

# Procjena podložnosti na klizanje na području Grada Slatine primjenom bivarijatne statističke metode

---

Vujanović, Rok

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*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:169:976966>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-05**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

PROCJENA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE NA PODRUČJU GRADA SLATINE  
PRIMJENOM BIVARIJATNE STATISTIČKE METODE

Diplomski rad

Rok Vujanović

G384

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
HR-10002 Zagreb, Pločestjeva 6, p.p. 390

OBRAZAC SUSTAVA UPRAVLJANJA KVALITETOM

KLASA: 602-04/20-01/228  
URBROJ: 251-70-14-20-12  
U Zagrebu, 8.7.2021.

**Rok Vujanović, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/228, URBROJ: 251-70-14-20-11 od 29.10.2020. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### PROCJENA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE NA PODRUČJU GRADA SLATINE PRIMJENOM BIVARIJATNE STATISTIČKE METODE

Za voditeljicu 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 suvoditeljicu dr. sc. Sanja Bernat Gazibara .

Voditeljica:

(potpis)

prof. dr. sc. Snježana Mihalić  
Arbanas

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko  
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i  
studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

Oznaka: OB 8.5.-1 SRF-1-13/0

Stranica: 1/1

Čuvanje (godina) Trajno

*Zahvaljujem se svojoj mentorici, prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas, na predloženoj temi, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se kolegi Marku Sinčiću na neizmjernej pomoći te savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se obitelji, Ivani i prijateljima na potpori tijekom studiranja.*

PROCJENA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE NA PODRUČJU GRADA SLATINE  
PRIMJENOM BIVARIJATNE STATISTIČKE METODE

ROK VUJANOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

U ovom radu prikazuje se postupak izrade karte podložnosti na klizanje na području Grada Slatine primjenom bivarijatne statističke metode. Inventar klizišta koji je korišten za procjenu podložnosti na klizanje preuzet je iz Urbanističkog plana uređenja Grada Slatine iz 2003. godine. Analizirano je ukupno devet preduvjeta klizanja izvedenih iz dostupnih izvora podataka: Osnovna geološke karta Hrvatske M 1:100 000, Hrvatske osnovne karte (HOK) M 1:5 000, ortofoto snimaka područja i iz Prostornog plana uređenja Grada Slatine. Digitalni model terena rezolucije 5 m izrađen je u okviru ovog rada digitalizacijom podataka s HOK-a, a iz njega su izvedene najvažnije faktorske karte morfoloških i hidroloških parametara. Za analizu utjecaja pojedinih faktorskih karata i klasa primijenjen je  $\chi^2$  test, te dvije metode, metoda informacijske vrijednosti i metoda *Weight of Evidence*. Karte podložnosti na klizanje izvedene su za četiri scenarija s odabirom različitih kombinacija faktorskih karata. Na sve karte su primijenjene četiri vrste klasifikacije. Za konačnu kartu odabrana je karta koja sadrži morfološke, hidrološke i antropogene faktore, a izrađena je primjenom metode informacijske vrijednosti klasificirane *natural breaks* metodom. Konačna karta podložnosti na klizanje klasificirana je na tri klase podložnosti na klizanje (niska, srednja i visoka), a verificirana je sa zonama podložnosti iz 2003. definiranim na temelju izravnog kartiranja. Usprkos opisanim ograničenjima, pouzdanost konačne karte podložnosti na klizanje je visoka. Ova karta se može primijeniti kao tematska podloga za prostorno planiranje jer prikazuje zone u kojima je potrebno definirati posebne uvjete za gradnju u odnosu na klizišta.

Ključne riječi: klizište, podložnost na klizanje, zoniranje, Slatina

Diplomski rad sadrži: 56 stranica, 10 tablica, 34 slike i 37 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentorica: prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica, RGNF  
Komentor: dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, poslijedoktorandica, RGNF  
Pomoć pri radu: Marko Sinčić, mag. ing. geol., doktorand, RGNF

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica, RGNF  
doc. dr. sc. Martin Krkač, docent, RGNF  
prof. dr.sc. Željko Arbanas, redoviti profesor, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Datum obrane: 16. srpnja 2021.

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology  
and Petroleum Engineering

Graduate Engineer of Geological Engineering Thesis

## LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF SLATINA CITY USING BIVARIANT STATISTICAL METHODOLOGY

ROK VUJANOVIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

### Abstract

In the thesis the procedure of development of a landslide susceptibility map of the Slatina City using the bivariate statistical method was presented. The landslide inventory map used for landslide susceptibility assessment was taken from the Urban Development Plan of the Slatina City from 2003. A total of nine landslide precondition maps were analysed. All are created from the following available data sources: Basic Geological Map in the scale 1:100 000, Croatian Basic Topographic Map in the scale 1:5 000, orthophoto images of the area and Spatial plan of the Slatina City. Digital elevation model of 5-m spatial resolution was created in the framework of the thesis by digitalizing all elevation points and isohypses. It was used as one of the most important input data set for morphological and hydrological parameters. For the analysis of the influence of individual factor maps and classes, the  $\chi^2$  test was applied, as well as two methods, the information value method and the Weight of Evidence method. Landslide susceptibility maps were created for four scenarios with a different combinations of factor maps. Four types of landslide susceptibility classification were applied to all maps. For the final map, it was selected a map derived based on analysis of morphological, hydrological and anthropogenic factors using the information value method, classified with the natural breaks method. The final landslide susceptibility map was classified into three landslide susceptibility classes (low, medium, and high landslide susceptibility) and it was verified by comparison with susceptibility zones defined in 2003 by direct mapping. Despite described limitations, reliability of the final landslide susceptibility map is high. The created map can be used as a thematic base map for spatial planning because it depicts zones that possess special conditions for construction in relation to landslides.

Keywords: landslide, landslide susceptibility, zonation, Slatina

Thesis contains: 56 pages, 10 tables, 34 figures and 37 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Prof. Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, RGNF  
Co-supervisor: Dr. Sanja Bernat Gazibara, Post-doctoral Researcher, RGNF  
Help with thesis: Marko Sinčić, mag. ing. geol., Doctoral Researcher, RGNF

Reviewers: Prof. Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, RGNF  
Assist. Prof. Martin Krkač, Assistant Professor, RGNF  
Prof. Željko Arbanas, Full Professor, Faculty of Civil Engineering, UNIRI

Date of defense: 16 July 2021.

## Sadržaj

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>3</b>
2.1	Geografske značajke .....	3
2.2	Geomorfološke značajke .....	4
2.3	Geološka građa .....	5
<b>3</b>	<b>METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>8</b>
3.1	$\chi^2$ test .....	8
3.2	Metoda <i>Weight of Evidence</i> i metoda informacijske vrijednosti.....	9
3.3	ROC krivulja .....	12
3.4	Metode klasifikacije podložnosti na klizanje .....	12
<b>4</b>	<b>ULAZNI PODACI.....</b>	<b>14</b>
4.1	Inventar klizišta .....	14
4.2	Karta zona podložnosti na klizanje iz 2003. godine .....	16
4.3	Ulazni podaci za faktorske karte klizanja .....	18
4.3.1	Morfološki podaci.....	18
4.3.2	Geološki podaci .....	21
4.3.3	Hidrološki podaci .....	23
4.3.4	Korištenje i namjena zemljišta .....	24
<b>5</b>	<b>ANALIZE FAKTORSKIH KARATA .....</b>	<b>26</b>
5.1	Geomorfološki faktori.....	27
5.2	Geološki faktori .....	31
5.3	Hidrološki faktori.....	34
5.4	Antropogeni faktori.....	37
<b>6</b>	<b>REZULTATI PROCJENE I ZONIRANJA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE..</b>	<b>41</b>
6.1	Procjena podložnosti na klizanje .....	41

6.2	Klasifikacija podložnosti na klizanje .....	44
6.3	Odabir optimalne karte podložnosti.....	47
6.4	Konačna karta podložnosti na klizanje .....	47
<b>7</b>	<b>DISKUSIJA .....</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>54</b>



## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Geografska lokacija područja istraživanja.....	4
Slika 2.2 Prikaz nadmorskih visina i nagiba terena istraživanog područja.....	5
Slika 2.3 Digitalizirana Osnovna geološka karta mjerila 1:100 000 List Podravska Slatina (Marković et al.,1984).....	7
Slika 3.1 Pojednostavljeni dijagram toka izrade karte podložnosti na klizanje primjenom bivarijatne statističke metode (Bernat Gazibara, 2019 prema Van Westen et al., 2002).....	10
Slika 4.1 Histogram učestalosti veličine površine 72 klizišta sadržana u inventaru klizišta istraživanog područja po razredima od 200 m <sup>2</sup> .....	15
Slika 4.2 Inventar klizišta Grada Slatine dobiven digitalizacijom karte inženjerskogeoloških uvjeta . (Mihalić, 2003).....	15
Slika 4.3 Uvećani prikaz inventara s dodanim točkastim prikazom vrhova klizišta .....	16
Slika 4.4 Karta zona podložnosti na klizanje za UPU Grada Slatine (Urbanistički plan uređenja Slatine INŽENJERSKOGEOLOŠKI IZVJEŠTAJ, Mihalić, 2003).....	17
Slika 4.5 Digitalni model reljefa istraživanog područja .....	19
Slika 4.6 Nagib terena istraživanog područja.....	20
Slika 4.7 Zakrivljenost terena istraživanog područja.....	20
Slika 4.8 Hrapavost terena istraživanog područja .....	21
Slika 4.9 Digitalizacija Osnovne geološke karte List Podravska Slatina (Marković et al, 1984) .....	22
Slika 4.10 Prikaz izvedene drenažne mreže istraživanog područja.....	23
Slika 4.11 Prikaz izvedene vlažnosti terena istraživanog područja.....	24
Slika 4.12 Karta prometnica istraživanog područja.....	25
Slika 4.13 Karta namjene zemljišta istraživanog područja (Baranjec-Keserica et al, 2006) .....	25
Slika 5.1 Centroidi klizišta na području Grada Slatine.....	26
Slika 5.2 Faktorska karta nagiba terena za područje Grada Slatine.....	28
Slika 5.3 Faktorska karta zakrivljenosti terena za područje Grada Slatine.....	28
Slika 5.4 Faktorska karta hrapavosti terena za područje Grada Slatine.....	29
Slika 5.5 Faktorska karta vrsta stijena za područje Grada Slatine.....	31
Slika 5.6 Faktorska karta udaljenosti od geoloških granica za područje Grada Slatine .....	32
Slika 5.7 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže za područje Grada Slatine .....	34
Slika 5.8 Faktorska karta vlažnosti terena za područje Grada Slatine.....	35

Slika 5.9 Faktorska karta namjene zemljišta (A) za područje Grada Slatine .....	38
Slika 5.10 Faktorska karta namjene zemljišta (B) za područje Grada Slatine .....	38
Slika 5.11 Faktorska karta udaljenosti od prometnica za područje Grada Slatine .....	39
Slika 6.1 Karte podložnosti na klizanje Grada Slatine za scenarije 1, 2, 3 i 4 dobivene metodama informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> . Zelena i žuta boja prikazuju područja niske, a nijanse narančaste i crvene prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje. ....	43
Slika 6.2 Vrijednosti AUC (površine ispod ROC krivulje) za sva četiri scenarija za obje metode procjene.....	44
Slika 6.3 Udio broja klizišta po klasi podložnosti na klizanje za sve karte podložnosti .....	46
Slika 6.4 Udio površina klizišta po klasi podložnosti na klizanje za sve karte podložnosti	46
Slika 6.5 Konačna karta podložnosti na klizanje Grada Slatine.....	49
Slika 7.1 Usporedba površina zona podložnosti na klizanje dobivenih u diplomskom radu sa zonama s karte podložnosti na klizanje iz 2004. načinjena za dvije karte prema scenarijima 1 i 3, prije konačnog odabira. ....	51

## POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Definiranje varijabli korištenih za izračun pomoću metode Weight of Evidence (Van Westen et al. 2002).....	11
Tablica 5.1 Prikaz rezultata $\chi^2$ testa , metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za geomorfološke faktore.....	30
Tablica 5.2 Prikaz rezultata $\chi^2$ testa , metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za geološke faktore .....	33
Tablica 5.3 Prikaz rezultata $\chi^2$ testa, metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za hidrološke faktore.....	36
Tablica 5.4 Prikaz rezultata $\chi^2$ testa, metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za antropogene faktore.....	40
Tablica 6.1 Definiranje faktorskih karata za scenarije.....	42
Tablica 6.2 Prosječan broj klizišta po zonama podložnosti na klizanje za različite metode klasifikacije.....	45
Tablica 6.3 Prosječan broj klizišta po zonama podložnosti na klizanje za različite scenarije .....	45
Tablica 6.4 Preklop površina klasa podložnosti na klizanje između karte podložnosti izrađene u ovom radu (karta 2021.) i karte podložnosti iz UPU Grada Slatine (karta 2003.) za klasifikaciju podložnosti na četiri klase.....	48
Tablica 6.5 Preklop površina klasa podložnosti na klizanje između karte podložnosti izrađene u ovom radu (karta 2021.) i karte podložnosti iz UPU Grada Slatine (karta 2003.) za klasifikaciju podložnosti na tri klase, odnosno nakon spajanja narančaste i crvene zone. ....	48

# 1 UVOD

Od prirodnih opasnosti, klizišta su jedna od najvećih problema jer mogu uzrokovati različite vrste šteta, ljudske žrtve, kao i materijalne štete u urbanim područjima i prirodnom okolišu (Kanungo et al. 2006; Pan et al. 2008; Ghosh et al. 2012.; Girma et al. 2015). Klizište je tip pokreta masa pod kojim se podrazumijeva gibanje mase stijena, debrisa ili tla niz padinu (Cruden, 1991). Klizišta su uzrokovana unutarnjim i vanjskim čimbenicima (Crozier 1986; Siddle et al. 1991). Unutarnji čimbenici su svojstva tla koji padine čine podložnim na klizišta. Svojstva tla i stijena posljedica su geološke građe, geološke strukture i geomorfoloških uvjeta koji omogućuju vanjskim čimbenicima da pokrenu klizište. Najčešći vanjski čimbenici koji pokreću ili ubrzavaju gibanje uključuju potres, oborine i antropogene čimbenike. Klizišta nastaju kroz složenu interakciju unutarnjih čimbenika (litološki sastav, čvrstoća stijena, geološke strukture, geomorfološki oblici, hidrogeološki uvjeti) i pokretačkih (vanjskih) čimbenika (oborina, potresa i antropogene aktivnosti).

Iako je teško znati kada će se i gdje točno pojaviti klizište, područje se može zonirati na zone po stupnju potencijala pokretanja mase (Varnes, 1984; Mihalić 1996). Takve karte se zovu karte podložnosti na klizanje. Dostupnost GIS (*Geographic Information Systems*) tehnologije je uvelike olakšala i omogućila provođenje složenih analiza procjene podložnosti, kao i izradu karata podložnosti na klizanje. GIS tehnologija je također doprinijela unaprjeđenju točnosti karata podložnosti zbog većih mogućnosti prikupljanja, obrade i analiziranja različitih čimbenika koji uzrokuju pojavu klizišta, tzv. faktora klizanja (Varnes 1984, Carrara et al. 1991, Nagarajan et al. 1998, Saha et al. 2002). Karta podložnosti na klizanje je izvor informacija koje su korisne u raznim sektorima upravljanja u društvu, na primjer prostorno planiranje, gradnja, zaštita okoliša i civilna zaštita.

Za izradu karata podložnosti statističkim metodama, neophodna je karta inventara klizišta. Inventar klizišta je set kartografskih podataka koji prikazuje klizišta točkom ili poligonom i sadrži opisne podatke o klizištima (Guzzetti et al., 2012; Bernat Gazibara, 2019). Podaci o aktiviranim klizištima mogu se prikupljati izravnim i neizravnim metodama (Mihalić Arbanas and Arbanas, 2015). Ti podaci se najčešće prikupljaju od lokalnih samouprava, općina i gradova koje vode evidenciju o klizištima, no mogu se prikupiti i u okviru zasebnih znanstvenih istraživanja.

Za Grad Slatinu izrađen je inventar klizišta 2003. godine u sklopu inženjerskogeološkog izvještaja (Mihalić, 2003) za izradu Urbanističkog plana uređenja (UPU) Grada Slatine (Horvat et al, 2007). Na osnovi ovog inventara klizišta, u okviru istog projekta izrađena je i karta podložnosti na klizanje mjerila 1:5.000, metodama izravnog kartiranja na terenu. Inventar klizišta iz 2003. godine je korišten za izradu modela podložnosti na klizanje u ovom diplomskom radu. Karta podložnosti na klizanje iz 2003. godine korištena je za verifikaciju karte podložnosti izrađene u ovom radu.

Osim inventara klizišta iz 2003. godine, od ulaznih podataka za izradu karte podložnosti na klizanje izrađeno je i niz karata faktora klizanja, pod čime se podrazumijevaju kartografski prikazi morfoloških, geoloških, hidroloških i antropogenih preduvjeta klizanja. Svi ulazni podaci kreirani su za provođenje analiza podložnosti u krupnom mjerilu 1:5.000. Ovim radom željelo se ispitati može li se napraviti pouzdana karta podložnosti na klizanje s ograničenim setom ulaznih podataka o faktorima klizanja. Pri tome se prvenstveno misli na nedostatak digitalnog modela terena 5-m rezolucije, a također i na geološke karte krupnog mjerila.

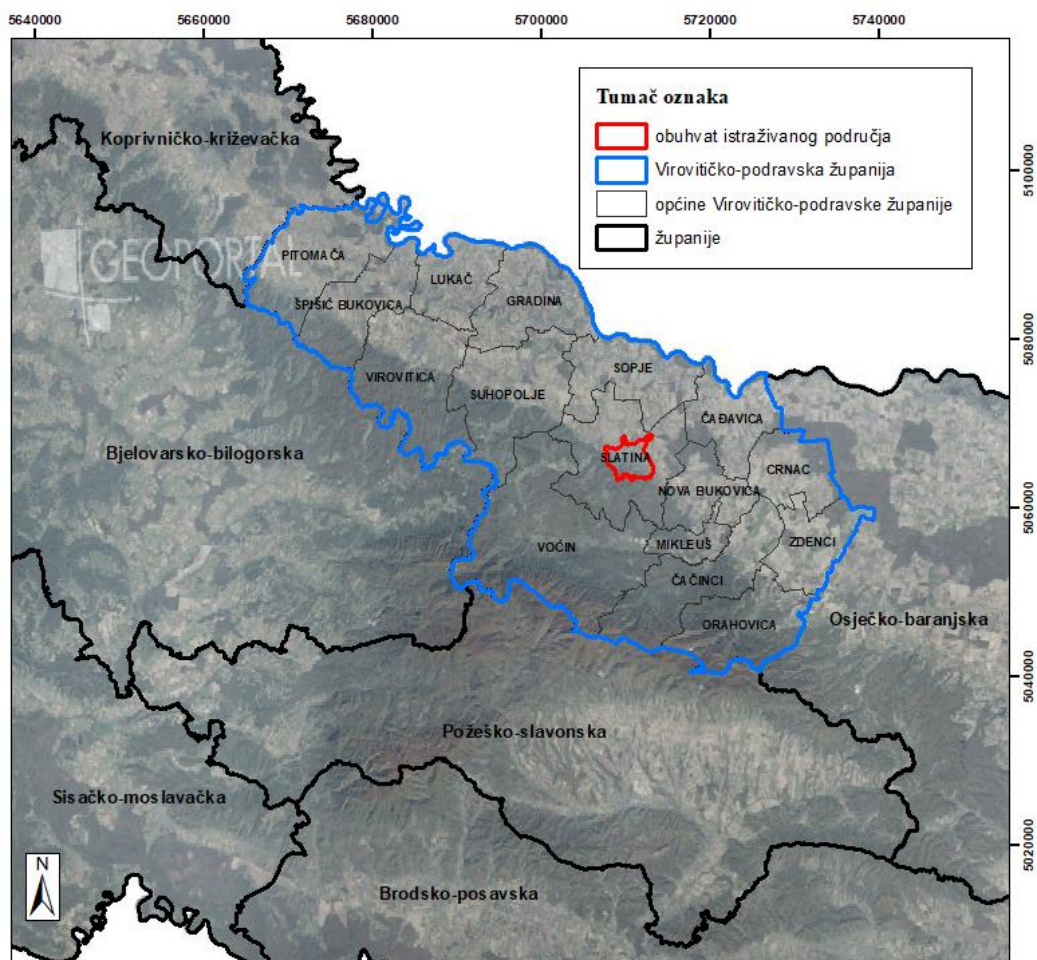
Svrha diplomskog rada bila je izraditi pouzdanu kartu podložnosti za područje UPU Grada Slatine u mjerilu 1:5.000. U skladu s tim, ciljevi diplomskog rada su bili: prikupljanje i obrada podataka u GIS-u, izrada faktorskih karata klizanja, izrada karata podložnosti na klizanje prema četiri različita scenarija, odabir optimalne karte podložnosti; i verifikacija konačne karte podložnosti već postojećom kartom inženjerskogeoloških uvjeta.

## 2 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje provedeno u diplomskom radu obuhvaća šire područje Grada Slatine koji se nalazi u Virovitičko-podravskoj županiji. Geografski položaj te detaljni podaci o geološkim i geomorfološkim uvjetima na istraživanom područja prikazani su u ovom poglavlju.

### 2.1 Geografske značajke

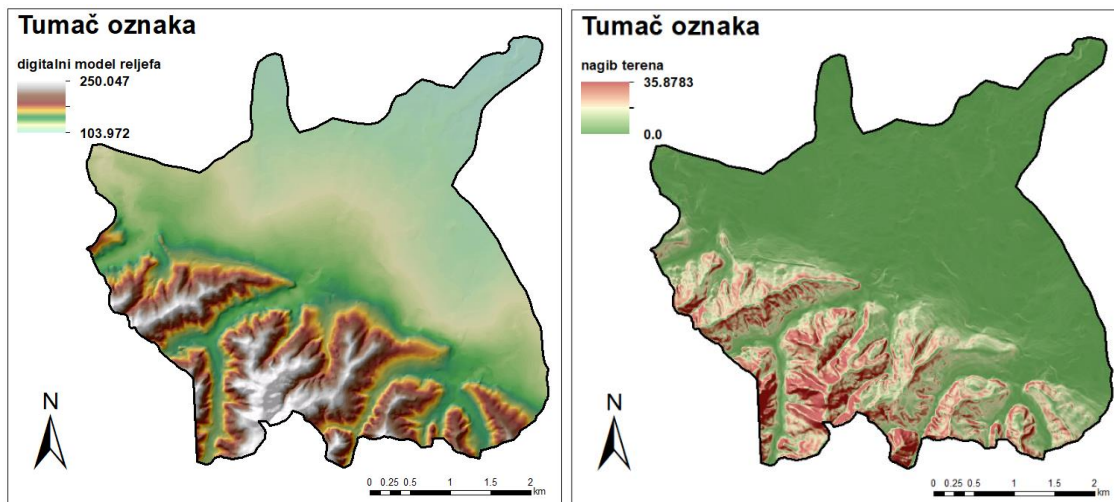
Grad Slatina nalazi se u istočnom dijelu Virovitičko-podravске županije i drugi je najveći grad županije. Grad Slatina je jedinica lokalne samouprave, a obuhvaća područja 15 naselja ukupne površine 167 km<sup>2</sup>, u kojima živi 13 686 stanovnika (popis stanovništva 2011., DZS). Područje je omeđeno na sjeveru s rijekom Dravom, koja je ujedno i granica između Mađarske i Hrvatske, na jugu planinom Papuk, na zapadu bilogorskom Podravinom, te istočnom hrvatskom ravnicom na istoku. Klima je umjerena kontinentalna. Približna površina urbanističkog plana uređenja Slatine je 10 km<sup>2</sup> (Mihalić, 2003). Obuhvat istraživanog područja je širi za približno 2 km oko granice urbanističkog plana uređenja Grada Slatine, čime je površina istraživanja povećana na 19,23 km<sup>2</sup>. Lokacija je prikazana na slici 2.1.



Slika 2.1 Geografska lokacija područja istraživanja

## 2.2 Geomorfološke značajke

Istraživano područje se može podijeliti na dva različita geomorfološka dijela. Nizinsko područje s nadmorskim visinama od 103,97 do 128,6 metara zauzima sjeverni dio istraživanog područja. U južnom dijelu prevladavaju brežuljci i brda s nadmorskim visinama od 119,7 do 250,05 metara. Na slici 2.2 prikazan je digitalni model reljefa s prostornom raspodjelom nadmorskih visina i nagiba terena na istraživanom području.



Slika 2.2 Prikaz nadmorskih visina i nagiba terena istraživanog područja

### 2.3 Geološka građa

Geološka građa područja prikazana je na Listu Podravska Slatina L 33-84 (Marković, 1984) Osnovne geološke karte (OGK) mjerila 1:100 000. U nastavku su opisane geološke jedinice koje se pojavljuju na istraživanom području na temelju podataka iz Tumača za list Podravska Slatina (Marković, 1984). Digitalizirana geološka karta istraživanog područja prikazana je slici 2.3.

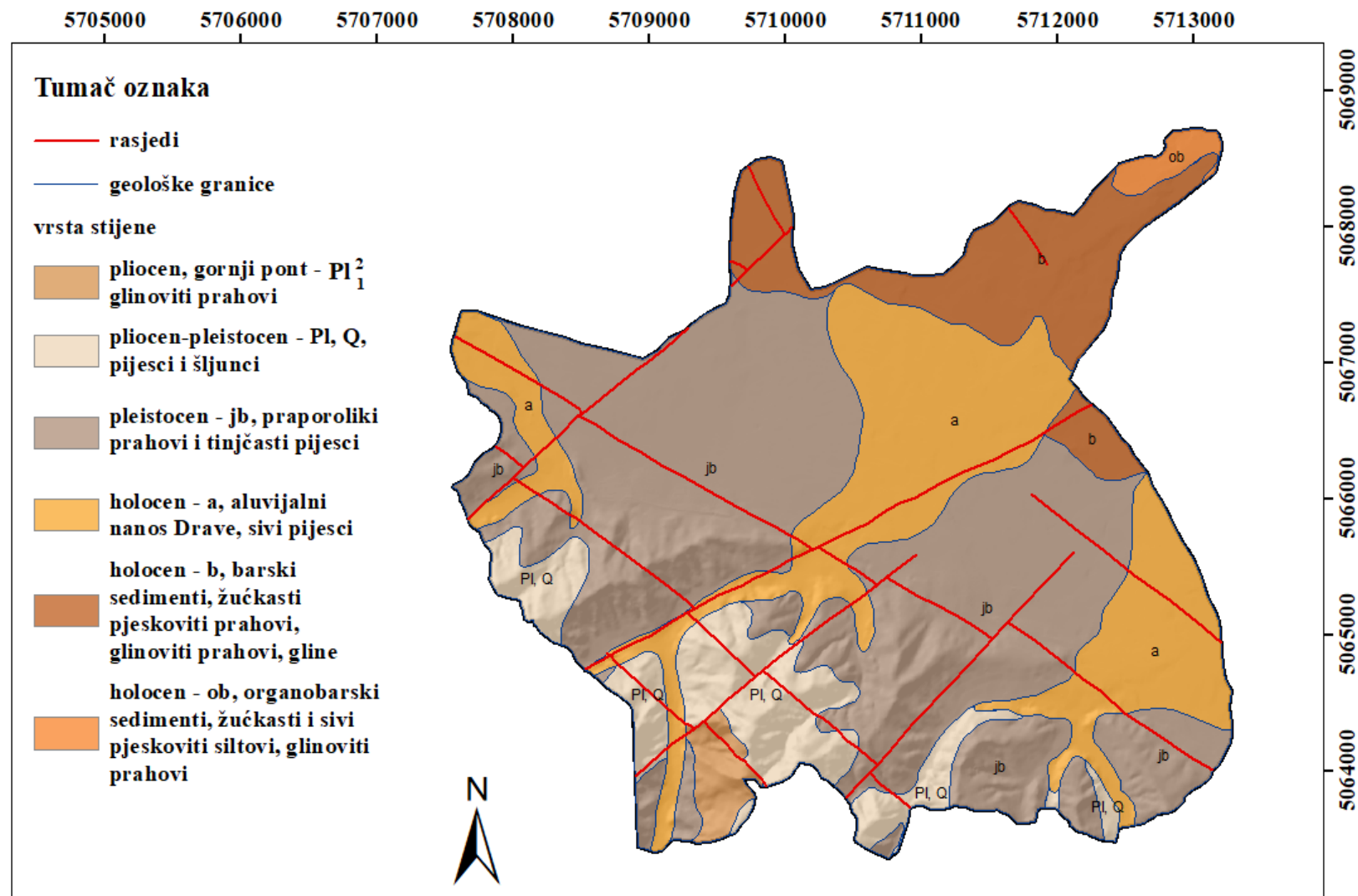
Najstarije naslage na ovom području su pliocenske ( $Pl_1^2$ ) taložne naslage gornjeg pontu, tzv. „Rhomboidea naslage“. Zbog pomanjkanja fosila, granica prema donjem pontu postavljena je na početak pojavljivanja debljih horizonata pijesaka unutar pjeskovitih lapora i lapora. Ove naslage se nalaze jugozapadno od Slatine, a sastoje se od glinovitih prahova koji se izmjenjuju sa slojevima raznobojnih glina. Naslage gornjeg pontu nisu osobito fosiliferne. Debljina naslaga gornjeg pontu može se procijeniti na 100 m.

Na naslagama gornjeg pontu leže pliocensko-pleistocenske ( $Pl, Q$ ) naslage pijesaka i šljunaka. Pijesci su žućkaste, žutosmeđe i sivosmeđe boje, uslojeni, s brojnim pojavama kose i unakrsne slojevitosti. Šljunci imaju promjer valutica uglavnom do 1 cm, a dominiraju kvarcne valutice. Starost sedimenata ne može se precizno odrediti. U krovini su pleistocenski praporoliki prahovi i prapor. Ove naslage se nalaze uglavnom na jugu i jugozapadu istraživanog područja. Debljina plioleistocenskih naslaga je do 50 m.



Od pleistocenskih naslaga najrasprostranjeniji su prahovi i pijesci (*jb*). Glavninu taložina čine raznobojni praporoliki prahovi, prahovi s obiljem primjesa željezovite supstance te tzv. „šarene ilovače“. Debljina prahova iznosi oko 5-6 m. Pijesci su tinjčasti, žutosmeđe i sivosmeđe boje i pokazuju kosu slojevitost. Uglavnom se radi o dobro sortiranim pijescima debljina do 5 m.

Najmlađi sedimenti na području Slatine stvarani su u holocenu i prema genezi ih se može svrstati u dva niza, fluvijatilni niz, tj., aluvijalni nanos Drave, te barski niz. Od aluvijalnog nanosa Drave se na istraživanom području pojavljuje aluvijalni nanos potoka, a od barskog niza barski sedimenti te organobarski sedimenti. Sedimenti aluvijalnog nanosa Drave su na površini zastupljeni isključivo pijescima sive, sivozelenkaste i sivosmeđe boje. Debljina aluvijalnog nanosa je 3-5 m. Barski sedimenti (*b*) i organobarski sedimenti (*ob*), nastali donošenjem materijala rječicama i potocima, predstavljaju produžetak aluvijalnog nanosa navedenih tokova deponiran u barskoj sredini. Sedimenti su predstavljeni žućkastim i sivim pjeskovitim prahovima, prahovima, glinotivim prahovima i glinama. Ponegdje sadrže obilje pješćanih ili vapnenih konkreција, a u organobarskim sedimentima se taloži i mulj organogenog detritusa koji nastaje iz barske vegetacije trske, šaševa i drugog bilja. Debljina barskih sedimenata kreće se od 1 do 5 m. Ove naslage se na površini istraživanog područja nalaze na krajnjem sjeverom dijelu.



Slika 2.3 Digitalizirana Osnovna geološka karta mjerila 1:100 000 List Podravska Slatina (Marković et al.,1984)

### 3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom radu provedena je analiza podložnosti na klizanje primjenom statističkog pristupa (Reichenbach et al, 2018). Pri tome su za analizu utjecaja pojedinih faktora klizanja korištene metoda  $\chi^2$  test , metoda informacijske vrijednosti i metoda *Weight of Evidence*. Te metode su korištene za procjenu relativnog utjecaja pojedinih faktora na klizanje, te za određivanje težinskih faktora na osnovi kojih je izrađena karta podložnosti na klizanje.

#### 3.1 $\chi^2$ test

$\chi^2$  test je statistički test koji se koristi za ispitivanje nezavisnosti dviju varijabli ili faktora, (Grubišić, 2004). Rezultati ovog testa su zaključci o povezanosti između dvije grupe testova, tj. o vjerojatnosti povezanosti.  $\chi^2$  test se upotrebljava u većini slučajeva ako se radi o kvalitativnim podacima ili ako tim podacima distribucija značajno odstupa od normalne. Ovaj test je praktičan kada želimo utvrditi da li neke opažene vrijednosti odstupaju od očekivanih vrijednosti pod određenom hipotezom.

Pojava klizišta na nekom području je posljedica nekog od inicijatora klizanja na mjestima gdje postoje određeni preduvjeti klizanja (geomorfološke značajke, geološka građa, fizički procesi i antropogeni utjecaj). Analiza preduvjeta klizanja sastoji se od prostornih analiza karata, odnosno geomorfoloških, geoloških, hidroloških i antropogenih faktora.  $\chi^2$  test korišten je kako bi se procijenila povezanost određenog faktora na pojavu klizanja, odnosno korišten je kako bi se utvrdilo odstupanje dobivene frekvencije od očekivane. Odnos je definiran prema jednadžbi:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t} \quad (3.1)$$

gdje je:

$f_o$  opažena frekvencija (npr. broj kartiranih klizišta);

$f_t$  očekivana frekvencija (npr. broj očekivanih klizišta) po određenom hipotezom, te vrijedi:

$$\sum f_o = \sum f_t = N - \text{ukupna frekvencija} \quad (3.2)$$

Postavlja se nul-hipoteza kako bi se provjerilo slijede li opažanja teoretsku, normalnu raspodjelu. Nakon izračuna, očekivane frekvencije se uspoređuju s opažanim frekvencijama. Veće razlike između opažanih i očekivanih frekvencija rezultiraju i s većim vrijednostima  $\chi^2$ . Manje vrijednosti  $\chi^2$  ukazuju da postavljenu hipotezu o normalnoj raspodjeli treba prihvatiti, a veće da ju treba odbaciti. Značajnost  $\chi^2$  se utvrđuje pomoću granične vrijednosti testa koja se definira pomoću stupnja slobode i razine značajnosti. Stupanj slobode najčešće iznosi 5%, a broj stupnjeva slobode se računa pomoću izraza  $K - 1$ , gdje je  $K$  ukupan broj klasa. Razlika između opaženih i teoretskih frekvencija značajna je ako je dobiveni  $\chi^2$  veći od izračunate granične vrijednosti.

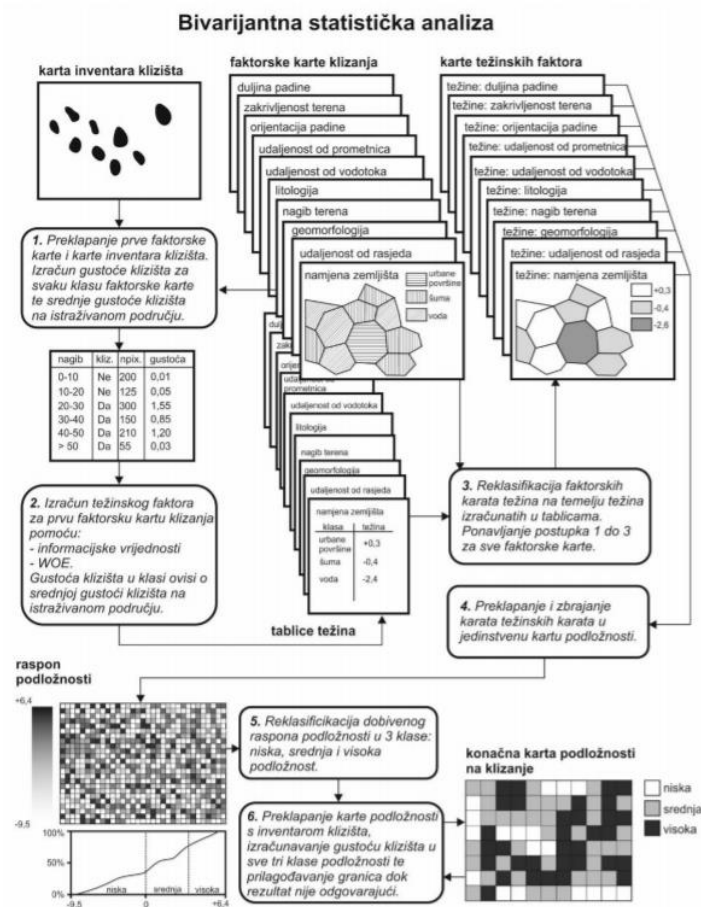
Na temelju inventara klizišta izračunat je broj klizišta koji se nalazi u svakoj klasi korištenih faktorskih karata što predstavlja opažanu frekvenciju. Pretpostavka nul-hipoteze je da sve klase jednako utječu na pojavu klizanja. Prema tome, očekivane frekvencije određene su na način da se pretpostavi da jednaka gustoća klizišta u svakoj klasi. Vrijednosti  $\chi^2$  niže od granične vrijednosti potvrđuju nul-hipotezu, tj. može se zaključiti da faktorska karta ne utječe na pojavu klizanja. Ako su  $\chi^2$  vrijednosti veće od izračunate granične vrijednosti, postavljena nul-hipoteza se odbacuje, tj. može se zaključiti da faktorska karta utječe na pojavu klizanja. Ako se ispostavi da je faktorska karta značajna za pojavu klizanja, može se utvrditi i utjecaj pojedine klase. Ako je razlika kartiranog i očekivanog broja negativna, onda je u promatranoj klasi veći broj očekivanih klizišta, tj. utjecaj te klase je manji. A ako je razlika pozitivna, znači da je veći broj kartiranih klizišta od očekivanih, tj. klasa ima veći utjecaj na pojavu klizanja.

### 3.2 Metoda *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti

Pregled metoda procjene podložnosti na klizanje opisan je u mnogim radovima, npr. Saha et al (2005) i Sarkar et al (2013). Metode *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti pripadaju kvantitativnim metodama koje se zasnivaju na podacima (engl. *data-driven*). Podaci o postojećim klizištima koriste se da bi se dobile informacije o relativnoj važnosti faktorskih karata i klasa. U ovim metodama se analiziraju faktori klizanja na način da se kombinacijama faktora, za koje se zna da su bili preduvjeti klizanja, dodjeljuju ocjene na osnovi statističkih analiza. Rezultati se izražavaju kao vjerojatnost. Postoje tri glavna pristupa kod metoda koje se zasnivaju na podacima: bivarijatna statistička analiza,

multivarijatna statistička analiza i statistička analiza aktivnog učenja. Bivarijatna metoda podrazumijeva preklapanje svake faktorske karte s kartom inventara klizišta u svrhu dobivanja učestalosti klizišta u klasama pojedinog faktora. Nedostatak bivarijatne metode je što se polazi od pretpostavke da su faktori klizanja međusobno neovisni, što u prirodni najčešće nije slučaj. Kod multivarijatne metode predviđanje klizišta je konceptualno i operativno slično predviđanjima ostalih geoloških pojava (Van Westen et al., 2002)

U ovom radu je korištena bivarijatna metoda u izradi karte podložnosti na klizanje Grada Slatine. Općeniti prikaz postupaka dobivanja karte prikazan je na slici 3.1 (Van Westen et al., 2002). Svaka faktorska karta preklapa se s kartom inventara klizišta u svrhu dobivanja učestalosti klizišta u svakoj pojedinoj klasi svih faktora. Usporedbom gustoća klizišta u klasama faktora s gustoćama klizišta na cijelom području određuje se relativan utjecaj promatranog faktora klizanja. Primjenom različitih metoda na izračunatim gustoćama određuju se težinski faktori (Coe et al., 2004). Metode korištene u radu su *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti.



Slika 3.1 Pojednostavljeni dijagram toka izrade karte podložnosti na klizanje primjenom bivarijatne statističke metode (Bernat Gazibara, 2019 prema Van Westen et al., 2002).

Metodu *Weight of Evidence* je razvio Kanadski geološki institut (Agterberg et al., 1990; Bonham-Carter et al., 1989), a Sabto (1991) ju je primijenio za analizu hazarda klizišta. Ova je metoda jednostavna za korištenje u GIS programima. U tablici 3.1 prikazane su varijable iz jednadžbe ove metode. Prikazane varijable su četiri moguće kombinacije koje se dobivaju nakon preklapanja karte klizišta s faktorskom kartom (Van Westen et al., 2002).

Tablica 3.1 Definiranje varijabli korištenih za izračun pomoću metode *Weight of Evidence* (Van Westen et al. 2002).

Klizište	Zavisna varijabla	
	1 (prisutna)	0 (odsutna)
1 (prisutno)	Npix <sub>1</sub>	Npix <sub>2</sub>
0 (odsutno)	Npix <sub>3</sub>	Npix <sub>4</sub>

Navedene varijable dalje su korištene u jednadžbama kako slijedi:

$$W_i^+ = \log_e \frac{\frac{Npix_1}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_3}{Npix_3 + Npix_4}} \quad (3.3)$$

$$W_i^- = \log_e \frac{\frac{Npix_2}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_4}{Npix_3 + Npix_4}} \quad (3.4)$$

$$W_{map} = W^+ - W^- + \sum W \quad (3.5)$$

Metodu informacijskih vrijednosti razvili su Yin i Yan (1988), a zasniva se na jednostavnoj jednadžbi koja računa informacijsku vrijednost  $I_i$  za neku varijablu  $X_i$  :

$$I_i = \log \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S}{N}} \quad (3.6)$$

gdje je:

$S_i$  broj jedinica površine ili piksela klizišta i prisutnost varijable  $X_i$ ;

$N_i$  broj jedinica površine ili piksela varijable  $X_i$ ;

$S$  ukupan broj jedinica površine ili piksela klizišta;

N ukupan broj jedinica površine ili piksela.

### 3.3 ROC krivulja

Stupanj točnosti predikcije modela može se računati pomoću ROC (engl. *Receiver Operator Characteristic*) krivulje. Ova krivulja može grafički prikazati senzitivnost u odnosu na 1-specifičnosti, tj. lažno pozitivnu stopu za svaku graničnu vrijednost testa vrijednosti. Točnost modela se smatra višom što je površina ispod ROC krivulje veća, tj. što je ROC krivulja bliža gornjem lijevom kutu, a lošija točnost što se više približava dijagonali koja odgovara slučajnom testu (Tokić, 2017)

Površina ispod ROC krivulje (AUC, *area under curve*) jednaka je vjerojatnosti da će klasifikator rangirati slučajno odabrani pozitivni primjer višim nego će rangirati slučajno odabrani negativni primjer, uz pretpostavku da pozitivni primjeri imaju veći rang.

### 3.4 Metode klasifikacije podložnosti na klizanje

Od metoda klasifikacija korištenih u izradi karte podložnosti na klizanje korištene su klasifikacije *quantile*, *natural breaks*, *geometric interval* i klasifikacija iz Sinčić (2020).

*Quantile* klasifikacija je klasifikacija koja dobiveni skup vrijednosti dijeli u skupine koje sadrže jednak broj vrijednosti. Vrijednosti su zbrojene te podijeljene u definirani broj klasa. Niti jedna klasa ne smije ostati prazna i ne smije sadržavati previše vrijednosti. Zbog toga karte mogu biti zbunjujuće.

*Natural breaks* (ili *Jenks natural breaks*) je klasifikacija podataka razvijena da optimizira raspored vrijednosti u „prirodne“ klase. Prirodna klasa je najoptimalniji interval klasa prirodno pronađen u setu podataka. Interval klase se sastoji od podataka sličnih karakteristika koji sačinjavaju „prirodnu“ grupu unutar seta podataka. Ova klasifikacija smanjuje prosječnu devijaciju aritmetičke sredine klase, a maksimizira devijaciju aritmetičke sredine ostalih grupa, tj. minimizira varijancu unutar klasa, a maksimizira varijancu između klasa.

*Geometric interval* je klasifikacija koja se temelji na geometrijskom nizu, tj. granice klasa su utemeljene na intervalima koji imaju geometrijski niz. Ova klasifikacijska metoda je korisna za vizualiziranje podataka koji nisu normalno raspoređeni ili kada je raspodjela podataka ekstremna.

Klasifikacija iz Sinčić (2020) ima definirane granične uvjete prema Bernat Gazibara (2019), tj. četiri klase su: (1) klasa niske podložnosti na klizanje unutar koje se nalazi 1% kumulativne površine/broja klizišta; (2) klasa srednje podložnosti na klizanje unutar koje se nalazi maksimalno 5% kumulativne površine/broja klizišta; (3) klasa visoke podložnosti na klizanje unutar koje se nalazi maksimalno 15% kumulativne površine/broja klizišta; (4) klasa vrlo visoke podložnosti unutar koje se nalazi 85% kumulativne površine/broja klizišta.



## 4 ULAZNI PODACI

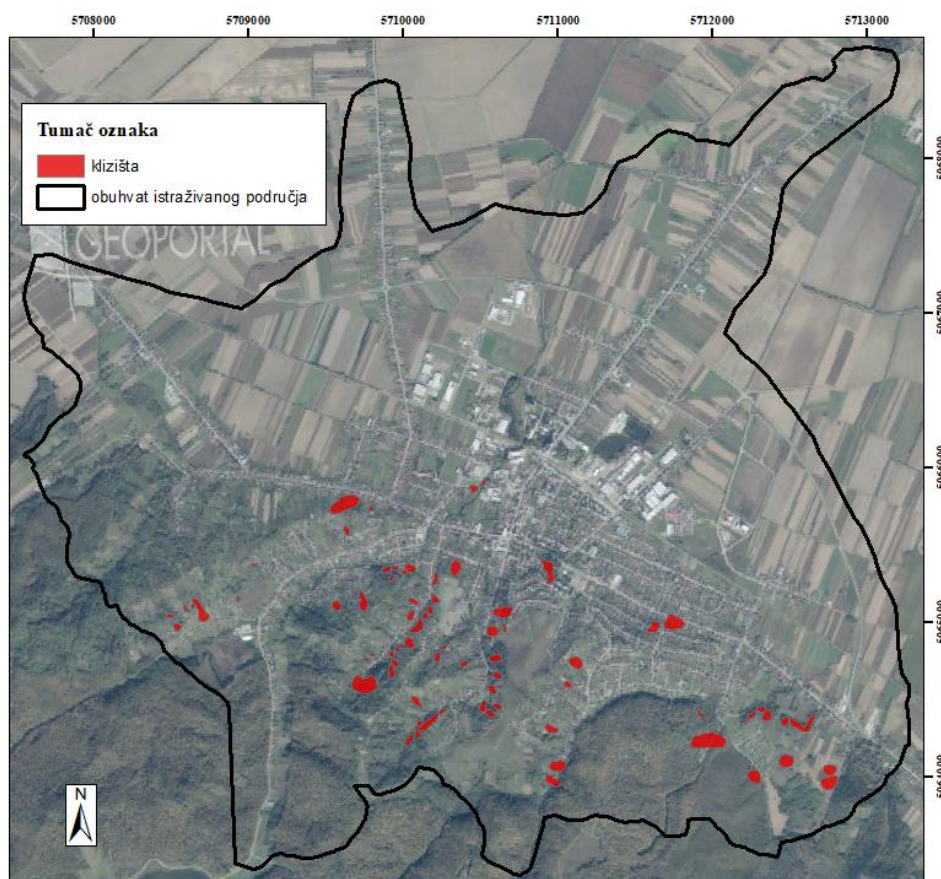
U slijedećim poglavljima opisani su ulazni podaci za analizu podložnosti na klizanje za područje Grada Slatine, odnosno prikazan je inventar klizišta i prostorni podaci za izradu faktorskih karata. Ukratko su navedene metode prikupljanja i obrade ulaznih podataka. Vrste ulaznih podataka odabrane su iskustveno i s obzirom na dostupnost podataka na istraživanom području.

### 4.1 Inventar klizišta

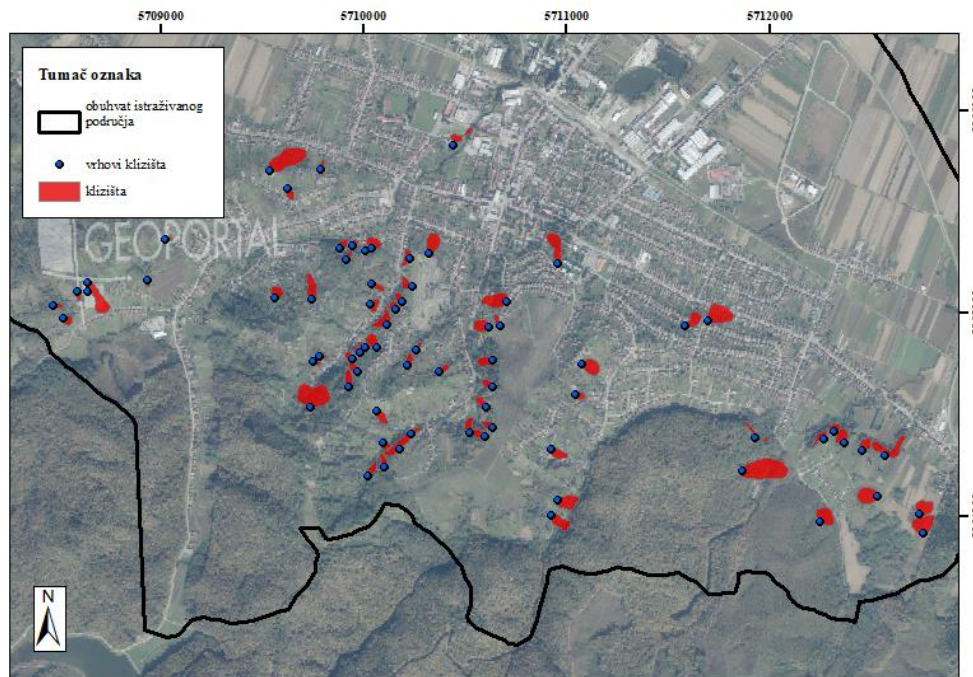
U inventaru klizišta dijela Grada Slatine evidentirano je 72 klizišta na području unutar granica prostornog obuhvata urbanističkog plana uređenja (UPU) Slatine (Mihalić, 2003). Klizišta su prikupljena terenskim istraživanjima provedenim 2003. godine, pri čemu su registrirane granice klizišta. Karta inventara klizišta u mjerilu 1:5 000 dana je u okviru izvještaja „Urbanistički plan uređenja Slatine INŽENJERSKOGEOLOŠKI IZVJEŠTAJ“ (Mihalić, 2003), mjerilo karte je 1:5 000, a klizišta su prikazana poligonima. Ovakav način prikaza klizišta omogućio je analizu površina klizišta koja je prikazana na slici 4.1. Vidi se da površina klizišta varira u rasponu od 493,31 m<sup>2</sup> do 19 142,37 m<sup>2</sup>, a prosječna veličina klizišta je 3492,44 m<sup>2</sup>. U okviru diplomskog rada izrađena je karta inventara klizišta u GIS-u, transformacijom originalnih digitalnih podataka iz Autocada u GIS (slika 4.2). Također je izrađena i karta inventara klizišta na kojoj su prikazani vrhovi svih klizišta u obliku točaka (slika 4.3), kao drugi inventar za prostorne analize.



Slika 4.1 Histogram učestalosti veličine površine 72 klizišta sadržana u inventaru klizišta istraživnog područja po razredima od 200 m<sup>2</sup>



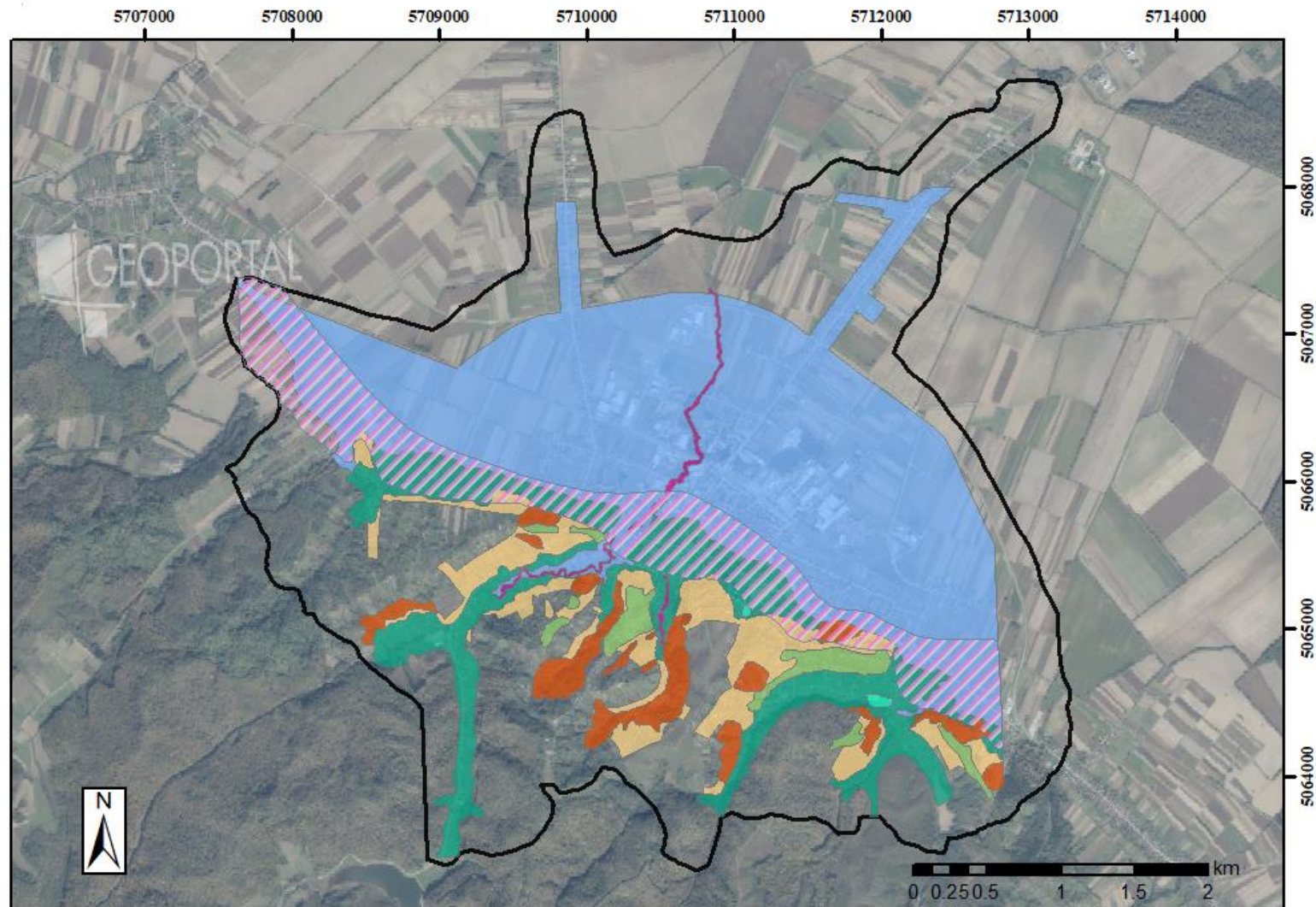
Slika 4.2 Inventar klizišta Grada Slatine dobiven digitalizacijom karte inženjerskogeoloških uvjeta . (Mihalić, 2003)



Slika 4.3 Uvećani prikaz inventara s dodanim točkastim prikazom vrhova klizišta

#### 4.2 Karta zona podložnosti na klizanje iz 2003. godine

Karta zona podložnosti na klizanje (Mihalić, 2003) za UPU Grada Slatine, Izmjene i dopune 2012. i 2015. godine izrađena je izravnim kartiranjem na terenu i na temelju topografske podloge mjerila 1:5 000. Zone podložnosti definirane su na temelju gustoće klizišta i nagiba terena, a procjena je provedena subjektivno. Ova karta prikazana je na slici 4.4. Izdvojeno je tri zone podložnosti koje su opisane u skladu s terminologijom koja se koristi u Gradu Zagrebu, prema *Odluci o donošenju prostornog plana Grada Zagreba* (Službeni glasnik Grada Zagreba 8/01, 16/02, 11/03, 2/06, 1/09, 8/09, 21/14, 23/14, 22/17). Na karti podložnosti iz 2003. godine izdvojene su sljedeće zone: I. stabilni tereni, II./III. uvjetno stabilne/nestabilne padine i IV. nestabilne padine. Ova karta će se koristiti za validaciju karte podložnosti izrađene statističkom analizom u ovom diplomskom radu.



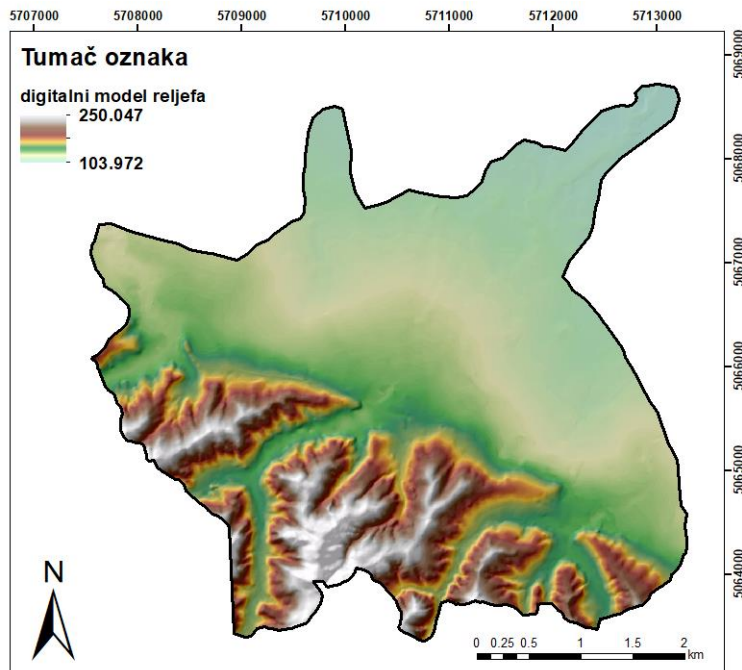
Slika 4.4 Karta zona podložnosti na klizanje za UPU Grada Slatine (Urbanistički plan uređenja Slatine INŽENJERSKOGEOLOŠKI IZVJEŠTAJ, Mihalić, 2003)

### 4.3 Ulazni podaci za faktorske karte klizanja

U ovom poglavlju opisani su ulazni podaci odnosno tematske karte na temelju kojih su izrađene faktorske karte. Navedeni su izvorni podaci i načini njihove obrade u GIS-u potrebni za izradu faktorskih karata. Sve analize provedene su u ArcMap programu. Ulazni podaci svrstani su u četiri tematske skupine, prema čemu se razlikuju morfološki, geološki i hidrološki podaci kao i podaci o korištenju i namjeni zemljišta.

#### 4.3.1 Morfološki podaci

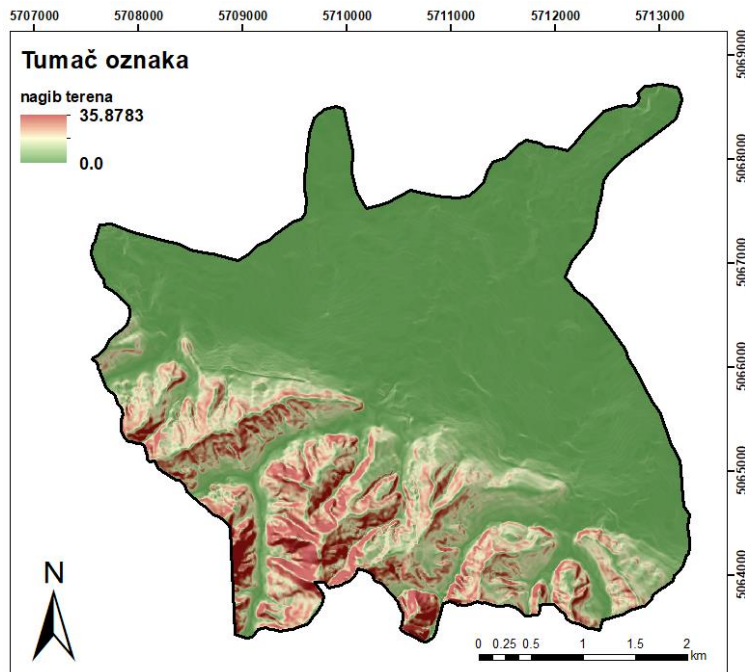
Morfološki podaci su korišteni za izradu geomorfoloških faktora, odnosno kartografski prikaz uzroka klizanja povezanih s reljefom, tj. geomorfološkim oblicima. Za izradu karata geomorfoloških faktora korišten je digitalni model reljefa (engl. *Digital Elevation Model*, DEM) rezolucije 5\*5 metara. DEM je izrađen u okviru ovog diplomskog rada, digitalizacijom topografskih podataka s Hrvatske osnovne karte (HOK). Digitalizirane su sve slojnice i kote na istraživanom području. Alatom '*topo to raster*' napravljen je DEM prikazan na slici 4.5 koji predstavlja vrlo važan ulazni podatak budući da su iz njega izvedene sve geomorfološke i dio hidroloških faktorskih karata. Raspon nadmorskih visina na području istraživanja iznosi od 103,97 do 250,05 m n.m.. Reklasifikacijom DEM-a izvedena je faktorska karta nadmorskih visina.



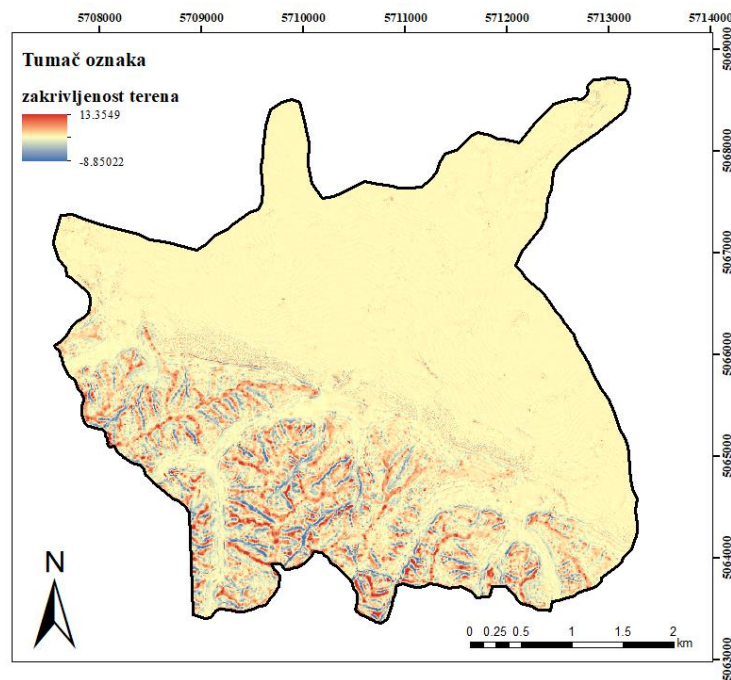
Slika 4.5 Digitalni model reljefa istraživanog područja

Nagib terena (slika 4.6) je jedan od važnijih morfometrijskih parametara koji se koristi za učinkovitije analiziranje i opisivanje reljefa. Karta nagiba terena izvedena je pomoću ekstenzije *Spatial Analyst* (alat *Slope*) *ArcMap* programa te prikazuje prostornu distribuciju vrijednosti kutova nagiba u rasponu od 0 do 90 stupnjeva. Općenito, funkcija nagiba uklapa x-y plohu i z-vrijednosti unutar područja od 3x3 ćelija, te različitim metodama za istu (središnju) ćeliju i osam susjednih ćelija računa vrijednost nagiba. Ova funkcija koristi se za učinkovitije analiziranje i opisivanje reljefa, a izvodi se pomoću naredbe *Slope* koja prikazuje odnos maksimalne promjene vrijednosti z-koordinate svake ćelije. Na temelju z-koordinate (razlike promatrane ćelije i susjednih) naredba računa nagib terena u stupnjevima (kut nagiba) za svaku ćeliju, a rezultati poprimaju vrijednosti od 0 do 90 stupnjeva.

Zakrivljenost terena, prikazana na slici 4.7, dobivena je korištenjem naredbe *Curvature* (*3D Analyst*) u *ArcMap* softveru. Zakrivljenost prikazuje konkavnost ili konveksnost pojedine padine. Matematički gledano, zakrivljenost je druga derivacija površine terena, te definira moguće procese na padinama, odnosno dolazi li do ubrzavanja ili usporavanja klizanja na padini. Vrijednosti blizu nule upućuju na linearni tok.



Slika 4.6 Nagib terena istraživanog područja



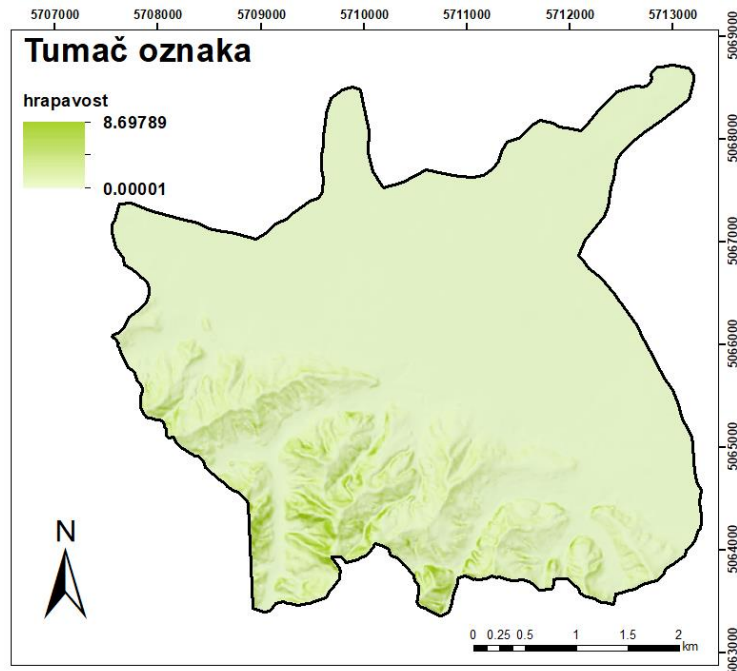
Slika 4.7 Zakrivljenost terena istraživanog područja

Hrapavost terena (slika 4.8) izvedena je pomoću alata *Roughness* u *Geomorphometry and Gradient MetricsToolbox-u* (Evans et al., 2014) u *ArcMap* softveru. Hrapavost terena u alatu *Roughness* u istom softveru definirana je prema Riley et al. (1999) kao korijen

između zbroja kvadrata razlike središnje ćelije prozora te u slučaju prozora veličine 3x3 ćelije, 8 susjednih ćelija:

$$RGH = ((Z5 - Z1)^2 + (Z5 - Z2)^2 + (Z5 - Z3)^2 + (Z5 - Z4)^2 + (Z5 - Z6)^2 + (Z5 - Z7)^2 + (Z5 - Z8)^2 + (Z5 - Z9)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

gdje je: Z5 – središnja ćelija prozora veličine 3x3 ćelije; a Z1, Z2, Z3, Z4, Z6, Z7, Z8, Z9 – susjedne ćelije.

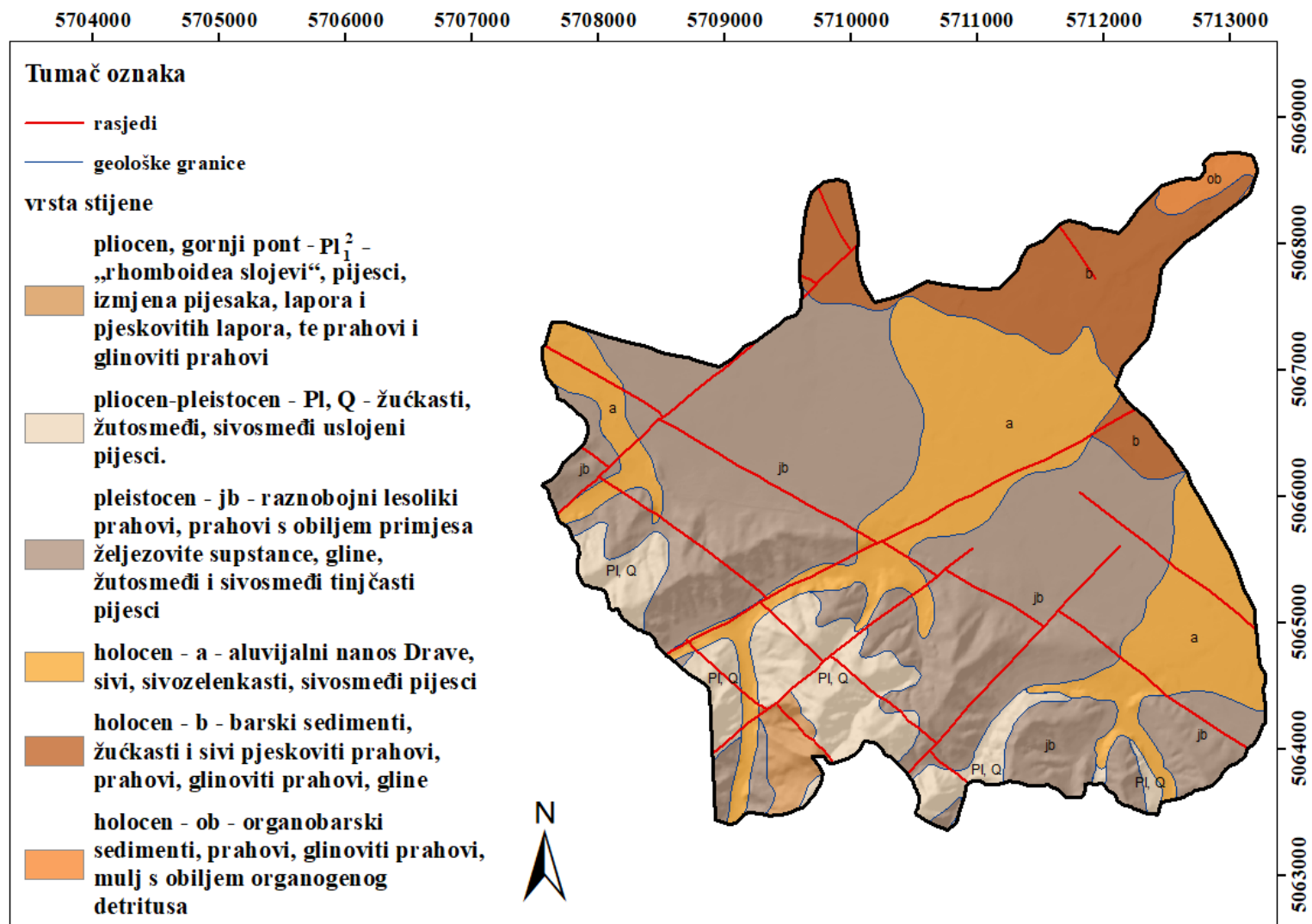


Slika 4.8 Hrapavost terena istraživanog područja

#### 4.3.2 Geološki podaci

Podaci o geološkoj građi, litologiji i strukturnim elementima, preuzeti su s OGK mjerila 1:100 000 List Podravska Slatina (Marković, 1984). Digitalizacijom OGK izvedene su faktorske karte vrste stijena i udaljenosti od geoloških granica. Rezultati digitalizacije prikazani su na slici 4.9.

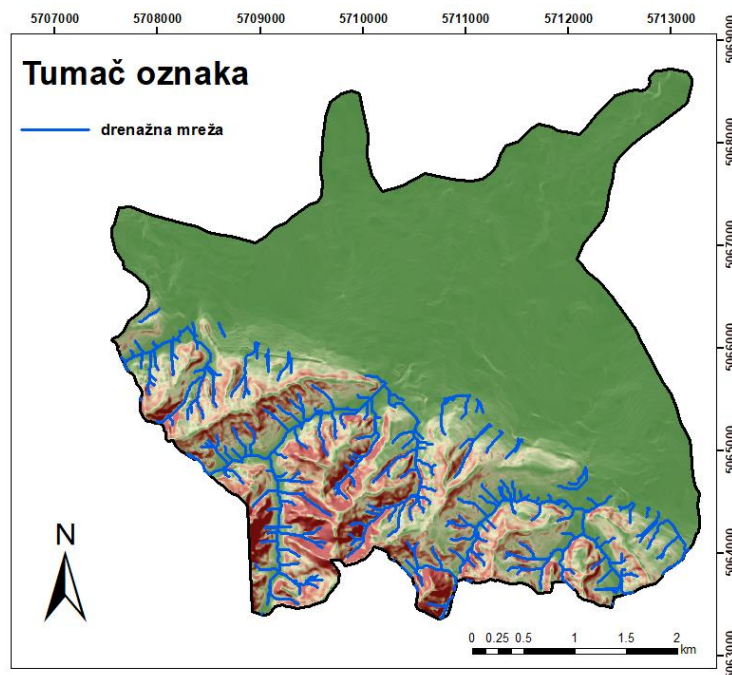




Slika 4.9 Digitalizacija Osnovne geološke karte List Podravska Slatina (Marković et al, 1984)

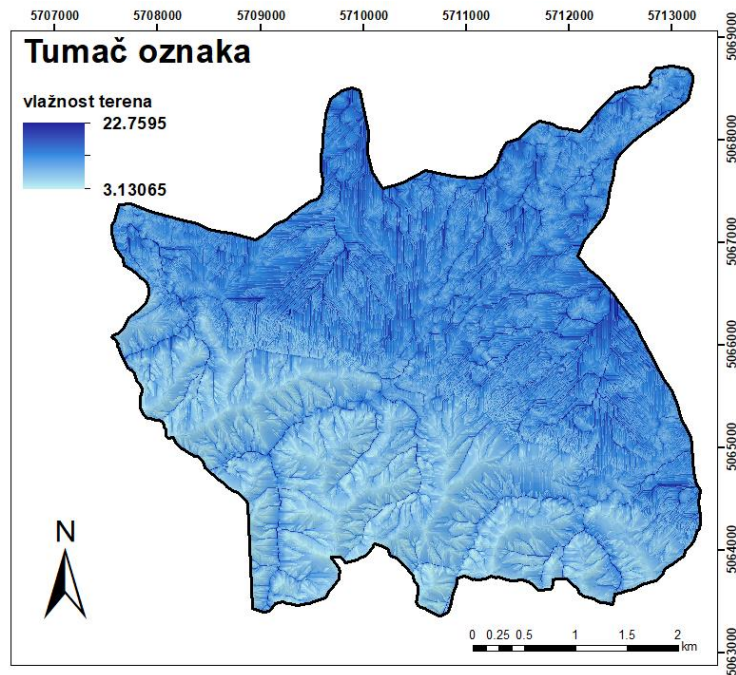
### 4.3.3 Hidrološki podaci

Na temelju DEM-a, korištenjem niza naredbi iz seta alata *Hydrology*, dobivena je drenažna mreža koja je prikazana kao vektorski podatak linijskog oblika na slici 4.10. Drenažna mreža je skup svih drenažnih sustava nekog područja odnosno skup prirodnih kanala kojima stalno ili povremeno teče voda, a koji se povezuju u jedinstveni vodotok i predstavljaju najmanju neovisnu geomorfološku sastavnicu (Marković, 1983). Prikazana je drenažna mreža samo južnog dijela istraživanog područja jer je sjeverni dio teren vrlo blagog nagiba  $0,5-1^\circ$ , tj. (sub)horizontalni teren.



Slika 4.10 Prikaz izvedene drenažne mreže istraživanog područja

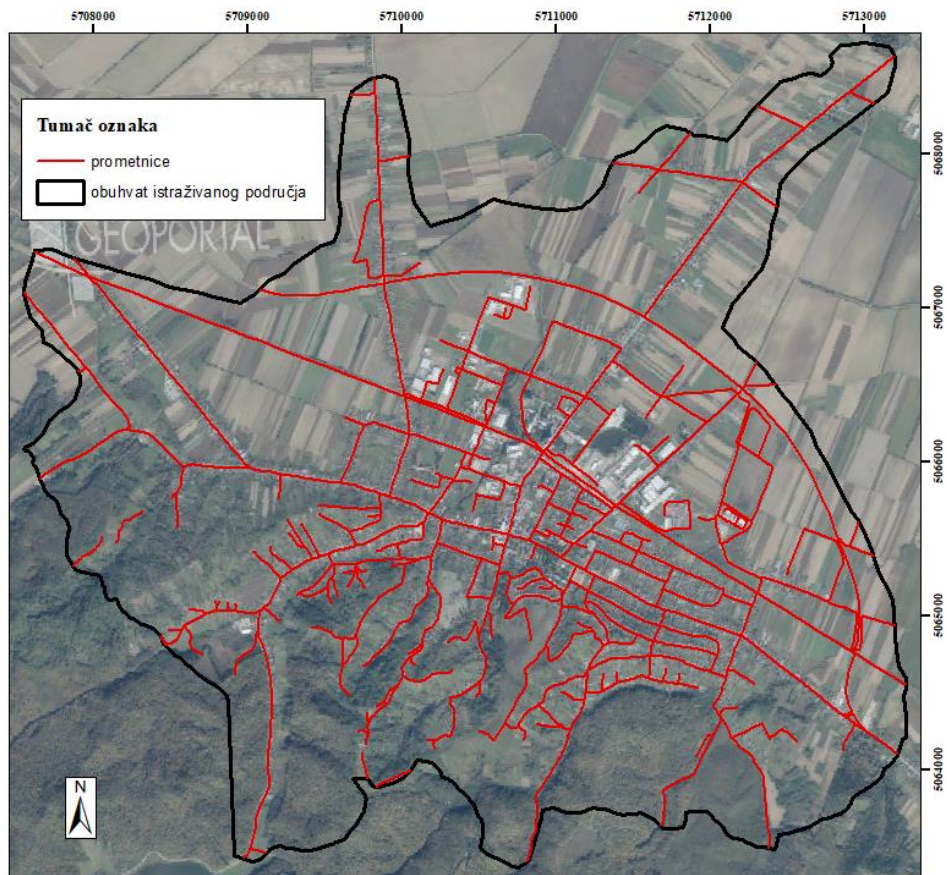
Vlažnost terena (engl. *Compound Topographic Index*, CTI) odnosno razina vlažnosti terena prikazana je na slici 4.11. Karta vlažnosti terena izvedena je iz DEM-a, korištenjem alata *Geomorphometry and Gradient Metrics Toolbox* u GIS-u, a prikazana je u obliku rasterske datoteke na kojoj niže vrijednosti ukazuju na nižu vlažnost (brežuljci), a veće vrijednosti na veću vlažnost terena (ravnice).



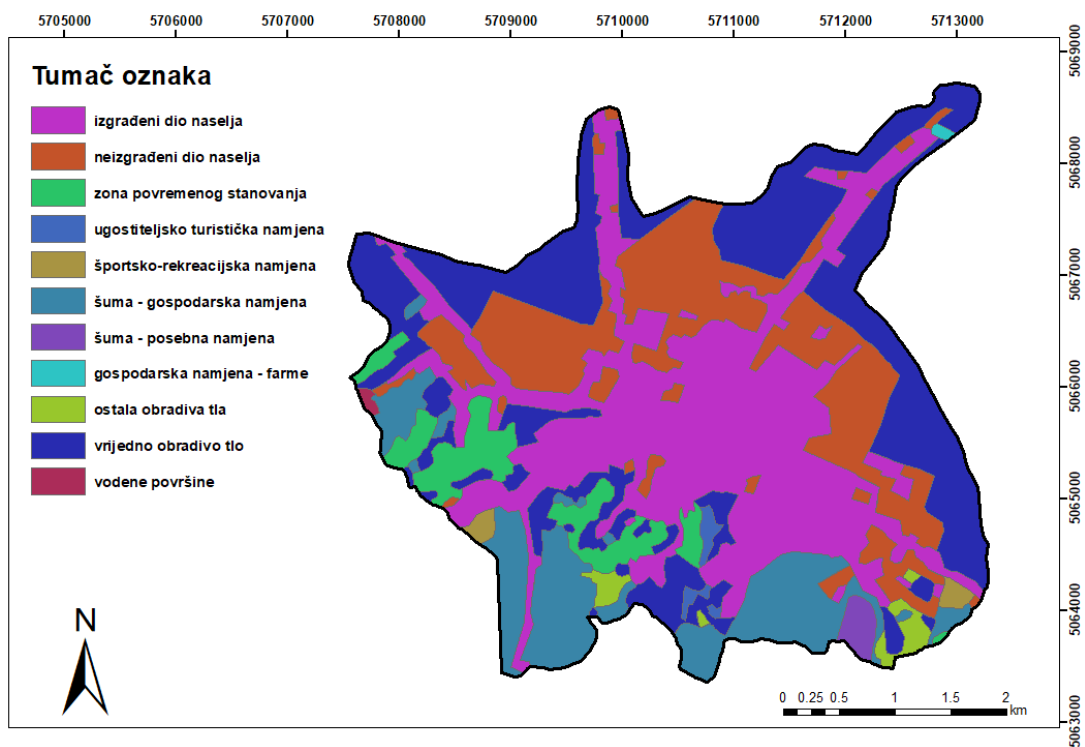
Slika 4.11 Prikaz izvedene vlažnosti terena istraživanog područja

#### 4.3.4 Korištenje i namjena zemljišta

Kartografski prikazi mreže prometnica i namjene zemljišta korišteni su za analizu utjecaja antropogenih faktora na klizišta. Mreža prometnica napravljena je digitaliziranjem digitalne ortofoto karte s WMS servera DGU (slika 4.12). Informacije o namjeni zemljišta preuzete su s web stranica grada Slatine (Baranjec-Keserica et al, 2006, Prostorni plan uređenja Grada Slatine), te su digitalizirane u GIS softveru. Ulazna karta namjene zemljišta prikazana je na slici 4.13.



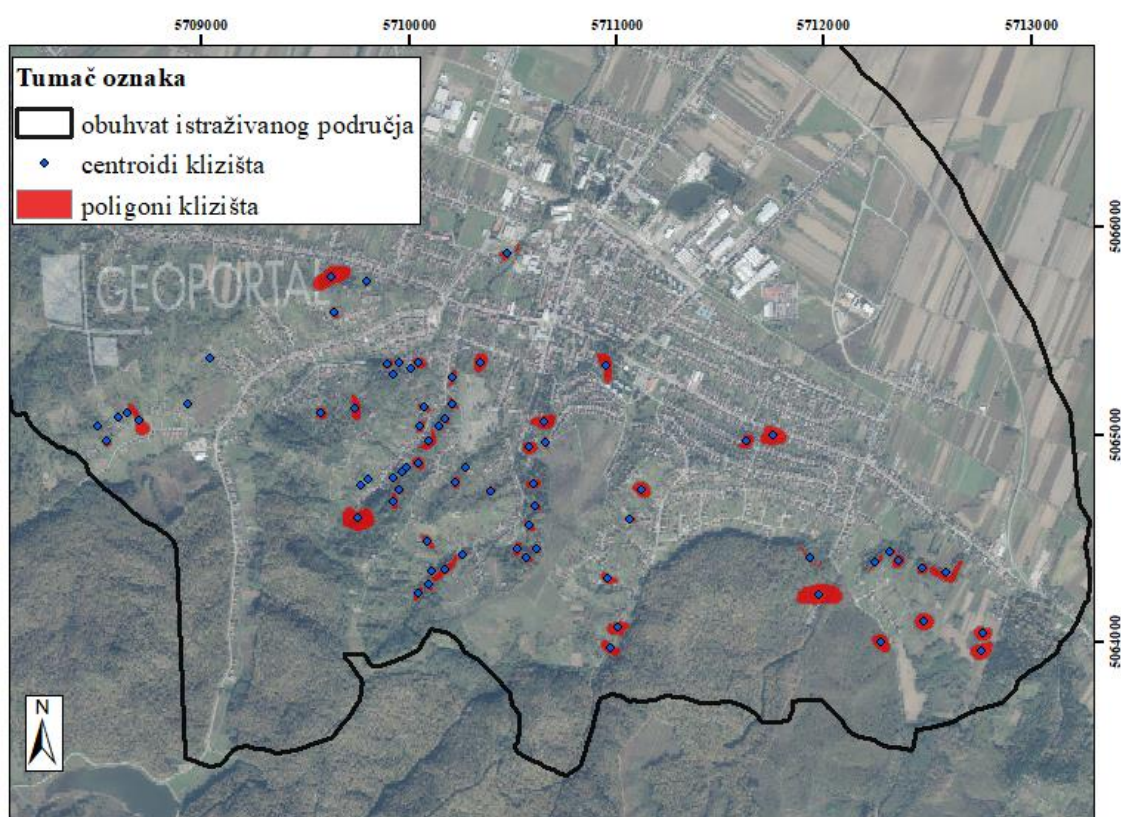
Slika 4.12 Karta prometnica istraživanog područja



Slika 4.13 Karta namjene zemljišta istraživanog područja (Baranjec-Keserica et al, 2006)

## 5 ANALIZE FAKTORSKIH KARATA

Na temelju ulaznih podataka opisanih u prošlom poglavlju izvedeno je niz faktorskih karata za analizu podložnosti na klizanje koje prikazuju preduvjete za pojavu klizišta na području UPU Grada Slatine. U ovom poglavlju opisane su faktorske karte klizanja te su prikazani rezultati analize utjecaja pojedinih klasa faktorskih karata na pojavu klizišta. Za izradu modela podložnosti na klizanje korištena su sva klizišta iz karte inventara izrađene za UPU Grada Slatine. Za izračun  $\chi^2$  testa korišteni su točkasti podaci centroida klizišta (slika 5.1) koji su dobiveni iz poligona klizišta.



Slika 5.1 Centroidi klizišta na području Grada Slatine

Za analizu podložnosti na klizanje istraživanog područja izrađeno je ukupno devet faktorskih karata: karta nagiba terena, karta zakrivljenosti terena, karta hrapavosti terena, karta vrste stijena, karta udaljenosti od geoloških granica, karta udaljenosti od drenažne mreže, karta vlažnosti terena, karta namjene zemljišta i karta udaljenosti od prometnica. U slijedećim poglavljima opisane su sve faktorske karte, primijenjene klasifikacije i rezultati procjene njihove relevantnosti na pojavu klizanja provedene pomoću  $\chi^2$  testa .

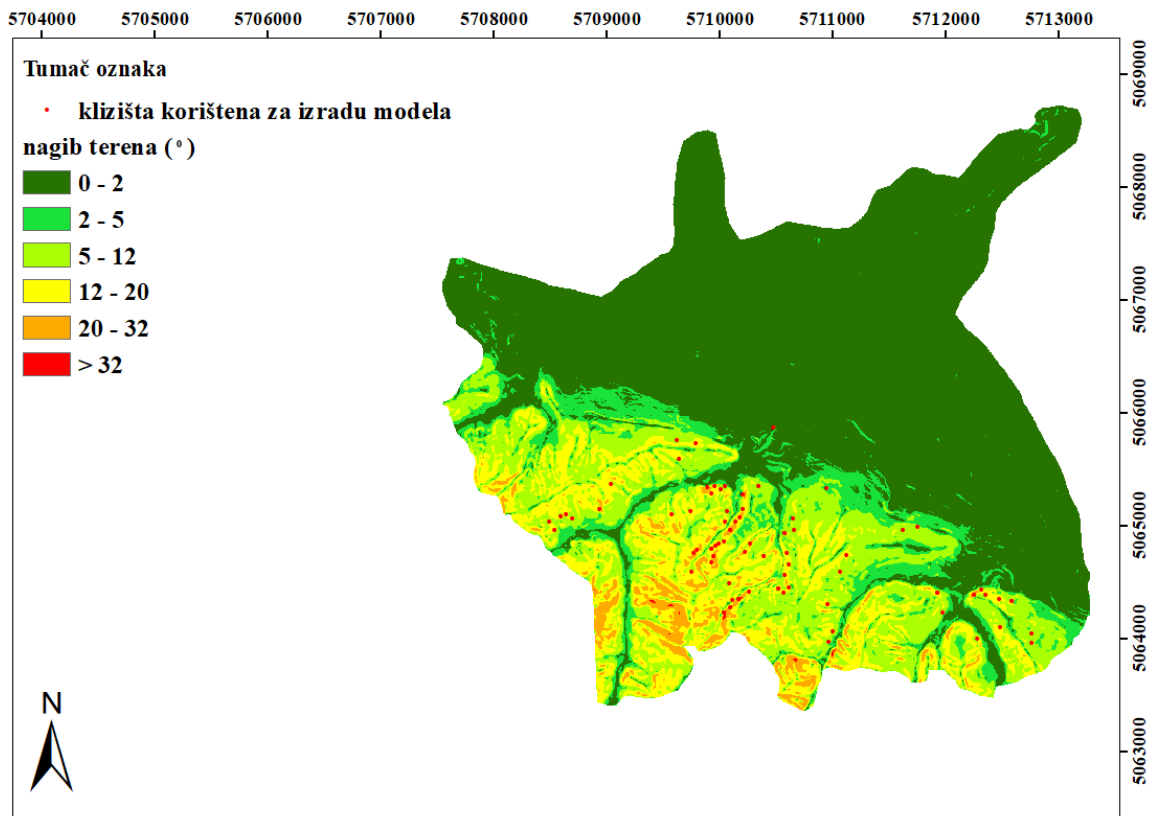
## 5.1 Geomorfološki faktori

Za analizu podložnosti na klizanje odabrani su slijedeći geomorfološki faktori: nagib terena, zakrivljenost terena, hrapavost terena i vlažnost terena. Karte geomorfoloških faktora izvedene su iz DEM-a rezolucije 5 x 5 m pomoću naredbi u GIS softveru *ArcMap*. Prema  $\chi^2$  testu, svi navedeni faktori su relevantni za analizu podložnosti (tablica 5.1). Nul-hipoteza  $\chi^2$  testa koja pretpostavlja da su klizišta normalno distribuirana na cijelom području se odbacuje jer su vrijednosti  $\chi^2$  testa veće od graničnih vrijednosti. Najveću razliku vrijednosti  $\chi^2$  testa i granične vrijednosti ima faktor nagib terena pa je zaključeno da on ima najveći utjecaj za analizu podložnosti, a najmanju razliku ima hrapavost terena.

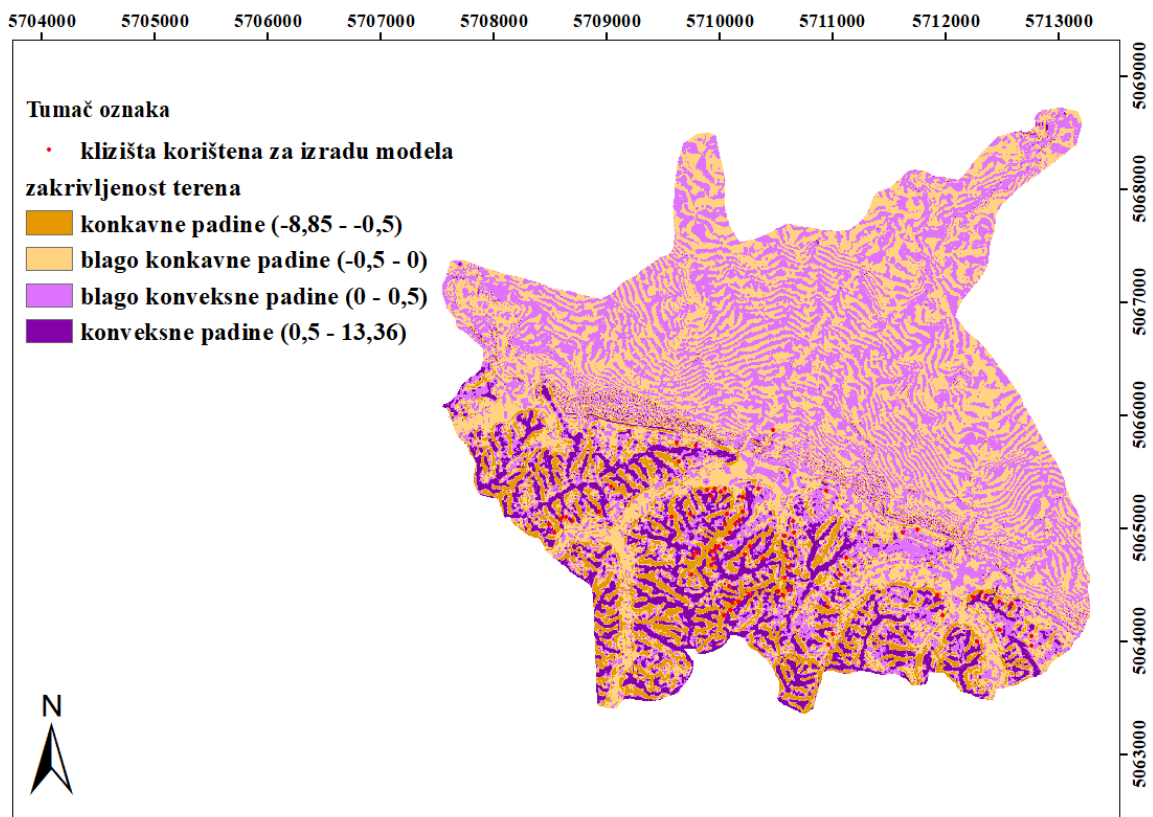
Karta nagiba terena (slika 5.2) podijeljena je na šest klasa prema klasifikaciji Međunarodne geografske unije (IGU, 1968), a to su 0 – 2° (ravnice), 2 – 5° (blago nagnuti tereni), 5 – 12° (umjereno nagnuti tereni), 12 – 20° (značajno nagnuti tereni), 20 – 32° (izrazito nagnuti tereni), 32 – 55° (vrlo strmi tereni). Vrijednost  $\chi^2$  testa za kartu nagiba terena iznosi 173,88 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 11,07 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa 12 – 20° u kojoj je broj kartiranih klizišta za 20 veći od broja očekivanih klizišta.

Karta zakrivljenosti terena (slika 5.3) podijeljena je na četiri klase (Sinčić, 2019): konkavne padine (-8,85 - -0,5); blago konkavne padine (-0,5 – 0); blago konveksne padine (0 - 0,5); konveksne padine (0,5 – 13,36). Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 83,24 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 7,81 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Daleko najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa -8,85 - -0,05 za koju je, po rezultatima  $\chi^2$  testa, očekivano 6,7 klizišta, a kartirano je njih 29.

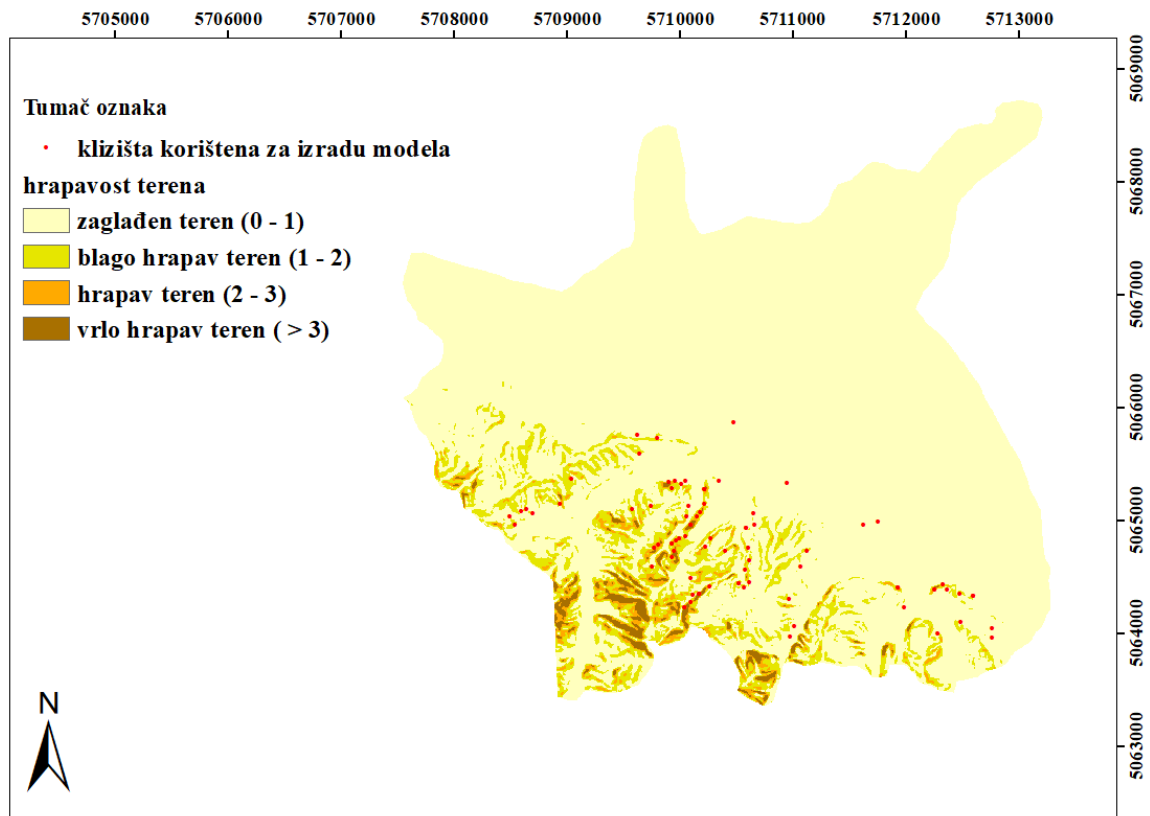
Karta hrapavosti terena (slika 5.4) podijeljena je na 4 klase: 0 – 1 (zaglađen teren); 1 – 2 (blago hrapav teren); 2 – 3 (hrapav teren); > 3 (vrlo hrapav teren). Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 67,84 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 7,81 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Najviše klizišta (43) kartirano je u klasi zaglađen teren. Po rezultatima  $\chi^2$  testa najveći utjecaj ima klasa blago hrapav teren.



Slika 5.2 Faktorska karta nagiba terena za područje Grada Slatine



Slika 5.3 Faktorska karta zakrivljenosti terena za područje Grada Slatine



Slika 5.4 Faktorska karta hrapavosti terena za područje Grada Slatine



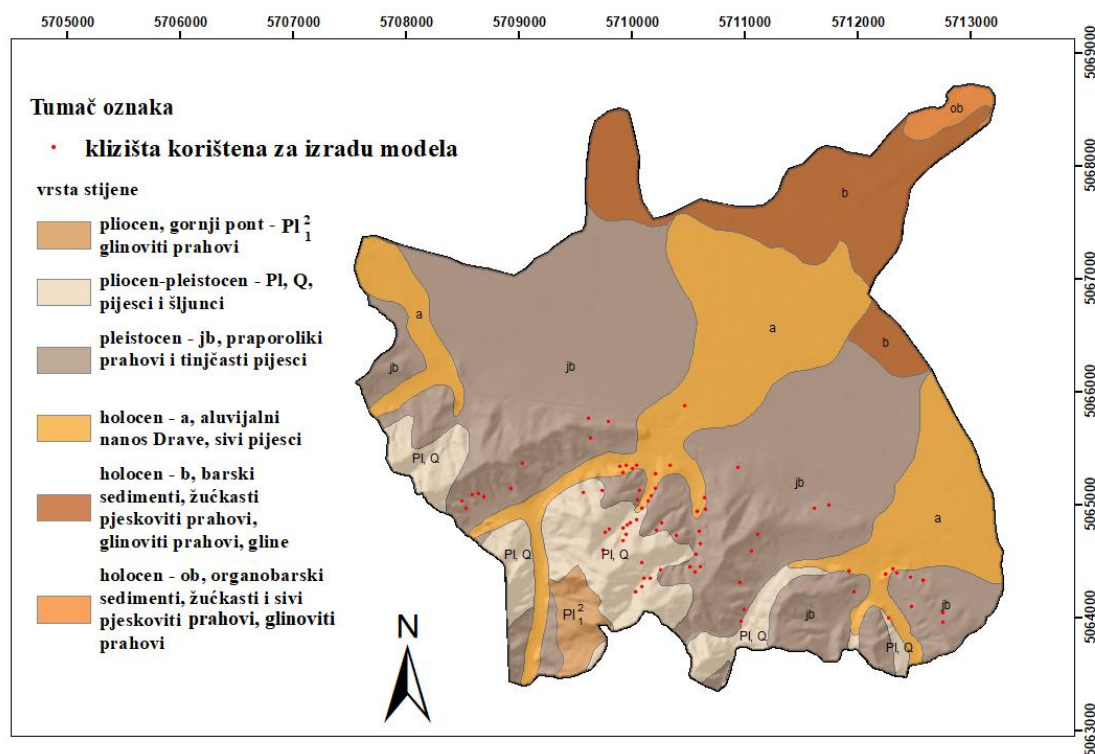
Tablica 5.1 Prikaz rezultata  $\chi^2$  testa , metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za geomorfološke faktore

Parametar	H <sub>i</sub> kvadrat test									Informacijska vrijednost		Weight of evidence						
	Value	Opis	Count	Površina klase N <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta, S <sub>i</sub>	Gustoća klizišta, W (S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> )	Očekivani broj klizišta, S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub>	(S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub> ) <sup>2</sup> /S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N	I <sub>i</sub> = log(S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N)	npix1	npix2 (N - npix1)	npix3 (N <sub>i</sub> - npix1)	npix4 (N - S - N <sub>i</sub> + S <sub>i</sub> )	W+	W-	Wmap
nagib terena	Stupanj slobode = 5			P = 0.05		Granična vrijednost = 11.07				S/N=	3.74423E-06	nnmap = N	nslide = S	nclass = N <sub>i</sub>	nslclass = S <sub>i</sub>			
	1	0 - 2	443169	11079225	1	9.03E-08	41.48314	-40.4831	39.50725	0.024	-1.6179	1	71	11079224	8150304	-3.72529	0.844406	-4.5095
	2	2 - 5	71444	1786100	2	1.12E-06	6.687565	-4.68757	3.28569	0.299	-0.5242	2	70	1786098	17443430	-1.20711	0.069313	-1.2163
	3	5 - 12	140473	3511825	32	9.11E-06	13.14907	18.85093	27.02529	2.434	0.3863	32	40	3511793	15717735	0.88939	-0.38613	1.3357
	4	12 - 20	94070	2351750	28	1.19E-05	8.805487	19.19451	41.84088	3.180	0.5024	28	44	2351722	16877806	1.156838	-0.36203	1.5790
	5	20 - 32	19784	494600	8	1.62E-05	1.851895	6.148105	20.41109	4.320	0.6355	8	64	494592	18734936	1.463245	-0.09173	1.6151
	6	32 - 55	244	6100	1	0.000164	0.02284	0.97716	41.80608	43.783	1.6413	1	71	6099	19223429	3.779411	-0.01367	3.8532
	SUM			19229600	72	3.74E-06	72		173.8763			72						0.060165
zakrivljenost	Stupanj slobode = 3			P = 0.05		Granična vrijednost = 7.81												
	1	-8.85 - -0.5	71825	1795625	29	1.62E-05	6.723229	22.27677	73.81194	4.313	0.6348	29	43	1795596	17433932	1.46174	-0.41744	1.9250
	2	-0.5 - 0	329571	8239275	20	2.43E-06	30.84972	-10.8497	3.815803	0.648	-0.1882	20	52	8239255	10990273	-0.4334	0.234014	-0.6215
	3	0 - 0.5	291276	7281900	15	2.06E-06	27.26509	-12.2651	5.517402	0.550	-0.2595	15	57	7281885	11947643	-0.59756	0.242298	-0.7940
	4	0.5 - 13.36	76512	1912800	8	4.18E-06	7.161959	0.838041	0.098062	1.117	0.0481	8	64	1912792	17316736	0.110658	-0.01301	0.1695
	SUM			19229600	72	3.74E-06	72		83.2432			72						0.045865
hrapavost	Stupanj slobode = 3			P = 0.05		Granična vrijednost = 7.81												
	1	0 - 1	685582	17139550	43	2.51E-06	64.17438	-21.1744	6.986499	0.670	-0.1739	43	29	17139507	2090021	-0.40041	1.309903	-0.7355
	2	1 - 2	58736	1468400	18	1.23E-05	5.498024	12.50198	28.42829	3.274	0.5151	18	54	1468382	17761146	1.185992	-0.20825	2.3691
	3	2 - 3	15269	381725	7	1.83E-05	1.429265	5.570735	21.71261	4.898	0.6900	7	65	381718	18847810	1.588764	-0.08223	2.6458
	4	> 3	9597	239925	4	1.67E-05	0.898334	3.101666	10.70908	4.453	0.6486	4	68	239921	18989607	1.493521	-0.0446	2.5129
	SUM			19229600	72	3.74E-06	72		67.83649			72						0.974823

## 5.2 Geološki faktori

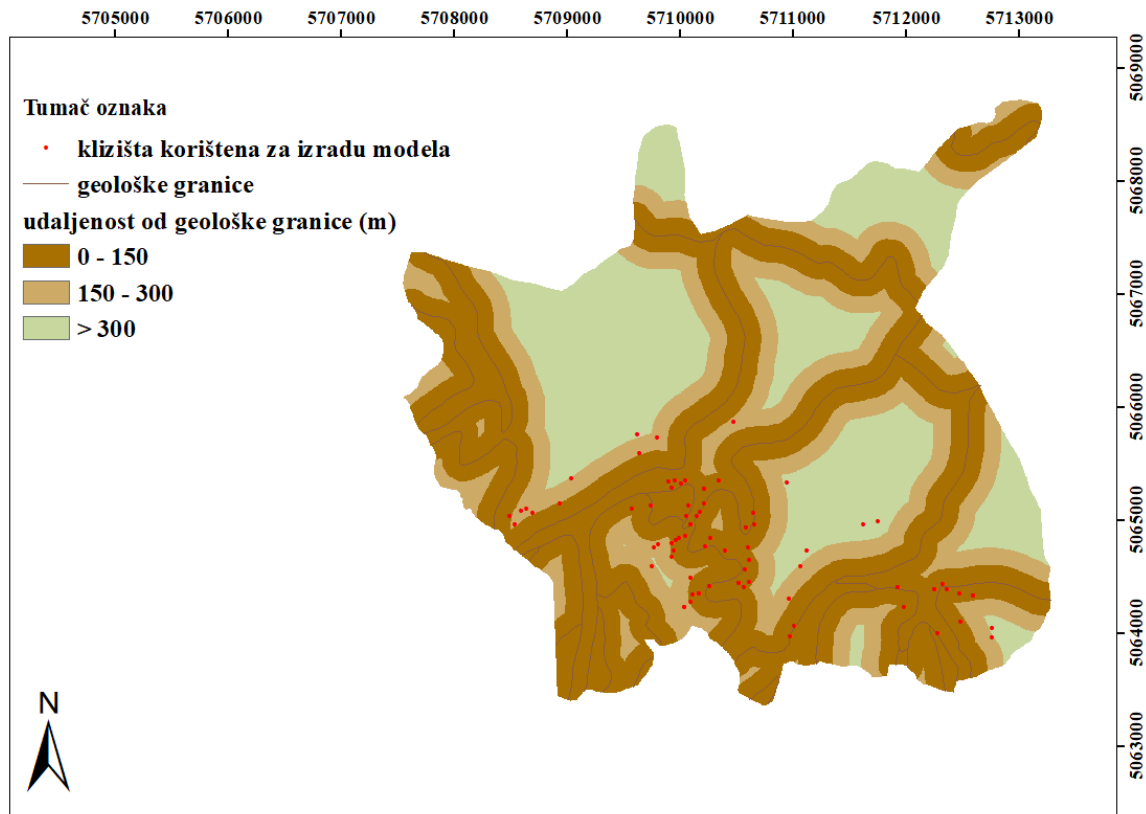
Za analizu podložnosti na klizanje su, od geoloških faktora, korištene karte vrste stijena i udaljenosti od geološke granice koje su dobivene digitalizacijom OGK Lista Podravska Slatina i obradom digitaliziranih podataka kako je prethodno opisano (poglavlje 4.2.2).  $\chi^2$  test je pokazao da su oba faktora relevantna za analizu podložnosti na klizanje, te se nul-hipoteza odbacuje jer su vrijednosti  $\chi^2$  testa veće od graničnih vrijednosti. Rezultati  $\chi^2$  testa pokazuju da udaljenost od geoloških granica ima veći utjecaj na podložnost na klizanje nego što imaju vrste stijena. Rezultati  $\chi^2$  testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode su prikazani u tablici 5.2.

Karta vrste stijena (slika 5.5) podijeljena je na šest klasa prema kronostratigrafskim jedinicama definiranim na OGK. Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 24,62 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 11,07 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa pliocen-pleistocen dok u pliocenu, te barskim i organobarskim sedimentima nije zabilježeno ni jedno klizište. Značajan broj klizišta (39) pojavljuje se u klasi pleistocen.



Slika 5.5 Faktorska karta vrsta stijena za područje Grada Slatine

Karta udaljenosti od geoloških granica (slika 5.6) podijeljena je na tri klase: 0 – 150 m; 150 – 300 m; > 300 m. Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 152,92 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 5,99 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa 0 – 150 m u kojoj je očekivano 12 klizišta, a kartirano čak 49.



Slika 5.6 Faktorska karta udaljenosti od geoloških granica za područje Grada Slatine

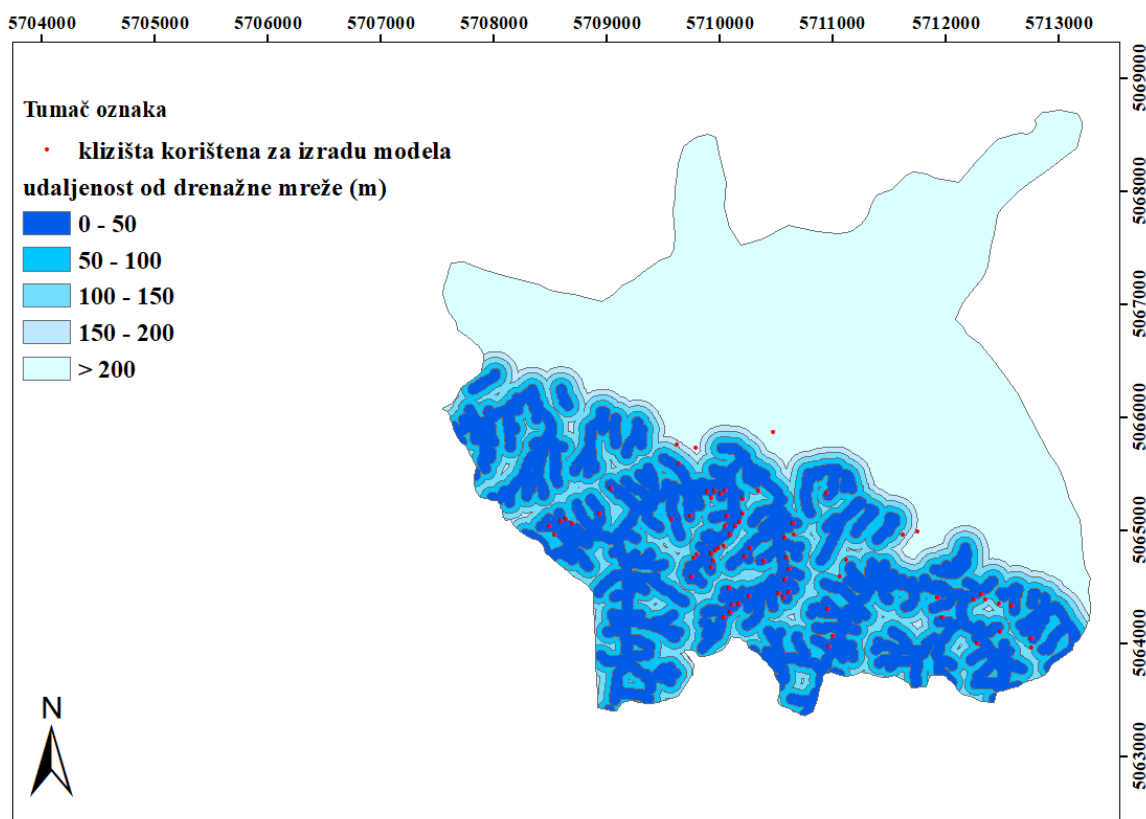
Tablica 5.2 Prikaz rezultata  $\chi^2$  testa , metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za geološke faktore

Parametar	H <sub>i</sub> kvadrat test									Informacijska vrijednost		Weight of evidence						
	Value	Opis	Count	Površina klase N <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta, S <sub>i</sub>	Gustoća klizišta, W (S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> )	Očekivani broj klizišta, S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub>	(S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub> ) <sup>2</sup> /S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N	I <sub>i</sub> = log(S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N)	npix1	npix2 (N - npix1)	npix3 (N <sub>i</sub> - npix1)	npix4 (N - S - N <sub>i</sub> + S <sub>i</sub> )	W+	W-	Wmap
vrsta stijene	Stupanj slobode = 5			P = 0.05			Granična vrijednost = 11.07											
	1	pliocen, gornji pont	12625	315625	0	0	1.181486	-1.18149	1.181486	0.000	0.0000	0	72	315625	18918553	0	0.016546	-0.0712
	2	pliocen-pleistocen	81958	2048950	18	8.78E-06	7.669881	10.33012	13.91304	2.347	0.3705	18	54	2048932	17185246	0.853076	-0.17504	0.9734
	3	pleistocen	385601	9640025	39	4.05E-06	36.08572	2.914278	0.235357	1.081	0.0337	39	33	9639986	9594192	0.077665	-0.08463	0.1076
	4	holocen - aluvij	196585	4914625	15	3.05E-06	18.39703	-3.39703	0.627264	0.815	-0.0887	15	57	4914610	14319568	-0.20414	0.061447	-0.3203
	5	holocen - barski	84832	2120800	0	0	7.938838	-7.93884	7.938838	0.000	0.0000	0	72	2120800	17113378	0	0.116828	-0.1715
	6	holocen - organobarski	7769	194225	0	0	0.727047	-0.72705	0.727047	0.000	0.0000	0	72	194225	19039953	0	0.010149	-0.0649
	SUM			19234250	72	3.74E-06	72		24.62303			72						-0.0547
udaljenost od geološke granice	Stupanj slobode = 2			P = 0.05			Granična vrijednost = 5.99											
	1	0 - 150	369531	9238275	49	5.3E-06	12	37	114.0833	1.417	0.1514	49	23	9238226	9996152	0.348504	-0.48667	0.5947
	2	150 - 300	184874	4621850	17	3.68E-06	12	5	2.083333	0.983	-0.0076	17	55	4621833	14612545	-0.01754	0.005486	-0.2635
	3	300 - 900	214973	5374325	6	1.12E-06	48	-42	36.75	0.298	-0.5254	6	66	5374319	13860059	-1.20984	0.240677	-1.6910
	SUM			19234450	72	3.74E-06	72		152.9167			72						-0.24051

### 5.3 Hidrološki faktori

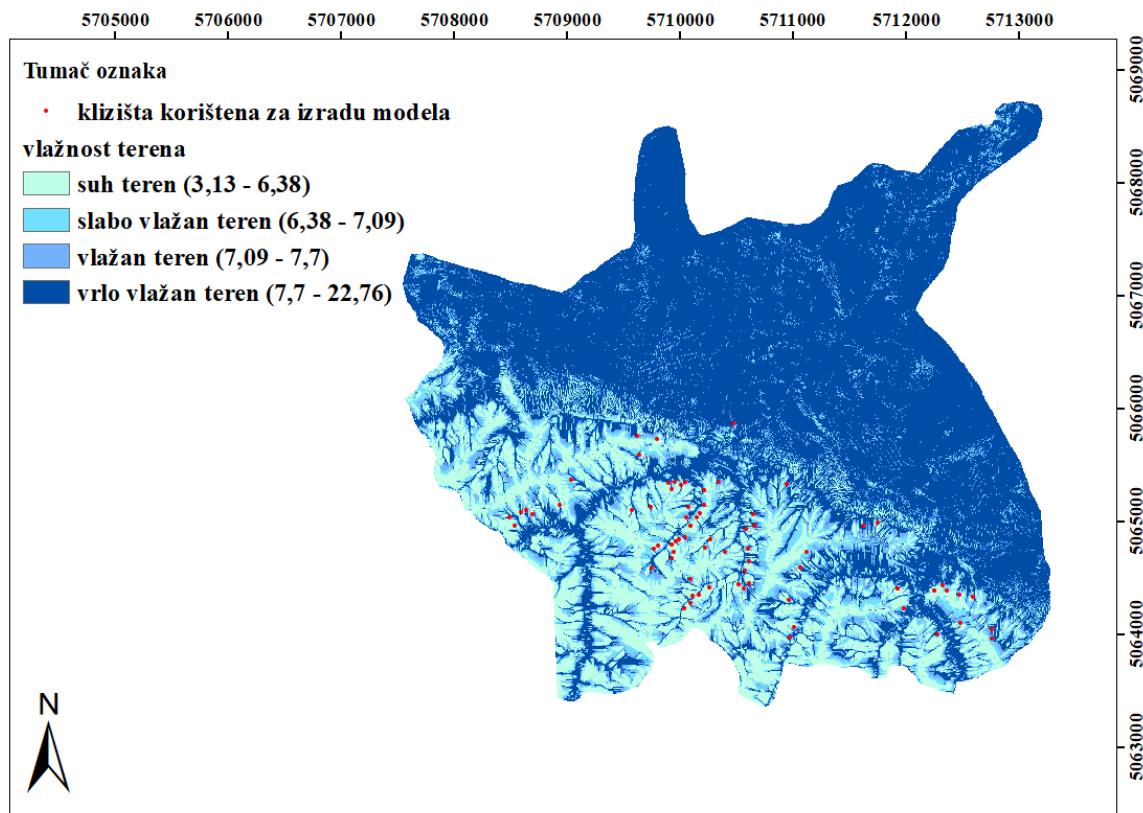
Za analizu podložnosti na klizanje su, od hidroloških faktora, korištene karta udaljenosti od drenažne mreže i karta vlažnosti terena. Karte su izvedene iz DEM-a, kako je opisano u poglavlju 4.3.3.  $\chi^2$  test je pokazao da su oba faktora relevantna za analizu podložnosti na klizanje, te se nul-hipoteza odbacuje jer su  $\chi^2$  test vrijednosti veće od graničnih vrijednosti. Najveću  $\chi^2$  vrijednost ima parametar udaljenosti od drenažne mreže. Rezultati  $\chi^2$  testa su prikazani u tablici 5.3.

Karta udaljenosti od drenažne mreže (slika 5.7) podijeljena je na pet klasa: 0 – 50 m; 50 – 100 m; 100 – 150 m; 150 – 200 m; 200 - 3750 m. Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 2768,76 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 9,49 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Najviše kartiranih klizišta je u klasi 0 – 50 m, njih čak 68% (49), pa, budući da ih je očekivano samo 0,96, najveći utjecaj na pojavu klizišta ima ta klasa udaljenosti od prometnica do 50 m.



Slika 5.7 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže za područje Grada Slatine

Karta vlažnosti terena (slika 5.8) podijeljena je na četiri klase (prema Sinčić, 2019): suh teren (3,13 - 6,38); slabo vlažan teren (6,38 – 7,09); vlažan teren (7,09 – 7,7); i vrlo vlažan teren (7,7 – 22,76). Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 63,55 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 7,81 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa suh teren u kojoj je najveća razlika kartiranih i očekivanih klizišta.



Slika 5.8 Faktorska karta vlažnosti terena za područje Grada Slatine

Tablica 5.3 Prikaz rezultata  $\chi^2$  testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za hidrološke faktore

Parametar	H <sub>i</sub> kvadrat test									Informacijska vrijednost		Weight of evidence						
	Value	Opis	Count	Površina klase N <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta, S <sub>i</sub>	Gustoća klizišta, W (S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> )	Očekivani broj klizišta, S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub>	(S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub> ) <sup>2</sup> /S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N	I <sub>i</sub> = log(S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N)	npix1	npix2 (N - npix1)	npix3 (N <sub>i</sub> - npix1)	npix4 (N - S - N <sub>i</sub> + S <sub>i</sub> )	W+	W-	Wmap
udaljenost od drenažne mreže	Stupanj slobode = 4			P = 0.05			Granična vrijednost = 9.49											
	1	0 - 50	184814	4620350	49	1.06E-05	0.96	48.04	2404.002	2.833	0.4523	49	23	4620301	14614102	1.041395	-0.86646	1.6660
	2	50 - 100	119908	2997700	18	6E-06	0.96	17.04	302.46	1.604	0.2052	18	54	2997682	16236721	0.472567	-0.11826	0.3490
	3	100 - 150	52013	1300325	1	7.69E-07	0.96	0.04	0.001667	0.205	-0.6873	1	71	1300324	17934079	-1.58258	0.056011	-1.8804
	4	150 - 200	17699	442475	1	2.26E-06	0.96	0.04	0.001667	0.604	-0.2191	1	71	442474	18791929	-0.50459	0.009287	-0.7557
	5	200 - 3750	394945	9873625	3	3.04E-07	68.16	-65.16	62.29204	0.081	-1.0906	3	69	9873622	9360781	-2.51122	0.677612	-3.4306
	SUM			19234475	72	3.74E-06	72		2768.757			72						-0.2418
vlažnost	Stupanj slobode = 3			P = 0.05			Granična vrijednost = 7.81											
	1	3.13 - 6.38	144066	3601650	24	6.66E-06	13.4854	10.5146	8.198265	1.780	0.2503	24	48	3601626	15627902	0.576449	-0.19808	0.9893
	2	6.38 - 7.09	78734	1968350	20	1.02E-05	7.36995	12.63005	21.6444	2.714	0.4336	20	52	1968330	17261198	0.998328	-0.21744	1.4305
	3	7.09 - 7.7	69109	1727725	15	8.68E-06	6.468996	8.531004	11.25028	2.319	0.3653	15	57	1727710	17501818	0.841034	-0.13947	1.1953
	4	7.7 - 22.76	477275	11931875	13	1.09E-06	44.67566	-31.6757	22.45848	0.291	-0.5361	13	59	11931862	7297666	-1.23448	0.769764	-1.7895
	SUM			19229600	72	3.74E-06	72		63.55142			72						0.214779

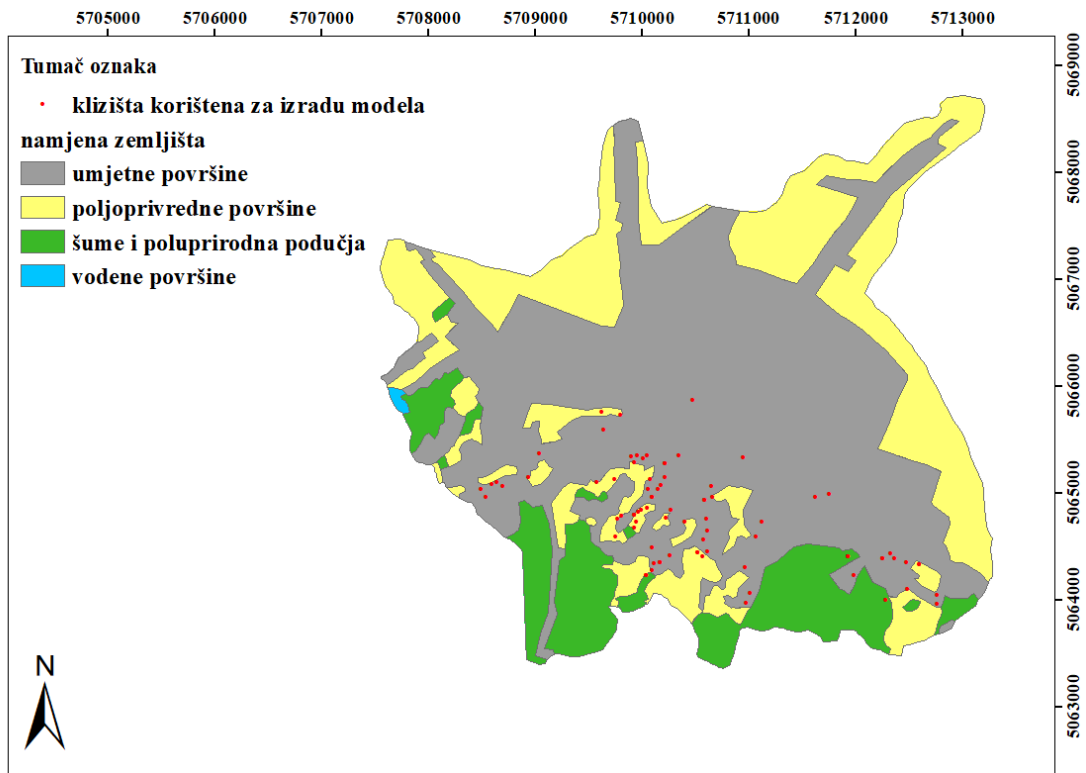
#### 5.4 Antropogeni faktori

Za analizu podložnosti na klizanje su, od antropogenih faktora, korištene karta namjene zemljišta i karta udaljenosti od prometnica. Odabrane su dvije klasifikacije namjene zemljišta. Prva klasifikacija provedena je prema prvoj razini hijerarhijske podjele CORINE klasifikacije (engl. *Copernicus Land Monitoring Service, Corine Land Cover*). Kao druga klasifikacija, korištena je klasifikacija iz Prostornog plana uređenja Grada Slatine iz 2006. godine (Baranjec-Keserica et al, 2006).  $\chi^2$  test je pokazao da je faktor udaljenosti od prometnica relevantan za analizu podložnosti na klizanje jer je  $\chi^2$  vrijednost veća od granične vrijednosti. Faktor namjene zemljišta se, u obje klasifikacije, pokazao kao nerelevantan jer je granična vrijednost veća od vrijednosti  $\chi^2$  testa. Rezultati  $\chi^2$  testa su prikazani u tablici 5.4.

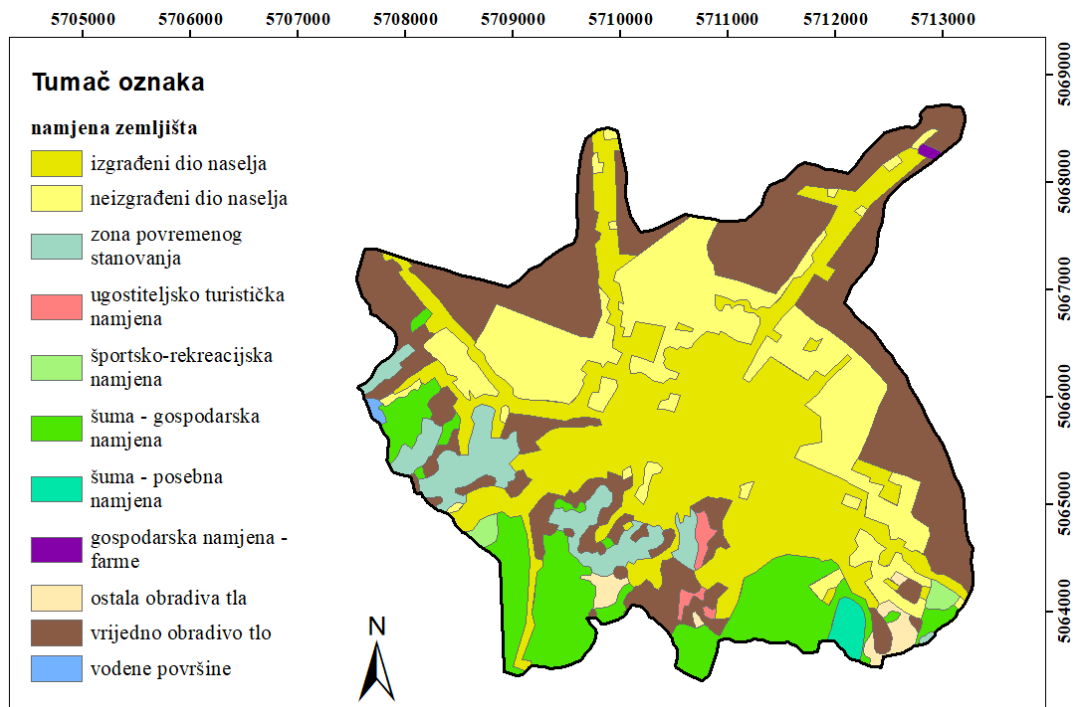
Karta klasifikacije namjene zemljišta prema CORINE klasifikaciji (slika 5.9) podijeljena je na četiri klase: umjetne površine; poljoprivredna zemljišta; šume i poluprirodna područja; i vodene površine. Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 6,35 i manja je od granične vrijednosti koja je jednaka 7,81 te se zbog toga ne odbacuje nul-hipoteza, odnosno zaključeno je da su klizišta normalno raspoređena po klasama. Isto se može zaključiti i za drugu klasifikaciju (slika 5.10) gdje su klase: gospodarska namjena – farme; izgrađeni dio naselja; neizgrađeni dio naselja; ostala obradiva tla; športsko-rekreacijska namjena; šuma – gospodarska namjena; šuma – posebna namjena; ugostiteljsko turistička namjena; vodene površine, vrijedno obradivo tlo; i zona povremenog stanovanja. Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 13,57 i manja je od granične vrijednosti koja je jednaka 18,307.

Karta udaljenosti od prometnica (slika 5.11) podijeljena je na tri klase: 0 – 50 m; 50 – 100 m; > 100 m. Vrijednost  $\chi^2$  testa iznosi 97,09 i veća je od granične vrijednosti koja je jednaka 5,99 te se zbog toga odbacuje nul-hipoteza. Klasa udaljenosti od prometnica 0 – 50 m ima najveći utjecaj zbog čega je zaključeno da prometnice doprinose nestabilnosti terena.

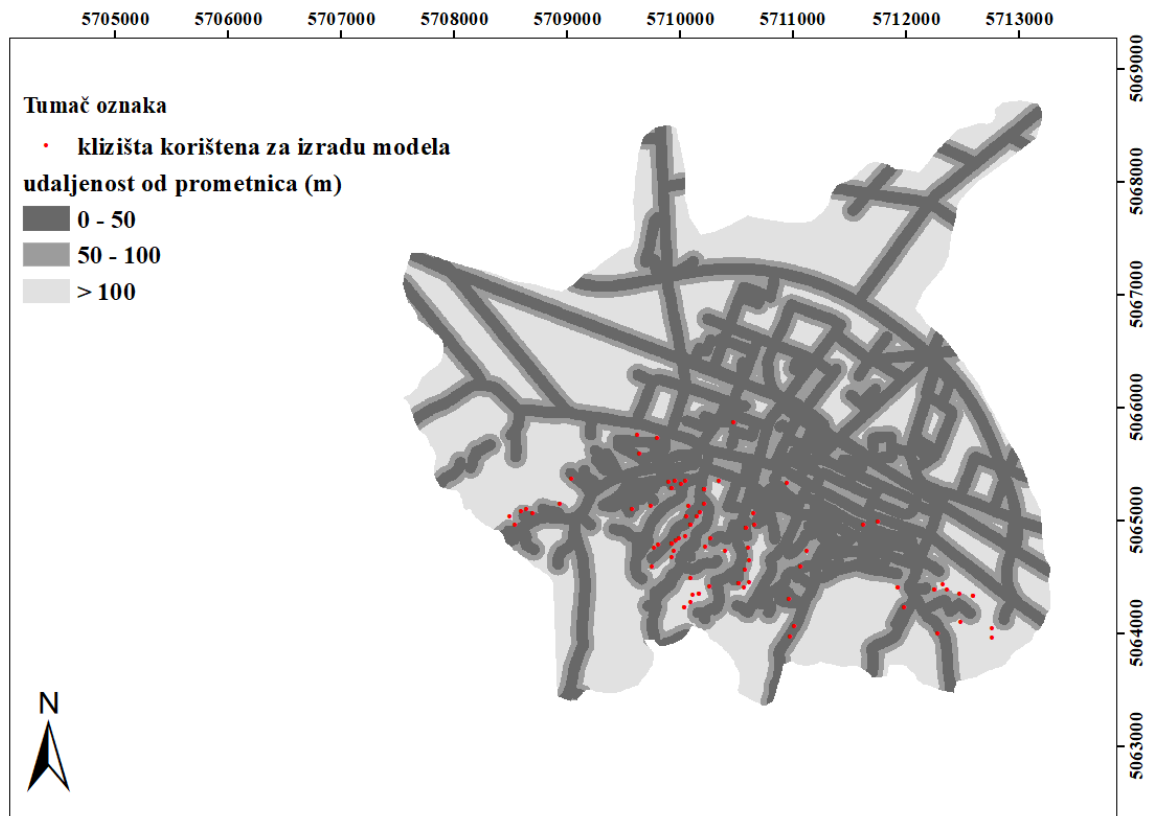




Slika 5.9 Faktorska karta namjene zemljišta (A) za područje Grada Slatine



Slika 5.10 Faktorska karta namjene zemljišta (B) za područje Grada Slatine



Slika 5.11 Faktorska karta udaljenosti od prometnica za područje Grada Slatine

Tablica 5.4 Prikaz rezultata  $\chi^2$  testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za antropogene faktore

Parametar	H <sub>i</sub> kvadrat test									Informacijska vrijednost		Weight of evidence						
	Value	Opis	Count	Površina klase N <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta, S <sub>i</sub>	Gustoća klizišta, W (S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> )	Očekivani broj klizišta, S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub>	(S <sub>i</sub> -S <sub>j</sub> ) <sup>2</sup> /S <sub>j</sub>	S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N	I <sub>i</sub> = log(S <sub>i</sub> /N <sub>i</sub> /S/N)	npix1	npix2 (N - npix1)	npix3 (N <sub>i</sub> - npix1)	npix4 (N - S - N <sub>i</sub> + S <sub>j</sub> )	W+	W-	Wmap
namjena zemljišta	Stupanj slobode = 3			P = 0.05		Granična vrijednost = 7.81												
	1	umjetne površine	449452	11236300	51	4.54E-06	42.06098	8.939015	1.899765	1.213	0.0837	51	21	11236249	7997979	0.192706	-0.35464	0.3393
	2	poljoprivredna područja	223319	5582975	18	3.22E-06	20.89882	-2.89882	0.402088	0.861	-0.0648	18	54	5582957	13651271	-0.14932	0.055177	-0.4126
	3	šume i poluprivredna područja	95498	2387450	3	1.26E-06	8.936972	-5.93697	3.944024	0.336	-0.4741	3	69	2387447	16846781	-1.09159	0.089972	-1.3896
	4	vodene površine	1103	27575	0	0	0.103222	-0.10322	0.103222	0.000	0.0000	0	72	27575	19206653	0	0.001435	-0.2095
	SUM			19234300	72	3.74E-06	72		6.349099			72						-0.20806
udaljenost od prometnica	Stupanj slobode = 2			P = 0.05		Granična vrijednost = 5.99												
	1	0 - 50	322376	8059400	32	3.97E-06	10.28571	21.71429	45.84127	1.061	0.0256	32	40	8059368	11175010	0.058934	-0.04477	0.0848
	2	50 - 100	190350	4758750	26	5.46E-06	10.28571	15.71429	24.00794	1.460	0.1642	26	46	4758724	14475654	0.37815	-0.16379	0.5230
	3	100 - 350	256652	6416300	14	2.18E-06	51.42857	-37.4286	27.23968	0.583	-0.2344	14	58	6416286	12818092	-0.53975	0.189618	-0.7483
	SUM			19234450	72	3.74E-06	72		97.08889			72						-0.01894
namjena zemljišta (B)	Stupanj slobode = 10			P = 0.05		Granična vrijednost = 18.307												
	1	gospodarska namjena farme	806	20150	0	0	0.075431	-0.07543	0.075431	0.000	0.0000	0	72	20150	19213303	0	0.001048	-0.0824
	2	izgrađeni dio naselja	250874	6271850	35	5.58E-06	23.47844	11.52156	5.653965	1.491	0.1734	35	37	6271815	12961638	0.399267	-0.27109	0.5890
	3	neizgrađeni dio naselja	149630	3740750	10	2.67E-06	14.00336	-4.00336	1.144504	0.714	-0.1462	10	62	3740740	15492713	-0.33671	0.06675	-0.4849
	4	ostala obradiva tla	9166	229150	1	4.36E-06	0.857815	0.142185	0.023568	1.166	0.0666	1	71	229149	19004304	0.153368	-0.002	0.0740
	5	sportsko-rekreacijska	4672	116800	0	0	0.437237	-0.43724	0.437237	0.000	0.0000	0	72	116800	19116653	0	0.006091	-0.0875
	6	šuma - gospodarska	89833	2245825	3	1.34E-06	8.407164	-5.40716	3.47768	0.357	-0.4475	3	69	2245822	16987631	-1.03047	0.081606	-1.1935
	7	šuma - posebna	5665	141625	0	0	0.530168	-0.53017	0.530168	0.000	0.0000	0	72	141625	19091828	0	0.007391	-0.0888
	8	ugostiteljsko turistička	3921	98025	0	0	0.366953	-0.36695	0.366953	0.000	0.0000	0	72	98025	19135428	0	0.00511	-0.0865
	9	vodne površine	1103	27575	0	0	0.103226	-0.10323	0.103226	0.000	0.0000	0	72	27575	19205878	0	0.001435	-0.0828
	10	vrijedno obradivo tlo	213341	5333525	17	3.19E-06	19.96586	-2.96586	0.440567	0.851	-0.0698	17	55	5333508	13899945	-0.16081	0.055433	-0.2976
	11	zona povremenog stanovanja	40330	1008250	6	5.95E-06	3.774347	2.225653	1.312421	1.590	0.2013	6	66	1008244	18225209	0.463534	-0.03317	0.4153
SUM			19233525	72	3.74E-06	72		13.56572			72						-0.08139	

## 6 REZULTATI PROCJENE I ZONIRANJA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

U ovom poglavlju su definirani, opisani i prikazani scenariji za koje su provedene prostorne analize procjene podložnosti na klizanje. Scenariji se razlikuju s obzirom na kombinacije faktorskih karata (opisanih u poglavlju 5). Za sve scenarije podložnost je procijenjena primjenom metoda opisanih u poglavlju 3.2, metode informacijske vrijednosti i metode *Weight of Evidence*. Karte podložnosti izrađene su za četiri scenarija, primjenom dvije metode procjene, čime je dobiveno ukupno osam karata podložnosti. Stupanj točnosti predikcije modela svih scenarija procijenjen je pomoću ROC krivulje.

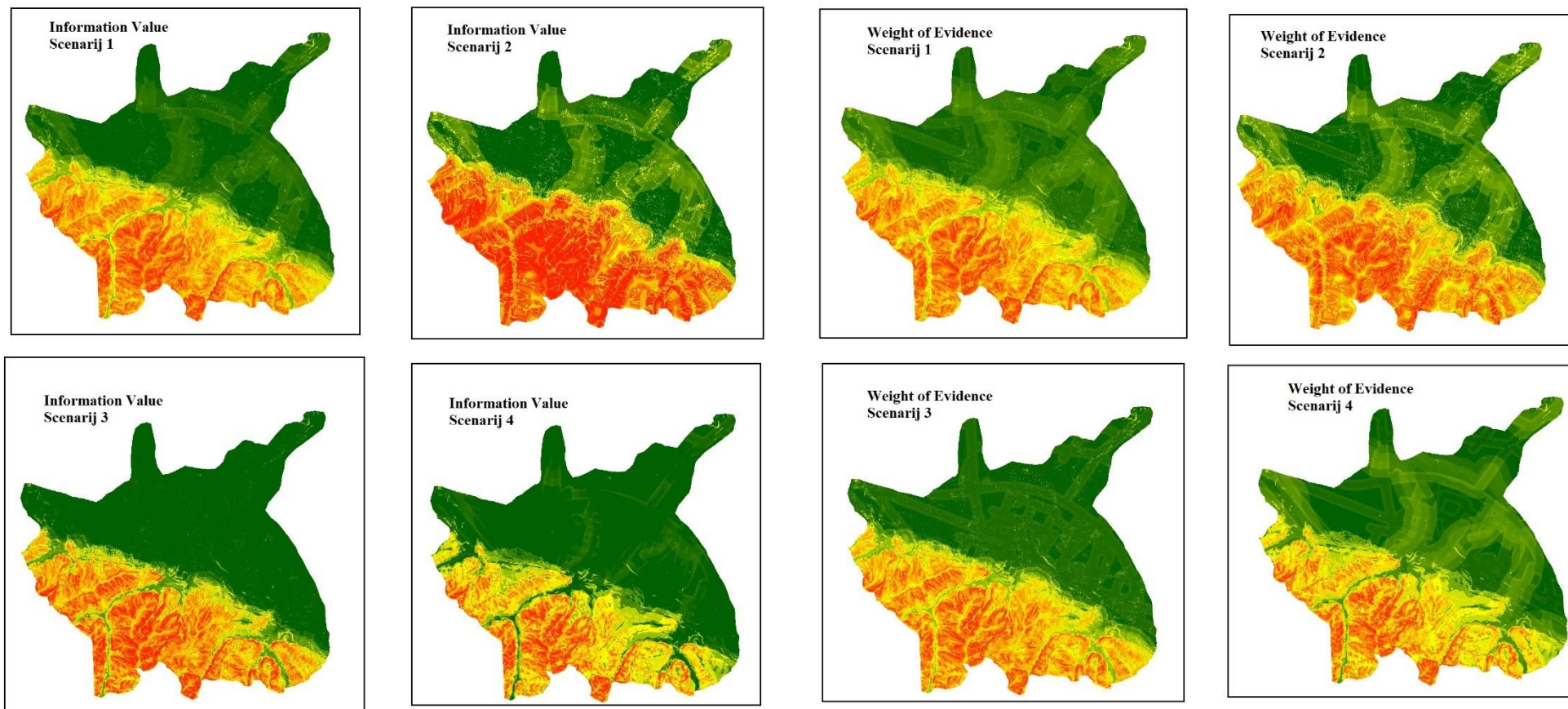
Svih osam karata podložnosti klasificirano je na četiri klase podložnosti na klizanje primjenom četiri metode, čime su dobivene 32 karte zoniranja podložnosti. Karte podložnosti su verificirane usporedbom s kartom podložnosti iz UPU Grada Slatine (opisanom u poglavlju 4.3, prikazanom na slici 4.3).

### 6.1 Procjena podložnosti na klizanje

Prvi korak procjene podložnosti na klizanje bilo je definiranje scenarija s različitim faktorskim kartama koje su korištene u prostornoj analizi (tablica 6.1). Scenarij 1 sadrži sve relevantne faktore, u scenariju 2 su izostavljeni geomorfološki faktori, u scenariju 3 geološki faktori, a u scenarij 4 hidrološki faktori. Karte podložnosti na klizanje za sva četiri scenarija, dobivene metodama informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* prikazane su na slici 6.1.

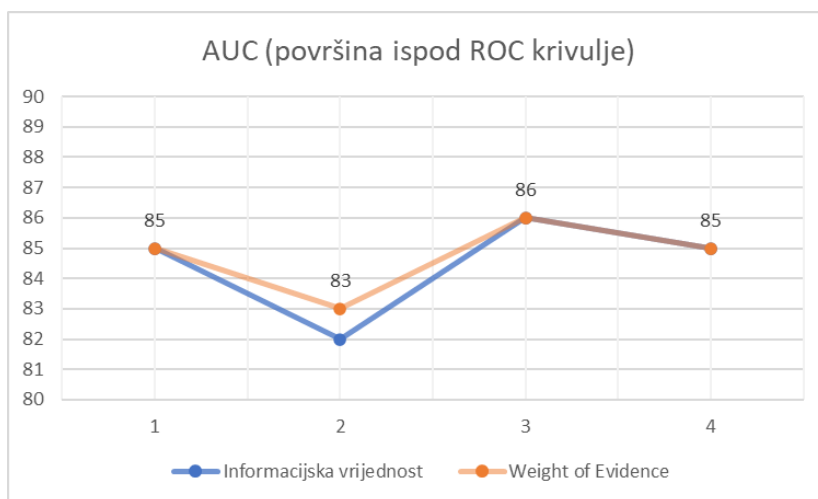
Tablica 6.1 Definiranje faktorskih karata za scenarije

Skupina faktora	Faktorske karte	Scenariji			
		1	2	3	4
geomorfološki faktori	nagib terena	+	-	+	+
	zakrivljenost terena	+	-	+	+
	hrapavost terena	+	-	+	+
geološki faktori	vrsta stijene	+	+	-	+
	udaljenost od geološke granice	+	+	-	+
hidrološki faktori	vlažnost terena	+	+	+	-
	udaljenost od drenažne mreže	+	+	+	-
antropogeni faktori	udaljenost od prometnica	+	+	+	+



Slika 6.1 Karte podložnosti na klizanje Grada Slatine za scenarije 1, 2, 3 i 4 dobivene metodama informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence*. Zelena i žuta boja prikazuju područja niske, a nijanse narančaste i crvene prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje.

Na slici 6.2 prikazana je analiza točnosti predikcije pomoću AUC vrijednosti, tj. vrijednosti površina ispod ROC krivulja (slika 6.2). Proizlazi da su točnosti predikcije scenarija 2 manje od ostalih scenarija, neovisno o metodi procjene, pa je stoga odlučeno da se ovaj scenarij odbacuje.



Slika 6.2 Vrijednosti AUC (površine ispod ROC krivulje) za sva četiri scenarija za obje metode procjene

## 6.2 Klasifikacija podložnosti na klizanje

Podložnosti na klizanje procijenjene u prvom koraku analize, klasificirane su primjenom četiri vrste klasifikacija (opisane u poglavlju 3.4) kako bi se provelo zoniranje područja istraživanja s obzirom na podložnost na klizanje. Primijenjene klasifikacije su kvantile (engl. *quantile*), prirodne granice (engl. *natural breaks*), geometrijski interval (engl. *geometrical interval*) i klasifikacija s obzirom na granične uvjete definirane prema Bernat Gazibara (2019).

U tablicama 6.2 i 6.3 prikazane su prosječne vrijednosti broja klizišta po zonama podložnosti na klizanje za sve četiri klasifikacije gdje je *q* – *quantile*, *nb* – *natural breaks*, *gi* – *geometric interval*, *sbg* – klasifikacija s obzirom na granične uvjete definirane prema Bernat Gazibara (2019) i za sva četiri scenarija. Vidljivo je da crvena zona podložnosti dobivena klasifikacijom *natural breaks* ima manje od 50% klizišta u crvenoj zoni, neovisno o metodi procjene. Također je dobiveno da scenarij 4 ima manje od 50% klizišta

u crvenoj zoni, što je puno manje od ostalih scenarija. Stoga je odlučeno da se scenarij 4 odbacuje i to za obje metode procjene.

Tablica 6.2 Prosječan broj klizišta po zonama podložnosti na klizanje za različite metode klasifikacije

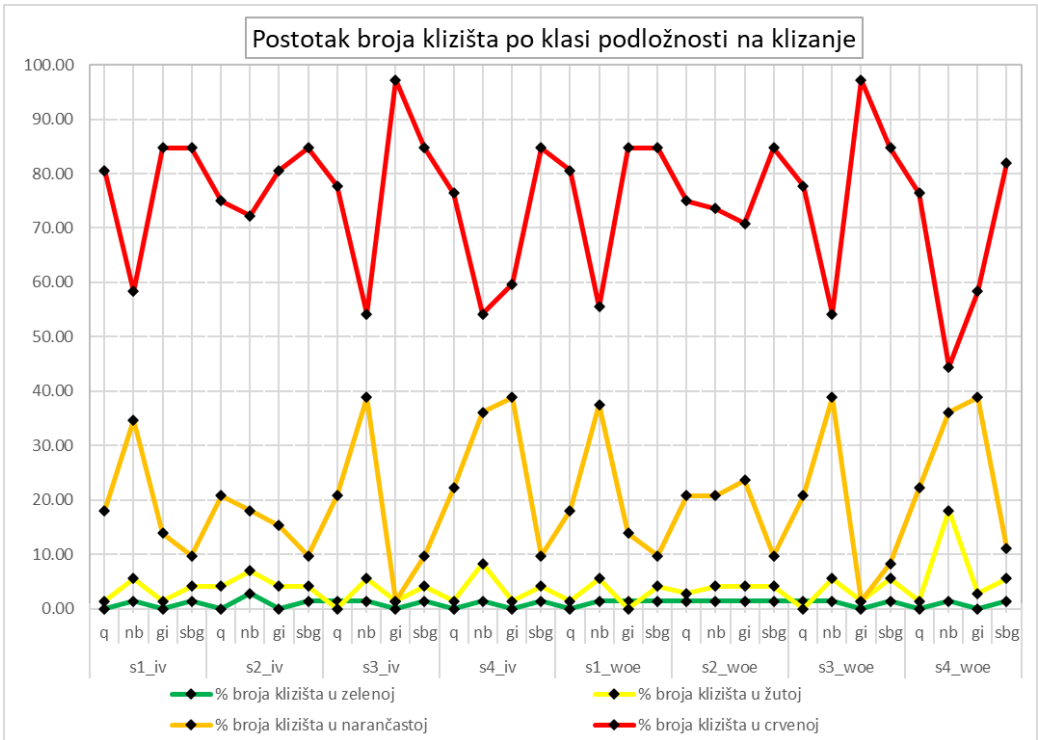
		Prosjek broja klizišta po zonama podložnosti na klizanje			
Metoda		zelena	žuta	narančasta	crvena
Informacijska vrijednost	q	0.25	1.25	14.75	55.75
	nb	1.25	4.75	23	43
	gi	0	1.5	12.5	58
	sbg	1	3	7	61
Weight of Evidence	q	0.5	1	14.75	55.75
	nb	1	6	24	41
	gi	0.5	1.5	14	56
	sbg	1	3.5	7	60.5

Tablica 6.3 Prosječan broj klizišta po zonama podložnosti na klizanje za različite scenarije

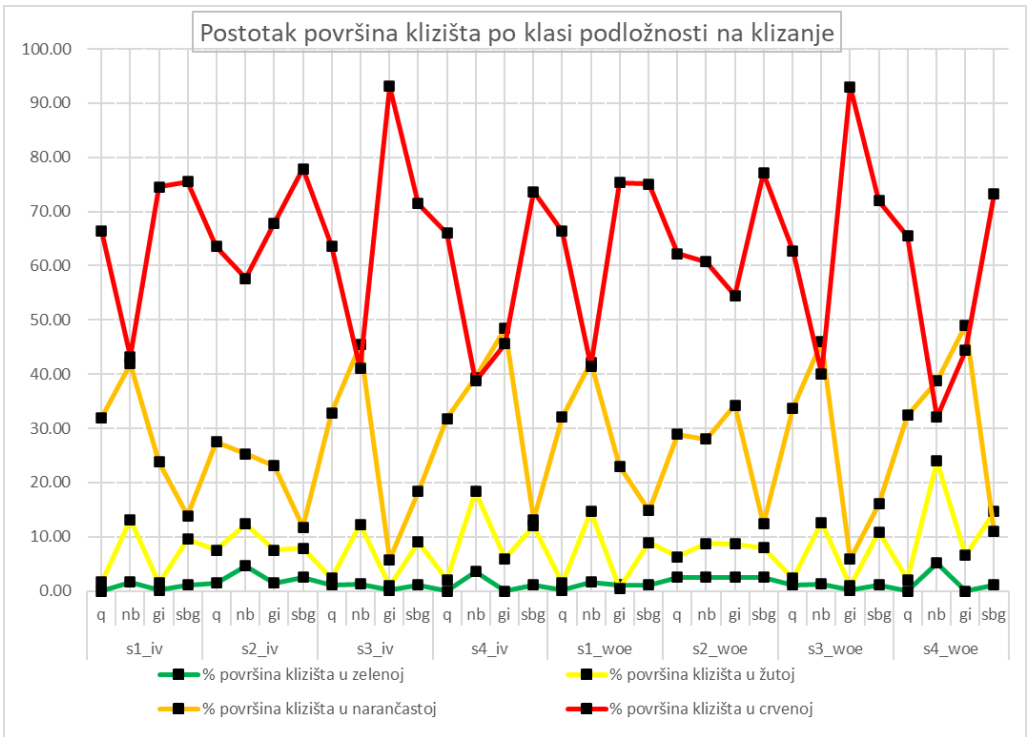
		Prosjek broja klizišta po zonama podložnosti na klizanje			
Metoda		zelena	žuta	narančasta	crvena
Informacijska vrijednost	s1	0.5	2.25	13.75	55.5
	s2	0.75	3.5	11.5	56.25
	s3	0.75	2	12.75	56.5
	s4	0.5	2.75	19.25	49.5
Weight of Evidence	s1	0.75	2	14.25	55
	s2	1	2.75	13.5	54.75
	s3	0.75	2.25	12.5	56.5
	s4	0.5	5	19.5	47

Na slikama 6.3 i 6.4 dan je grafički prikaz zastupljenosti klizišta u klasama podložnosti. Zastupljenost klizišta je izračunata u odnosu na broj klizišta u pojedinoj klasi, i za površinu klizišta u pojedinoj klasi. Ako se gledaju površine klizišta, proizlazi da narančaste i crvene zone podložnosti za neke scenarije i za neke klasifikacije podložnosti imaju iste površine klizišta. Isto se događa i za narančaste i žute zone podložnosti i to i za broj klizišta i površine klizišta.





Slika 6.3 Udio broja klizišta po klasi podložnosti na klizanje za sve karte podložnosti



Slika 6.4 Udio površina klizišta po klasi podložnosti na klizanje za sve karte podložnosti

### 6.3 Odabir optimalne karte podložnosti

Optimalna karta podložnosti odabrana je iz seta od 32 izvedene karte i to s obzirom na metodu procjene podložnosti (izbor scenarija i tehnike procjene težinskih vrijednosti) i metodu klasifikacije rezultata podložnosti.

AUC vrijednosti, odnosno vrijednosti površina ispod ROC krivulja (slika 6.5) odabrane su kao prvi kriterij. Budući da je točnost predikcije modela najmanja za scenarij 2, na osnovi ovog kriterija odbačen je scenarij 2 za obje metode procjene, čime je eliminirano osam karata. Karte dobivene za preostala 3 scenarija (scenarij 1, 3 i 4), klasificirane klasifikacijama *quantile*, *geometric interval* i klasifikacijom prema Bernat Gazibara odbačene su na temelju iskustvenog kriterija, a to je odbacivanje zona podložnosti u nizinskom dijelu istraživanog područja. Nakon toga preostalo je šest karata podložnosti na scenarije 1, 3 i 4, za koje je provedena procjena pomoću dvije tehnike procjene, a klasificirane su klasifikacijom *natural breaks*. S obzirom na prosječan broj klizišta u crvenoj zoni u ovom koraku izostavljene su karte izrađene prema scenariju 4 jer imaju najmanji prosječan broj klizišta u toj zoni. Od četiri preostale karte, u sljedećem koraku su odbačene karte dobivene pomoću *Weight of Evidence* metode procjene jer se na njima ne vidi razlika u broju klizišta unutar narančaste i crvene zone. Za konačni izbor za optimalnu kartu odabrane su dvije karte scenarija 1 i scenarija 3 dobivene metodom informacijske vrijednosti i klasificirane pomoću *natural breaks* klasifikacije.

### 6.4 Konačna karta podložnosti na klizanje

Karte podložnosti izrađene primjenom metode informacijske vrijednosti za scenarije 1 (svi faktori) i 3 (izostavljeni geološki faktori) i klasificirane primjenom *natural breaks* klasifikacije, jako su slične vizualno, ali i s obzirom na udio površina i broja klizišta po zonama podložnosti. Stoga je za konačnu kartu odabrana karta izrađena za scenarij 3 primjenom metode informacijske vrijednosti klasificirane *natural breaks* metodom jer ima veću točnost ROC krivulje. Zbog istog udjela površine crvene i narančaste zone (vidljivo na slici 6.4) te zone su spojene u konačnoj verziji karte podložnosti. Karta je prikazana na slici 6.5.

U tablicama 6.4 i 6.5 dana je validacija konačne karte podložnosti. Validacija je rađena usporedbom površina klasa iz konačne karte podložnosti s klasama iz karte podložnosti

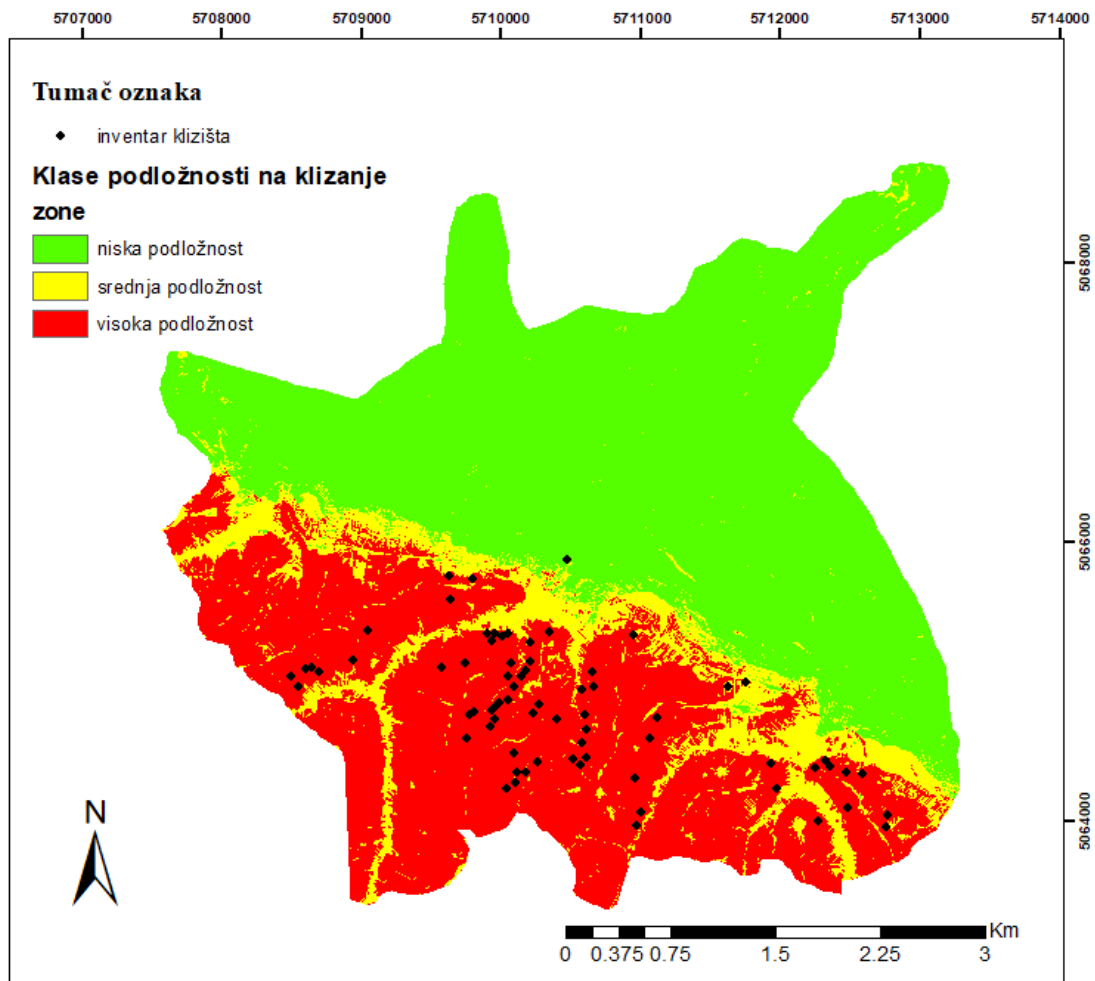
na klizanje iz 2003. U stabilnim terenima karte iz 2003. godine je sadržano: 69,44% klase niske podložnosti na klizanje, 18,38% klase srednje podložnosti na klizanje i 12,18% klase visoke podložnosti na klizanje. U uvjetno stabilnim/nestabilnim padinama karte iz 2003. godine je sadržano: 0,34% klase niske podložnosti na klizanje, 6,93% klase srednje podložnosti na klizanje i 92,74% klase visoke podložnosti na klizanje. U klasi nestabilnih terena karte podložnosti iz 2003. godine je sadržano: 6,28% klase niske podložnosti na klizanje, 9,35% klase srednje podložnosti na klizanje i 84,37% klase visoke podložnosti na klizanje.

Tablica 6.4 Preklop površina klasa podložnosti na klizanje između karte podložnosti izrađene u ovom radu (karta 2021.) i karte podložnosti iz UPU Grada Slatine (karta 2003.) za klasifikaciju podložnosti na četiri klase.

		Karta 2003.		
Klasa podložnosti		I	II/III	IV
Karta 2021.	zelena	69,44	0,34	6,28
	žuta	18,38	6,93	9,35
	narandžasta	10,72	69,04	39,49
	crvena	1,46	23,7	44,88

Tablica 6.5 Preklop površina klasa podložnosti na klizanje između karte podložnosti izrađene u ovom radu (karta 2021.) i karte podložnosti iz UPU Grada Slatine (karta 2003.) za klasifikaciju podložnosti na tri klase, odnosno nakon spajanja narandžaste i crvene zone.

		Karta 2003.		
Klasa podložnosti		I	II/III	IV
Karta 2021.	zelena	69,44	0,34	6,28
	žuta	18,38	6,93	9,35
	crvena	12,18	92,74	84,37



Slika 6.5 Konačna karta podložnosti na klizanje Grada Slatine

## 7 DISKUSIJA

Za izradu karte podložnosti na klizanje Grada Slatine analizirano je niz faktora klizanja koji su izvedeni iz dostupnih podataka. Svi geomorfološki faktori (hrapavost, zakrivljenost, nagib terena) i hidrološki faktori (vlažnost terena, udaljenost od drenažne mreže) su izvedeni iz digitalnog modela reljefa rezolucije 5 m što je odgovarajuća rezolucija za analize podložnosti na lokalnoj razini, u krupnom mjerilu. Geološki faktori, udaljenost od geološke granice i vrsta stijena, izvedeni su iz jedine dostupne geološke karte, OGK mjerila 1:100 000, što je nedostatak zbog sitnog mjerila. Udaljenost od prometnica dobivena je digitalizacijom prometnica s ortofoto snimke područja.

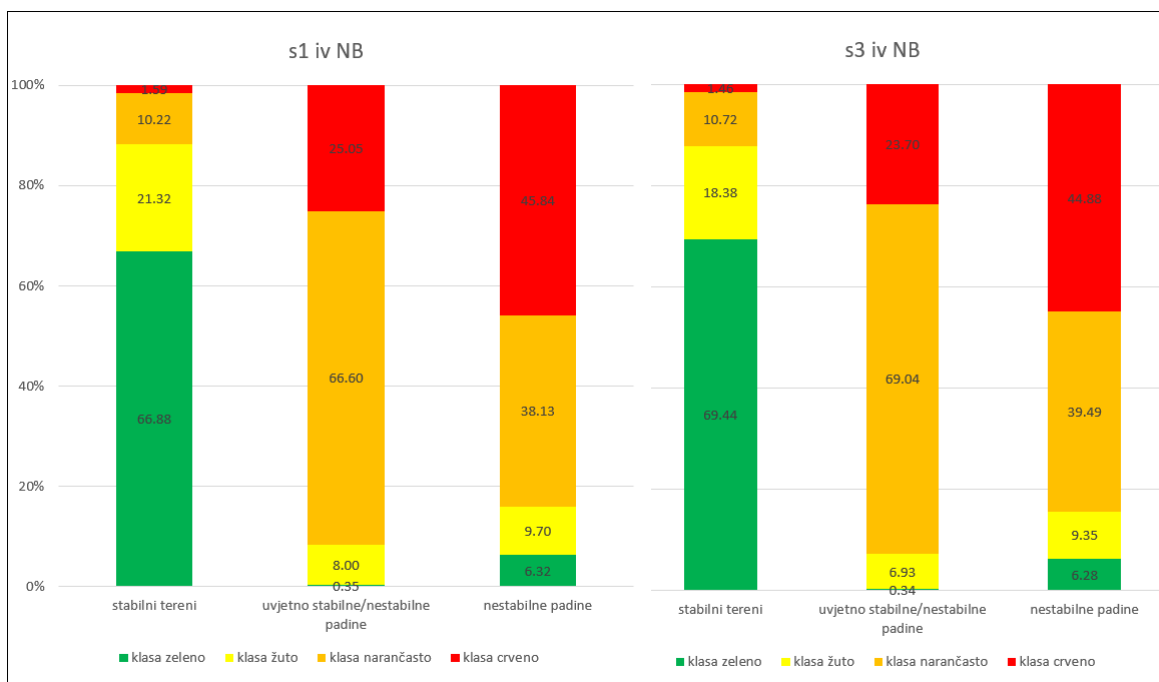
Inventar klizišta korištenih za analizu podložnosti preuzet je s karte inženjerskogeoloških uvjeta rađene za UPU Grada Slatine 2003. godine. Klizišta su kartirana izravno na terenu, te se kao takva mogu smatrati kvalitetnim podacima. Međutim, nedostatak je što je ovaj inventar klizišta izrađen samo za dio istraživanog područja, budući da je ono veće od obuhvata UPU Grada Slatine. Ovaj inventar je poslužio kao set podataka za preliminarnu analizu podložnosti na klizanje na području Grada Slatine.

Za analizu i izradu karte podložnosti na klizanje primijenjene su dvije bivarijatne statističke metode, metoda informacijske vrijednosti i metoda *Weight of Evidence*, koje se najčešće primjenjuju u krupnom mjerilu, odnosno na lokalnoj razini. Uspoređujući ove dvije metode može se primijetiti da se metode značajno ne razlikuju u stupnju točnosti modela, te je u konačnoj odluci metoda *Weight of Evidence* odbačena zbog manjeg udjela površina klizišta u narančastoj i crvenoj zoni.

Od četiri klasifikacije podložnosti na klizanje korištene u analizi, jedina koja je davala zadovoljavajuće rezultate je klasifikacija *natural breaks*. Ostale 3 klasifikacije rezultirale su povećanim vrijednostima podložnosti u ravničarskom dijelu istraživanog terena, gdje nema mogućnosti nastanka klizišta, te su stoga odbačene na temelju subjektivnog kriterija.

Prije izbora konačne karte napravljena je i usporedba novih zona podložnosti na klizanje s postojećom kartom podložnosti iz 2003. godine, tj. onom iz karte inženjerskogeoloških uvjeta. Rezultati usporedbe površina zona su prikazani na slici 7.1. Vidljivo je da su dvije karte jako slične te da su površine crvene i narančaste zone u nestabilnim padinama jako

slične, što dovodi do pitanja ima li smisla ih uopće razdvajati. Na temelju ovih usporedbi narančasta i crvena zona su spojene u jednu zonu na konačnoj karti.



Slika 7.1 Usporedba površina zona podložnosti na klizanje dobivenih u diplomskom radu sa zonama s karte podložnosti na klizanje iz 2004. načinjena za dvije karte prema scenarijima 1 i 3, prije konačnog odabira.

Na konačnoj karti podložnosti na klizanje 6,28% zelenih zona podložnosti se nalazi na dijelu terena koji je izravnim kartiranjem procijenjen kao nestabilne padine. Također 12,8% površine crvene zone konačne karte se nalazi na području klasificiranom kao stabilni tereni tijekom izravnog kartiranja. Ovi podaci ukazuju da bi svakako trebalo napraviti terensku provjeru da bi se utvrdilo je li pogreška u modelu ili je kriva procjena na terenu. Konačnu odluku treba donijeti na temelju terenske provjere.

## 8 ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu provedena je procjena podložnosti na klizanje za područje Grada Slatine te je izrađena karta podložnosti na klizanje u mjerilu 1:5.000. Ključni ulazni podatci dobiveni su iz karte inženjerskogeoloških uvjeta u okviru koje je napravljen inventar klizišta 2003. godine i koja je služila za verifikaciju konačne karte podložnosti na klizanje. Međutim, ukupna površina za koju je izrađena karta podložnosti u ovom diplomskom radu je 19,23 km<sup>2</sup> što je približno dvostruko veće područje od područja zoniranja podložnosti na klizanje iz 2003.godine ukupne površine oko 10 km<sup>2</sup>.

Postupak analize podložnosti na klizanje proveden u ovom radu je obuhvatio prikupljanje podataka, obradu podataka, izradu faktorskih karata klizanja i definiranje klasa klizanja, izradu karte podložnosti na klizanje prema četiri različita scenarija, validaciju izvedenih karata te reklasifikaciju konačne karte na tri klase podložnosti na klizanje.

Za analizu podložnosti na klizanje korištena je karta inventara klizišta iz 2003. godine s prikazom klizišta u obliku točaka jer se pokazala bolja u odnosu na kartu s prikazom klizišta u obliku poligona. Ukupno je analizirano devet faktora klizanja, a konačna karta podložnosti na klizanje izvedena je na temelju šest faktorskih karata: karte nagiba terena, karte zakrivljenosti terena, karte hrapavosti terena, karte udaljenosti od drenažne mreže, karte vlažnosti terena i karte udaljenosti od prometnica. Primijenjene su metoda informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metoda, te četiri klasifikacije podložnosti na klizanje, *quantile*, *natural breaks*, *geometric interval* i klasifikacija iz Sinčić (2020) na ukupno četiri scenarija.

Pouzdanost karte podložnosti na klizanje procijenjena je na temelju AUC vrijednosti i iznosi 82-86 za sva četiri izrađena modela podložnosti. Kao optimalna karta podložnosti na klizanje je odabrana ona dobivena metodom informacijske vrijednosti i *natural breaks* klasifikacije. Kao konačna karta podložnosti na klizanje izabrana je karta izrađena prema scenariju S3 za koju je procijenjena pouzdanost od 86%. Ovaj scenarij je izrađen modeliranjem geomorfoloških, hidroloških i antropogenih faktora klizanja, a izostavljeni su geološki faktori klizanja.

Verifikacijom konačne karte podložnosti s već postojećom kartom podložnosti iz 2003. godine zaključeno je da je u zonama koje se ne podudaraju s obzirom na procijenjenu podložnost nužna terenska provjera. Te zone su jako malo zastupljene, a iznose 1,1 km<sup>2</sup>

površine gdje je procijenjena visoka podložnost u zelenoj zoni, i 0,047 km<sup>2</sup> površine gdje je procijenjena niska podložnost u crvenoj zoni.

Kvaliteta analize podložnosti provedene u ovom radu ovisi najviše o kvaliteti i broju ulaznih podataka. Usprkos opisanim ograničenjima, pouzdanost karte podložnosti na klizanje je visoka. Dobivena karta se može primijeniti kao tematska podloga za prostorno planiranje jer prikazuje zone u kojima je potrebno definirati posebne uvjete za gradnju u odnosu na klizišta.



## 9 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.

BERNAT-GAZIBARA, S., 2019. Metodologija izrade karte klizišta korištenjem digitalnog modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Doktorski rad, 257 str.

BONHAM-CARTER, G.F., AGTERBERG, F.P., WRIGHT, D.F., 1989. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. *Stat Appl in Earth Sci* 89-9:171-183

CARRARA, A.M., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V., REICHENBACH, P., 1991: GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf Process Landforms* 16:427-445

COE, J.A., GODT, J.W., BAUM, R.L., BUCKNAM, R.C., MICHAEL, J.A., 2004. 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.

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. In: *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol 43, pp 27–29

GHOSH, J.K., DEVANJAN, B., SWEJ, K.S., 2012: Fuzzy knowledge-based GIS for zonation of landslide. *Sci Eng* 2:2–13

GIRMA, F., RAGHUVANSHI, 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

GRUBIŠIĆ, A. 2004. Hi-kvadrat test i njegove primjene, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Seminarski rad, 27. str.

GUZZETI, F., CESARE MONDINI, A., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M., CHANG, K.T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), str. 42-66.

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.

KANUNGO, D., ARORA, M., SARKAR, S., GUPTA, R., 2006: A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Eng Geol* 85(3–4):347–366

MARKOVIĆ, M., 1983. Osnovi primenjene geomorfologije, Posebna izdanja, knjiga 8, Geoinstitut, Beograd

MARKOVIĆ, S., BASCH, O., BRKIĆ, M., HEĆIMOVIĆ, B., KOROLIJA, B., PRTOĻJAN, B. 1984. Osnovna geološka karta, tumač za List Podravska Slatina, Geološki zavod Zagreb

MARKOVIĆ, S., BASCH, O., BRKIĆ, M., HEĆIMOVIĆ, B., KOROLIJA, B., PRTOĻJAN, B. 1984. Osnovna geološka karta 1:100 000, List Podravska Slatina, Geološki zavod Zagreb

MIHALIĆ, S., 1996. Zoniranje po opasnosti od klizanja - hazard i rizik, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, magistarski rad, 77 str

MIHALIĆ, S., 2003. Urbanistički plan uređenja Slatine, inženjerskogeološki izvještaj, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

MIHALIĆ ARBANAS, S., ARBANAS, Ž., 2015. Landslides : a guide to researching landslide phenomena and processes. U: Khosrow-Pour, M. (ur.): *Transportation systems and engineering : concepts, methodologies, tools and applications*, Hershey, PA: IGI Global, str. 1393-1428. doi:10.4018/978-1-4666-8473-7.ch070

NAGARAJAN, R., MUKHERJEE, A., ROY, A., KHIRE, M.V., 1998: Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western Ghat, India. *Int J Remote Sens* 19:573-585

- PAN, X., NAKAMURA, H., NOZAKI, T., HUANG, X., 2008: A GIS-based landslide hazard assessment by multivariate analysis of landslides. *J Jpn Landslide Soc* 45(3):187–195
- REICHENBACH, P., ROSSI, M., MALAMUD, B.D., MIHIR, M., GUZZETI, F., 2018 A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth Sci Rev* 180:60–91
- RILEY, S.J., DEGLORIA, S.D., ELLIOT, R., 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5, 1-4
- 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
- SAHA, A.K., GUPTA, R.P., SARKAR, I., ARORA, K.M., CSAPLOVICS, E., 2005. An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation with a case study in the Himalayas. *Landslides* 2(1):61-69.
- SARKAR, S., RJAN, M.T., ROY, A., 2013. Landslide susceptibility assessment using information value method in parts of the Darjeeling Himalayas. *Geo Soc India* 82:351-362
- SIDDLE, H.J., JONES, D.B., PAYNE, H.R., 1991: Development of a methodology for landslip potential mapping in the Rhondda Valley. In: Chandler RJ (ed) *Slope stability engineering*. Thomas Telford, London, pp 137–142
- SINČIĆ, M., 2020. Procjena podložnosti na klizanje na području Grada Karlovca primjenom bivarijantne statističke metode. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- VAN WESTEN, C.J., 2002. Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping. ITC Publication, 21 str.
- VARNES, D.J., 1984: *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris, pp 1-63

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

Web izvori:

BARANJEC-KESERICA, J., KARLOVIĆ, Z., SARAGA, LJ., MATOŠINA LJULJ, M., JANEŠ, S., BOLF, V., 2006. PROSTORNI PLAN UREĐENJA GRADA SLATINE: 1. KORIŠTENJE I NAMJENA POVRŠINA URL: <https://www.slatina.hr/portal/ppug-slatina-prostorni-plan-uredenja-grad-slatine/> (zadnji pristup 4.12.2020.)

Državni zavod za statistiku, DZS, 2011. Statistička izvješća – Popis stanovništva iz 2011. godine. URL: <http://www.dzs.hr> (zadnji pristup 14.1.2021.)

EVANS, J.S., OAKLEAF, J., CUSHMAN, S.A., THEOBALD, D., 2014. An ArcGIS toolbox for surface gradient and geomorphometric modeling, version 2.0-0. URL: <http://evansmurphy.wix.com/evansspatial> (zadnji pristup 3.12.2020.)

HORVAT, S., CUPEC, S., SUDAR, V., STAKOR, S., BUGARIĆ, I., STRAHINIĆ, M., PAUNOVIĆ, M., MAJCAN-KORKUTOVIĆ, LJ., 2007: Urbanistički plan uređenja Grada Slatine. URL: <https://www.slatina.hr/portal/upu-slatine-urbanisticki-plan-uredenja-grad-slatine/> (zadnji pristup 18.6.2021.)

Types of Classification Schema URL: <http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Classification> (zadnji pristup 25.5.2021.)

WMS server DGU, <https://geoportal.dgu.hr> - Digitalna ortofoto karta 2019 - WMS servis za anonimne korisnike (WMS) (zadnji pristup 14.1.2021.)