

GIS ANALIZA UGROŽENOSTI PADINA KLIZIŠTIMA U PODRUČJU GRADA LEPOGLAVE

GIS ANALYSIS OF LANDSLIDE SUSCEPTIBLE AREAS AND SLOPE FAILURE IN THE TOWN OF LEPOGLAVA

IVAN LOPARIĆ, MLADEN PAHERNIK

Izvod

Klizišta su, uz poplave i potrese, najčešće prirodne katastrofe u Hrvatskoj. Zbog toga što uzrokuju velike ekonomske i socijalne gubitke, vrijedi ih na vrijeme prepoznati i po mogućnosti spriječiti njihov nastanak. U radu je temeljem GIS analize izrađen sloj s definiranim razredima ugroženosti padina potencijalnim klizištima na prostoru Grada Lepoglave. U analizu su uključeni čimbenici koji su definirani kao uzročnici klizanja, tj. oni koji su uzrokovali postojeća klizišta. To su morfometrijski čimbenici određeni nagibom i ekspozicijom padine, litološki i pedološki sastav podloge, količina padalina te antropogeni utjecaji. Rezultat GIS analize je sloj potencijalne ugroženosti padina klizištima podijeljen u 5 kategorija, od vrlo visoke do vrlo niske opasnosti.

Ključne riječi: klizišta, prostorna analiza, GIS, Lepoglava

Abstract

Apart from floods and earthquakes, landslides are among the most common type of natural disaster to occur in Croatia. Since landslides cause considerable economic and social damage, it is very important to detect and prevent their occurrence on time. In this paper, GIS analysis was used to calculate an inclined soil layer with defined classes of potential landslide hazards in the town of Lepoglava. This analysis considered factors that influence landslides, which are defined as landslide causal factors, i.e. those that have caused the existing landslides. These are morphometric factors determined by slope inclination and slope exposition, lithological and pedological structure, annual rainfall and anthropogenic influences. Using GIS analysis, an inclined soil layer of landslide susceptible areas and slope failure was calculated and five different classes of relative landslide hazard were derived as follows: very low, low, medium, high, and very high landslide hazard.

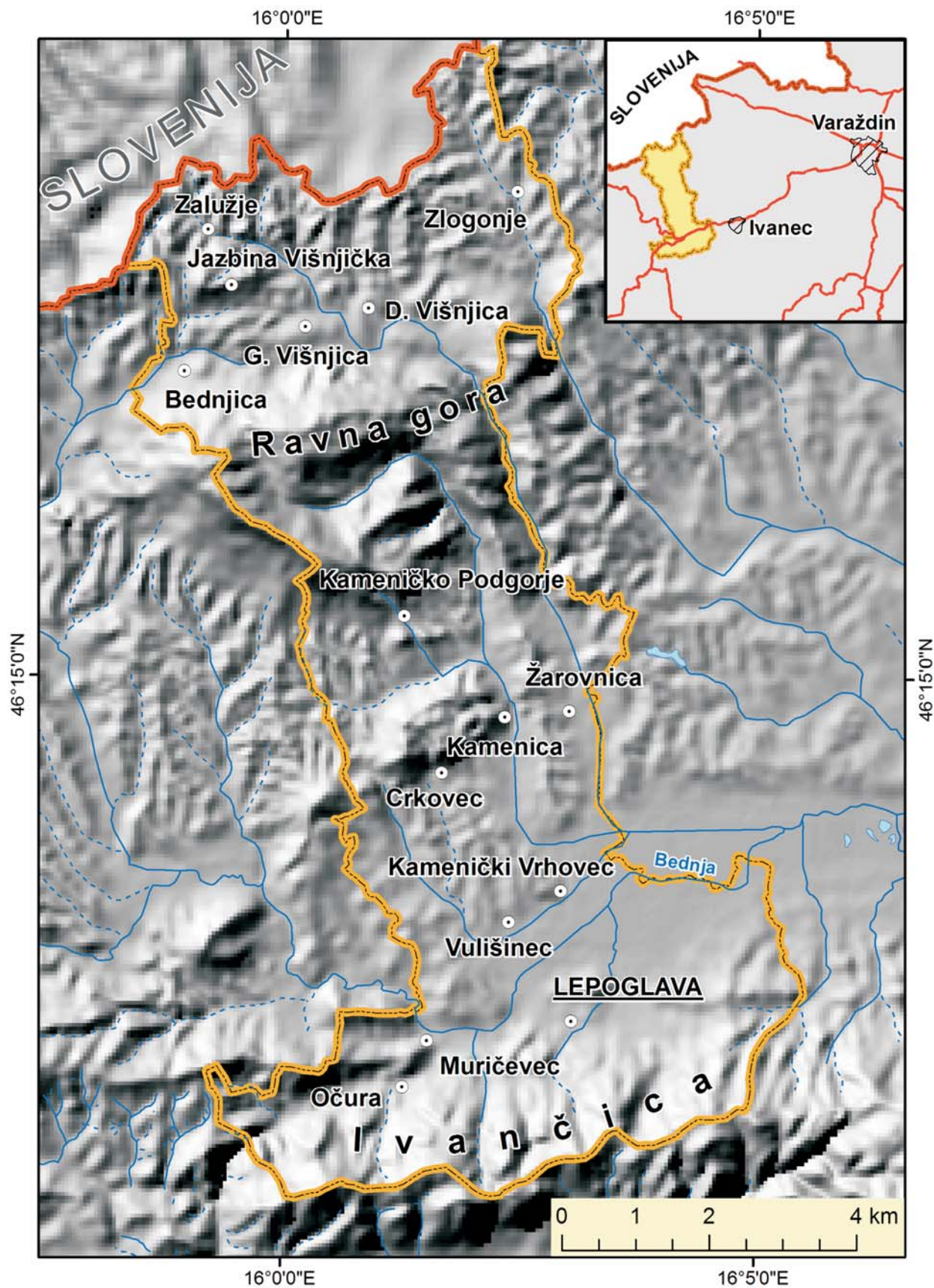
Keywords: landslide, spatial analysis, GIS, Lepoglava

UVOD

Grad Lepoglava sastavni je dio Varaždinske županije koja se nalazi u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske, a graniči s Republikom Slovenijom, Međimurskom, Koprivničko-križevačkom, Zagrebačkom i Krapinsko-zagorskom županijom. Područje Grada Lepoglave graniči na sjeveru s Republikom Slovenijom, na jugu s Krapinsko-zagorskom županijom, na istoku s Gradom Ivancom i s Općinama Klenovnik, Donja Voća, a na zapadu s Općinom Bednja. Površina Grada Lepoglave iznosi 66,42 km², a u svom sastavu obuhvaća ukupno 16 naselja (sl. 1). Prema popisu iz 2001. godine (Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske), na području Grada živjelo je ukupno 8718 stanovnika, što je 4,76% stanovništva Županije, s gustoćom naseljenosti od 134,5 stanovnika/km².

INTRODUCTION

The town of Lepoglava lies within Varaždin County in the north-westernmost part of the Republic of Croatia, and bordering on the Republic of Slovenia and the Međimurje, Koprivnica-Križevci, Zagreb and Krapina-Zagorje Counties. The territory of the town of Lepoglava borders with the Republic of Slovenia to the north, Krapina-Zagorje County to the south, the town of Ivanec and the municipalities of Klenovnik and Donja Voća to the east, and the municipality of Bednja to the west. The territory of the town covers an area of 66.42 km², and includes 16 settlements (Fig. 1). According to the 2001 census (Central Bureau of Statistics of the Republic of Croatia), the population of the town is 8,718, or 4.76% of the population of the county, and the population density is 134.5 persons/km².



Sl. 1. Grad Lepoglava – istraživano područje
 Fig. 1. Town of Lepoglava – study area

Kako u svijetu, tako se i u Hrvatskoj sve češće suočavamo s problematikom neželjenih prirodnih pojava kao što su klizišta, poplave i potresi. Bilo da su ti procesi posljedice ljudskog djelovanja na okoliš ili su rezultati prirodnih procesa, njihovo je sprječavanje i izbjegavanje važno kod očuvanja kvalitete životne sredine suvremenog čovjeka. Klizanja su izraziti destruktivski derazijski procesi, čija pojava često ima katastrofalne posljedice u naseljima, na komunalnim vodoopskrbnim i vodozaštitnim objektima, prometnicama, poljoprivrednim i šumskim površinama (Bognar, 1996.). I u slučaju kada nisu katastrofalna, klizanja predstavljaju ozbiljan problem, jer uzrokuju izravne ili neizravne ekonomske i socijalne gubitke na privatnim i javnim dobrima. Izravne štete nastaju u trenutku aktiviranja klizišta, oštećivanjem objekata i ljudskim gubicima. Mnoga klizanja povezana su s drugim istovremenim nepovoljnim događajima: bujicama, erozijom tla, poplavama itd. Najveći broj aktivnih klizišta danas izazvan je neodgovarajućim građevinskim zahvatima i obradom zemljišta.

Geomorfološkom i geokološkom problematikom procesa klizanja i nastankom klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini bavi se Bognar (1996.). Isti autor u ranijim radovima definira i geomorfološku podjelu klizišta na tepih ili slojna, rotacijska, stepeničasta, blok klizišta i klizišta potoci (Bognar, 1983.). Vezu geomorfoloških čimbenika i pojave klizišta istražuju Van Westen i dr. (2003.), te Galli i dr. (2008.). Postankom, rizicima i sanacijom šteta klizanja u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske bave se Gotić i Gotić (1998.), dok Mihalić i dr. (2008.) procjenjuju kvalitetu ulaznih podataka za kartiranje osjetljivosti na klizanje u slivu potoka Starče (Zagrebačka županija). Primjena GIS-a u prostornoj analizi ugroženosti padina klizanjem detaljno je obrađena u radu Carrara i dr. (1995.).

Cilj ovoga rada je izračunati tematski kartografski prikaz ugroženosti padina klizištima na prostoru Grada Lepoglave primjenom GIS tehnologije.

METODE I MODEL RADA

Temeljna metoda prostorne analize ugroženosti padina klizištima primijenjena u ovom radu vezana je za činjenicu da će lokacija pojave novih klizišta biti češća na lokacijama sa sličnim fizičkogeografskim (geološkim, geomorfološkim, pedološkim, hidrološkim, klimatološkim i vegetacijskim), te društvenogeografskim (stupanj izgrađenosti prostora, uklanjanje šumskog pokrivača te blizina prometnica) uvjetima pod kojima su nastala recentna klizišta. Prema tome, prvo je potrebno odrediti položaj dosadašnjih klizišta te utvrditi pod kojim su uvjetima ona nastala. Prema Suganthi i Sriniva-

In Croatia, as elsewhere in the world, the problems of undesirable natural events such as landslides, floods and earthquakes are a common problem. Regardless of whether these processes are the result of human activities on the environment or the result of natural processes, their prevention and avoidance are important in order to maintain a high quality of life for the modern man. Landslides are exceptionally destructive erosion processes that can often have catastrophic consequences in settlements, on municipal water supply systems and water protection structures, roads and agricultural and forested lands (Bognar, 1996). Even when they are not catastrophic, landslides represent a serious problem, as they cause direct or indirect economic and social losses of private and public resources. Direct damages occur at the moment the landslide is activated, damaging structures and causing human losses. Many landslides are simultaneously connected to other unfavourable events, such as flash floods, soil erosion, flooding, etc. The largest number of active landslides today are caused by inappropriate construction works and land cultivation.

Bognar (1996) addressed the geomorphological and geoecological issues concerning the landslide process and the formation of landslides in the Republic of Croatia and the Republic of Bosnia Herzegovina. In earlier papers, this author also defined the geomorphological divisions of landslides into creep, rotational, stepped landslide, block landslides and earthflows (Bognar, 1983). Van Westen et al. (2003) and Galli et al. (2008) examined the relationship between geomorphological factors and the appearance of landslides. Gotić & Gotić (1998) examined the appearance, risks and reclamation of damages caused by landslides in north-west Croatia, while Mihalić et al. (2008) assessed the quality of entry data for mapping landslide susceptibility in the Starče Stream catchment (Zagreb County). GIS was used in the spatial analysis of the susceptibility of slopes to landslides and described in detail by Carrara et al. (1995).

The objective of this paper was to calculate a thematic map overview of the susceptibility of slopes to landslides in the area of the town of Lepoglava using GIS technology.

METHODS AND WORK MODEL

The fundamental spatial analysis methods employed in this paper to analyse the susceptibility of slopes to landslides is based on the fact that the locations of the appearance of new slides will often be at locations with similar physical geographic (geological, geomorphological, pedological, hydrological, climatological and vegetation) and social geographic (degree of construction of the area, removal of the forest cover and proximity to roads) conditions under which recent landslides have occurred. As such, it is first necessary to determine the position of previous landslides and determine the condi-

sanu (2010.) postoje dva pristupa dodjeljivanja težinskih udjela i bonitetnih klasa uzročnicima klizanja. Prvi se temelji na subjektivnom pristupu kod kojeg pojedinac određuje bonitet pojedinog parametara na temelju vlastitih istraživanja i postojeće literature. Drugi, statistički pristup, primijenjen je u ovom radu te su boniteti parametara određeni brojem postojećih klizišta unutar promatrane kategorije čimbenika uzroka nastanka klizišta. Određen broj zabilježenih klizišta na pojedinoj jedinici svakog promatranog parametra dodijelit će se toj jedinici kao bonitetna kategorija te jedinice. Tako klasificirani slojevi, primarno na rasterskom modelu, spremni su za završnu sintezu metodom prostornog preklapanja. S obzirom na vrstu uzročnika klizanja, podaci su organizirani u četiri grupe: geomorfološki, geološki, bioklimatološki i antropogeni čimbenici. Kao proizvod te analize izračunata su četiri rastera uzročnika koji se dalje opet reklasificiraju te prostorno preklapaju kako bi se izračunao konačan rezultat tj. konačan kartografski prikaz ugroženosti padina klizištima područja Grada Lepoglave.

GIS analiza provedena je u programskom paketu ArcGIS Desktop, verzije 9.3. tvrtke ESRI. Korištena je softverska komponenta ArcCatalog za kreiranje baze podataka, ArcMap za manipulaciju, te ArcToolbox za analizu prostornih podataka. GIS analiza uključila je i izradu modela procesa pomoću ModelBuilder modula ArcGIS paketa. ModelBuilder predstavlja modul za stvaranje prostornog modela određenog geografskog područja. On osigurava grafičko okruženje za stvaranje dijagrama koji se sastoji od više koraka za izvršavanje kompleksnih geoprocenih zadataka (Manegold, 2003.).

Većina analiza koje uključuju geomorfološke, točnije morfometrijske sadržaje zahtijevaju korištenje digitalnog modela reljefa (DMR) (Pahernik, 2007.). DMR predstavlja skup točaka na površini Zemlje čije su prostorne koordinate x , y , z pohranjene na nosiocu pogodnom za daljnju kompjutorsku obradu. Kao takav definira se kao matematički model Zemljine fizičke površine predodčen diskretnim veličinama, memoriranim na medijima za pohranu podataka. Za izradu DMR-a korištene su vektorizirane slojnice i visinske točke s topografskih karata mjerila 1:25.000 (Izdanje Vojno-geografskog instituta iz Beograda) koje prekrivaju promatrano područje. To su listovi Krapina 270-2-4 i 270-4-2 te Varaždin 271-1-3 i 271-3-1.

PRIRODNO-GEOGRAFSKI OKVIR NASTANKA KLIZIŠTA

Područje Grada Lepoglave morfološki je podijeljeno na rubni gorski prostor, zatim na središnje brežuljkasto prigorje i nizinu rijeke Bednje. Gorsko područje obuh-

tions that caused them. According to Suganthi & Srinivasan (2010), there are two approaches to assigning severity and weight classes of landslide causative factors. The first is based on a subjective approach in which the individual assigns weights of a parameter based on experience and the literature. The second is a statistical approach, which is also applied in this paper, and the weights of the parameters are determined based on the number of existing landslide areas within the observed category of the landslide causative factor. The determined number of existing landslide areas per unit of each observed parameter are assigned to that unit as the weight category of that unit. Layers classified in this way, primarily in the raster model, are prepared for the final synthesis using the spatial overlap method. With regard to the type of landslide causative agent, the data are organised into four groups: geomorphological, geological, bioclimatological and anthropogenic factors. In this analysis, four rasters of causative agents are calculated, which allow for a reclassification and spatial overlap in order to calculate the final result, i.e. to give the final map of landslide susceptibility of slopes in the area of the town of Lepoglava.

The GIS analysis was conducting using the ArcGIS Desktop software package (version 9.3, ESRI). The components used were ArcCatalog for the creation of databases, ArcMap for manipulation and ArcToolbox for analysis of spatial data. The GIS analysis also included the creation of process models using the ModelBuilder module of the ArcGIS package. ModelBuilder is a module for the creation of spatial models for a given geographic area. It provides a graphic environment to create diagrams consisting of several steps in order to compute complex geoprocess tasks (Manegold, 2003).

The majority of analyses including geomorphological and, more specifically morphometric content requires the use of a digital terrain relief (DTR) (Pahernik, 2007). The DTR represents a collection of points on the Earth's surface whose spatial coordinates x , y , z are stored on a platform suitable for further computer processes. As such, it is defined as a mathematical model of the Earth's physical surface as seen using discrete sizes, stored on a data storage medium. Vectorised layers and altitude points from 1:25,000 scale topographic maps (Edition of the Military Geographic Institute in Belgrade, Serbia) covering the study area were used to develop DTMs. These were the sheets Krapina 270-2-4 and 270-4-2, and Varaždin 271-1-3 and 271-3-1.

NATURAL-GEOGRAPHIC FRAMEWORK FOR LANDSLIDE FORMATION

Morphologically, the area of the town of Lepoglava is divided into the mountainous area at its edges, and the central, hilly area and lowland of the Bednja River. The

vaća sjeverozapadne padine gorskih hrptova Ivanščice i Ravne gore. Ivanščica je najviša planina u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (1061 m), dok unutar istraživanog prostora dostiže visinu 400 do 500 m. Ravna gora (677 m) je smještena u sjevernom dijelu i gotovo se cijelom površinom nalazi na teritoriju Grada Lepoglave. Na njoj nema morfološki istaknutih vrhova, nego se od Vinice na sjeveroistoku postupno izdiže do sela Cvetlin na jugozapadu. Strmo odsječene padine Ravne gore posljedica su različite geološke građe, kao i intenzivnog neotektonskog izdizanja. Najstarije naslage na području Grada Lepoglave su gornjopaleozojske starosti (gornji perm) na sjevernim padinama Ivanščice, zapadno od Gornjeg Gečkovca i južno od Očure. Sastoje se od pješčenjaka, silita i crnih šejlova. Središnji dijelovi gorskih hrptova Ravne gore i Ivanščice izgrađeni su od mezozojskih karbonatnih stijena - vapnenaca i dolomita srednjeg i gornjeg trijasa (Šimunić i dr., 1981.). Današnji izgled gorski hrptovi Ivanščice i Ravne gora poprimili su nakon neotektonskih izdizanja kojima su bile zahvaćene u pliocenu i kvartaru (Šimunić, 1983.).

Brežuljkasta područja naslonjena na gorske hrptove Ivanščice i Ravne gore tvore nepravilno raspoređeni brežuljci čija nadmorska visina varira od 250 do 400 m. Padine su blago nagnute, a vrhovi zaobljeni što je u skladu s litološkim sastavom naslaga koje ih izgrađuju. To su pješčenjaci, slabo vezani pijesci, pjeskoviti i laporoviti vapnenci (Ančić i Juriša, 1985.; Šimunić i dr., 1981.).

U središnjem dijelu istraživanog područja nalazi se dolina rijeke Bednje u sklopu šireg tzv. Lepoglavsko-ivanečkog polja. Nizinu tvori niska i mjestimično močvarna dolina rijeke Bednje s njezinim pritocima. Najviše vode Bednji donose potoci koji dotiču sa sjevernih padina Ivanščice (Očura) i potoci s Ravne gore (Kamenica). Kvartarne naslage prekrivaju znatne površine brežuljkastog i nizinskog dijela. Naslage proluvija imaju znatno rasprostranjenje u nižim brežuljkastim dijelovima. Barski sedimenti taloženi su u dolini Bednje i u recentnim močvarama. Aluvijalne se naslage sastoje od sitnozrnatih klastičnih sedimenata, kao što su siltni pijesak, pjeskoviti i glinoviti silt te sitnozrnati šljunak.

Na području Grada Lepoglave u hidrografskom smislu prisutni su površinski vodotoci i podzemne vode. Glavni površinski tok je rijeka Bednja. Bednja ima pluvijalni (kišni) režim, s maksimumom protoka u proljeće (ožujak - travanj). Glavno obilježje vodnog režima Bednje je lepezast oblik porječja, nepovoljna raspodjela padalina i uvjeti otjecanja, što uzrokuje naglo formiranje vodnih valova i poplava.

Klima šireg područja je po Köppenovoj klasifikaciji umjereno topla - vlažna klima (Cfb). Osnovno obilježje te klime su topla ljeta kada srednja temperatura najto-

mountainous area includes the northwestern slopes of the ridges of Mt. Ivanščica and the Ravna Gora hills. Mt. Ivanščica is the tallest mountain in northwestern Croatia (1061 m), though the altitudes within the study area are from 400 to 500 m. The Ravna Gora hills (677 m) are situated in the northern part of the area and virtually their entire area lies within the territory of the town of Lepoglava. There are no morphologically distinctive peaks on the hills, instead they gradually increase in elevation from Vinica in the northeast to the village Cvetlin in the southwest. The steeply cut slopes of Ravna Gora are the result of the varying geological structure of the mountain and the intensive neotectonic lifting. The oldest deposits in the area of the town of Lepoglava are of Upper Palaeozoic age (Upper Permian) on the northern slopes of Mt. Ivanščica, west of Gornji Gečkovec and south of Očura. These consist of sandstones, siltites and black shale. The central area of the mountainous ridges of the Ravna Gora hills and Mt. Ivanščica are composed of Mesozoic carbonate rock – limestones and dolomites of Middle and Upper Triassic age (Šimunić et al., 1981). The present day appearance of these ridges is due to the neotectonic lifting that occurred during the Pliocene and Quaternary ages (Šimunić, 1983).

The hilly region extending from the mountain ridges of Mt. Ivanščica and Ravna Gora hills form irregular hills with elevations ranging from 250 to 400 m. The slopes are slightly slanted and the peaks rounded, due to the lithological composition of the deposits forming them. These are sandstones, poorly bound sands, and sandy and marly limestones (Ančić & Juriša, 1985; Šimunić et al., 1981).

The Bednja River flows through the central part of the study area called the Lepoglava-Ivanec field. The lowland forms the low and sporadically wetland valley of the Bednja River and its tributaries. The Bednja receives the majority of its water from the tributaries originating on the northern slopes of Mt. Ivanščica (Očura) and the tributaries from Ravna Gora (Kamenica). Quaternary deposits cover a significant area of the hilly and lowland parts. Proluvial deposits have a wide distribution in the lower hilly parts. Pond sediments are deposited in the Bednja Valley and in recent wetlands. Alluvial deposits consist of fine clastic sediments such as silty sands, sandy and clay silt and fine gravel.

The hydrography of the area of the town of Lepoglava consists of surface water courses and ground water. The surface water course is the Bednja River. The Bednja has a pluvial (rain) regime, with maximum flows in spring (March – April). The main characteristic of the water regime of the Bednja is the fan-shaped catchment, the unfavourable distribution of precipitation and drainage conditions, which results in the rapid formation of water waves and flooding.

The climate throughout the area according to the Köppen classification is a moderately warm and humid climate (Cfb). The basic properties of this climate are

plijeg mjeseca ne prelazi 22°C (Šegota i Filipčić, 1996.). Topli dio godine u kojem je srednja temperatura viša od godišnjeg prosjeka traje od sredine travnja do sredine listopada. Prema podacima meteorološke postaje Varaždin za razdoblje 1961. – 1990. god. (Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske), temperatura najhladnijeg mjeseca kreće se između 3°C i 18°C, a srednju temperaturu višu od 10°C imaju četiri mjeseca u godini. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi oko 10°C. Najtopliji je mjesec srpanj sa srednjom temperaturom oko 19°C, a najhladniji je siječanj sa srednjom temperaturom od -10°C. Temperature zraka najviše razlikuju u zimskim mjesecima. Godišnji hod količine padalina je kontinentalnog tipa s maksimumom u lipnju i sekundarnim maksimumom u studenom. Srednja godišnja količina padalina iznosi oko 900 mm. Najmanje padalina padne u siječnju i veljači. U toplom dijelu godine (od travnja do rujna) padne više padalina nego u hladnom dijelu godine (od listopada do ožujka). Od ukupne godišnje količine padalina, 55-60% padne u toplom i 40-45% u hladnom dijelu godine. Godišnji hod količina padalina pokazuje dva maksimuma: primarni u ljeti i sekundarni u studenom. Snježni pokrivač javlja se od listopada do svibnja i traje između 30 i 45 dana. Najveće visine snježnog pokrivača iznosile su 57 do 70 cm. Padaline padaju 115 do 140 dana, odnosno 30-40% dana u godini. S obzirom na mjesečnu učestalost dana s padalinama, najvarijabilniji je studeni, a najstabilniji rujan.

REZULTATI I RASPRAVA

Prema Gotić i Gotić (1998.), krajevi sjeverozapadnog dijela Hrvatske, zbog svoje geološke građe i morfologije terena, pogoduju pojavi klizišta već i kod male promjene geometrije ili opterećenja nestabilnih kosina. Na području Grada Lepoglave registrirana su 24 klizišta (Prostorni plan, 2003.). Najviše klizišta registrirano je u sjevernom dijelu Grada. Stabilnost na površini ovisna je o debljini rastrošenog pokrivača, vrsti stijene u podlozi i o odnosu vodopropusnosti rastrošenog pokrivača i nerastrošene stijene. Registrirana klizišta na istraživanom području manjeg su obima i uglavnom su posljedica ljudske djelatnosti, najčešće uslijed zasijecanja trase ceste. Tako su klizišta i odroni registrirani i sanirani uz županijsku cestu Florijan - Zlogonje, u mjestu Zlogonje i dvije lokacije uz cestu Cvetlin - Višnjica, u mjestu Višnjica. Na lokalnim su cestama klizišta i odroni registrirani na cesti Kameničko Podgorje - Žarovnica u mjestu Kameničko Podgorje i cesti Kamenica - Viletinec u mjestu Crkovec (sl. 2).

warm summers, in which the mean temperature of the hottest month does not exceed 22°C (Šegota & Filipčić, 1996). The warmer part of the year, in which the mean temperature is higher than the annual average, lasts from mid April to mid October. According to data from the Varaždin meteorological station for the period 1961–1990 (State Hydrometeorological Institute of the Republic of Croatia), the temperature of the coldest month ranges between 3°C and 18°C, and a mean temperature higher than 10°C is reported for four months of the year. The mean annual air temperature is about 10°C. The hottest month is July, with a mean temperature of about 19°C, and the coldest month is January, with a mean temperature of -10°C. The air temperatures are most stable during summer and varies most during the winter months. The annual course of precipitation is of the continental type, with a maximum in June and a secondary maximum in November. The mean annual amount of precipitation is about 900 mm. The least precipitation falls in January and February. More precipitation falls during the warmer part of the year (April to September) than during the cooler part of the year (October to March). Of the total annual precipitation, 55–60% falls in the warm part and 40–45% in the cool part of the year. The annual course of precipitation shows two maximums: the primary maximum in summer and secondary maximum in November. Snow cover appears from October to May, and lasts between 30 and 45 days. The deepest snow cover recorded was from 57 to 70 cm. Precipitation falls from 115 to 140 days, or on 30–40% of the days in the year. Considering the monthly frequency of days of precipitation, the most variation is seen in November, while September is the most stable month.

RESULTS AND DISCUSSION

According to Gotić & Gotić (1998), due to its geological structure and terrain morphology, northwestern Croatia is susceptible to the formation of landslides with even small changes in geometry or burdening of unstable slopes. In the area of the town of Lepoglava, there are 24 landslide areas (Prostorni plan, 2003). The majority of these are registered in the northern part of the town territory. The surface stability is dependent on the thickness of the worn surface layer, the type of bedrock and the level of permeability of the worn surface layer and unworn bedrock. Registered landslide areas in the study area are small in size and are usually the consequence of human activities, most often following cuts for road routes. Landslide and landfall areas are registered and have been repaired along the county road Florijan – Zlogonje, in the settlement Zlogonje and at two sites along the road Cvetlin – Višnjica near Višnjica. On the local roads, landslide areas have been registered on the roads Kameničko Podgorje – Žarovnica at Kameničko Podgorje and Kamenica – Viletinec at Crkovec (Fig. 2).



Sl 2. Primjer tepih klizišta u mjestu Crkovec
 Fig. 2. Example of a layer landslide at Crkovec

Na pojavljivanje klizišta utječe veliki broj čimbenika. U ovoj analizi odabrani su oni čimbenici koji se najčešće koriste u analizama ugroženosti padina klizanjem, kao što su: morfometrijski (nagib i ekspozicija padine), geološki (litološka obilježja podloge) i pedološki čimbenici, godišnja količina padalina, vegetacija, način korištenja zemljišta, udaljenost od riječnih tokova i udaljenost od prometnica. Postojeća klizišta unesena su u GIS bazu kao točkasti element, a zatim su „preklopljena“ s definiranim slojevima kako bi se odredio bonitet pojedine klase unutar tog sloja.

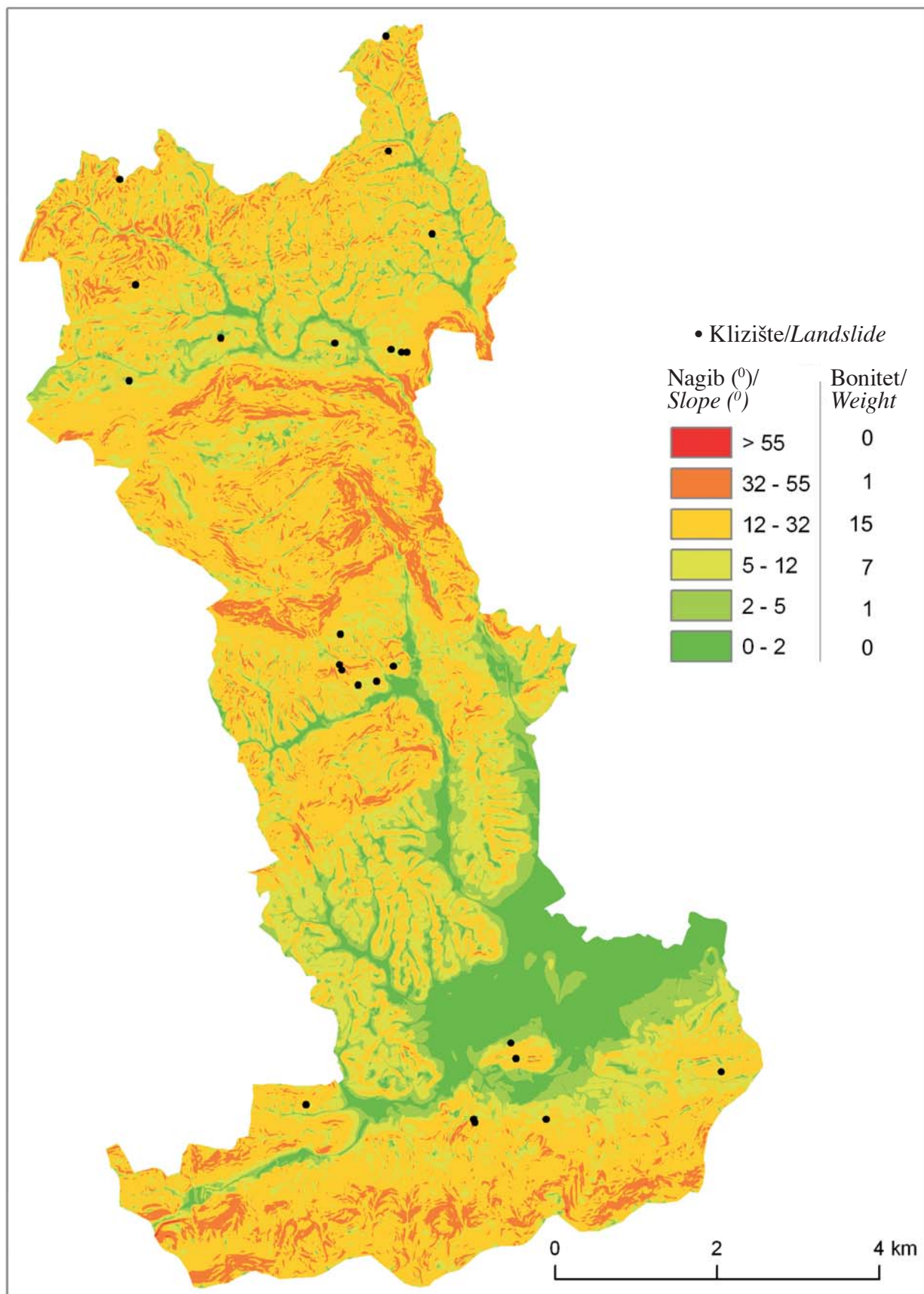
MORFOMETRIJSKI ČIMBENICI

Za izračun morfometrijskih podataka korišten je digitalni model reljefa na temelju kojeg su generirani slojevi nagiba i ekspozicije padina unutar istraživanog područja. Geomorfološka klasifikacija nagiba padina te-

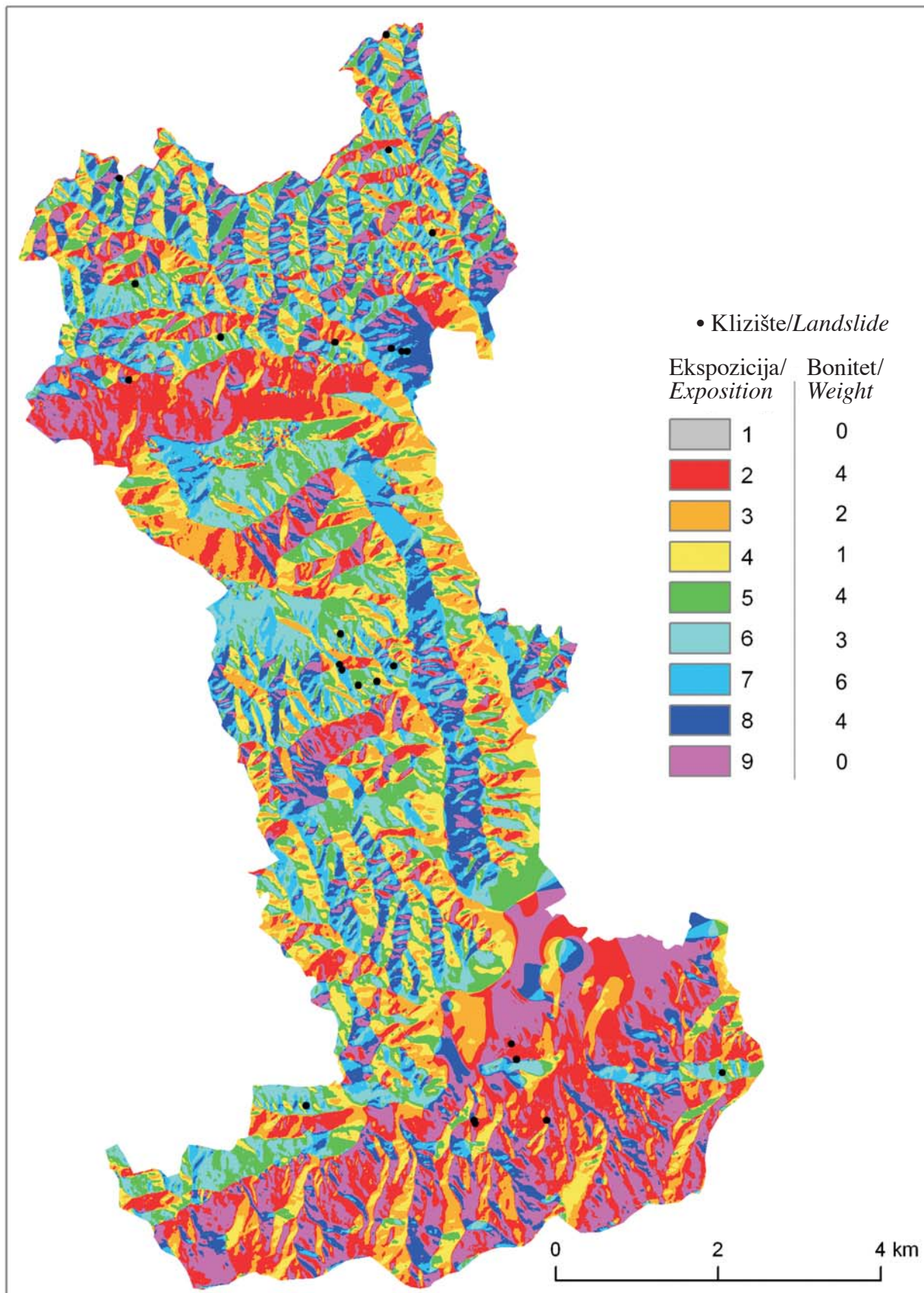
A large number of factors influence the appearance of landslides. In this analysis, those factors most often used in landslide susceptibility analyses were selected, such as: morphometric (slope and exposition), geological (lithological properties of the substrate) and pedological factors, annual amounts of precipitation, vegetation, land use, distance from water courses and distance from roads. The existing landslide areas were entered into the GIS database as point elements, and were then “overlapped” with the defined layers in order to determine the weight of the individual classes within the layer.

MORPHOMETRIC FACTORS

To calculate the morphometric data, a digital relief model was used to generate the slope layers and slope expositions within the study area. The geomorphological classifications of the slope inclinations were based on the



Sl 3. Nagib padina s lokacijama klizišta
 Fig. 3. Slope inclinations at landslide areas



Sl 4. Ekspozicija padina s lokacijom klizišta
 Fig. 4. Exposition of slopes with landslides

meljena je na dominantnim morfološkim procesima koji se aktiviraju ovisno o vrijednosti inklinacije. Prema raspodjeli klizišta unutar standardne geomorfološke klasifikacije nagiba (sl. 3), zaključuje se kako je najveći broj upravo u kategorijama 5 – 12° (15 registriranih klizišta) te 12 – 32° (7 registriranih klizišta).

S obzirom na ekspoziciju padina, utvrđeno je da se najveći broj klizišta nalazi na padinama s jugozapadnom ekspozicijom (6 registriranih klizišta), dok je podjednak razvoj klizišta na sjevernim, južnim i zapadnim ekspozicijama (4 registrirana klizišta). Jasno da je ovakav udio klizišta prema ekspozicijama padina posljedica i površinskog udjela pojedinog razreda ekspozicije.

GEOLOŠKI ČIMBENICI

Kao osnovni geološki čimbenik uzet je litološki sastav podloge. Izrađena je digitalna litološka karta prema osnovnim geološkim kartama mjerila 1:100.000, listovi Varaždin (Šimunić i dr., 1981.) i Rogatec (Ančić i Jureša, 1985.). Svaki poligon – litostratigrafska jedinica dobio je odgovarajući atribut, odnosno vrstu litološke podloge, razdoblje i oznaku, te je povezan sa slojem pojave klizišta na promatranom području. Najveći broj klizišta, njih 9, zabilježen je unutar naslaga miocenske starosti, litološki određenih kao pješčenjaci, pijesci, lapori i tufovi. Samo jedno klizište evidentirano je izvan stijena miocenske starosti i to na proluvijalnim naslagama (kvartar).

PEDOLOŠKI ČIMBENICI

Ovaj vektorski podatak dobiven je digitaliziranjem Osnovne pedološke karte (OPK) Republike Hrvatske mjerila 1:50 000 i to sljedeće sekcije: Ptuj 1, Ptuj 3 i Ptuj 4, a preuzet je kao već vektorizirani sloj (Husnjak, 2001.). Važnost vrste tla može se ogledati na način da su one vrste tla pogodne za obradu više podložne pojavljivanju klizišta. Još je važno napomenuti da se za pojavljivanje klizišta uloga tla također očituje u njegovim fizičkim svojstvima. Tu se posebno misli na odnos tla i vode, koja je jedan od važnijih uzročnika pojavljivanja klizišta. Određivanje količine vode u tlu važno je za mnoge inženjerske probleme zbog toga jer se na temelju vlažnosti može procijeniti ponašanje tla. Unutar istraživanog područja najveći broj klizišta, njih 10, javilo se na kartiranoj podlozi broj 3, odnosno na kombinaciji rendzina (antropogena), euterično smeđeg i lesiviranog (na laporu) tla (sl. 6). Po mehaničkom sastavu to su najčešće ilovasta do ilovasto-glinasta u površinskom horizontu, glinasto-ilovasta do ilovasto-glinasta u kambičnom horizontu (Husnjak, 2001.). Slijedi kartira-

dominant morphological processes that are activated depending on the value of the inclination. According to the division of the landslide areas within the standard geomorphological slope classifications (Fig. 3), it can be concluded that the majority are in the category of 5–12° (15 registered landslide areas) and 12–32° (7 registered landslide areas).

With regard to slope exposition, it was determined that the majority of landslide areas are found on slopes with a southwest exposition (6 registered landslide areas), while there were an equal number of registered landslide areas (4 each) on slopes with north, south and west expositions. It is clear that this share of landslide areas according to slope exposition is the result of the surface share of individual exposition classes.

GEOLOGICAL FACTORS

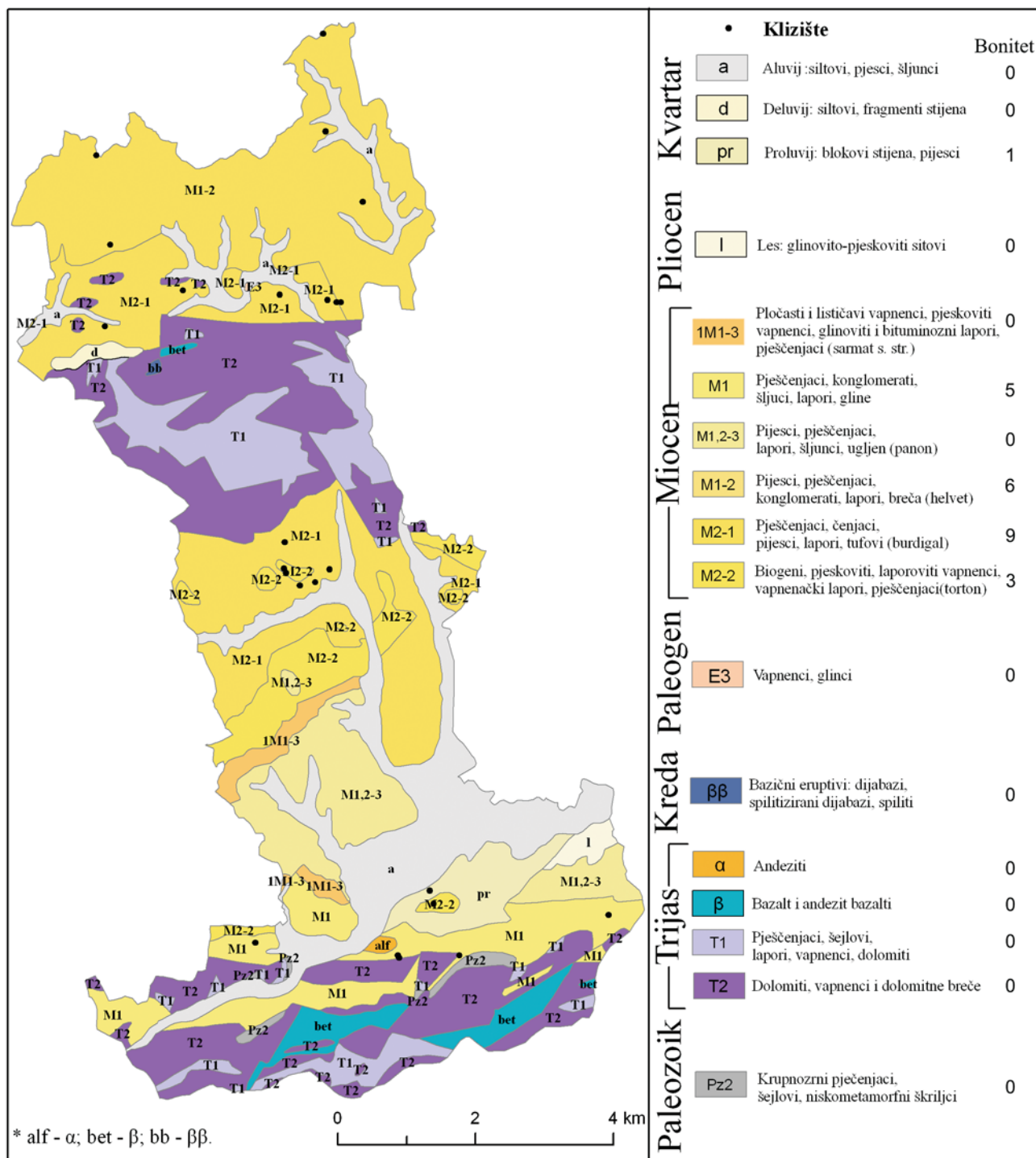
The lithological composition of the substrate was taken as the main geological factor. A digital lithological map was created based on basic geological maps with a scale of 1:100,000, Varaždin sheets (Šimunić et al., 1981) and Rogatec sheets (Ančić & Jureša, 1985). Each polygon, or lithostratigraphic unit, was given the appropriate attributes and type of lithological substrate, periods and codes, and was connected with the layer of existing landslides in the study area. The majority of landslides (9) were recorded within the deposits of Miocene age, lithologically determined as sandstones, sands, marls and tuffs. Only one landslide was registered on rock younger than Miocene age, on proluvial deposits of Quaternary age.

PEDOLOGICAL FACTORS

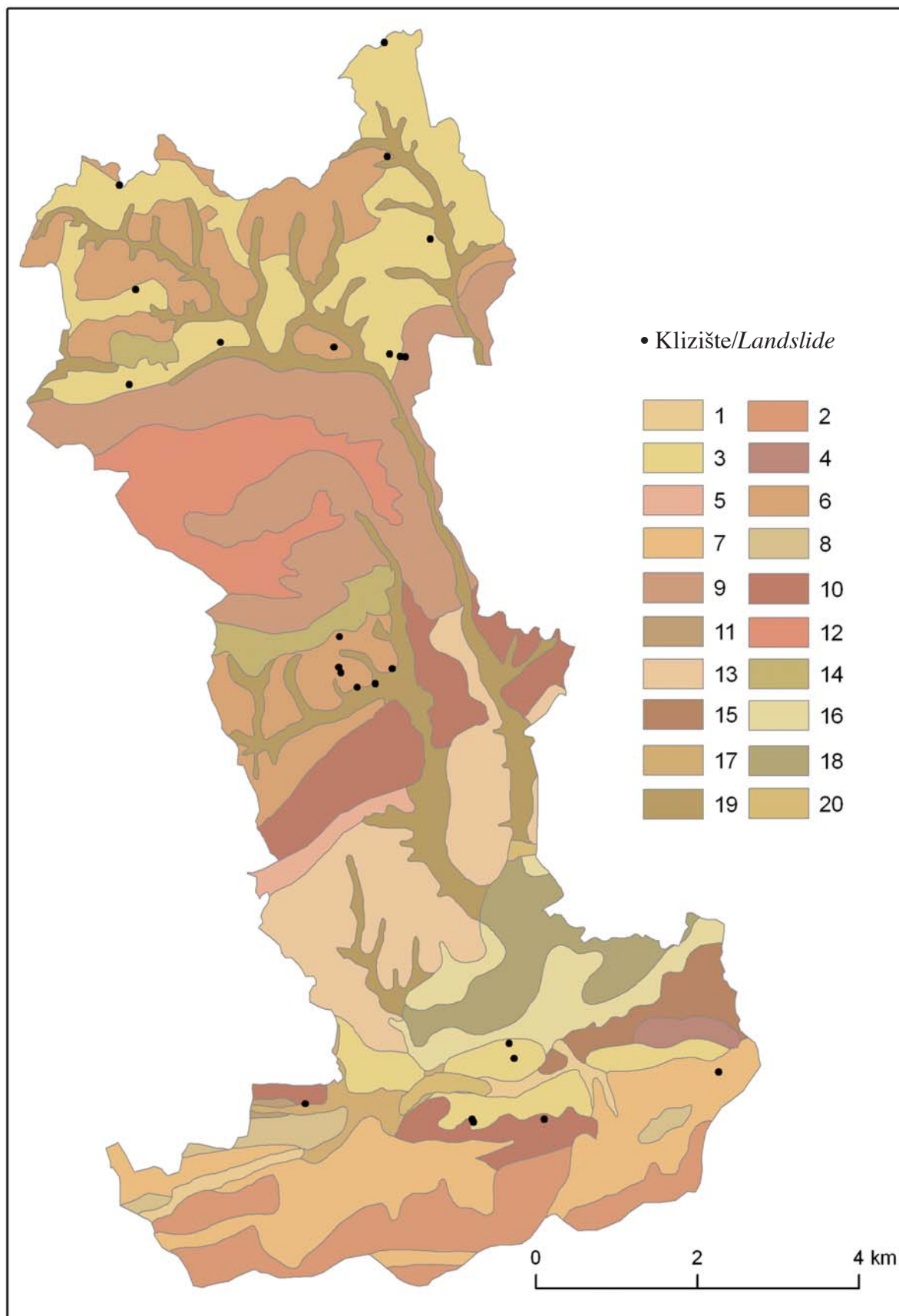
This vector data was obtained by digitalising the basic soil maps of the Republic of Croatia (Ptuj 1, Ptuj 3 and Ptuj 4, scale 1:50,000) taken as the vectorised layer (Husnjak, 2001). The importance of soil types can be viewed in such a way that those soil types suitable for cultivation are more susceptible to the appearance of landslides. It is even more important to note that the role of soil in the appearance of landslides is also seen in its physical properties. This primarily pertains to the relationship of soil and water, which is one of the most important causes of landslides. Determining the quantity of water in the soil is important for many engineering problems, as soil behaviour is assessed based on its moisture content. Within the study area, the majority of landslide areas (10) appeared in the mapped substrate no. 3, on a combination of rendzina (anthropogenic), eutric brown and loess soils (Fig. 6). Based on the mechanical composition, these are primarily loam to clay-loam soils in the surface horizon, and clay-loam to loam-clay in the Cambic horizon (Husnjak, 2001). The second high-

na jedinica tla broj 6, distrična (smeđe na pješčenjaku), lesivirana (tipično) i rendzina (na laporu) tla, na kojoj se javilo 6 klizišta.

est number of landslides (6) appeared in map unit no. 6, composed of distric (brown to sandstone), loess (typical) and rendzina (to marl) soils.



Sl 5. Geološka karta s lokacijom klizišta
Fig. 5. Geological map with landslide locations



Sl 6. Pedološka karta s lokacijom klizišta (legenda Tab. 1)
 Fig. 6. Pedological map with location of landslides (legend Tab. 1)

Tab. 1: Pedološke jedinice

Klasa	Sastav i struktura	%	Bonitet	Klasa	Sastav i struktura	%	Bonitet
1	Koluvij–eutrični,distrični,s prevagom zemljišnog materijala. Euglej- mineralni, ilovasti.	60 40	0	11	Lesivirano na laporu. Distrično smeđe- na pješčenjaku. Eutrično smeđe- vertično.	40 30 30	2
2	Rendzina na dolomitu. Smeđe tlo na dolomitu.	70 30	0	12	Lesivirano na vapnencu i škriljavim glinama. Smeđe na vapnencu i dolomitu. Rendzina – karbonatna i izlužena. Crnica- organo mineralna.	50 30 10 10	0
3	Rendzina- antropogena. Eutrično smeđe, vertično. Lesivirano- na laporu.	40 30 30	10	13	Lesivirano na laporu, pijesku, antropoginirano. Pseudoglej – obronačni. Rendzina – antropogena. Eutrično – smeđe, vertično.	50 20 20 10	0
4	Rendzina-, antropogena, glinasta Vitisol, glinasti. Eutrično -smeđe vertično.	50 30 20	0	14	Rigolana tla vinograda (vitisoli). Antropogena tla njiva.	70 30	0
5	Eutrično- smeđe, vertično. Antropogena rendzina, glinasta. Lesivirano na lapor, antropoginirano.	50 30 20	0	15	Pseudoglej – obronačni, srednje duboki. Lesivirano pseudoglejno i tipično. Rendzina - antropogena ilovasta.	60 30 10	0
6	Distrično- smeđe na pješčenjaku. Lesivirano- tipično. Rendzina na laporu.	50 30 20	6	16	Hipoglej - mineralni, nekarbonatni Koluvij - eutrični, hipoglejni.	80 20	0
7	Distrično- smeđe na pješčenjaku. Eutrično- smeđe. Rendzina na laporu. Lesivirano na pijesku.	60 20 10 10	1	17	Amfiglej – mineralni, glinasto ilovasti. Koluvij – karbonatni, hipoglejni.	90 10	0
8	Distrično smeđe na pješčenjaku i škriljcima. Smeđe tlo na vapnencu. Rendzina na laporu i vapnencu. Eutrično smeđe na filitu.	60 15 15 10	0	18	Amfiglej – mineralni, nekarbonatno, vertični. Hipoglej mineralni, nekarbonatni. Amfiglej – mineralni, nekarbonatni, ilovasto glinasti.	50 40 10	0
9	Smeđe na vapnencu i dolomitu. Rendzina na dolomitu i pješčenjaku. Crnica- organo mineralna.	50 30 20	2	19	Euglej- mineralni, ilovasto glinasti. Klujvij – eutrični, karbonatni od zemljišnog materijala. Koluvij na fosilnom tlu, antropoginirani.	55 35 15	0
10	Smeđe na vapnencu. Rendzina na vapnencu i laporu. Antropogena tla- vinograda.	50 40 10	2	20	Gradska područja	100	0

Tab. 1: Soil units

Class	Composition and structure	%	Weighting	Class	Composition and structure	%	Weighting
1	Colluvial soil–eutric,district, with predominantly earth materials. Eugley- mineral, loamy.	60 40	0	11	Loess on marl. District brown – on sandstone Eutric brown - vertic.	40 30 30	2
2	Rendzina on dolomite. Brown soil on dolomite.	70 30	0	12	Loess on limestone and clay slates Brown on limestone and dolomite Rendzina – carbonate Black soil - organo mineral.	50 30 10 10	0
3	Rendzina- anthropogenic. Eutric brown, vertic. Loess – on marl.	40 30 30	10	13	Loess on marl, sand, anthropogenic Pseudoglej – on slope Rendzina – anthropogenic Eutric – brown, vertic	50 20 20 10	0
4	Rendzina, anthropogenic, clayey Vitisol, clayey. Eutric – brown vertic.	50 30 20	0	14	Rigosol of vineyards (vitisols). Anthropogenic soils of fields	70 30	0
5	Eutric- brown, vertic Anthropogenic rendzina, clayey. Loess on marl, anthropogenic.	50 30 20	0	15	Pseudoglej – on slope, medium deep Loess – pseudoglej and typical Rendzina – anthropogenic loamy	60 30 10	0
6	Distric – brown on sandstone Loess - typical. Rendzina on marl.	50 30 20	6	16	Hypoglej - mineral, noncarbonate Colluvial - eutric, hypoglej.	80 20	0
7	Distric – brown on sandstone Eutric - brown Rendzina on marl Loess on sand	60 20 10 10	1	17	Amphigley – mineral, clay-loam Colluvial – carbonate, hypoglej.	90 10	0
8	Distric brown on sandstone and slates Brown soil on limestone Rendzina on marl and limestone Eutric brown on flysch	60 15 15 10	0	18	Amphigley – mineral, non-carbonate, vertic. Hypoglej - mineral, noncarbonate. Amphigley – mineral, noncarbonate, loamy clay.	50 40 10	0
9	Brown on limestone and dolomite. Rendzina on dolomite and sandstone. Black soil - organo mineral.	50 30 20	2	19	Eugley - mineral, loamy clay Colluvial – eutric, carbonate of earthen materials. Colluvial on fossil soil, anthropogenic.	55 35 15	0
10	Brown on limestone Rendzina on limestone and marl Anthropogenic soil - vineyards	50 40 10	2	20	Urban areas	100	0

KLIMATOLOŠKI ČIMBENICI

Sloj prosječne godišnje količina padalina za područje Grada Lepoglave izračunat je pomoću vertikalnog gradijenta padalina. U račun je uzeto 11 stanica najbližih području istraživanja (tab. 2).

CLIMATOLOGY FACTORS

The layer of the mean annual amount of precipitation for the area of the town of Lepoglava was calculated using the vertical precipitation gradient. The calculation used data from the 11 weather stations nearest the study area (Tab. 2).

Tab. 2. Prosječne godišnje količine padalina (mm) za razdoblje 2000. – 2009. godina meteoroloških postaja šireg prostora istraživanja

Tab. 2. Mean annual amount of precipitation (mm) for the period 2000–2009 from meteorological stations throughout the study area

Postaja/Station	Prosječna godišnja količina padalina (mm)/Mean annual precipitation (mm)	Visina postaje (m)/Station elevation (m)
Bednja*	921,1	240
Čakovec	699,8	165
Koprivnica	791,7	141
Krapina	832,5	202
Križevci	736,9	155
Ludbreg	826,6	158
Novi Marof	831,9	200
Pregrada	855	220
Stubičke Top.	936	180
Varaždin	758,1	167
Zabok	869,2	150

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb

Source: State Hydrometeorological Institute, Zagreb

*reducirane vrijednosti za razdoblje 2000. – 2005. prema podacima stanice Krapina.

*reduced values for the period 2000–2005 according to data from the Krapina station.

Korelacijom prosječne godišnje količine padalina i nadmorske visine postaja izračunata je jednadžba krivolinijske regresije:

$$y = 139,04x^{0.3406}$$

Temeljem podataka digitalnog modela reljefa i jednadžbe krivolinijske regresije izračunat je sloj prosječne količine padalina istraživanog područja (sl. 7).

Klizanje se obično pojavljuje kod višednevnih, intenzivnih kiša, kada dolazi do zasićenja tla vodom, odnosno do povećanja razine podzemne vode koja je također jedan od uzročnika pojavljivanja klizanja. Prisutnost vode javlja se kao činitelj u najvećem broju slomova kosina, jer voda izaziva povećanje naprezanja i smanjenje čvrstoće.

UDALJENOST OD POVRŠINSKIH TOKOVA

Površinski tokovi, odnosno doline koje ih predstavljaju, određeni su iz DMR-a pomoću funkcija Flow Direction i Flow Accumulation. Iako ne moraju biti stvarni

The correlation of the average amount of precipitation and elevation of the stations was calculated using the curved line regression equation:

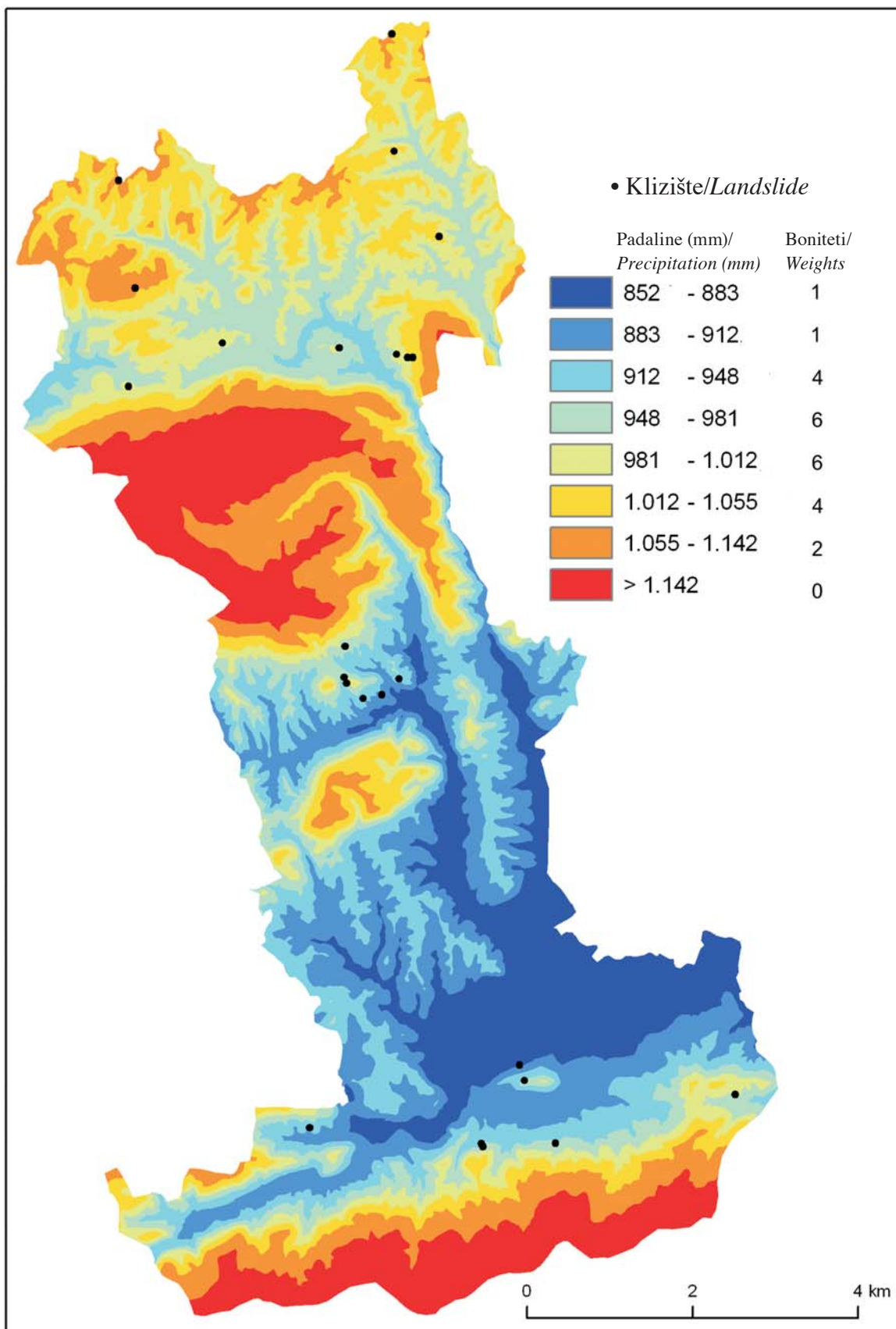
$$y = 139,04x^{0.3406}$$

Based on the data from the digital terrain model and the curved line regression equation, the layer of the average amount of precipitation in the study area was calculated (Fig. 7).

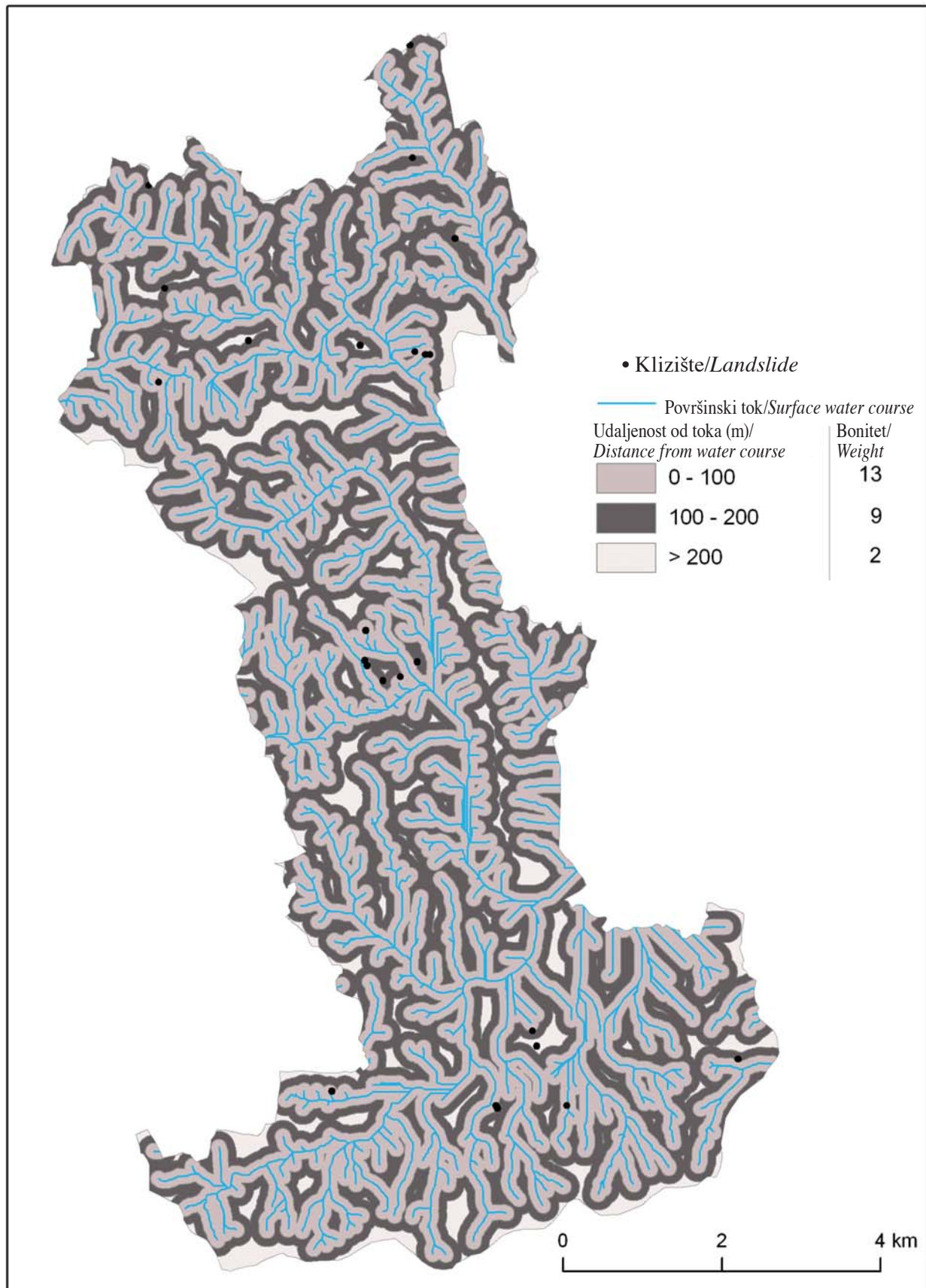
Landslides usually appear after multi-day intensive rains, when the soil is waterlogged and ground water levels increase, which is another cause of landslides. The presence of water appears as a factor in the majority of inclination breaks, as water increases strain and decreases layer strength.

DISTANCE FROM SURFACE WATER COURSES

Water courses, and the valleys they represent were determined from the DTM using the functions Flow Direction and Flow Accumulation. Though these need not



Sl. 7. Karta prosječne godišnje količine padalina s lokacijom klizišta
 Fig. 7. Map of mean annual amounts of precipitation with landslide areas



Sl. 8. Pojava klizišta s obzirom na udaljenost od talvega dolina (vodotoka)
 Fig. 8. Appearance of landslides based on the distance from thalwegs (water courses)

površinski tokovi, mogu poslužiti u analizi jer ocrtavaju moguće pravce kretanja vode, odnosno njenu akumulaciju, ali i većinu površinskih tokova koji se nalaze na području Lepoglave. Udaljenost od talvega dolina podijeljena je u razrede po 50 m. Iz kartografskog prikaza (sl. 8) nazire se generalno opadanje broja klizišta porastom udaljenosti od talvega doline (površinskog toka). Tako se 13 klizišta pojavljuje unutar 100 m udaljenosti od toka, 9 u rasponu od 100 – 200 m, a 2 na udaljenosti većoj od 200 m.

NAČIN KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

Podaci za način korištenja zemljišta su preuzeti u već digitaliziranom obliku sa službenih web stranica Europske agencije za okoliš, u sklopu koje postoji CORINE Land Cover baza podataka. Područje Grada Lepoglave prekriva ukupno 9 klasa, od ukupno 39 koje prekrivaju područje Hrvatske (sl. 9). Najveći udio obuhvaćaju klasa 311 – Bjelogorična šuma, 30,44 km² odnosno 46,46% te 242 – Kompleks kultiviranih parcela, 13,5 km² tj. 20,61%, dok najmanji dio zauzimaju klase 211 – Nenavodnjavano obradivo zemljište, 0,33 km², 0,51% i 131 – Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina, 0,36 km², 0,55%. Prema mjestu dosadašnjih pojavljivanja klizišta, zabilježena su u samo 5 od 9 navedenih klasa na kojima se javilo klizanje. Najviše zabilježenih klizišta nalazi se u klasi 242 – Kompleks kultiviranih parcela. Može se uočiti kako većina klizišta nastaje upravo tamo gdje je izražen ljudski faktor, odnosno na mjestima gdje se obrađuje zemljište. Može se uočiti kako su klizišta registrirana i pod klasom “Nepovezana gradska područja”. Razlog je taj što ova klasa nije striktno samo urbano središte, već se u njoj nalaze i obradive površine, uglavnom vinogradi i voćnjaci, koji se navode kao ugroženi klizanjem.

Za određivanje udaljenosti od prometnica uzeti su svi putovi po kojima se kreću motorna vozila koja stvaraju umjetne vibracije koje utječu na pojavu klizišta. Za određivanje i digitalizaciju istih poslužile su topografske karte te aerofotosnimke lepoglavskog područja. Sva klizišta nalaze se unutar 100 m od prometnice, odnosno 70% klizišta se nalazi unutar 30 m udaljenosti (sl. 10). U analizu su uzete udaljenosti po 20 m od cesta.

Zadnjom reklasifikacijom, prije prostornog preklapanja svih slojeva, pojedine atributne vrijednosti svih korištenih slojeva podijeljene su u pet kategorija prema ugroženosti, od vrlo niske do vrlo visoke. Podjela je obavljena na način da su po dvije bonitetne klase smještene u jednu kategoriju, npr. 0 i 1 u vrlo nisku, 2 i 3 u nisku itd. sve do 9 i više kojoj pripada kategorija vrlo visoka ugroženost. Kod preklapanja svi čimbenici imali su jednake težinske udjele. Dobiven prikaz ugroženosti klizištima (sl. 11.) pokazuje da je 0,7 km² (1%) područja koja se nalaze u kategoriji vrlo visoke ugroženosti, 13,1

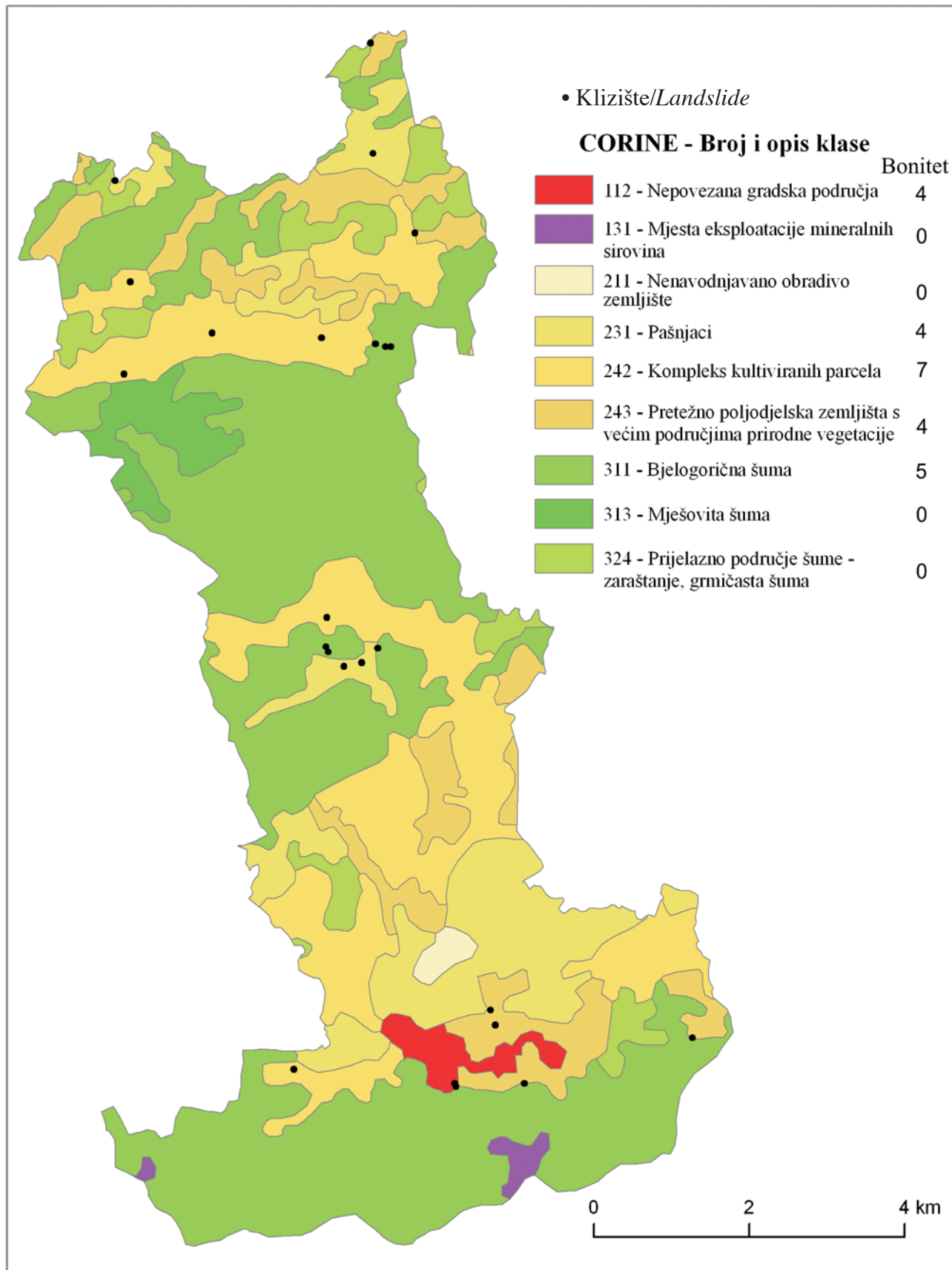
be true surface courses, they can serve in the analysis as they indicate the possible route of water flow and its accumulation, and the majority of surface water courses found in the territory of the town of Lepoglava. The distance from thalwegs is divided into 50 m classes. From the map (Fig. 8), a general drop in the number of landslide areas is evident with increasing distance from thalwegs (of surface water courses). A total of 13 landslide areas appear within 100 m of the water course, 9 at a distance of 100–200 m, and 2 at a distance greater than 200 m.

LAND USE

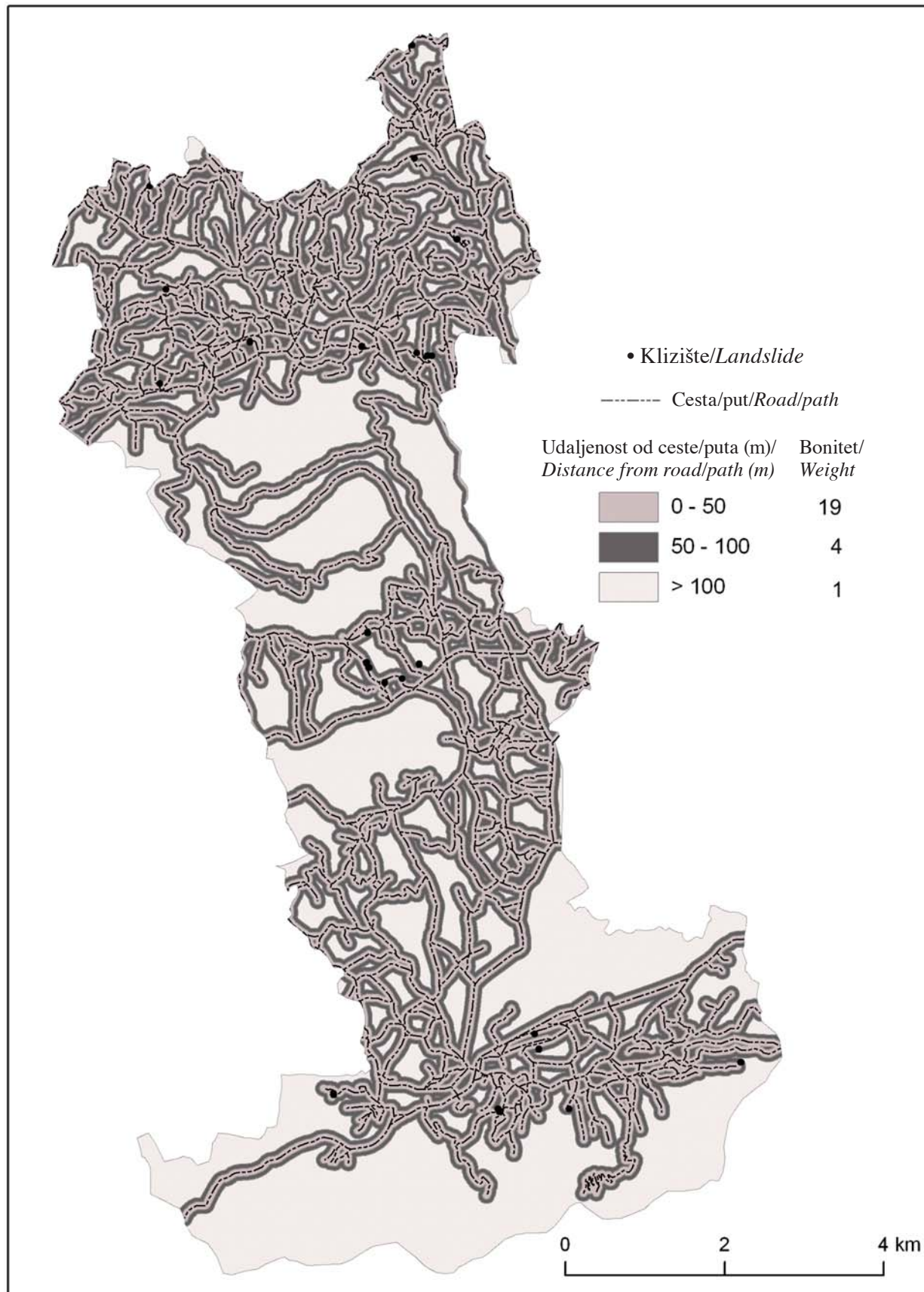
Land use data were taken in digitalised form from the official website of the European Environment Agency where the CORINE Land Cover database is available. The area of the town of Lepoglava includes 9 classes of the total of 39 classes present in the Croatian territory (Fig. 9). The largest areas are covered by class 311 (broad-leaved forest; 30.44 km² or 46.46%) and class 242 (complex cultivated patterns; 13.5 km² or 20.61%), while the smallest are covered by class 211 (non-irrigated arable land; 0.33 km² or 0.51%) and class 131 (mineral extraction sites; 0.36 km² or 0.55%). Previous landslides were recorded in only 5 of these 9 classes. The highest number of registered landslides occurred in class 242 (complex cultivated patterns). It can be observed that the majority of landslides occur in places with a pronounced anthropogenic factor, i.e. on arable land. It can also be noted that landslides are registered under the class “discontinuous urban fabric”. The reason for that is that this class is not strictly only urban areas, but also covers arable land, vineyards and orchards if they fall within urban boundaries, as areas susceptible to landslides.

To determine the distance from the roads, all paths upon which motor vehicles can travel and create artificial vibrations that impact the occurrence of landslides were considered. For their determination and digitalisation, topographic maps and aerial photos of the Lepoglava region were used. All landslide areas were located with 100 m of a road, and 70% of the landslide areas were located with 30 m of a road (Fig. 10). Distance intervals of 20 m from the road were used in the analysis.

With the final reclassification prior to the spatial overlap of all layers, individual intrinsic values of all used layers were divided into five categories based on the risk level, from very low to very high. The division was conducted in such a way that two weight classes were placed in a single category, e.g. 0 and 1 in very low, 2 and 3 in low, etc. to 9 and more which belonged to the category of very high risk. In the overlap, all factors had the same weight shares. The landslide hazard overview obtained (Fig. 11) indicates that there is an area of 0.7 km² (1%) that falls within the very high hazard category, 13.1 km²



Sl. 9. CORINE model namjene površina s lokacijom klizišta
 Fig. 9. CORINE land use model with landslide areas



Sl. 10. Mreža prometnica s lokacijama klizišta
 Fig. 10. Roads network with landslide areas

km² (20,5 %) područja u kategoriji visoke ugroženosti, 19,4 km² (29,7 %), u kategoriji srednje ugroženosti, 28,5 km² (43,6 %) u niskoj kategoriji, što ujedno i čini najveći dio područja, te 3,4 km² (5,2 %) područja u vrlo niskoj kategoriji ugroženosti.

Prema kartografskom prikazu vidljivo je kako je najugroženiji sjeverni dio istraživog područja, jedan dio u središnjem dijelu i jedan manji dio na jugu. Sjeverni dio područja obuhvaća 6 naselja s ukupno 1781 stanovnikom (2001.), 20% od ukupnog stanovništva Grada Lepoglave. Prosječna gustoća stanovništva ovog područja iznosi 95,6 st/km², što je ispod gustoće stanovništva Grada Lepoglave (134,5 st/km²), ali iznad gustoće stanovnika Republike Hrvatske. Kad se tome pridoda još gusta mreža prometnica, može se zaključiti da bi šteta od aktiviranja klizišta u tom prostoru bila velika.

ZAKLJUČAK

Prirodni rizici imaju osobito važnu ulogu u istraživanju u geografskim i ostalim geoznanstvenim istraživanjima. Među njima značajno mjesto imaju prirodne pojave geološkog i geomorfološkog tipa: potresi, vulkani, klizišta i odroni. S obzirom na genezu, smještaj i utjecaj na geoprostor, klizanju i klizištima kao i njihovim posljedicama, potrebno je posvetiti posebnu pažnju. Dugi niz godina radilo se na izradi karata koje prikazuju zone ugroženosti klizanjem, ali razvoj računala i posebice GIS-a omogućio je analizu većeg broja prostornih podataka. Kvaliteta rezultata dobivenih GIS analizom ovisi o broju i kvaliteti ulaznih podataka te o znanju korisnika koji izvodi analizu. Za prostor Grada Lepoglave izrađen je jedan takav tematski prikaz ugroženosti padina klizištima.

U GIS analizu uvršteni su čimbenici koji uzrokuju klizanje i lokacije registriranih klizišta. Uzročnici su svrstani u četiri grupe i to kao: 1) geomorfološki: nagib padine, ekspozicija, udaljenost od površinskih tokova; 2) bioklimatološki: pedologija, prosječna količina padalina, vegetacija; 3) antropogeni: način korištenja zemljišta i udaljenost od cestovnih prometnica; 4) geološki: litologija. Na temelju karte ugroženosti padina klizištima izvršena je inventarizacija površina pojedinih razina ugroženosti. Može se reći kako ukupno 48,8% površine nije ugroženo (vrlo niska i niska ugroženost), a tek 21,5 % površine je ugroženo (visoka i vrlo visoka ugroženost) pojavljivanjem klizišta. Preostalih 29,7% površine pripadaju umjerenoj kategoriji ugroženosti. Prostorni raspored udjela po kategorijama ugroženosti posljedica je primarno geološke građe prostora te morfometrijskih parametara reljefa. Na temelju karte ugroženosti može se jasno vidjeti kako se kategorije visoke ugroženosti najviše poklapaju s naslagama miocenske starosti. Time, bez zanemarivanja važnosti ostalih čimbenika, geološki

(20.5%) that falls within the high hazard category, 19.4 km² (29.7%) in the moderate hazard category, 28.5 km² (43.6%) in the low category as the largest category in the study area, and 3.4 km² (5.2%) of the area in the very low hazard category.

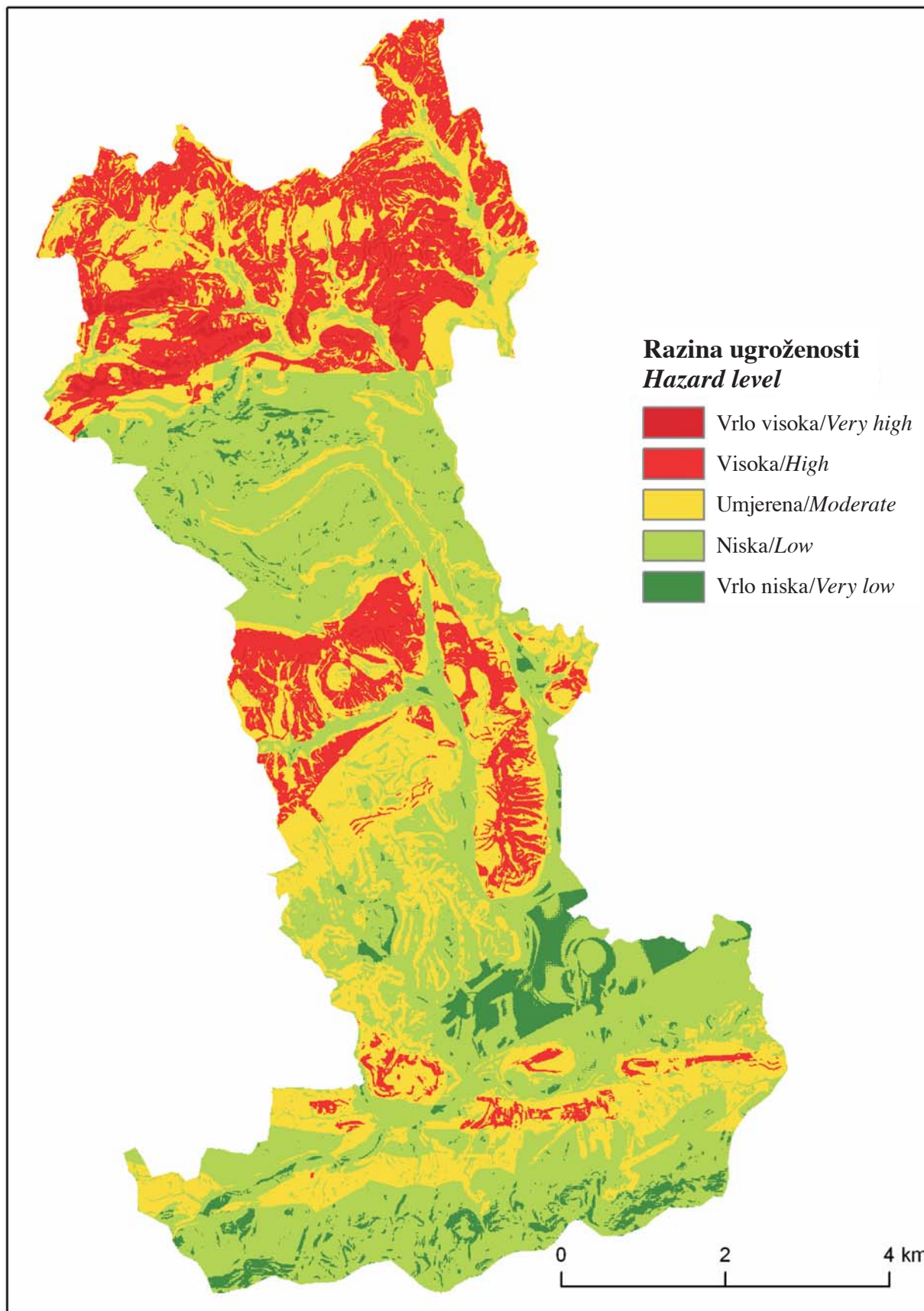
The map indicates that the northern part of the study area is most at risk, as are a part in the central area and a smaller part in the southern area. The northern part of the study area includes six settlements with a total population of 1781 (2001 census) or 20% of the total population of the town of Lepoglava. The average population density in this area is 95.6 persons/km², which is less than the total density of the town (134.5 persons/km²), but higher than the total population density for the Republic of Croatia. Adding to this the dense road network, it can be concluded that damages incurred to this area from landslides would be great.

CONCLUSION

The natural hazards have a particularly important role in the research of geographic and other geoscientific studies. Among them, the natural events of geological and geomorphological types are significant, particularly: earthquakes, volcanoes, landslides and rock falls. With regard to their genesis, position and influence in the geospace, landslides and their consequences deserve special attention. For many years, mapping was done to indicate landslide susceptible zones. However, with the development of computers and GIS tools, the analysis of a larger number of spatial data became possible. The quality of results obtained using GIS analysis depends on the number and quality of entry data and the knowledge of the user conducting the analysis. For the area of the town of Lepoglava, a thematic overview of landslide susceptible slopes were developed in that way.

Factors influencing landslides and the locations of registered landslides were entered into the GIS analysis. Causal factors were divided into four groups: 1) geomorphological: slope inclination, exposition, distance from surface water courses; 2) bioclimatic: pedological, mean precipitation, vegetation; 3) anthropogenic: land use and distance from roads, and 4) geological: lithology.

Based on the map of landslide susceptibility, areas with varying levels of risk were inventoried. It can be concluded that a total of 48.8% of the area is not at risk (very low and low risk) and only 21.5% of the area is at risk (high and very high risk) of a landslide occurrence. The remaining 29.7% of the area falls within the area of moderate risk. The spatial distribution of these shares by risk categories is due primarily to the geological structure of the area, and the morphometric terrain parameters. Based on the risk map, it is clear that the high risk categories overlap most with deposits of Miocene age. Without neglecting the importance of the remaining



Sl. 11. Karta ugroženosti padina klizištima u području Grada Lepoglave
Fig. 11. Landslide hazard map in the area of the town of Lepoglava

čimbenik bi se za područje Grada Lepoglave mogao okarakterizirati kao najutjecajniiji čimbenik kod pojavljivanja klizanja.

Prema dobivenim podacima uočava se kako je najugroženiji sjeverni dio istraživanog područja, jedan dio u središnjem dijelu i jedan mali dio na jugu. Sjeverni dio područja obuhvaća 6 naselja s ukupno 1781 stanovnikom (2001.), 20% od ukupnog stanovništva Grada Lepoglave. Prosječna gustoća stanovnika ovog područja iznosi 95,6 st/km², što je ispod gustoće stanovnika Grada Lepoglave (134,5 st/km²), ali iznad gustoće stanovnika Hrvatske. Kad se tome pridoda još gusta mreža prometnica, može se zaključiti da bi šteta od aktiviranja klizišta u tom prostoru bila velika.

Ovom analizom prikazana je jedna od mogućih prostornih analiza ugroženosti padina klizištima u svrhu zaštite ljudi, imovine i okoliša. Analizom je uspostavljen model, koji može poslužiti za brzo i efikasnije dobivanje željenih rezultata, ali može poslužiti i kod određivanja drugih vrsta rizika koji koriste slične podatke i metode.

factors, the geological factor in the area of the town of Lepoglava could be characterised as the most influential factor for the occurrence of landslides.

The data obtained indicated that the northern part of the study area is most at risk, with one area in the central part and one small area in the southern part of the study area. The northern part of the area includes six settlements with a total population of 1781 (2001 census), or 20% of the total population of the town of Lepoglava. The mean population density in this area is 95.6 persons/km², which is lower than the population density for the whole town of Lepoglava (134.5 persons/km²), but higher than the population density at the national level. Adding the dense road network to this, it can be concluded damage from the activation of landslides would be great.

This analysis gives an overview of one of the possible spatial analyses of landslide susceptibility intended to protect humans, property and the environment. The analysis establishes a model that can serve to quickly and efficiently obtain the desired results, but can also serve to determine other types of risks using similar data and methods.

LITERATURA I IZVORI LITERATURE AND SOURCES

- Ančić, B., Juriša, M. (1985.): Osnovna geološka karta 1:100000, list Rogatec, Geološki zavod Ljubljana i Geološki zavod Zagreb.
- Bognar, A. (1983.): Tipovi klizišta u Hrvatskoj, Zbornik jugoslavenskog simpozija "Privredne nepogode u Jugoslaviji". SGDJ, Ljubljana.
- Bognar, A. (1996.): Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geokološki aspekti. Acta Geographica Croatica, vol. 31, Geografski odsjek PMF-a, Zagreb, 27-39.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995.): GIS-based Techniques for Mapping Landslide Hazard. In A. Carrara, F. Guzzetti (eds), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, str.135-175.
- Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, Arhiva klimatoloških podataka, Zagreb
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2008.): Comparing landslide inventory maps, Geomorphology, Vol. 94, Iss. 3-4, str. 268-289.
- Gotić, R., Gotić, I. (1998.): Istraživanje stabilnosti klizišta i uzroka njihova nastanka u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, Croatian geotechnical journal 5 , 11-12; 43-51.
- Husnjak, K. (2001.): Procjena pogodnosti zemljišta na području općine Lepoglava za ratarsku proizvodnju, diplomski rad, 36 str., Agronomski fakultet, Zagreb.
- Manegold, J. (2003.): Using the ModelBuilder of ArcGIS 9 for Landscape Modeling, ESRI-Germany, <http://www.masterla.de/conf/pdf/conf2003/71manego.pdf> (20.03.2011).
- Mihalić, S., Vujnović, T., Škrinjar, G., Mihaliček, G., Martinjak, J., Markovinović, T. (2008.): Ublažavanje opasnosti od klizanja - zoniranje osjetljivosti na klizanje, Pavić, Ante (ur.). Savjetovanje Zagrebačke vode - zbornik radova, Zagreb, str. 113-120
- Pahernik, M. (2007.): Digitalna analiza padina otoka Raba, Geoadria, vol. 12 (1); str. 3-22.
- Popis stanovništva, kućanstva i stanova 31. ožujka 2001., DZS, Zagreb.
- Prostorni plan uređenja Grada Lepoglave, broj elaborata 1175, Urbanistički institute Hrvatske d.d., Zagreb, 2003.
- Suganthi, S., Srinivasan, K. (2010.): Digital Elevation Model Generation and its Application in Landslide Studies Using Cartosat-1, International Journal of Geomatics and Geoscience, Volume 1, No 1, p. 41-50
- Šegota, T., Filipčić, A. (1996.): Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb.
- Šimunić, A., Pikija, M., Hečimović, I. (1981.): Osnovna geološka karta 1:100000, list Varždin, Geološki zavod, Zagreb.
- Šimunić, A. (1983.): Pregled geološke građe sjeverozapadne Hrvatske, u Varaždinski zbornik. Zbornik radova sa znanstvenog skupa povodom obilježavanja 800. godišnjice grada Varaždina, str. 41-50.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Soeters, R. (2003.): Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, Natural Hazards, Vol. 30, No. 3, p. 399-419.

SAŽETAK

Klizišta predstavljaju kretanje tla s padine na kliznoj plohi pod utjecajem gravitacije. Oblikovanje klizne plohe osnova je razvoju klizišta. Ona se najčešće veže za glinu ili glinovite sedimente bogate koloidnim česticima. Klizanje tla, uz fluvijalnu eroziju, spiranje i jaruženje predstavljaju dominantne destruktivne procese u genezi istraživanog prostora. Neželjeni učinci klizišta su većinom povezani sa štetom koja nastane na infrastrukturi i gospodarskim objektima. Stalno širenje čovjekovog životnog prostora u područja manje pogodna za gospodarske aktivnosti povećava potrebu za predviđanjem moguće pojave klizišta.

Prostorna analiza unutar geografskih informacijskih sustava (GIS) predstavlja temelj vrednovanja prostora s obzirom na ugroženost padina od procesa klizanja.

Temeljna metoda prostorne analize ugroženosti padina klizištima u području Grada Lepoglave vezana je za činjenicu da će lokacija pojave novih klizišta biti češća na lokacijama sa sličnim litološkim, geomorfološkim, hidrološkim i drugim prilikama pod kojima su nastala recentna klizišta. Tako su boniteti parametara određeni brojem postojećih klizišta unutar promatrane kategorije uzroka nastanka klizišta. Određen broj zabilježenih klizišta na pojedinoj jedinici svakog promatranog parametra dodijeljen je toj jedinici kao bonitetna kategorija te jedinice. Tako klasificirani kartografski slojevi spremni su za završnu sintezu metodom prostornog preklapanja. Podaci su organizirani u četiri grupe s obzirom na vrstu uzročnika klizanja: geomorfološki, geološki, bioklimatološki i antropogeni čimbenici.

Geomorfološki čimbenici zastupljeni su morfometrijskim obilježjima nagibima i ekspozicijom padina. Najveći bonitet zabilježen je kod nagiba padina kategorija 5 – 12° i 12 – 32° te na padinama s jugozapadnom ekspozicijom, dok je podjednak razvoj klizišta na sjevernim, južnim i zapadnim ekspozicijama. S obzirom na litološku podlogu, najveći bonitet dodijeljen je stijenama određenima kao pješčenjaci, pijesci, lapori i tufovi. Ovakav litološki kompleks najpogodniji je za razvoj klizišta jer se u izmjeni nalaze propusni pjeskoviti i nepropusni glinoviti slojevi. Sličan odnos je i kod boniteta pedoloških jedinica, gdje su najveće vrijednosti zabilježene na ilovastom, do ilovasto-glinastom tlu.

S obzirom na udaljenost klizišta od talvega dolina (površinskog toka), postoji generalno opadanje broja klizišta s porastom udaljenosti, tako da se 13 klizišta pojavljuje unutar 100 m udaljenosti od toka, 9 u rasponu od 100 – 200 m, a 2 na udaljenosti većoj od 200 m.

CORINE model poslužio je za dodjelu boniteta klasama namjene zemljišta. Najviše zabilježenih klizišta nalazi se u klasi kompleksa kultiviranih parcela i nepovezanih gradskih područja. Može se uočiti kako većina klizišta nastaje upravo tamo gdje je utjecajan ljudski čimbenik, odnosno na mjestima intenzivne graditeljske aktivnosti i obrade zemlje. Analiza antropogenog čimbenika određenog kroz udaljenosti od prometnica pokazuje da se sva klizišta nalaze unutar 100 m od prometnice, a čak 70% klizišta do 30 m udaljenosti.

SUMMARY

A landslide is any down slope movement of soil and rock under the direct influence of gravity. Together with fluvial erosion, colluvation and gullyng, landslides are the dominant destructive processes in the genesis of the study area. Their undesirable effects mostly include damage to the surrounding infrastructure and agricultural facilities. Constant urban expansion for human living space in areas less suitable for economic activities increases the necessity to detect possible landslide occurrences.

The data collected by spatial analysis and integrated into the geographical information system form the basis for landslide hazard assessment.

The basic method for spatial analysis of landslide susceptible areas and slope failure in the town of Lepoglava is related to the fact that there is a tendency for possible landslide locations to be more common in areas of the same or similar lithological, geomorphological, hydrological and other conditions as areas where recent landslides have occurred. This is why the intrinsic values of these parameters are determined by the number of existing landslides in the observed category of landslide causes. A certain number of landslides registered in each parameter unit are assigned to this unit as its intrinsic category. Cathographic layers classified in such a way are synthesized according to the spatial overlapping method. The data are organized into four groups based on the type of landslide causes: geomorphological, geological, bioclimatic and man-made factors.

Geomorphological factors are influenced by morphometric characteristics of slopes and slope exposition. The greatest intrinsic value has been registered in two categories of slope inclinations: 5–12° and 12–32°, and slopes of southwest exposition, while landslides can equally occur on slopes of north, south and west exposition. Considering the lithological composition of surface, the greatest intrinsic value has been assigned to rocks defined as sandstones, sandy soil, marly soil and tuffs. This rocklike structure is very prone to landslide occurrence since it is composed of permeable sandy and impermeable clayey layers. Pedological units show that the greatest values are registered for loamy and clay loamy soil.

With regard to the distance from landslide areas to talwegs, it can be observed that the number of landslides decreases with greater distance from the source, e.g. thirteen landslides have occurred within a 100 m distance from the stream, nine at 100–200 m distance and only two landslides have occurred at a distance over 200 m from the stream.

A CORINE model has been used to assign values to different classes of the intended land use. The highest number of landslides has been registered in the class of cultivated plots of land and unconnected urban areas. This leads us to the conclusion that most landslides occur in places greatly influenced by human factors, i.e. in places where intensive construction activities and land cultivation take place. Anthropogenic factor analysis based on relative distance from the road shows that all landslides occur within a 100 m distance from roads, and even 70% of landslides occur within only 30 m distance from roads.

By means of final reclassification, intrinsic values of all the soil layers have been divided into five categories accord-

Zadnjom reklasifikacijom, boniteti svih korištenih slojeva podijeljeni su u pet kategorija prema ugroženosti, od vrlo niske do vrlo visoke. Podjela je obavljena na način da su po dvije bonitetne klase smještene u jednu kategoriju, npr. 0 i 1 u vrlo nisku, 2 i 3 u nisku itd. sve do 9 i više kojoj pripada kategorija vrlo visoka ugroženost.

Izračunati prikaz ugroženosti padina klizištima pokazuje da je 0,7 km² (1%) područja koja se nalaze u kategoriji vrlo visoke ugroženosti, 13,1 km² (20,5%) područja u kategoriji visoke ugroženosti, 19,4 km² (29,7%), u kategoriji srednje ugroženosti, 28,5 km² (43,6%) u niskoj kategoriji, što ujedno i čini najveći dio područja, te 3,4 km² (5,2%) područja u vrlo niskoj kategoriji ugroženosti. Najugroženiji je sjeverni dio područja koji obuhvaća 6 naselja s ukupno 1781 stanovnikom (2001.), 20% od ukupnog stanovništva Grada Lepoglave. Prosječna gustoća stanovnika ovog područja iznosi 95,6 st/km², što je ispod gustoće stanovnika Grada Lepoglave (134,5 st/km²), ali iznad gustoće stanovnika Republike Hrvatske. Kad se tome pridoda još gusta mreža prometnica, može se zaključiti da bi šteta od aktiviranja klizišta u tom prostoru bila velika.

Primljeno: rujan 2011.

Prihvaćeno: travanj 2012.

ing to the level of landslide hazard and risk, from very low to very high. This division has been made in the following way: two classes of intrinsic values are placed in one category, for example 0 and 1 fall into very low, 2 and 3 fall into low risk, etc., while 9 and above fall into the category of very high level of landslide hazard.

Such analysis of landslide susceptible areas shows that 0.7 square kilometres (1%) of the study area falls into the category of very high landslide hazard, 13.1 km² (20.5%) of the land area fall into the high hazard category, 19.4 km² (29.7%) of the study area fall into the moderate hazard category, the largest area covering 28.5 km² (43.6%) has a low hazard for future landslides, and 3.4 km² (5.2%) of the area falls into the very low hazard category. The northern part of the study area, encompassing six populated areas with a total of 1,781 inhabitants (in 2001) or 20% of the total Lepoglava population, runs the highest risk of landslide occurrence. The average population density of this area is 95.6 inhabitants per square kilometre, which is lower than that of the town of Lepoglava (134.5 inhabitants per km²), though higher than the Croatian population density. If we also take into account the dense transport network, it can be concluded that a landslide occurrence could incur serious damage to the town of Lepoglava.

Received: September 2011

Accepted: April 2012

Ivan Loparić, mag. geograf., Antuna Mihanovića 6, Lepoglava
Dr. sc. Mladen Pahernik, docent, Hrvatsko vojno učilište „Petar Zrinski“, Ilica 256b, Zagreb

Ivan Loparić, MSc, Antuna Mihanovića 6, Lepoglava
Mladen Pahernik, PhD, Assistant Professor, Croatian Defence Academy 'Petar Zrinski', Ilica 256b, Zagreb