

Martin Krkač¹, Nikola Pletikosić¹, Marija Klanfar¹, Nino Bedenicki¹, Snježana Mihalić¹

ANALIZA OSJETLJIVOSTI NA KLIZANJE U SLIVU BOLJUNČICE (ISTRA, HRVATSKA)

Rezime

Svrha ove analize bila je utvrditi područja na kojima postoji potencijalna opasnost od translacijskog klizanja, kakvo se dogodilo blizu sela Brus u Istri. Analizirani su geološki i morfološki faktori klizanja, a kriteriji zoniranja definirani su s obzirom na kriterije stabilnosti kosina koji se primjenjuju u analizama stabilnosti translacijskog klizanja. Na području sliva Boljučice provedene su prostorne analize u GIS-u, a kao rezultat dobivena je karta koja prikazuje zone relativne opasnosti od translacijskih klizišta.

Ključne riječi

Translacijsko klizanje, osjetljivost na klizanje, GIS, prostorne analize.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING IN THE BOLJUNCICA BASIN (ISTRIA, CROATIA)

Summary

The objective of this analysis was to evaluate areas potentially dangerous of translational sliding. Geological and morphological landslide factors were analyzed, and criteria of zonation have been defined on the basis of parameters derived from slope stability analysis of particular translational sliding located near village Brus in Istria. Spatial analysis in GIS, undertaken in the area of stream Boljučica basin, resulted with map depicting zones of relative hazard of translational sliding.

Key words

Block sliding, landslide susceptibility, GIS, spatial analysis.

¹ Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, mkrkac@rgn.hr, npletiko@gmail.com; mare.klanfi@gmail.com, bedenicki@gmail.com, smihalic@rgn.hr

1. UVOD

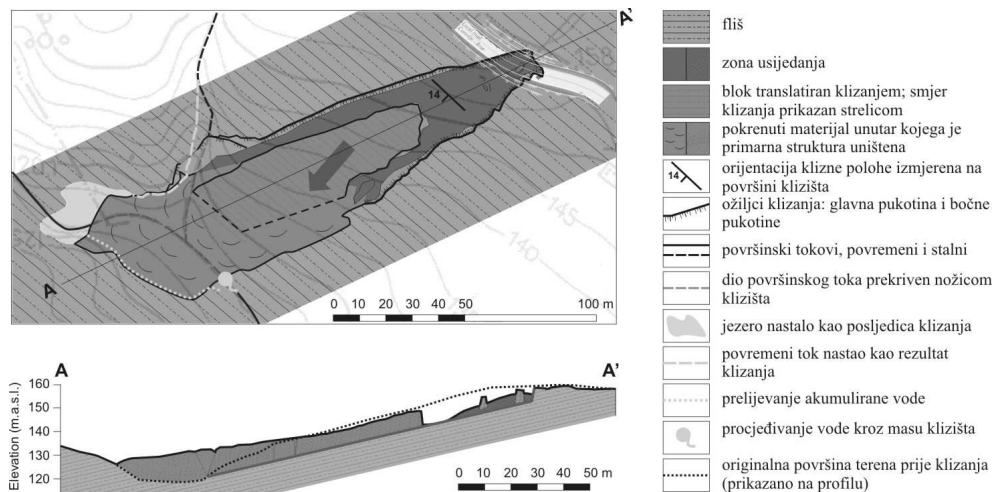
Tipovi klizišta i njihove značajke, kao i prostorna distribucija klizišta, ovisni su o uzrocima. Za određivanje stupnja osjetljivosti na klizanje nekog područja potrebno je poznavati preduvjete klizanja, odnosno skupinu uvjeta i procesa koji su doveli padinu u stanje granične ravnoteže. Preduvjeti klizanja su: uvjeti na padini (vrste stijena/tala koje izgrađuju padinu i njihova fizička, mehanička i hidraulička svojstva); geomorfološki procesi (npr. erozija obala); fizički procesi (npr. trošenje stijena/tala); i antropogeni utjecaj (npr. pretvaranje šuma u oranice i okućnice). Određivanje osjetljivosti na klizanje otežano je iz sljedećih razloga: (1) tip klizanja, veličina i gustoća klizanja variraju prostorno i vremenski; (2) 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.); (3) teško je raspolagati preciznim podacima o prostornoj distribuciji klizišta i svih uzročnika klizanja za velika područja; i (4) relativni utjecaj mnogih uzroka klizanja je promjenjiv, a te promjene mogu biti svakodnevnne, što se posebice odnosi na ljudske djelatnosti, kao na primjer uklanjanje šumskog pokrivača [1].

U ovom radu se prikazuju rezultati analize osjetljivosti na klizanje na području sliva Boljunčice i to na tip translacijskog klizanja koje se dogodilo kraj sela Brus u središnjem dijelu Istre u Hrvatskoj (slika 1). Osnovni preduvjeti za klizanje ovdje su bili: litološki sastav osnovne stijene i intenzivno trošenje stijenske mase i materijala, nepovoljna orijentacija slojevitosti stijenske mase u odnosu na orijentaciju padine i erozija nožice padine potokom. Inicijator klizanja bile su obilne oborine koje su se dogodile u razdoblju od prosinca 2004. do travnja 2005. godine. Tijelo klizišta Brus izgrađeno je od fliških naslaga, a dimenzije klizišta su sljedeće: duljina je 150 m, širina 35 m, a dubina do klizne plohe iznosi 8-10 m. Na slici 2 prikazano je ovo klizište na inženjerskogeološkoj karti i presjeku, a detaljniji opis klizišta i analize stabilnosti opisane su u radu [2].

Istraživano područje nalazi se u naslagama fliša paleogenske starosti koje prekrivaju veći, pretežito središnji dio Istarskog poluotoka. Središnji dio Istarskog poluotoka proteže se od Tršćanskog zaljeva na zapadu do planine Učka na istoku. To područje još se naziva i "Siva Istra", zbog sive boje fliša koje prekrivaju cijelo područje. Klizište Brus nalazi se u sjeveroistočnom dijelu spomenutog fliškog bazena, kraj ceste koja spaja Buzet i Cerovlje. Fliške stijene imaju vrlo promjenjiva fizička i mehanička svojstva koja ovise o litološkoj građi i stupnju trošenja. Uglavnom se sastoje od glinjaka, prahovnjaka, kalcificiranog



Slika 1. Lokacija područja istraživanja; prikaz sliva Boljunčice u Istarskoj županiji i klizišta Brus na području predmetnog sliva



Slika 21. Inženjerskogeološka karta i poprečni presjek klizišta Brus [2]

pješčenjaka, brečolikih konglomerata i lapora. Trošenju su najpodložnije sitnozrne stijene glinjaka i prahovnjaka, dok su stijene pješčenjaka i brečolikih konglomerata otpornije [2].

Geološke karakteristike na području Brusa tipične su i za šire područje sjeverne Istre. Za razliku od toga, ovaj tip klizanja do sada je registriran samo na jednom mjestu i to na području Brusa. Ove činjenice bile su povod za prostorne analize geoloških i morfoloških faktora u GIS-u, kako bi se odredila područja na kojima već postoje klizišta istog tipa, ili potencijalna opasnost od njihova iniciranja.

2. MODEL OSJETLJIVOSTI NA KLIZANJE

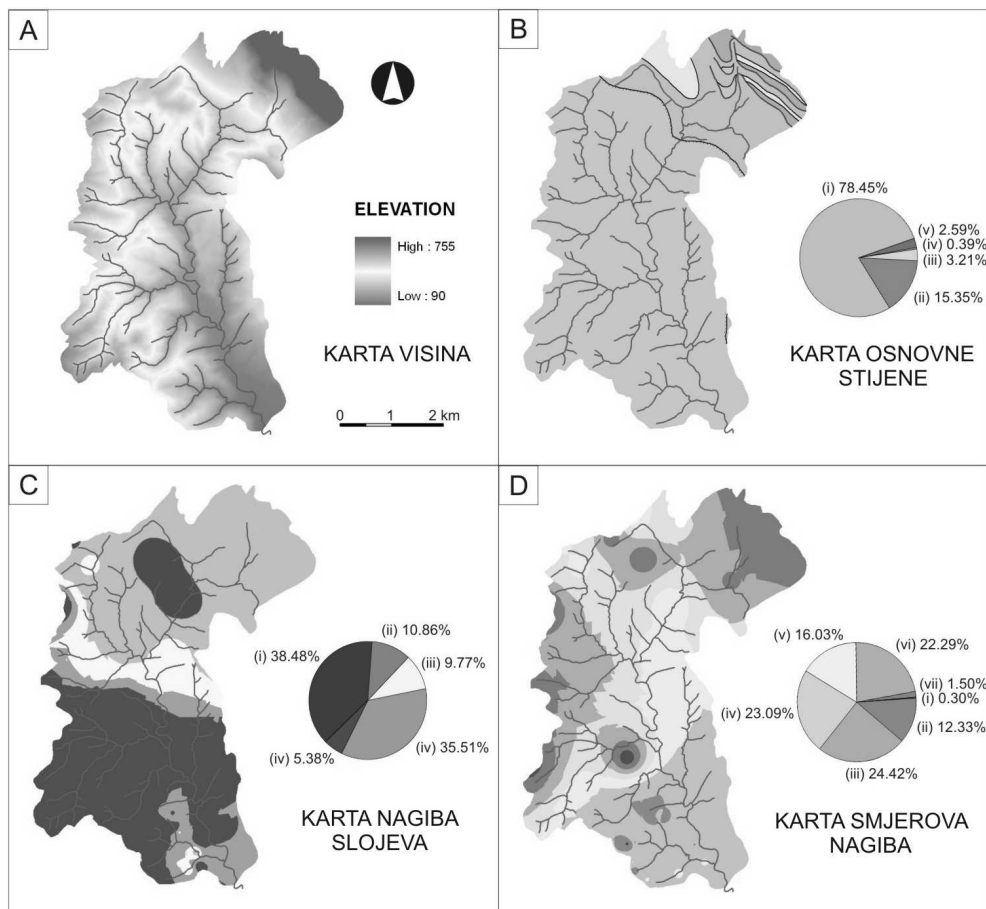
Modeliranje osjetljivosti na klizanje podrazumijevalo je analizu uvjeta stabilnosti padina na modelu translacijskog klizanja, pripremu i unos podataka u GIS projekt, kreiranje izvedenih karata i kombinacije karata u svrhu izdvajanja zona osjetljivosti.

2.1. ULAZNI PODACI

Ulazni podaci za analize osjetljivosti na klizanje (tip translacijskog klizanja) obuhvaćali su: morfološke varijable (nagib i orijentaciju padina) dobivene iz digitalnog modela reljefa (DMR-a) visoke točnosti (preciznosti 5x5 metara); geološke varijable (kronostratigrafske jedinice i položaje slojevitosti) dobivene iz Osnovne geološke karte (OGK) RH mjerila 1:100.000, list Labin [3] i prikupljene terenskim kartiranjem. Iz navedenih tematskih karata izvedene su karte uvjeta za razvoj translacijskog klizanja, što je detaljnije opisano u idućem poglavlju.

Na slici 3 su prikazane osnovne značajke sliva Boljunčice (veličine 2.5 km²) na kojemu su provedene prostorne analize. Na slici 2a vidi se prostorna distribucija apsolutnih visina na području sliva, koje su u rasponu od 90-755 m.n.m. Na slici 2b prikazane su kronostratigrafske jedinice s OGK zajedno sa zastupljenostima pojedinih grupa stijena/tala.

Približno 80% sliva izgrađeno je od jedinice lapora i pješčenjaka ($E_{2,3}$). Karte kutova nagiba slojevitosti (slika 2c) i azimuta smjerova nagiba slojevitosti (slika 2d) izrađene su na temelju postojećih podataka preuzetih s OGK, upotpunjenih terenskim mjerenjima slojevitosti na dijelu istraživanog područja. Sa slike 3c je vidljivo da je na najvećem dijelu sliva (cca 40%) slojevitost horizontalna ili blaga, tj. manja od 11° , ali da su također prisutne i vrlo strme slojne plohe, nagiba većih od 40° , što je rezultat izrazitijih tektonskih poremećaja. Sa aspekta stabilnosti kosina također je interesantna 1/3 područja na kojemu su nagibi slojevitosti u rasponu $20-40^\circ$.



Slika 3. Tematske karte sliva Boljunčice. (A) Prikaz apsolutnih nadmorskih visina dobiven iz DMR-a 5x5 m. (B) Glavne vrste stijena s prikazom zastupljenosti litoloških kompleksa: (i) lapori, (ii) laporoviti vapnenci, (iii) numulitni vapnenci, (iv) alveolinski vapnenci, (v) izmjena numulitnih i alveolinskih vapnenaca. (C) Karta kuta nagiba slojevitosti (izraženom u stupnjevima) s prikazom zastupljenosti sljedećih grupa: (i) $0-11^\circ$, (ii) $11-15^\circ$, (iii) $15-20^\circ$, (iv) $20-40^\circ$, (v) $40-60^\circ$. (D) Karta azimuta smjera nagiba slojevitosti (izraženom u stupnjevima) s prikazom zastupljenosti sljedećih grupa: (i) $337.5-22.5^\circ$, (ii) $22.5-67.5^\circ$, (iii) $67.5-112.5^\circ$, (iv) $112.5-157.5^\circ$, (v) $157.5-202.5^\circ$, (vi) $202.5-247.5^\circ$, (vii) $247.5-292.5^\circ$, (viii) $292.5-337.5^\circ$.

Sa slike 3d je vidljivo da su podjednako zastupljene sve orijentacije slojevitosti, izuzev sjeverne. Razlog za to je položaj naslaga fliša u bori. Osim navedenih karata, također je korištena i tematska karta površinskih vodotoka koji su digitalizirani s topografske podloge mjerila 1:5.000. Na slici 3 je prikazana razgranata mreža površinskih vodotoka Boljunčice i njezinih pritoka.

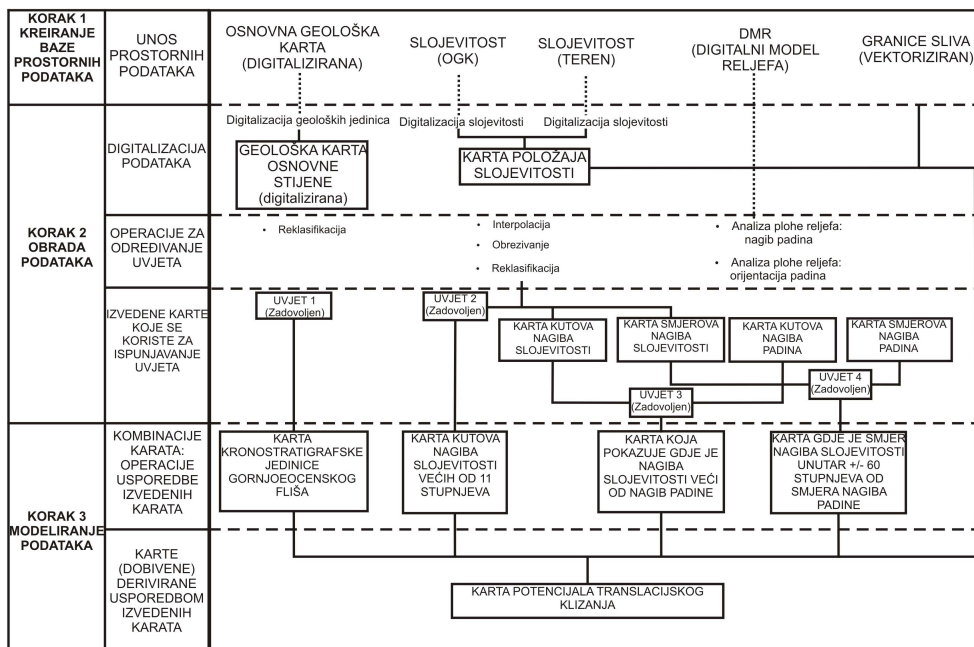
2.2. ANALIZA U GIS-U

Na temelju uvjeta stabilnosti padine opisanih u radu [3] definirani su sljedeći uvjeti za prostornu analizu u GIS-u:

- Uvjet 1: kronostratigrafska jedinica mora biti gornjoeoenski fliš;
- Uvjet 2: kut nagiba slojevitosti mora biti veći od kuta unutarnjeg trenja, tj. $>11^\circ$;
- Uvjet 3: kut nagiba slojevitosti mora biti manji od kuta nagiba padine;
- Uvjet 4: smjer nagiba padine i smjer nagiba slojevitosti ne smiju se razlikovati za više od 60°

Na slici 4 dan je shematski prikaz prostornih analiza u GIS-u koje su se sastojale od: kreiranja baze prostornih podataka (tj. unosa podataka u GIS projekt); obrade podataka (digitalizacije podataka, operacija nad kartama za određivanje zadanih uvjeta i kreiranja izvedenih karata koje se koriste za ispunjavanje uvjeta); i modeliranja podataka (kombinacije karata, odnosno operacija usporedbe izvedenih karata).

Digitalna Osnovna geološka karta [3] u GIS dobivena je u rasterskom obliku, tako da su geološke jedinice koje se nalaze na istraživanom području na početku projekta digitalizirane u obliku poligona kojima su dodijeljeni atributi za opis geološke starosti i



Slika 4. Dijagram toka analize osjetljivosti na translacijsko klizanje

vrste stijene. Na ovaj način bilo je moguće izdvojiti područje koje zadovoljava uvjet 1, odnosno koje je izgrađeno od fliša gornjoeocenske starosti. Područja izrađena od drugih vrsta stijena izuzeta su iz analize, a njihova veličina približno iznosi 20% područja sliva Boljunčice.

Položaji slojevitosti s OGK [3] također su digitalizirani u obliku točaka kojima su dodijeljeni atributi s podacima o kutovima nagiba slojevitosti i smjerovima nagiba slojevitosti. Ovi podaci upotpunjeni su istovrsnim podacima izmjerenim na terenu, s time, što je područje na kojemu su provedena terenska mjerenja slojevitosti obuhvaćalo samo 10% područja cijelog sliva. Interpolacijom točkastih podataka dobivene su rasterske karte kutova nagiba slojevitosti i azimuta kutova smjera slojevitosti. Za potrebe GIS analize ove karte su 'obrezane' po granici sliva i dalje su reklasificirane u skladu s uvjetima 2 i 3 definiranim ranije.

S obzirom na uvjet 2, iz karte kutova nagiba slojevitosti kreirana je karta s dvije klase nagiba: (1) na područjima nagiba većim od 11° stupnjeva zadovoljen je uvjet 2; dok (2) na područjima nagiba manjih od 11° stupnjeva nije.

S obzirom na uvjet 3, bilo je potrebno kombinirati karte kutova nagiba slojevitosti i kutova nagiba padina, te s obzirom na to izdvojiti dvije klase: (1) na područjima na kojima je slojevitost blaža od nagiba padine zadovoljen je uvjet 3 i obrnuto.

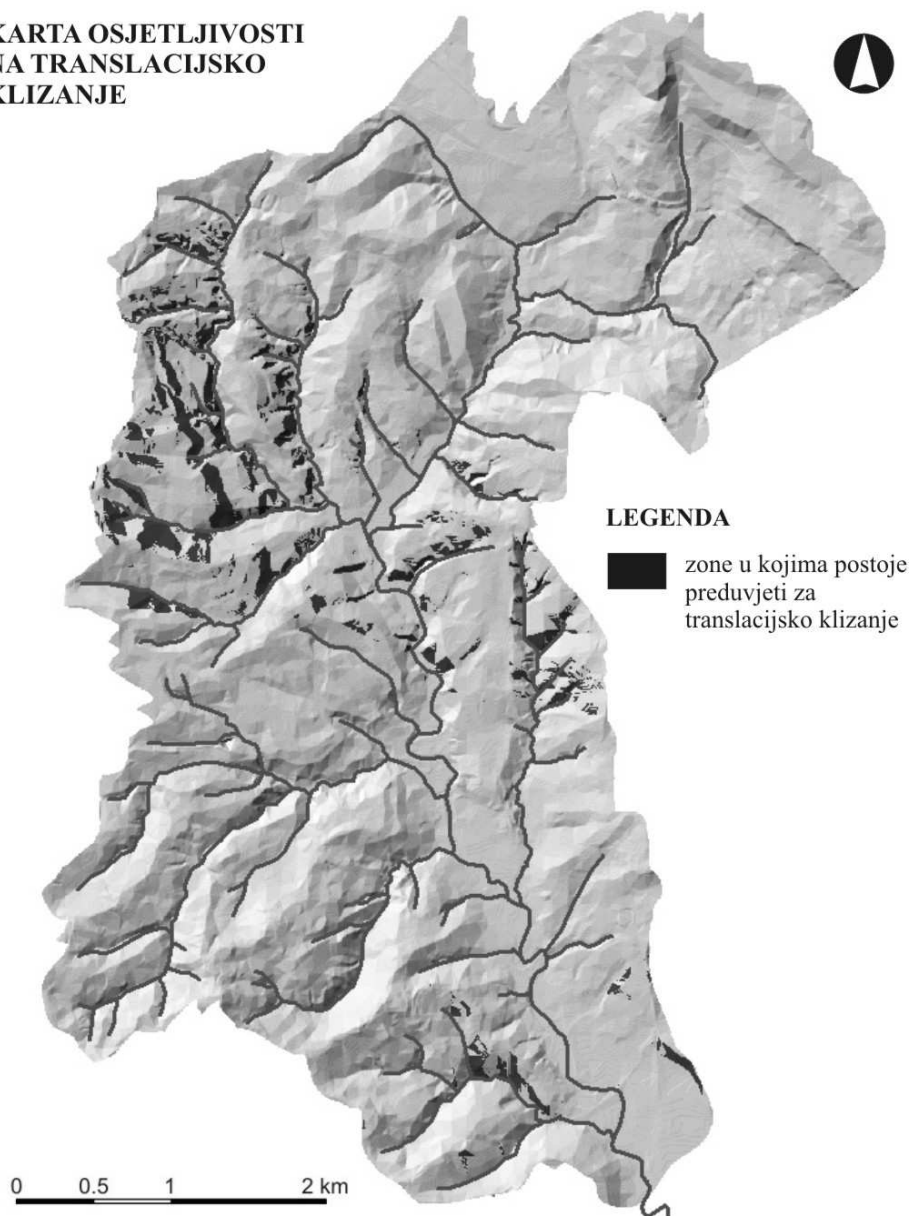
Na sličan način kombinirane su i karte azimuta orijentacije slojevitosti i orijentacije padina, kao bi se zadovoljio uvjet da smjer nagiba slojevitosti mora biti isti ili sličan smjeru nagiba padina. Prethodnom analizom na stereografskoj projekciji određeno je da azimut smjera nagiba slojevitosti treba biti u rasponu $\pm 60^\circ$ u odnosu na orijentaciju padina (za zadani kut unutarnjeg trenja).

Prostornom analizom višestrukih karata u GIS-u [4], tj preklapanjem karata koje prikazuju zone u kojima su zadovoljeni uvjeti za translacijsko klizanje, izdvojena su područja na kojima su zadovoljena sva 4 uvjeta. Na slici 5 prikazana je karta osjetljivosti na translacijsko klizanje. U ovom radu kreirane su samo dvije zone osjetljivosti i to: zone u kojima ne postoji opasnost od translacijskog klizanja i zone u kojima postoji opasnost od translacijskog klizanja.

3. ZAKLJUČAK

Analize osjetljivosti na klizanje u GIS-u najčešće pretpostavljaju postojanje inventara klizišta, odnosno karte klizišta za cijelo istraživano područje u odgovarajućem mjerilu. S obzirom na veličinu klizišta u Hrvatskoj, odgovarajuće mjerilo za analize osjetljivosti ili hazarda klizanja bilo bi mjerilo 1:5.000. Prikupljanje podataka o klizištima u ovom mjerilu je opsežan posao, osobito s obzirom na činjenicu da u Hrvatskoj ne postoji evidencija klizišta, s izuzetkom područja Podsljemenske zone u Gradu Zagrebu.

U modeliranju osjetljivosti na translacijsko klizanje u slivu Boljunčice jedna od glavnih prednosti, a koja je omogućila ovu analizu, je da za potrebe analize nije bilo potrebno raspolagati podacima o svim translacijskim klizištima na istraživanom području. Osim toga, od širokog spektra faktora klizanja, u ovoj su analizi korišteni samo litološki, strukturno-geološki i morfološki faktori. S obzirom na pravilnu geološku građu, bez tektonskih poremećenosti, karte položaja slojevitosti (kuta nagiba i azimuta smjera nagiba) bilo je moguće napraviti iz malog broja podataka preuzetih s OGK sitnog mjerila.

**KARTA OSJETLJIVOSTI
NA TRANSLACIJSKO
KLIZANJE**

Slika 5. Karta potencijala translacijskog klizanja

Za razliku od toga, za izradu karata orijentacije i nagiba padina korišteni su detaljni podaci dobiveni iz digitalnog modela reljefa preciznosti 5x5 metara, koji je moguće nabaviti za gotovo cijelo područje Republike Hrvatske po relativno niskoj cijeni. Što se kriterija za zoniranje tiče, cijelu analizu bilo je moguće koncipirati po kriterijima za grafičku analizu stabilnosti planarnog sloma, i primijeniti ih na karti rezolucije 5x5 metara. GIS analiza provedena je u ArcGIS ArcInfo softveru uz korištenje modula Spatial Analysis.

Završna karta na kojoj su zadovoljena sva četiri uvjeta prikazuje područja u slivu Boljunčice u kojima postoji relativna opasnost od translacijskih klizišta. Ovom analizom dokazali smo da se dobivena karta poklapa sa stvarnim stanjem na terenu, tj. lokacija klizišta Brus nalazi se u jednoj od dobivenih zona relativne opasnosti od translacijskog klizanja. Ovakav tip analiza može biti jedan od prvih koraka planiranja budućih terenskih istraživanja, u smislu određivanja točnih lokacija za detaljnija istraživanja.

LITERATURA

- [1] S. Mihalić, T. Vujnović, G. Škrinjar, B. Mihaliček, J. Martinjak, T. Markovinović: "Ublažavanje opasnosti od klizanja – zoniranje osjetljivosti na klizanje", Zbornik radova Savjetovanja 'Zagrebačke vode', Zagreb, 15-18.6.2010., in press
- [2] Ž. Arbanas, S. Mihalić, M. Grošić, M. Vivoda: "Brus Landslide, translational block sliding in flysh rock mass", Proc. EUROCK 2010, Laussane, 4-5.12.2008.
- [3] D. Šikić, A. Polšak, N. Magaš: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Labin.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 1958-1967
- [4] G.F. Bonham-Carter: Geographic information systems for geoscientists. Modeling with GIS, Pergamon, 2006.