila izdelana po metodi ponderiranja vplivnih dejavnikov, ni pa še bila izdelana karta ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov.

Za vsakega od vplivnih dejavnikov smo najprej izdelali po dve karti (eno za plazove in drugo za podore), ki prikazujeta stopnjo nevarnosti. Stopnje nevarnosti smo določili na podlagi lastnih spoznanj in literature.

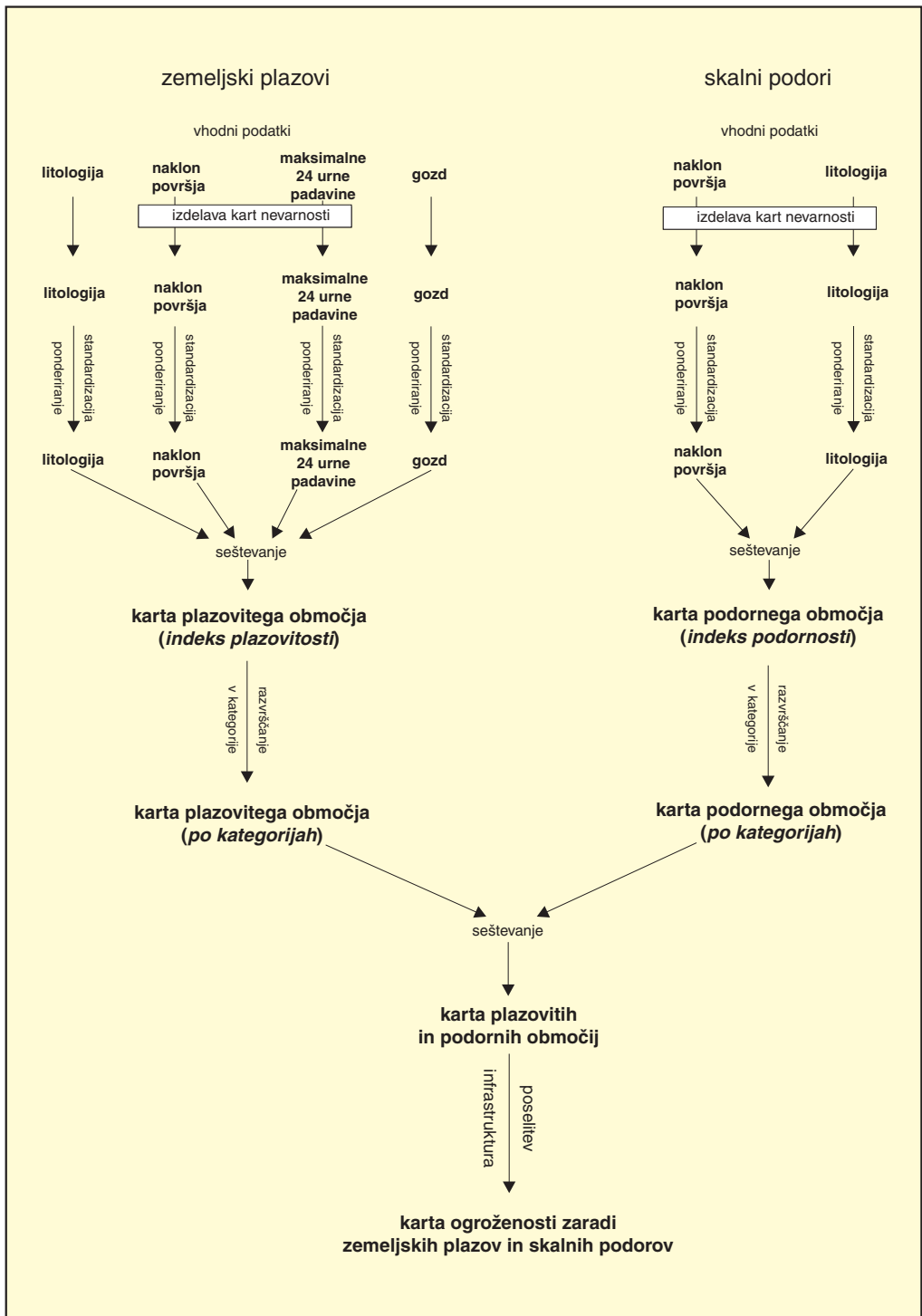
Zaradi različnih lestvic, po kateri merimo posamezne vplivne dejavnike, je nujna standardizacija posameznih vplivnih dejavnikov (Pečnik 2002, 70), s katero absolutne vrednosti spremenimo v relativne tako, da vrednosti sloja delimo z njegovo najvišjo vrednostjo. Na ta način lahko med seboj primerjamo različne karte (Perko 1992, 74).

Vpliv različnih dejavnikov na nastanek pobočnih procesov ni enakovreden, zato je treba vsak dejavnik obtežiti ali ponderirati. Temeljna zahteva ponderiranja je, da je vsota vseh uteži ali ponderjev enaka 1. Določitev ponderjev je subjektivna, saj se moramo odločiti, kako bomo obtežili posamezni dejavnik (Pečnik 2002, 70), pri čemer se težko zanesemo na literaturo. S standardizacijo in ponderiranjem izdelamo delne karte.

Preglednica 1: Uporabljeni ponderji vplivnih dejavnikov.

	plazovi	podori
naklon	2/5	7/10
kamninska zgradba	2/5	3/10
24-urne maksimalne padavine	1/10	–
gozd	1/10	–

Sledi faza kombiniranja delnih kart (Perko 1992, 74; Pečnik 2002, 71), v kateri med seboj seštejemo posamezne sloje in seštevek delimo s številom slojev. Dobljeni indeks z vrednostmi 0–1 izraža možnost plazenja oziroma podiranja. Najvišjo vrednost 1 imajo območja, ki so v vseh posameznih slojih uvrščena v najvišjo kategorijo (Perko 1992, 74). Številčni razpon 0–1 nato običajno razdelimo na tri ali pet kategorij, ki predstavljajo možnost nastanka zemeljskih plazov in skalnih podorov.



Slika 1: Postopek izdelave kart ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov po metodi ponderiranja.

Osrednji del postopka izdelave kart plazovitih in kart podornih območij iz kart nevarnosti povzema enačba:

$$\kappa = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{X_n}{Y_n} * p_n \right)}{N}$$

legenda:

κ = karta plazovitega oziroma podornega območja,

n = sloj,

N = skupno število slojev,

p = ponder,

X = karta nevarnosti vplivnega dejavnika,

Y = največja vrednost sloja.

Rezultat sta procesni karti, ki prikazujeta plazovita in podorna območja. Če ju seštejemo in delimo z dve, dobimo skupno karto plazovitih in podornih območij.

Da bi dobili karto ogroženosti, moramo na procesno karto zemeljskih plazov in skalnih podorov položiti podatkovne sloje, ki prikazujejo poselitev, infrastrukturo, vodotoke. Glede na točnost uporabljenih podlag je za vsak objekt ali območje razvidno, na katerem območju ogroženosti stoji. V tej fazi se približamo temeljnemu načelu geografije, saj karta ogroženosti prikazuje součinkovanje naravnogeografskih in družbenogeografskih dejavnikov v pokrajini. Stopnja ogroženosti, ki pomeni možnost plazanja ali podiranja, je pomembna za dolgoročno usmerjanje poselitve in človekovih dejavnosti v pokrajini.

Dobra stran metode ponderiranja je enostavnost in kratkotrajnost postopka. Slabosti so metodološke, saj je metoda subjektivna. Na združeni karti ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov je nemogoče razlikovati plazovita in podorna območja niti iz prikazanih vrednosti ne moremo sklepati na kvantitativni vpliv posameznih vplivnih dejavnikov. Karta tudi ne prikazuje neogroženih območij.

3.2 Metoda matrik

Najpomembnejša pomanjkljivosti metode ponderiranja je prav ponderiranje, ki je odvisno od izkušenj raziskovalca ter od vrste in natančnosti izvornih podatkov. Na primeru Zgornje Savinjske doline smo preizkusili novo metodo, ki smo jo razvili avtorja članka v sodelovanju z dr. Karlom Natekom (Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani).

Tudi s to metodo smo z istimi podlagami najprej izdelali delni karti, ki prikazujeta plazovita in podorna območja. Najprej smo za vsakega od vplivnih dejavnikov izdelali po dve karti (eno za zemeljske plazove in drugo za skalne podore), ki prikazujejo stopnjo nevarnosti. Ta del postopka je subjektiven, ker je tudi metoda matrik deterministična. Stopnje nevarnosti smo določili na podlagi lastnih spoznanj in literature. Do tu sta metodi enaki.

V nadaljevanju pa ni bilo potrebno ponderiranje vplivnih dejavnikov, temveč le odločitev o zaporedju množenja v matrikah. Pri podorih smo privzeli, da je naklon površja pomembnejši od kamninske zgradbe, pri plazovih pa, da je kamninska zgradba pomembnejša od naklona površja, ta pa je pomembnejši od gozda in padavin.

Namesto ponderiranja smo uporabili množenje in rangiranje. Za tako obliko podatkov lahko z večjo gotovostjo trdimo, da so realnejši, kot so subjektivno določeni ponderji.

Preglednica 2: Matrika z rangi; primerjava vpliva naklona površja in kamninske zgradbe na možnost nastanka skalnih podorov.

rang		kamninska zgradba				
		1	2	3	4	5
naklon površja	1	25	23	21	18	16
	2	23	18	14	12	9
	3	21	14	11	7	5
	4	18	12	7	4	2
	5	16	9	5	2	1

Preglednica 3: Matrika z rangi; primerjava vpliva naklona površja in kamninske zgradbe na možnost nastanka skalnih podorov, razvrščenimi po njihovi pravi teži.

rang		kamninska zgradba				
		1	2	3	4	5
naklon površja	1	25	24	22	20	17
	2	23	19	15	13	10
	3	21	14	11	8	6
	4	18	12	7	4	3
	5	16	9	5	2	1

Dobljene vrednosti smo nato vnesli v matrike in z njihovo pomočjo izračunali delne karte oziroma karte nevarnosti, ki prikazujejo absolutne izračunane vrednosti. V naslednjem koraku smo izračunali indeksa plazovitosti in podornosti. Ta del postopka je enak kot pri prejšnji metodi, vendar so dobljene vrednosti neposredno povezane z izvornimi.

Relativne indeksne vrednosti smo nazadnje glede na frekvenčno razporeditev pojavov razvrstili v kategorije in jim pripisali relativno vrednost, ki predstavlja možnost nastanka pojava. V tej fazi postopka smo lahko še vedno ugotovili, kolikšen delež je k rezultatu prispeval posamezni dejavnik.

Nato smo izdelali karti plazovitih in podornih območij, ju sešteli in dobili procesno geomorfološko karto, ki prikazuje prostorsko razširjenost in možnost nastanka zemeljskih plazov ter skalnih podorov. Vsak od procesov je prikazan z drugo barvno lestvico, da ju med seboj lahko razlikujemo. Uporabili smo lestvico iz petih kategorij, pri kateri nižja številka pomeni manjšo možnost nastanka zemeljskih plazov ali skalnih podorov.

Osrednji del postopka izdelave kart plazovitih in kart podornih območij iz kart nevarnosti, je povzet v enačbi:

$$\kappa = \frac{\prod_{k=1}^{\infty} (M_k)}{R_{\max}} = \frac{\prod_{k=1}^{\infty} \binom{k R_1}{k R_m}}{R_{\max}} = \frac{\prod_{k=1}^{\infty} \binom{k-1 R_1 * x_1}{k-1 R_m * x_m}}{R_{\max}}$$

legenda:

κ = karta plazovitega oziroma podornega območja,

k = zaporedna številka matrike,

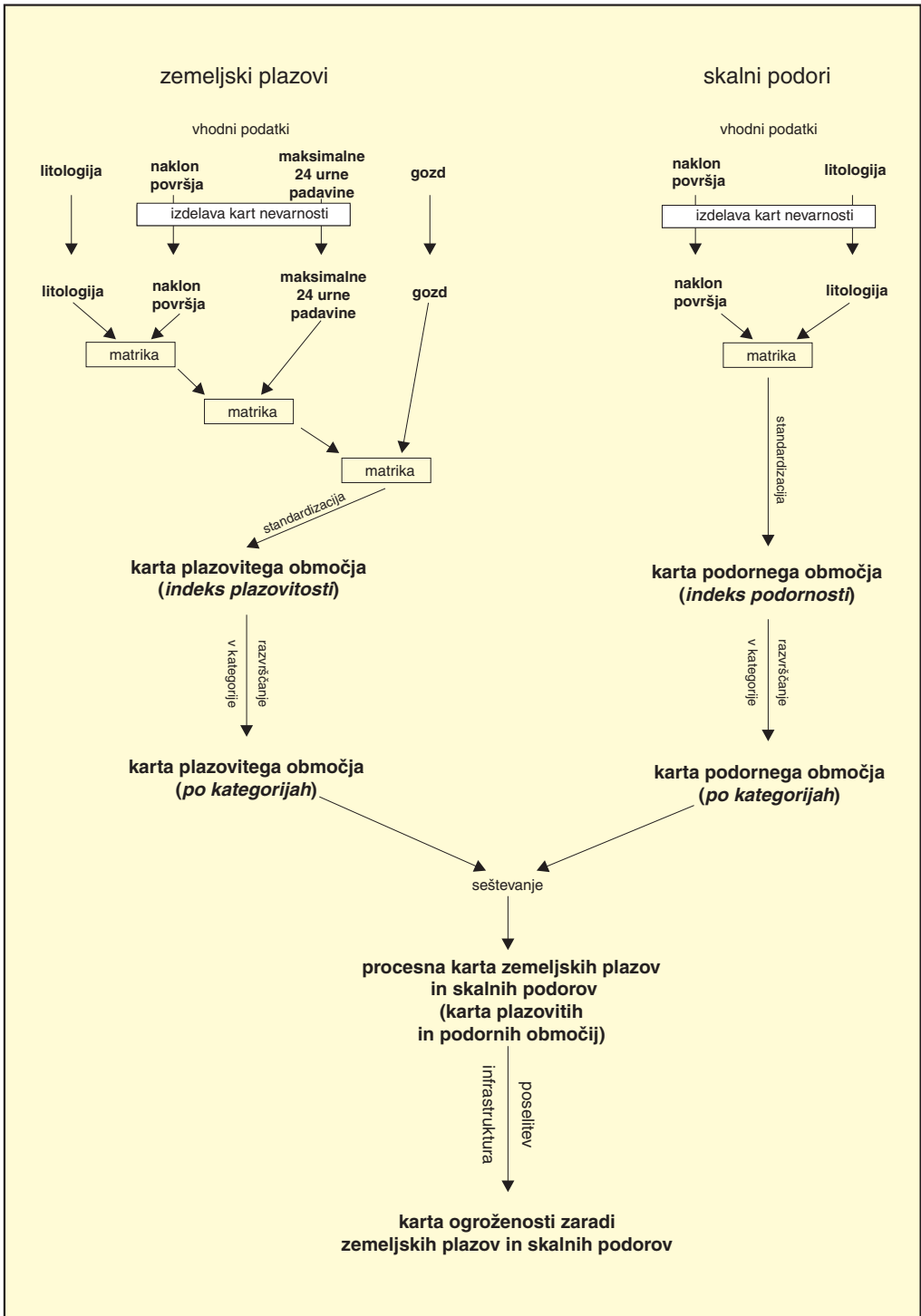
m = zaporedje v matriki,

M = matrika,

R = rang,

R_{\max} = najvišji rang zadnje matrike,

x = vplivni dejavnik.



Slika 12: Postopek izdelave kart ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov po metodi matrik.

Na končni karti, ki je bila izdelana z metodo ponderiranja, nismo mogli razlikovati plazovitih in podornih območij, saj je prikazovala le skupni indeks. Uporabni sta bili le delni karti, iz katerih je bilo razviden prevladujoči proces.

Dobre strani metode matrik so možnost razlikovanja procesov na končni karti, možnost določanja območij, na katerih ni zemeljskih plazov in skalnih podorov, manjša subjektivnost in večja preverljivost do ravni posamezne celice digitalnega modela višin. Njena slabost je bolj zapleten in daljši postopek.

Karte izdelane po zgornjem postopku in po postopku opisanem v poglavju 3.1, prikazujejo izvorna območja, zato je treba pri njihovi interpretaciji nujno upoštevati še možen doseg oziroma vplivno območje pojavov.

Slika 2: Karta plazovitega območja izdelana po metodi ponderiranja, ki prikazuje indeks plazovitosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 3: Karta plazovitega območja izdelana po metodi ponderiranja, ki prikazuje kategorije plazovitosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 4: Karta plazovitega območja izdelana po metodi matrik, ki prikazuje indeks plazovitosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 5: Karta plazovitega območja izdelana po metodi matrik, ki prikazuje kategorije plazovitosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 6: Karta podornega območja izdelana po metodi ponderiranja, ki prikazuje indeks podornosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 7: Karta podornega območja izdelana po metodi ponderiranja, ki prikazuje kategorije podornosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 8: Karta podornega območja izdelana po metodi matrik, ki prikazuje indeks podornosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 9: Karta podornega območja izdelana po metodi matrik, ki prikazuje kategorije podornosti. Glej angleški del prispevka.

Slika 10: Karta ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov izdelana po metodi ponderiranja. Glej angleški del prispevka.

Slika 11: Karta ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov izdelana po metodi matrik. Glej angleški del prispevka.

4 Plazovita in podorna območja v Zgornji Savinjski dolini

4.1 Značilnosti površja

Porečje Savinje nad Ljubnim obsega 282,3 km². Večina površja leži pod 1200 m, četrtno obsegajo območja v višinah 800–1200 m. Nad 1000 m sta skoraj dve petini porečja. Ozemlje v višinah 400–600 m obsega 16 km², ozemlje v višinah 600–800 m pa 47 km².

Slika 13: Površina porečja Savinje nad Ljubnim v km² po višinskih pasovih (m). Glej angleški del prispevka.

Le 0,1 % porečja ima naklon manjši od 2°, kjer ne potekajo močnejši pobočni procesi. Zmerno odnašanje gradiva poteka na dveh odstotkih porečja z nakloni 2–6°. Erozijska na kmetijskih površinah lahko poteka na šestnajstini porečja z nakloni 6–11,9°. Zelo močno ploskovno odnašanje, ki ponekod že lahko preide v linijsko erozijo poteka na 50 km² ozemlja z nakloni 12–19,9°. Na teh površinah že nastajajo usadi. Glede na naklone je velika nevarnost nastanka zemeljskih plazov na dveh petinah porečja. Stene obsegajo slabo četrtno porečja.

Preglednica 4: Površina porečja po naklonskih razredih in prevladujoči geomorfni procesi (Natek 1983, 66).

naklonski razredi (°)	površina (km ²)	delež površja (%)	prevladujoči geomorfni procesi
do 2	0,36	0,13	Razmeroma šibko in pretežno ploskovno odnašanje gradiva s pogostim zastajanjem vode.
2–5,9	6,76	2,39	Zmerno odnašanje gradiva in erozija prsti na njivah ter polzenje prepereline v gozdu.
6–11,9	16,52	5,85	Močno odnašanje gradiva z erozijo prsti na njivah in travnikih ter proženje manjših zemeljskih plazov.
12–19,9	49,07	17,38	Zelo močno ploskovno odnašanje, ki prehaja v linijsko erozijo, pogosti zemeljski plazovi.
20–31,9	115,51	40,92	Zelo močno odnašanje gradiva s prevlado linijske erozije in pogostimi zemeljski plazovi.
32–54,9	26,99	9,56	Pri 32° je v naših razmerah naravni posipni kot, zato na površju ni sklenjene odeje prsti, pogosto podiranje.
nad 55	67,81	24,02	Stena, na kateri vsak odlučen delec kamnine pod vplivom gravitacije pade navzdol.

Slika 14: Površina porečja Savinje nad Ljubnim v km² po naklonskih razredih (naklon je v stopinjah). Glej angleški del prispevka.

4.2 Rezultati izračunov

Po izračunu po metodi ponderiranja lahko zemeljski plazovi nastanejo v praktično celem porečju. Tretjino plazovitih površin zavzema območje četrte kategorije, po sedmino pa območje druge, tretje in pete kategorije. Območje prve kategorije obsega skoraj petino porečja. Skalni podori se lahko pojavijo na približno treh četrтинah porečja. Dve petini porečja sta na območju druge kategorije, tretjina na območju tretje kategorije, petina na območju četrte kategorije in le 3,7 km² na območju pete kategorije.

Izračuni po metodi matrik kažejo, da obsegajo območja, kjer naj se ne bi sprožali zemeljski plazovi in skalni podori približno četrtno porečja. Zemeljski plazovi se lahko pojavijo na šestih desetinah porečja, podori pa lahko nastanejo na tretjini porečja. Plazovitih ni 154 km² površin. Polovica plazovitih površin leži na območju četrte kategorije, četrtnina na območju tretje kategorije in osmina na območju pete kategorije. Podorno območje obsega 91 km² ali tretjino porečja. Od tega leži 54 % površja na območju četrte kategorije, po dobra petina na območju tretje in druge kategorije, po dvajsetina pa na območju prve in pete kategorije. Podori naj se ne bi sprožali na 191 km² površin.

Preglednica 5: Površina plazovitih in podornih območij, izračunana po metodi ponderiranja.

kategorija	plazovita območja (km ²)	podorna območja (km ²)
1	65,02	0
2	41,21	90,37
3	42,06	76,34
4	91,86	50,39
5	42,14	3,68
skupaj	282,29	220,78

Preglednica 6: Površina plazovitih in podornih območij, izračunana po metodi matrik.

kategorija	plazovita območja (km ²)	podorna območja (km ²)
1	2,49	5,23
2	11,38	15,45
3	32,69	16,87
4	65,44	49,40
5	16,34	3,68
skupaj	128,34	90,64

Slika 15: Primerjava površin (km²) plazovitih in podornih območij po kategorijah, izračunanih po metodi ponderiranja in po metodi matrik. Glej angleški del prispevka.

Slika 16: Primerjava skupnih površin (km²) plazovitih in podornih območij, izračunanih po metodi ponderiranja in po metodi matrik. Glej angleški del prispevka.

4.2.1 Razlike v izračunih med metodama

Prva in najpomembnejša razlika med metodama je, da je površina plazovitih in podornih območij, izračunanih po metodi matrik za 2,3 krat manjša od območij, izračunanih po metodi ponderiranja. Pravilnejši je izračun po metodi matrik, saj metoda ponderiranja ne omogoča prikaza območij, kjer se procesi ne pojavljajo. Zato so razlike največje pri opredelitvi teh območij. Pri opredelitvi območij skalnih podorov so večje razlike, kot pri območjih zemeljskih plazov.

Pri kartah možnosti nastanka zemeljskih plazov so največje razlike na območju prve kategorije, kjer se površina posameznih območij razlikuje za približno petino velikosti porečja. Na območjih druge in pete kategorije se izračunani površini razlikujeta za približno desetino velikosti porečja.

Pri kartah možnosti nastanka skalnih podorov so največje razlike na območju druge kategorije, kjer se površina posameznih območij razlikuje za četrtno velikosti porečja. Odstopanje je veliko tudi na območjih tretje kategorije, kjer se izračunani površini razlikujeta za približno petino velikosti porečja.

Presenetljivo je dejstvo, da prihaja do podobnih ali celo višjih odstopanj tudi pri uporabi neposrednih metod, kot sta geomorfološko kartiranje ali analiza letalskih posnetkov, kjer se rezultati zaradi velike subjektivnosti lahko razlikujejo za 55–65 % ali celo do 80 % (Ardizzone s sod. 2002, 3).

5 Ogrožena območja zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov v Zgornji Savinjski dolini

V naslednji fazi smo procesne karte primerjali z nekaterimi družbenogeografskimi prvinami, da bi dobili karte ogroženosti. Ker karte ogroženosti, izdelane po zgornjih metodah, prikazujejo le izvorna območja procesov, in ne tudi vplivnih območij, smo pri modeliranju ogroženosti upoštevali še ogroženost območja v stometrski oddaljenosti od stavb, cest in vodotokov.

5.1 Ogroženost območij poselitve

Poseljene površine obsegajo le 0,26 % površine (zabeležili smo 1218 stavb) preučevanega območja, toda preučevanje njihove ogroženosti je zaradi zagotavljanja varnosti prebivalcev zagotovo najpomembnejše.

5.1.1 Ogroženost območij poselitve zaradi zemeljskih plazov

Po metodi ponderiranja merijo poseljena območja, ogrožena zaradi zemeljskih plazov 70 ha. Četrtnina stavb leži na območju najmanjše ogroženosti, tretjina na območju četrte kategorije in nekaj manj kot desetina na območju pete kategorije. V pasu v stometrski oddaljenosti od poseljenih območij, ki obsega 17 km², leži na območju prve in pete kategorije ogroženosti osmina površja.

Po metodi matrik smo izračunali, da je na območjih, ki jih zemeljski plazovi ne ogrožajo, 452 ali slabi dve petini stavb. Za usmerjanje poselitve je pomembno dejstvo, da kar 315 stavb leži na območju četrte stopnje ogroženosti, po desetina ogroženih stavb leži na območju prve in pete stopnje ogroženosti. V oddaljenosti 100 m od poseljenih območij je 13 km² površja, od tega obsega 4 km² območje v 50-metrski oddaljenosti. Polovica površine prvega pasu leži na območju četrte kategorije ogroženosti in petina na območju pete kategorije ogroženosti.

Preglednica 7: Površina ogroženosti območij poselitve in njihove bližnje okolice zaradi zemeljskih plazov, izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	poseljeno		okolica 0–50 m		okolica 50–100 m	
	število celic	ha	število celic	ha	število celic	ha
1	279	17,44	1067	66,69	1587	99,19
2	238	14,88	1359	84,94	1921	120,06
3	138	8,63	1232	77,00	2725	170,31
4	372	23,25	3713	232,06	9358	584,88
5	91	5,69	1077	67,31	3022	188,88
skupaj	1118	69,89	8448	528	18613	1163,32

Preglednica 8: Površina ogroženosti območij poselitve in njihove bližnje okolice zaradi zemeljskih plazov, izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	poseljeno		okolica 0–50 m		okolica 50–100 m	
	število celic	ha	število celic	ha	število celic	ha
1	149	9,3125	748	46,75	837	52,3125
2	81	5,0625	672	42,00	1406	87,88
3	60	3,75	664	41,50	1863	116,44
4	309	19,3125	2974	185,88	7285	455,31
5	143	8,9375	1389	86,81	2844	177,75
skupaj	742	46,38	6447	402,94	14235	889,69

5.1.2 Ogroženost območij poselitve zaradi skalnih podorov

Po metodi ponderiranja so zaradi skalnih podorov neposredno ogrožene stavbe, ki ležijo v 455 celicah oziroma na 28 ha. Od tega leži devet desetin stavb na območju druge kategorije ogroženosti, 38 na območju tretje in dve stavbi na območju četrte kategorije ogroženosti. Površina ogroženih poseljenih območij obsega 0,1 % porečja.

Analizirali smo tudi ogroženost bližnjega območja stavb v oddaljenosti 0–50 m in 50–100 m. Obseg območja v stometski oddaljenosti je približno 9,8 km², od tega obsega prvi pas 2,7 km². Na tem območju je na območju četrte kategorije ogroženosti 9 ha zemljišč, na območju tretje kategorije ogroženosti pa 156 ha zemljišč.

Po metodi matrik smo ugotovili, da je zaradi skalnih podorov ogroženih le pet stavb, kar je posledica redke poseljenosti na površju z velikimi nakloni. Na območju druge kategorije ogroženosti zaradi podorov je ena stavba, tri so na območju tretje kategorije in ena na območju četrte kategorije. V 100 m oddaljenosti od stavb je 1 km² površja, od tega obsega območje v 50 m oddaljenosti 15 ha. Tri petine prvega pasu so v tretji kategoriji ogroženosti, petina pa v drugi kategoriji ogroženosti.

Preglednica 9: Površina ogroženih območij poselitve in njihove bližnje okolice zaradi skalnih podorov, izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	poseljeno		okolica 0–50 m		okolica 50–100 m	
	število celic	ha	število celic	ha	število celic	ha
1	0	0,00	0	0,00	0	0,00
2	415	25,94	3802	237,63	9306	581,63
3	38	2,38	546	34,13	1945	121,56
4	2	0,13	23	1,44	124	7,75
skupaj	455	28,45	4371	273,19	11375	710,94

Preglednica 10: Površina ogroženih območij poselitve in njihove bližnje okolice zaradi skalnih podorov, izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	poseljeno		okolica 0–50 m		okolica 50–100 m	
	število celic	ha	število celic	ha	število celic	ha
1	0	0,00	4	0,25	51	3,19
2	1	0,06	54	3,38	353	22,06
3	3	0,19	174	10,88	1002	62,63
4	1	0,06	18	1,13	117	7,31
skupaj	5	0,31	250	15,63	1523	95,19

Slika 17: Na desni je viden zemeljski plaz v vasi Raduha, ki je nastal 3. 11. 1990, na levi je v plazni kotanji manjšega zemeljskega plazzu kmetija Slapnik. Nad domačijo je približno 400 m široka polkrožna plazna kotanja starejšega plazzu (fotografija Matija Zorn, 26. 5. 2004). Glej angleški del prispevka.

Slika 18: Izsek iz karte ogroženosti izdelane po metodi matrik, ki prikazuje prilagojenost tradicionalne poselitve naravnim razmeram. Glej angleški del prispevka.

5.2 Ogroženost državnih cest

Za ugotavljanje ogroženosti državnih cest smo karto plazovitih in podornih območij prekrili z informacijskim slojem državnega cestnega omrežja, ki je v Zgornji Savinjski dolini dolgo približno 55 km (Pregledna 2002).

5.2.1 Ogroženost državnih cest zaradi zemeljskih plazov

Po izračunu po metodi ponderiranja so ogrožene vse ceste. Tretjina cest je speljanih po območju pete kategorije ogroženosti, četrtnina po območju četrte kategorije ogroženosti in šestina po območju tretje kategorije ogroženosti. V oddaljenosti 100 m od cest je 12 km² ogroženih površin.

Analiza po metodi matrik je zaradi večje natančnosti pokazala nižje vrednosti. Zaradi zemeljskih plazov sta ogroženi dve tretjini cestnega omrežja. Na območju pete kategorije ogroženosti je 1,5 km državnih cest, na območju četrte kategorije ogroženosti pa 22,7 km ali štiri desetine državnih cest. V oddaljenosti 0–100 m je kar 8 km² ogroženih površin, največ na območju četrte kategorije ogroženosti.

Preglednica 11: Površina ogroženosti državnih cest in njihove bližnje okolice zaradi zemeljskih plazov, izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	državne ceste (ha)	okolica 0–50 m (ha)	okolica 50–100 m (ha)
1	4,16	87,88	75,98
2	3,42	66,61	52,27
3	4,32	95,67	94,03
4	6,41	155,74	155,08
5	9,56	202,55	198,70
skupaj	27,86	608,45	576,05

Preglednica 12: Površina ogroženosti državnih cest in njihove bližnje okolice zaradi zemeljskih plazov (ha), izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	državne ceste (ha)	okolica 0–50 m (ha)	okolica 50–100 m (ha)
1	1,69	34,22	25,05
2	1,95	41,47	37,38
3	3,11	67,87	65,62
4	11,38	250,35	241,04
5	0,78	19,21	23,84
skupaj	18,91	413,11	392,92

5.2.2 Ogroženost državnih zaradi skalnih podorov

Po metodi ponderiranja je zaradi skalnih podorov ogroženih 18 km državnih cest. Skoraj sedmina jih leži na območju četrte kategorije ogroženosti, tretjina na območju tretje kategorije ogroženosti, polovica pa na območju druge kategorije ogroženosti. Območja v stometrski oddaljenosti obsegajo 4 km², od tega je polovica na območju druge kategorije ogroženosti in tretjina na območju tretje kategorije ogroženosti.

Po metodi matrik smo ugotovili, da so površine, ki jih ogrožajo podori, dva in pol krat manjše, kot pri izračunu po metodi ponderiranja, in obsegajo 3,5 ha. Štirideset odstotkov cestnih površin leži na območju druge kategorije ogroženosti, petina na območju tretje kategorije ogroženosti in tretjina na območju četrte kategorije ogroženosti. Na območju pete kategorije ogroženosti je 175 dolžinskih metrov cest, na območju prve kategorije ogroženosti 8,7 km, na območju četrte kategorije ogroženosti pa 2,3 km. V oddaljenosti 100 m od cest je približno 160 ha ozemlja.

Preglednica 13: Površina ogroženosti državnih cest in njihove bližnje okolice zaradi skalnih podorov, izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	državne ceste (ha)	okolica 0–50 m (ha)	okolica 50–100 m (ha)
1	0	0	0
2	4,36	103,28	107,15
3	3,05	69,68	73,68
4	1,30	27,71	26,48
5	0,09	1,24	0,64
skupaj	8,79	201,90	207,95

Preglednica 14: Površina ogroženosti državnih cest in njihove bližnje okolice zaradi skalnih podorov, izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	državne ceste (ha)	okolica 0–50 m (ha)	okolica 50–100 m (ha)
1	0,08	1,14	1,61
2	1,37	33,76	35,10
3	0,79	17,92	22,16
4	1,16	25,06	24,24
5	0,09	1,24	0,64
skupaj	3,49	79,12	83,75

Slika 19: Državna, tako imenovana Panoramska cesta, prečka Macesnikov plaz pod Olševo (fotografija Matija Zorn, 25. 8. 2000). Glej angleški del prispevka.

5.3 Ogroženost zemljiških kategorij

Za ugotavljanje ogroženosti zemljiških kategorij smo karto plazovitih in podornih območij primerjali s karto Rabe kmetijskih zemljišč (2002).

5.3.1 Ogroženost zemljiških kategorij zaradi zemeljskih plazov

Po analizi po metodi ponderiranja je ogroženih 282 km² porečja, najbolj travnike, gozd in sadovnjake ter pozidane površine. Polovica travnikov leži na območju četrte kategorije ogroženosti, šestina pa na območju pete kategorije ogroženosti. Tretjina gozdnih površin leži na območju četrte kategorije ogroženosti, po šestina pa na območju druge, tretje in pete kategorije ogroženosti. Dve petini pozidanih površin (v nasprotju s poseljenostjo v poglavju 5.1 so tu upoštevane vse urbane površine) sta na območju četrte kategorije ogroženosti, osmina na območju pete kategorije ogroženosti. Podobna razporeditev po kategorijah ogroženosti je značilna tudi za sadovnjake. Neporaslih ogroženih površin je 15 km², pašnikov 4 km², njivskih površin pa 21 ha. Tri petine njiv je na območjih prve kategorije ogroženosti, petina na območju druge kategorije ogroženosti, po desetina pa na območjih tretje in četrte kategorije ogroženosti.

Po metodi matrik je ogroženih 127 km² površin. Najbolj so ogrožene neporasle površine, pašniki in sadovnjaki, saj ležijo štiri petine neporaslih površin ter polovica pašnikov in sadovnjakov na območju pete kategorije ogroženosti. Tri petine ogroženih travnikov so na območju četrte kategorije ogroženosti, tri desetine pa na območju pete kategorije ogroženosti. Med pozidanimi površinami, ki obsegajo 3 km², leži skoraj polovica na območju četrte kategorije ogroženosti, petina pa na območju pete kategorije ogroženosti.

Preglednica 15: Površina ogroženosti po območjih rabe tal zaradi zemeljskih plazov (ha), izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	njiva	sadovnjak	travnik	gozd	pozidano	pašnik	neporaslo	vode
1	12,75	3,00	304,75	4812,88	64,13	206,44	1074,00	24,31
2	3,94	8,69	397,38	3238,44	66,63	131,56	254,13	20,50
3	2,00	10,25	245,81	3770,44	60,63	19,63	83,19	14,31
4	1,75	43,13	1193,88	7718,31	167,00	9,25	40,63	11,81
5	0,06	8,06	442,88	3644,19	56,25	19,75	40,69	2,25
skupaj	20,50	73,13	2584,69	23184,25	414,63	386,63	1492,63	73,19

Preglednica 16: Površina ogroženosti po območjih rabe tal zaradi zemeljskih plazov (ha), izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	njiva	sadovnjak	travnik	gozd	pozidano	pašnik	neporaslo	vode
1	2,88	4,31	56,31	139,13	34,50	0,00	0,94	11,38
2	1,00	8,13	0,00	963,13	24,50	0,00	0,06	5,13
3	0,19	4,25	147,44	3062,13	40,06	5,06	5,31	4,44
4	2,38	0,00	1028,63	5315,38	137,50	7,94	9,13	9,81
5	0,56	15,69	493,56	983,31	60,38	16,94	61,25	2,56
skupaj	7,00	32,38	1725,94	10463,06	296,94	29,94	76,69	33,31

5.3.2 Ogroženost zemljiških kategorij zaradi skalnih podorov

Po metodi ponderiranja je neposredno ogroženih 220 km² površin. Najbolj so ogrožene neporasle površine, od katerih je petina na območju pete kategorije ogroženosti, tri petine pa na območju četrte kategorije ogroženosti. Več kot dve petini pašnikov ležita na območju četrte kategorije ogroženosti. Največje površine na preučevanem območju obsega gozd, od tega ležita dve petini na območju druge kategorije ogroženosti, petina na območju četrte kategorije ogroženosti. Ogroženih je tudi dvesto hektarov pozidanih površin, od tega so štiri petine na območju druge, šestina pa na območju tretje kategorije ogroženosti. Sedem desetih ogroženih travnikov leži na območju druge, tretjina na območju tretje kategorije ogroženosti, 5 ha pa na območju četrte kategorije ogroženosti.

Po izračunu po metodi matrik je skupna površina ogroženih območij za več kot polovico manjša, kot pri izračunu po metodi ponderiranja, in obsega 90 km². Ogrožene so zlasti neporasle površine, pašniki in gozdovi. Četrtnina neporaslih območij leži na območju pete kategorije ogroženosti, preostali delež pa na območju četrte kategorije ogroženosti. Devet desetih pašnikov leži na območju četrte kategorije ogroženosti. Polovica gozdnih površin leži na območju četrte kategorije ogroženosti, petina na območjih druge in tretje kategorije ogroženosti, manjši delež pa na območju prve kategorije ogroženosti. Ogroženi travniki obsegajo 38 ha, šest desetih jih leži na območju tretje kategorije ogroženosti, četrtnina na območju druge kategorije ogroženosti, desetina pa na območju četrte kategorije ogroženosti. Podori neposredno ogrožajo 11 ha pozidanih površin, od tega leži več kot polovica na območju tretje kategorije ogroženosti, tretjina na območju druge kategorije ogroženosti in desetina na območju četrte kategorije ogroženosti. Ogroženih je 0,63 ha sadovnjakov, njive pa zaradi skalnih podorov niso ogrožene.

Preglednica 17: Površina ogroženosti po območjih rabe tal zaradi skalnih podorov (ha), izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	njiva	sadovnjak	travnik	gozd	pozidano	pašnik	neporaslo	vode
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3,56	49,94	1148,44	7610,56	166,56	4,94	0,00	12,56
3	0,00	1,56	523,88	6562,94	32,81	182,94	323,69	5,94
4	0,00	0,00	5,19	4090,44	1,13	158,19	783,75	0,06
5	0,00	0,00	0,00	100,69	0,00	11,94	255,44	0,00
skupaj	3,56	51,50	1677,50	18364,63	200,50	358,00	1362,88	18,56

Preglednica 18: Površina ogroženosti po območjih rabe tal zaradi skalnih podorov (ha), izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	njiva	sadovnjak	travnik	gozd	pozidano	pašnik	neporaslo	vode
1	0,00	0,00	1,19	483,81	0,31	4,69	32,81	0,00
2	0,00	0,19	9,94	1525,44	3,63	0,25	5,75	0,06
3	0,00	0,44	21,81	1650,38	6,13	0,06	8,25	0,13
4	0,00	0,00	5,06	3992,31	1,13	158,13	783,75	0,00
5	0,00	0,00	0,00	100,69	0,00	11,94	255,44	0,00
skupaj	0,00	0,63	38,00	7752,63	11,19	175,06	1086,00	0,19

Slika 20: Spodnji del Macesnikovega plazu pod Olševo (fotografija Matija Zorn, 25. 8. 2000). Glej angleški del prispevka.

5.4 Ogroženost vodotokov

Za ugotavljanje »ogroženosti« vodotokov smo karto plazovitih in podornih območij prekrili s karto vodotokov v Zgornji Savinjski dolini (Vodotoki 2004). V dolžino vodotoki merijo približno 280 km in obsegajo po površini 0,5 % preučevanega območja. Analizo površinskih vodotokov smo, tako kot analizo državnih cest, naredili z digitalnim modelom višin 5×5 metrov, ki smo ga izdelali iz digitalnega modela višin 25×25 metrov.

Zemeljski plazovi in skalni podori lahko ustvarijo dolinske pregrade, kar povzroči poplave za pregradami, po njihovem preboju pa tudi pod njimi. Na obravnavanem območju je takšno pregrado novembra 1990 ustvaril Tratičnikov plaz v dolini Podvolovljek. Nastalo jezero je do streh zalilo nekaj hiš, po preboju pregrade pa je 2 m visok val razdejal nekaj kilometrov oddaljeni spodnji del Luč (Natek 1991, 64). Stopnjo takšne ogroženosti posameznih vodotokov smo določili s pomočjo opredelitve ogroženosti okolice vodotokov.

Slika 21: Odlomni rob Tratičnikovega plazu, ki je v Podvolovljeku ustvaril dolinsko pregrado, za katero je nastalo jezero (fotografija Matija Zorn, 25. 8. 2000). Glej angleški del prispevka.

5.4.1 Ogroženost vodotokov zaradi zemeljskih plazov

Po analizi po metodi ponderiranja je ogroženih $1,8 \text{ km}^2$ vodnih površin, od tega sta dve petini na območju četrte kategorije ogroženosti in kar petina na območju pete kategorije ogroženosti. Območje v stometrski oddaljenosti obsega 72 km^2 . Kar petina površja v okolici vodotokov v sto metrskem pasu leži na območju pete kategorije ogroženosti in štiri desetine na območju četrte kategorije ogroženosti.

Po analizi po metodi matrik je zaradi zemeljskih plazov ogroženih $1,3 \text{ km}^2$ vodnih površin, od tega je skoraj polovica na območju četrte kategorije ogroženosti, tretjina pa na območju tretje kategorije ogroženosti. Iz teh podatkov lahko sklepamo na veliko ogroženost območja zaradi zemeljskih plazov, ki nastanejo zaradi vpliva talne vode.

Preglednica 19: Površina ogroženosti vodotokov zaradi zemeljskih plazov (ha), izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	vodotoki	okolica 0–50 m	okolica 50–100 m
1	17,82	392,80	446,05
2	21,37	393,72	299,53
3	28,64	594,04	639,21
4	74,93	1586,77	1362,81
5	36,63	829,51	705,91
skupaj	179,39	3796,84	3453,50

Preglednica 20: Površina ogroženosti vodotokov zaradi zemeljskih plazov (ha), izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	vodotoki	okolica 0–50 m	okolica 50–100 m
1	5,93	95,42	41,33
2	13,04	236,38	164,11
3	41,24	677,37	440,39
4	57,53	1257,51	1038,55
5	9,37	231,15	219,41
skupaj	127,10	2497,83	1903,78

5.4.2 Ogroženost vodotokov zaradi skalnih podorov

Analiza po metodi ponderiranja je pokazala, da je zaradi podorov neposredno ogroženih 96 ha vodnih površin. Četrtnina vodotokov leži na območju tretje kategorije ogroženosti, dve tretjini pa na območju druge kategorije ogroženosti. Območja stometske oddaljenosti obsegajo več kot polovico površine prve kategorije ogroženosti.

Z analizo površja z matrikami smo ugotovili, da so površine, ki jih ogrožajo skalni podori, osem krat manjše, kot pri izračunu po metodi ponderiranja, in obsegajo 12 ha. Drugačna je tudi razporeditev površin po kategorijah ogroženosti. Po četrtnina površja leži na območju druge in tretje kategorije ogroženosti, dve petini na območju četrte kategorije ogroženosti. Na območju pete kategorije ogroženosti leži približno 50 m vodotokov. Območje v oddaljenosti 0–50 m od vodotoka obsega 7 km², območje pasu v oddaljenosti 50–100 m od vodotoka pa 12 km².

Preglednica 21: Površina ogroženosti vodotokov zaradi podorov (ha), izračunana po metodi ponderiranja.

kategorije ogroženosti	vodotoki	okolica 0–50 m	okolica 50–100 m
2	65,62	1393,28	1302,90
3	24,52	617,92	701,41
4	6,02	239,01	368,54
5	0,03	5,17	13,75
skupaj	96,20	2255,38	2386,60

Preglednica 22: Površina ogroženosti vodotokov zaradi podorov (ha), izračunana po metodi matrik.

kategorije ogroženosti	vodotoki	okolica 0–50 m	okolica 50–100 m
1	0,63	41,18	90,04
2	2,97	177,80	299,21
3	3,30	253,30	450,86
4	5,46	220,91	347,05
5	0,03	5,17	13,75
skupaj	12,39	698,37	1200,90

6 Sklep

Izračun po metodi matrik je pokazal, da lahko na osmih desetinah preučevanega površja nastanejo zemeljski plazovi ali skalni podori.

Polovica porečja sodi v območja četrte in pete kategorije možnosti za nastanek zemeljskih plazov in skalnih podorov, kjer bi bilo nujno usmerjanje človekovih dejavnosti na varnejša območja. Na območjih zmerne možnosti nastanka zemeljskih plazov in skalnih podorov, ki obsegajo 50 km², so človekove dejavnosti možne ob poprejšnjih ustreznih ukrepih. Velika možnost nastanka zemeljskih plazov in skalnih podorov je na 20 km² porečja. Na teh območjih bi se morali izogibati kakršnekoli dodatne intenzivne rabe, zlasti novogradenj. Stroški so najmanjši, če se nevarnosti izognemo, nekoliko dražje je preventivno delovanje, najdražje pa je odstranjevanje posledic geomorfni procesov.

Zastavi se vprašanje, kakšni varnostni ukrepi bi bili potrebni na že poseljenih oziroma uporabljenih območjih najvišje kategorije, ki skupaj obsegajo 0,1 km². Nujno mora v takšnih primerih izdelavi karte ogroženosti slediti detajlno geomorfološko kartiranje in družbenogeografska preučitev ogroženega območja.

Preglednica 23: Površina ogroženih območij po izračunu po metodi matrik.

		površina ogroženega območja (ha)
območja poselitve	zemeljski plazovi	76,00
	skalni podori	0,30
državne ceste	zemeljski plazovi	19,00
	skalni podori	3,00
vodotoki	zemeljski plazovi	127,00
	skalni podori	12,00

Karta ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov je ocena dejanskega stanja, ki jo dobimo z modeliranjem. Njena zanesljivost je odvisna od kakovosti uporabljenih kartografskih podlag in uporabljene metode. Ocena je do neke mere tudi mera verjetnosti, ki pove, da obstaja možnost nastanka nekega procesa na določenem območju. Natančnejšo mero verjetnosti dobimo, če deterministične karte ogroženosti primerjamo z obsegom dejanskih zemeljskih plazov in podorov, ki jih ugotovimo s kartiranjem.

Kakovost kart ogroženosti je odvisna od uporabljenih podatkovnih slojev, zlasti temeljnega podatkovnega sloja za izračun naklonov površja, to je digitalnega modela višin. Pomemben je tudi podatkovni sloj s kamninsko zgradbo, ki je žal bistveno manj natančen, saj digitalna geološka karta v merilu 1 : 25.000 še ne obstaja, karta v merilu 1 : 100.000 pa je razmeroma nenatančna in uporabna le na regionalni ravni. Pomagamo si lahko z digitalno pedološko karto 1 : 25.000. Za izdelavo karte plazovitih območij bi morali upoštevati še karto debeline prepereline (Ribičič s sod. 2003, 402), toda na ta dejavnik lahko zaenkrat sklepamo le posredno. Karta maksimalnih 24-urnih padavin je bila izdelana za celo Slovenijo in je zaradi širine razredov (50 mm) primerna le za uporabo na regionalni ravni.

Karte ogroženosti so nadvse uporabne na regionalni in državni ravni, za usmerjanje človekovih dejavnosti na krajevni ali individualni ravni pa je njihova natančnost zaenkrat kljub sodobnim metodam in uporabljenim sredstvom razmeroma majhna.

Na procesnih kartah in na kartah ogroženosti prikazujemo predvsem prostorske razsežnosti pojavov in ugotavljamo, katera območja so bolj in katera manj ogrožena. Zaradi kratkega obdobja opazovanja večinoma ne poznamo pogostosti pojavljanja zemeljskih plazov in skalnih podorov, zato je težko, če ne nemogoče, napovedati, kdaj se bo v neki pokrajini zgodil določen pojav in kakšna je verjetnost, da se bo zgodil v nekem trenutku. Zato je izjemnega pomena terensko delo, na podlagi katerega lahko določimo okvirne mejne vrednosti posameznih vplivnih dejavnikov.

Zaenkrat dostopna programska oprema ne omogoča natančnega računanja prostorskega širjenja zemeljskih plazov in skalnih podorov. Karte ogroženosti prikazujejo izvorna območja geomorfni procesov, ne pa nujno njihovih vplivnih območij. Tej pomanjkljivosti smo v tem prispevku poskušali izogniti z izračunom površine ogroženega območja v neposredni bližini posameznih ogroženih objektov ali površin.

Preglednica 25: Dobre in slabe strani metode ponderiranja in metode matrik.

	metoda ponderiranja	metoda matrik
čas izdelave	+	–
kompleksnost postopka	+	–
subjektivnost	–	+
na končni karti je mogoče razlikovati procese	–	+
prikazuje neogrožena območja	–	+
preverljivost vplivnih dejavnikov do ravni posamezne celice digitalnega modela višin	–	+
prikazuje vplivno območja procesov	–	–
prikazuje intenziteto procesov	–	–
prikazuje čas nastanka procesov*	–	–

Opomba: + označuje dobro stran metode, – označuje slabo stran metode.

*Do sedaj še ni bila izdelana karta, ki bi lahko napovedovala čas nastanka procesov.

7 Literatura

Glej angleški del prispevka.