

Dr. sc. Snježana Mihalić, mr. sc. Tatjana Vujnović, Goran Škrinjar, dipl. ing. geol., Bojan Mihaliček, dipl. ing. geol., Jasminka Martinjak, dipl. ing. geol., Tamara Markovinović, studentica

UBLAŽAVANJE OPASNOSTI OD KLIZANJA - ZONIRANJE OSJETLJIVOSTI NA KLIZANJE

LANDSLIDE HAZARD MITIGATION - ZONATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY

Ključne riječi: *osjetljivost na klizanje, hazard klizanja, GIS, prostorne analize, zoniranje*

Keywords: *landslide susceptibility, landslide hazard, GIS, spatial analysis, zonation*

SAŽETAK

Cilj ovoga rada bio je procijeniti kvalitetu ulaznih podataka za kartiranje osjetljivosti na klizanje u malom slivu, smještenom u brežuljkastom području Zagrebačke županije. Izrađene su detaljna geomorfološka karta klizišta i karte uzroka klizanja (morfološki, hidrološki, litološki i antropogeni faktori), na topografskoj podlozi mjerila 1:5.000. 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 na tzv. jedinicama jednakih uvjeta. Preklapanjem karte klizišta s kartom zoniranja prema osjetljivosti na klizanje uočeno je da je većina klizišta pozicionirana unutar zona visoke osjetljivosti. Na temelju toga je zaključeno da su sadržaj i kvaliteta ulaznih podataka zadovoljavajući, te se mogu koristiti za interpretaciju regionalnih uzroka klizanja.

SUMMARY

The objective of this paper is to evaluate the quality of input data for landslide susceptibility mapping in the area of small catchment, located in the hilly areas of the Zagreb County. Detailed geomorphological landslide map was generated together with landslide causal factor maps, including morphology, hydrology, lithology and land use. All datasets were generated at the scale 1:5000. The weights of evidence method was used to generate statistically derived weights for all classes of the factor maps. On the basis of total weights, the most relevant maps were selected for the further conditional analysis on unique condition units. Visual evaluation of overlapping of landslide susceptibility zones and landslides shows that the most of landslides are correctly placed in high susceptibility areas. It is concluded that the content and quality of input data are satisfactory for better understanding of regional landslide cause.

1 UVOD

Izrada konvencionalnih karata koje prikazuju klizišta zasniva se na podacima dobivenim detaljnim i skupim geotehničkim istraživanjima. Detaljna karta klizišta sadrži precizne podatke koji su neophodni za projektiranje i građenje na određenoj lokaciji. Suprotno tome, geotehnička istraživanja nisu pogodna za potrebe utvrđivanja opasnosti od klizišta velikih regija, a čak se smatraju i neopravdanima, prvenstveno zbog njihove visoke cijene, ali i zbog vremena potrebnog za njihovo provođenje [1]. Brzo i racionalno alternativno rješenje za dobivanje informacija o opasnosti od klizanja određene regije predstavlja tzv. zoniranje hazarda klizanja. Ono se zasniva na konceptu da je najvjerojatnije da će se procesi klizanja dogoditi tamo gdje i danas postoje uvjeti koji su već prouzročili klizanja u prošlosti. Prema tom pristupu, smatra se da je moguće predvidjeti potencijalna klizanja time što će se utvrditi prostorna distribucija postojećih klizišta, zatim prostorna distribucija relevantnih uvjeta u kojima su klizišta nastala, te pomoću prostornih analiza uspostaviti model međusobne ovisnosti klizišta i njihovih uzroka (tj. faktora klizanja) za cijelu regiju. Rezultirajuće karte hazarda, odnosno karte osjetljivosti na klizanje, manje su pouzdane od onih koje su izrađene na temelju detaljnih geotehničkih istraživanja, tako da ih se ne smije koristiti za projektiranje na jednoj određenoj lokaciji. One prvenstveno služe za indikaciju relativne opasnosti od klizanja unutar cijele regije. Mogu se koristiti za izradu i provedu dokumenata prostornog uređenja, kao smjernice za određivanje opsega detaljnih istraživanja. U međunarodnoj praksi također je uvriježena njihova upotreba za planiranja mjera i procjenu troškova ublažavanja šteta od klizanja [2].

Tipovi klizišta i njihove značajke, kao i prostorna distribucija klizišta, ovisni su o uzrocima. Za određivanje stupnja osjetljivosti na klizanje nekog područja potrebno je poznavati preduvjete klizanja, odnosno skupinu uvjeta i procesa koji su doveli padinu u stanje granične ravnoteže [3]. Preduvjeti klizanja su: prirodni uvjeti (vrste stijena/tala i njihova fizička, mehanička i hidraulička svojstva), prirodni geomorfološki (npr. erozija obala) i fizički procesi (npr. trošenje stijena/tala); i antropogeni utjecaj (npr. pretvaranje šuma u oranice i okućnice). Određivanje relativnog utjecaja svakog pojedinog preduvjeta klizanja je otežano iz sljedećih razloga: (i) tip klizanja, veličina i gustoća klizanja variraju prostorno i vremenski; (ii) osim preduvjeta klizanja, na nestabilnost također utječu i tzv. inicijalni uzroci, koji padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje (npr. potres, obilna oborina itd.); (iii) teško je raspolagati preciznim podacima o prostornoj distribuciji klizišta i svih uzročnika



Slika 1. Lokacija područja istraživanja, sliv potoka Starča

klizanja za velika područja; i (iv) relativni utjecaj mnogih uzroka klizanja je promjenjiv, a te promjene mogu biti svakodnevne, što se posebice odnosi na ljudske djelatnosti, kao na primjer uklanjanje šumskog pokrivača [4].

U ovom radu se prikazuju rezultati modeliranja relativne osjetljivosti na klizanje u malom slivu u Zagrebačkoj županiji, koji se zasnivaju na podacima istraživanja u krupnom mjerilu (1:5.000). Sliv potoka Starča nalazi se u podnožju Samoborskog gorja, neposredno uz zapadnu granicu Grada Zagreba (slika 1). Površina predmetnog sliva je 12.25 km². Ovo područje izgrađeno je od gornjomiocenskih i pliokvartarnih sedimenata. Značajke stijena i tala, morfološki uvjeti i urbanizacija područja preduvjeti su za brojna plitka i relativno mala klizišta inicirana fizičkim (npr. intenzivna, kratkotrajna oborina) ili antropogenim procesima. Konceptualni model istraživanja načinjen je prema općim zahtjevima metodologije zoniranja hazarda klizanja koji su definirali Carrara i dr. [5]. Istraživanje se sastojalo od: (1) kartiranja klizišta u slivu potoka Starča; (2) identifikacija i kartiranja seta geološko-morfoloških i antropogenih faktora (vrsta stijene, stratigrafska građa, hidrogeološki uvjeti, geometrija padine i površinski pokrov) koji

su neizravno povezani s nestabilnostima padina; (3) procjene relativnog utjecaja ovih faktora pri nastanku nestabilnosti; i (4) klasifikacije područja na domene različitog stupnja hazarda.

Procjena relativnog utjecaja svakog pojedinog faktora klizanja načinjena je pomoću bivarijatnih statističkih analiza. Površina terena podijeljena je na domene jednakih uvjeta, za koje je procijenjena uvjetna vjerojatnost klizanja. Kategorizacija prema relativnoj osjetljivosti na klizanje načinjena je na temelju klasifikacije uvjetnih vjerojatnosti jedinica jednakih uvjeta u tri klase: niska, srednja i visoka osjetljivost. Točnost kategorizacije ocijenjena je na temelju usporedbe s kartom klizišta. Visok stupanj točno kategoriziranih jedinica ukazuje na to da je kvaliteta ulaznih podataka i modeliranje osjetljivosti na klizanje zadovoljavajuće kvalitete. Rezultate ovih istraživanja moguće je primijeniti za izradu karata hazarda u susjednim područjima (npr. u gradu Zagrebu).

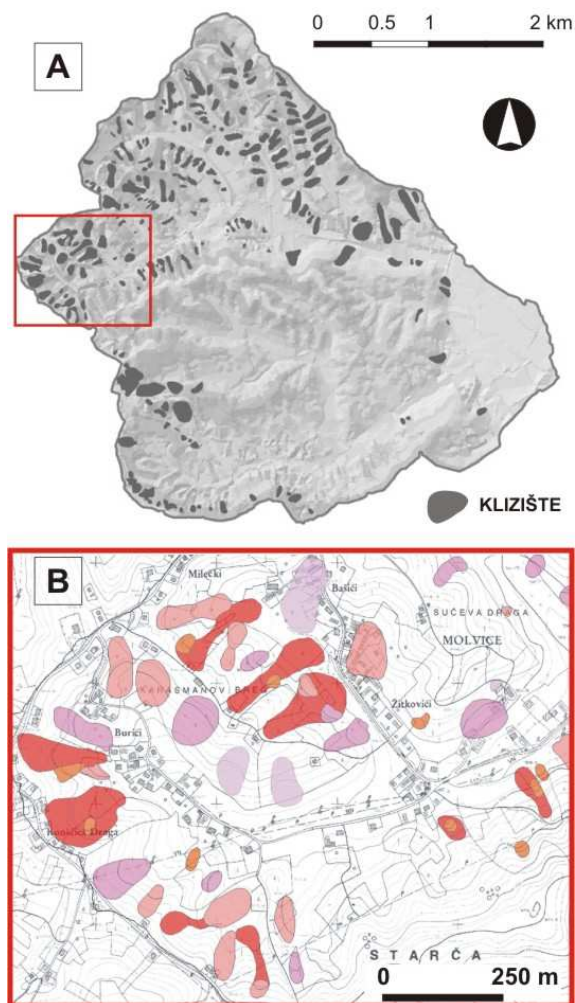
2 ULAZNI PODACI

Ulazni podaci za analize osjetljivosti na klizanje obuhvaćali su: kartu klizišta, morfološke varijable (visinu, nagib i orijentaciju padina) dobivene iz digitalnog modela reljefa (DMR); litostratigrafsku kartu; kartu približno lociranih rasjeda; hidrogeološku kartu s površinskim vodama (potocima, izvorima) i minimalnim dubinama do razine podzemne vode; i kartu površinskog pokrivača. Na temelju karte klizišta, prikazane na slici 2a, načinjen je statistički prikaz učestalosti klizanja, prema Galli-ju [6]. Iz navedenih tematskih karata također su izvedene karte udaljenosti od geoloških granica, rasjeda, površinskih tokova i prometnica.

2.1 Kartiranje klizišta

Detaljna geomorfološka karta klizišta načinjena je na temelju detaljnog terenskog kartiranja, koje je provelo dva iskusna geologa u razdoblju od dva mjeseca tijekom ožujka i travanja 2004. godine. Klizišta su kartirana na topografskoj podlozi mjerila 1:5.000. Na slici 2b prikazan je isječak karte na kojoj su klizišta različito obojana, ovisno o stupnju aktivnosti. Ukupna površina klizišta prikazanih na karti je 1.1 km², što čini 8,91% područja površine sliva potoka Starča. Gustoća klizišta je oko 0.106 klizišta po kvadratnom kilometru sliva. Karta klizišta je načinjena u obliku GIS kartografske baze podataka, u kojoj su pohranjeni podaci o lokaciji, značajkama i učestalosti za 270 klizišta.

Veličina klizišta varira u rasponu od 270 m² do 25.073 m², dok su najveća klizišta veličine od

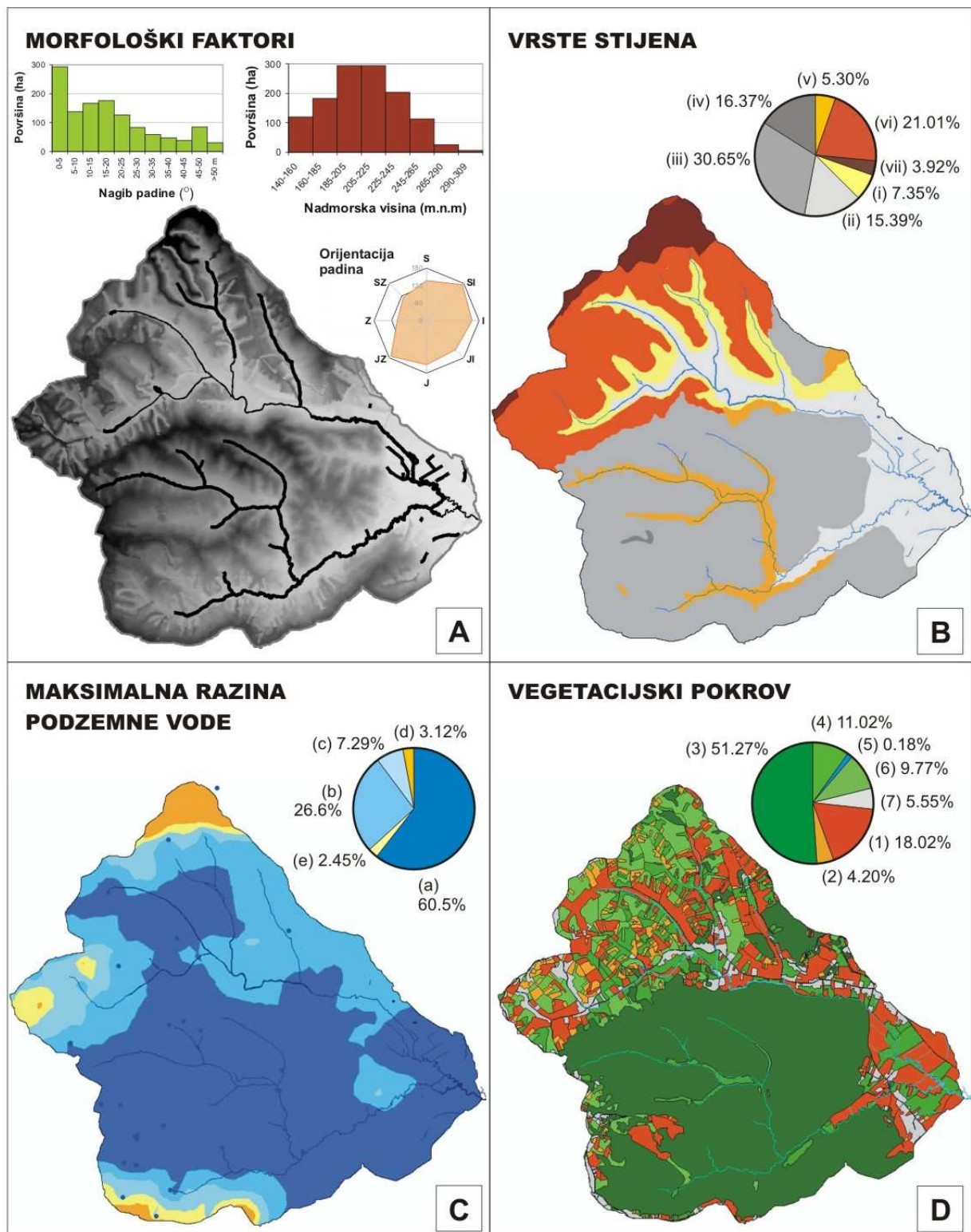


Slika 2. Karta klizišta sliva potoka Starčan. (A) Distribucija klizišta u području sliva. (B) Uvećani dio karte klizišta (podloga HOK 1:5000).

400 m² do 1600 m². S obzirom na stanje aktivnosti registrirano je: 59 aktivnih, trenutačno neaktivnih i reaktiviranih klizišta; 95 privremeno umirenih klizišta; 72 trajno umirena klizišta; 4 sanirana klizišta; i 40 reliktnih klizišta. Kriterij klasifikacije klizišta, kao i njihove značajke klizišta detaljno su opisani u radu [7]. Reliktne klizišta izostavljena su iz daljnjih analiza zbog velikog stupnja nepouzdanosti njihove odredbe. Podskup plitkih klizišta, koji je korišten za modeliranje osjetljivosti, obuhvaćao je 230 klizišta, koja pokrivaju 0.87 km² ili 7.1% istraživanog područja.

2.2 Kartiranje faktora nestabilnosti

Iz DMR-a su izrađene: karta nagiba padina s izdvojenim klasama od po 5 stupnjeva; karta orijentacije padina podijeljena na 9 klasa (ravno, S, SI, I, JI, J, JZ, Z, SZ); i karta apsolutnih visina podijeljena na 8 klasa (143-309 m.n.m.). Karta apsolutnih visina i zastupljenost pojedinih klasa faktora prikazani su na dva dijagrama učestalosti i na jednom ruža dijagramu na slici 3a.



Slika 3. Tematske karte sliva potoka Starča. (A) Apsolutne nadmorske visine dobivene iz DMR-a 5×5 m, s prikazom zastupljenosti nagiba padina, nadmorskih visina i orijentacija padina. (B) Glavne vrste stijena s prikazom zastupljenosti litoloških kompleksa: (i) eluvijalne gline i prašinate gline sa šljuncima (kvartar), (ii) aluvijalni šljunci s prašinastim glinama (kvartar), (iii) šljunci s prašinastim glinama (plio-pleistocen), (iv) krupnozrnati pijesci (plio-pleistocen), (v) pjeskoviti prahovi i čisti prahovi (pont), (vi) lapori, prahovi i kalcitični prahovnjaci (panon), (vii) laminirani lapori s kalcitičnim pješčenjacima (sarmat) i lapori (baden). (C) Karta površinskih tokova, izvora i maksimalnih razina podzemne vode s prikazom zastupljenosti RPV-a: (a) 0-0.5 m, (b) 0.5-1 m, (c) 1-1.5 m, (d) 1.5-2 m, (e) >2 m. (D) Površinski pokrov s prikazom zastupljenosti: (1) vinograda i voćnjaka, (2) trajnih nasada, (3) šuma, (4) šikara i/ili prirodnih travnjaka, (5) voda, (6) pašnjaka, (7) urbanih površina.

Litostratigrafska karta, na kojoj su izdvojene glavne geološke jedinice, nastala je reinterpetacijom postojećih geoloških podataka, prikupljenih u okviru istraživanja za doktorsku disertaciju [8]. Vrste stijena i tala, geološke granice i približno locirani rasjedi prikazani su na topografskoj podlozi u mjerilu 1:5000. Na slici 3b vidi se zastupljenost pojedinih grupa stijena/tala.

Hidrološka karta, izrađena je na temelju postojećih podataka s topografskih podloga u mjerilu 1:5.000, upotpunjenih terenskim kartiranjem pojava izvora i površinskih voda (povremenih i stalnih tokova). Hidrogeološka karta izrađena je interpolacijom točkastih podataka o maksimalnim razinama podzemne vode, mjerenim u kišnom periodu u travnju 2004. godine. Klase dubina do podzemne vode definirane su intervalima od po 0.5 m, kao što je prikazano na slici 3c.

Karta vegetacijskog pokrova izrađena je na temelju postojećih informacija i pomoću foto-interpretacije, na topografskoj podlozi mjerila 1:5000. Na slici 3d vidi se zastupljenost pojedinih klasa pokrova.

Osim navedenih karata, također su izrađene i četiri dodatne karte: karta udaljenosti od geoloških granica (6 klasa); karta udaljenosti od rasjeda (11 klasa); karta udaljenosti od površinskih tokova (11 klasa); i karta udaljenosti od prometnica (11 klasa).

3 MODEL OSJETLJIVOSTI NA KLIZANJE

Relativni utjecaj svih faktora klizanja procijenjen je pomoću gustoće klizišta u zoni faktora u odnosu na gustoću klizišta na cijelom području, a izražen je pomoću težina faktora (*weights of evidence* [9]). Na temelju ukupnih težina faktora, prvobitno definirane klase faktora su reklasificirane u manji broj značajnijih klasa. Sve relevantne klase faktora su preklapljenе da bi se dobile jedinice jednakih uvjeta, koje su korištene kao kartografska jedinica za modeliranje osjetljivosti.

3.1 Analiza karata faktora klizanja

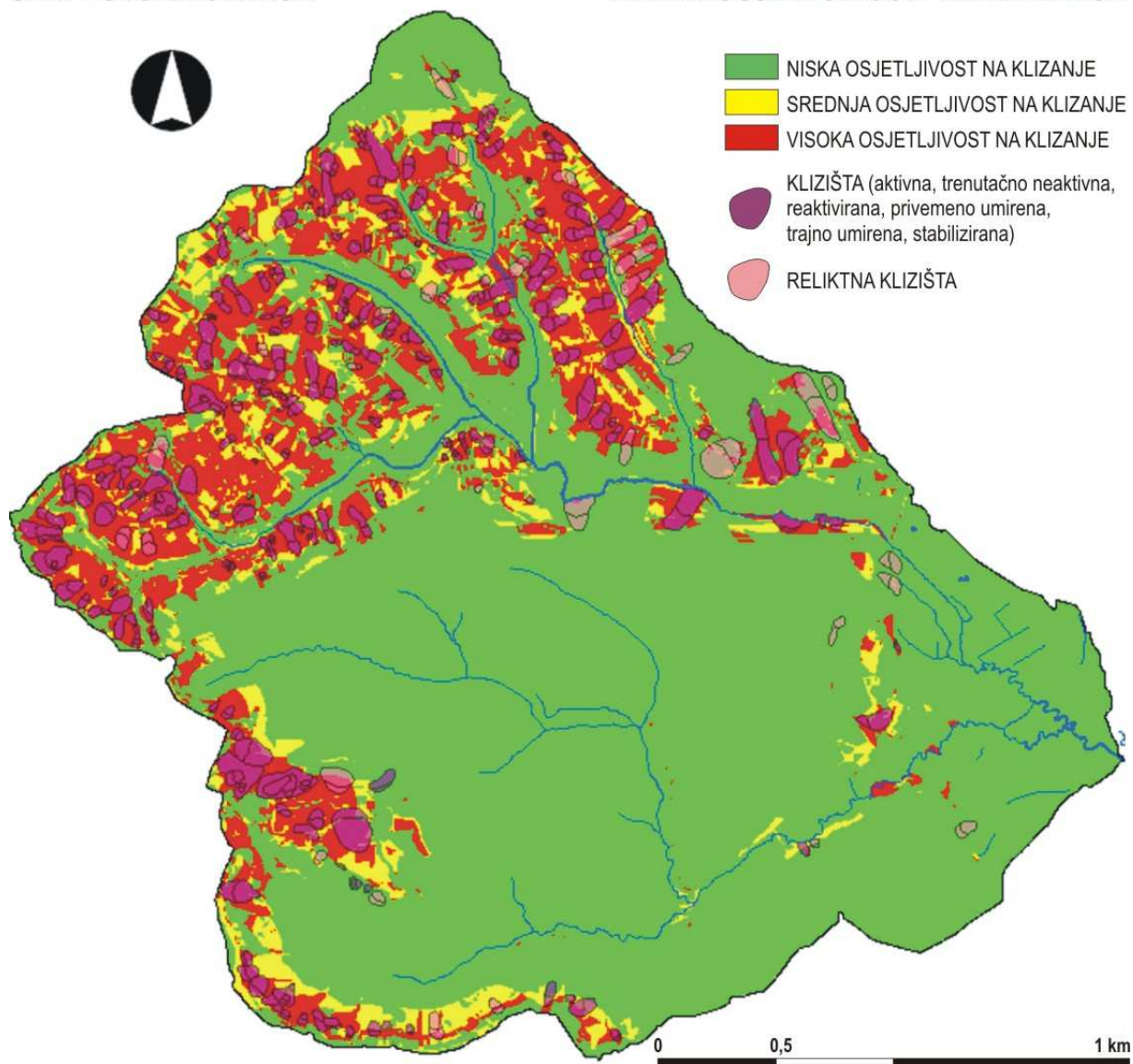
U radu [10] detaljnije je opisana primijenjena tehnika procjene težina faktora klizanja, a ovdje su samo navedeni rezultati radi dobivanja uvida u relativni utjecaj pojedinih uzroka klizanja. Relativni utjecaj svakog faktora klizanja izražava se njegovom ukupnom težinom, koja je jednaka zbroju pozitivne težine tog faktora i negativnih težina svih ostalih faktora koji se nalaze na istoj faktorskoj karti. Ukoliko je ukupna težina pozitivna, smatra se da faktor doprinosi nestabilnosti (označen narančastom bojom u tablici 1), a ako je negativna tada doprinosi stabilnosti (označen zelenom bojom u tablici 1).

Tablica 3. Ukupne težine faktora klizanja izračunate pomoću metode [9].

Karta faktora	Klasa faktora	Ukupna težina
Nagib	0-5°	-0.798493
	5-35°	-0.004033
	35-60°	0.811953
	>60°	0.188480
Apsolutna visina (m.n.m.)	143-164 m	-2.506202
	164-184 m	-0.931730
	184-226 m	0.010552
	226-267 m	0.649625
	>267 m	-0.181925
Vrsta stijene/tla	Eluvijalne gline i prašinate gline sa šljuncima (kvartar)	0.701067
	Aluvijalni šljunci s prašinastim glinama (kvartar)	-2.157907
	Šljunci s prašinastim glinama i krupnozrnatim pijescima (pliokvartar)	-1.859444
	Gline (pliokvartar)	-0.195866
	Pjeskoviti prahovi, prahovi, prašinati lapori (pont)	-1.669540
	Lapori (kalcitični prahovnjaci) (panon)	1.517197
	Prahovi, prašinati lapori (panon)	0.191722
	Laminirani lapori s kalcitičnim pješčenjacima (sarmat) i laporima (baden)	0.267489
	Udaljenost od rasjeda	0-25 m od rasjeda 1.025179 >25 m od rasjeda -0.137060
	Dubina do podzemne vode	0-0,5 m -1.074463 0,5-2 m 1.110439 2-3 m 0.060647 >3 m -2.522317
Udaljenost od površinskog toka	0-20 m	-1.934679
	20-70 m	-0.883176
	>70 m	0.277910
Pokrov zemljišta	Trajni nasadi s jednogodišnjim usjevima	0.518483
	Bjelogorične i crnogorične šume	-1.384253
	Nekontinuirane urbane površine; cestovna i željeznička mreža	-0.196306
	Voćnjaci	1.374138
	Prirodni travnjaci; vodotoci i kanali, mirujuća voda	0.310143
	Pašnjaci	1.550638
	Tranzicija šume-šikara	1.710854
	Vinogradi	1.018641
Udaljenost od prometnice	0-25 m od prometnice	-0.256625
	25-175 m od prometnice	1.205656
	175-250 m od prometnice	0.125928
	>250 m od prometnice	-1.386755

SLIV POTOKA STARČA

KARTA OSJETLJIVOSTI NA KLIZANJE



Slika 4. Sliv potoka Starča podijeljen na 4862 klasa jedinica jednakih uvjeta koje su klasificirane u tri klase s obzirom na uvjetnu vjerojatnost klizanja, odnosno osjetljivost na klizanje.

3.2 Analiza uvjetne vjerojatnosti na jedinicama jednakih uvjeta

Model osjetljivosti na klizanje načinjen je primjenom analize uvjetne vjerojatnosti na jedinicama jednakih uvjeta. Ova jednostavna tehnika provedena je prema preporukama za određivanje uvjetne vjerojatnosti koje je definirao Carrara u radu [5].

Jedinice jednakih uvjeta (eng. *unique-condition units*, UCU) dobivene su preklapanjem 8 tematskih karata faktora klizanja: nagib padine (4 klase); nadmorska visina (5 klase); vrsta stijene/tla (8 klase); udaljenost od rasjeda (2 klase); maksimalna razina podzemne vode (4 klase); udaljenost od površinskih tokova (3 klase); površinski pokrov (8

klase); i udaljenost od prometnica (4 klase). Iz navedenog je proizlazi da je preklapanjem svih klasa faktora moguće dobiti maksimalno 122.880 kombinacija klasa. Međutim, nakon preklapanja svih karata, rezultirajući broj klasa jedinica jednakih uvjeta bio je puno manji od maksimalnog, tj. iznosio je približno 4.862. Razlog za to je prostorna korelacija ulaznih varijabli, zbog koje je velik broj kombinacija klasa nemoguć.

Uvjetna vjerojatnost (P) događaja klizanja (L) za svaku od 4862 klase jedinica jednakih uvjeta dobivena je preklapanjem karte klizišta s kartom UCU, kako bi se izračunala učestalost klizišta prema sljedećem izrazu:

$$P(L|UCU) = \frac{\text{površina klizišta}}{\text{UCU površina}}$$

Učestalosti klizišta u jedinicama jednakih uvjeta klasificirane su u 3 klase, čije granice su definirane na temelju prosječne učestalosti klizišta u cijelom slivu, koja iznosi 7,1%. Granice kategorija osjetljivosti su sljedeće: (i) manje od 3.55% - niska osjetljivost na klizanje, 3.55-10.65% - srednja osjetljivost na klizanje; i više od 10.65% - visoka osjetljivost na klizanje. Karta kategorizacije terena prema osjetljivosti na klizanje prikaza je na slici 4.

Uspoređivanjem karte osjetljivosti s kartom klizišta proizlazi da se 88.2% klizišta nalazi u zoni visoke osjetljivosti. Za razliku od toga, samo 34.6% reliktnih klizišta je smješteno u zoni visoke osjetljivosti, 13.3% u zoni srednje osjetljivosti i 52.1% u zoni niske osjetljivosti. S obzirom na veliku nepouzdanost kartiranja reliktnih klizišta, može se reći da bi na području 65.4% površine reliktnih klizišta bilo potrebno provesti terensku provjeru. Također je važno istaknuti da ova klizišta nisu bila uzeta u analizama osjetljivosti iz opravdanog razloga.

4 KARTA OSJETLJIVOSTI NA KLIZANJE SLIVA POTOKA STARČA

U modeliranju osjetljivosti na klizanje sliva potoka Starča, svi uzroci klizanja tretirani su kao preduvjeti klizanja, uključivo i podzemna voda i vegetacijski pokrivač. U analizama hazarda klizanja, kojima bi se prognozirale vremenske komponente klizanja, podzemnu vodu bi se trebalo tretirati kao inicijator klizanja, što znači da bi se za različite razine podzemne vode mogle izraditi različite karte hazarda klizanja. Za ovakve analize neophodne su vremenske serije podataka o oborinama i datumima aktiviranja pojedinih klizišta.

Na temelju težina pojedinih faktora klizanja (prikazanih tablicom 1) moguće je izvesti neke opće zaključke o uzrocima klizanja na istraživanom području:

- nagibi padina i apsolutne visine nisu izravan pokazatelj opasnosti od klizanja, budući da su težine svih klasa nagiba približno jednake 0. Izuzetak predstavlja težina klase apsolutne visine 143-164 m.n.m, međutim ovaj rezultat ne treba uzeti u obzir, jer je nastao isključivo kao posljedica male zastupljenosti ove zone unutar istraživanog sliva.

- vrste stijena su dobar pokazatelj opasnosti od klizanja. Nestabilnostima doprinose panonski lapori, a na stabilnost povoljno utječu kvartarne aluvijalne naslage, pliokvartarne naslage i pontski prahovi i lapori. Specifičnost aluvijalnih naslaga je da se nalaze u zaravnjenom području, tako da je njihov pozitivan utjecaj na stabilnost posljedica kombiniranog utjecaja vrste stijena i nagiba padina.

- udaljenost od rasjeda je dobar pokazatelj opasnosti od klizanja, iako su rasjedi približno locirani.

- dubina do podzemne vode dobar je pokazatelj opasnosti od klizanja, jer proizlazi da dubina RPV-a u rasponu 0.5-2 m doprinosi nestabilnosti, a >3 m da doprinosi stabilnosti padina. Izuzetak predstavljaju područja gdje je dubina RPV-a manja od 0.5 m, koja doprinose stabilnosti samo zato jer se nalaze u zaravnjenom području.

- udaljenost od površinskog toka 0-20 m doprinosi stabilnosti, što je posljedica toga što su površinski tokovi u slivu smješteni u relativno širokim zaravnjenim dolinama ispunjenim fluvijalnim naslagama, u kojima nema klizišta.

- pokrov zemljišta je dobar pokazatelj opasnosti od klizanja. U skladu s očekivanjima, nestabilnostima doprinose voćnjaci, pašnjaci, šikara i vinogradi. Stabilnosti doprinosi šumski vegetacijski pokrivač.

- udaljenost od prometnica pokazuje da se većina klizišta nalazi u zoni 25-175 m od prometnica. Ovo je indirektan pokazatelj da su klizišta smještena na padinama izvan utjecaja prometne infrastrukture.

Već iz ovoga se vidi da su neki faktori klizanja međusobno vrlo zavisni, a u slivu Starče dominiraju dvije takve skupine faktora: (1) aluvijalne naslage koje se nalaze u zaravnjenom području uz površinske tokove, gdje je razina podzemne vode vrlo visoka; (2) pliokvartarne naslage obrasle šumskom vegetacijom. Da bi se izbjegao prenaplašen utjecaj međusobno zavisnih faktora klizanja, procjenu hazarda klizanja treba provoditi pomoću multivarijantnih analiza, za koje su detaljno razrađeni postupci u [11].

5 PRIMJENA KARATA HAZARDA KLIZANJA

Termin "osjetljivost na klizanje" potrebno je razlikovati od termina "hazard klizanja". Osjetljivost na klizanje je vjerojatnost postanka klizišta na nekom području, procijenjena na osnovi lokalnih uvjeta [11]. Karte osjetljivosti na klizanje prikazuju "gdje" je vjerojatno da će se dogoditi klizanje. U analizama osjetljivosti na klizanje ne uzima se u obzir vremenska komponenta vjerojatnosti klizanja (tj. kada će doći do klizanja, odnosno koliko česta će biti klizanja), a niti magnituda očekivanog klizanja (tj. koliko velika ili koliko destruktivna klizišta se mogu aktivirati). Hazard klizanja je vjerojatnost da će se klizište određene magnitude dogoditi u određenom razdoblju na određenom području. Analize osjetljivosti su važna komponenta procjene

hazarda klizanja, jer omogućavaju bolje sagledavanje uzroka klizanja i njihove relativne važnosti.

Karte hazarda klizanja uvijek predstavljaju podjelu područja na zone koje odražavaju relativnu opasnost, neovisno da li se radi o prostornoj ili vremenskoj komponenti. Zone hazarda moguće je klasificirati na proizvoljan broj klasa, a obično se rade karte s minimalno 4 kategorije, npr. 'visok hazard', 'srednji hazard', 'niski hazard' i 'nema hazarda'. Karte hazarda također nužno prikazuju postojeća klizišta, koja trebaju biti klasificirana s obzirom na tip klizanja i/ili na stanje aktivnosti klizanja. Važno je da je na karti hazarda klizanja prikazan mali broj jednostavnih kategorija, kako bi te karte mogli razumjeti i koristiti korisnici koji nisu iz domene geoznanosti. Glavna skupina korisnika karata hazarda su djelatnici državne uprave i lokalne samouprave koji se bave zaštitom okoliša, prostornim planiranjem, gradnjom i zaštitom od elementarnih nepogoda. Osim njih, potencijalni korisnici su: građani, osiguravajuća društva i znanstvenici iz područja društvenih znanosti čiji zadatak bi bio analiza rizika (odnosno šteta) od klizanja.

Neke od osnovnih primjena karata hazarda klizanja su: (i) tematska karta za izradu prostornih planova; (ii) definiranje mjera za provođenje dokumenata prostornog uređenja; (iii) planiranje sanacije klizišta, npr. u okviru zaštite vodotoka; (iv) planiranje u okviru ublažavanja posljedica od elementarnih nepogoda; (v) podloga za određivanje visina premija osiguranja itd.

6 ZAKLJUČAK

Važnost ovog istraživanja je u tome da je ovo prvo iskustvo s primjenom indirektnih metoda kartiranja hazarda klizanja u Hrvatskoj, čime je dobiven uvid u tematske GIS podloge koje su pretpostavka za analize hazarda klizanja. S obzirom na to da je izrada karata osjetljivosti na klizanje i karata hazarda klizanja pretpostavka za primjenu strategija ublažavanja prirodnih opasnosti, za očekivati je da će vrlo skoro Grad Zagreb morati pokrenuti izradu karte zoniranja po opasnosti od klizanja. Metodologije analize hazarda vrlo su dobro razrađene i dugo se primjenjuju u međunarodnoj praksi, ali odabir određene metode izravno ovisi o lokalnim uvjetima, koji su isti ili vrlo slični u svim urbaniziranim područjima izgrađenim od gornjo miocenskih i pliokvartarnih naslaga.

Zahvala

Ovaj rad je financiran od strane Hrvatskih voda iz zadatka "Oscilacije RPV-a na pilot području Samoborskog gorja: procjena utjecaja na hazard klizanja" i iz projekta MZOŠ-a "Dinamika i zaštita podzemnih voda u Hrvatskoj".

7 LITERATURA

- [1] S.H. Marsh, Landslide Hazard Mapping: Summary Report, BGS Technical Report WC/00/11, Keyworth, 2000, 25 str.
- [2] Comitee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, National Research Council of the National Academics, Partnership for Reducing Landslide Risk, Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, The National Academies Press, Washington, 131 str.
- [3] D.J. Varnes, Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice, UNESCO Press, Paris, 1984.
- [4] F. Guzzetti, F. Ardizzone, M. Cardinali, M. Galli, P. Reichenbach, M. Rossi, Distribution of Landslides in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, Geomorphology, Vol. 96, Iss. 1-2, 2008, str. 105-122.
- [5] A. Carrara, M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach, GIS-based Techniques for Mapping Landslide Hazard. In A. Carrara, F. Guzzetti (eds), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1995, str. 135-175.
- [6] M. Galli, F. Ardizzone, M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach, Comparing landslide inventory maps, Geomorphology, Vol. 94, Iss. 3-4, 2008, str. 268-289.
- [7] Tatjana Vujnović, Identifikacija i kartiranje faktora klizanja na području sliva potoka Starča, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2005, 81 str.
- [8] Davor Vrsaljko, Biostratigrafija miocenskih naslaga Žumberačkog i Samoborskog gorja na temelju mekušaca, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2003.
- [9] C.J. Van Westen, N. Rengers, R. Soeters, Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, Natural Hazards, Vol. 30, No. 3, 2003, str. 399-419.
- [10] Snježana Mihalić, Maja Oštrić, Tatjana Vujnović, Landslide Susceptibility Mapping in the Starca Basin (Croatia, Europe), EUROENGEO 2008 - Cities and their Underground Environment, Madrid, 2008.
- [11] Fausto Guzzetti, Landslide Hazard and Risk Assessment, Ph.D. Thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität University of Bonn, Bonn, 389 str.