

# IZRADA KARTE RIZIKA OD POJAVE KLIZIŠTA PRIMJENOM GIS TEHNOLOGIJE – PRIMJER OPĆINE BEDNJA, HRVATSKA

## THE LANDSLIDE RISK MAP PREPARATION USING GIS TECHNOLOGY – AN EXAMPLE OF THE BEDNJA MUNICIPALITY, CROATIA

Nikola Počekal, Jelena Loborec<sup>1\*</sup>, Hrvoje Meaški<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za hidrotehniku, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

\*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: jloborec@gfv.hr

**Sažetak:** Na području općine Bednja nalazi se veliki broj klizišta, potencijalnih klizišta, odnosno nestabilnih padina, koja su kroz duže vremensko razdoblje istraživana i dijelom sanirana. Osnovni cilj rada je pomoću GIS tehnologije, preklapanjem različitih prostornih podataka, pokušati predvidjeti potencijalno najugroženije zone u kojima se klizišta mogu pojaviti. Kod razvoja GIS modela određivanja zona rizika od pojave klizišta korištene su slijedeće podloge: nagib terena, geološka građa terena, dreniranost tla i srednja godišnja količina padalina, kao prirodni čimbenici koji utječu na pojavu klizišta, te korištenja zemljišta (landuse) i utjecaj prometnica, koji predstavljaju pretežno antropogene čimbenike koji utječu na pojavu klizišta na nekom području. Prikazana su dva varijantna rješenja za procjenu rizika. U slučaju prve varijante, u kojoj su prometnice u modelu uzete kao destabilizirajući čimbenik, zone visokog i vrlo visokog rizika od pojave klizišta zauzimaju trećinu ukupne površine općine Bednja. Ovo varijantno rješenje je trenutno i najbliže stvarnom stanju u kojemu se danas nalazi općina Bednja. U drugom varijantnom rješenju, u kojem su prometnice u modelu uzete kao stabilizirajući čimbenik, pretpostavka je da su sve prometnice sanirane i da samim time osiguravaju stabilnost padine. Ponovljenom analizom udjela rizičnih površina uočeno je da udio srednje rizičnih površina na području općine Bednja ostaje praktički isti, ali dolazi do preraspodjele vrlo visoko i visoko rizičnih zona u korist nisko ili vrlo nisko rizičnih zona. To je zbog toga što ceste, zajedno sa svom infrastrukturom i izgradnjom stambenih i drugih objekata u zoni ceste, u konačnici predstavljaju glavnu opasnost za stabilnost padina. Time prometnice postaju dobar indikator na kojim područjima postoji opasnost da će doći do klizišta.

**Ključne riječi:** Bednja, klizišta, GIS.

**Abstract:** In the municipality of Bednja are a large number of landslides, potential landslides or unstable slopes, which are for the long time period studied and partially repaired. The main objective of this paper is by using of GIS technology, with spatial overlapping of different data, to try to anticipate potentially vulnerable areas where landslides may occur. For the development of the GIS model for determining the risk zones of landslides were used the following layers: slope map, geological map, soil drainage map and mean annual precipitation map, as well as natural factors affecting the occurrence of landslides and landuse map and the impact of roads, which are predominantly anthropogenic factors influencing the occurrence of landslides in the area. Two alternatives for the risk map of landslides were presented. In the case of the first variant, in which the roads in the model were taken as a destabilizing factor, zones of high and very high risk of landslides cover a third of the total area of the municipality of Bednja. This variant solution is currently the closest to the actual situation in which the municipality is now. In another variant, in which the roads in the model were taken as a stabilizing factor, the assumption is that all the roads were repaired and thus ensure the stability of slopes. With the repeated analysis of risk areas, it could be observed that the covering of the medium-risk areas in the municipality of Bednja remains practically at the same level, but there is a redistribution of very high and high risk zones in favor of low or very low-risk zones. This is because the roads, with all associated infrastructure and construction of residential and other buildings in the zone of roads, represent the main threat to the stability of slopes. Thus, roads are a good indicator of which areas there is quite a big chance that there will be a landslide.

**Keywords:** Bednja, landslides, GIS

Received: 08.01.2016 / Accepted: 03.06.2016

Published online: 04.07.2016

Znanstveni rad / Scientific paper

## 1. UVOD

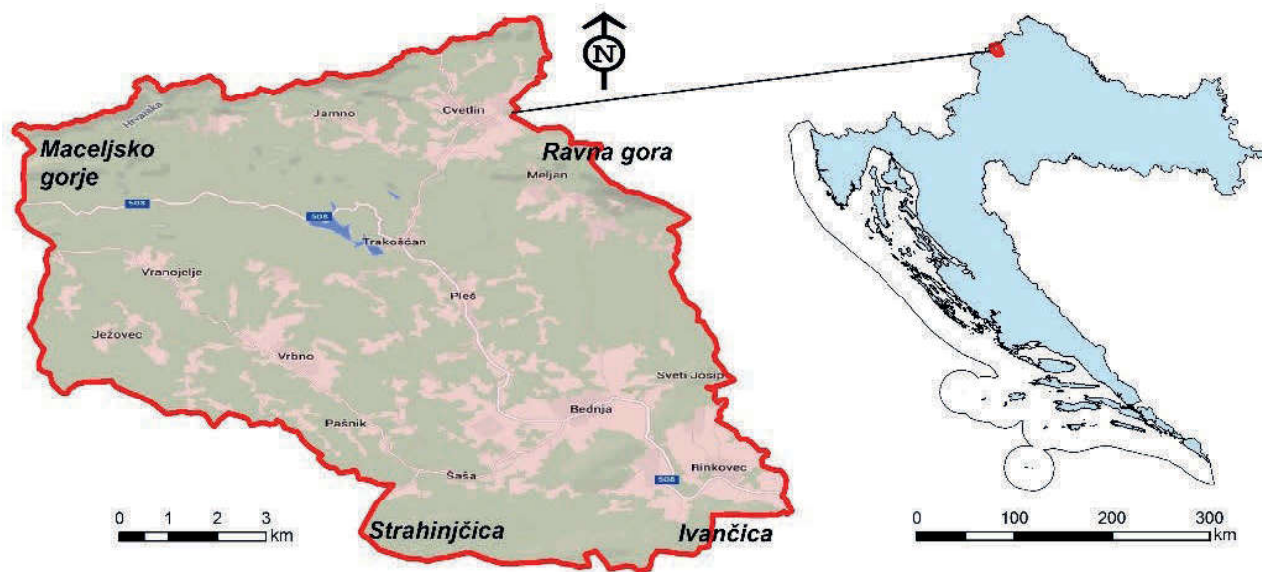
Masovna pojava klizanja na nekom prostoru uglavnom se dovodi u vezu sa specifičnim geomorfološkim obilježjima područja (nagibom padine, vegetacijom), geološkom građom terena (vrstom stijene i njenim trošenjem), geotehničkom osjetljivošću terena, promjenom sadržaja vode u terenu (naglo dizanje razine podzemne vode, povećanje brzine toka), hidrometeorološkim obilježjem, ali i vrlo često u naseljenim područjima s antropogenim utjecajem (promjene opterećenja na padini uslijed nepravilnih graditeljskih zahvata, gradnja nasipa, zasjeka, ustrmljav-

anja kose padine, deforestacija područja,...). Sve ove pojave, bilo prirodne, bilo antropogene, dovode do smanjenja posmične čvrstoće materijala u padini i u konačnici uzrokuju pomicanje tla ili stijene.

Klizišta pritom uzrokuju velike materijalne štete, a izravno ili neizravno ugrožavaju i lokalno stanovništvo. Poticaj za istraživanje klizišta upravo na području općine Bednja bila je elementarna nepogoda iz 2006. godine, prilikom koje su na relativno malom području i u kratkom vremenu evidentirana mnogobrojna klizišta na ovome području.

Cilj rada bio je da se uz pomoć sistematiziranih i statistički obrađenih dostupnih podataka o postojećim klizištima na području općine Bednja i obilaskom terena pokuša inženjerskim načinom razmišljanja napraviti pregledna karta rizika od pojave klizišta u mjerilu 1:50.000. Zamisao je bila da se rezultati istraživanja klizišta prikažu uz pomoć GIS tehnologije, i na taj način približe i široj javnosti. Na karti bi se pritom različitim bojama prikazale zone različitog stupnja opasnosti od pojave klizišta, a koje bi zatim mogle poslužiti kao dobra osnova za buduća detaljnija istraživanja potencijalno opasnih zona ili za planiranje razvoja ovog izrazito turistički usmjerenog područja Varaždinske županije.

Istraživano područje je općina Bednja ili bednjanski kraj, područje koje je dio Varaždinske županije. Nalazi se na krajnjem sjeverozapadu Hrvatskoga zagorja, a svojim sjeverozapadnim dijelom dotiče državnu granicu prema Republici Sloveniji (Slika 1). Područje općine Bednja je sa svih strana okruženo i zatvoreno gorama: Ivančicom (1061 m n.m.) na jugoistoku, Strahinjčicom (847 m n.m.) na jugu, te Maceljskim gorjem (715 m n.m.) na sjeverozapadu i Ravnom gorom (686 m n.m.) na sjeveroistoku.



Slika 1. Smještaj općine Bednja u Republici Hrvatskoj

Površina općine iznosi 75,58 km<sup>2</sup>. To je izrazito brežuljkasti kraj u kojemu nadmorska visina varira od oko 230 m n.m. (područje Rinkovca uz rijeku Bednju), pa sve do 686 m n.m. (vrh Ravne gore). Ravna gora je najsjevernija gora Hrvatskoga zagorja. Smjestila se u gornjem porječju rijeke Bednje i smatra se posljednjim ogrankom Alpi. Prekrivena je pretežno bjelogoričnom šumom s primjesama crnogorice, a karakteristična je i po krškim pojavama, po čemu je jedinstvena u sjevernom dijelu Hrvatske. Kroz općinu teče rijeka Bednja koja izvire u mjestu Bednjica, u podnožju Ravne gore. Dužina toka joj je oko 133 km, a teče između Ravne gore i Ivančice, te u nastavku sve do rijeke Drave. Od ostalih većih vodnih pojava na području općine Bednja ističe se Trakošćansko jezero (246 m n.m.), koje je dio kompleksa Parka prirode Trakošćan. Radi se o akumulacijskom jezeru, koje je nastalo u razdoblju od 1853.-1862. godine uređenjem prostora oko dvorca Trakošćan. Površina jezera je oko 17 ha, dugačko je oko 1,5 km, i najveće dubine oko 4 metra.

Klimatska obilježja područja općine Bednja zbog nedostatka podataka do sada nisu pobliže istražena. Općenito se može reći da područje Bednje, kao i cijela sjeverozapadna Hrvatska, spada u umjereno topli i kišni tip klime. Ovaj tip klime često se naziva i "klimom bukve", prema prevladavajućem šumskom raslinju. Srednja

godišnja količina padalina u bednjanskome kraju kreće se između 1100 mm i 1300 mm (Zaninović et al. 2008). Posebno su izražene niske minimalne temperature tijekom zimskog perioda, osobito nakon prolaska hladnih fronti. Jutarnja temperatura od -20°C zimi je redovita pojava. Zbog ovih i sličnih pojava, bednjanska kotlina se ponekad naziva i „Zagorska Lika“ (Slika 2).



Slika 2. Pogled na dio bednjanskog kraja



Po posljednjem popisu stanovništva iz 2011. godine, općina Bednja imala je 3 992 stanovnika, raspoređenih u čak 25 naselja, jer se na gotovo svakom brežuljku nalazi neki zaselak (DZS 2011). Većina naselja u općini Bednja smještena je na brežuljcima visokima do 350 m n.m.. Bednjanski kraj je poljoprivredno seosko područje niske gospodarske razvijenosti, ali očuvanih prirodnih resursa, ljepote krajolika te kulturne baštine. Parcele su dosta usitnjene, pa se ne mogu kvalitetno poljoprivredno iskorištavati. Od poljoprivrednih površina postoje oranice, voćnjaci, vinogradi, livade i pašnjaci.

## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Geologija istraživanog područja

Geološka građa područja općine Bednja do sada je najdetajnije istražena i prikazana Osnovnom geološkom kartom M 1:100 000, listovima Rogatec (Aničić & Juriša 1984) i Varaždin (Šimunić et al. 1982).

Najstarije naslage na području općine Bednja pripadaju naslagama srednjotrijaske starosti ( $T_2$ ), a radi se o pojavama glinastih škriljevaca, pješčenjaka, dolomita, rožnjaka i tufova. Naslage trijasa su vezane za dublje dijelove sedimentacijskog prostora, odnosno za rubne planine bednjanskog kraja (Ravnu goru, Ivančicu...). Sitnozrnate klastične stijene su pretežno finozrnate-pelitske. Tamne boje koje dolaze uglavnom od koncentracije pirita i organske osnove. U manjoj količini su zastupljeni feldspati, piriti, tinjci i gline.

Geološki gledano općina Bednja se najvećim dijelom nalazi na naslagama miocenske starosti ( $M_1^2$ ), u kojima dominiraju žutosmeđi kvarcni pijesci s proslojcima i lećama pijeska, konglomerata, te pješčanog lapora i laporaste gline. Pijesak je sastavljen uglavnom od kamenih zrnaca i tinjaca. Kada je slojevitost vidljiva tada su slojevi uglavnom debljine od 10 cm do 1 m. U obliku tankih leća unutar njih se nalaze slojevi pješčanog i glinenog lapora, obično sive do tamno sive boje (Slika 3).



**Slika 3. Pojave pijesaka s proslojcima lapora sive boje**

Manji dio područja je zastupljen s mlađim naslagama miocena ( $M_2^2$ ), koje su karakteristične uglavnom po laporima, laporovitim vapnencima i pjeskovitim laporima. Lapor je često sive ili zelenkasto sive boje.

Drugi najzastupljeniji geološki član na području općine Bednja predstavljaju najmlađe naslage holocena. Radi se o aluviju (al), koji se sastoji od finog šljunka, pijeska, mulja i gline. Glavna komponenta aluvijalnih naslaga je slabo sortirani pješčano-glineni mulj. Pijesak je uglavnom kvarcni i ima ga preko 50%.

### 2.2. Pojave klizišta na području Bednje

U bednjanskom kraju su evidentirana brojna klizišta. Područje općine je poznato i po učestalosti pojave klizišta, kao i činjenici da je upravo zbog klizanja terena u ovome kraju već više puta proglašena elementarna nepogoda – do početka 2011. godine čak sedam puta (Slika 4). Uglavnom bivaju uništene prometnice, ali nova klizanja terena sve više postaju i prijetnja urušavanju stambenih objekata i gospodarskih zgrada. Za sanaciju postojećih klizišta se izdvajaju milijunska sredstva, jer se nastoje što prije sanirati, ali nova ponovno nastaju u pravilu svake godine. Bednjanski kraj pripada području povećane padinske osjetljivosti, jer su prirodni pokosi na granici ravnoteže, te je potrebna vrlo mala promjena kako bi se narušila prirodna ravnoteža (Soldo et al. 2006).



**Slika 4. Primjer klizišta iz 2009. (www.duzs.hr)**

Za potrebe sanacija klizišta općine Bednje (Soldo et al. 2006) izvedeni su geotehnički istražni radovi koji su uključivali geodetske izmjere pužišta i/ili klizišta, te istražne bušotine za određivanje karakteristika pojedinih slojeva tla (dubinu i debljinu svakog pojedinog sloja), moguću pojavu i razinu podzemne vode, procjenu dubine klizne plohe, dubinu do koje je bušotina izvedena i inklinacija. Uzorci iz bušotina podvrgnuti su laboratorijskim ispitivanjima koja su obuhvaćala određivanje fizikalnih svojstava tla, granulometrijski sastav, aktivnost gline, parametre čvrstoće, nedreniranu čvrstoću, indeksne pokazatelje i dr.

Temeljem istražnih radova došlo se spoznaja da je najčešća pojava klizišta na području Bednje na padinama koje imaju prirodni nagib  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  (Soldo et al. 2006). Objašnjenje autora je bilo da se pod tim nagibom voda procjeđuje duže vrijeme, te na kontaktu s laporovitim ili čvrstom podlogom dolazi do klizišta. Dobrim dreniranjem padine može se smanjiti razina i količina vode koja ulazi u tlo, te time povećati smična čvrstoća tla i spriječiti pojavu klizišta.

Antropogeni utjecaj se u bednjanskom kraju pojavljuje najčešće prilikom gradnje, rekonstrukcije i/ili održavanju prometnica na prirodno nestabilnim padinama. Loša ili neadekvatna izvedba pritom predstavlja još jednu slabost koja narušava prirodnu ravnotežu. Istraživanja su također pokazala da je dosta čest slučaj pojave cestovnih klizišta u podbriježnoj strani ceste gdje uslijed dodatnog nasipavanja same podloge ceste i neadekvatno održavane odvodnje dolazi do dodatnog opterećenja padine.

No, klizišta se mogu javiti i u pribriježnim padinama uz cestu. Ublažavanjem zaszeka u padini povećava se samo lokalna stabilnost pokosa zaszeka, ali generalno destabilizira se padina jer se uklanjanjem materijala u usijeku olakšava nožica generalne padine. Na prvi pogled ublažavanje nagiba pokosa usjeka ili skidanje djela materijala koji je u puzanju trebalo bi biti stabilnije, no često se pojavi nenamjerni rizik (Soldo & Orešković 2009)

Dodatna istraživanja pojave klizišta u bednjanskome kraju (Soldo et al. 2010) pokazala su povezanost nastanka klizišta i meteoroloških prilika, odnosno količine padalina u vrijeme pojave nestabilnost padina. Uočeno je da do velikih klizanja dolazi u slučajevima kada je količina padalina i njihov kontinuitet značajno povećan tokom zime i proljeća iste godine, te u slučajevima kontinuiranih, laganih padalina (sitne kiše) koja polako natapaju tlo i dovode do njegove maksimalne saturacije, kao i prilikom polaganog otapanja snijega nakon zime.

### 2.3. Kratki prikaz odabranih lokacija

U nastavku su u kratko opisana tri klizišta s područja općine Bednja, koja su u konačnici poslužila za verifikaciju postavljenog modela u ovome radu.

**Lokacija Jamno – Cari.** Na predjelu ove lokacije nastalo je klizište širine cca 30 m i neodređene duljine. Klizištem je zahvaćena bankina lokalne prometnice. Iznad samog čela klizišta nalaze se obiteljske kuće na kojima još nisu vidljive nikakve promjene. Na spomenutoj lokaciji napravljeni su terenski istražni radovi (izrada geotehničkih istražnih bušotina, vađenje poremećenih i neporemećenih uzoraka tla, opažanje pojave podzemne vode, SPT) i geodetsko snimanje terena. Zaključak istraživanja bio je kako je do klizanja terena došlo uslijed neadekvatne odvodnje površinskih i podzemnih voda. Uslijed ukupnog djelovanja vode došlo je do promjene opterećenja kosine i do postupnog smanjenja posmične čvrstoće tla, a posljedično i do pokliznuća padine. Na ovom klizištu je napravljeno 4 istražnih bušotina raspoređenih od čela klizišta prema nožici klizišta. Iz istražne bušotine pri čelu klizišta dobiveni su podaci da je do 30 cm dubine pokrivni sloj humusa, zatim do dubine 3,4 m glina niske plastičnosti, žuto smeđe boje, srednje gnječive konzistencije a na dubini od 3,4 do 4,6 m laporovita glina žuto smeđe boje, a od 4,6 m lapor i na toj dubini je približno određena dubina klizne plohe kod čela klizišta dakle na kontaktu sa čvrstom podlogom. Iz bušotina po tijelu klizišta dobiveni su bliski rezultati dubina sa istim opisima tla. Kod nožice kontakt laporovite gline žuto-smeđe boje i približne dubine klizne plohe ta dubina je manja i iznosi 2,9 m. Iz sondažnih profila je vidljivo da vode u bušotinama nema (Soldo et al. 2006).

**Ježovec-Strmogorica.** Na ovoj lokaciji su izvršeni istražni radovi jednaki onima na lokaciji Jamno-Cari. Na ovom području je došlo do pojave klizišta ispod obiteljskih kuća. Klizište je nastalo sa podbriježne strane ceste, gdje je došlo i do samog pucanja ceste. Približne dimenzije klizišta su 60x100 m. Iz istražnih bušotina dobiveni su sondažni profili za nevedena klizišta. Prema opisu tla klizišta odnosno sondažnih profila kod čela klizišta dubina do 0,6 m je nasuti tucanik ispod asfalta, do dubine 2,5m glina smeđe boje niske plastičnosti, do 3,8 m zaglinjen pijesak žuto-smeđe boje i na dubini od 5,3m glina visoke plastičnosti žuto-smeđe boje do lapora. Kod druge istražne bušotine na čelu klizišta na dubini od 5 m evidentirana je voda. Pri nožici klizišta evidentirano je humus do 0,3 m, glina žuto smeđe boje niske plastičnosti do 3m i zaglinjen pijesak do 4,5 m, do 5 m laporovita glina. Iz ovoga se vidi da je klizna ploha na dubini od 2 do 3 m (Soldo et al. 2006).

**Meljan.** Na lokaciji Meljan 1 i 2 prema istražnim radovima radi se o klizištima približnih dimenzija 60x70 m. Napravljena su dva uzdužna profila u odnosu na klizišta prema kojima su određena mjesta gdje je vršeno istražno bušenje. Klizište je nastalo uz cestu i za posljedicu je imalo pojavu oštećenje ceste nedaleko kuća. Prema visinskoj razlici od 10 m evidentirana je još jedna pojava klizišta na poljoprivrednoj površini kao posljedica. Iz opisa sondažnih profila vidljivo je da je do 0,7 m nasuto, do 1,9 m glina visoke plastičnosti te do 3 metra laporovita glina sa vapnencem. Klizna ploha je evidentirana na 3 m. Sondažni profil kod visinske razlike približno 20 m niže po osi klizne plohe prikazuje da je do dubine 1,1 m glina visoke plastičnosti, do 2,3 m zaglinjen pijesak sa vapnenačkim kongregacijama i od 2,3m laporovita tvrda glina. Isto tako valja napomenuti da je u toj bušotini niže kote u odnosu na samo čelo klizišta evidentirana podzemna voda na dubini od 1,3 m (Soldo et al. 2006).

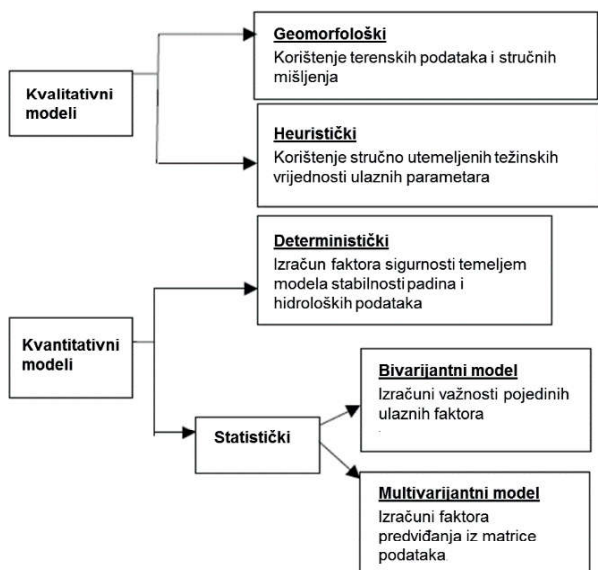
## 3. METODOLOGIJA PROCJENE RIZIKA OD KLIZANJA

### 3.1. Predviđanje pojave klizišta

Prvi korak u procjeni opasnosti od pojave klizišta na nekom području predstavlja priprema i izrada karte i katastra zabilježenih klizišta. Katastar je moguće izraditi sustavnim kartiranjem područja korištenjem različitih tehnika (terenskim istraživanjem, interpretacijom aerofoto snimki, evidentiranjem starih klizišta,...). Nakon toga se može pristupiti procjeni i analizi smanjenja opasnosti od klizišta izradom karte osjetljivosti terena na klizanje. Nju je moguće dobiti temeljem podataka o: raspodjeli postojećih i saniranih klizišta, nagibu padina, vrsti stijene u podlozi, geološkim strukturama, hidrologiji... Osjetljivost se uobičajeno može kategorizirati kao niska, umjerena i visoka.

Procjene nastanka novih klizišta mogu se provesti korištenjem GIS tehnologije kroz kvalitativnu, ili kvantitativnu analizu ulaznih podataka. Shematski prikaz i kratki opis pojedinih vrsta modela prikazani su na **Slici 5**.





Slika 5. Shematski prikaz različitih modela korištenih u procjenama pojave klizišta (modificirano prema Nandi & Shakoor 2006)

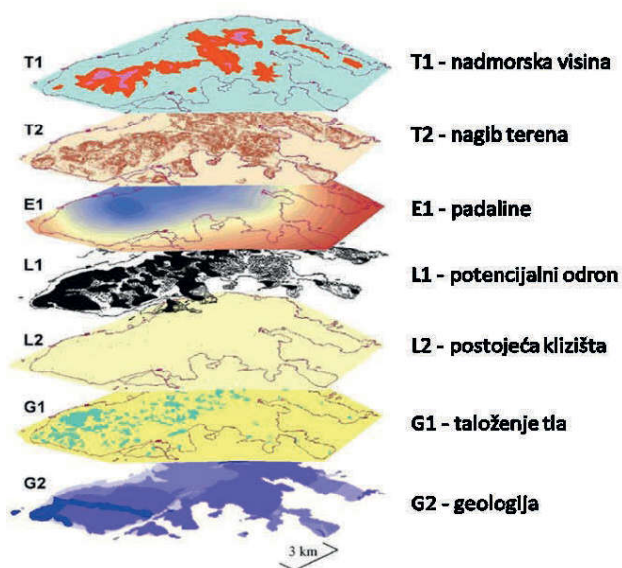
Kvalitativni pristup je široko rasprostranjena metoda koja uključuje geomorfološke i heurističke modele. Kvantitativni pristup koristi ili deterministički ili statistički model (Guzzetti et al. 1999). Determinističko modeliranje često se koristi u manjim područjima, a opasnost od pojave klizišta se izražava u obliku faktor sigurnosti. Za razliku od determinističkog modela, u statističkom modelu se faktori koji su doveli do pojave klizišta u prošlosti određuju primjenom bivarijantne ili multivarijantne statističke analize, a dobiveni rezultati se zatim koriste za predviđanje budućih pojava klizišta. Statistički pristup se temelji na promatranju odnosa između raspodjele prošlih i sadašnjih klizišta, i njihove statističke usporedbe sa svakim čimbenikom koji može utjecati na pojavu novog klizanja.

### 3.2. Neke od postojećih metode predviđanja klizišta korištenjem GIS tehnologije

U svijetu se koriste različite metode geoinformacijskih postupaka otkrivanja potencijalnih klizišta, odnosno zona s najvećim potencijalom mogućih pojava klizišta. U nastavku se daje kratki pregled nekoliko metoda, koje su poslužile kao baza za definiranje modela korištenog na području općine Bednja.

Prva prikazana metoda je razvijena za gusto naseljeno područje Hong Konga u Kini (Chau et al. 2004). Ulazni podaci za izradu modela bile su informacije o svim klizištima nastalima unutar dvanaest godina na području Hong Konga. Podaci su statistički obrađeni te je za određene prirodne karakteristike promatranog područja, za koje je pretpostavljeno da utječu na nestabilnost terena, definirana frekvencija učestalosti pojave klizanja. U modelu su u konačnici kao ulazni parametri za procjenu mogućeg nastanka klizišta korišteni nagib terena, nadmorska visina terena, geološka građa, podaci o pedologiji, i srednja godišnja količina padalina. Pojedini parametri su dodatno klasificirani, a svakoj klasi je dodijeljen i težinski faktor koji je

dodatno pojačavao ili smanjivao utjecaj pojedinih podataka. Karata potencijalnih klizišta dobila se zbrajanjem rasterskih vrijednosti pojedinih karata (Slika 6).



Slika 6. Prikaz preklapanja karata uzetih kod analize hazarda (prema Chau et al. 2004)

Područje okruga Summit u Ohio, SAD, poznato je po čestim pojavama klizišta uz dolinu rijeke Cuyahoga. U analizi su korišteni heuristički i statistički modeli procjene pojave klizišta, te provjera njihove učinkovitost na području Summita (Nandi & Shakoor 2006). Klizišta su identificirana aerofoto snimkama, obilaskom terena, i korištenjem postojeće literature. Analizom podataka zaključeno je da pojava klizišta na području Summita posljedica složene interakcije različitih i neovisnih čimbenika: nagiba terena, položaja nagiba, vrste tla, erodibilnosti tla, dubine do podzemne vode, korištenja zemljišta, udaljenosti od rijeke, itd. Podaci su korišteni u obliku rasterskih slojeva i analizirani upotrebom GIS tehnologije. Dobiveni rezultati su u konačnici pokazali da čimbenici poput nagiba padina, tipa tla, udaljenost od rijeke i erodibilnosti tla statistički značajno utječu na pojavu klizanja, dok ostali čimbenici nemaju tako značajnu ulogu kako se na početku pretpostavljalo, te su izuzeti iz modela.

Za slijedeću metodu područje istraživanja bio je **distrikt Wang Chin, na sjeveru Tajlanda**, a podaci o postojećim klizištima i čimbenicima koji utječu na stvaranje novih klizišta prikupljeni su daljinskim istraživanjima i terenskim obilascima, a obrađeni korištenjem GIS-a (Teerungsikul et al. 2007). Metodologija procjene pojave klizišta bazirala se na statističkom, bivarijantnom modelu, i na pridodavanju težinskih vrijednosti pojedinim čimbenicima korištenjem GIS tehnologije. Promatrani su odnosi ukupno devet faktora koji mogu utjecati na stabilnost padina (nagib terena, položaj nagiba terena, nadmorska visina, smjer toka vode, vegetacija, korištenje zemljišta, građa tla, litologija i lineamenti), kao i dosadašnjih pojava klizišta, te njihova prostorna distribucija. Nakon analize dobivena je karta hazarda u 5 klasa.

Kao prvi slučaj primjene GIS tehnologije u analizama i procjenama osjetljivosti terena na klizanje u Republici Hrvatskoj navodi se primjer **sliva potoka Starča** (Mihalić et al. 2008) koji je smješten u brežuljkastom području Zagrebačke županije. Ulazni podaci kod ovog istraživanja bili su karta klizišta, morfološke varijable, litostratigrafska karta, karta približno lociranih klizišta, hidrogeološka karta površinskih voda i minimalna dubina do razine podzemne vode i karta površinskog pokrivača. Relativni utjecaj faktora određen je kvantitativno, pomoću statističkih analiza. Na temelju težina svakog pojedinog faktora, izabrani su najrelevantniji faktori za daljnju analizu uvjetne vjerojatnosti klizanja.

#### 4. PROCJENA RIZIKA OD POJAVE KLIZIŠTA NA PODRUČJU BEDNJE

##### 4.1. Postavke modela

Za pouzdanu procjenu opasnosti i rizika od pojave klizišta na području Bednje odabrana je GIS tehnologija (programski paket ArcGIS/ArcInfo), za što je bilo neophodno da različiti slojevi informacija budu uključeni u GIS sustav. Međutim, već na samom početku je veliki problem bio to što način odabira važnih nezavisnih varijabli potrebnih za analizu pojave klizišta, kao i njihov način kombiniranja još uvijek nije strogo definiran ili propisan unutar struke, tako da i dalje postoji dosta prostora i istraživačke slobode u njihovom odabiru.

Zbog toga je za izradu rada bilo potrebno prikupiti što više podataka s istraživanog područja, kako bi se temeljem kvalitetnih ulaznih podataka moglo pristupiti razradi metodologije i odabiru čimbenika za koje se iz dosadašnjih istraživanja klizišta na području Bednje ispostavilo da mogu aktivno utjecati na samu pojavu klizišta. Uzimajući u obzir sve dostupne podatke, kao i postojeće metode koje se koriste u svijetu za procjenu rizika od pojave klizišta, kao konačan model za područje Bednje odabrana je kombinacija manjim dijelom kvalitativne, a većim dijelom kvalitativne statističke analize procjene rizika (Nandi & Shakoor 2006). Pritom se nastojalo model zadržati što jednostavnijim, kako bi se izbjeglo nepotrebno kompliciranje i otežavanje konačnog modela – princip Ockhamove (Occamove) oštrice.

Kvalitativni dio analize zasnivao se na dvije činjenice: (1) za procjenu rizika od klizišta korištena je empirijska procjena koji sve čimbenici mogu utjecati na pojavu klizanja, i (2) heuristička metoda procjene važnosti pojedinog čimbenika u ukupnom nastanku klizišta, odnosno određivanje težinske vrijednosti svakog pojedinog čimbenika. Ovakvim pristupom su isključeni svi oni čimbenici koji također u određenoj mjeri mogu utjecati na nastanak klizišta, ali bi u ovome slučaju više odrekli negoli pomogli jer bi nepotrebno zakomplicirali model. U budućim modelima se postojećim čimbenicima mogu pridodati i novi, ali bitno je da njihova korelacija s postankom klizišta bude jasna i mjerljiva.

U kvantitativnom dijelu analize, koristila se bivarijantna statistička metoda koja povezuje prirodu klizanja i čimbenike klizanja, te njihovu ovisnosti. Kod ove metode čimbenici klizanja se promatraju kao slučajne varijable, a podaci u njima se grupiraju u klase. Na temelju usporedbe

postojećih klizišta i pojedinih klasa podataka dobivaju se indeksi opasnosti za pojedine klase podataka. Ovime se dobiva relativan utjecaj pojedinog čimbenika klizanja na samu pojavu klizanja, odnosno mogućnost izdvajanja područja na kojem postoji velika vjerojatnost za nastanak hazarda (Mihalić 1996).

U analizama je korišten modul Spatial Analyst Tools programskog paketa ArcGIS/ArcInfo koji pruža širok raspon prostornog modeliranja i analizu značajki – od stvaranja upita, karti, analiza rasterskih podataka, izvođenja integrirane rastersko-vektorske analize, i dr. Kao ulazne podloge korištene su ortofoto snimke terena, topografske karte u mjerilu 1:5000 i geodetske točke. Iz ortofoto snimaka digitalizacijom su na istraživanome području izdvojeni šumski prostori, prometnice, vodotoci, jezera i veća naselja, te su im pridodane pripadajuće baze podataka. Temeljem geodetskih točaka izrađen je digitalni model terena koristeći modul Spatial Analyst Tools programskog paketa ArcGIS/ArcInfo i metodu Ordinary Kriging.

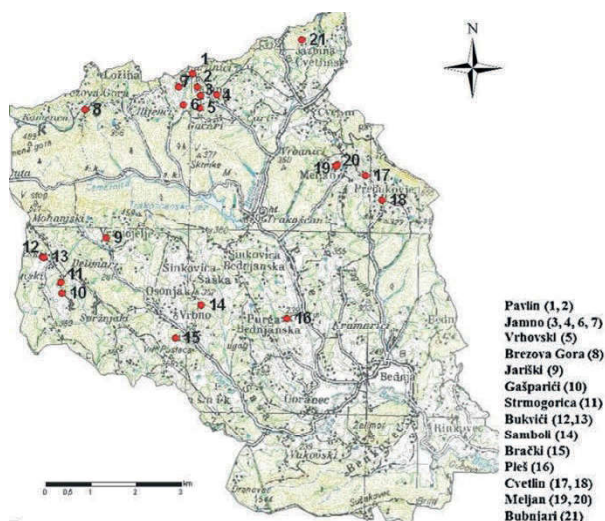
Kriging je napredni i složeni geostatistički postupak optimalne procjene neke varijable raspodijeljene u prostoru i mjerene na nekom konačnom broju lokacija (Royle et al. 1981; Oliver 1990; Andričević et al. 2006). U ovom slučaju procjenu površina od rasutih skupa točaka koje imaju z (visina) vrijednosti. Kriging se temelji na regionaliziranoj varijabli koja podrazumijeva da su prostorne razlike zastupljene vrijednošću z statistički homogene po cijeloj površini. Hipoteza o prostornoj homogenosti je najvažnija za teoriju regionalizirane varijable. Prostorna varijanca je kvantificirana semivariogramom. Vrijednost uzorka semivariograma za prostornu udaljenost h je prosječna razlika kvadrata u z-vrijednosti između parova ulaznih uzoraka razdvojenih točkama udaljenosti h. Uzorak semivariogram se izračunava iz uzorka podataka jednadžbom:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

Kriging nudi dvije vrste površinskih procjena: obični kriging i opći kriging. Obični kriging je reprezentiran sa sfernim, kružnim, eksponencijalnim, gausovim i linearnim tipovima. Različiti modeli kriginga služe kako bi se osiguralo da su zadovoljeni potrebni uvjeti variogramskog modela (Burrough 1986; McBratney & Webster 1986).

Na istraživanome području je, s obzirom na raspoložive i dostupne podatke, za potrebe modela odabran ukupno 21 lokalitet (slika 7). Pritom se nastojalo postići što ravnomjerniju raspodjelu postojećih klizišta, tako da cijelo područje bude što bolje uključeno u konačnu analizu. Naime, otežavajuća činjenica bila je početna neravnomjerna raspodjela klizišta, koja su detaljno istraživana i sanirana. Pojedini dijelovi istraživanog područja bili su izuzetno dobro obrađeni, dok za pojedine dijelove nije bilo podataka.

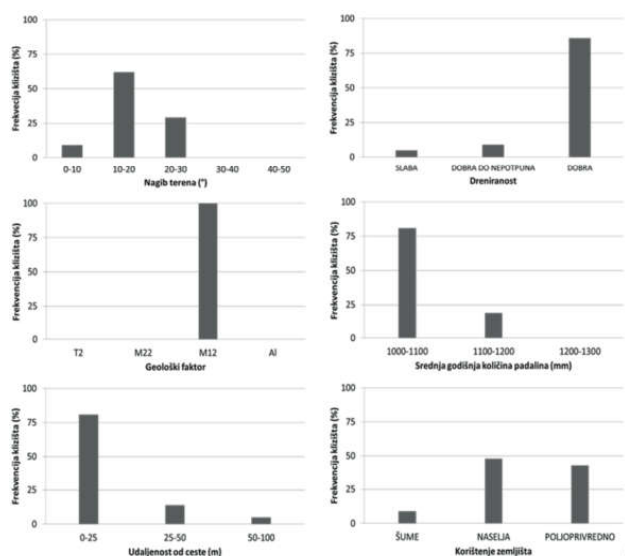




Slika 7. Topografska karta sa prikazom postojećih klizišta

Kao ključni čimbenici za pojavu klizišta na području Bednje u obzir su uzeti: nagiba terena, geološka građa terena, dreniranost tla i srednja godišnja količina padalina kao prirodni čimbenici koji utječu na pojavu klizišta, te korištenja zemljišta (landuse) i utjecaj prometnica, koji predstavljaju pretežno antropogene čimbenike koji utječu na pojavu klizišta na nekom području. Svaki od čimbenika je dodatnom analizom podataka podijeljen u reprezentativan broj klasa. U početku su razmatrani i neki drugi čimbenici, kao što su udaljenost od vodotoka, detaljnije pedološke karakteristike tla i sl., ali se dodatnim analizama postojećih klizišta ispostavilo da ovi čimbenici ne bi značajno utjecali na konačne rezultate, a nepotrebno bi otežavali i komplicirali postavljeni model procjene rizika na klizište.

Usporedbom postojećih klizišta i odabranih čimbenika koji mogu utjecati na njihovu pojavu, dobivena je frekvencijska razdioba klizišta na području Bednje za svaki pojedini čimbenik (Slika 8).



Slika 8. Frekvencijski raspored postojećih klizišta distribucijski raspoređenih prema različitim čimbenicima koji doprinose nastanku klizišta

Sljedeći korak je bio da se temeljem dobivenih razdioba svakoj klasi pojedinog čimbenika dodijele različite koeficijenti opasnosti od pojave klizišta, i to na način da veća vrijednost koeficijenta određuje veću opasnost od pojave klizišta (Tablica 1).

Tablica 1. Prikaz čimbenika klizanja na području općine Bednja i njihovih vrijednosti

Kategorija	Čimbenik	Klase	Koeficijent opasnosti	Težinska vrijednost
Prirodni uvjeti	Nagib terena	0-10°	3	2
		10-20°	5	
		20-30°	4	
		30-40°	1	
		40-50°	1	
	Litologija	T <sub>2</sub>	3	1
		M <sub>22</sub> <sup>2</sup>	3	
		M <sub>12</sub> <sup>2</sup>	5	
		AI	3	
		D	3	
Pedološka dreniranost	Slaba	1	1	
	Dobra	5		
Padaline	Dobra do nepotpuna	1000 – 1100 mm	1	1
		1100-1200 mm	3	
		1200-1300 mm	5	
		1300-1400 mm	1	
Pretežno antropogeni utjecaj	Utjecaj prometnica prije sanacije	0-25	5	1
		25-50	3	
		50-100	1	
	Utjecaj prometnica poslije sanacije	0-25	-5	1
		25-50	-3	
		50-100	-1	
	Korištenje zemljišta	Šume	Naselja	5
Poljoprivredno			3	

Pritom se vodilo računa o činjenici da sama dobivena razdioba nije presudna, već pravilan odabir važnosti čimbenika klizanja i pojave klizišta. Kod toga su od velike pomoći bili rezultati i zaključci dosadašnjih istraživanja klizišta na području općine Bednja.

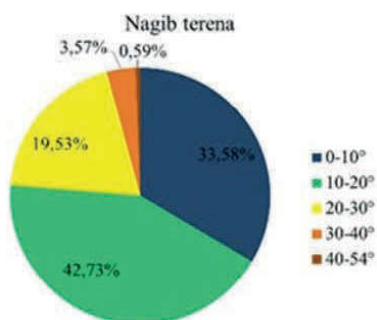
U konačnici klase označavaju jednaku raspodjelu vrijednosti određenih karakteristika pojedinog čimbenika klizanja i imaju različite koeficijente opasnosti, a težinske vrijednosti pokazuju koliki je utjecaj pojedinih čimbenika na pojavu klizanja. Prikazi klasifikacije pojedinih čimbenika prikazani su u Tablici 1.

#### 4.2. Pregled ulaznih parametara

**NAGIB TERENA.** Korištenjem modula 3D Analyst Tools programskog paketa ArcGIS/ArcInfo i metode Ordinary Kriging napravljena je digitalni model terena općine Bednja. Uz pomoć modula Spatial Analyst Tools iz digitalnog modela terena dobivena je karta nagiba terena. Maksimalni nagiba terena iznosi 54°. Karta nagiba teren je zatim reklasificirana u 5 klasa i to po 10° od 0°-50° i >50°.

Nagib terena je jako važan kod promatranja potencijalnih klizišta jer se zbog same prirode nagiba može inženjerskim načinom razmišljanja zaključiti što se događa na padini prilikom stvaranja klizišta i prodora vode u tlo. Što je kut nagiba veći voda brže „sklizne“ po površini i ima manji utjecaj na stabilnost kosine. Što je kut nagiba manji, voda se lakše procjeđuje u tlo i time narušavati prirodnu stabilnost padine. Međutim, kut nagiba ne smije biti niti premali jer će u tom slučaju opasnost da dođe do narušavanja osnovnih parametara stabilnosti biti vrlo mala i neće

doći do klizišta. Na **Slici 9** je prikazana klasificirana karta nagiba terena. Svakoj klasi je dodijeljen koeficijent opasnosti od pojave klizanja, prema učestalosti pojave klizišta u odnosu na pojedinu klasu. Tako je za nagib terena od 0-10° dodijeljena vrijednost 3, za nagibe od 10-20° vrijednost 5, za nagibe od 20-30° vrijednost 4, a za nagibe od 30-40° i 40-50° vrijednost 1. Prema klasificiranim vrijednostima nagiba terena napravljen je i dijagram postotnog udjela površina pojedine klase na istraživanome području.

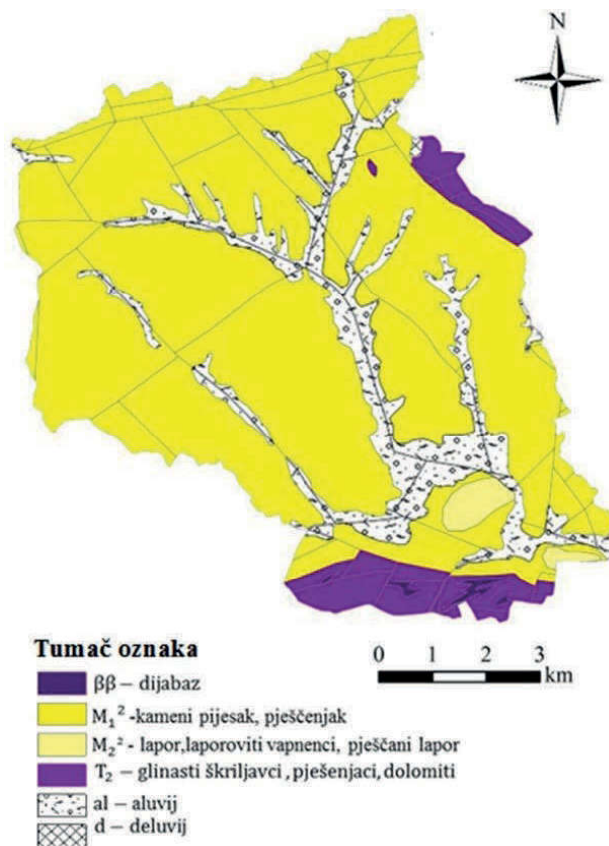


**Slika 9. Klasificirana karta nagiba terena**

**GEOLOŠKA PODLOGA.** Informacije o litološkom sastavu područja Bednje dobivene su iz Osnovne geološke karte M 1:100 000 (u nastavku OGK), listova Rogatec (Aničić & Juriša 1984) i Varaždin (Šimunić et al. 1982). Listovi OGK su digitalizirani, a pripadajuće baze podataka su popunjene prema tumačima karata i prema oznakama kartiranih jedinica.

Na istraživanome području je izdvojeno pet klasa (**Tablica 1**). Nakon klasifikacije podataka dobivena je klasificirana karta geološke podloge (**Slika 10**). Važnost geologije kod proučavanja klizišta je vrlo značajna jer se temeljem geološke podloge može odrediti o kakvim vrstama stijena se radi, odnosno iz njihovih prirodnih karakteristika donijeti zaključke o utjecaju na pojavu klizanja. Nažalost, nedostatak detaljnijih karata je bio ograničavajući element

koji je onemogućio preciznije definiranje geološke podloge istraživanog područja.



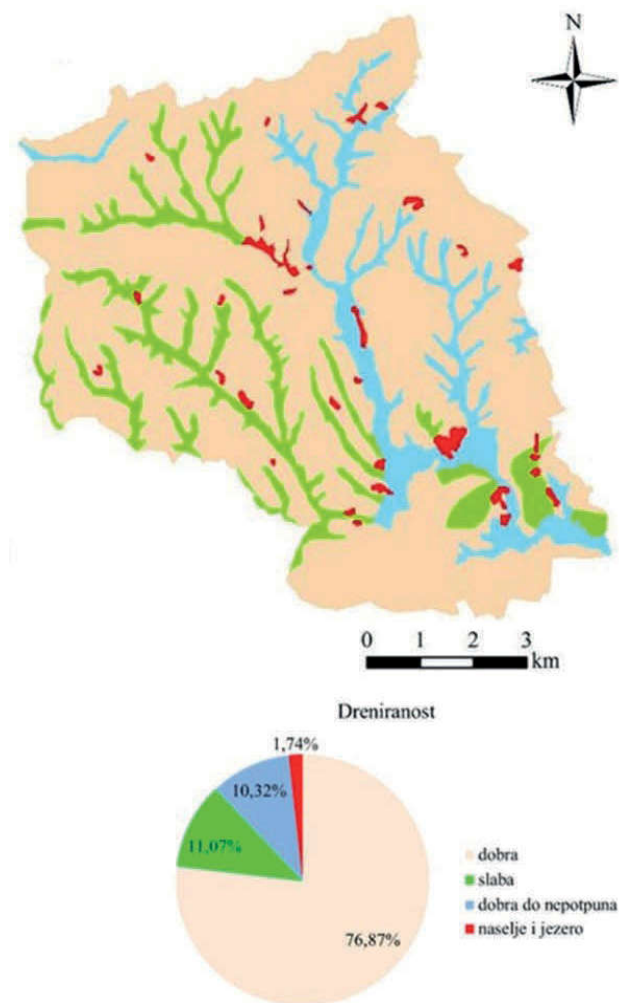
**Slika 10. Klasificirana geološka podloga**

**DRENIRANOST TLA.** Klizišta na istraživanome području su relativno plitka, te je zbog toga u obzir uzeta pedološka dreniranost tla, jer kod dobre dreniranosti, odnosno dobre propusnosti tla dolazi do naglog povećanja pornog tlaka.

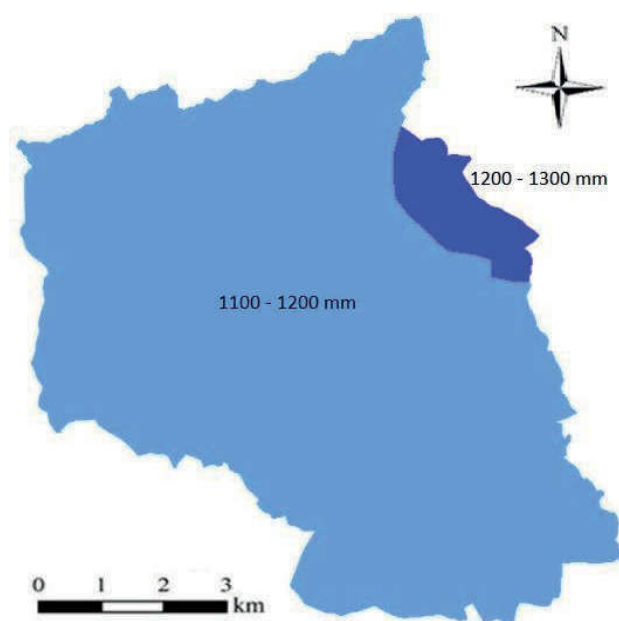
Za procjenu dreniranost tla korištena je pedološka karta, koja je izrađena specijalno za područje općine Bednja (Husnjak et al. 2012).

Dodatna voda u tlu pritom djeluje kao destabilizirajući čimbenik, odnosno negativno djeluje na stabilnost kosina. Pritom ne treba potpuno isključiti niti mogućnost pojave klizišta na području gdje je dreniranost tla lošija, jer u slučaju dugotrajnih kiša ili prilikom otapljanja snijega saturacija tla se odvija duže vrijeme pa treba uzeti i to u obzir. Međutim, količinski učinak vode na pojavu klizišta je dio prosječnih godišnjih količina padalina, koje su u analizama uzete u obzir kao zaseban čimbenik. Prema frekencijskoj razdiobi analize su pokazale da je najveći broj klizišta upravo na području gdje je pedološki definirana dobra dreniranost tla. Na **Slici 11** je prikazana klasificirana pedološka karta općine Bednja, s obzirom na pedološki definiranu dreniranost tla. Dobivene su tri klase podataka: području slabe dreniranost tla dodijeljena je vrijednost koeficijenta opasnosti od pojave klizišta 1, području dobre do nepotpune dreniranost tla vrijednost 3, a za dobro drenirana tla vrijednost 5. Prema klasificiranim vrijednostima dreniranosti tla napravljen je i dijagram postotnog udjela površina pojedine klase na istraživanome području.





Slika 11. Klasificirana karta dreniranosti tla dobivena temeljem podataka pedološke karte



Slika 12. Karta srednjih godišnjih padalina

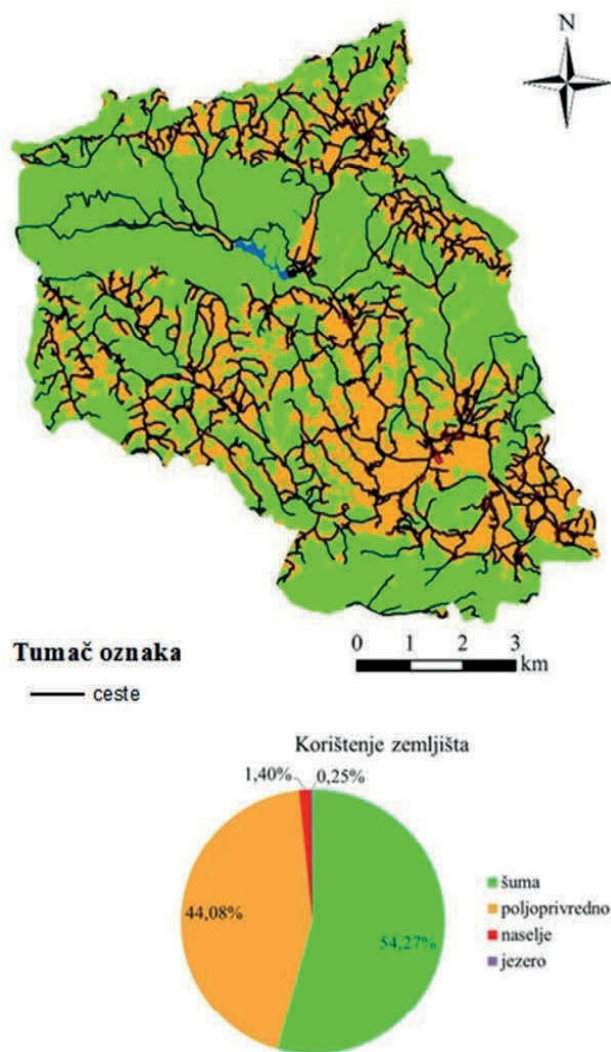
**PADALINE.** Srednja godišnja količina padalina dobivena je temeljem podatak iz klimatskog atlasa hrvatske (Zaninović et al. 2008). Količina padalina je dosta važan parametar kod analize klizišta jer veća količina vode, u kombinaciji s drugim čimbenicima, negativno djeluje na stabilnost kosina i uglavnom ih ubrzano destabilizira. S obzirom da je područje općine Bednja površinski relativno malo, neke veće prostorne varijacije u količini padalina nisu tako izražene. Zbog toga je bilo moguće napraviti samo dvije klase količina padalina i to na način da je području gdje su zabilježene količine padalina od 1100-1200 mm dodijeljen koeficijent opasnosti od pojave klizišta 3. Području gdje ima 1200-1300 mm padalina dodijeljen je koeficijent opasnosti 5, a uglavnom se radi o prostoru oko Ravne gore.

Bez obzira što ovaj prostor zauzima samo 5 % istraživanog područja (tamniji dio na Slici 12), unutar njega je zabilježeno više klizišta. Ipak, važno je istaknuti da su postojeći podaci o oborinama nedostadni za detaljnije analize na razini sliva te bi bilo potrebno imati podatke sa većeg broja kišomjernih postaja za dobivanje bolje raspodjele oborina u slivu.

**KORIŠTENJE ZEMLJIŠTA I UTJECAJ PROMETNICA.** Način korištenja zemljišta je čimbenik koji je na nekom području dijelom definiran prirodnim uvjetima (vegetacijski pokrov terena), a dijelom i antropogenim utjecajem (poljoprivredne površine, naseljena područja, prometna infrastruktura...). Na istraživanom području su digitalizacijom podataka s ortofoto snimaka mjerila 1:5000 izdvojena šumska područja, veća naselja, vodotoci, poljoprivredne površine i prometnice, a podacima su pridodane odgovarajuće baze podataka. Na Slici 13 su prikazane karte korištenja zemljišta na području općine Bednja, s tim da su na jednoj karti istaknuti i vodotoci, a na drugoj prometnice. Reklasifikacijom ulaznih podloga područja pokrivenim šumama je dodijeljena vrijednost koeficijenta opasnosti 1, poljoprivrednim površinama vrijednost 3, a naseljima vrijednost 5. Prilikom digitalizacije ulaznih podloga u obzir su uzeta samo veća naselja, dok je područje oko prometnica zonirano. Prema dobivenim vrijednostima korištenja zemljišta napravljen je i dijagram postotnog udjela površina pojedine klase na istraživanom području.

Treba napomenuti da su u daljnjim analizama utjecaji vodotoka izbačeni iz modela. Razlog tomu je što su dodatne analize podataka pokazale neznatan učinak vodotoka na konačne rezultate, te bi na kraju samo nepotrebno komplicirale postavljene model procjene rizika od pojave klizišta na području općine Bednja.

Za razliku od utjecaja vodotoka, utjecaj prometnica na nastanak klizišta na području općine Bednja izdvojene je u konačnici kao zaseban čimbenik, i to za dva krajnja rješenja: za slučaj potpuno nesanimiranih prometnica (prometnice koje nisu adekvatno izvedene i koje mogu narušiti stabilnost padine), i za slučaj potpuno saniranih prometnica (prometnice koje su adekvatno izvedene i koje ustvari stabiliziraju padinu na kojoj se nalaze). Ovakvom analizom su dobiveni zanimljivi rezultati, koji su prikazani i objašnjeni nešto kasnije. Naime, temeljem raniji istraživanja klizišta na području Bednje pokazalo se opravdanim dodatno proučiti njihovu povezanost s nastankom nestabilnosti na padini.



**Slika 13. Način korištenje zemljišta s istaknutim prikazom prometnica**

Kod prometnica su napravljene zone udaljenosti od ceste 0-25 m; 25-50 m i 50-100 m, te su im dodijeljene vrijednosti koeficijenta opasnosti 5, 3, i 1 u slučaju kada se radilo o nesaniranim prometnicama, jer u tom slučaju one negativno utječu na stabilnost padine. U slučaju kada su u prometnice uzete pod pretpostavkom da su potpuno sanirane vrijednosti koeficijenta opasnosti su uzete iste, ali kao negativne, jer na taj način u modelu djeluju kao faktor stabilizacije padine na kojoj se nalaze.

## 5. REZULTATI I DISKUSIJA

### 5.1. Karta rizika od pojave klizišta

Nakon svih potrebnih analiza i proračuna ulaznih parametara, pristupilo se njihovom međusobnom usklađivanju i preklapanju, te je u konačnici dobivena karta rizika od pojave klizišta na području općine Bednja. Shematski prikaz preklapanja rasterskih slojeva u GIS-u, a koji sadrže ulazne podatke s područja Bednje (Slika 14).

Koristeći modul Spatial Analyst Tools programskog paketa ArcGIS/ArcInfo napravljena je rasterska kalkulacija ulaznih podloga za dva varijantna rješenja, koristeći sljedeće formule:

a) za slučaj nesaniranih prometnica:

$$Nt \cdot 2 + (Li + Vo)/2 + P + Z + Cn$$

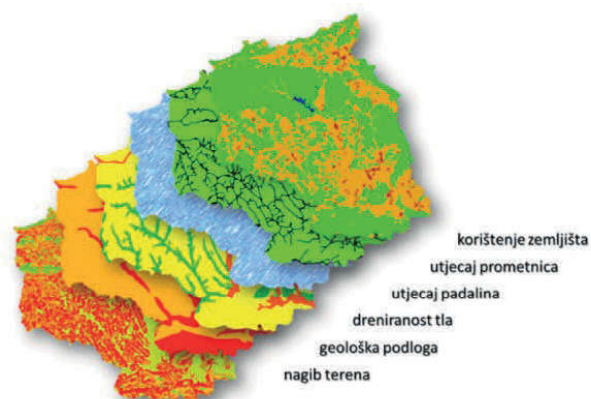
b) u slučaju sanacije svih prometnica:

$$Nt \cdot 2 + (Li + Vo)/2 + P + Z + Cs$$

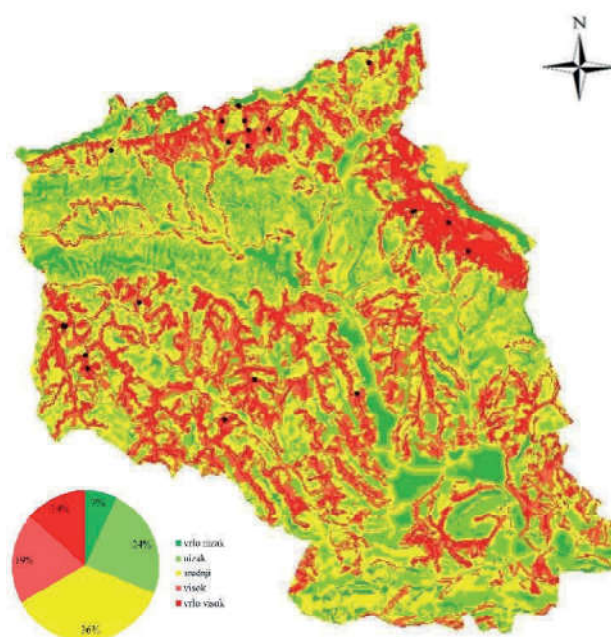
gdje je:

- Nt – utjecaj nagiba terena;
- Li – utjecaj geološke podloge (litologija);
- Vo – dreniranost tla;
- P – utjecaj padalina;
- Cn – utjecaj nesaniranih prometnica;
- Cs – utjecaj saniranih prometnica.

Dobivene karte su prikazane na Slikama 15 i 16.

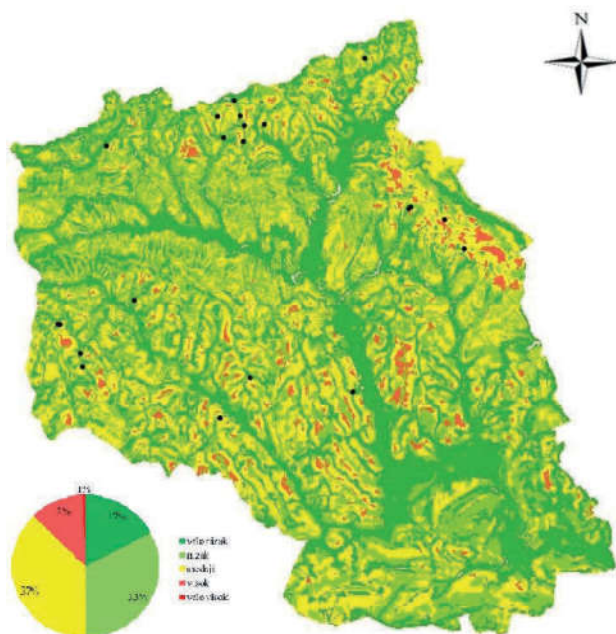


**Slika 14. Shematski prikaz preklapanja rasterskih podataka uzetih kod analiza rizika od pojave klizišta**



**Slika 15. Karta rizika od pojave klizišta na području općine Bednja za slučaj nesaniranih prometnica**





**Slika 16. Karta rizika od pojave klizišta na području općine Bednja u slučaju sanacije svih prometnica**

Zanimljivo je uočiti ukupnu preraspodjelu udjela rizičnih zona za ova dva varijanta rješenja. U slučaju prve varijante, u kojoj su prometnice u modelu uzete kao destabilizirajući čimbenik, zone visokog i vrlo visokog rizika od pojave klizišta zauzimaju čak trećinu ukupne površine općine Bednja, što je zaista mnogo. Preostale dvije trećine podjednako predstavljaju srednje rizična područja, i područja s vrlo niskim ili niskim stupnjem rizika od pojave klizišta. Ovo varijantno rješenje je nažalost trenutačno i najbliže stvarnom stanju u kojemu se danas nalazi općina Bednja.

U drugom varijantnom rješenju, u kojem su prometnice u modelu uzete kao stabilizirajući čimbenik, pretpostavka je da su sve prometnice sanirane i da samim time osiguravaju stabilnost padine. Ponovljenom analizom udjela rizičnih površina dolazi se do vrlo zanimljivog rezultata. Udio srednje rizičnih površina na području općine Bednja ostaje praktički isti (oko 37%), te se može pretpostaviti da se radi o prostoru koji je prirodno uvjetovan određenom nestabilnošću padina. Ova nestabilnost ne mora dovesti do klizanja, ali i može ukoliko se promijene prirodni ili antropogeni utjecaji. Međutim, puno je bitnije uočiti preraspodjelu vrlo visoko i visoko rizičnih zona – i to u korist nisko ili vrlo nisko rizičnih zona. Zaključak je jasan – sanacijom prometnica praktički 50% površine općine Bednja bilo bi sigurno u pogledu rizika klizanja.

To ne znači da su prometnice glavni uzrok klizišta na području općine Bednja. Prije bi se moglo reći da su dobar indikator potencijalnih mjesta na kojima je postoji dosta velika vjerojatnost da će doći do klizišta. Naime, one same po sebi narušavaju stabilnost padine, ukoliko nisu pravilno izvedene. Međutim, radi se o lokalnim prometnicama. Mnogo veći problem je u činjenici da je prilično velik dio bednjanskog kraja smješten na dosta nestabilnim padinama i da praktički svaka ljudska intervencija u prostoru može izazvati pomicanje tla. A gdje se to najčešće događa? Uz ceste – i to iz jednostavnog razloga što je upravo

za ceste vezana sva infrastruktura, pa tako i izgradnja stambenih i drugih objekata koji u konačnici predstavljaju mnogo veću opasnost za stabilnost padina.

## 5.2. Verifikacija modela

Dobiveni model rizika od pojave klizišta na području općine Bednja verificiran je obilaskom terena, na način da su ciljano odabrane lokacije triju većih rizičnih zona na istraživanome području, za koje se temeljem prethodno provedenih studija znalo da su uspješno sanirane. Terenskom provjerom podudarnosti stvarnoga stanja i modeliranog stanja nastojalo se model popraviti, ako za to bude potrebe. Samim obilaskom terena ujedno je prikupljena i potrebna fotodokumentacija.

Odabrane lokacije bile su zaseoci Jamno, Meljan i Ježovec. Na lokacijama ovih triju zaseoka locirana su sanirana klizišta, a usporedbom dobivenih rezultata može se reći da su opravdani rezultati modela koji je u obzir uzeo pretpostavku potpune sanacije prometnica. Naime, u modelu je na takav način smanjen rizik od klizišta oko prometnica za jedan ili čak dva stupnja, pa su prethodno vrlo visoko i visoko rizične zone kategorizirane kao zone umjerene ili niske rizičnosti. Na terenu je to bilo dobro vidljivo, jer su osim same sanacije prostora u okolici saniranih klizišta uočena i brojna stara, prirodno stabilizirana klizanja terena kao i znakovi brojnih potencijalnih nestabilnosti na kosinama, čime su dodatno potvrđeni rezultati modela koji je te lokacije svrstavao u zone vrlo visokog rizika prije sanacije (Slika 17).

U nastavku su u kratko prikazane spomenute lokacije saniranih klizišta.

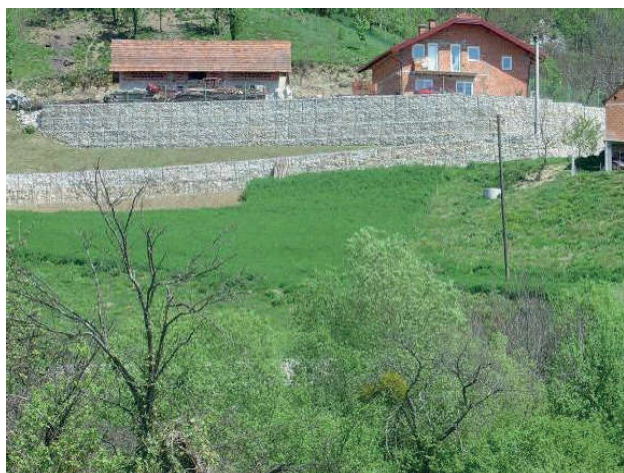
**Jamno.** Specifična brežuljkasta konfiguracija terena, ispreplitanje strmih obronaka, manje kućice na praktički svakom vrhu brežuljka i cijela mreža lokalnih prometnica, osnovna su obilježja ovog zaseoka. Već sam pogled na geomorfologiju cijelog prostora odaje dojam granično stabilnih padina. Za očekivati je da svaki veći zahvat ili dodatno opterećenje padina može izazvati novo klizište (Slika 17).



**Slika 17. Tragovi puzanja na području Jamnog kao znak nestabilnosti padine**

Obilaskom terena je potvrđena pretpostavka da se naj-veći broj klizišta nalazi uz cestu. U koridoru ceste nalazi se većina infrastrukturnih objekata, pa se izgradnjom novih objekata, vrlo lako može poremeti ionako slaba stabilnost kosina. Samim time ceste postaju svojevrsan indikator zona veće opasnosti od klizišta.

**Meljan.** Ovaj zaseok je smješten podno strmih obronaka Ravne Gore (**Slika 18**). Uspoređujući detalje dobivenih karata rizika za šire područje oko Meljana verifikacija modela pokazuje nešto slabije podudaranje sa stvarnim stanjem. Vjerojatni razlog tome je što u modelu nije na odgovarajući način uzet u obzir utjecaj podzemne vode, koji ovdje očito ima veći utjecaj negoli na ostatku bednjanskog kraja.



**Slika 18. Sanacija klizišta u Meljanu s vidljiva tri reda gabionskih zidova – iza kuće je i četvrti red**

Djelomičan razlog ne tako dobrih rezultata modela leži i u činjenici da se radi o području gdje nešto veće količine padalina, negoli na ostatku istraživanoga područja, dodatno otežavaju model. Time se dodatno podiže stupanj prirodne osjetljivosti na klizanje ovoga područja.

Kako je ovo jedno od rijetkih područja na kojemu je zabilježena pojava podzemne vode prilikom istražnog bušenja kod nožice klizišta, zbog nedostatka kvalitetnijih i preciznijih podataka utjecaj podzemne vode nije mogao biti dodatno razrađen i za ostala klizišta. U prilog tome ide i činjenica da je prilikom obilaska saniranog klizišta uočen veliki broj objekata za drenažu. Pri budućoj doradi modela preporuka je uzeti u obzir utjecaj podzemnih voda, za što je potrebno prikupiti puno više kvalitetnih podataka dobivenih ciljanim istraživanjima klizišta.

**Ježovec.** Zaseok se nalazi u zapadnom dijelu općine Bednje. Morfološki se radi o sličnom terenu kao na području Jamnog, s tim da je kod istraživanja klizišta na ovome području na čelu klizišta zabilježena pojava vode, tako da se na saniranim klizištima može uočiti i veći broja objekata za drenažu vode (**Slika 19**). Po tome je ovo područje slično onome u Meljanu. Detalji dobivenih karata rizika za područje oko Ježovca pokazuju znatno poboljšanje stanja u slučaju sanacije cesta, što ukazuje na veći utjecaj prometnica.



**Slika 19. Sanacija klizišta na području Ježovca**

## 6. ZAKLJUČAK

Na području općine Bednja nalazi se veliki broj klizišta, potencijalnih klizišta, odnosno nestabilnih padina. Osnovni cilj rada je pokušati predvidjeti potencijalno najugroženije zone u kojima se klizišta mogu pojaviti. To je moguće postići preklapanjem različitih prostornih podataka korištenjem GIS tehnologije. Stoga je bilo potrebno prikupiti što veći broj različitih podataka o području općine Bednja, iz kojih su kasnije odabrane samo one podloge koje mogu koristiti u modelu rizika od pojave klizišta.

Za pouzdaniju procjenu opasnosti i rizika pojave klizišta, različiti slojevi informacija moraju biti uključeni u GIS sustav. Međutim, način odabira važnih nezavisnih varijabli potrebnih za analizu pojave klizišta, kao i njihov način kombiniranja još uvijek nije strogo definiran ili propisan unutar struke, tako da i dalje postoji prostor za daljnja istraživanja. Namjera ovog rada je da se istakne mogućnost upotrebe GIS tehnologije u procjeni i predviđanju mjesta nastanka klizišta, te da se predloži metodologija za procjenu rizika od pojave klizišta. Metodu je moguće implementirati i na druga područja, ako se postojeće varijable upotpune kvalitetnim podacima novog područja, ali bitno je da njihova korelacija s postankom klizišta bude jasna i mjerljiva.

Kao ključni čimbenici za pojavu klizišta na području općine Bednja u obzir su uzeti: nagib terena, geološka građa terena, dreniranost tla i srednja godišnja količina padalina, kao prirodni čimbenici koji utječu na pojavu klizišta, te korištenje zemljišta (landuse) i utjecaj prometnica, koji predstavljaju pretežno antropogene čimbenike koji utječu na pojavu klizišta na nekom području. Rezultat istraživanja u konačnici predstavlja karta rizika od pojave klizišta na području općine Bednja. Dobivene vrijednosti predstavljaju relativne, a ne apsolutne razine rizika. Model je verificiran terenskim obilaskom ciljano odabranih lokacija većih rizičnih zona, za koje se temeljem prethodno provedenih studija znalo da su uspješno sanirane. Dobivena karta može poslužiti kao dobra osnova za detaljniju procjenu rizičnih područja u općini Bednja (Počekal 2012). Izdvajanje rizičnih zona i njihovo adekvatno uključivanje u prostorne planove može pridonijeti smanjenju o-



pasnosti od nastanka klizišta, a samim time i socioekonomske gubitke općine Bednja. Ovo je primjer kako neka općina može za vlastite potrebe napraviti kartu rizika od klizišta i na temelju toga razvijati daljnju politiku razvoja područja.

## 7. ZAHVALA

Zahvaljujemo djelatnicima Zavoda za hidrotehniku, Geotehničkog fakulteta kao i Geotehničkom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu na financijskoj potpori.

## 8. LITERATURA

Andričević, R., Gotovac, H., Ljubenković, I. (2006): Geostatistika: umijeće prostorne analize. Udžbenici Sveučilišta u Splitu. Sveučilište u Splitu, Građevinsko – arhitektonski fakultet

Aničić, B. i Juriša, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ M 1 : 100 000. List Rogatec, L. 33-68. Karta i Tumač. Savezni geološki zavod, Beograd

Burrough, P.A. (1986): Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. New York: Oxford University Press

Chau, K.T.; Sze, Y.L., Fung, M.K., Wong, W.Y., Fong, E.L., Chan, L.C.P. (2004): Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

Državni zavod za statistiku, DZS (2011): Stanovništvo prema starosti i spolu po naseljima, popis 2011, Zagreb – mrežna veza:

[http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/H01\\_01\\_01/h01\\_01\\_01\\_zup05\\_0124.html](http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/H01_01_01/h01_01_01_zup05_0124.html)

Husnjak, S., Čmelik, Z., Striber, N. (2012): Pogodnost poljoprivrednog zemljišta za voćarstvo na području općine Bednja. 47th C 60 Croatian and 7th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 60-64

McBratney, A.B., Webster, R. (1986): Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates. Journal of Soil Science, 37, 617–639

Mihalić, S. (1996): Zoniranje po opasnosti od klizanja-hazard klizanja. Magistarski rad, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Mihalić, S., Vujnović, T., Škrinjar, G., Mihaliček, B., Martinić, J., Markovinović, T. (2008): Ublažavanje opasnosti od klizanja - zoniranje osjetljivosti na klizanje. Savjetovanje Zagrebačke vode, Zagreb

Nandi, A., Shakoor, A. (2006): Preparation of a landslide susceptibility map of Summit County, Ohio, USA, Using numerical models, IAEG Paper number 660

Oliver, M.A. (1990): Kriging, A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. Int. Journal of Geographic Information Systems, Vol. 4, No. 4, 313–332

Počekal, N. (2012): Geoinformacijski postupci otkrivanja potencijalnih klizišta. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin

Royle, A.G., Clausen, F.L.; Frederiksen, P. (1981): Practical Universal Kriging and Automatic Contouring. Geoprocessing, 1:377–394

Soldo, B., Ivandić, K., Rezo, M., Golub, I., Zidar, M., Težak, I., Štuhec, D., Agnezović, K., Orešković, M. (2006): Geotehnički elaborat o istražnim radovima na klizištima u općini Bednji istražni radovi i proračuni, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin

Soldo, B., Orešković, M. (2009): Stabilization of slopes in the expansion of road II. BiH Kongres o cestama, Sarajevo, 24 – 25.9.2009.

Soldo, B., Orešković, M., Štuhec D. (2010): An Example of Weather Impact on A Hilly Landscape. BALWOIS 2010 - Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29 May

Šimunić, A., Pikića, M., Hećimović, I. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ M 1 : 100 000. List Varaždin, L. 33-69. Karta i Tumač. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, Zagreb

Teerarungsikul, S., Chonglakmani, C., Kuehn, F. (2007): Landslide prediction model using remote sensing, GIS and field geology: A case study of Wang Chin district, Phrae province, Northern Thailand. International Conference on Geology of Thailand: Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy, Geothai

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katusin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnc, L., Vučetić, V. (2008): Klimatski atlas Hrvatske, 1961. - 1990. : 1971. - 2000. Monografija, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.