

Analiza podložnosti na klizanje primjenom bivarijantnih statističkih metoda na području podsljemenske zone Grada Zagreba

Halapir, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:999174>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE PRIMJENOM BIVARIJANTNIH
STATISTIČKIH METODA NA PODRUČJU PODSLJEMENSKE ZONE GRADA
ZAGREBA**

Diplomski rad

Ivan Halapir

GI 446

Zagreb, 2022

KLASA: 602-01/22-01/189
URBROJ: 251-70-15-22-2
U Zagrebu, 05.10.2022.

Ivan Halapir, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/189, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 05.10.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE PRIMJENOM BIVARIJANTNIH STATISTIČKIH METODA NA PODRUČJU PODSLJEMENSKE ZONE GRADA ZAGREBA

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu Dr.sc. Sanja Bernat Gazibara.

Mentorica:



(potpis)

Prof.dr.sc. Snježana Mihalić
Arbanas

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:



(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

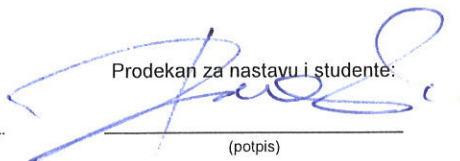


(potpis)

Dr.sc. Sanja Bernat Gazibara

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

Ponajprije, želim se zahvaliti mentorici, prof.dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas na odobrenoj temi diplomskog rada te uloženom vremenu i trudu.

Zatim, veliku zahvalu dugujem komentorici, dr.sc. Sanji Bernat Gazibari na ideji teme diplomskog rada, ukazanom povjerenju i vodstvu.

Nadalje, srdačno se zahvaljujem kolegi, mag. ing. geol. Marku Sinčiću na pomoći i korisnim savjetima u izradi diplomskog rada.

Naposljetku, najveću zahvalu dugujem svojoj obitelji i djevojci koji su uvijek vjerovali u mene i bili mi podrška kroz sve godine studiranja.

ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE PRIMJENOM BIVARIJATNIH STATISTIČKIH METODA NA
PODRUČJU PODSLJEMENSKE ZONE GRADA ZAGRBA

Ivan Halapir

Rad izrađen : Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada bila je izrada modela podložnosti na klizanje za dio podsljemenske zone Grada Zagreba korištenjem bivarijantnih statističkih metoda analize podložnosti na klizanje, točnije metode *Weight of Evidence* i metode informacijske vrijednosti. Izrađeno je ukupno 18 modela podložnosti na klizanje prema predviđenim scenarijima. Scenariji se razlikuju s obzirom na prostornu rezoluciju korištenih faktorskih karata te prostornu rezoluciju i način geometrijskog prikaza klizišta iz inventara. Faktorske karte korištene za izradu modela podložnosti na klizanje bile su karte nagiba terena, karte raščlanjenosti terena, karte stratigrafskih jedinica, karte udaljenosti od geoloških granica, karte udaljenosti od drenažne mreže i karte namjene zemljišta prema tipu pokrova, prostornih rezolucija 1 m, 2 m i 5 m. U izradi modela podložnosti na klizanje korišteni su inventari klizišta prostornih rezolucija 1 m, 2 m i 5 m, pri čemu su klizišta bila prikazana poligonima, centroidima ili točkama na glavnim pukotinama. Nakon što su izrađeni svi modeli podložnosti na klizanje pristupilo se određivanju stupnja točnosti i predikcije pojedinih modela pomoću analize ROC krivuljom. Usporedbom rezultata analize ROC krivuljom utvrđeno je da svi modeli podložnosti na klizanje daju vrlo dobre rezultate, ali model podložnosti na klizanje prema scenariju *S12* daje kombinaciju najviših stupnjeva točnosti (92%) i predikcije (92%) područja istraživanja. Navedeni model dobiven je primjenom metode informacijske vrijednosti i korištenjem faktorskih karta prostorne rezolucije 1 m te inventara klizišta iste prostorne rezolucije u kojem su klizišta prikazana točkama na glavnim pukotinama.

Ključne riječi: klizišta, preduvjeti klizanja, model podložnosti na klizanje, podsljemenska zona Grada Zagreba

Rad sadrži: 60 stranica, 17 tablica, 28 slika i 42 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentorica: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Komentorica: Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Pomoć pri radu: Marko Sinčić, mag. ing. geol., RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Prof. dr. sc. Željko Arbanas, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Izv. prof. dr. sc. Martin Krkač, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MODELING USING BIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS METHODS
FOR PODSLJEME AREA OF THE CITY OF ZAGREB

Ivan Halapir

Thesis completed in : University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The objective of this thesis was to create landslide susceptibility models for the Podsljeme area of the City of Zagreb using bivariate statistical analysis methods, specifically the Weight of Evidence method and Information Value method. A total of 18 landslide susceptibility models were created according to the predetermined scenarios. Each scenario is defined by the spatial resolution of the used factor maps and the spatial resolution and type of geometric representation of the landslides from the inventory map. The factor maps used to develop the landslide susceptibility models were in three different resolutions (1 m, 2 m and 5 m) as follows: slope maps, terrain breakdown, stratigraphic units, distance from geological contacts, distance from the drainage network and land use according to cover type. Landslide inventories with spatial resolutions of 1 m, 2 m and 5 m were used in the creation of the landslide susceptibility models, in which the landslides were represented either by polygons, centroids or points on the main cracks. After all the landslide susceptibility models were created, the levels of accuracy and prediction of individual models were determined using the ROC curve analysis. By comparing the results of the ROC curve analysis, it was determined that all models of landslide susceptibility give very good results, but the model of landslide susceptibility according to scenario *S12* gives a combination of the highest degrees of accuracy (92%) and prediction (92%) of the research area. The mentioned model was obtained by applying the Information Value method and using factor maps with a spatial resolution of 1 m and landslide inventory of the same spatial resolution, in which landslides are represented by points on the main cracks.

Keywords: landslides, sliding preconditions, landslide susceptibility model, podsljeme area of the City of Zagreb

Thesis contains: 60 pages, 17 tables, 28 figures and 42 references

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Prof. Dr. Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, UNIZG-RGNF

Co-supervisor: Dr. Sanja Bernat Gazibara, Post-doctoral researcher, UNIZG-RGNF

Help with thesis: Marko Sinčić, mag. ing. geol., Doctoral Researcher, UNIZG-RGNF

Reviewers: Prof. Dr. Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, UNIZG-RGNF

Prof. Dr. Željko Arbanas, Full Professor, UNIRI-GF

Assist. Prof. Dr. Martin Krkač, Assistant Professor, UNIZG-RGNF

Defence date: October 14th, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	III
1. UVOD	1
2. TEORIJSKE OSNOVE	3
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	8
3.1 Geografske značajke	8
3.2 Geomorfološke značajke	10
3.3 Geološke značajke	12
3.4 Postojeće karte klizišta u Gradu Zagrebu	15
4. METODE ISTRAŽIVANJA	17
4.1 Metoda <i>Weight of Evidence</i>	17
4.2. Metoda informacijske vrijednosti	20
4.3 Metoda verifikacije primjenom ROC krivulje	20
5. ULAZNI PODACI	21
5.1 Inventar klizišta	21
5.2 Ulazni podaci za faktorske karte	23
5.2.1 Karta nagiba terena	23
5.2.2 Karta raščlanjenosti terena	24
5.2.3 Karta kronostratigrafskih jedinica OGK	25
5.2.4 Karta geoloških granica	26
5.2.5 Karta udaljenosti od drenažne mreže	27
5.2.6 Karta namjene zemljišta prema tipu pokrova	28
6. ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE	29
6.1 Karte klizišta	29
6.2 Faktorske karte klizanja	32
6.2.1 Karta nagiba terena	32
6.2.2 Karta raščlanjenosti terena	33
6.2.3 Karta kronostratigrafskih jedinica OGK	34
6.2.4 Karta udaljenosti od geoloških granica	36
6.2.5 Karta udaljenosti od drenažne mreže	37
6.2.6 Karta namjene zemljišta prema tipu pokrova	38
6.3 Statistika faktorskih karata	39
7. KARTE PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE	46
7.1. Scenariji podložnosti na klizanje	46
7.2. Verifikacija karata podložnosti na klizanje primjenom ROC krivulje	49
8. DISKUSIJA	53
9. ZAKLJUČAK	55
POPIS LITERATURE	57

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Prikaz dijelova klizišta i njihov naziv (WP/WLI, 1993b; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019)	3
Slika 2.2 Faktori (preduvjeti) klizanja (prema Popescu, 2002; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019).....	4
Slika 2.3 Metode procjene podložnosti na klizanje (prema Corominas et al., 2013; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019)	7
Slika 3.1 Područje Grada Zagreba na DMT-u (50x50 m) s prikazom područja istraživanja	8
Slika 3.2 Prikaz područja istraživanja na DOF-u iz 2019. godine (DGU-Geoportal, 2022).....	9
Slika 3.3 Karta raspodjela nagiba terena područja istraživanja	11
Slika 3.4 Geološki stup kronostratigrafskih jedinica područja istraživanja (prema Šikić et al., 1972).....	14
Slika 4.1 Pojednostavljeni dijagram toka izrade karte podložnosti na klizanje primjenom bivarijantne statističke metode (prema Van Westen et al., 2002; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019).....	19
Slika 5.1 Inventar klizišta istraživanog područja mjerila 1:30.000	22
Slika 5.2 Tematska karta nagiba terena istraživanog područja prostorne rezolucije 1 m.....	23
Slika 5.3 Tematska karta raščlanjenosti terena istraživanog područja prostorne rezolucije 1 m	24
Slika 5.4 Tematska karta kronostratigrafskih jedinica s OGK M 1:100.000, list Zagreb (Šikić et al, 1972).....	25
Slika 5.5 Tematska karta geoloških granica istraživanog područja s buffer zonom 500 m	26
Slika 5.6 Tematska karta stalnih i povremenih površinskih tokova s buffer zonama	27
Slika 5.7 Tematska karta namjene zemljišta prema tipu pokrova	28
Slika 6.1 Mozaik karata klizišta korištenih u analiza podložnosti na klizanje, određivanju stupnja točnosti i predikcije modela (prostorna rezolucija 1 m); 1) prikaz klizišta poligonima; 2) prikaz klizišta centroidima; 3) prikaz klizišta točkama na glavnim pukotinima	31
Slika 6.2 Faktorska karta nagiba terena prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa	32
Slika 6.3 Faktorska karta raščlanjenosti terena prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa.....	33
Slika 6.4 Faktorska karta kronostratigrafskih jedinica prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa.....	35
Slika 6.5 Faktorska karta udaljenosti od geoloških granica prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa i pripadajućim vrijednostima buffera.....	36
Slika 6.6 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa i pripadajućim vrijednostima buffera.....	37

Slika 6.7 Faktorska karta namjene zemljišta prema tipu pokrova prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa i pripadajućim opisom	38
Slika 7.1 Mozaik karata podložnosti na klizanje dobiven metodom Weight of Evidence prema Van Westen et al. (2002).....	47
Slika 7.2 Mozaik karata podložnosti na klizanje dobiven metodom informacijske vrijednosti prema Yin i Yan (1988)	48
Slika 7.3 Prikaz rezultata analize dobivenih modela podložnosti primjenom ROC krivulje ..	50
Slika 7.4 Karta podložnosti na klizanje za scenarij S12 s prikazom svih klizišta (M 1:30.000)	51
Slika 7.5 ROC krivulja analize stupnja točnosti modela za scenarij S12 s prikazom AUC vrijednosti.....	52
Slika 7.6 ROC krivulja analize stupnja predikcije modela za scenarij S12 s prikazom AUC vrijednosti.....	52

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Podaci o stanovništu prema popisu stanovništva iz 2021. godine (Državni zavod za statistiku, 2022).....	10
Tablica 3.2 Kategorizacija padina područja istraživanja (IGU, 1968) s obzirom na kut nagiba terena	11
Tablica 4.1 Dezinacija varijabli korištenih u <i>Weight of Evidence</i> metodi (prema Van Westen et al., 2002).....	18
Tablica 5.1 Tematske karte nagiba terena s prikazom maksimalnih vrijednosti nagiba pojedinih prostornih rezolucija.....	24
Tablica 5.2 Površine pojedinih klasa tipa pokrov i udjeli u ukupnoj površini područja istraživanja	28
Tablica 6.1 Popis karata klizišta s definiranim tipom prikaza, prostornom rezolucijom i primjenom	30
Tablica 6.2 Klase nagiba faktorskih karata nagiba terena s rasponima vrijednosti i pripadajućim površinama	32
Tablica 6.3 Klase faktorskih karata raščlanjenosti terena s pripadajućim rasponima vrijednosti i površinama	33
Tablica 6.4 Klase faktorske karte kronostratigrafskih jedinica s opisom i pripadajućim površinama	34
Tablica 6.5 Rezultati zonalne statistike za prostornu rezoluciju 1 m.....	40
Tablica 6.6 Rezultati zonalne statistike za prostornu rezoluciju 2 m.....	41
Tablica 6.7 Rezultati zonalne statistike za prostornu rezoluciju 5 m.....	42
Tablica 6.8 Prikaz težinskih vrijednosti izračunatih bivarijantnim statističkim metodama za prostornu rezoluciju 1 m	43
Tablica 6.9 Prikaz težinskih vrijednosti izračunatih statističkim bivarijantnim metodama za prostornu rezoluciju 2 m	44
Tablica 6.10 Prikaz težinskih vrijednosti izračunatih statističkim bivarijantnim metodama za prostornu rezoluciju 5 m	45
Tablica 7.1 Pojedini scenariji prostornih analiza podložnosti na klizanje (<i>WoE- Weight of Evidence</i> metoda.; <i>IV-</i> metoda informacijske vrijednosti).....	46
Tablica 7.2 Rezultati analize primjenom ROC krivulje za pojedine scenarije	49

1. UVOD

Klizišta predstavljaju prirodnu opasnost koja može uzrokovati različite vrste šteta, kako za stanovništvo u vidu ljudskih žrtava tako i za materijalna dobra, u urbanim sredinama i prirodnim okolišima (Ghosh et al., 2012; Girma et al., 2015). Klizišta nastaju kao posljedica interakcije unutarnjih i vanjskih čimbenika (Crozier, 1986). Unutarnji čimbenici uključuju svojstva stijena i tala u vidu geološke građe i strukture, litološkog sastava, hidrogeoloških uvjeta te mehaničkih i geomorfoloških značajki koji neko područje čine podložnim na klizanje. Vanjski čimbenici predstavljaju pokretače procesa klizanja, a uključuju oborine, potrese i antropogene aktivnosti.

Kako bi se izbjegli negativni učinci procesa klizanja osmišljene su metode koje omogućuju izradu karata zonacija nekog područja na zone prema potencijalu podložnosti na klizanje (Varnes, 1984; Mihalić, 1998; Bernat Gazibara, 2019). Takve karte se nazivaju karte podložnosti na klizanje, a rezultat su prostornih analiza koje se mogu izvesti različitim metodama (heurističkim, statističkim i determinističkim) (Corominas et al., 2013; Reichenbach et al., 2018). Kao ulazni podaci za prostorne analize koriste se karte inventara klizišta i karte faktora (preduvjeta) klizanja koje mogu biti prikupljene izravnim i neizravnim metodama (Van Westen et al., 2008). Informacije dobivene navedenim kartama svoju primjenu nalaze na svim razinama upravljanja društvom, u prostornom planiranju, gradnji, zaštiti okoliša te civilnoj zaštiti (Mihalić Arbanas et al., 2022). S razvojem GIS (geografski informacijski sustavi) tehnologije znatno je olakšana izrada karata podložnosti, zbog mogućnosti lakše provedbe složenih prostornih analiza te lakše i brže obrade velike količine ulaznih podataka, kao i njihovog prikupljanja (Varnes, 1984; Saha et al., 2002).

Podsljemenska zona Grada Zagreba predstavlja urbanizirani dio grada koji je smješten na južnim obroncima Medvednice. Navedeno područje bilo je predmet mnogih inženjerskogeoloških istraživanja klizišta, kako inženjerskih za potrebe sanacije, tako i znanstvenih za potrebe izrade karata klizišta. Jurak et al. (2008) i Mihalić Arbanas et al. (2014) u svojim radovima navode kako je pojavnost klizišta, na području podsljemenske zone, uzrokovanih antropogenim djelovanjima u kontinuiranom porastu zadnjih 90-ak godina. U okviru Hrvatsko-japanskog bilateralnog znanstvenog projekata SATREPS FY 2008 izvedeno je LiDAR-sko skeniranje visoke rezolucije cijele podsljemenske zone Grada Zagreba (180 km²), što je za cilj imalo izradu karte inventara klizišta (Mihalić and Arbanas, 2013; Bernat Gazibara, 2019). Preliminarne analize LiDAR-skih podataka pokazale su da

vizualna interpretacija omogućuje pouzdanije kartiranje malih i plitkih klizišta, tipičnih za podsljemensku zonu Grada Zagreba, u odnosu na konvencionalne metode izrade karata inventara klizišta (Mihalić et al., 2013, 2014; Bernat Gazibara et al., 2017, 2019a, 2019b). Karte podložnosti na klizanje i karte inventara klizišta podsljemenske zone Grada Zagreba izrađene su i predstavljene u više studija i u dva diplomatska rada, a neki od njih su:

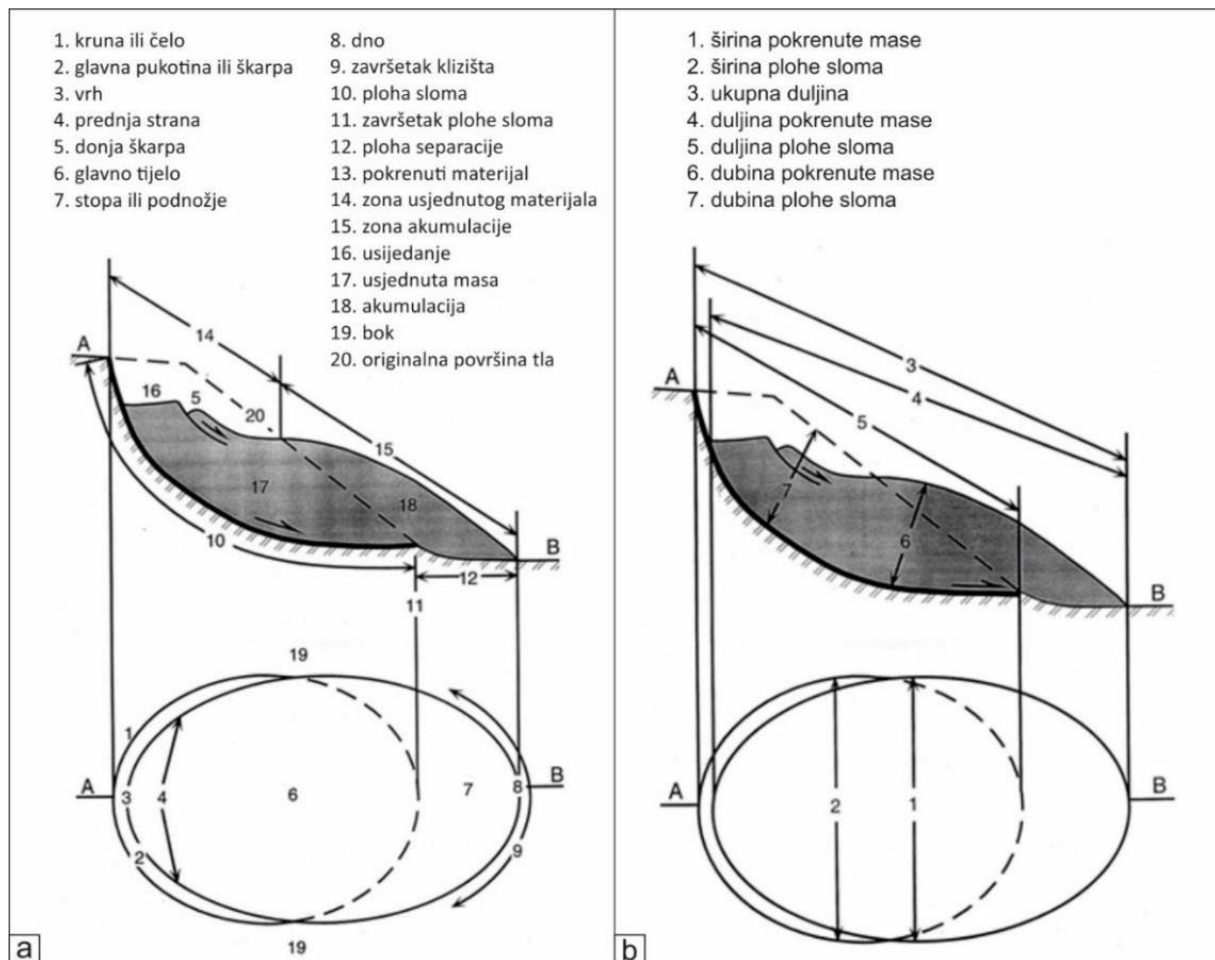
- „*Inženjerska geologija Zagreb – sjever i jug*“ (Šikić, 1967)
- „*Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti*“ (Polak et al., 1979)
- „*Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske urbanizirane zone u mjerilu 1:5.000, DIGK – Faza I*“ (Miklin et al., 2007)
- „*Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice*“ (Podolzski, 2014)
- „*Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnog modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba*“ (Bernat Gazibara, 2019)

Cilj ovog diplomskog rada bila je provedba prostornih analiza podložnosti na klizanje za dio podsljemenske zone Grada Zagreba (površine 21 km²) u GIS-u korištenjem bivarijantnih statističkih metoda za više scenarija. U radu je korišten cjeloviti inventar klizišta izrađen na temelju digitalnog modela terena visoke rezolucije (Bernat Gazibara et al., 2019a). Scenariji se razlikuju s obzirom na vrstu prikaza inventara klizišta (poligon ili točka), prostornu rezoluciju (1 m, 2 m i 5 m) ili veličinu jedinične ćelije na osnovi koje je provedena analiza podložnosti, kao i s obzirom na tehniku određivanja težinskih vrijednosti pojedinih klasa faktora klizanja koja je primijenjena u bivarijantnoj statističkoj metodi (metoda *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti). Nakon izrade karata podložnosti na klizanje provedena je analiza točnosti i predikcije dobivenih modela primjenom ROC krivulje te je naposljetku provedena usporedba dobivenih rezultata AUC vrijednosti.

Diplomski rad izrađen je u okviru istraživačkog projekta Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ IP-2019-04-9900) „Razvoj metodologije procjene podložnosti na klizanje za planiranje namjene zemljišta primjenom LiDAR tehnologije“ u okviru aktivnosti projekta koje pripadaju specifičnom cilju projekta 2, a to je: izraditi pouzdanu kartu podložnosti na klizanje s najboljim prikazom područja podložnih na klizanje i područja s niskom vjerojatnosti pojave klizišta primjenom znanstvenih metoda na reprezentativnim područjima u Republici Hrvatskoj sa specifičnim inženjerskogeološkim uvjetima koji uvjetuju pojavu klizišta. Rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost time što je omogućila nove ulazne podatke za analize.

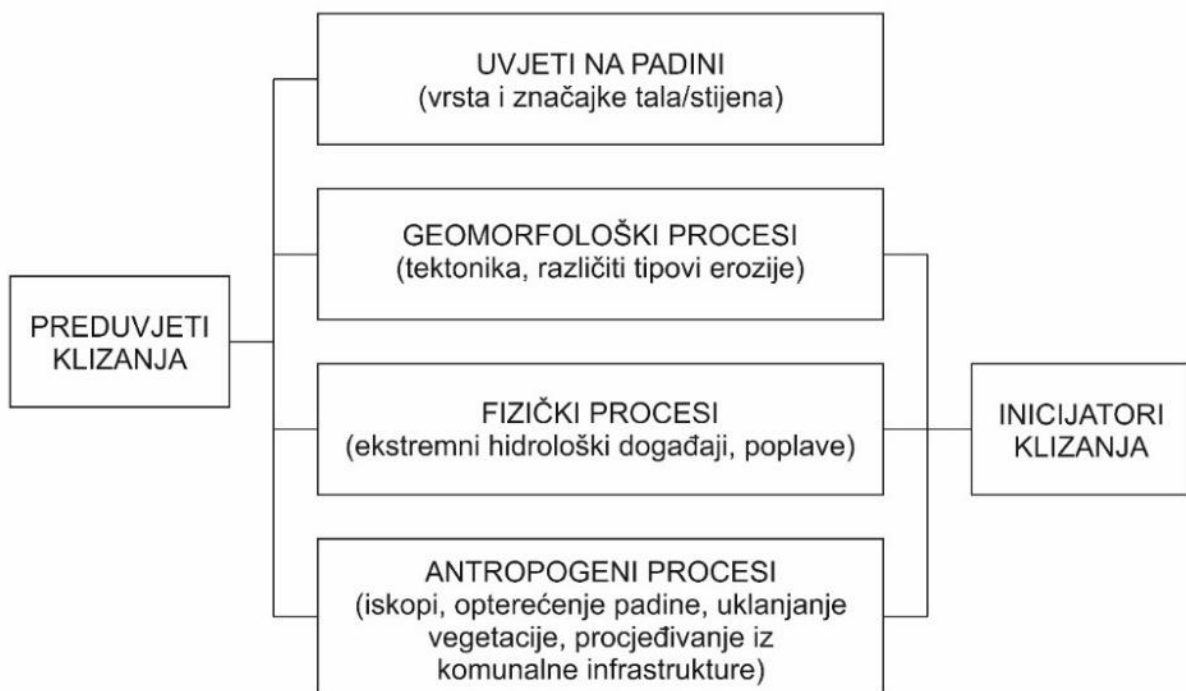
2. TEORIJSKE OSNOVE

Prema Cruden (1991) klizanje je definirano kao proces gibanja mase stijena ili tala niz padinu uslijed čega nastaje morfološki oblik u terenu koji se naziva klizište. Uslijed procesa klizanja na površini terena se razvijaju specifični morfološki oblici koji definiraju prostornu rasprostranjenost i granice klizišta, a ujedno omogućuju njegovo grafičko prikazivanje poligonom ili točkom. Dijelovi klizišta koje je moguće razaznati na površini terena su glavna pukotina s čelom klizišta koje predstavlja gornju granicu klizišta, odnosno granicu između pokrenutog i nepokrenutog materijala, zatim bokovi klizišta koji definiraju bočne granice klizišta te nožica sa završetkom klizišta koji predstavlja donju granicu klizišta do koje je transportirana masa stijena ili tala niz padinu. Navedeni dijelovi najbolje su vidljivi u tlocrtnom prikazu klizišta, dok je u bokocrtu najlakše razaznati zonu usjedanja (zona koja je niža u odnosu na originalnu površinu terena) te zonu akumulacije pokrenutog materijala (zona koja je viša u odnosu na originalnu površinu terena) (slika 2.1).



Slika 2.1 Prikaz dijelova klizišta i njihov naziv (WP/WLI, 1993b; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019)

Kako bi uopće došlo do pojave procesa klizanja nužno je da padina prijeđe iz stanja labilne ravnoteže u nestabilno stanje. Faktori koji doprinose pomaku stanja ravnoteže padine, odnosno pospješuju podložnost padine na klizanje mogu se podijeliti u četiri grupe. To su uvjeti na padini, geomorfološki procesi, fizički procesi te antropogeni procesi, u stručnoj literaturi poznati su i pod nazivom preduvjeti klizanja (slika 2.2). Najčešće dolaze u nekoj od kombinacija faktora, dok je sam okidač procesa klizanja jedan događaj/proces te se naziva inicijatorom klizanja.



Slika 2.2 Faktori (preduvjeti) klizanja (prema Popescu, 2002; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019)

Prema mehanizmu pokreta mase materijala na padini Cruden (1991) razlikuje pet vrsta, tako razlikuje klizanje (u užem smislu riječi), tečenje te bočno razmicanje. Navedeni mehanizmi vezani su za kretanja koherentnih i/ili nekoherentnih tala niz padinu. Zatim odronjavanje i prevrtanje. Ova dva mehanizma pokreta materijala na padinama najčešće vežemo uz pokrete stijenske mase. Iako je moguća pojava pojedinog mehanizma pokreta kao jedinog u određenom slučaju, to nije ujedno i pravilo, već je najčešće riječ o njihovoj kombinaciji.

Karte inventara klizišta predstavljaju skup podataka o postojećim klizištima na nekom području koje definiraju geometriju i položaj samog klizišta u prostoru ako je ono prikazano poligonom ili samo njegov položaj u prostoru ako je prikazano točkom. Highland i Bobrowsky (2008) ovaj tip inventara klizišta nazivaju jednostavnim, dok detaljni inventar

klizišta sadrži mnogo više podataka za svako pojedino klizište. Detaljni inventar klizišta osim podatka o prostornom smještaju klizišta također definira i opisuje tip pokreta, stanje, distribuciju i stil aktivnosti, brzinu gibanja, geološku starost naslaga, dubinu do klizne plohe i opis pokrenutog materijala, a grafički prikaz prikazuje položaj glavne pukotine te zona usjedanja i akumulacije pokrenutog materijala.

Karte inventara klizišta moguće je izraditi primjenom različitih metoda . U prošlosti se prvotno pristupalo terenskom geomorfološkom kartiranju klizišta, ali sam proces prikupljanja podataka i izrada karata klizišta bila je veoma spora jer je bilo potrebno kartirati svako klizište zasebno. S razvojem računalnih tehnologija omogućena su daljinska istraživanja klizišta primjenom vizualne interpretacije najprije na snimcima iz zraka uporabom stereoparova visoke do vrlo visoke rezolucije. Navedena metoda imala je određena ograničenja zbog spektra snimanja te prilikom nepovoljnih vremenskih uvjeta (naoblake) nije bilo moguće dobiti snimke za određeno područje i do nekoliko dana nakon aktivacije klizišta (Van Westen et al., 2008). Ovaj nedostatak uklonjen je s razvojem laserskog skeniranja primjenom LiDAR-a (*eng. Light Detection and Ranging*). LiDAR omogućuje izradu oblaka točaka velike gustoće u 3-D prostoru, a obradom snimljenih podataka omogućuje se izrada DMT-a (digitalnog modela terena) koji se može koristiti u daljinskom kartiranju za potrebe izrade inventara klizišta (Bernat Gazibara, 2019).

Kako karte inventara klizišta predstavljaju najvažniji ulazni podatak za provedbu prostornih analiza podložnosti na klizanje, nužno je osigurati njihovu potpunost. Galli et al. (2008) u svome radu navode kako ne postoji određeni standard za kvalitetu izrađenih inventara klizišta, ali ju je moguće iskazati kao potpunost te geografsku i tematsku točnost. Guzzeti et al. (2012) potpunost inventara klizišta definiraju kao omjer broja klizišta prikazanih u inventaru i stvarnog broja klizišta, broja koji je najčešće nepoznat, nekog područja. Geografsku točnost Santangelo et al. (2010) definiraju kao mjeru podudarnosti grafičkog prikaza geometrije klizišta i njegovog položaja na karti sa stvarnom geometrijom i položajem na terenu. Tematska točnost odnosi se na ispravnost dodatnog opisa svakog klizišta koji definira i opisuje mehanizme pokreta, aktivnost i druge karakteristike, a čine sastavni dio detaljnog inventara klizišta.

Karte podložnosti na klizanje predstavljaju krajnji produkt prostornih analiza podložnosti na klizanje te služe kao grafički prikaz prostorne vjerojatnosti pojavnosti procesa klizanja na nekom području. Metode kojima se provode prostorne analize mogu se podijeliti na heurističke, determinističke i statističke, a po prirodi mogu biti kvalitativne ili kvantitativne

(slika 2.3). Odabir pojedine metode ovisit će o vrsti i količini dostupnih podataka koji predstavljaju ulaz (faktori, odnosno preduvjeti klizanja) za prostorne analize, mjerilu i namjeni konačne karte podložnosti te dostupnim podacima o klizištima za područje istraživanja (Van Westen et al., 2008).

Heurističke metode, nazivaju se još i iskustvenima jer osoba koja provodi prostornu analizu pojedinim klasama faktora klizanja dodjeljuje vrijednosti težinskih faktora na temelju iskustva, a rezultat je kvalitativna procjena podložnosti na klizanje. Prilikom korištenja ove metode prostorne analize nije nužna izrada inventara klizišta, ali je potrebno dobro poznavanje pojedinih mehanizama klizanja i preduvjeta koji dovode do njih. Ova metoda primjenjuje se za područja istraživanja čije je mjerilo na regionalnoj (1:250.000 – 1:25.000) ili državnoj razini (<1:250.000).

Determinističke metode analize podložnosti na klizanje koriste se za procjenu podložnosti na klizanje za neko područje na razini pojedine lokacije ili manjeg područja, čija površina ne prelazi 10 km². Kao ulazni podaci za ovu metodu koriste se rezultati terenskih inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja, a rezultat je kvantitativna procjena podložnosti na klizanje.

Statističke metode analize podložnosti na klizanje koriste se za procjenu podložnosti na klizanje za područja čija je površina 10 – 10.000 km², odnosno za karte na razini lokalnog mjerila. Rezultat statističkih analiza podložnosti na klizanje jest kvantitativna procjena podložnosti. Navedena prostorna analiza može se primijeniti korištenjem analitičkih metoda bivarijantne statistike, multivarijantne statistike te umjetnih neuronskih mreža (Corominas et al., 2013). Kako bi se primjenila prethodno navedena metoda prostorne analize nužno je osigurati ulazne podatke. Kao ulazni podaci koristi se inventar klizišta koji predstavlja zavisnu varijablu, dok nezavisnu varijablu predstavljaju faktorske karte preduvjeta klizanja. Aleotti i Chowhury (1999) u svom radu navode niz koraka koji su nužni prilikom izrade karte podložnosti na klizanje korištenjem bivarijantne statističke metode.

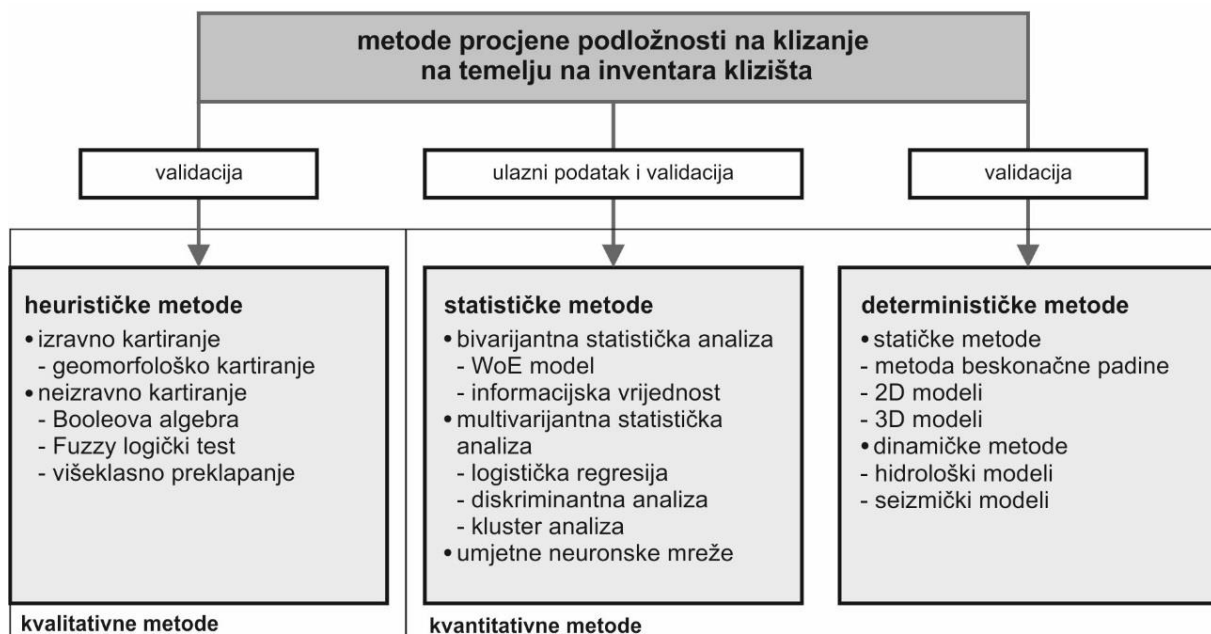
Redom su to:

- a) odabir i priprema relevantnih faktora klizanja i njihova podjela na odgovarajući broj klasa;
- b) izrada karte inventara klizišta;
- c) preklapanje karte klizišta sa svakom od faktorskih karata;

- d) određivanje gustoće klizišta za svaku klasu faktora klizanja i određivanje težinskih vrijednosti;
- e) dodjeljivanje težinskih vrijednosti pojedinim klasama faktora klizanja;
- f) preklapanje težinskih karata i izrada konačne karte podložnosti na klizanje.

Prostornu analizu podložnosti na klizanje moguće je provesti na temelju različitih prostornih jedinica, tako se primjerice mogu koristiti mreže jediničnih ćelija (primijenjeno u ovom diplomskom radu), jedinice nagiba, jedinice terena, jedinice jedinstvenih uvjeta, geo-hidrološke jedinice, topografske jedinice i političke ili administrativne jedinice (Reichenbach et al., 2018).

Kako bi se dobile pouzdane karte podložnosti na klizanje određenog područja nužan je uvid u prostornu, ali i vremensku učestalost pojavnosti klizišta. Stoga svaka studija podložnosti, hazarda ili rizika na klizanje treba započeti s izradom što potpunijeg i točnijeg inventara klizišta (Van Westen et al., 2008).



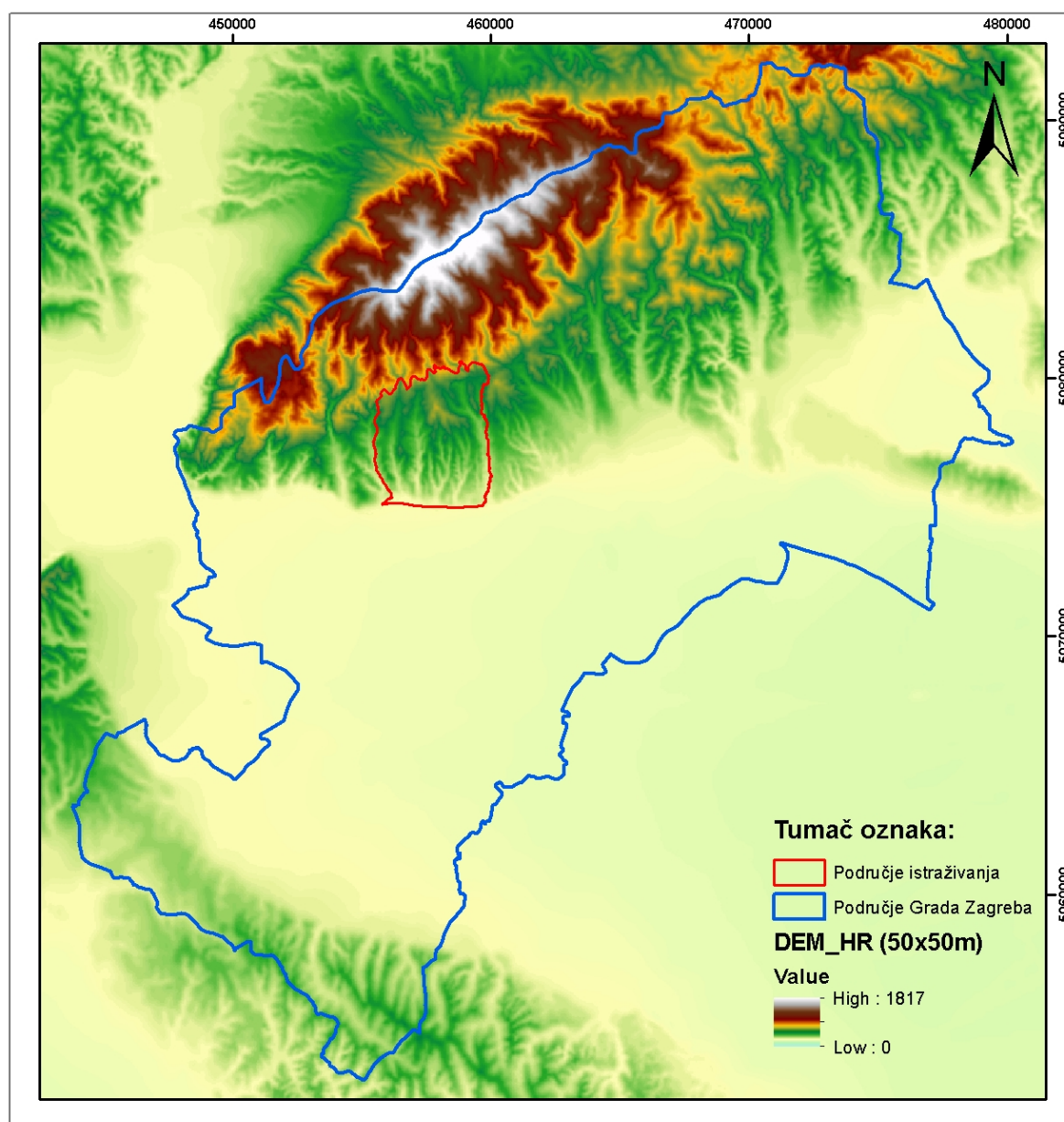
Slika 2.3 Metode procjene podložnosti na klizanje (prema Corominas et al., 2013; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019)

Izrađene karte podložnosti na klizanje s obzirom na mjerilo izrade mogu se koristiti kao podloge za izradu izmjena i dopuna postojećih prostornih i urbanističkih planova, u civilnoj zaštiti, na državnoj, regionalnoj ili lokalnoj razini. Pružajući korisnicima informaciju o podložnosti određenog područja na pojavu procesa klizanja.

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

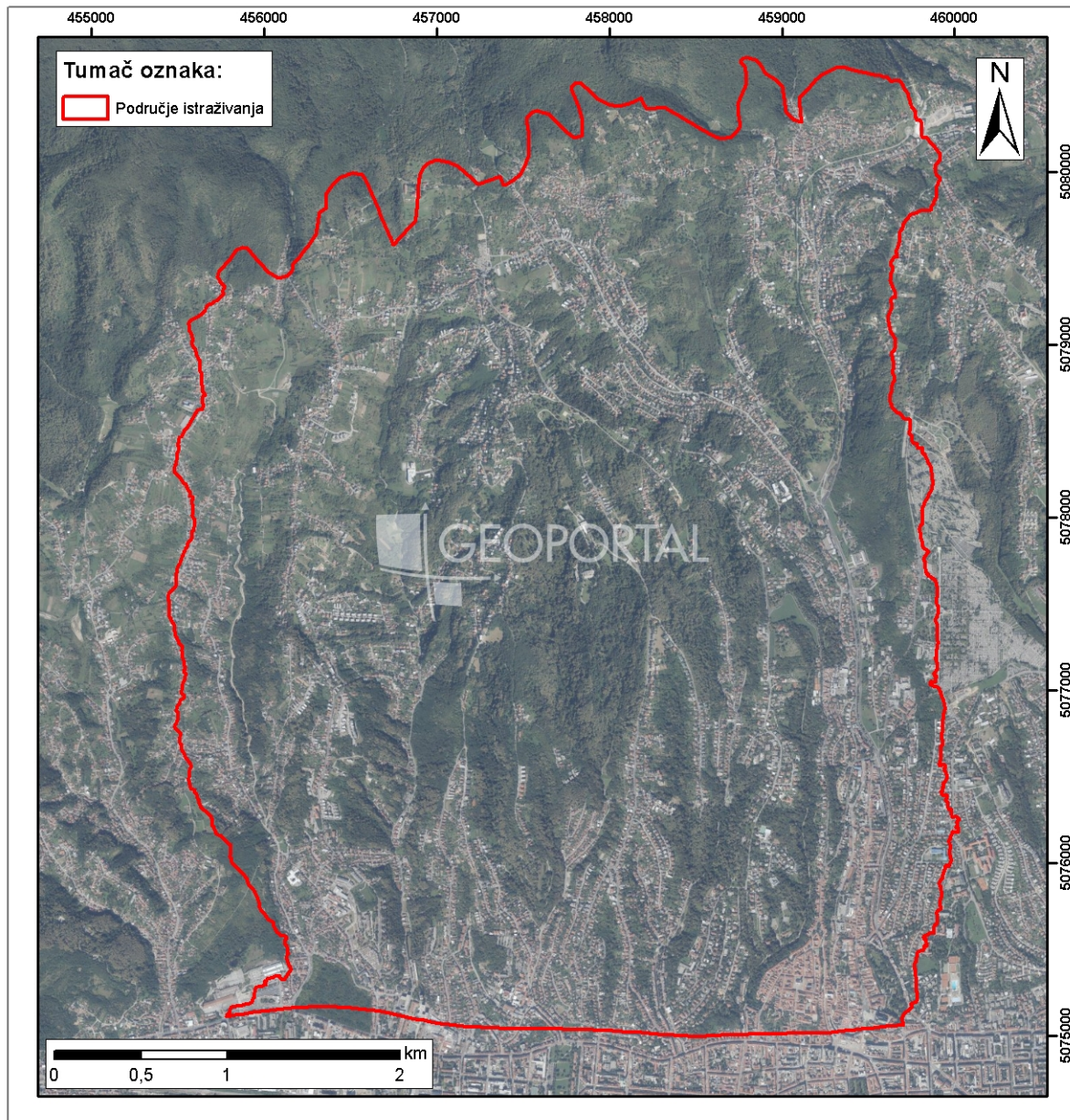
3.1 Geografske značajke

Grad Zagreb predstavlja zasebnu administrativnu jedinicu čija ukupna površina iznosi 641 km², a sačinjavaju je uže gradsko područje i 70 drugih naselja. Administrativnu granicu Grada Zagreba na sjeveru predstavlja hrbat Medvednice, središnji dio čine lijeva i desna obala rijeke Save, a južnu granicu predstavljaju Vukomeričke Gorice. Slika 3.1 prikazuje smještaj područja istraživanja i područja Grada Zagreba na DEM-u Republike Hrvatske prostorne rezolucije 50 m.



Slika 3.1 Područje Grada Zagreba na DMT-u (50x50 m) s prikazom područja istraživanja

Područje istraživanja za koje su provedene prostorne analize podložnosti na klizanje nalazi se u administrativnom području Grad Zagreb, točnije u urbanoj podsljemenskoj zoni na jugo-zapadnim padinama Medvednice (slika 3.2). Područje prostornih analiza obuhvaća istočni dio gradske četvrti Črnomerec, jugo-zapadni dio Podsljemena te zapadni dio četvrti Gornji Grad – Medveščak.



Slika 3.2 Prikaz područja istraživanja na DOF-u iz 2019. godine (DGU-Geoportal, 2022)

Prema prvim rezultatima najaktualnijeg popisa stanovništva iz 2021. godine, Grad Zagreb broji 769.944 stanovnika, dok četvrti Črnomerec 38.131, Podsljeme 19.033 te Gornji Grad – Medveščak 26.325 stanovnika. Na temelju navedenih podataka prosječna gustoća stanovnika na istraživanom području iznosi 1.513 stanovnika/km². Kako prosječna gustoća stanovnika za

cijelo administrativno područje Grada Zagreba iznosi 1.201 stanovnika/km² može se zaključiti kako je u slučaju područja istraživanja riječ o relativno gusto naseljenom području Grada Zagreba (tablica 3.1).

Tablica 3.1 Podaci o stanovništvu prema popisu stanovništva iz 2021. godine (Državni zavod za statistiku, 2022)

Četvrt	Površina (km ²)	Broj stanovnika	Gustoća stanovnika (stan./km ²)
Črnomerec	24	38.131	1.589
Gornji Grad – Medveščak	10	26.325	2.633
Podsljeme	60	19.033	317
Grad Zagreb	641	769.944	1.201

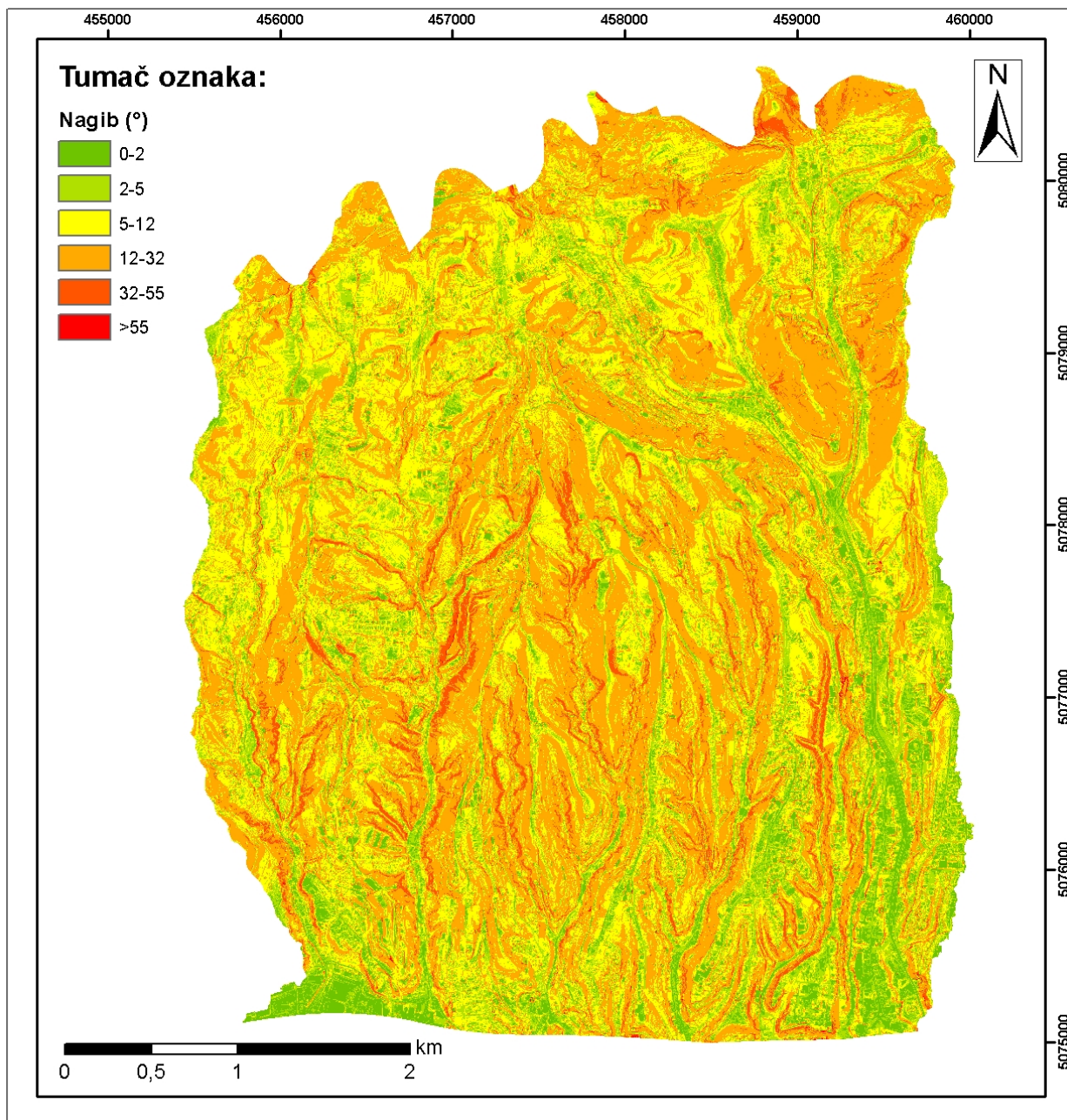
3.2 Geomorfološke značajke

Grad Zagreb smješten je na kontaktu dviju velikih makrogeomorfoloških regija, gorsko-zavalskog područja SZ Hrvatske i zavale SZ Hrvatske. Gorsko-zavalsko područje SZ Hrvatske podijeljeno je na tri subgeomorfološke regije, a to su Gorski hrbat Medvednice te JZ i SZ predgorska stepenica (Bognar, 2001). Zavalu SZ Hrvatske sačinjavaju mezogeografske regije, nizina rijeke Save te Vukomeričke gorice sa zavalom Crna Mlaka. Složeni geomorfološki razvoj reljfa na području Grada Zagreba posljedica je geotektonskog položaja grada, a rezultiralo je prepoznatljivim morfostrukturnim i morfogenetskim obilježjima. Područje istraživanja za koje su provedene prostorne analize podložnosti na klizanje dio je veće geomorfološke cjeline, II predgorske stepenice Medvednice. Geomorfološka obilježja prostora istraživanja veoma su slična, gotovo i reprezentativna za cijelu podsljemensku urbanu zonu Grada Zagreba. Osim geomorfoloških obilježja, područje istraživanja je također sličnog stupnja izgrađenosti te geoloških i hidroloških uvjeta. Navedeno omogućuje primjenu rezultata ovog diplomskog rada na šire podsljemensko područje Grada Zagreba.

Analizom karte nagiba terena (prostorne rezolucije 1m) područja istraživanja izvedene iz DMT-a visoke rezolucije (slika 3.3) ustanovljeno je da na području istraživanja prevladava teren čiji je raspon kuteva nagiba 12-32°. Ova klasa nagiba prekriva površinu od 8,9 km² te je kategorizirana kao jako nagnuti teren prema IGU (1968). Zatim slijedi nagnuti teren, raspon kuteva nagiba je 5-12° i pokriva površinu od 6,37 km². Blago nagnuti teren prekriva 3,04 km², ovu kategoriju čine padine čiji je raspon kuteva nagiba 2-5°. Kategoriju ravnice čine padine raspona nagiba 0-2°, a njihova površina na području istraživanja iznosi 1,60 km². Zatim slijedi kategorija vrlo strmih terena, njihova površina je 1,16 km², a obuhvaćaju teren čiji je kut nagiba 32-55°. U kategoriju strmaca i litica ulazi teren čiji je nagib veći od 55°, a na području istraživanja on je predstavljen najmanjom površinom koja iznosi 0,09 km² (tablica 3.2).

Tablica 3.2 Kategorizacija padina područja istraživanja (IGU, 1968) s obzirom na kut nagiba terena

Klasa nagiba (°)	Površina (km ²)	Udio (%)	Kategorizacija padine
0-2	1,60	7,59	ravnica
2-5	3,04	14,41	blago nagnuti teren
5-12	6,37	30,20	nagnuti teren
12-32	8,90	42,20	jako nagnuti teren
32-55	1,16	5,50	vrlo strmi teren
>55	0,02	0,09	strmci/litice



Slika 3.3 Karta raspodjela nagiba terena područja istraživanja

3.3 Geološke značajke

Informacije i podaci o geološkoj građi istraživanog područja dobiveni su digitalizacijom OGK, lista Zagreb (M 1:100.000) (Šikić et al., 1972) te na temelju podataka pripadnog tumača (Šikić et al., 1979). Korištena geološka karta predstavlja kronostratigrafsku kartu na kojoj su pojedine jedinice podijeljene s obzirom na geološku starost.

Slijed kronostratigrafskih jedinica na istraživanom području od starijih prema mlađima jest: naslage silur- karbon, naslage gornjeg badena, naslage donjeg sarmata, naslage donjeg panona, naslage gornjeg panona, naslage donjeg pontaa, naslage gornjeg pontaa, naslage pliokvartara, te naslage holocenskog proluvija i holocenskog aluvija.

S obzirom na udio u ukupnoj površini na istraživanom području najzastupljenija je kronostratigrafska jedinica pliokvartara s 46,05 % (odnosno površinom 9,71 km²), zatim slijede naslage gornjeg pontaa s 29,28 % (6,71 km²), naslage donjeg pontaa s 8,5 % (1,79 km²), naslage gornjeg panona s 8,16 % (1,72 km²), naslage gornjeg badena s 3,06 % (0,65 km²), holocenski proluvij s 2,50 % (0,53 m²), holocenski aluvij s 1,39 % (0,29 km²), naslage donjeg panona s 0,77 % (0,16 km²), naslage silur- karbon s 0,28% (0,06 km²) te naslage donjeg sarmata s 0,02 % (3.580 m²).

U daljnjem tekstu dan je sažet opis navedenih naslaga od geološki starijih jedinica prema mlađim u skladu s tumačem OGK (M 1:100.000) lista Zagreb (Šikić et al.,1979). Slika 3.4 prikazuje geološki stup naslaga, odnosno kronostratigrafskih jedinica područja istraživanja.

Naslage silur-karbon (Pz) izgrađuju starije stijene niskog stupnja metamorfizma, odnosno zeleni škriljavci te mlađi ortometamorfiti slijeda gabro-dioritskih stijena.

Slijed naslaga gornjeg badena (M⁴) najčešće čine transgresivne naslage breča i konglomerata, plitkovodni vapnenci (bioklastični litavci do biokalkareniti) te dubljevodni glinoviti i pjeskoviti lapori. Debljina navedenih naslaga varira od 100 do 250 m.

Naslage donjeg sarmata (M₆) izgrađuju dobro uslojeni do laminirani klastiti, odnosno pješčenjaci i lapori te laporoviti vapnenci s tankim proslojcima pijeska i ugljevitih glina nastalih regresivnim ciklusom sedimentacije.

Naslage donjeg panona (M₆¹) čine izmijene lapora i laporovitih vapnenaca koji konkordantno nalježu na naslage sarmata pri čemu debljina naslaga ne prelazi 80m.

Naslage gornjeg panona (M₆²) kontinuirano su taložene na donjopanonskim naslagama, a izgrađuju ih svjetlosivi i žućkastosivi lapori. Udio vapnenačkih lapora najveći je u baznom

dijelu slijeda i pada naviše, dok udio glinovitih lapora raste. Debljina naslaga gornjeg panona varira od 150 do 300 m.

Naslage donjeg pontaa (M_7^1) čine slabouslojeni lapori s većim ili manjim udjelima glinene komponente s izmjenama sitnih do vrlo sitnih pijesaka čija učestalost raste prema vrhu. Naslage su sive do sivozelene boje, a debljina im varira od 80 do 150 m.

Naslage gornjeg pontaa (M_7^2) istovjetne su *Rhomboida* naslagama, a izgrađuju ih glinovito-pjeskoviti lapori i gline u baznom dijelu. Prijelaz u mlađe naslage ove jedinice prepoznaje se po slabo vezanim do nevezanim glinovitim pijescima i prahovima. Debljina opisanih naslaga varira od 100 do 400 m.

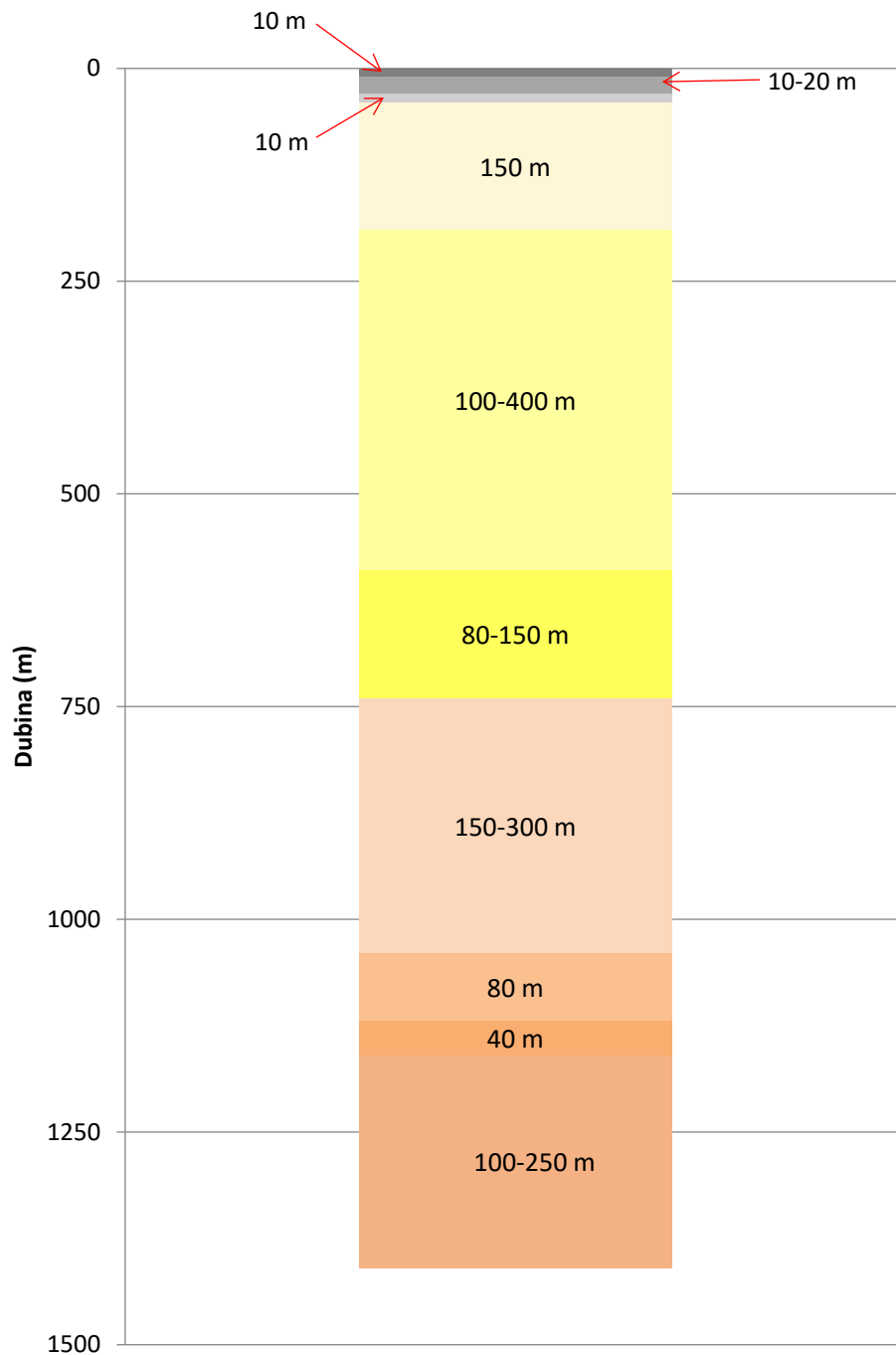
Jedinica pliokvartara (Pl,Q) izdvojena u okviru ovog diplomskog rada objedinjuje naslage pliocena i pliokvartara. Navedenu jedinicu čini izmjena glina, prahova, pijeska i sitnozrnog šljunka pliocenske starosti, te pliokvartarne gline, prahovi, pijesci i šljunci. Debljina naslaga iznosi oko 150 m.

Naslage holocenskog proluvija (prQ₂) razvijene su u obliku naplavina nekadašnjih bujičnih tokova, u vidu zaobljenih krupnozrnatih šljunaka koji su pomiješani s pijeskom i glinom. Debljina naslaga ne prelazi 10 m.

Naslage holocenskog aluvija izgrađuju krupnozrni šljunci i pijesci druge savske terase (a₂Q₂) te šljunci i pijesci recentnih tokova (aQ₂). Kumulativna debljina navedenih naslaga je od 20 do 30 m.

Geološki stup kronostratigrafskih jedinica područja istraživanja

- Tumač oznaka:
- Aluvij recentnih tokova (aQ2)
 - Aluvij druge terase (a2Q2)
 - Proluvij (prQ2)
 - Pliokvartar (Pl,Q)
 - Gornji pont (M72)
 - Donji pont (M71)
 - Gornji panon (M62)
 - Donji panon (M61)
 - Donji sarmat (M6)
 - Gornji baden (M42)



Slika 3.4 Geološki stup kronostratigrafskih jedinica područja istraživanja (prema Šikić et al., 1972)

3.4 Postojeće karte klizišta u Gradu Zagrebu

Za područje Grada Zagreba postoji četiri inventara klizišta, od kojih najstariji datira unazad 50-ak godina. Taj prvi inventar klizišta Grada Zagreba izrađen je u okviru studije „*Inženjerska geologija Zagreb – sjever i jug*“ (Šikić,1967). Navedena karta klizišta rezultat je terenskih kartiranja te obuhvaća površinu od oko 125 km². U okviru izrade inventara vršena je klasifikacija klizišta na aktivna, umirena, fosilna te su izdvojeni odroni kao zasebna vrsta procesa klizanja. Ukupno je izdvojeno 535 pojedinačnih pojava klizišta i zona klizanja, a prosječna gustoća iznosi 4,3 klizišta/km². Ovaj inventar klizišta također prikazuje i izdvojene zone u kojima se pojavljuje intenzivna linijska erozija (jaruge).

Sljedeća karta klizišta izrađena je 1979. godine u okviru studije „*Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti*“ (Polak et al., 1979). Studiju je izradila tvrtka Geotehnika-Geoxpert d.o.o. Rezultat studije su dvije karte klizišta u mjerilu 1:10.000. Litološka karta s prikazom klizišta i drugih aktivnih geomorfoloških procesa te karta zoniranja terena prema podložnosti na klizanje. Inventar klizišta prikazuje područje ukupne površine 105 km² na kojem je registrirano 1.019 pojava, od kojih klizišta čine 812, siparišta 58 dok se ostale pojave odnose na druge aktivne geomorfološke procese. Na temelju toga relativna gustoća klizišta iznosi 9,7 klizišta/km². Karte su izrađene na temelju rezultata terenskih kartiranja, daljinskih istraživanja i interpretacije postojećih podataka.

Kartu inventara klizišta iz 2007. godine izradio je Hrvatski geološki institut (HGI) u okviru studije „*Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske urbanizirane zone u mjerilu 1:5.000, DIGK – Faza I*“ (Miklin et al., 2007). Kartom klizišta obuhvaćeno je područje površine 175 km² na kojem je na temelju terenskih kartiranja registrirano 707 pojava. Pojave klizišta su klasificirane na temelju mehanizma klizanja na klizišta (u užem smislu riječi), pužišta do klizišta, klizišta do tecišta, odrone, pužišta i pojave nedefiniranog tipa. Također je vršeno definiranje i klasifikacija stanja aktivnosti klizišta na aktivna, umirena, stabilizirana i potencijalna. U inventaru klizišta prikazane su samo granice onih klizišta za koja su prethodno provedena detaljna geotehnička istraživanja, dok su druga prikazana u okviru nestabilnih zona.

Sljedeća karta klizišta Grada Zagreba izrađena je 2014. godine u okviru istraživanja za doktorsku disertaciju pod naslovom „*Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice*“ (Podolzski,2014). U okviru ovog istraživanja izrađena su dva inventara klizišta. Inventari su izrađeni na temelju vizualne analize stereoparova aviosnimaka, a korištene su aviosnimke iz 1964. i 1998. godine. Inventar klizišta

izrađen na temelju stereoparova aviosnimaka iz 1964. godine pokriva površinu od 54,14 km² i prikazuje 963 klizišta što daje relativnu gustoću od 17,8 klizišta/km². Dok inventar izrađen na temelju stereoparova aviosnimaka iz 1998. godine pokriva područje površine 99,79 km² i prikazuje 1.229 klizišta što daje relativnu gustoću klizišta od 12,3 klizišta/km². Istraživanjem je vršena i klasifikacija pouzdanosti identifikacije klizišta na temelju analitičkog hijerarhijskog procesa i mogućnosti proširenja klizišta.

Posljednja karta inventara klizišta Grada Zagreba izrađena je 2019. godine u okviru doktorske disertacije pod naslovom „*Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnog modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba*“ (Bernat Gazibara, 2019). Navedeni inventar klizišta izrađen je interpretacijom LiDAR-skih podataka snimjenih na istom području istraživanja za koje su u okviru ovog diplomskog rada izvedene prostorne analize podložnosti na klizanje. Doktorska disertacija uključivala je usporedbu inventara klizišta dobivenog vizualnom interpretacijom DMT-a visoke rezolucije i postojećih inventara klizišta podsljemenske zone Grada Zagreba. Opći podaci o navedenom inventaru dani su u poglavlju 5.1 ovog diplomskog rada, a detaljniji u navednoj disertaciji.

4. METODE ISTRAŽIVANJA

U izradi ovog diplomskog rada korištene su dvije kvantitativne bivarijantne statističke metode za analizu težinskih faktora i određivanje težinskih vrijednosti pojedinih klasa faktora klizanja. To su bile metoda *Weight of Evidence* prema Van Westen et al. (2002) te metoda informacijske vrijednosti (*eng. Information Value method*) prema Yin i Yan (1988).

Navedenim metodama analizirani su faktori klizanja tako da se kombinaciji faktora, za koje se smatra da su predstavljali preduvjete klizanja u prošlosti, dodjeljuju težinske vrijednosti na osnovi rezultata statističkih analiza. Ove metode još se nazivaju i metodama koje se temelje na podacima (*engl. „data-driven methods“*) jer se podaci o postojećim klizištima u vidu inventara, koriste kako bi se dobile informacije o relativnoj važnosti pojedinih faktorskih karata preduvjeta klizanja i njihovih pojedinih klasa.

4.1 Metoda *Weight of Evidence*

Općeniti shematski prikaz postupka izrade karte podložnosti na klizanje prema Van Westen et al. (2002) prikazan je na slici 4.1. Prema ovom postupku, svaka faktorska karta se preklapa s kartom inventara klizišta kako bi se utvrdila učestalost pojavnosti klizišta u svakoj pojedinoj klasi svih faktora klizanja. Uspoređivanjem gustoće klizišta u klasama faktora s gustoćom klizišta na cijelom istraživanom području određuje se relativan utjecaj promatranog faktora klizanja. Nakon izračunatih gustoća primjenom različitih metoda određuju se vrijednosti težinskih faktora (Coe et al., 2004).

Metoda *Weight of Evidence* razvijena je od strane Kanadskog geološkog instituta (Agterberg et al., 1990), a osmišljena je za kartiranje potencijala mineralnih sirovina. Dok je Sabto (1991) prvi primijenio ovu metodu za prostornu analizu hazarda klizanja.

Metoda *Weight of Evidence* veoma je jednostavna za izvedbu u GIS-u, a u tablici 4.1 prikazane su korištene varijable na temelju kojih je proveden izračun vrijednosti težinskih faktora. Prikazane varijable predstavljaju četiri moguće kombinacije koje su produkt preklapanja karte inventara klizišta s kartom faktora klizanja (Van Westen et al., 2002).

Tablica 4.1 Dezinacija varijabli korištenih u *Weight of Evidence* metodi (prema Van Westen et al., 2002)

Varijabla (piksel)	Klizište		Zavisna varijabla	
	prisutno	nije prisutno	prisutna	nije prisutna
<i>Npix₁</i>	✓		✓	
<i>Npix₂</i>	✓			✓
<i>Npix₃</i>		✓	✓	
<i>Npix₄</i>		✓		✓

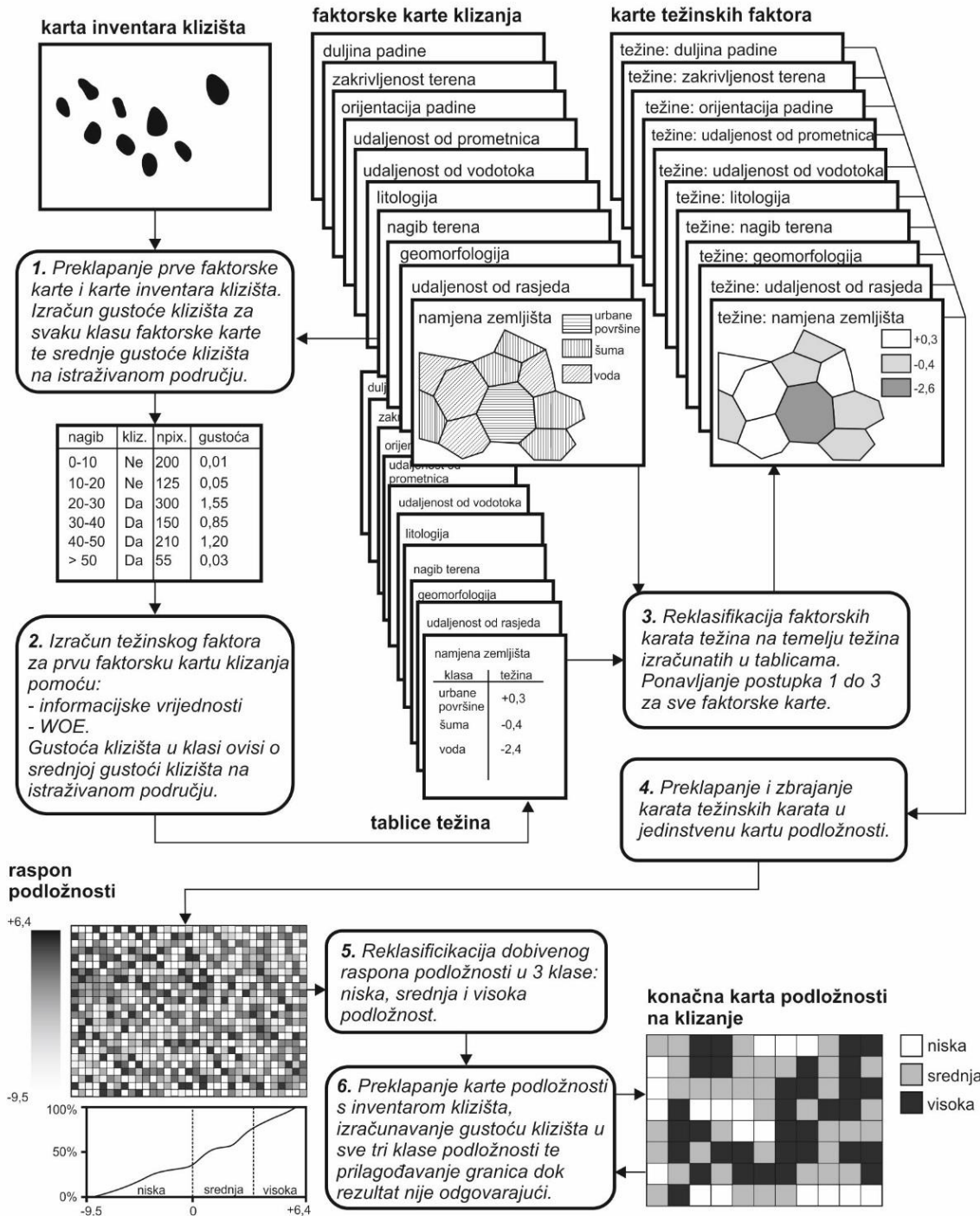
Navedene varijable dalje su korištene u formulama kako slijedi:

$$W_i^+ = \log_e \frac{\frac{Npix_1}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_3}{Npix_3 + Npix_4}} \quad (4.1)$$

$$W_i^- = \log_e \frac{\frac{Npix_2}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_4}{Npix_3 + Npix_4}} \quad (4.2)$$

$$W_{map} = W_i^+ + W_i^- + \Sigma W_i^- \quad (4.3)$$

Bivarijantna statistička analiza



Slika 4.1 Pojednostavljeni dijagram toka izrade karte podložnosti na klizanje primjenom bivarijantne statističke metode (prema Van Westen et al., 2002; preuzeto iz Bernat Gazibara, 2019)

4.2. Metoda informacijske vrijednosti

Metoda informacijske vrijednosti predstavlja jednostavnu metodu bivarijantne statističke analize koju su razvili Yin i Yan (1988). Analiza se temelji na jednostavnoj jednadžbi koja izračunava informacijsku vrijednost W_i za varijablu X_i prema formuli:

$$W_i = \log \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S}{N}} \quad (4.4)$$

gdje je S_i - broj jedinica površine ili piksela klizišta u varijabli (klasi faktora klizanja) X_i ; N_i - broj jedinica površine ili piksela varijable (klase faktora klizanja) X_i ; S - ukupan broj jedinica površine ili piksela klizišta područja istraživanja; N - ukupan broj jedinica površine ili piksela područja istraživanja.

4.3 Metoda verifikacije primjenom ROC krivulje

Nakon što su izrađene karte podložnosti na klizanje za pojedine scenarije, pristupilo se verifikaciji dobivnih modela primjenom ROC krivulje. Verifikacija modela uključivala je određivanje stupnja točnosti i stupnja predikcije dobivenih modela podložnosti na klizanje. Navedeni parametri izračunati su i prikazani pomoću ROC (*engl. Receiver Operator Characteristic*) krivulje.

ROC krivulja predstavlja grafički prikaz osjetljivosti u odnosu na 1-specifičnost, to jest lažno pozitivnu stopu za svaku graničnu vrijednost testa vrijednosti. Točnost modela smatra se višom što se ROC krivulja više približava gornjem lijevom kutu grafa, a nižom što se krivulja više približava dijagonali, pri čemu dijagonala odgovara slučajnom testu. Mjera za određivanje točnosti, odnosno predikcije modela pomoću ROC krivulje jest površina ispod ROC krivulje, poznata kao i AUC vrijednost (Tokić, 2017).

Površina ispod ROC krivulje (*engl. area under ROC curve, AUC*) predstavlja mjeru za određivanje učinkovitosti nekog klasifikatora i odgovara vjerojatnosti da će klasifikator rangirati slučajno odabrani pozitivni primjer višim nego će rangirati slučajno odabrani negativni primjer, uz pretpostavku da pozitivni primjeri imaju viši rang. Površina AUC jednaka je vrijednosti 1 (odnosno 100%) ako se radi o idealnom klasifikatoru, ako je vrijednost jednaka 0,5 (odnosno 50%) riječ je o slučajnom klasifikatoru (nasumično određivanje), a ako je vrijednost jednaka 0 (odnosno 0%) , tada klasifikator ne razaznaje odnose varijabli (Tokić, 2017).

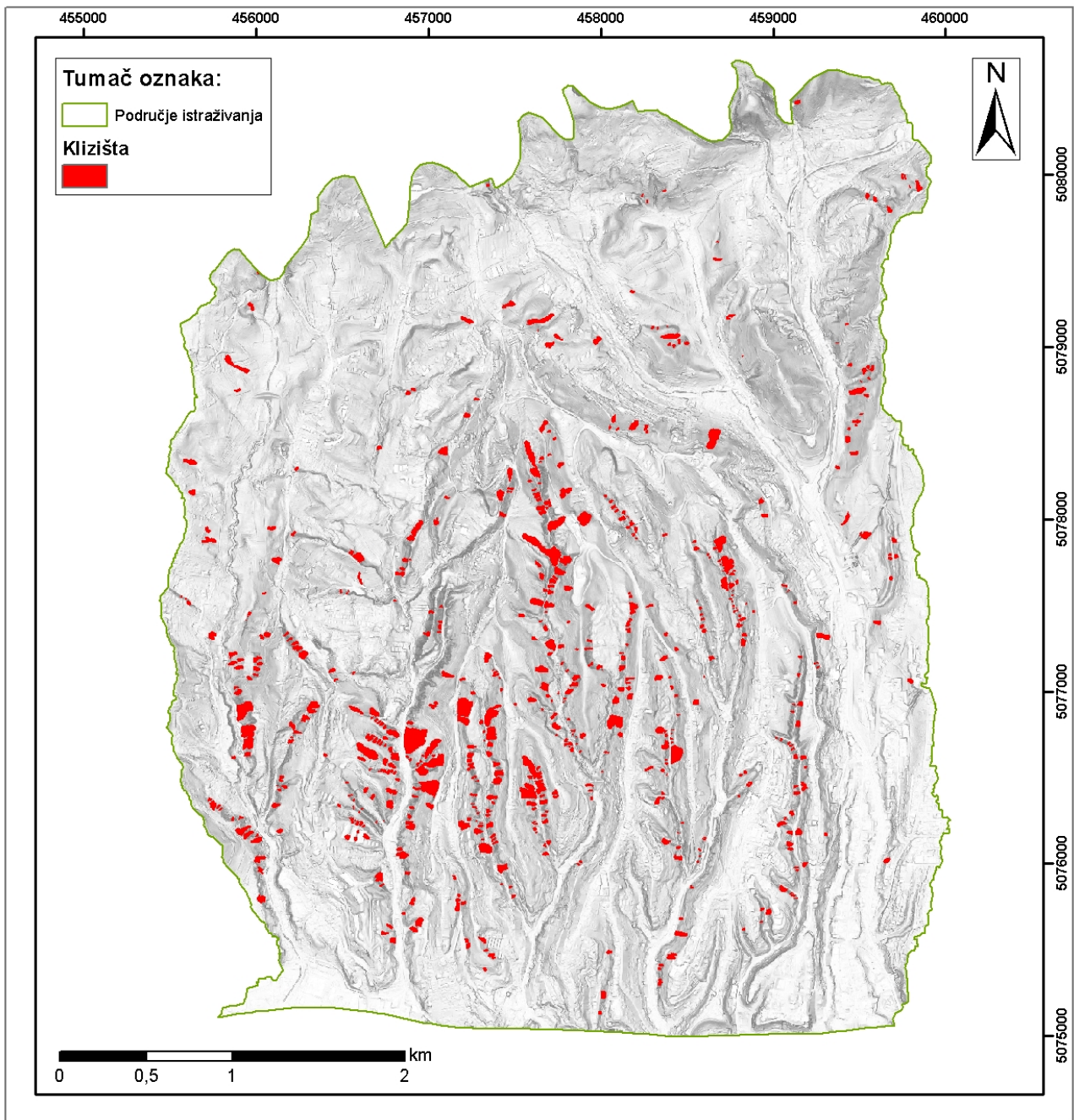
5. ULAZNI PODACI

U ovom poglavlju opisan je način na koji je izrađen inventar klizišta korišten u prostornim analizama podložnosti na klizanje, kao i ulazni podaci koji su korišteni za izradu pojedinih faktorskih karata kao i postupci njihove obrade.

5.1 Inventar klizišta

Inventar klizišta korišten u prostornim analizama podložnosti na klizanje izrađen je u okviru svoje doktorske disertacije Bernat Gazibara (2019) pod naslovom „*Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnog modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba*“. LiDAR-ski podaci snimljeni su u prosincu 2013. godine. Obradom snimljenih podataka izveden je digitalni model terena visoke rezolucije (0,3 x 0,3 m). Karta inventara klizišta izrađena je na temelju interpretacije morfometrijskih karata izvedenih iz LiDAR DMT-a. Morfometrijske karte korištene u vizualnoj identifikaciji klizišta izvedene su iz digitalnog modela terena, a bile su: karta osjenčanosti terena, karta nagiba terena i karta slojnica ekvidistancije 0,5 m. U kombinaciji s izvedenim morfometrijskim kartama, u vizualnoj identifikaciji klizišta, korištene su ortofoto snimke (DOF) iz 2012. godine i Google Earth satelitske snimke iz rujna 2012. godine i kolovoza 2013. godine. Sama identifikacija klizišta temeljila se na prepoznavanju specifičnih morfoloških oblika na površini terena, nastalih uslijed aktivacije klizišta (strme i konkavne glavne pukotine; nožice klizišta specifičnog konveksnog oblika; te nepravilne morfologije samog klizišta). Utvrđeno je da su sve kartirane pojave nestabilnosti nastale isključivo procesom klizanja

Ukupno je okontureno 709 pojava klizišta, pri čemu je kartiranje vršeno u mjerilu 1:100 kako bi se osigurala što veća preciznost iscrtavanja granica klizišta. Kako površina istraživanog područja iznosi 21 km², prosječna gustoća klizišta po jedinici površine iznosi 33,8 klizišta/km². Slika 5.1 prikazuje potpuni inventar klizišta područja istraživanja u mjerilu 1:30.000.



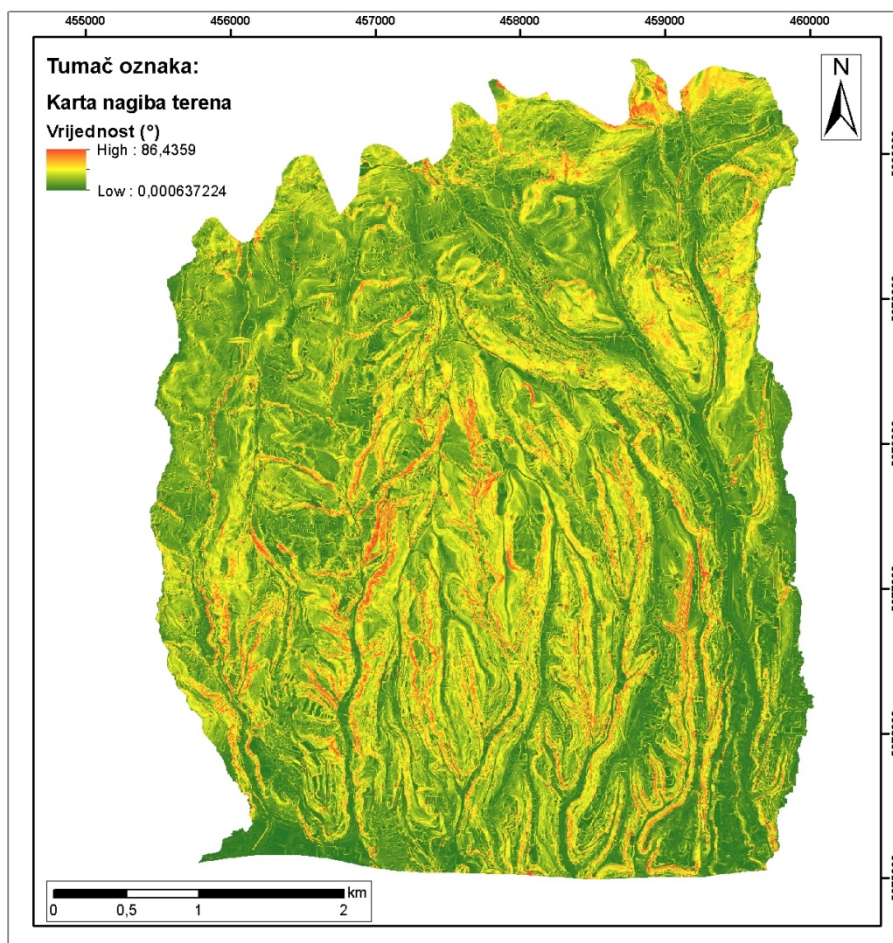
Slika 5.1 Inventar klizišta istraživanog područja mjerila 1:30.000

5.2 Ulazni podaci za faktorske karte

Kao ulazni podaci za izradu faktorskih karata nagiba terena, vertikalne raščlanjenosti i drenažne mreže korišten je DMT visoke rezolucije dobiven laserskim skeniranjem iz zraka. Kao ulazni podaci za izradu faktorskih karata kronostratigrafskih jedinica i udaljenosti od geoloških granica, korištena je OGK M 1:100.000, list Zagreb (Šikić et al., 1972). Kao ulazni podatak za izradu faktorske karte namjene zemljišta prema tipu pokrova korišten je vektorski seta podataka preuzetih od Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba. Obrada ulaznih podataka odrađena je korištenjem softvera *ESRI ArcGIS 10.1*.

5.2.1 Karta nagiba terena

Tematska karta nagiba terena izvedena je iz DMT-a visoke rezolucije korištenjem skupine alata *Spatial Analyst*, odnosno naredbe *Slope*. Slika 5.2 prikazuje prostorni raspored kuteva nagiba terena za prostornu rezoluciju 1 m. Ukupno je izvedeno tri tematske karte nagiba terena čija prostorna rezolucija odgovara prostornim rezolucijama predviđenim pojedinim scenarijima za analizu podložnosti na klizanje.



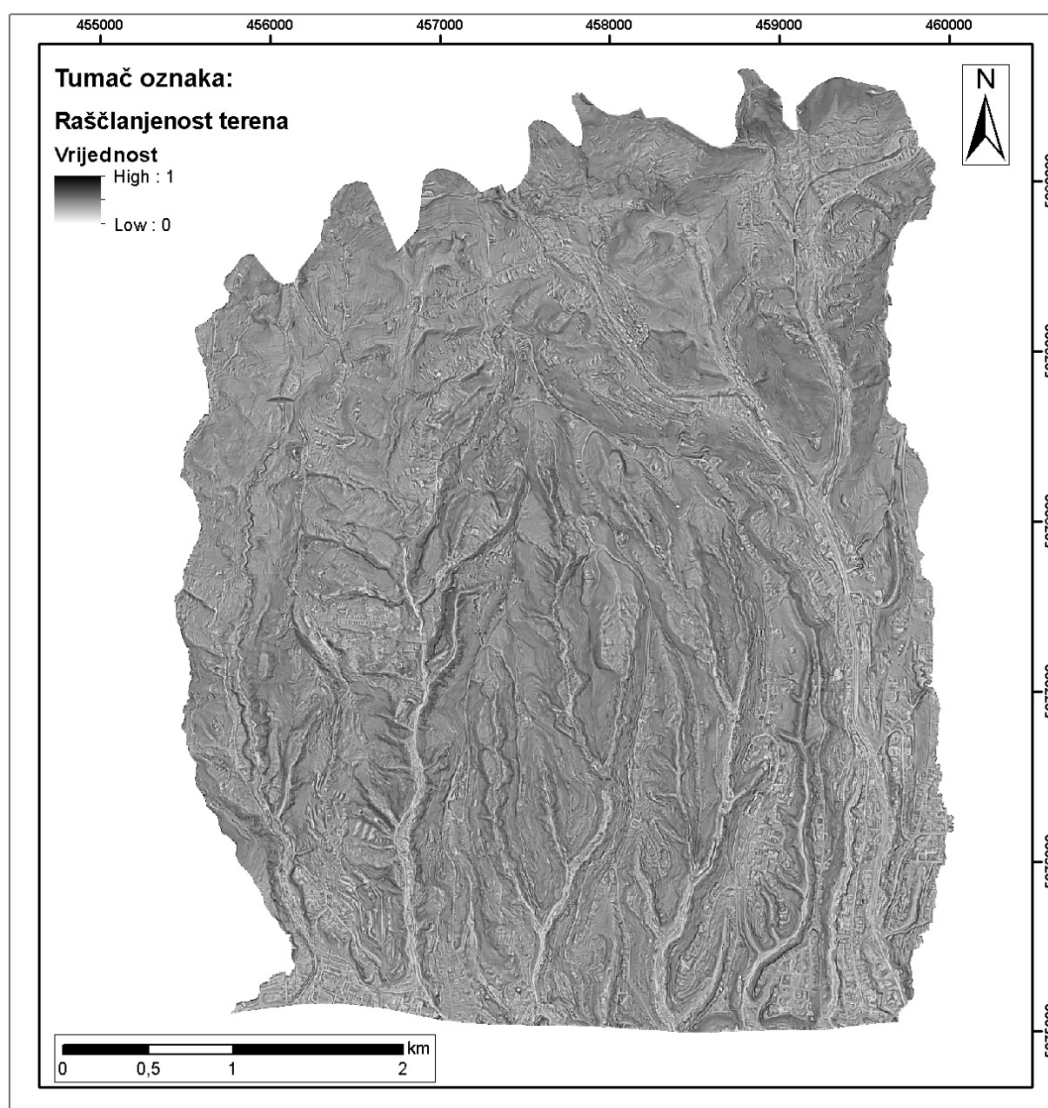
Slika 5.2 Tematska karta nagiba terena istraživanog područja prostorne rezolucije 1 m

Tablica 5.1 Tematske karte nagiba terena s prikazom maksimalnih vrijednosti nagiba pojedinih prostornih rezolucija

Tematska karta	Rezolucija	Maksimalna vrijednost nagiba (°)
slp_1	1 m	86,44
slp_2	2 m	81,21
slp_5	3 m	76,34

5.2.2 Karta raščlanjenosti terena

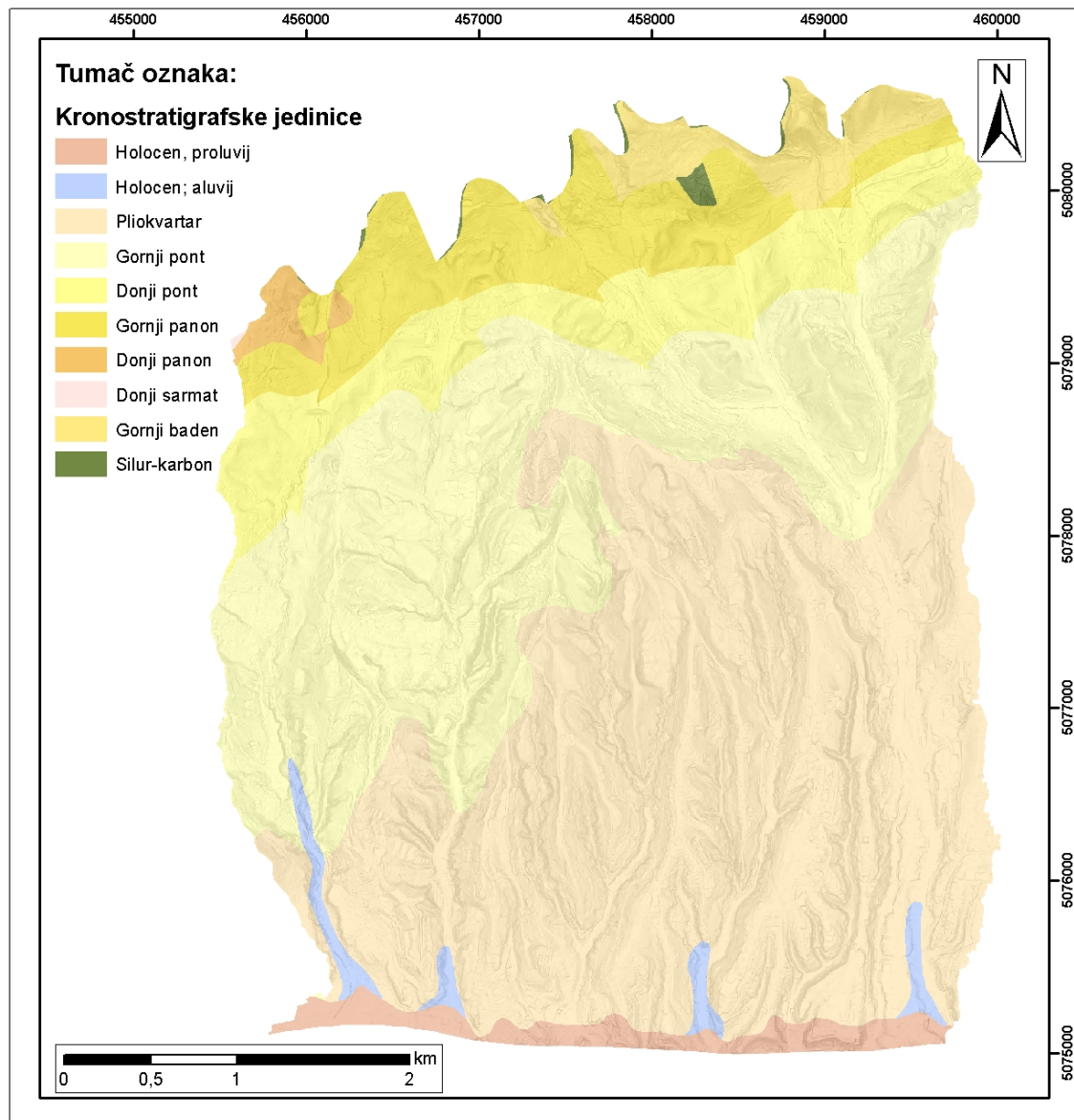
Tematska karta raščlanjenosti terena također je dobivena računalnom obradom DMT-a visoke rezolucije kao i prethodna tematska karta. Za izradu karte raščlanjenosti terena korištena je skupina alata *Geomorphometry and Gradient Metrics*, odnosno naredbe *Dissection*. Ukupno je izvedeno tri tematske karte raščlanjenosti terena za prostorne rezolucije predviđene scenarijima. Donji prikaz (slika 5.3) prikazuje tematsku kartu raščlanjenosti terena za prostornu rezoluciju 1 m.



Slika 5.3 Tematska karta raščlanjenosti terena istraživanog područja prostorne rezolucije 1 m

5.2.3 Karta kronostratigrafskih jedinica OGK

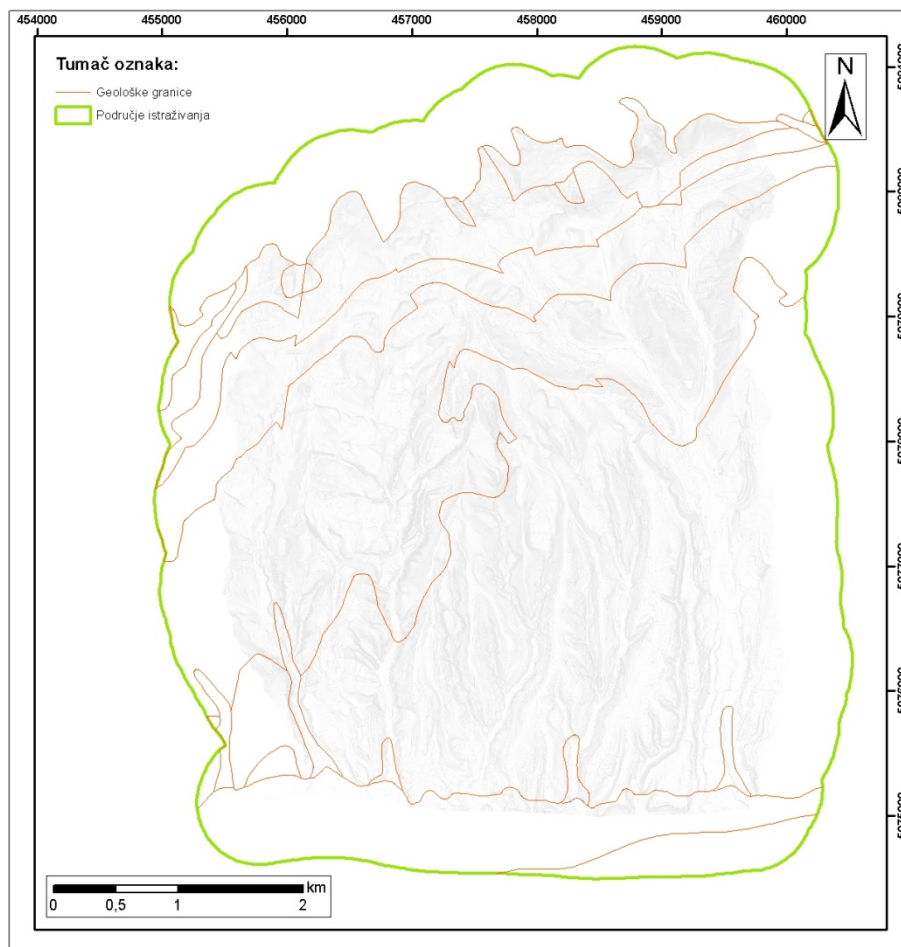
Tematska karta kronostratigrafskih jedinica dobivena je digitalizacijom dijela OGK M 1:100.00, lista Zagreb (Šikić et al., 1972) koji pokriva područje istraživanja. Nakon digitalizacije i izdvajanja pojedinih jedinica svakom poligону u atributnoj tablici dodana je oznaka koja označava kronostratigrafsku pripadnost. Ukupno je izdvojeno 10 kronostratigrafskih jedinica. Slijed jedinica od starijih prema mlađim je: silur-karbon, gornji baden, donji sarmat, donji panon, gornji panon, donji pont, gornji pont, pliokvartar, holocenski proluvij i holocenski aluvij. Slika 5.4 prikazuje prostorni raspored pojedinih kronostratigrafskih jedinica na području istraživanja. Navedena tematska karta izrađena je u vektorskom obliku (.shp).



Slika 5.4 Tematska karta kronostratigrafskih jedinica s OGK M 1:100.000, list Zagreb (Šikić et al., 1972)

5.2.4 Karta geoloških granica

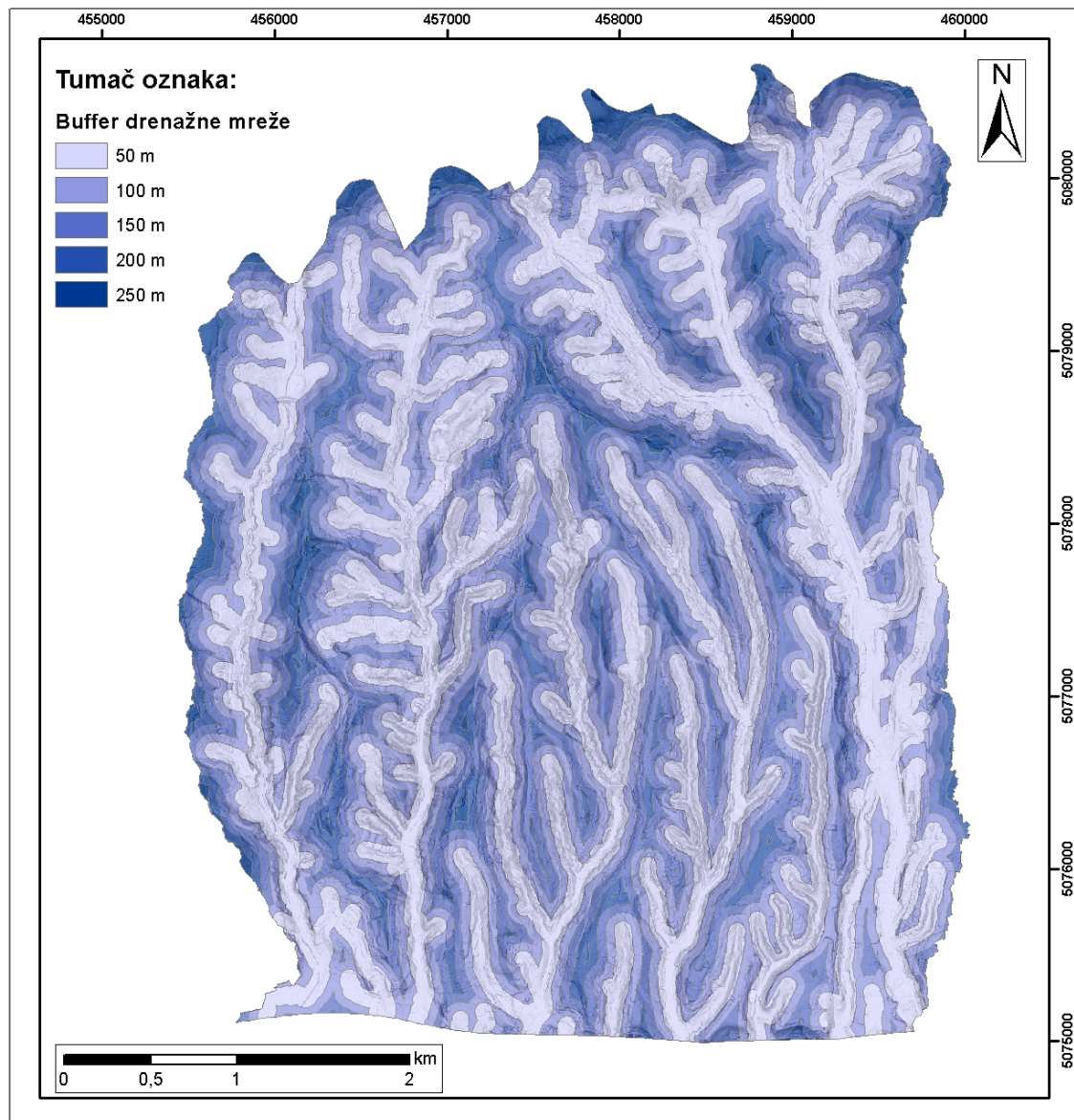
Kao i kod prethodne tematske karte, podloga tematske karte udaljenosti od geoloških granica također je dobivena digitalizacijom podataka s OGK M 1:100.000, lista Zagreb (Šikić et al.,1972). Digitalizirani su pojedini kontakti kronostratigrafskih jedinica, što obuhvaća normalne kontakte, transgresivne kontakte te normalne i reversne rasjede istraživanog područja. Slika 5.5 prikazuje prostorni raspored geoloških granica, a digitalizacijom je obuhvaćeno šire područje od područja istraživanja (buffer zona 500 m). Nakon što su izdvojene sve geološke granice na istraživanom području krenulo se u izradu karte buffer zona. Ukupno je korišteno 12 različitih udaljenosti za izradu tematske karte: 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m, 1000 m, 1100 m i 1300 m. Nakon što su izrađene karte buffer zona, naredbom *Union* su svedene na jednu čime je dobivena konačna karta koja je naredbom *Clip* obrezana prema obuhvatu. Navedena tematska karta također je izrađena u vektorskom obliku (.shp).



Slika 5.5 Tematska karta geoloških granica istraživanog područja s buffer zonom 500 m

5.2.5 Karta udaljenosti od drenažne mreže

Tematska karta drenažne mreže izvedena je iz DMT-a visoke rezolucije korištenjem skupine alata *Hidrology* u softveru *ArcGIS 10.1*. Iz LiDAR DMT-a izvučeni su svi vodotoci (stalni i povremeni) s područja istraživanja. Nakon što je dobiven vektorski sloj stalnih i povremenih vodotoka krenulo se u izradu karte buffer zona udaljenosti od vodotoka. Ukupno je korišteno 5 različitih udaljenosti: 50 m, 100 m, 150 m, 200 m i 250 m. Dobivene karte buffer zona udaljenosti od vodotoka zajedno su preklopljene korištenjem naredbe *Union*, a obrezivanje je izvedeno po obuhvatu istraživanog područja korištenjem naredbe *Clip*. Tako je dobivena konačna tematska karta udaljenosti od drenažne mreže u vektorskom obliku (.shp) (slika 5.6).



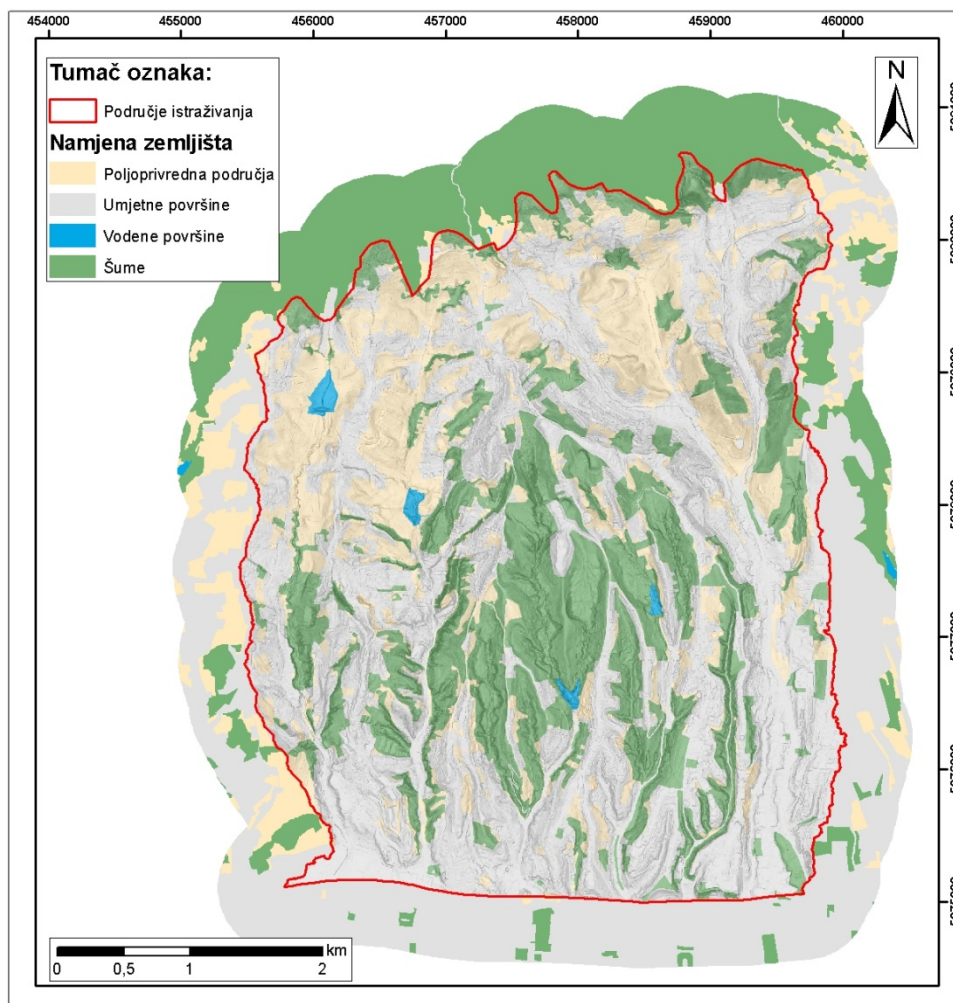
Slika 5.6 Tematska karta stalnih i povremenih površinskih tokova s buffer zonama

5.2.6 Karta namjene zemljišta prema tipu pokrova

Tematska karta namjene zemljišta prema tipu pokrova dobivena je na temelju vektorskog seta podataka preuzetih od Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba iz 2011. godine koji se odnose na stvarno korištenje zemljišta. Kategorizacija podataka izvedena je po prvom stupnju podijele na umjetne površine, poljoprivredne površine, vodene površine i šume korištenjem naredbe *Merge* (slika 5.7). Nakon kategorizacije izvedena vektorska karta je zatim obrezana naredbom *Clip* prema obuhvatu istraživanog područja. Iznosi površina pojedinih klasa i njihov udio u ukupnoj površini istraživanog područja prikazan je u tablici 5.2.

Tablica 5.2 Površine pojedinih klasa tipa pokrov i udjeli u ukupnoj površini područja istraživanja

Tip pokrova	Površina (km ²)	Udio u ukupnoj površini (%)
Umjetne površine	10,49	49,75
Poljoprivredne površine	4,57	21,66
Vodene površine	0,11	0,53
Šume	5,92	28,06



Slika 5.7 Tematska karta namjene zemljišta prema tipu pokrova

6. ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

6.1 Karte klizišta

Prostorna analiza podložnosti na klizanje provedena je korištenjem tri različite vrste geometrijskog prikaza klizišta i tri različite prostorne rezolucije. Jedna vrsta prikaza karte klizišta bila je pomoću poligona, gdje je svako klizište prikazano granicama prostiranja. Druga vrsta prikaza karte klizišta bila je pomoću točaka, pri čemu su korištene dvije različite karte. Karta centroida klizišta na kojima je položaj klizišta označen točkom koja se nalazi u njegovu središtu te karta klizišta s točkama na glavnim pukotinama. Klizišta na kartama poligona, centroida i točaka na glavnim pukotinama prije obrade su podijeljena na dva približno jednaka dijela (prema broju i prostornoj raspodijeli klizišta) kako bi se omogućila analiza stupnja točnosti i predikcije modela pomoću ROC krivulje.

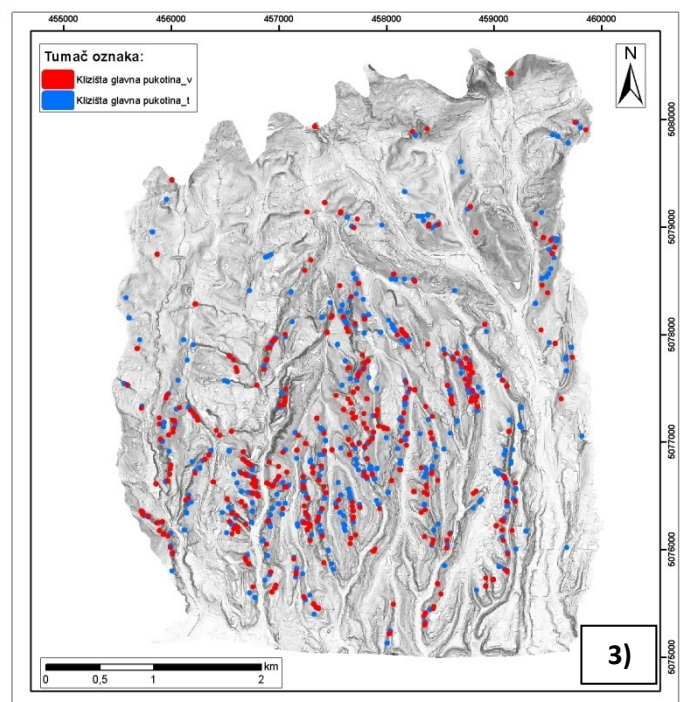
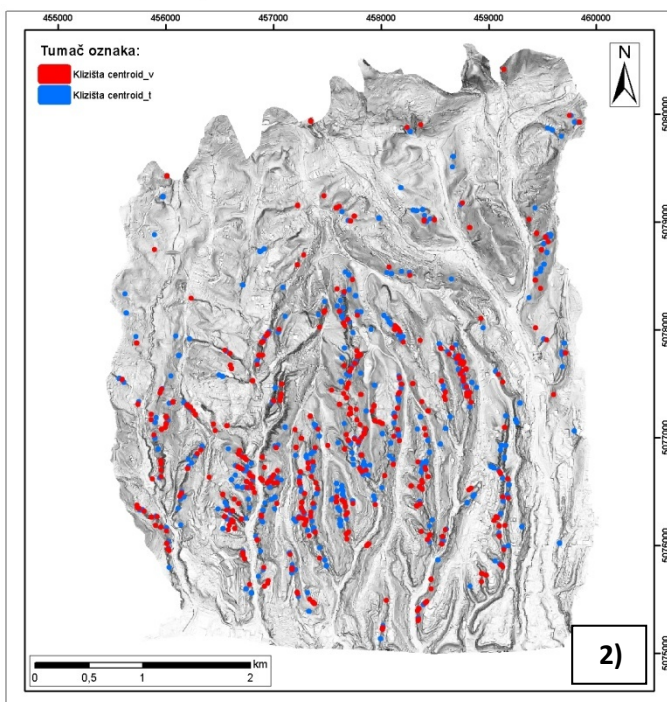
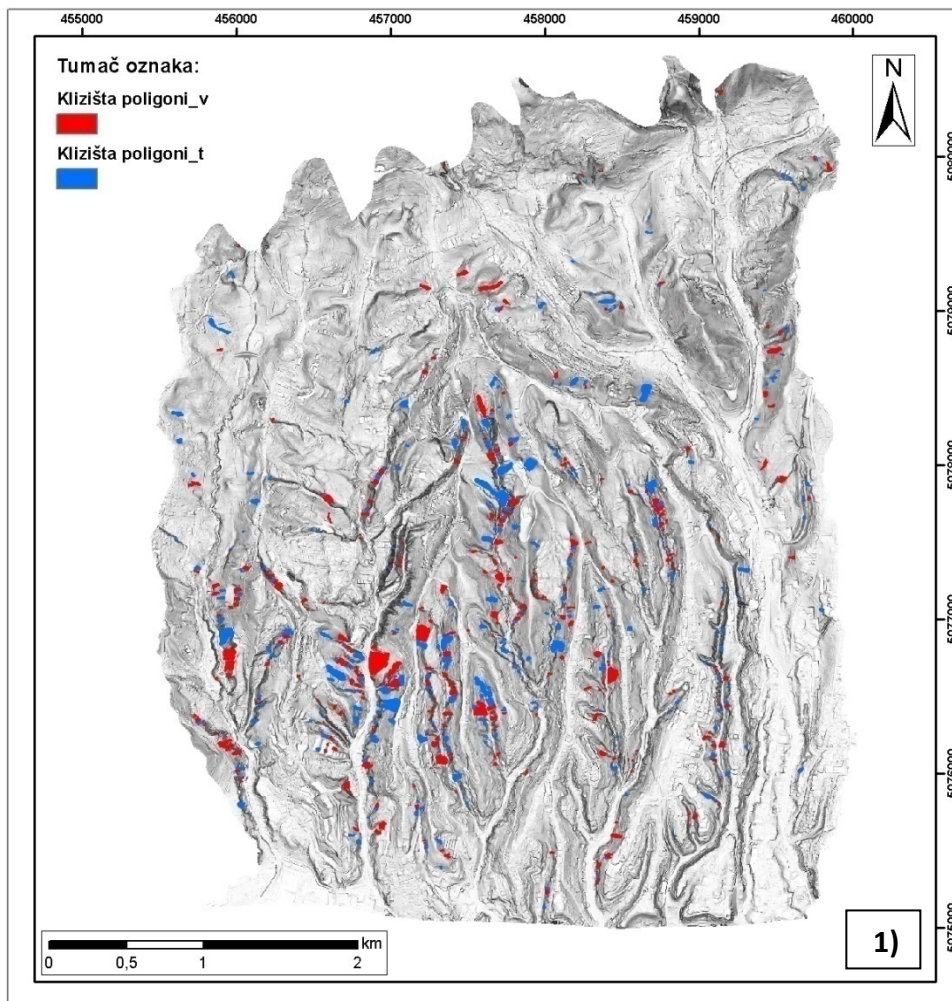
Navedene karte klizišta izvorno su u vektorskom obliku (ekstenzija *.shp*), a kako bi se mogle koristiti u analizama podložnosti na klizanje potrebna je njihova pretvorba u rasterski (*.tif*) binarni oblik (1-klizište; 0-okolni teren). Ovo je izvedeno pomoću naredbe *Polygon to Raster* iz grupe alata *Conversion Tools*. Veličina rasterskih ćelija definirana je unutar naredbe pod opcijom *Cellsize* kako bi odgovarale prostornim rezolucijama pojedinih scenarija i korištenih faktorskih karata (1 m, 2 m i 5 m). Osim osiguravanja ujednačenosti prostorne rezolucije nužno je osigurati i preklapanje jediničnih ćelija. Ovo je također izvedeno unutar naredbe *Polygon to Raster*, pod opcijom *Environment Settings* zatim *Processing Extent*. Unutar *Processing Extent* pod opcijom *Extent* odabran je obuhvat područja istraživanja, a pod opcijom *Snap Raster* odabrano je preklapanje po karti nagiba terena iste prostorne rezolucije. Ovim postupkom dobiveno je ukupno 18 karata klizišta. Karte klizišta s ekstenzijom *_t* korištene su za određivanje težinskih vrijednosti pojedinih klasa faktora klizanja i verifikaciju modela podložnosti pomoću analize ROC krivuljom, a karte klizišta s ekstenzijom *_v* korištene su za određivanje stupnja predikcije dobivenih modela.

Tablica 6.1 prikazuje nazive svih karata inventara klizišta korištenih u izradi modela podložnosti na klizanje i određivanju stupnja točnosti (verifikacije) ili predikcije izrađenih modela, vrstu geometrijskog prikaza klizišta, prostornu rezoluciju i primjenu navedene karte inventara.

Tablica 6.1 Popis karata klizišta s definiranim tipom prikaza, prostornom rezolucijom i primjenom

Naziv karte klizišta	Vrsta prikaza klizišta	Rezolucija	Primjena
<i>kliz_plg1_t</i>	poligon	1 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_plg1_v</i>	poligon	1 m	predikcija
<i>kliz_c1_t</i>	centroid	1 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_c1_v</i>	centroid	1 m	predikcija
<i>kliz_gp1_t</i>	točka glavna pukotina	1 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_gp1_v</i>	točka glavna pukotina	1 m	predikcija
<i>kliz_plg2_t</i>	poligon	2 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_plg2_v</i>	poligon	2 m	predikcija
<i>kliz_c2_t</i>	centroid	2 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_c2_v</i>	centroid	2 m	predikcija
<i>kliz_gp2_t</i>	točka glavna pukotina	2 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_gp2_v</i>	točka glavna pukotina	2 m	predikcija
<i>kliz_plg5_t</i>	poligon	5 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_plg5_v</i>	poligon	5 m	predikcija
<i>kliz_c5_t</i>	centroid	5 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_c5_v</i>	centroid	5 m	predikcija
<i>kliz_gp5_t</i>	točka glavna pukotina	5 m	modeliranje, verifikacija
<i>kliz_gp5_v</i>	točka glavna pukotina	5 m	predikcija

Slika 6.1 prikazuje mozaik karata klizišta prostorne rezolucije 1 m korištenih u izradi modela podložnosti na klizanje te određivanju stupnja točnosti i predikcije, pri čemu slika 1) predstavlja inventar klizišta u kojem su klizišta prikazana poligonima, slika 2) predstavlja inventar klizišta u kojem su klizišta prikazana centroidima, a slika 3) predstavlja inventar klizišta u kojem su klizišta prikazana točkama na glavnim pukotinama. Klizišta korištena za izradu modela podložnosti na klizanje i određivanje stupnja točnosti dobivenih modela prikazana su plavom bojom, dok su crvenom bojom prikazana klizišta korištena za određivanje stupnja predikcije dobivenih modela podložnosti na klizanje.



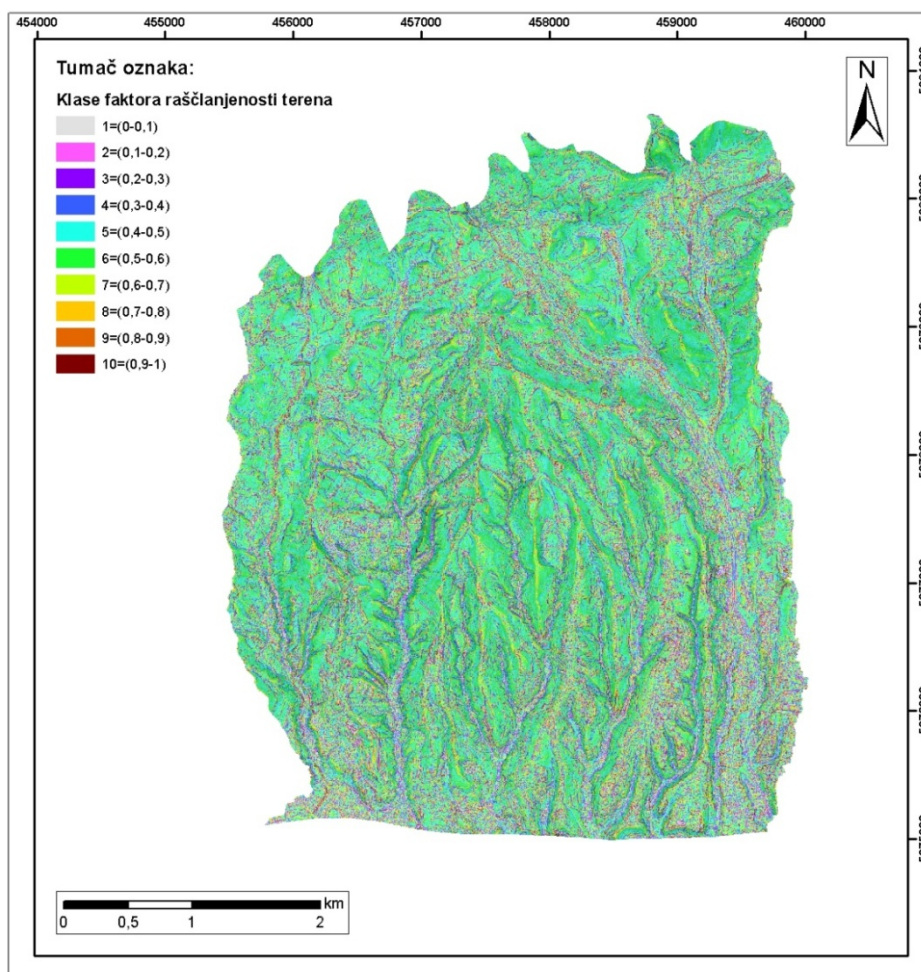
Slika 6.1 Mozaik karata klizišta korištenih u analiza podložnosti na klizanje, određivanju stupnja točnosti i predikcije modela (prostorna rezolucija 1 m); 1) prikaz klizišta poligonima; 2) prikaz klizišta centroidima; 3) prikaz klizišta točkama na glavnim pukotinima

6.2.2 Karta raščlanjenosti terena

Faktorske karte raščlanjenosti terena izvedene su iz istoimene tematske karte, pri čemu je tematska karta određene prostorne rezolucije reklasificirana također na 10 klasa. Rasponi vrijednosti pojedinih klasa prikazani su u tablici 6.3. Ukupno su izvedene 3 faktorske karte raščlanjenosti terena za korištene prostorne rezolucije. Slika 6.3 prikazuje faktorsku kartu prostorne rezolucije 1 m.

Tablica 6.3 Klase faktorskih karata raščlanjenosti terena s pripadajućim rasponima vrijednosti i površinama

Oznaka klase	Raspon vrijednosti	Površina klase (km ²)		
		1 m	2 m	5 m
1	0-0,1	0,33	0,29	0,36
2	0,1-0,2	0,67	0,69	0,79
3	0,2-0,3	1,20	1,28	1,40
4	0,3-0,4	2,41	2,58	2,71
5	0,4-0,5	5,95	5,53	4,89
6	0,5-0,6	5,83	5,54	5,05
7	0,6-0,7	2,48	2,79	3,08
8	0,7-0,8	1,24	1,38	1,61
9	0,8-0,9	0,67	0,70	0,82
10	0,9-1,0	0,31	0,28	0,31



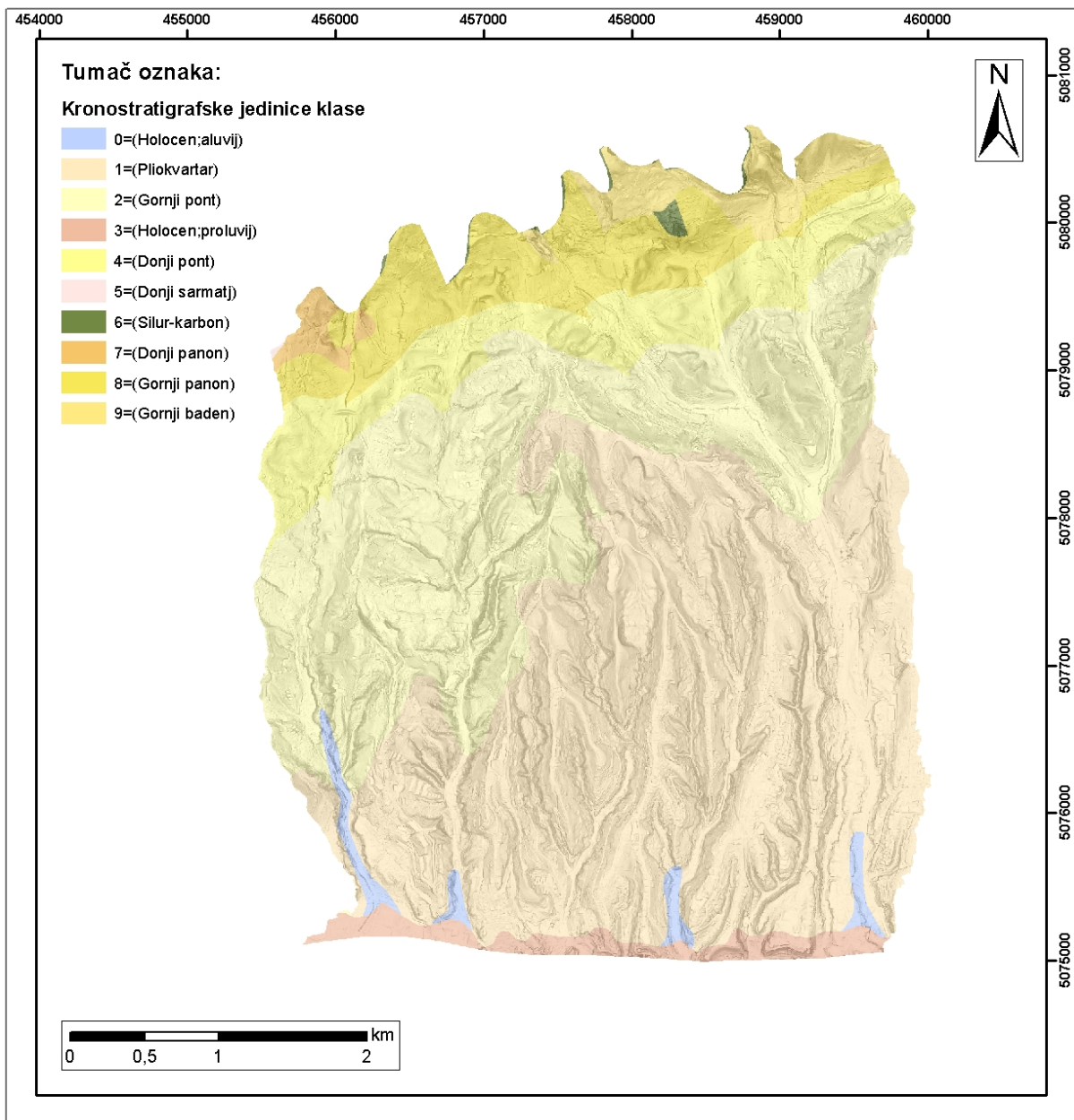
Slika 6.3 Faktorska karta raščlanjenosti terena prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa

6.2.3 Karta kronostratigrafskih jedinica OGK

Faktorske karte kronostratigrafskih jedinica s OGK lista Zagreb istraživana područja izvedene su reklasifikacijom po kronostratigrafskoj pripadnosti na 10 klasa. Kako bi se navedene faktorske karte mogle koristiti za određivanje težinskih vrijednosti bilo je potrebno prebaciti ih iz vektorskog u rasterski oblik. Ovo je izvedeno korištenjem naredbe *Polygon to Raster*, unutar navedene naredbe nalazi se opcija *Cellsize* koja nam omogućuje definiranje prostorne rezolucije, a kako bi se osiguralo preklapanje pojedinih faktorskih karata unutar te naredbe pod opcijom *Environmet Settings*, odnosno *Processing Extent* odabrano je da *Extent* i *Snap Raster* budu prema faktorskoj karti nagiba iste prostorne rezolucije. Tako su dobivene faktorske karte kronostratigrafskih jedinica. Tablica 6.4 prikazuje oznake i opise pojedinih klasa s udjelima površina s obzirom na korištenu prostornu rezoluciju. Donji prikaz (slika 6.4) prikazuje faktorsku kartu kronostratigrafskih jedinica prostorne rezolucije 1 m.

Tablica 6.4 Klase faktorske karte kronostratigrafskih jedinica s opisom i pripadajućim površinama

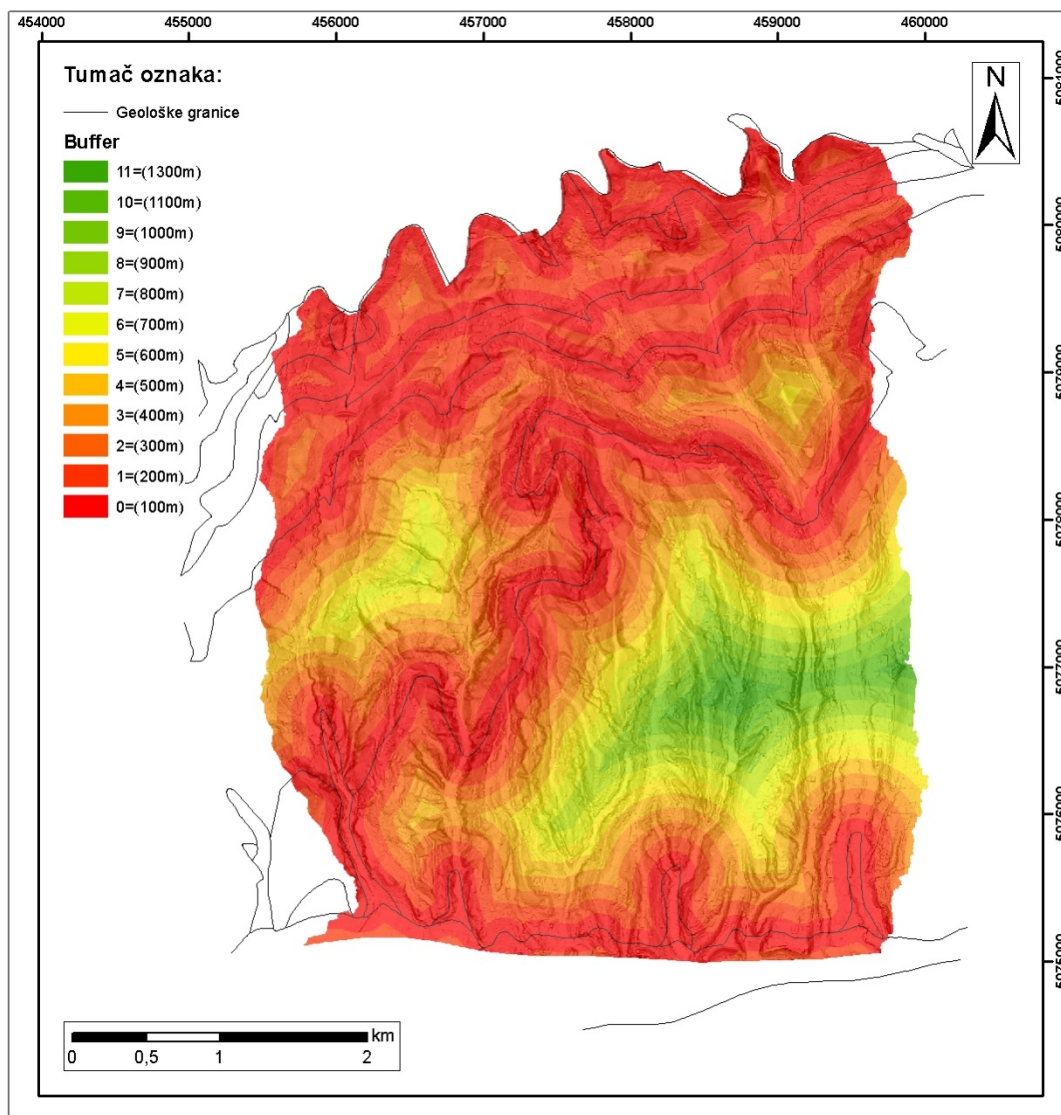
Oznaka klase	Opis	Površina klase (km ²)		
		Rezolucija 1 m	Rezolucija 2 m	Rezolucija 5 m
0	(Holocen; aluvij)	0,29	0,29	0,29
1	(Pliokvartar)	9,71	9,71	9,69
2	(Gornji pont)	6,17	6,17	6,16
3	(Holocen; proluvij)	0,53	0,52	0,51
4	(Donji pont)	1,79	1,79	1,79
5	(Donji sarmat)	0,00	0,00	0,00
6	(Silur - karbon)	0,06	0,06	0,05
7	(Donji panon)	0,16	0,16	0,16
8	(Gornji panon)	1,72	1,72	1,71
9	(Gornji baden)	0,65	0,64	0,64



Slika 6.4 Faktorska karta kronostratigrafskih jedinica prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa

6.2.4 Karta udaljenosti od geoloških granica

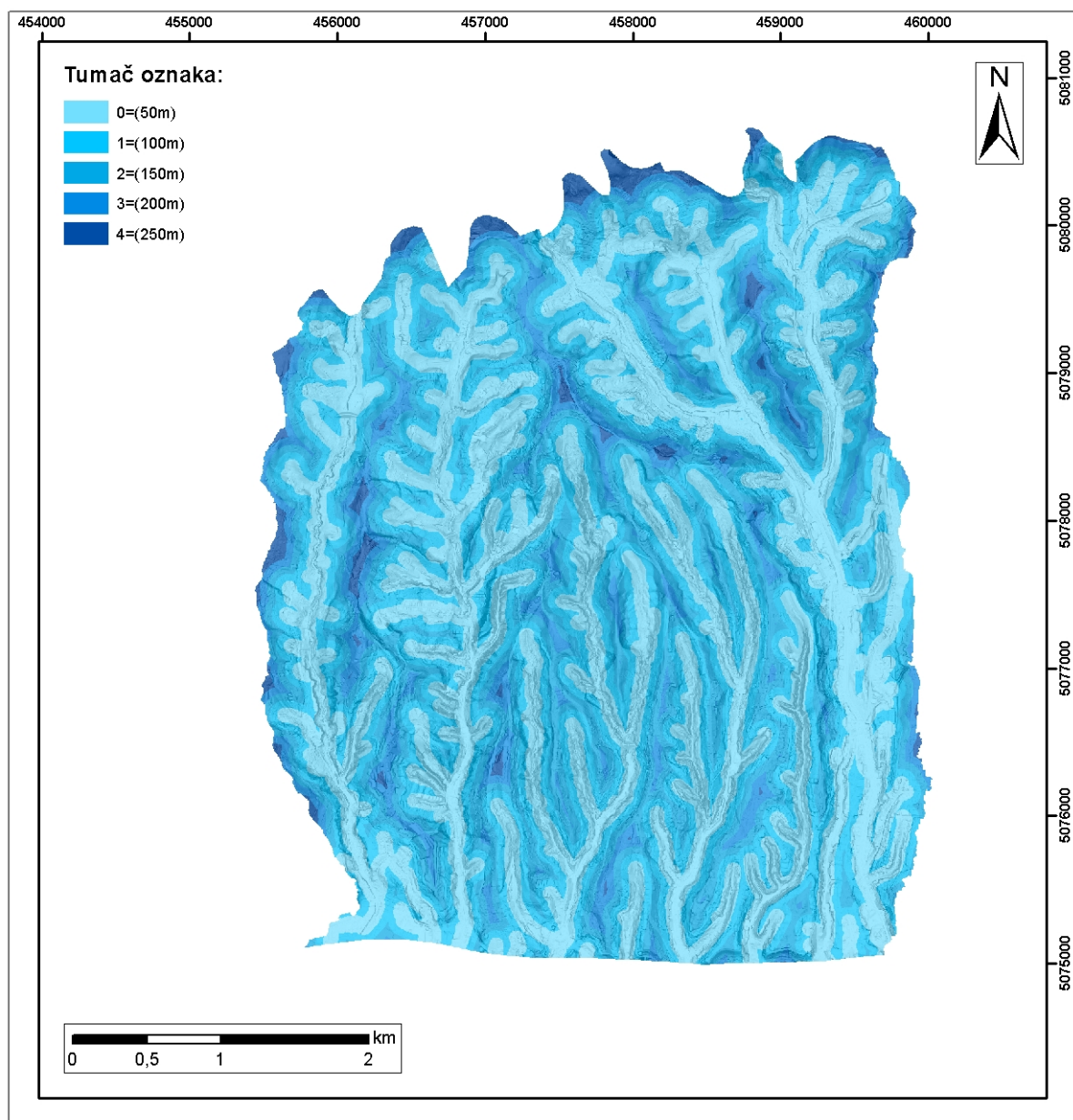
Karte faktora udaljenosti od geoloških granica izvedene su iz tematske karte udaljenosti od geoloških granica pri čemu ukupno sadrže 12 klasa. Svaka klasa definirana je buffer zonom određene udaljenosti od geoloških granica, točne vrijednosti navedene su u prethodnom poglavlju (5.2.4). Kao i kod prethodne faktorske karte bilo je nužno prebaciti karte iz vektorskog u rasterski oblik kako bi se mogle koristiti u određivanju težinskih vrijednosti pojedinih klasa faktora klizanja. To je izvedeno prema postupku opisanom u prethodnom poglavlju (6.2.3) te su tako dobivene konačne faktorske karte udaljenosti od geoloških granica. Slika 6.5 prikazuje faktorsku kartu udaljenosti od geoloških granica prostorne rezolucije 1 m i pojedine klase. Ukupno su izvedene 3 faktorske karte udaljenosti od geoloških granica za prostorne rezolucije predviđene scenarijima.



Slika 6.5 Faktorska karta udaljenosti od geoloških granica prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa i pripadajućim vrijednostima buffera

6.2.5 Karta udaljenosti od drenažne mreže

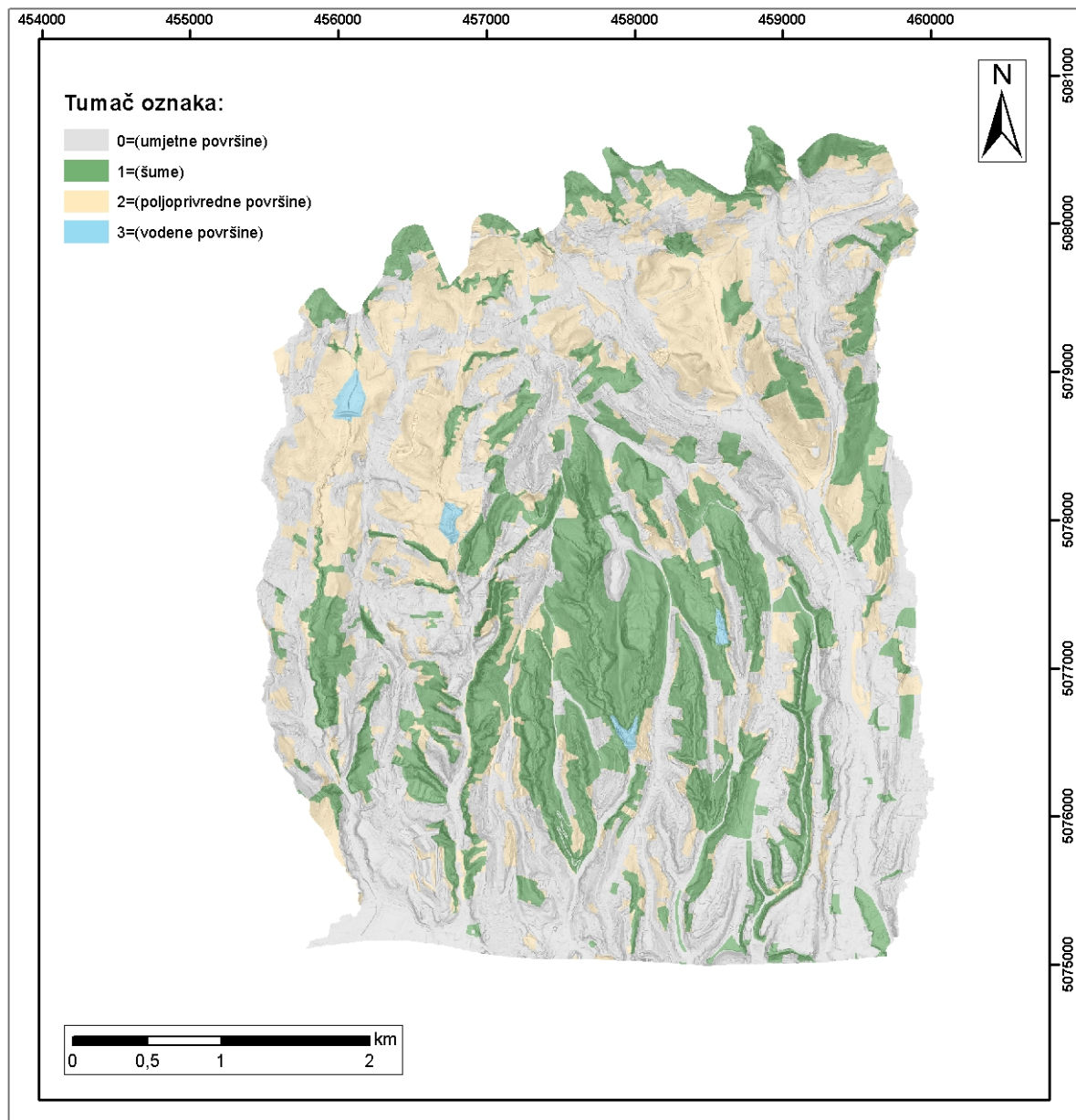
Faktorske karte udaljenosti od drenažne mreže izvedene su prebacivanjem istoimene tematske karte vektorskog formata u rasterski format. Nakon prebacivanja izvedena je reklasifikacija prema vrijednostima buffera na 5 klasa. Kako bi se osigurala ujednačenost prostorne rezolucije i smještaja prostornih jedinica korišten je postupak opisan u poglavlju 6.2.3. Slika 6.6 prikazuje faktorsku kartu udaljenosti od drenažne mreže prostorne rezolucije 1 m. Ukupno su izrađene 3 faktorske karte udaljenosti od drenažne mreže za prostorne rezolucije predviđene scenarijima.



Slika 6.6 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa i pripadajućim vrijednostima buffera

6.2.6 Karta namjene zemljišta prema tipu pokrova

Faktorske karte namjene zemljišta prema tipu pokrova izvedene su iz istoimene tematske karte prema postupku opisanom u poglavlju 6.2.3, čime je osigurana ujednačenost prostorne rezolucije i smještaja korištenih prostornih jedinica. Slika 6.7 prikazuje faktorsku kartu namjene zemljišta prema tipu pokrova prostorne rezolucije 1 m i smještaj pojedinih klasa u prostoru. Ukupno su izvedene 3 faktorske karte namjene zemljišta za prostorne rezolucije predviđene scenarijima.



Slika 6.7 Faktorska karta namjene zemljišta prema tipu pokrova prostorne rezolucije 1 m s prikazom pojedinih klasa i pripadajućim opisom

6.3 Statistika faktorskih karata

U ovom poglavlju dan je pregled rezultata zonalnih statistika i izračunatih težinskih vrijednosti za pojedine prostorne rezolucije predviđene scenarijima i vrste geometrijskog prikaza klizišta. Zonalna statistika izvedena je preklapanjem svake faktorske karte preduvjeta klizanje s inventarima klizišta iste prostorne rezolucije prema Van Westen et al., (2002). Tim postupkom dobiveni su podaci o relativnim gustoćama klizišta u pojedinim klasama pojedinih faktora klizanja (tablice 6.5-6.7). Podaci o gustoćama klizišta korišteni su za računanje težinskih vrijednosti pojedinih klasa primjenom statističkih metoda *Weight of Evidence* i informacijske vrijednosti (tablice 6.8-6.10).

Nakon što su izračunate težinske vrijednosti pojedinih klasa faktora klizanja, dobivene vrijednosti su pridružene odgovarajućim faktorskim kartama te su unesene u atributne tablice, točnije u stupce s oznakom odgovarajuće statističke metode i vrste prikaza inventara klizišta.

Tablica 6.5 prikazuje podatke o relativnim gustoćama klizišta u pojedinim klasama faktora klizanja za prostornu rezoluciju 1 m. Tablica 6.6 prikazuje podatke o relativnim gustoćama klizišta u pojedinim klasama faktora klizanja za prostornu rezoluciju 2 m. Tablica 6.7 prikazuje podatke o relativnim gustoćama klizišta u pojedinim klasama faktora klizanja za prostornu rezoluciju 5 m.

Tablica 6.8 prikazuje izračunate težinske vrijednosti pojedinih klasama faktora klizanja za prostornu rezoluciju 1 m. Tablica 6.9 prikazuje izračunate težinske vrijednosti pojedinih klasama faktora klizanja za prostornu rezoluciju 2 m. Tablica 6.10 prikazuje izračunate težinske vrijednosti pojedinih klasama faktora klizanja za prostornu rezoluciju 5 m.

Tablica 6.5 Rezultati zonalne statistike za prostornu rezoluciju 1 m

1m	Grupa	Klasa (opis)	Pix klase (Ni)	Pix klizišta (Si)			Udio klizišta (Si/Ni)		
				Kplg	Kptc	Kptgp	Gplg	Gptc	Gptgp
Geomorfološki preduvjeti	Nagib terena (°)	1 = (0-5°)	4644597	6129	4	2	0,0013	8,612E-07	4,306E-07
		2 = (5-10°)	4732810	22665	15	10	0,0048	3,169E-06	2,113E-06
		3 = (10-15°)	3764194	35369	40	16	0,0094	1,063E-05	4,251E-06
		4 = (15-20°)	2975965	47194	65	26	0,0159	2,184E-05	8,737E-06
		5 = (20-25°)	2127501	53620	85	68	0,0252	3,995E-05	3,196E-05
		6 = (25-30°)	1303550	47170	55	81	0,0362	4,219E-05	6,214E-05
		7 = (30-35°)	784294	36974	57	84	0,0471	7,268E-05	1,071E-04
		8 = (35-40°)	437479	22227	24	45	0,0508	5,486E-05	1,029E-04
		9 = (40-45°)	201343	9336	10	19	0,0464	4,967E-05	9,437E-05
		10 = (>45°)	119239	3001	0	4	0,0252	0,000E+00	3,355E-05
	Suma	21090972	283685	355	355	0,0135	1,683E-05	1,683E-05	
	Raščlanjenost terena	0 = (0-0,1)	326270	857	0	0	0,0026	0,000E+00	0,000E+00
		1 = (0,1-0,2)	667235	3396	0	1	0,0051	0,000E+00	1,499E-06
		2 = (0,2-0,3)	1200755	11238	10	2	0,0094	8,328E-06	1,666E-06
		3 = (0,3-0,4)	2414323	39595	45	2	0,0164	1,864E-05	8,284E-07
		4 = (0,4-0,5)	5947827	99999	159	26	0,0168	2,673E-05	4,371E-06
		5 = (0,5-0,6)	5825603	86149	106	119	0,0148	1,820E-05	2,043E-05
		6 = (0,6-0,7)	2484540	31133	27	123	0,0125	1,087E-05	4,951E-05
		7 = (0,7-0,8)	1241591	8710	5	63	0,0070	4,027E-06	5,074E-05
		8 = (0,8-0,9)	670232	2129	3	17	0,0032	4,476E-06	2,536E-05
9 = (0,9-1)		312596	479	0	2	0,0015	6,000E+00	6,398E-06	
Suma	21090972	283685	355	355	0,0135	1,683E-05	1,683E-05		
Geološki preduvjeti	Stratigrafske jedinice OGK	0 = (Holocen; aluvij)	294128	2254	4	2	0,0077	1,360E-05	6,800E-06
		1 = (Pliokvartar)	9712146	174265	237	242	0,0179	2,440E-05	2,492E-05
		2 = (Gornji pont)	6174458	94334	102	99	0,0153	1,652E-05	1,603E-05
		3 = (Holocen; proluvij)	527658	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		4 = (Donji pont)	1792373	7478	9	9	0,0042	5,021E-06	5,021E-06
		5 = (Donji sarmat)	3580	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		6 = (Silur - karbon; ortometamorfiti)	58025	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		7 = (Donji panon)	161710	39	0	0	0,0002	0,000E+00	0,000E+00
		8 = (Gornji panon)	1720514	5315	3	3	0,0031	1,744E-06	1,744E-06
		9 = (Gornji baden)	646380	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
	Suma	21090972	283685	355	355	0,0135	1,683E-05	1,683E-05	
	Udaljenost od geoloških granica (m)	0 = (100 m)	116553	41	0	0	0,0004	0,000E+00	0,000E+00
		1 = (200 m)	325410	6500	15	13	0,0200	4,610E-05	3,995E-05
		2 = (300 m)	413944	1811	5	6	0,0044	1,208E-05	1,449E-05
		3 = (400 m)	490662	8032	12	13	0,0164	2,446E-05	2,649E-05
		4 = (500 m)	621282	9739	12	13	0,0157	1,931E-05	2,092E-05
		5 = (600 m)	864927	16494	33	32	0,0191	3,815E-05	3,700E-05
		6 = (700 m)	1095701	15153	32	33	0,0138	2,921E-05	3,012E-05
		7 = (800 m)	1403616	21338	37	37	0,0152	2,636E-05	2,636E-05
		8 = (900 m)	1817879	29138	39	39	0,0160	2,145E-05	2,145E-05
9 = (1000 m)		2440392	19833	26	20	0,0081	1,065E-05	8,195E-06	
10 = (1100 m)	4452133	51090	53	62	0,0115	1,190E-05	1,393E-05		
11 = (1300 m)	7048473	104516	91	87	0,0148	1,291E-05	1,234E-05		
Suma	21090972	283685	355	355	0,0135	1,683E-05	1,683E-05		
Hidrološki preduvjeti	Drenažna mreža (udaljenost u m)	0 = (50 m)	8665684	152452	216	170	0,0176	2,493E-05	1,962E-05
		1 = (100 m)	6361639	81802	88	118	0,0129	1,383E-05	1,855E-05
		2 = (150 m)	4002220	36279	39	52	0,0091	9,745E-06	1,299E-05
		3 = (200 m)	1651230	11252	11	14	0,0068	6,662E-06	8,479E-06
		4 = (250 m)	410199	1900	1	1	0,0046	2,438E-06	2,438E-06
Suma	21090972	283685	355	355	0,0135	1,683E-05	1,683E-05		
Antropogeni preduvjeti	Namjena zemljišta (tip pokrova)	0 = (umjetne površine)	10492787	19044	16	43	0,0018	1,525E-06	4,098E-06
		1 = (šume)	5917510	231761	299	273	0,0392	5,053E-05	4,613E-05
		2 = (poljoprivredne površine)	4568314	32452	40	39	0,0071	8,756E-06	8,537E-06
		3 = (vodene površine)	112361	428	0	0	0,0038	0,000E+00	0,000E+00
Suma	21090972	283685	355	355	0,0135	1,683E-05	1,683E-05		

Tablica 6.6 Rezultati zonalne statistike za prostornu rezoluciju 2 m

2m	Grupa	Klasa (opis)	Pix klase (Ni)	Pix klizišta (Si)			Udio klizišta (Si/Ni)		
				Kplg	Kptc	Kptgp	Gplg	Gptc	Gptgp
Geomorfološki preduvjeti	Nagib terena (°)	1 = (0-5°)	1098496	1187	1	2	0,0011	9,103E-07	1,821E-06
		2 = (5-10°)	1218118	5622	16	3	0,0046	1,314E-05	2,463E-06
		3 = (10-15°)	988601	8949	34	19	0,0091	3,439E-05	1,922E-05
		4 = (15-20°)	780213	12774	64	33	0,0164	8,203E-05	4,230E-05
		5 = (20-25°)	546579	14344	83	70	0,0262	1,519E-04	1,281E-04
		6 = (25-30°)	317868	12144	65	88	0,0382	2,045E-04	2,768E-04
		7 = (30-35°)	177036	8942	55	79	0,0505	3,107E-04	4,462E-04
		8 = (35-40°)	90486	4913	31	43	0,0543	3,426E-04	4,752E-04
		9 = (40-45°)	35552	1695	6	13	0,0477	1,688E-04	3,657E-04
		10 = (>45°)	13955	368	0	5	0,0264	0,000E+00	3,583E-04
	Suma	5266904	70938	355	355	0,0135	6,740E-05	6,740E-05	
	Raščlanjenost terena	0 = (0-0,1)	73607	237	0	0	0,0032	0,000E+00	0,000E+00
		1 = (0,1-0,2)	172375	1069	0	0	0,0062	0,000E+00	0,000E+00
		2 = (0,2-0,3)	318917	3686	8	1	0,0116	2,508E-05	3,136E-06
		3 = (0,3-0,4)	645398	11444	63	6	0,0177	9,761E-05	9,297E-06
		4 = (0,4-0,5)	1382470	25013	178	39	0,0181	1,288E-04	2,821E-05
		5 = (0,5-0,6)	1385494	19609	84	96	0,0142	6,063E-05	6,929E-05
		6 = (0,6-0,7)	697416	7311	19	129	0,0105	2,724E-05	1,850E-04
		7 = (0,7-0,8)	345678	2043	2	55	0,0059	5,786E-06	1,591E-04
		8 = (0,8-0,9)	174540	470	1	28	0,0027	5,729E-06	1,604E-04
9 = (0,9-1)		71009	56	0	1	0,0008	0,000E+00	1,408E-05	
Suma	5266904	70938	355	355	0,0135	6,740E-05	6,740E-05		
Geološki preduvjeti	Stratigrafske jedinice OGK	0 = (Holocen; aluvij)	73544	560	4	2	0,0076	5,439E-05	2,719E-05
		1 = (Pliokvartar)	2426491	43571	237	242	0,0180	9,767E-05	9,973E-05
		2 = (Gornji pont)	1542825	23593	102	99	0,0153	6,611E-05	6,417E-05
		3 = (Holocen; proluvij)	130516	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		4 = (Donji pont)	447740	1877	9	9	0,0042	2,010E-05	2,010E-05
		5 = (Donji sarmat)	851	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		6 = (Silur - karbon; ortometamorfiti)	13955	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		7 = (Donji panon)	40278	13	0	0	0,0003	0,000E+00	0,000E+00
		8 = (Gornji panon)	429675	1324	3	3	0,0031	6,982E-06	6,982E-06
		9 = (Gornji baden)	161029	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
	Suma	5266904	70938	355	355	0,0135	6,740E-05	6,740E-05	
	Udaljenost od geoloških granica (m)	0 = (100 m)	29053	10	0	0	0,0003	0,000E+00	0,000E+00
		1 = (200 m)	81296	1617	15	13	0,0199	1,845E-04	1,599E-04
		2 = (300 m)	103397	455	5	7	0,0044	4,836E-05	6,770E-05
		3 = (400 m)	122593	2004	12	12	0,0163	9,788E-05	9,788E-05
		4 = (500 m)	155230	2451	12	13	0,0158	7,730E-05	8,375E-05
		5 = (600 m)	216124	4110	33	32	0,0190	1,527E-04	1,481E-04
		6 = (700 m)	273773	3784	32	33	0,0138	1,169E-04	1,205E-04
		7 = (800 m)	350642	5332	37	37	0,0152	1,055E-04	1,055E-04
		8 = (900 m)	454276	7279	39	39	0,0160	8,585E-05	8,585E-05
9 = (1000 m)		609898	4966	26	20	0,0081	4,263E-05	3,279E-05	
10 = (1100 m)	1111680	12807	53	62	0,0115	4,768E-05	5,577E-05		
11 = (1300 m)	1758942	26123	91	87	0,0149	5,174E-05	4,946E-05		
Suma	5266904	70938	355	355	0,0135	6,740E-05	6,740E-05		
Hidrološki preduvjeti	Drenažna mreža (udaljenost u m)	0 = (50 m)	2165708	38180	217	169	0,0176	1,002E-04	7,803E-05
		1 = (100 m)	1589485	20423	88	119	0,0128	5,536E-05	7,487E-05
		2 = (150 m)	999432	9049	38	52	0,0091	3,802E-05	5,203E-05
		3 = (200 m)	411267	2815	11	14	0,0068	2,675E-05	3,404E-05
		4 = (250 m)	101012	471	1	1	0,0047	9,900E-06	9,900E-06
Suma	5266904	70938	355	355	0,0135	6,740E-05	6,740E-05		
Antropogeni preduvjeti	Namjena zemljišta (tip pokrova)	0 = (umjetne površine)	2619428	4707	15	43	0,0018	5,726E-06	1,642E-05
		1 = (šume)	1477810	58016	300	272	0,0393	2,030E-04	1,841E-04
		2 = (poljoprivredne površine)	1141582	8106	39	40	0,0071	3,416E-05	3,504E-05
		3 = (vodene površine)	28084	109	1	0	0,0039	3,561E-05	0,000E+00
Suma	5266904	70938	355	355	0,0135	6,740E-05	6,740E-05		

Tablica 6.7 Rezultati zonalne statistike za prostornu rezoluciju 5 m

5m	Grupa	Klasa (opis)	Pix klase (Ni)	Pix klizišta (Si)			Udio klizišta (Si/Ni)		
				Kplg	Kptc	Kptgp	Gplg	Gptc	Gptgp
Geomorfološki preduvjeti	Nagib terena (°)	1 = (0-5°)	158155	99	1	0	0,0006	6,323E-06	0,000E+00
		2 = (5-10°)	209173	878	12	10	0,0042	5,737E-05	4,781E-05
		3 = (10-15°)	173918	1503	32	25	0,0086	1,840E-04	1,437E-04
		4 = (15-20°)	135624	2352	58	56	0,0173	4,277E-04	4,129E-04
		5 = (20-25°)	87430	2497	63	99	0,0286	7,206E-04	1,132E-03
		6 = (25-30°)	43817	2033	83	95	0,0464	1,894E-03	2,168E-03
		7 = (30-35°)	20848	1337	68	48	0,0641	3,262E-03	2,302E-03
		8 = (35-40°)	8820	541	34	19	0,0613	3,855E-03	2,154E-03
		9 = (40-45°)	2047	99	4	3	0,0484	1,954E-03	1,466E-03
		10 = (>45°)	472	11	0	0	0,0233	0,000E+00	0,000E+00
		Suma	840304	11350	355	355	0,0135	4,225E-04	4,225E-04
	Raščlanjenost terena	0 = (0-0,1)	14367	48	0	0	0,0033	0,000E+00	0,000E+00
		1 = (0,1-0,2)	31572	301	4	0	0,0095	1,267E-04	0,000E+00
		2 = (0,2-0,3)	56009	904	15	1	0,0161	2,678E-04	1,785E-05
		3 = (0,3-0,4)	108289	2116	84	14	0,0195	7,757E-04	1,293E-04
		4 = (0,4-0,5)	195562	3595	152	33	0,0184	7,772E-04	1,687E-04
		5 = (0,5-0,6)	202152	2886	79	101	0,0143	3,908E-04	4,996E-04
		6 = (0,6-0,7)	123088	1165	18	114	0,0095	1,462E-04	9,262E-04
		7 = (0,7-0,8)	64298	276	2	61	0,0043	3,111E-05	9,487E-04
		8 = (0,8-0,9)	32694	46	1	25	0,0014	3,059E-05	7,647E-04
9 = (0,9-1)		12273	13	0	6	0,0011	0,000E+00	4,889E-04	
Suma	840304	11350	355	355	0,0135	4,225E-04	4,225E-04		
Geološki preduvjeti	Stratigrafske jedinice OGK	0 = (Holocen; aluvij)	11763	92	4	2	0,0078	3,400E-04	1,700E-04
		1 = (Pliokvartar)	387682	6970	237	242	0,0180	6,113E-04	6,242E-04
		2 = (Gornji pont)	246549	3779	102	99	0,0153	4,137E-04	4,015E-04
		3 = (Holocen; proluvij)	20401	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		4 = (Donji pont)	71467	297	9	9	0,0042	1,259E-04	1,259E-04
		5 = (Donji sarmat)	112	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		6 = (Silur - karbon; ortometamorfiti)	1972	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
		7 = (Donji panon)	6370	1	0	0	0,0002	0,000E+00	0,000E+00
		8 = (Gornji panon)	68494	211	3	3	0,0031	4,380E-05	4,380E-05
		9 = (Gornji baden)	25494	0	0	0	0,0000	0,000E+00	0,000E+00
	Suma	840304	11350	355	355	0,0135	4,225E-04	4,225E-04	
	Udaljenost od geoloških granica (m)	0 = (100 m)	280008	4191	91	87	0,0150	3,250E-04	3,107E-04
		1 = (200 m)	177383	2048	54	62	0,0115	3,044E-04	3,495E-04
		2 = (300 m)	97512	783	24	20	0,0080	2,461E-04	2,051E-04
		3 = (400 m)	72568	1160	40	39	0,0160	5,512E-04	5,374E-04
		4 = (500 m)	56024	851	38	37	0,0152	6,783E-04	6,604E-04
		5 = (600 m)	43769	602	31	34	0,0138	7,083E-04	7,768E-04
		6 = (700 m)	34536	668	33	31	0,0193	9,555E-04	8,976E-04
		7 = (800 m)	24803	391	12	13	0,0158	4,838E-04	5,241E-04
		8 = (900 m)	19605	321	12	13	0,0164	6,121E-04	6,631E-04
9 = (1000 m)		16508	72	5	5	0,0044	3,029E-04	3,029E-04	
10 = (1100 m)		12959	261	15	14	0,0201	1,157E-03	1,080E-03	
11 = (1300 m)		4629	2	0	0	0,0004	0,000E+00	0,000E+00	
Suma	840304	11350	355	355	0,0135	4,225E-04	4,225E-04		
Hidrološki preduvjeti	Drenažna mreža (udaljenost u m)	0 = (50 m)	346184	6093	215	172	0,0176	6,211E-04	4,968E-04
		1 = (100 m)	254045	3268	90	116	0,0129	3,543E-04	4,566E-04
		2 = (150 m)	159418	1463	38	53	0,0092	2,384E-04	3,325E-04
		3 = (200 m)	65222	450	11	13	0,0069	1,687E-04	1,993E-04
		4 = (250 m)	15435	76	1	1	0,0049	6,479E-05	6,479E-05
Suma	840304	11350	355	355	0,0135	4,225E-04	4,225E-04		
Antropogeni preduvjeti	Namjena zemljišta (tip pokrova)	0 = (umjetne površine)	417549	762	16	43	0,0018	3,832E-05	1,030E-04
		1 = (šume)	235717	9264	298	272	0,0393	1,264E-03	1,154E-03
		2 = (poljoprivredne površine)	182541	1306	40	40	0,0072	2,191E-04	2,191E-04
		3 = (vodene površine)	4497	18	1	0	0,0040	2,224E-04	0,000E+00
Suma	840304	11350	355	355	0,0135	4,225E-04	4,225E-04		

Tablica 6.8 Prikaz težinskih vrijednosti izračunatih bivarijantnim statističkim metodama za prostornu rezoluciju 1 m

1m	Grupa	Klasa (opis)	Weight of Evidence			Information Value		
			Wwplg	Wwptc	Wwtgp	Wiplg	Wiptc	Wiptgp
Geomorfološki preduvjeti	Nagib terena (°)	1 = (0-5°)	-2,5443	-3,2062	-3,9130	-1,0083	-1,2910	-1,5920
		2 = (5-10°)	-1,1948	-1,8768	-2,3049	-0,4485	-0,7252	-0,9013
		3 = (10-15°)	-0,4071	-0,5331	-1,5308	-0,1558	-0,1997	-0,5977
		4 = (15-20°)	0,2174	0,3146	-0,7359	0,0715	0,1132	-0,2848
		5 = (20-25°)	0,7645	1,0357	0,7435	0,2727	0,3754	0,2785
		6 = (25-30°)	1,1526	1,0274	1,4972	0,4298	0,3991	0,5672
		7 = (30-35°)	1,4120	1,6038	2,0786	0,5447	0,6353	0,8037
		8 = (35-40°)	1,4491	1,2345	1,9207	0,5772	0,5131	0,7861
		9 = (40-45°)	1,3158	1,1050	1,7653	0,5375	0,4699	0,7487
		10 = (>45°)	0,6636	#NUM!	0,6912	0,2721	#NUM!	0,2995
	Raščlanjenost terena	0 = (0-0,1)	-1,7008	#NUM!	#NUM!	-0,7093	#NUM!	#NUM!
		1 = (0,1-0,2)	-1,0444	#NUM!	-2,5062	-0,4221	#NUM!	-1,0504
		2 = (0,2-0,3)	-0,4291	-0,8325	-2,4243	-0,1575	-0,3056	-1,0046
		3 = (0,3-0,4)	0,1866	0,0171	-3,1857	0,0861	0,0443	-1,3079
		4 = (0,4-0,5)	0,2874	0,6265	-1,6617	0,0969	0,2009	-0,5855
		5 = (0,5-0,6)	0,0915	0,0105	0,2204	0,0412	0,0338	0,0841
		6 = (0,6-0,7)	-0,1248	-0,5826	1,3207	-0,0308	-0,1900	0,4685
		7 = (0,7-0,8)	-0,7312	-1,5756	1,1800	-0,2827	-0,6211	0,4792
		8 = (0,8-0,9)	-1,5225	-1,4472	0,3686	-0,6268	-0,5752	0,1781
9 = (0,9-1)		-2,2415	#NUM!	-1,0348	-0,9434	#NUM!	-0,4201	
Geološki preduvjeti	Stratigrafske jedinice OGK	0 = (Holocen; aluvij)	-0,7686	-0,4831	-1,2078	-0,2443	-0,0926	-0,3936
		1 = (Pliokvartar)	0,4382	0,5886	0,6270	0,1252	0,1613	0,1704
		2 = (Gornji pont)	-0,0061	-0,2935	-0,3610	0,0553	-0,0081	-0,0211
		3 = (Holocen; proluvij)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
		4 = (Donji pont)	-1,4369	-1,5399	-1,5657	-0,5084	-0,5253	-0,5253
		5 = (Donji sarmat)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
		6 = (Silur - karbon; ortometamorfiti)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
		7 = (Donji panon)	-4,2362	#NUM!	#NUM!	-1,7464	#NUM!	#NUM!
		8 = (Gornji panon)	-1,7427	-2,6111	-2,6369	-0,6389	-0,9847	-0,9847
	9 = (Gornji baden)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	
	Udaljenost od geoloških granica (m)	0 = (100 m)	-3,6725	#NUM!	#NUM!	-1,5825	#NUM!	#NUM!
		1 = (200 m)	0,3998	1,0720	0,9230	0,1717	0,4375	0,3754
		2 = (300 m)	-1,1559	-0,3006	-0,1154	-0,4878	-0,1441	-0,0649
		3 = (400 m)	0,1946	0,4214	0,5044	0,0853	0,1623	0,1970
		4 = (500 m)	0,1504	0,1790	0,2620	0,0665	0,0598	0,0945
		5 = (600 m)	0,3631	0,9109	0,8771	0,1516	0,3554	0,3420
		6 = (700 m)	0,0197	0,6291	0,6630	0,0121	0,2393	0,2527
		7 = (800 m)	0,1236	0,5267	0,5267	0,0532	0,1948	0,1948
		8 = (900 m)	0,1865	0,3057	0,3058	0,0762	0,1054	0,1054
		9 = (1000 m)	-0,5704	-0,4674	-0,7478	-0,2188	-0,1986	-0,3126
10 = (1100 m)		-0,2099	-0,3849	-0,1978	-0,0690	-0,1504	-0,0823	
11 = (1300 m)	0,1424	-0,3389	-0,3989	0,0423	-0,1152	-0,1347		
Hidrološki preduvjeti	Drenažna mreža (udaljenost u m)	0 = (50 m)	0,4211	0,6277	0,2183	0,1166	0,1705	0,0665
		1 = (100 m)	-0,1610	-0,4438	0,0846	-0,0195	-0,0852	0,0422
		2 = (150 m)	-0,5700	-0,8141	-0,3685	-0,1714	-0,2374	-0,1124
		3 = (200 m)	-0,8246	-1,1504	-0,7846	-0,2953	-0,4025	-0,2978
		4 = (250 m)	-1,1843	-2,1225	-2,0065	-0,4630	-0,8391	-0,8391
Antropogeni preduvjeti	Namjena zemljišta (tip pokriva)	0 = (umjetne površine)	-3,2653	-3,7890	-2,4158	-0,8699	-1,0429	-0,6136
		1 = (šume)	1,8539	1,8713	1,7005	0,4642	0,4774	0,4379
		2 = (poljoprivredne površine)	-1,3894	-1,5236	-1,2506	-0,2773	-0,2838	-0,2948
		3 = (vodene površine)	-1,8954	#NUM!	#NUM!	-0,5479	#NUM!	#NUM!

Tablica 6.9 Prikaz težinskih vrijednosti izračunatih statističkim bivarijantnim metodama za prostornu rezoluciju 2 m

2m	Grupa	Klasa (opis)	Weight of Evidence			Information Value		
			Wwplg	Wwptc	Wwtgp	Wiplg	Wiptc	Wiptgp
Geomorfološki preduvjeti	Nagib terena (°)	1 = (0-5°)	-2,7391	-4,5316	-3,8454	-1,0957	-1,8695	-1,5684
		2 = (5-10°)	-1,2464	-1,8482	-3,5696	-0,4651	-0,7102	-1,4372
		3 = (10-15°)	-0,4592	-0,7759	-1,4133	-0,1726	-0,2922	-0,5449
		4 = (15-20°)	0,2536	0,2391	-0,5344	0,0848	0,0853	-0,2024
		5 = (20-25°)	0,8146	0,9733	0,7464	0,2897	0,3528	0,2788
		6 = (25-30°)	1,2118	1,2542	1,6300	0,4528	0,4820	0,6136
		7 = (30-35°)	1,4786	1,6667	2,1025	0,5740	0,6636	0,8209
		8 = (35-40°)	1,5082	1,7044	2,0597	0,6054	0,7061	0,8482
		9 = (40-45°)	1,3337	0,9324	1,7163	0,5490	0,3986	0,7344
		10 = (>45°)	0,7043	#NUM!	1,6769	0,2918	#NUM!	0,7256
	Raščlanjenost terena	0 = (0-0,1)	-1,4969	#NUM!	#NUM!	-0,6215	#NUM!	#NUM!
		1 = (0,1-0,2)	-0,8458	#NUM!	#NUM!	-0,3368	#NUM!	#NUM!
		2 = (0,2-0,3)	-0,2088	-1,1683	-3,1765	-0,0664	-0,4293	-1,3324
		3 = (0,3-0,4)	0,2805	0,2949	-2,1438	0,1194	0,1608	-0,8603
		4 = (0,4-0,5)	0,3873	0,8987	-1,1081	0,1282	0,2811	-0,3783
		5 = (0,5-0,6)	0,0242	-0,2813	-0,0113	0,0215	-0,0460	0,0120
		6 = (0,6-0,7)	-0,3320	-1,1331	1,2702	-0,1088	-0,3934	0,4384
		7 = (0,7-0,8)	-0,9151	-2,6577	0,9105	-0,3577	-1,0663	0,3730
		8 = (0,8-0,9)	-1,6927	-2,6362	0,8667	-0,6991	-1,0706	0,3766
9 = (0,9-1)	-2,9081	#NUM!	-1,6255	-1,2324	#NUM!	-0,6800		
Geološki preduvjeti	Stratigrafske jedinice OGK	0 = (Holocen; aluvij)	-0,7761	-0,4842	-1,2089	-0,2477	-0,0932	-0,3942
		1 = (Pliokvartar)	0,4373	0,5880	0,6264	0,1249	0,1611	0,1702
		2 = (Gornji pont)	-0,0063	-0,2941	-0,3616	0,0551	-0,0084	-0,0214
		3 = (Holocen; proluvij)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
		4 = (Donji pont)	-1,4331	-1,5400	-1,5659	-0,5069	-0,5255	-0,5255
		5 = (Donji sarmat)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
		6 = (Silur - karbon; ortometamorfiti)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
		7 = (Donji panon)	-3,9457	#NUM!	#NUM!	-1,6204	#NUM!	#NUM!
		8 = (Gornji panon)	-1,7463	-2,6109	-2,6368	-0,6406	-0,9847	-0,9847
	9 = (Gornji baden)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	
	Udaljenost od geoloških granica (m)	0 = (100 m)	-3,6957	#NUM!	#NUM!	-1,5925	#NUM!	#NUM!
		1 = (200 m)	0,3939	1,0716	0,9226	0,1693	0,4373	0,3752
		2 = (300 m)	-1,1514	-0,3009	0,0414	-0,4858	-0,1442	0,0019
		3 = (400 m)	0,1917	0,4208	0,4208	0,0841	0,1620	0,1620
		4 = (500 m)	0,1566	0,1783	0,2614	0,0690	0,0595	0,0943
		5 = (600 m)	0,3585	0,9103	0,8765	0,1498	0,3551	0,3418
		6 = (700 m)	0,0176	0,6284	0,6624	0,0112	0,2391	0,2525
		7 = (800 m)	0,1224	0,5262	0,5263	0,0527	0,1947	0,1947
		8 = (900 m)	0,1845	0,3049	0,3050	0,0754	0,1051	0,1051
		9 = (1000 m)	-0,5700	-0,4684	-0,7487	-0,2186	-0,1990	-0,3129
		10 = (1100 m)	-0,2068	-0,3849	-0,1977	-0,0679	-0,1504	-0,0823
		11 = (1300 m)	0,1426	-0,3380	-0,3979	0,0424	-0,1149	-0,1344
Hidrološki preduvjeti		Drenažna mreža (udaljenost u m)	0 = (50 m)	0,4227	0,6345	0,2071	0,1169	0,1722
	1 = (100 m)		-0,1644	-0,4484	0,0980	-0,0205	-0,0854	0,0456
	2 = (150 m)		-0,5733	-0,8470	-0,3670	-0,1725	-0,2486	-0,1124
	3 = (200 m)		-0,8217	-1,1514	-0,7803	-0,2940	-0,4014	-0,2967
	4 = (250 m)		-1,1792	-2,1120	-1,9909	-0,4607	-0,8330	-0,8330
Antropogeni preduvjeti	Namjena zemljišta (tip pokriva)	0 = (umjetne površine)	-3,2811	-3,8707	-2,4064	-0,8748	-1,0708	-0,6134
		1 = (šume)	1,8558	1,8779	1,6936	0,4646	0,4788	0,4363
		2 = (poljoprivredne površine)	-1,3955	-1,5678	-1,2141	-0,2780	-0,2951	-0,2841
		3 = (vodene površine)	-1,8819	-1,4010	#NUM!	-0,5404	-0,2771	#NUM!

Tablica 6.10 Prikaz težinskih vrijednosti izračunatih statističkim bivarijantnim metodama za prostornu rezoluciju 5 m

5m	Grupa	Klasa (opis)	Weight of Evidence			Information Value		
			Wwplg	Wwptc	Wwtgp	Wiplg	Wiptc	Wiptgp
Geomorfološki preduvjeti	Nagib terena (°)	1 = (0-5°)	-3,2747	-4,3997	#NUM!	-1,3340	-1,8249	#NUM!
		2 = (5-10°)	-1,3743	-2,2405	-2,4527	-0,5076	-0,8671	-0,9463
		3 = (10-15°)	-0,5299	-0,9605	-1,2529	-0,1939	-0,3610	-0,4682
		4 = (15-20°)	0,3234	0,0230	-0,0428	0,1085	0,0053	-0,0099
		5 = (20-25°)	0,9172	0,6282	1,1882	0,3252	0,2319	0,4282
		6 = (25-30°)	1,4263	1,7232	1,8796	0,5359	0,6516	0,7103
		7 = (30-35°)	1,7246	2,2428	1,8021	0,6765	0,8877	0,7364
		8 = (35-40°)	1,6144	2,3130	1,6597	0,6572	0,9602	0,7075
		9 = (40-45°)	1,3306	1,5504	1,2354	0,5540	0,6652	0,5402
		10 = (>45°)	0,5685	#NUM!	#NUM!	0,2369	#NUM!	#NUM!
	Raščlanjenost terena	0 = (0-0,1)	-1,4586	#NUM!	#NUM!	-0,6067	#NUM!	#NUM!
		1 = (0,1-0,2)	-0,4022	-1,3323	#NUM!	-0,1513	-0,5230	#NUM!
		2 = (0,2-0,3)	0,1568	-0,5825	-3,2768	0,0774	-0,1980	-1,3740
		3 = (0,3-0,4)	0,4065	0,6394	-1,3285	0,1604	0,2639	-0,5142
		4 = (0,4-0,5)	0,3924	0,8034	-1,1318	0,1339	0,2648	-0,3986
		5 = (0,5-0,6)	0,0364	-0,2021	0,1811	0,0241	-0,0338	0,0729
		6 = (0,6-0,7)	-0,4487	-1,2682	0,9681	-0,1544	-0,4607	0,3409
		7 = (0,7-0,8)	-1,2496	-2,7838	0,8721	-0,4978	-1,1330	0,3513
		8 = (0,8-0,9)	-2,3483	-2,7635	0,5807	-0,9823	-1,1403	0,2577
9 = (0,9-1)		-2,6102	#NUM!	0,1020	-1,1056	#NUM!	0,0634	
Geološki preduvjeti	Stratigrafske jedinice OGK	0 = (Holocen; aluvij)	-0,7511	-0,4861	-1,2109	-0,2373	-0,0943	-0,3953
		1 = (Pliokvartar)	0,4349	0,5864	0,6247	0,1242	0,1605	0,1695
		2 = (Gornji pont)	-0,0063	-0,2958	-0,3632	0,0549	-0,0091	-0,0221
		3 = (Holocen; proluvij)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	/	#NUM!	#NUM!
		4 = (Donji pont)	-1,4443	-1,5401	-1,5660	-0,5119	-0,5257	-0,5257
		5 = (Donji sarmat)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	/	#NUM!	#NUM!
		6 = (Silur - karbon; ortometamorfiti)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	/	#NUM!	#NUM!
		7 = (Donji panon)	-4,6688	#NUM!	#NUM!	-1,9347	#NUM!	#NUM!
		8 = (Gornji panon)	-1,7487	-2,6097	-2,6355	-0,6419	-0,9843	-0,9843
	9 = (Gornji baden)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	
	Udaljenost od geoloških granica (m)	0 = (100 m)	0,1496	-0,3356	-0,3952	0,0446	-0,1139	-0,1334
		1 = (200 m)	-0,2084	-0,3639	-0,1983	-0,0681	-0,1423	-0,0823
		2 = (300 m)	-0,5890	-0,5578	-0,7518	-0,2259	-0,2346	-0,3138
		3 = (400 m)	0,1778	0,3314	0,3033	0,0732	0,1155	0,1045
		4 = (500 m)	0,1173	0,5540	0,5245	0,0510	0,2056	0,1940
		5 = (600 m)	0,0085	0,5909	0,6931	0,0079	0,2244	0,2645
		6 = (700 m)	0,3731	0,9083	0,8400	0,1559	0,3544	0,3273
		7 = (800 m)	0,1511	0,1761	0,2595	0,0671	0,0589	0,0936
		8 = (900 m)	0,1897	0,4178	0,5012	0,0836	0,1610	0,1958
9 = (1000 m)		-1,1641	-0,3025	-0,3021	-0,4909	-0,1445	-0,1445	
10 = (1100 m)		0,4032	1,0723	1,0007	0,1735	0,4377	0,4078	
11 = (1300 m)		-3,4718	#NUM!	#NUM!	-1,4950	#NUM!	#NUM!	
Hidrološki preduvjeti	Drenažna mreža (udaljenost u m)	0 = (50 m)	0,4159	0,6154	0,2345	0,1150	0,1673	0,0704
		1 = (100 m)	-0,1647	-0,4135	0,0540	-0,0212	-0,0765	0,0338
		2 = (150 m)	-0,5589	-0,8394	-0,3478	-0,1679	-0,2485	-0,1041
		3 = (200 m)	-0,8139	-1,1376	-0,8544	-0,2917	-0,3988	-0,3262
		4 = (250 m)	-1,1243	-2,0608	-1,9505	-0,4383	-0,8143	-0,8143
Antropogeni preduvjeti	Namjena zemljišta (tip pokriva)	0 = (umjetne površine)	-3,2600	-3,7728	-2,4054	-0,8693	-1,0424	-0,6130
		1 = (šume)	1,8521	1,8662	1,6945	0,4638	0,4760	0,4364
		2 = (poljoprivredne površine)	-1,3837	-1,5131	-1,2175	-0,2760	-0,2851	-0,2851
		3 = (vodene površine)	-1,8470	-1,3755	#NUM!	-0,5282	-0,2787	#NUM!

7. KARTE PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

7.1. Scenariji podložnosti na klizanje

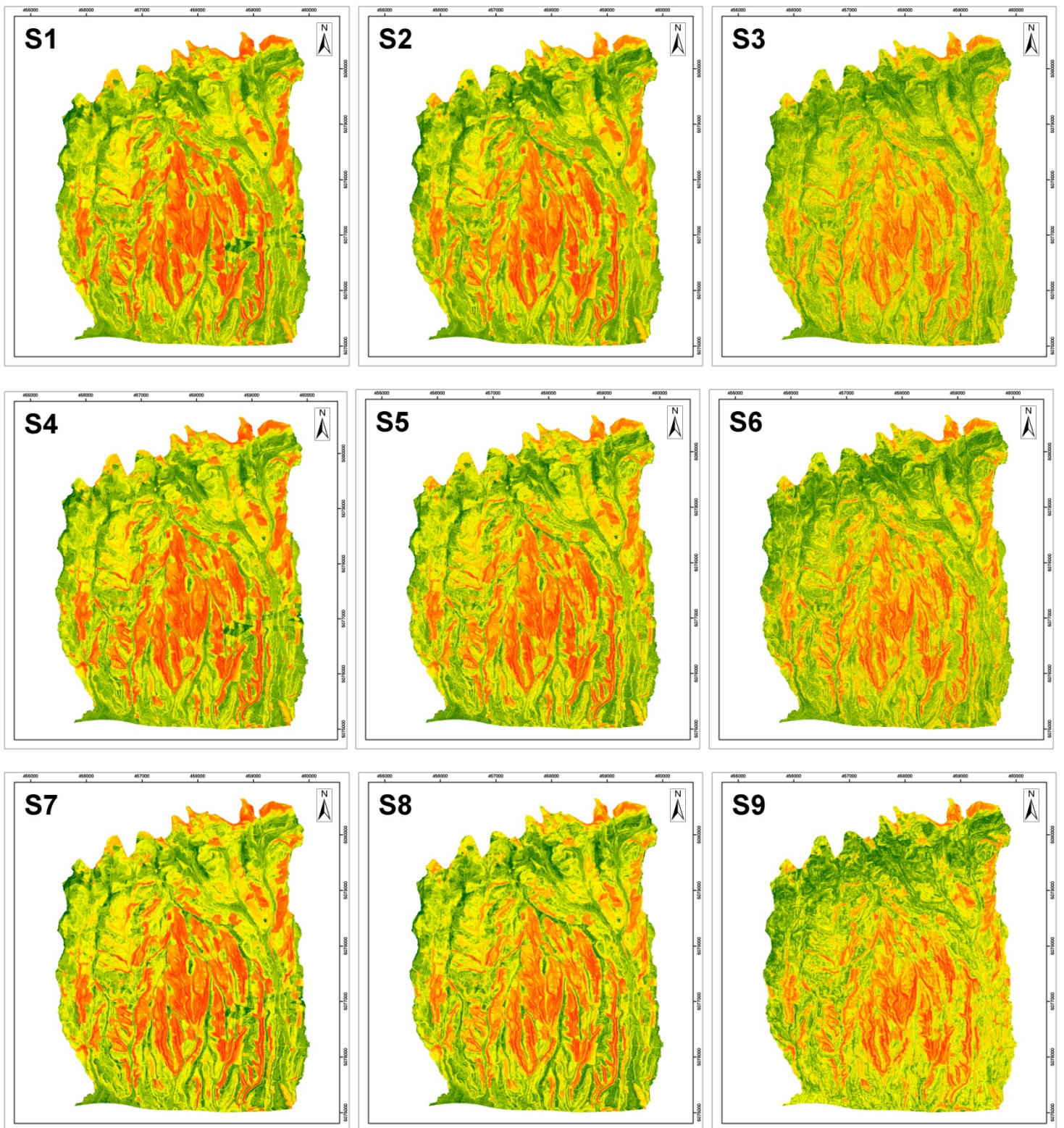
U okviru ovog diplomskog rada ukupno je izrađeno 18 karata podložnosti na klizanje u skladu s predviđenim scenarijima iz tablice 7.1. Svaki scenarij definiran je statističkom metodom izračuna težinskih vrijednosti klasa faktora klizanja, prostornom rezolucijom korištenih inventara klizišta i faktorskih karata te vrstom geometrijskog prikaza inventara klizišta.

Nakon što su izračunate težinske vrijednosti pojedinih klasa i unesene u odgovarajuće atributne tablice faktorskih karata omogućena je izrada jedinstvenih karata podložnosti na klizanje. Karte podložnosti na klizanje za predviđene scenarije izrađene su korištenjem skupine alata *Spatial Analyst*, odnosno naredbe *Weighted Sum*. Unutar navedene naredbe nakon što su unesene sve faktorske karte iste prostorne rezolucije pod opcijom *Field* odabran je istoimeni stupac.

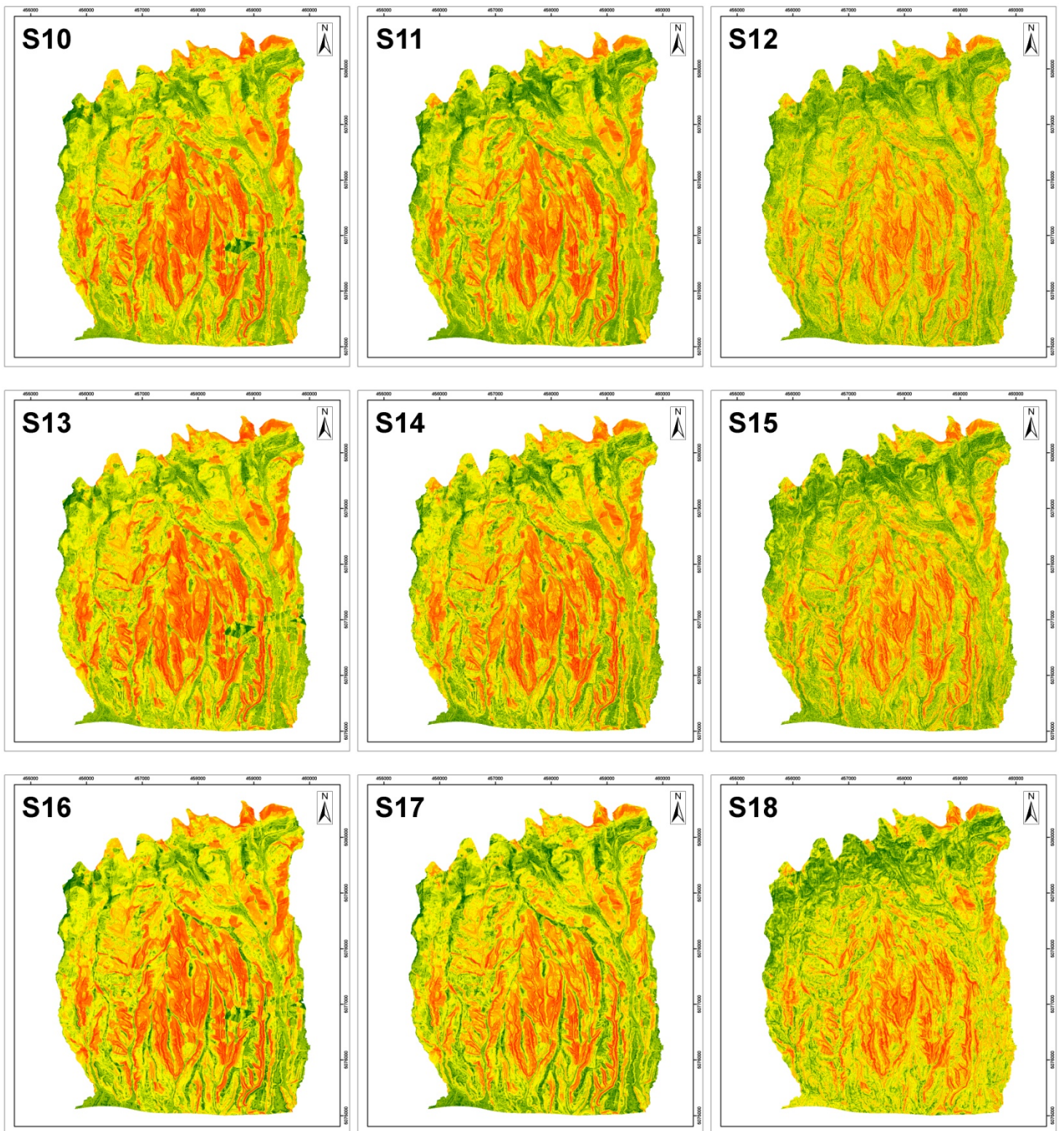
Prikaz dobivenih karata podložnosti može se vidjeti na slikama 7.1 i 7.2. Slika 7.1 prikazuje mozaik karata podložnosti na klizanje dobiven preklapanjem faktorskih karata na temelju težinskih vrijednosti izračunatih metodom *Weight of Evidence (S1-S9)*. Slika 7.2 prikazuje mozaik karata podložnosti na klizanje dobiven preklapanjem faktorskih karata na temelju težinskih vrijednosti izračunatih metodom informacijske vrijednosti (*S10-S18*).

Tablica 7.1 Pojedini scenariji prostornih analiza podložnosti na klizanje (*WoE*- *Weight of Evidence* metoda.; *IV*-metoda informacijske vrijednosti)

Scenarij	Metoda	Rezolucija (m)	Vrsta prikaza klizišta
<i>S1</i>	<i>WoE</i>	1	Poligon
<i>S2</i>	<i>WoE</i>	1	Centroid klizišta
<i>S3</i>	<i>WoE</i>	1	Točka na čelu klizišta
<i>S4</i>	<i>WoE</i>	2	Poligon
<i>S5</i>	<i>WoE</i>	2	Centroid klizišta
<i>S6</i>	<i>WoE</i>	2	Točka na čelu klizišta
<i>S7</i>	<i>WoE</i>	5	Poligon
<i>S8</i>	<i>WoE</i>	5	Centroid klizišta
<i>S9</i>	<i>WoE</i>	5	Točka na čelu klizišta
<i>S10</i>	<i>IV</i>	1	Poligon
<i>S11</i>	<i>IV</i>	1	Centroid klizišta
<i>S12</i>	<i>IV</i>	1	Točka na čelu klizišta
<i>S13</i>	<i>IV</i>	2	Poligon
<i>S14</i>	<i>IV</i>	2	Centroid klizišta
<i>S15</i>	<i>IV</i>	2	Točka na čelu klizišta
<i>S16</i>	<i>IV</i>	5	Poligon
<i>S17</i>	<i>IV</i>	5	Centroid klizišta
<i>S18</i>	<i>IV</i>	5	Točka na čelu klizišta



Slika 7.1 Mozaik karata podložnosti na klizanje dobiven metodom Weight of Evidence prema Van Westen et al. (2002)



Slika 7.2 Mozaik karata podložnosti na klizanje dobiven metodom informacijske vrijednosti prema Yin i Yan (1988)

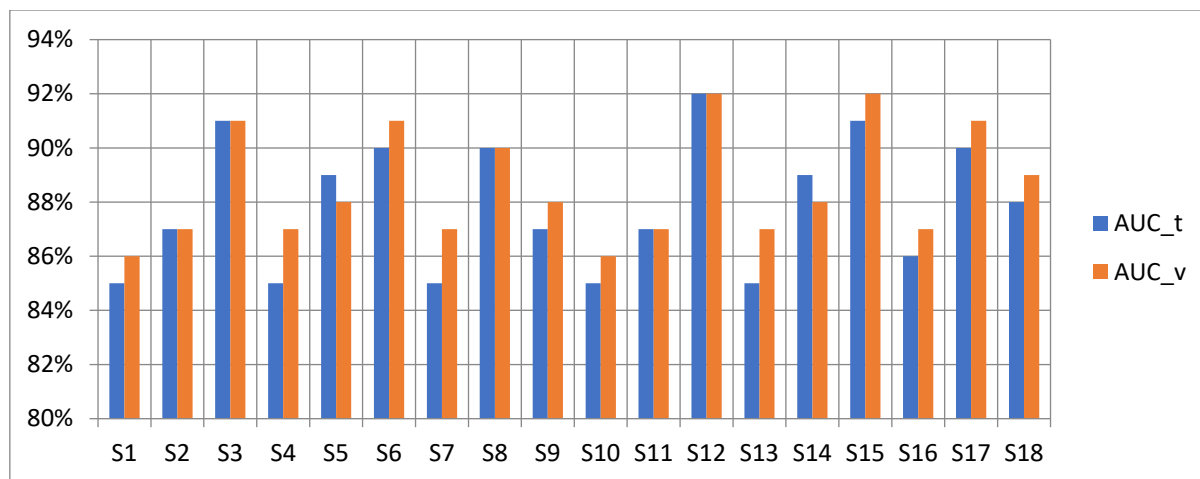
7.2. Verifikacija karata podložnosti na klizanje primjenom ROC krivulje

Nakon što su izrađene karte podložnosti na klizanje za pojedine scenarije krenulo se u verifikaciju modela primjenom ROC krivulje. Kako bi se omogućila verifikacija modela dobivene karte podložnosti su reklasificirane na 100 jednakih klasa korištenjem skupine alata *Spatial Analyst*, odnosno naredbe *Reclassify*. Nad ovako izvedenim kartama podložnosti provedena je zonalna statistika korištenjem seta podataka o klizištima, odnosno ulazne karte klizišta korištene za njihovu izradu (karte klizišta s ekstenzijom *_t*). Dobivene AUC vrijednosti prikazane su u tablici 7.2, a predstavljaju stupanj točnosti izvedenih modela.

Određivanje predikcije modela izvedeno je na temelju rezultata zonalne statistike reklasificiranih karata podložnosti na klizanje korištenjem karata klizišta označenih s ekstenzijom *_v*. Dobivene AUC vrijednosti također su prikazane u tablici 7.2, a predstavljaju stupanje predikcije dobivenih modela podložnosti na klizanje.

Tablica 7.2 Rezultati analize primjenom ROC krivulje za pojedine scenarije

Scenarij	Opis	Rezol.	Metoda	Vrsta prikaza inventara	AUC _t	AUC _v	AUC _{avg}
<i>S1</i>	1m WOE kplg	1m	<i>WoE</i>	poligon	0,85	0,86	0,8785
<i>S2</i>	1m WOE kc	1m	<i>WoE</i>	centroid	0,87	0,87	
<i>S3</i>	1m WOE kgp	1m	<i>WoE</i>	glavna pukotina	0,91	0,91	
<i>S4</i>	2m WOE kplg	2m	<i>WoE</i>	poligon	0,85	0,87	0,8837
<i>S5</i>	2m WOE kc	2m	<i>WoE</i>	centroid	0,89	0,88	
<i>S6</i>	2m WOE kgp	2m	<i>WoE</i>	glavna pukotina	0,90	0,91	
<i>S7</i>	5m WOE kplg	5m	<i>WoE</i>	poligon	0,85	0,87	0,8801
<i>S8</i>	5m WOE kc	5m	<i>WoE</i>	centroid	0,90	0,90	
<i>S9</i>	5m WOE kgp	5m	<i>WoE</i>	glavna pukotina	0,87	0,88	
<i>S10</i>	1m IV kplg	1m	<i>IV</i>	poligon	0,85	0,86	0,8819
<i>S11</i>	1m IV kc	1m	<i>IV</i>	centroid	0,87	0,87	
<i>S12</i>	1m IV kgp	1m	<i>IV</i>	glavna pukotina	0,92	0,92	
<i>S13</i>	2m IV kplg	2m	<i>IV</i>	poligon	0,85	0,87	0,8871
<i>S14</i>	2m IV kc	2m	<i>IV</i>	centroid	0,89	0,88	
<i>S15</i>	2m IV kgp	2m	<i>IV</i>	glavna pukotina	0,91	0,92	
<i>S16</i>	5m IV kplg	5m	<i>IV</i>	poligon	0,86	0,87	0,8845
<i>S17</i>	5m IV kc	5m	<i>IV</i>	centroid	0,90	0,91	
<i>S18</i>	5m IV kgp	5m	<i>IV</i>	glavna pukotina	0,88	0,89	



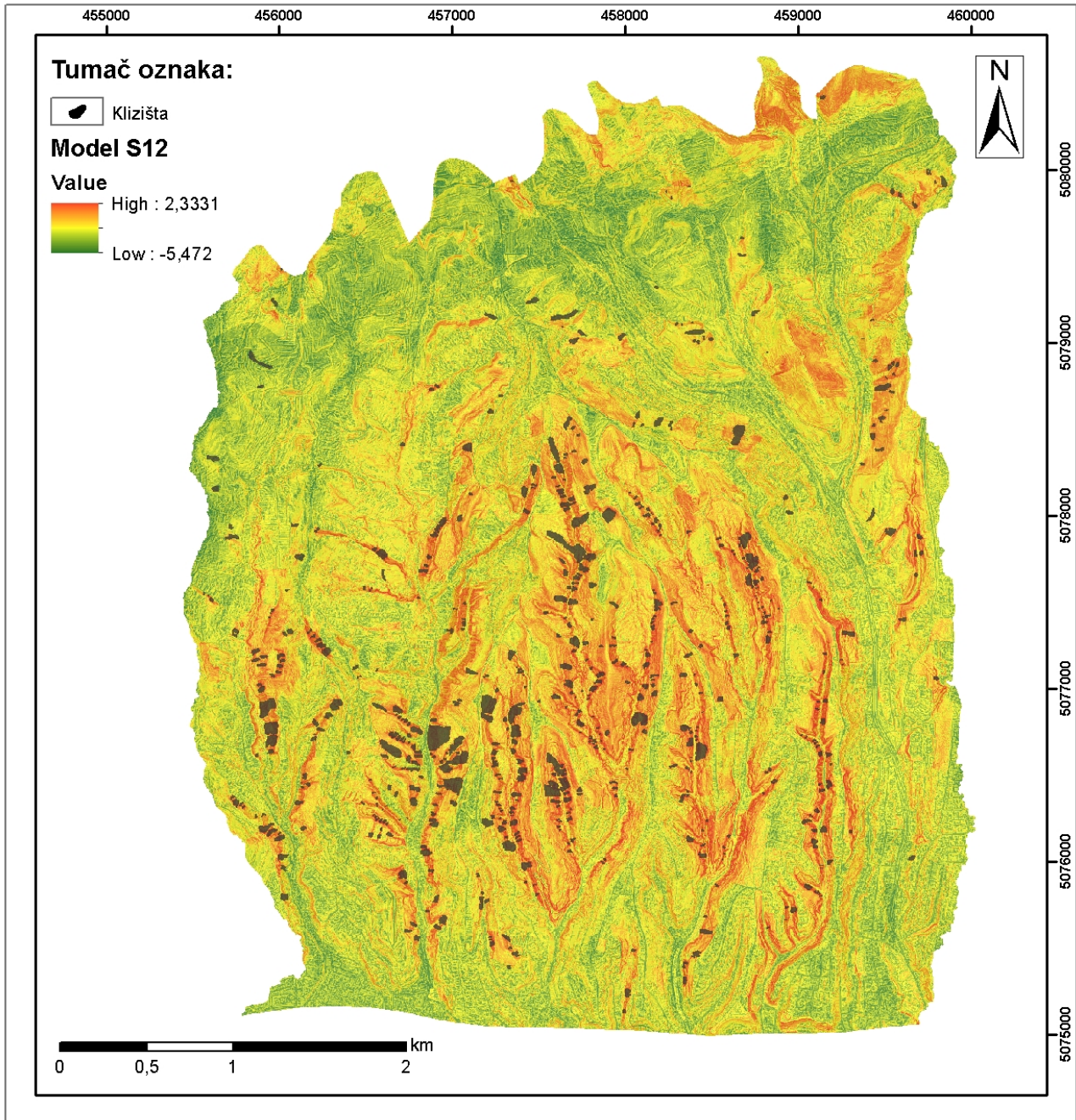
Slika 7.3 Prikaz rezultata analize dobivenih modela podložnosti primjenom ROC krivulje

Na temelju prikazanih rezultata analize primjenom ROC krivulje može se iščitati da se kao najbolji model podložnosti na klizanje područja istraživanja pokazao model scenarija *S12* (slika 6.3). Model podložnosti na klizanje za scenarij *S12* dobiven je korištenjem faktorskih karata prostorne rezolucije 1 m. Težinske vrijednosti klasa faktora klizanja izračunate su metodom informacijske vrijednosti na temelju rezultata zonalne statistike korištenjem karte inventara klizišta prostorne rezolucije 1 m, gdje su klizišta prikazana točkama na glavnim pukotinama. Za navedeni model dobiven je najviši stupanj točnosti modela od 92 % te stupanj predikcije modela, također 92 %.

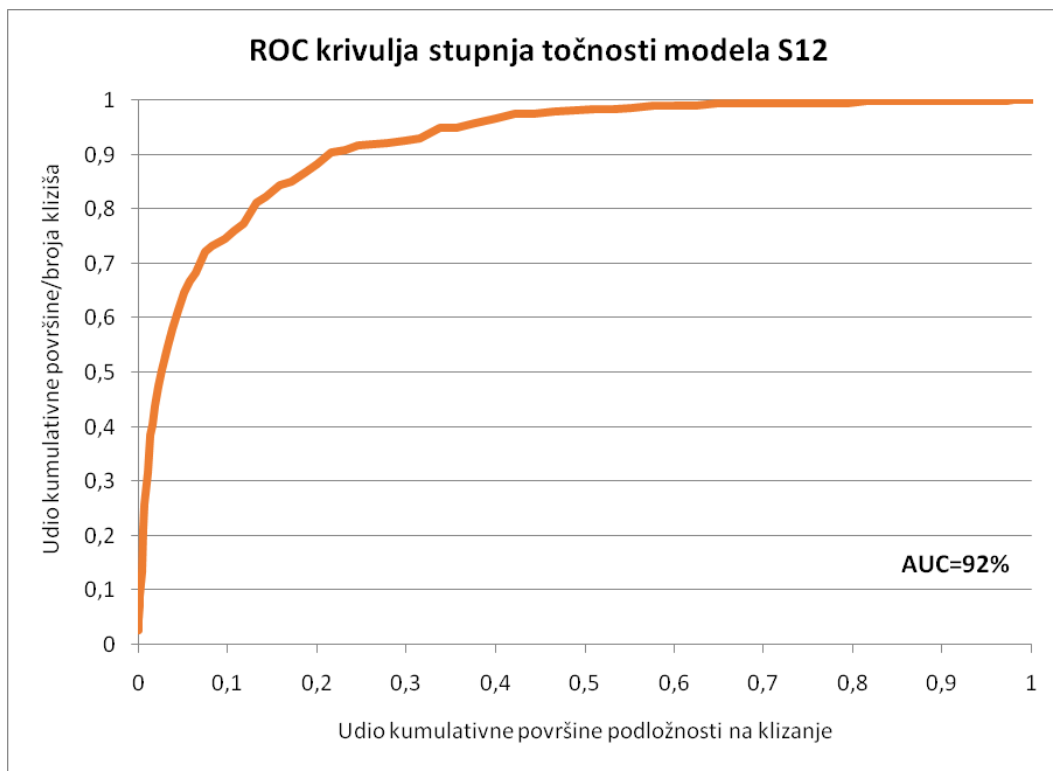
Slika 7.4 prikazuje izvedenu kartu podložnosti na klizanje za scenarij *S12* s prikazom svih klizišta kartiranih na području istraživanja. Maksimalna težinska vrijednost ovog modela iznosila je 2,331, a minimalna -5,472. Područja prikazana nijansama zelene i žute boje predstavljaju područja niske podložnosti na klizanje (negativne težinske vrijednosti), dok područja prikazana crvenim do narančastim nijansama predstavljaju područja visoke podložnosti na klizanje (pozitivne težinske vrijednosti).

Kao modeli podložnosti na klizanje s kombinacijom najmanjih vrijednosti stupnjeva točnosti i predikcije pokazali su se modeli za scenarije *S1* i *S10*. Oba modela izrađena su za prostornu rezoluciju 1m korištenjem karata klizišta u kojem su klizišta prikazana poligonima. Stupanj točnosti navedenih modela iznosio je 85 %, a stupanj predikcije 86 % za obje bivarijantne statističke metode analize faktora klizanja i određivanja težinskih vrijednosti klasa faktora.

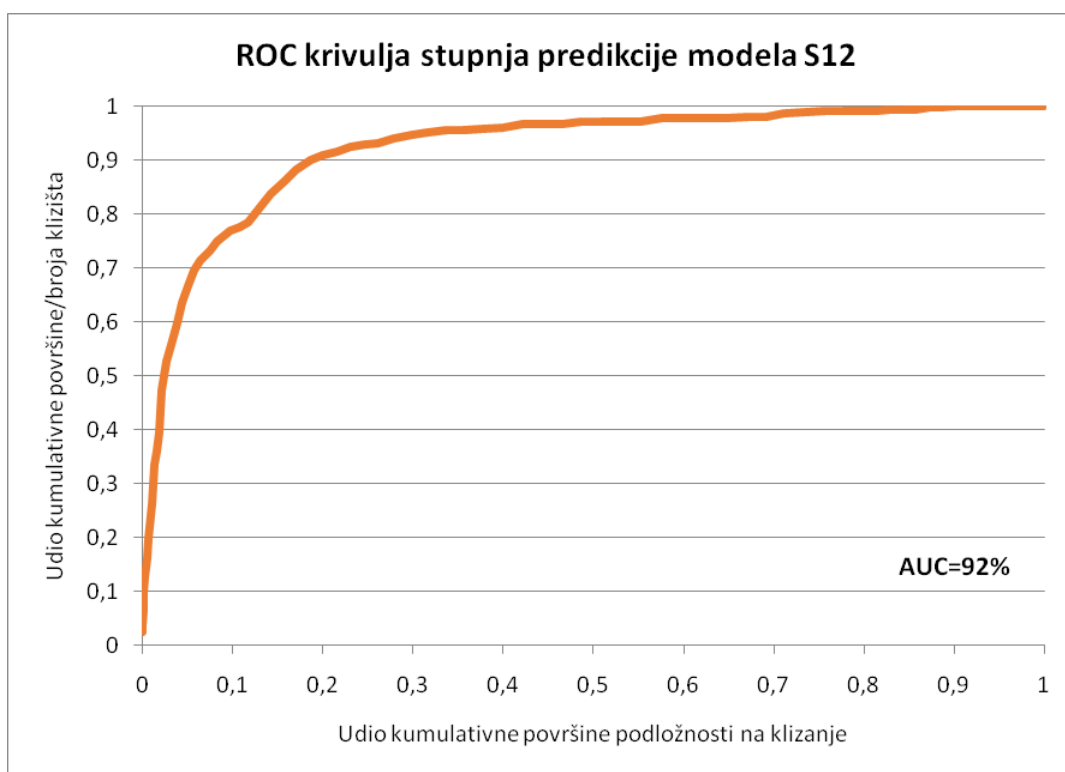
Slike 7.5 i 7.6 prikazuju dobivene ROC krivulje modela *S12*, pri čemu slika 7.5 prikazuje krivulju stupnja točnosti, a slika 7.6 krivulju stupnja predikcije modela podložnosti na klizanje.



Slika 7.4 Karta podložnosti na klizanje za scenarij *S12* s prikazom svih klizišta (M 1:30.000)



Slika 7.5 ROC krivulja analize stupnja točnosti modela za scenarij S12 s prikazom AUC vrijednosti



Slika 7.6 ROC krivulja analize stupnja predikcije modela za scenarij S12 s prikazom AUC vrijednosti

8. DISKUSIJA

Inventar klizišta predstavlja najvažniji ulazni podataka u svima prostornim analizama podložnosti na klizanje, zbog čega je nužno osigurati njegovu potpunost, odnosno geografsku i tematsku točnost. Inventar klizišta korišten kao polazni set podataka u analizama podložnosti na klizanje u okviru ovog diplomskog rada izrađen je na temelju vizualne interpretacije izvedenih morfometrijskih karata iz DMT-a visoke prostorne rezolucije (0,3 x 0,3 m; 1 x 1 m). DMT visoke prostorne rezolucije dobiven je obradom podataka (3-D oblaka točaka) snimljenih laserskim skeniranjem iz zraka čime je uklonjen negativni utjecaj vegetacije područja istraživanja. Korištena karta inventara klizišta sadrži podatke o prostornom rasprostiranju i smještaju pojedinih klizišta te predstavlja jednostavan, ali potpun inventar klizišta.

Za potrebe izrade pojedinih modela podložnosti na klizanje dijela podsljemenske urbane zone Grada Zagreba (područje istraživanja površine 21,09 km²) analizirani su različiti preduvjeti, odnosno faktori klizanja izvedeni iz dostupnih podataka. Kao podloga za izradu faktorskih karta geomorfoloških preduvjeta klizanja (karata nagiba i karata raščlanjenosti terena) te hidroloških preduvjeta klizanja (karte udaljenosti od drenažne mreže) također je korišten DMT visoke rezolucije (1 x 1 m). Podloga geoloških preduvjeta klizanja, što je uključivalo pojedine kronostratigrafske jedinice i geološke granice, bila je OGK (M 1:100.000), lista Zagreb (Šikić et al., 1972). Faktorske karte namjene zemljišta prema tipu pokrova izvedene su iz vektorskog sloja stvarnog korištenja zemljišta prema podacima Gradskog ured za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba (2011). Detaljniji postupci odrade ulaznih i tematskih karata opisani su u 5. i 6. poglavlju ovog rada. Izvedene faktorske karte, kojih je ukupno bilo 18, predstavljale su drugi set ulaznih podataka za prostorne analize podložnosti na klizanje. S obzirom na kvalitetu ulaznih podataka, smatra se kako su podaci o geomorfološkim i hidrološkim preduvjetima klizanja vrlo visoke točnosti, a razlog tome je što su dobiveni obradom DMT-a vrlo visoke rezolucije. Ulazni podaci antropogenih preduvjeta klizanja temelje se na vektorskim podacima Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba iz 2011. te se smatra da su navedeni ulazni podaci srednje točnosti zbog starosti podataka. Ulazni podaci o geološkim preduvjetima dobiveni su digitalizacijom dijela OGK lista Zagreb mjerila 1:100.000. Zbog navedenog se smatra da ulazni geološki podaci imaju znatno nižu točnost u odnosu na druge ulazne podatke.

Analiza utjecaja pojedinih klasa faktora klizanja i pripadajuće težinske vrijednosti izračunate su primjenom dviju bivarijantnih statističkih metoda, metode *Weight of Evidence*

prema Van Westen et al. (2002) i metode informacijske vrijednosti prema Yin i Yan (1988). Obje statističke metode analize provedene su u skladu s dijagramom toka koji predstavlja pojednostavljeni prikaz procesa izrade karte podložnosti na klizanje primjenom bivarijantnih statističkih metoda. Međutim nisu rađeni 5. i 6. korak, odnosno reklasifikacija dobivenog modela podložnosti na klase i preklapanje s kartom inventara klizišta. Navedene analize pružile su uvid u utjecaj pojedinih faktora (geomorfoloških, geoloških, hidroloških i antropogenih preduvjeta klizanja) na pojavu procesa klizanja te omogućile izradu 18 jedinstvenih modela/karata podložnosti na klizanje. Smatra se da su razlike u točnosti pojedinih modela dobivenih navedenim metodama minimalne. Rezultati analiza utjecaja pojedinih klasa faktora klizanje pokazali su da u slučaju nagiba terena, najveći utjecaj na pojavnost klizišta ima klasa 8 ($35-40^\circ$), a također utječu klase 4, 5, 6, 7, 9 i 10 ($x-y^\circ$). Analize klasa raščlanjenosti terena pokazale su da najveći utjecaj na pojavnost klizišta ima klasa 4 ($0,4-0,5$), a također utječu klase 3, 5, 6, 7 i 8 ($x-y$). Rezultati analiza geoloških preduvjeta pokazali su da najveći utjecaj na pojavnost klizišta u slučaju kronostratigrafskih jedinica pokazuje klasa 1 (*pliokvartar*), a u slučaju udaljenosti od geoloških granica klasa 1 (200 m) pri čemu utjecaj na pojavnost također pokazuju klase 3, 4, 5, 6, 7 i 8 ($x\text{ m}$). Rezultati analiza utjecaja klasa hidroloških preduvjeta su pokazali da najveći utjecaj na pojavnost klizišta ima klasa 1 (50 m), a utjecaj također pokazuje klasa 1 ($x\text{ m}$). Analizom utjecaja klasa antropogenih preduvjeta utvrđena je da najveći i jedini utjecaj na pojavnost klizišta ima klasa 1 (*šume*).

Analize stupnja točnosti i predikcije izvedenih modela podložnosti na klizanje, primjenom ROC krivulje, pokazale su da svi scenariji daju vrlo dobre rezultate. Rasponi dobivenih AUC vrijednosti bili su od 0,85 do 0,92 (odnosno 85-92 %). Pri tome je metoda informacijske vrijednosti pokazala neznatno bolje rezultate u odnosu na *Weight of Evidence* metodu za sve korištene prostorne rezolucije analize podložnosti na klizanje. AUC vrijednosti stupnja točnosti i predikcije modela dobivenih metodom informacijske vrijednosti u prosjeku su višeg stupnja točnosti i predikcije za 0,37 %.

Ipak, potrebno je istaknuti model dobiven prema scenariju *S12*. Navedeni model izveden je na temelju zonalne statistike preklapanjem faktorskih karata prostorne rezolucije 1 m. Također, korišten je inventar klizišta iste prostorne rezolucije, pri čemu su klizišta prikazana točkama na glavnim pukotinama. Vrijednosti težinskih faktora modela *S12* izračunate su korištenjem metode informacijske vrijednosti prema Yin i Yan (1988). Analiza modela *S12* primjenom ROC krivulje dala je kombinaciju najviših stupnjeva točnosti i predikcije, pri čemu su obje AUC vrijednosti iznosile 92%.

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu izrađeno je 18 modela/karata podložnosti na klizanje prema predviđenim scenarijima (SI-SI8) za dio podsljemenske zone Grada Zagreba, odnosno područje istraživanja površine 21,09 km², kojima je dobiven uvid u prostornu vjerojatnost pojavnosti potencijalnih procesa klizanja. Analizama podložnosti na klizanje obuhvaćeni su samo procesi klizanja čiji je mehanizam pokreta materijala na padini bio klizanje u užem smislu riječi. Modeli podložnosti na klizanje izvedeni su kombinacijom i preklapanjem 18 faktorskih karata i 9 inventara klizišta (inventari s ekstenzijom $_t$) za prostorne rezolucije 1 m, 2 m i 5 m, primjenom dviju bivarijantnih statističkih metoda prostorne analize podložnosti na klizanje, metodom *Weight of Evidence* i metodom informacijske vrijednosti.

Rezultati analiza dobivenih modela podložnosti na klizanje primjenom ROC krivulja pokazali su da su modeli podložnosti izvedeni korištenjem inventara u kojemu su klizišta prikazana točkama na glavnim pukotinama neznatno višeg stupnja točnosti ($\Delta AUC_{max}=7\%$) u odnosu na druge modele podložnosti koji su izvedeni na temelju inventara poligona, odnosno na temelju inventara centroida klizišta. Navedeno se odnosi samo za modele podložnosti na klizanje područja istraživanja za prostorne rezolucije 1 m i 2 m. AUC vrijednosti stupnjeva točnosti i predikcije navedenih modela u rasponu su od 85-92 % što znači da od ukupnog broja klizišta (709), njih 652 leži u području koje bi se moglo klasificirati kao područje visoke do vrlo visoke podložnosti na klizanje. Navedeno dovodi do zaključka da su izvedeni modeli visokog stupnja točnosti i pouzdanosti, a da primjenjene statističke bivarijantne metode daju vrlo dobre rezultate u prostornim analizama podložnosti na klizanje područja istraživanja.

U slučaju prostorne rezolucije 5 m, neznatno viši stupanj točnosti i predikcije ($\Delta AUC_{max}=6\%$) pokazuju modeli podložnosti na klizanje izvedeni korištenjem inventara klizišta na kojem su klizišta prikazana centroidima. AUC vrijednosti navedenih modela u rasponu su od 85-91 % te također predstavljaju modele visokog stupnja točnosti i pouzdanosti.

Ulazni podaci o geološkim preduvjetima klizanja koji su se pokazali korisni za provedene prostorne analize podložnosti na klizanje bile su sljedeće faktorske karte: karte udaljenosti od geoloških granica i karte kronostratigrafskih jedinica područja istraživanja. Smatra se da bi se izradom i korištenjem faktorskih karata litostratigrafskih jedinica područja istraživanja povećala točnost izvedenih modela. Budući da litostratigrafski podaci nisu bili korišteni u okviru ovog diplomskog rada, navedeno je samo pretpostavka, a mogla bi biti tema nekog budućeg znanstvenog ili diplomskog rada.

Dobiveni modeli podložnosti na klizanje, posebice model podložnosti za scenarija *S12* zbog najvišeg stupnja točnosti ($AUC_t = 92\%$) i predikcije ($AUC_v = 92\%$), predstavlja optimalnu podlogu za izradu konačne karte podložnosti na klizanje kojom bi se područje istraživanja reklasificiralo na pojedine klase podložnosti na klizanje ili klase stabilnosti, odnosno nestabilnosti padina. Navedena konačna karta podložnosti pružala bi vrijedne informacije kako za prostorno planiranje, tako i za civilnu zaštitu. Izravna primjena navedene karte u prostornom planiranju mogla bi poslužiti za definiranje novih građevinskih područja na području istraživanja, odnosno ukidanje postojećih te za izdavanje uvjeta gradnje u odnosu na opasnost od klizišta, prilikom ishoda lokacijskih i građevinskih dozvola. Za potrebe civilne zaštite konačna karta podložnosti na klizanje mogla bi se koristiti kao podloga za izradu planova hitnih evakuacija u slučaju masovne pojave klizišta.

Težinske vrijednosti faktora klizanja dobivene korištenjem metode informacijske vrijednosti prema scenariju *S12* mogle bi se koristiti za izradu karte podložnosti na klizanje za cijelu podsljemensku zonu Grada Zagreba primjenom kvalitativnih heurističkih metoda. Ova mogućnost proizlazi iz sličnosti geoloških, geomorfoloških i hidroloških značajki te ujednačenog stupnja izgrađenosti područja istraživanja i cijele podsljemenske zone Grada Zagreba.

Budući da izvedeni modeli podložnosti na klizanje pružaju uvid u prostornu vjerojatnost pojavnosti procesa klizanja, dobiveni modeli podložnosti na klizanje mogu se koristiti u daljnjim prostornim analizama kao podloge u izradi karata hazarda i rizika od klizanja. Navedenim kartama dobio bi se veći broj vrijednih informacija o vremenskoj vjerojatnosti prijetnji procesa klizanja, odnosno potencijalnim štetama za stanovništvo i/ili materijalna dobra.

Nužno je naglasiti da model podložnosti na klizanje scenarija *S12* iako daje najbolje rezultate stupnja točnosti i predikcije predstavlja model koji je izveden na temelju podataka prikupljenih do određenog trenutka u vremenu. Zbog toga je njegova primjenjivost ograničena, a podložan je promjenama ovisno o promjenama u ulaznim podacima za područje za koje je izrađen. Stoga je nužno sustavno prikupljanje i obnavljanje podataka, kako o klizištima u vidu inventara, tako i o faktorima klizanja. Da bi se održala aktualnost i primjenjivost dobivenih informacija, važno je izrađivati nove modele podložnosti na temelju novoprikupljenih ažurnih podataka.

POPIS LITERATURE

Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., Wright, D.F. (1990): Statistical Pattern Integration for Mineral Exploration. U: Gaal, G., Merriam, D.F. (ur.): Computer Applications in Resource Estimation: Prediction and Assessment for Metals and Petroleum, Pergamon, Oxford, 1 - 21.

Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21–44.

Bernat Gazibara S, Krkač M, Sečanj M, Mihalić Arbanas S (2017) Identification and mapping of shallow landslides in the City of Zagreb (Croatia) using the LiDAR-based terrain model. In: Mikos M, Tiwari B, Yin Y, Sassa K (eds) *Advancing culture of living with landslides*. Springer, Cham, 1093–1100.

Bernat Gazibara, S. (2019): Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnoga modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Doktorski rad, 257.

Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S. (2019a): Landslide inventory mapping using LiDAR data in the City of Zagreb (Croatia), *Journal of Maps*, 15:2, 773-779, DOI: 10.1080/17445647.2019.1671906.

Bernat Gazibara S, Krkač M, Mihalić Arbanas S (2019b) Verification of historical landslide inventory maps for the Podsljeme area in the City of Zagreb using LiDAR based landslide inventory. *MGPB* 34. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.1.5>

Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S., (2019): Landslide inventory mapping using LiDAR data in the City of Zagreb (Croatia). *Journal of Maps*, 15:2, 773-779.

Bognar, A. (2001): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica*, 34, 7–29.

Coe J.A., Godt J.W., Baum R.L., Bucknam R.C., Michael J.A., (2004b): Landslide susceptibility from topography in Guatemala. In: Lacerda WA et al. (ed) *Landslides, evaluation & stabilization*. Proceedings of the 9th international symposium on landslides, Rio de Janeiro 1:69–79.

Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M.G.,

Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., Smith, J.T. (2013): Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 73, Issue 2, 209–263.

Crozier, M., (1986): *Landslides: causes, consequences and environment*. Croom Helm, London, *Géog Phys Quatern* 41(3):409

Cruden, D.M. (1991): A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27.

Državni zavod za statistiku, DZS (2022): Prvi rezultati Popisa 2021. Godine. URL: <https://popis2021.hr>

Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2008): Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268–289.

Generalni urbanistički plan grada Zagreba, GUP (2016) URL: <http://www.zagreb.hr/odluka-odonosenju-generalnoga-urbanistickog-plana/89158>

Ghosh, J.K., Devanjan, B., Swej, K.S., 2012: Fuzzy knowledge-based GIS for zonation of landslide. *Sci Eng* 2:2–13.

Girma, F., Raguvanshi, T.K., Ayenew, T., Haile Mariam, T., 2015: Landslide hazard zonation in Ada Berga district, Central Ethiopia – a GIS-based statistical approach. *J Geom* 90:25–38.

Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.T. (2012): Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42–66.

Highland, L.M., and Bobrowsky P. (2008): *The landslide handbook - A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129.

IGU, International Geographical Union (1968): *The unified key to the detailed geomorphological map of the world, 1: 25.000 – 1: 50.000*. *Folia geografica*, series *geographica-physica* 2, Krakow.

Jurak, V., Ortolan, Ž., Ivšić, T., Herak, M., Šumanovac, F., Vukelić, I., Jukić, M., Šurina, Z. (2008): Geotehničko i seizmičko mikrozoniranje grada Zagreba – pokušaji i ostvarenje. *Zbornik radova s konferencije razvitak Zagreba*, Zagreb, 99-108.

Mihalić, S. (1998): Recommendations for Landslide Hazard and Risk Mapping in Croatia. *Geologia Croatica*, 51 (2), 195-204.

Mihalić, S., Arbanas, Ž. (2013): The Croatian–Japanese joint research project on landslides: Activities and public benefits. U: Sassa K., Rouhban B., Briceño S., McSaveney M., He B. (ur.) *Landslides: global risk preparedness*, Springer, Heidelberg. 333–349.

Mihalić, S., Marui, H., Nagai, O., Yagi, H., Miyagi, T. (2013): Landslide inventory in the area of Zagreb City: Effectiveness of using LiDAR DEM. U: Margottini, C., Sassa K. (ur.): *Proceedings of the 2nd World Landslide Forum 'Landslide Science and Practice'*. Njemačka, Springer, 155-162.

Mihalić Arbanas, S., Bernat, S., Fabijanović, S., Arbanas, Ž. (2014): The analysis of historical landslide information from the area of the City of Zagreb and Primorsko-Goranska County. In: Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž. (eds.): *Proceedings of the 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region - Landslide and Flood Hazard Assessment*. Croatian Landslide Group, Zagreb, 91–96.

Mihalić Arbanas, S., Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Sinčić, M., Lukačić, H., Jagodnik, P., Arbanas, Ž. (in press): Landslide detection and spatial prediction: Application of data and information from landslide maps. In: Sassa, K. et al. (eds). *Progress in Landslide Research and Technology*, Volume 1 Issue 2, 1-17. Springer.

Miklin, Ž., Mlinar, Ž., Brkić, Ž., Hećimović, I., Dolić, M. (2007): Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone u mjerilu 1:5.000 (DIGK-Faza I). Hrvatski geološki institut, Zagreb, Knjige 1-4, 44 priloga.

Podolzski, L. (2014) *Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice*. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb

Polak, K., Klemar, M., Nejkova, M., Radošević, N., Stepan, Z., Miroslav, M., Križanić, Z. (1979): *Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba*. Geotehnika-Geoexpert, Zagreb, 102.

Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B.D., Mihir, M., Guzzetti, F. (2018): A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60-91.

Sabto, M. (1991): Probabilistic modelling applied to landslides in central Colombia using GIS procedures. Unpublished Msc. Thesis, ITC, Enschede, Netherlands, 26.

Saha, A.K., Gupta, R.P., Arora, K.M., 2002: GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *Int J Remote Sens* 23:357-369.

Santangelo, M., Cardinali, M., Rossi, M., Mondini, A.C., Guzzetti, F. (2010): Remote landslide mapping using a laser rangefinder binocular and GPS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2539–2546.

Šikić, V. (1967): Inženjerska geologija Zagreb – sjever i jug. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 152.

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1972): Osnovna geološka karta, List Zagreb, M 1:100.000. Geološki zavod Zagreb.

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1979): Tumač za Osnovnu geološku kartu, List Zagreb. Geološki zavod Zagreb.

van Westen, C.J. (2002): Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping. ITC Publication, 21.

van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L. (2008): Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology*, 102, 112–131.

Varnes, D.J., the IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements (1984): *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. The UNESCO Press, Paris, 63.

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1993b): *A multi-lingual landslide glossary*. Bitech Publishers, Vancouver, 59.

Tokić L., (2017): ROC krivulja - krivulja odnosa specifičnosti i osjetljivosti klasifikatora, Prirodoslovno-matematički fakultet, matematički odsjek, Sveučilište u Zagrebu. Diplomski rad, 56.

Yin, K.L., Yan T.Z., 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. U: Bonnard, C. (ed.): *Proceedings of Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, vol. 2, Rotterdam: A.A. Balkema, pp. 1269-1272.