Preliminarna analiza podložnosti na klizanje grada Jastrebarsko

Boričević, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:169:925916

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

PRELIMINARNA ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE GRADA JASTREBARSKO

Diplomski rad

Marko Boričević

GI 388

Zagreb, 2020.

KLASA: 602-04/20-01/2015
URBROJ: 251-70-03-20-2
U Zagrebu, 12.10.2020.

Marko Boričević, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/215, UR. BROJ: 251-70-13-20-1 od 06.10.2020. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

PRELIMINARNA ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE GRADA JASTREBARSKO

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu doc. dr. sc. Martin Krkač, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentorica dr. sc. Sanja Bernat Gazibara.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Martin Krkač
(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)

Komentorica

(potpis)

Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara
(titula, ime i prezime)

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PRELIMINARNA ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE GRADA JASTREBARSKO

MARKO BORIČEVIĆ

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

Sažetak

U okviru ovog rada izrađene su preliminarne karte podložnosti na klizanje u regionalnom mjerilu na temelju dostupnih prostornih podataka i inventara klizišta za područje grada Jastrebarsko. Izrađene su dvije karte podložnosti; prva se temelji na primjeni vrijednosti definiranih težinskih faktora i informacijskih vrijednosti testiranih i primijenjenih na susjednom području grada Karlovca, a druga na statističko-heurističkoj metodi koristeći AHP kalkulator. Ukupno je analizirano 17 preduvjeta klizanja na temelju kojih je kreirano po 5 scenarija karata podložnosti za obje primijenjene metode. Karte su međusobno uspoređene na temelju vrijednosti ROC krivulje te su reklasificirane na četiri zone podložnosti prema klizanju.

Ključne riječi: klizišta, podložnost na klizanje, Jastrebarsko, W_{map}, I.V., AHP, klasifikacija

Završni rad sadrži: 87 stranica, 32 tablice, 52 slike i 23 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: dr. sc. Martin Krkač, docent, RGNF

Komentori: dr.sc. Sanja Bernat Gazibara, poslijedoktorandica, RGNF

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

Datum obrane: 16.10.2020.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Masters's Thesis

PRELIMINARY LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF JASTREBARSKO CITY

MARKO BORIČEVIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering
Depratment of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Within this thesis preliminary landslide susceptibility maps were prepared. Maps were made for a regional scale on the basis of available spatial data and landslide inventory for the area of the town of Jastrebarsko. A total of two susceptibility maps were made; the first one is based on the application of values of defined weight factors and information values tested and applied in the neighboring area of the city of Karlovac. The second one is based on the statistical-heuristic approach using AHP calculator. A total of 17 slip conditions were analyzed, on the basis of which 5 scenarios of susceptibility maps were created for both applied methods. The maps were then compared with each other based on the values of the ROC curve and reclassified into four zones of slip susceptibility.

Keywords: landslide, landslide susceptibility, Jastrebarsko, W_{map}, I.V., AHP, classification

Thesis contains: 87 pages, 32 tables, 52 figures and 23 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Martin Krkač, Assistant Professsor, UNIZG-RGNF

Co-Supervisor: PhD Sanja Bernat Gazibara, Post-doctoralreasearcher, UNIZG-RGNF

Reviewers:

PhD Martin Krkač, Assistant Professor, UNIZG-RGNF
PhD Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, UNIZG-RGNF
PhD Željko Arbanas, Full Professor, UNIRI-GF

Defence date: 16th of October, 2020.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

1. UVOD 1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA 3
2.1. Geografske značajke 3
2.2. Geomorfološke značajke 5
2.3. Geološka građa 7
3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA 13
4. ULAZNI PODACI 16
4.1. Inventar klizišta 16
4.2. Ulazni podaci za izradu faktorskih karata klizanja 17
4.2.1. Geomorfološki podaci 17
4.2.2. Geološki podaci 23
4.2.3. Hidrološki podaci 24
4.2.4. Antropološki podaci 27
5. ANALIZE PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE 31
5.1. Klizišta 31
5.2. Faktorske karte 32
5.2.1. Geomorfološke faktorske karte 33
5.2.2. Geološke faktorske karte 39
5.2.3. Hidrološke faktorske karte 43
5.2.4. Antropološke faktorske karte 50
6. KARTE PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE 60
6.1. Izrada karte podložnosti na temelju primjene vrijednosti definiranih težinskih fakotra i informacijskih vrijednosti 60
6.2. Izrada karata podložnosti temeljem statističko-heurističke metode 65
6.3. Klasifikacija karata podložnosti 72
6.4. Analiza karata podložnosti 75
7. DISKUSIJA 81
8. ZAKLJUČAK 84
9. POPIS LITERATURE 85

POPIS SLIKA

Slika 2. 1. Geografska lokacija obuhvata istraživanja, grada Jastrebarsko 3
Slika 2. 2. Administrativna podjela obuhvata grada Jastrebarsko 4
Slika 2. 3. Prikaz digitalnog modela reljefa s nadmorskim visinama a) i karta nagiba padina b) na području obuhvata grada Jastrebarsko 5
Slika 2. 4. Lokacija obuhvata istraživanog područja u odnosu na geomorfološke regije (Bognar, 2001.): Panonski bazen (1); Zavala SZ Hrvatske (1.3.); Vukomeričke gorice sa zavalom Crne Mlake (1.3.7.); Gorsko – zavalsko područje SZ Hrvatske (1.4.); Gorski masiv Žumberačke gore i Dinarski gorski sustav (Hrvatski dio) (2). 7
Slika 2. 5. Digitalizirana Osnovna geološka karta područja obuhvata istraživanja u mjerilu 1:100 000; List Zagreb (Šikić et al., 1972.) i List Karlovac (Beneček et al., 1989.) 12

Slika 3. 1 Dijagram toka statističko-heurističke metode 15

Slika 4. 1 Inventar klizišta na području grada Jastrebarsko krajem 2019. godine 17
Slika 4. 2 Digitalni model reljefa (EU-DEM) područja grada Jastrebarsko 18
Slika 4. 3 Prikaz nagiba terena na području grada Jastrebarsko 19
Slika 4. 4 Prikaz orijentacije padina na području grada Jastrebarsko 20
Slika 4. 5 Prikaz zakrivljenosti terena na području grada Jastrebarsko 21
Slika 4. 6 Prikaz rezultata hrapavosti terena na području grada Jastrebarsko dobivenih na temelju prve metode 22
Slika 4. 7 Digitalizirani prikaz modificirane OGK za područje grada Jastrebarsko; List Zagreb (Šikić et al., 1972.) i List Karlovac (Beneček et al., 1989.). 23
Slika 4. 8 Prikaz izvedene drenažne mreže za područje grada Jastrebarsko 25
Slika 4. 9 Prikaz digitaliziranih izvora i vodotoka područja istraživanja na temelju topografske karte mjerila 1: 25 000 (WMS, DGU server) 26
Slika 4. 10 Prikaz izvedene raspodjele vlažnosti terena na području grada Jastrebarsko primjenom prve metode 27
Slika 4. 11 Prikaz prometnica u obliku vektorskog linijskog podatka na području istraživanja grada Jastrebarsko (Geofabrik, 2020.) 28
Slika 4. 12 Prikaz prve razine (A) podjele namjene zemljišta prema CLC klasifikaciji za područje grada Jastrebarsko 29
Slika 4. 13 Prikaz druge razine (B) podjele namjene zemljišta prema CLC klasifikaciji za područje grada Jastrebarsko 30

Slika 5. 1 Lokacije nekoliko saniranih i umirenih klizišta na području grada Jastrebarsko..... 32
Slika 5. 2 Faktorska karta nadmorske visine za područje grada Jastrebarsko 34
Slika 5. 3 Faktorska karta nagiba terena za područje grada Jastrebarso..... 35
Slika 5. 4 Faktorska karta orijentacije padina terena za područje grada Jastrebarsko..... 36
Slika 5. 5 Faktorska karta zakrivljenosti terena za područje grada Jastrebarsko 37
Slika 5. 6 Faktorska karta hrapavosti terena za područje grada Jastrebarsko..... 38
Slika 5. 7 Faktorska karta s prilagođenim vrstama stijena za područje grada Jastrebarsko 39
Slika 5. 8 Faktorska karta udaljenosti od geološke granice za područje grada Jastrebarsko 41
Slika 5. 9 Faktorska karta udaljenosti od rasjeda za područje grada Jastrebarsko 42
Slika 5. 10 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže za područje grada Jastrebarsko 44
Slika 5. 11 Faktorska karta udaljenosti od izvora za područje grada Jastrebarsko 45
Slika 5. 12 Faktorska karta udaljenosti od povremenih vodotoka za područje grada Jastrebarsko 46
Slika 5. 13 Faktorska karta udaljenosti od stalnih vodotoka za područje grada Jastrebarsko... 47
Slika 5. 14 Faktorska karta udaljenosti od svih vodotoka za područje grada Jastrebarsko..... 49
Slika 5. 15 Faktorska karta vlažnosti terena za područje grada Jastrebarsko..... 50
Slika 5. 16 Faktorska karta udaljenosti od prometnica za područje grada Jastrebarsko 51
Slika 5. 17 Faktorska karta namjene zemljišta A izvedena s obzirom na klasifikaciju prema prvoj razini..... 53
Slika 5. 18 Faktorska karta namjene zemljišta B izvedena s obzirom na klasifikaciju prema drugoj razini.....54

Slika 6. 1. Skupni prikaz kreiranih scenarija karte podložnosti područja grada Jastrebarsko prema statističkim podacima iz rada Sinčić (2020.)..... 63
Slika 6. 2. Rezultati analize ROC krivulje za stupanj točnosti modela dobivenog prema scenariju SC.4 primjenom definiranih informacijskih vrijednosti 65
Slika 6. 3. Karte podložnosti dobivene prema različito definiranim scenarijima korištenjem statističko-heurističke metode 70
Slika 6. 4. Rezultati analize ROC krivulje za stupanj točnosti modela dobivenog prema scenariju SC.4 statističko-heurističke metode..... 71
Slika 6. 5. Ilustracija principa raspodjele klasa prilikom primjene *Natural Break(s)* klasifikacije..... 72
Slika 6. 6. Konačno odabrane karte podložnosti temeljene na prvoj (KARTA 1) i drugoj metodologiji (KARTA 2) klasificirane prema *Natural Break(s)* klasifikaciji 73

Slika 6. 7. Prikaz površinskih udjela klasa podložnosti na klizanje prema konačno odabranim kartama podložnosti 74
Slika 6. 8. Udio zona podložnosti po klasama nadmorske visine za kartu 1 75
Slika 6. 9. Udio zona podložnosti po klasama nagiba terena za kartu 1 76
Slika 6. 10. Udio zona podložnosti po klasama namjene zemljišta B razine za kartu 1 77
Slika 6. 11. Udio zona podložnosti po klasama vrste stijena za kartu 1 77
Slika 6. 12. Udio zona podložnosti po klasama nadmorske visine za kartu 2 78
Slika 6. 13. Udio zona podložnosti po klasama nagiba terena za kartu 2 79
Slika 6. 14. Udio zona podložnosti po klasama namjene zemljišta B razine za kartu 2 79
Slika 6. 15. Udio zona podložnosti po klasama vrste stijena za kartu 2 80

POPIS TABLICA

Tablica 4. 1 Opis vrsta stijena na području grada Jastrebarsko prema modificiranoj geološkoj karti obzirom na njihovu geološku starost..... 24
Tablica 4. 2 Prikaz podjele namjene zemljišta prema prvoj razini (A) i drugoj razini (B) na temelju CLC klasifikacije (*Copernicus Land Monitoring Service, 2018.*)..... 29

Tablica 5. 1. Prikaz evidentiranih klizišta po klasama faktorske karte nadmorske visine s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 33
Tablica 5. 2. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte nagiba padine terena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 35
Tablica 5. 3. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte orijentacije padine s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 36
Tablica 5. 4. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte zakrivljenosti terena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 37
Tablica 5. 5. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte hrapavosti terena s pridodanim težinskim vrijednostima za područje grada Jastrebarsko..... 38
Tablica 5. 6. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte vrste stijena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 40
Tablica 5. 7. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od geoloških granica s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 41
Tablica 5. 8. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od rasjeda s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 42
Tablica 5. 9. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte drenažne mreže s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 43
Tablica 5. 10. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od izvora s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 44
Tablica 5. 11. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od povremenih vodotoka s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 46
Tablica 5. 12. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od stalnih vodotoka s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 47
Tablica 5. 13. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od svih vodotoka s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 48
Tablica 5. 14. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte vlažnosti terena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)..... 49

Tablica 5. 15. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od prometnica s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.) 51
Tablica 5. 16. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte namjene zemljišta A s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.) 52
Tablica 5. 17. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte namjene zemljišta B s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.) 54
Tablica 5. 18. Objedinjeni prikaz klasa geomorfoloških faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko 56
Tablica 5. 19. Objedinjeni prikaz klasa geoloških faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko 57
Tablica 5. 20. Objedinjeni prikaz klasa hidroloških faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko 58
Tablica 5. 21. Objedinjeni prikaz klasa antropogenih faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko 59

Tablica 6. 1. Odabrane faktorske karte za kreiranje originalnih i modificiranih scenarija prema metodi Weight of Evidence (W.o.E.) i metodi informacijske vrijednosti (I.V.) temeljem rada Sinčić (2020.) 61
Tablica 6. 2. Rezultati ROC krivulje za originalno definirane i modificirane scenarije metoda *Weight of Evidence* i informacijske vrijednosti 64
Tablica 6. 3. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja prvog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi 66
Tablica 6. 4. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja drugog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi 67
Tablica 6. 5. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja trećeg scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi 68
Tablica 6. 6. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja četvrtog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi 68
Tablica 6. 7. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja petog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi 69
Tablica 6. 8. Rezultati analize točnosti statističko-heurističkih modela ispitani metodom ROC krivulje 71
Tablica 6. 9. Analiza gustoće klizišta po zonama podložnosti karata 1 i 2 80

1. UVOD

Zoniranje terena u svrhu analize podložnosti na klizanje jedna je od glavnih aktivnosti koja se mora provesti na područjima sklonim pojavi nestabilnosti na padinama. Vlada Republike Hrvatske je u rujnu 2016. godine donijela *'Odluku o osnivanju radnih tijela Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa za izradu dokumenata i provođenje aktivnosti na području smanjenja rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj'* kojom je predviđena procjena rizika klizanja kao jednog od rizika iz grupe rizika degradacije tla. Cilj provođenja te odluke je dobivanje informacija za prepoznavanje prostorne vjerojatnosti pojave klizišta. Ove informacije služe za predviđanje, a samim time i umanjenje, posljedica aktivacije klizišta na nekom prostoru. Rezultat zoniranja s obzirom na prostornu vjerojatnost pojave klizišta naziva se karta podložnosti na klizanje. Karta podložnosti na klizanje daje informacije koje su vrlo korisne za široki spektar korisnika, a najčešće se upotrebljava u domeni prostornog planiranja, gradnje, civilne zaštite ili zaštite okoliša i to na razini lokalne, regionalne i nacionalne uprave. Kako bi se pristupilo modeliranju, odnosno izradi karate podložnosti na klizanje, potrebno je prikupiti određene ulazne podatke. U okviru ovog rada su prikupljeni geomorfološki, geološki, hidrološki te antropološki podaci bitni za analizu pojave klizanja. Podaci su obrađeni i modelirani pomoću GIS (engl. *Geographic Information System*) programa. Područje koje je analizirano u svrhu dobivanja karte podložnosti na klizanje je područje grada Jastrebarsko ukupne površine 226 km^2.

U prvom dijelu rada za izradu karata podložnosti na klizanje, primijenjena je metodologija koja se temelji na statističkom pristupu iz rada '*Procjena podložnosti na klizanje na području grada Karlovca primjenom bivarijatne statističke metode'* (Sinčić, 2020.). Cilj takvog načina izrade karte podložnosti na klizanje bio je ispitati mogućnost primjene već definiranih podataka informacijske i težinske vrijednosti pojedine klase utjecajnog faktora s područja grada Karlovca na susjednoj, po mnogočemu, sličnoj lokaciji grada Jastrebarsko. Rezultati takvog postupka analize su ispitani pomoću ROC krivulje na temelju koje je donijeta konačna odluka o mogućnosti primjene podataka na susjednoj lokaciji.

U drugom dijelu rada, metodologija izrade karte podložnosti na klizanje temelji se na heurističkom (iskustvenom) pristupu. Ova metoda zasniva se na prethodnom poznavanju svih uzročnika klizanja, odnosno faktora nestabilnosti koji mogu rezultirati nastankom klizišta (*engl. knowledge driven approach*), a podrazumijeva iskustveno određivanje težinskih vrijednosti za svaku klasu faktorskih karata (Corominas i dr. 2013). Ulazni podaci korišteni u ovoj metodi odgovaraju podacima korištenim u prvoj metodi s manjim modifikacijama od scenarija do

scenarija (izbacivanje određenih faktorskih karata). Ovakav postupak izrade karte podložnosti na klizanje je iterativan što znači da se, na osnovu rezultata točnosti dobivenog modela prema analizi ROC krivulje, težinske vrijednosti klasa te odabir pojedinih faktorskih karata u analizi po potrebi korigiraju u cilju dobivanja boljih rezultata.

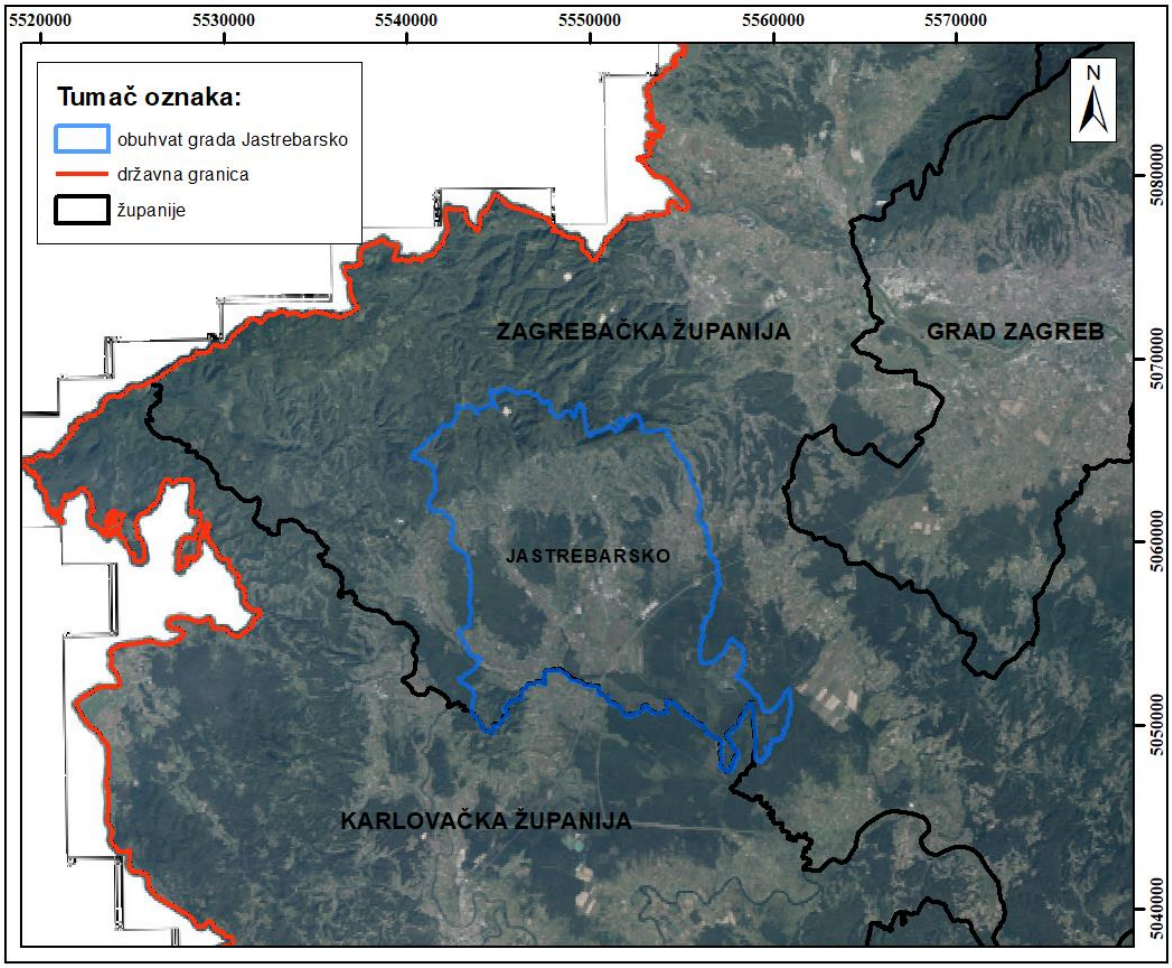
Konačno, odabrane karte podložnosti prema prvoj i drugoj metodologiji su klasificirane u četiri klase podložnosti prema klasifikacijskoj metodi *Natural Break(s)* te su tako dobivene karte analizirane obzirom na udio pojedine zone podložnosti na cjelokupno istraživanom području. Također, valja napomenuti kako su karte kreirane u ovom radu vrlo korisne u svrhu davanja preliminarnih informacija o izloženosti ljudi i materijalnih dobara riziku od nestabilnosti na padinama. Općenito govoreći, izradom karata podložnosti na klizanje mogu se uvelike unaprijediti sustavi upravljanja klizištima s ciljem sprečavanja ili smanjenja ljudskih žrtava i materijalnih šteta kako se ne bi ponovio događaj iz ožujka 2018. godine kada je, u Hrvatskoj Kostajnici, uslijed nepovoljnih meteoroloških uvjeta nastalo klizište koje je u nekoliko sati izbrisalo dio gradskog naselja.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Obuhvat istraživanja u okviru izrade ovog rada je područje jedinice lokalne samouprave grada Jastrebarsko koji se nalazi u središnjoj Hrvatskoj. U nastavku ovog poglavlja bit će navedene geografske, geološke te geomorfološke značajke istraživanog područja koje su bitne sa stajališta preduvjeta klizanja.

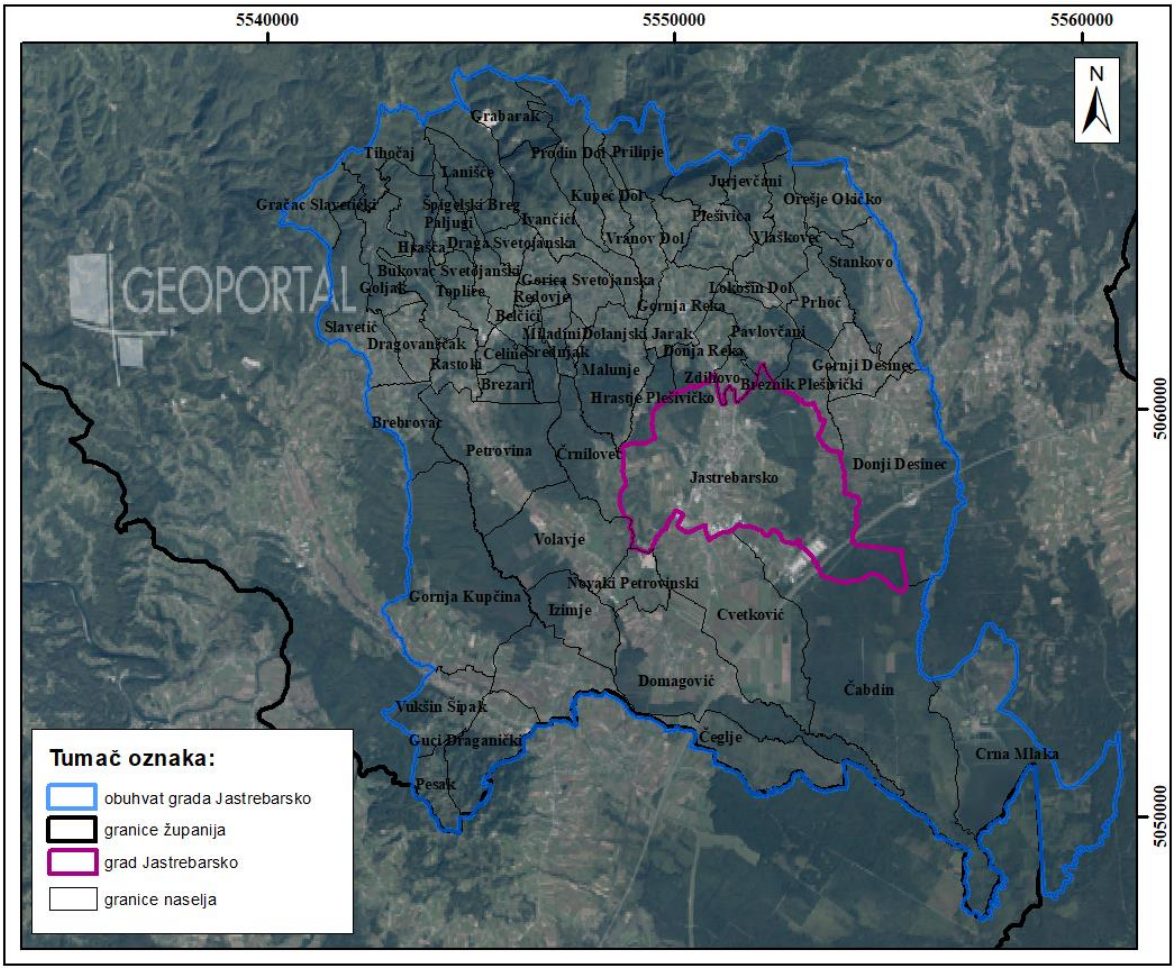
2.1. Geografske značajke

Grad Jastrebarsko nalazi se na rubnom, zapadnom, dijelu Zagrebačke županije. Udaljen je 25 km sjeveroistočno od grada Karlovca i 39 km jugozapadno od grada Zagreba. Geografski položaj obuhvata grada Jastrebarsko u odnosu na susjedne jedinice regionalne, odnosno lokalne samouprave, prikazan je na slici 2.1.



Slika 2. 1. Geografska lokacija obuhvata istraživanja, grada Jastrebarsko

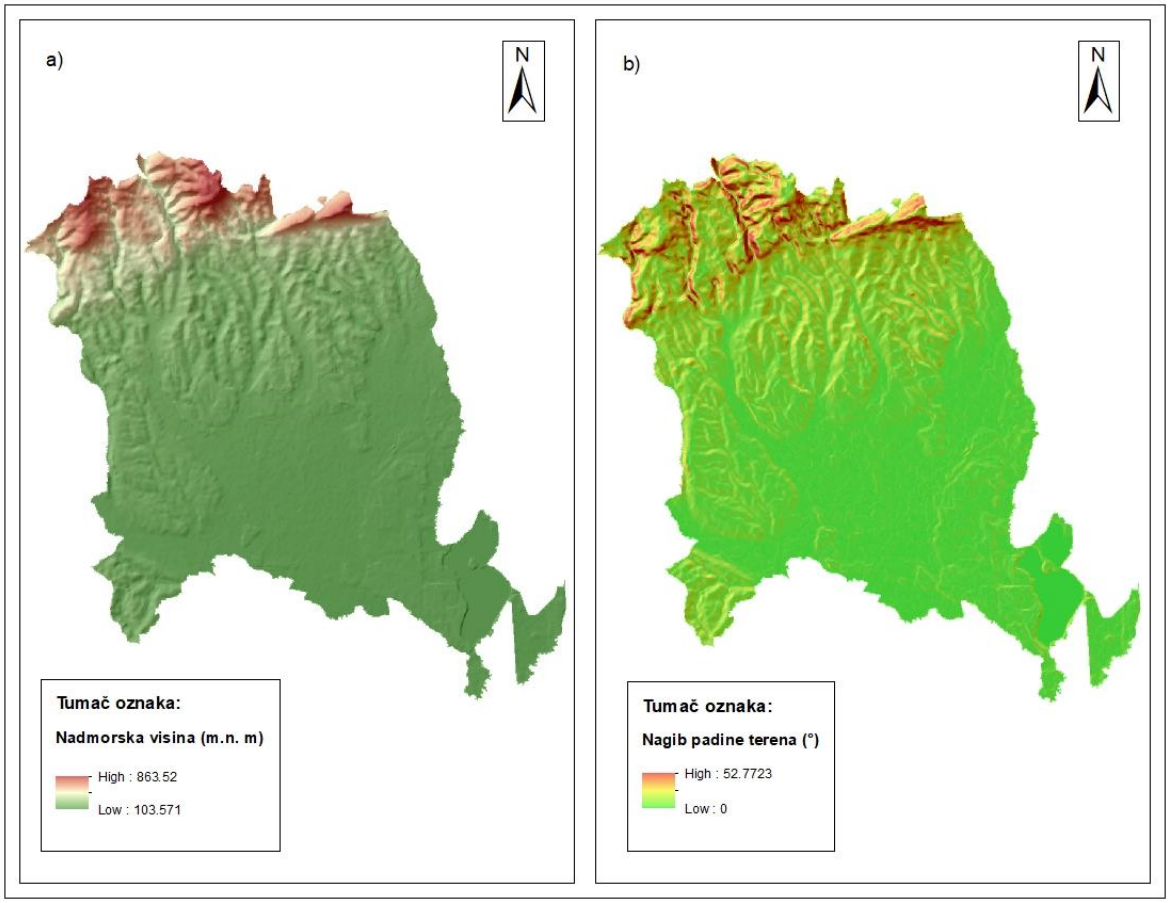
Područje gradskog naselja se prostire na oko 20 km^2 dok je ukupni obuhvat grada oko 226.43 km^2 te sadrži 58 manjih ili većih naselja s 32 mjesna odbora. Prema popisu stanovništva iz 2011. godine grad Jastrebarsko broji 15 866 stanovnika (DZS, 2011.). Na slici 2.2. dan je prikaz administrativno podijeljenih naselja unutar gradskog obuhvata.



Slika 2. 2. Administrativna podjela obuhvata grada Jastrebarsko

2.2. Geomorfološke značajke

Područje obuhvata grada Jastrebarsko čine tri različite prirodne cjeline. Na sjeverozapadnom dijelu gradskog obuhvata nalazi se vapnenačko-dolomitni masiv Žumberačke gore čiji se najviši vrh od 875,5 m n.m. nalazi na Samoborskom gorju. Gledajući prema jugoistoku na masiv Žumberačke gore, podno Samoborskog gorja oslanja se brežuljkasto Prigorje, na koje se nadovezuje nizinski dio Pokuplja, sve do rijeke Kupe, gdje se nalazi poznati ornitološki rezervat Crna Mlaka. Prosječna nadmorska visina analiziranog područja iznosi oko 215 m n.m., dok je područje gradskog naselja na 154 m n.m. Na slici 2.3. prikazan je digitalni model terena s prostornom raspodjelom nadmorskih visina usporedno s kartom nagiba padina na području grada Jastrebarsko.



Slika 2. 3. Prikaz digitalnog modela reljefa s nadmorskim visinama a) i karta nagiba padina b) na području obuhvata grada Jastrebarsko

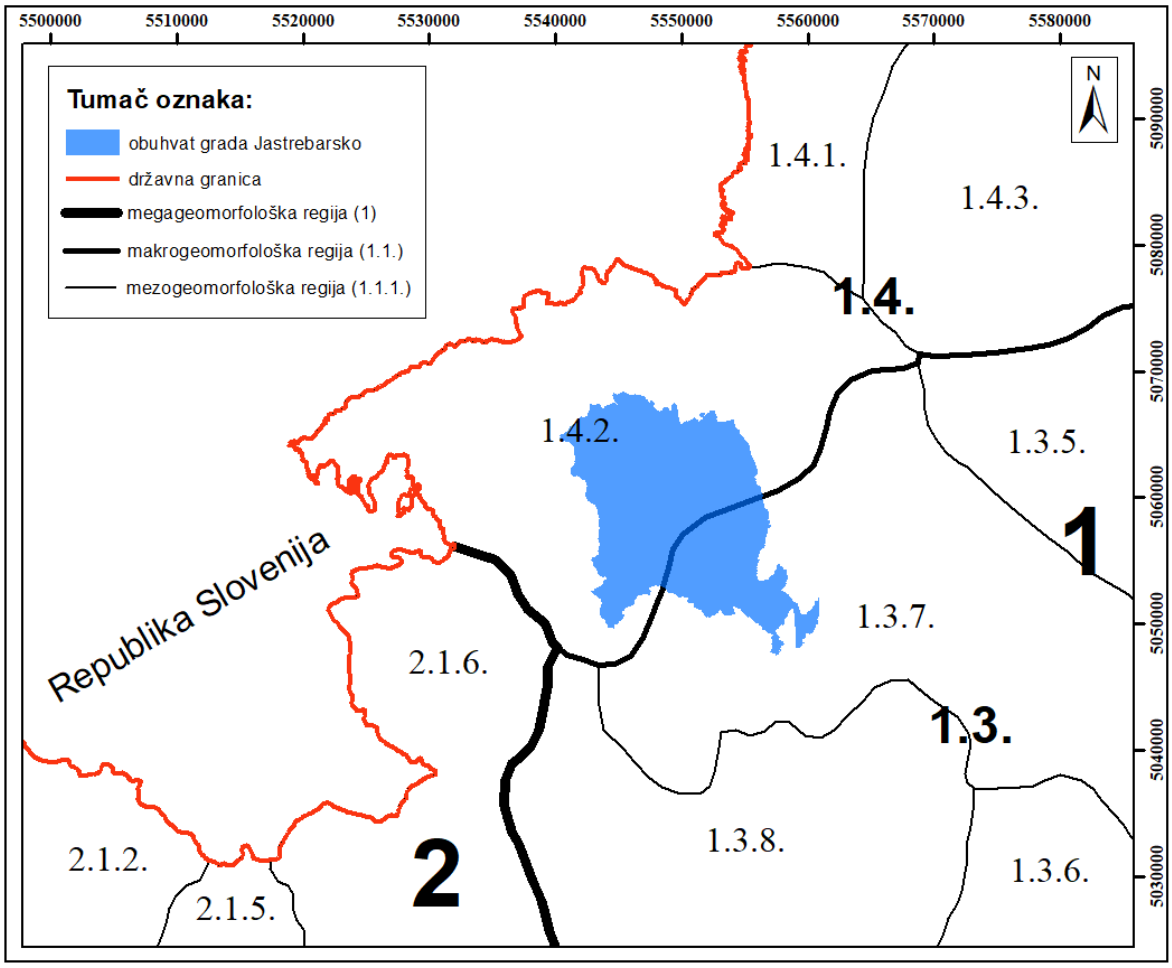
Pregledom digitalnog modela reljefa (Slika 2.3a) vidljivo je kako najniža vrijednost nadmorske visine na istraživanom području iznosi oko 103 m n.m., a najviša vrijednost visine seže do 863,52 m n.m. Visina općenito raste od jugoistočnog prema sjeverozapadnom

dijelu obuhvata istraživanog područja gdje postepeno dolazi do prijelaza s nizinskog na brežuljkasti i konačno brdoviti predio terena. Analizom karte nagiba padina (Slika 2.3b) može se reći da je istraživano područje prekriveno pretežno ravnicama i blago nagnutim brežuljcima, dok se na krajnjem sjever-sjeverozapadnom dijelu pojavljuju strmiji dijelovi terena s maksimalnim nagibom padine od oko 53°.

Geomorfologija područja grada Jastrebarskog uvjetovala je slabo razvijenu hidrografsku mrežu koja se pretežno sastoji od povremenih površinskih potoka (Slapnica, Reka, Jaševnica i Kupčina, Volavčica, Gonjeva i Okičnica) koji za vrijeme dugoročnih razdoblja bez oborina presušuju. Od voda stajačica postoje manja jezera kao što su Dubrava, Gović i Novaki te jezera ornitološkog rezervata Crna Mlaka.

Prema geomorfološkoj regionalizaciji reljefa Hrvatske (Bognar, 2001.), područje obuhvata istraživanja nalazi se na krajnjem zapadnom dijelu megageomorfološke regije Panonskog bazena (1) neposredno pokraj megageomorfološke regije Dinarskog gorskog sustava (2). Megageomorfološka regija podrazumijeva velike strukturno geomorfološke i geotektonske cjeline. One se izdvajaju na temelju strukturnih karakteristika i specifičnosti strukturno geomorfološke evolucije na razini najvećih morfoloških sustava kontinentskih razmjera. U okviru te regionalizacije izdvojene su i regije nižih razina koje se nazivaju makrogeomorfološkim regijama. To su u pravilu velike strukturnogeomorfološke regionalne cjeline, kojima su opći geomorfološki razvoj i dinamika morfoevolucijski gledano kroz duže vrijeme jedinstveni. Sastoje se od morfogenetski sličnih mezogeomorfoloških regija (Bognar, 2001.). Obuhvat lokacije istraživanja se tako prostire preko dvije makrogeomorfološke regije, a to su regija Zavala SZ Hrvatske (1.3.) i regija Gorskog – zavalskog područja SZ Hrvatske (1.4.). Makrogeomorfološke regije se, kako je spomenuto, dalje dijele na manje jedinice pod nazivom mezogeomorfološke regije.

To su temeljne reljefne jedinice velikih morfoloških cjelina kao što su nizine, gore, otočja, zavale itd. Izdvajaju se na osnovu njihovih hidro-oro-grafskih, morfoevolucijskih i geoloških (sastav i građa) datosti (Bognar, 2001.). Područje istraživanja se tako nalazi na dodiru dviju mezogeomorfoloških regija: Vukomeričke gorice sa zavalom Crne Mlake (1.3.7.) te Gorski masiv Žumberačke gore s JI predgorskom stepenicom (1.4.2.). Te regije izdvajaju se na temelju njihovih orohidrografskih, morfoevolucijskih i geoloških značajki. Na slici 2.4. prikazan je obuhvata istraživanja u odnosu na opisanu Bognarovu geomorfološku regionalizaciju reljefa Hrvatske.



Slika 2. 4. Lokacija obuhvata istraživanog područja u odnosu na geomorfološke regije (Bognar, 2001.): Panonski bazen (1); Zavala SZ Hrvatske (1.3.); Vukomeričke gorice sa zavalom Crne Mlake (1.3.7.); Gorsko – zavalsko područje SZ Hrvatske (1.4.); Gorski masiv Žumberačke gore i Dinarski gorski sustav (Hrvatski dio) (2).

2.3. Geološka građa

Područje istraživanja obuhvaćeno ovim radom se prostire preko dva lista Osnovne geološke karte (OGK) mjerila 1:100 000, a radi se o listovima Zagreb (Šikić et al., 1972.) i Karlovac (Beneček et al., 1989.). U nastavku teksta bit će ukratko opisane sve geološke jedinice na području obuhvata grada Jastrebarsko prema podacima iz tumača OGK lista Zagreb (Šikić et al., 1972) i lista Karlovac (Madaš et al., 1989.). Prostorni raspored svih opisanih geoloških jedinica unutar obuhvata istraživanja prikazan je na Osnovnoj geološkoj karti grada Jastrebarsko mjerila 1:100 000 na slici 2.5..

Najstarije naslage na istraživanom području pripadaju razdoblju mezozoika točnije donjem trijasu **(T_1)**. Na području istraživanja su navedene naslage rijetke, mjestimično se nalaze na sjevernom dijelu obuhvata tj. na području Samoborskog gorja gdje općenito imaju

i najveće rasprostiranje, a pojavljuju se kao tektonski prodori u dolini Malog Lipovca i dolini Sopotnjaka i Ličeg potoka sjeverno od Vranov Dola. Debljine ovih naslaga nisu specificirane u tumaču, a radi se o pješčenjacima, siltitima, vapnencima te podređeno dolomitima i vapnovitim laporima.

Naslage srednjeg trijasa **(T_2)** i gornjeg trijasa **(T_3)** prevladavaju na sjeverozapadnom dijelu područja istraživanja. Najzastupljeniji litološki član u obje jedinice je dolomit. Ove naslage prvenstveno grade brdoviti predio Samoborskog gorja. Debljina varira od 1 m do mjestimično 40 m za srednji trijas (T_2) dok se debljina gornjeg trijasa (T_3) procjenjuje na oko 800 m. Osim dolomita kao najzastupljenijeg litološkog člana utvrđeni su još proslojci šejla, dolomitičnih vapnenaca te podređeno vapnenaca.

Od krednih naslaga mjestimično se nalazi vulkanogeno-sedimentni kompleks **($K_{1,2}$)** sa sedimentima pješčenjaka, šejla, vapnenaca i rožnjaka i to pretežito na ograničenim lokalitetima oko Okića te sjeverne padine Plešivice na Samoborskom gorju. Nadalje, gornjo kredni **(K_2)** sedimenti rasprostranjeni su djelomično na sjeveroistočnom dijelu obuhvata odnosno preko jugoistočnih padina Samoborskog gorja, na sjeverozapadnom dijelu obuhvata odnosno Žumberačke gore u tektonski izlomljenom pojasu od Novog Sela do Sv. Jane i u jugozapadnom dijelu Plešivice te imaju nešto drugačije litofacijalne karakteristike i većim dijelom pripadaju senonu. Od dominantnih sedimenata unutar naslaga gornje krede (K_2) nalaze se breče debljine 10 – 20 m, konglomerati debljine 1 – 3 m s nesortiranim fragmentima od 1 do 40 cm, a od ostalih, što tanjih što debljih proslojaka, nalazimo šejlove, lapore, karbonatne klastite, vapnence i rožnjake. Maksimalna debljina gornjo krednih naslaga procjenjuje se na nekoliko 100-tina metara.

Spuštanjem s brdovitih predjela obuhvata istraživanja na brežuljkasti predio nailazimo na neogenske naslage gornjeg tortona **($_2M_2^2$)**. Naslage se prostiru od sjeverozapadnog dijela obuhvata istraživanja prema sjeveroistočnom dijelu. To su marinske naslage i spadaju pod izrazito transgresivan član neogena. Gornjotortonske naslage izgrađene su od pretežito priobalnih i plitkovodnih marinskih sedimenata kao što su organogeni i bioklastični vapnenci, pješčenjaci te vapnoviti i glinoviti lapori. To su dakle vapnenačke stijene, koje se genetski mogu podijeliti na sedimente nastale kao rezultat intenzivne organske aktivnosti, dok drugi tip nosi obilježja klastičnih naslaga s prisustvom terigenog materijala. Debljina gornjotortonskih sedimenata je različita i varira na pojedinim područjima, no najčešće se kreće od 150 do 300 m.

Sljedeće neogenske naslage su naslage donjeg sarmata **($_1M_3^1$)**. Zona donjeg sarmata se proteže od sjeveroistočnog dijela obuhvata, odnosno jugoistočnih padina Žumberka, prema

sjevernom dijelu obuhvata do naselja Ivančići. Od sedimenata se ističu vapnoviti, glinoviti i kremični lapori te laporoviti vapnenci i pješčenjaci.

Naslage panonskog kata **($M_3^{1,2}$)** protežu se u obliku cjelovite zone od sjeveroistočnog dijela obuhvata odnosno, jugoistočnih padina Žumberka, preko Sv. Jane do Novaković Gorice na sjeverozapadnom dijelu obuhvata istraživanog područja. Od Prodin Dola prema jugozapadu poprimaju izrazito ingresivne karakteristike, prekrivaju donjosarmatske sedimente, te naliježu diskordantno na tortonske, kredne i trijaske naslage. Bazalni dio serije je izgrađen od konglomerata, breča, pješčenjaka, pijeska i vapnovitih lapora.

Naslage panona **(M_3^2)** izdvojene su samo u krajnjem sjeverozapadnom dijelu lista Karlovac, i to zapadno od Draganića na užem području Sv. Jurja. Uslojenost im je dobro izražena, a debljina slojeva iznosi od 5 do 20 cm. Pretežni dio naslaga pripada vapnovitim laporima. Najstarije dijelove stupa obično izgrađuju krupnozrnasti pretežno vapnenački pijesci što upućuje na zaključak o izrazito naglašenoj tektonizaciji susjednih prostora kopna u vrijeme njihovog formiranja. Vrlo su rijetki sitnozrni konglomerati, i pješčenjaci tipa karbonatnog litoarenita, izgrađeni od dobrozaobljenih karbonatnih zrna. Znatan dio naslaga izgrađen je od sitnozrnih pijesaka i izmjeni s pjeskovitim, glinovitim i vapnovitim laporima. Zaglinjena komponenta pijesaka (siltni pijesci) dobro je sortirana. Stvarna, najveća debljina ovih naslaga kreće se u rasponu od 250-270 m.

Sedimenti donjeg ponta **(Pl_1^1)** s lista Karlovac imaju sasvim neznatno rasprostranjenje. Izdvojene su kao manje pojave u krajnjem sjeverozapadnom dijelu lista Karlovac i to jugozapadno od Krašića, gdje izgrađuju najviše vrhove ovoga prostora, te kod mjesta Pesak zapadno od Draganića. Ovdje su u potpunosti u tektonskom odnosu s drugim naslagama, kao npr. s gornjim pontom (Pl_1^2) te levant-donjim pleistocenom (Pl, Q). Od sedimenata nalazimo lapore, laporovite gline, podređeno pijeske, pješčenjake, šljunke i konglomerate. Debljina naslaga općenito se kreće od 80 do 150 m.

Na listu Zagreb, gornjopontske naslage **(Pl_1^2)** protežu se od istočnog prema zapadnom dijelu obuhvata odnosno od jugoistočnih i jugozapadnih obronaka Žumberka od sela Gorice do Pribića. Zapažena je pojava ingresije pa su gornjopontski sedimenti u kontaktu s gornjopanonskim naslagama. Na listu Karlovac su naslage gornjeg ponta otkrivene u nizu manjih pojava u dva odvojena prostora i to u sjeverozapadnom i jugoistočnom dijelu lista Karlovac. U sjeverozapadnom dijelu lista Karlovac odnosno na krajnjem jugozapadnom dijelu obuhvata grada Jastrebarsko nalazimo ove naslage u rasjednom odnosu s naslagama panona (M_3^2). Od sedimenata koji čine ovu jedinicu ističu se pijesci, pjeskoviti i glinoviti

lapori te gline. Debljina gornjopontskih naslaga je različita od područja do područja no kreće se u rasponu od 100 do 400 m.

Naslage levant-donjeg pleistocena **(Pl, Q)** su jedne od prostranjenijih naslaga na području obuhvata istraživanja, stoga ih nalazimo i na oba lista OGK. Na listu Zagreb naslage liježu na jugoistočnim i istočnim padinama Žumberka, odnosno protežu se središnjim dijelom obuhvata istraživanja od istoka prema zapadu. Sedimenti koji grade naslage su pretežno nesortirani šljunci promjera 5 cm, pijesci i gline. Za levantske naslage se može pretpostaviti da im maksimalna debljina u razmatranom području ne prelazi 150 m. Što se pak tiče lista Karlovac, u njegovom sjevernom dijelu, kod mjesta Kupinec, u nedefiniranom su odnosu sa paludinskim naslagama dok u bregovitom području Podbrežja diskordantno leže na naslagama gornjeg ponta. Najveća debljina ovih naslaga u rubnoj zoni Karlovačke depresije nije veća od 100 m.

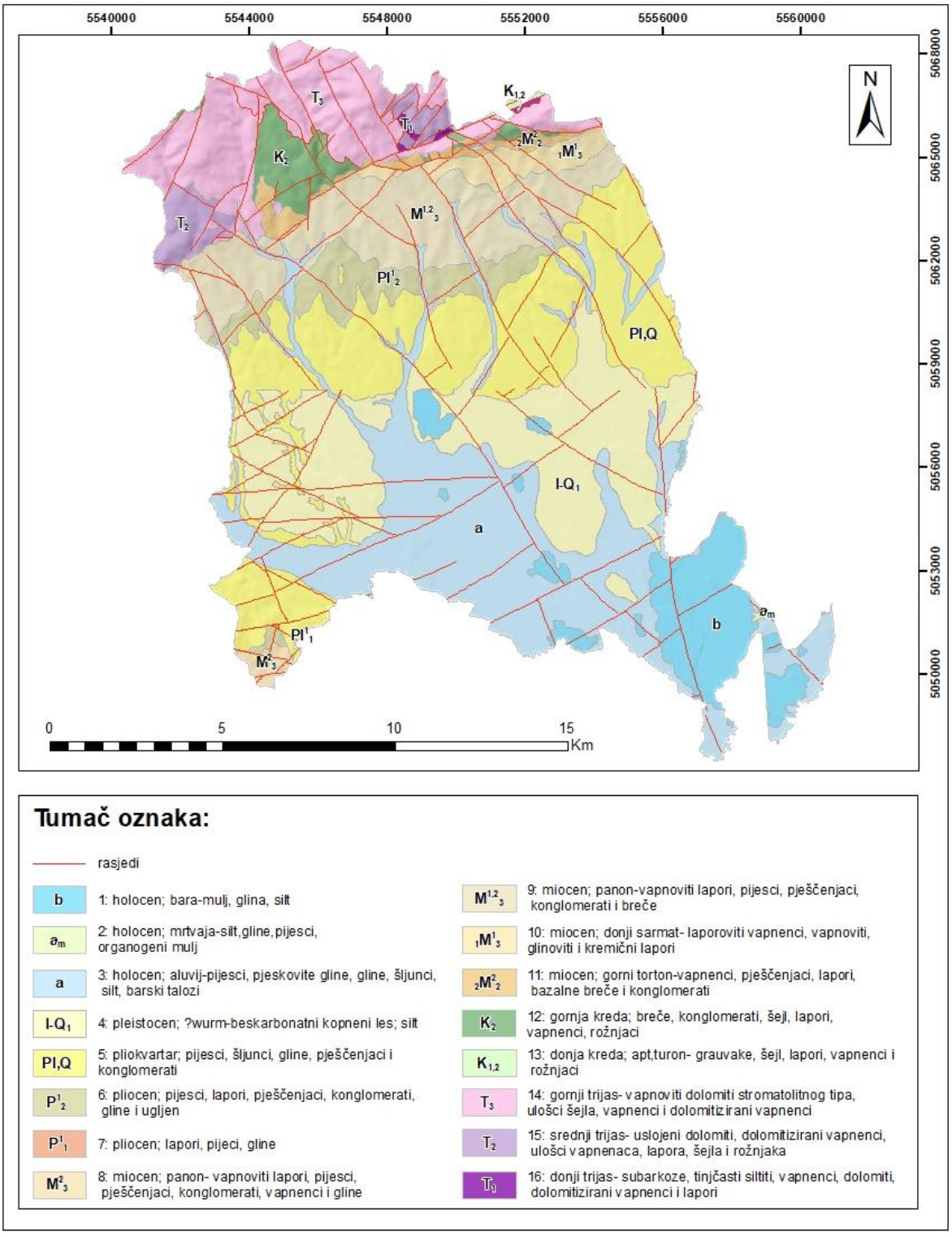
Što se kvartarnih naslaga tiče one prevladavaju na listu Karlovac gdje zauzimaju znatnu površinu unutar obuhvata istraživanja, pa je tako jedna od većih jedinica pleistocenske starosti beskarbonatni kopneni les **($l - Q_1$)**. Naslage su najbolje sačuvane u sjeverozapadnom dijelu lista Karlovac, gdje istočno od Krašića i sjeverno od G. Kupčine, prekrivaju pliokvartarne naslage. Uz spomenutu lokaciju kopneni les se proteže i većim dijelom kroz samo gradsko naselje grada Jastrebarsko i bliže okolice gdje se jednim dijelom pruža u list Zagreb do južnih obronaka Žumberka. Kopneni beskarbonatni les je žute, sivožute ili žutosmeđe boje, a po svojem osnovnom sastavu je silt (50-70 %) s primjesama glinovite (10-30 %) i manje pjeskovite (5-15 %) komponente. Naslage beskarbonatnog kopnenog lesa ovisno o stupnju redukcije imaju različitu debljinu, koja ne prelazi gornju granicu od 20-25 m.

Sljedeće naslage su najzastupljenije naslage na obuhvatu istraživanja, a to su kvartarne, odnosno holocenske, aluvijalne naslage **(a)**. Heterogeni kompleks aluvijalnih taloga recentnih tokova prekriva više od 1/3 ukupne površine lista Karlovac od kojih se neki nastavljaju na list Zagreb koji ujedno sadrži i samostalne heterogene komplekse aluvijalnih taloga. Naslage ovog tipa najviše su rasprostranjene u području Karlovačke depresije (Crna Mlaka), prema kojoj gravitiraju gotovo svi linijski tokovi okolnih terena. Prema geomorfološkom položaju aktivnih linijskih tokova dolazi do diferencijacije sedimentoloških, litoloških i petrografskih osobitosti ovih naslaga. Zbog toga razlikujemo: aluvijalni nanos Kupe i aluvijalni nanos Kupčine, zatim potoka: Blatnice, Breberovca, Črnca, Struge, Volavčice, Reke, Bresnice, Bukovice, Okičnice, Brebernice i dr. Svi oni tvore jedinstveni aluvion Crna Mlaka, koji pripada jednom širem aluvionu rijeke Kupe. Od

sedimenata prevladavaju nanosi šljunaka, pijeska i gline, a maksimalne debljine aluvijalnog nanosa (a) u depresiji Crne Mlake kreću se od oko 10 m.

Nadovezujući se na aluvijalne naslage (a) valja spomenuti i mrtvaje **(a_m)**. To su dolinski morfološki oblici fluvijalnog prostora. Predstavljaju napušteni dio riječnog korita. Fenomenološki pripada uglavnom oblicima nastalim zbog horizontalnog pomicanja rijeke kroz dolinu. Na području lista Karlovac neznatno su razvijene. Nalazimo ih u jače plavljenom području rijeke Kupe, istočno od sela Novaki Petrovinski dok one na istočnoj strani Crne Mlake i u području Kupčinske šume, genetski pripadaju manjim linijskim vodotocima. Mrtvaja se u sedimentacijskom smislu ponaša kao leća većih ili manjih dimenzija unutar aluvijalnog nanosa. Litološki sadržaj prvenstveno ističe siltove i pijeske različitog stupnja zaglinjenosti, a na površini leže organogene gline.

Konačno, posljednje naslage koje nalazimo na području istraživanja su barske naslage **(b)**. Na širem području Karlovačke depresije u dolini rijeke Kupe izdvojen je veliki broj recentnih bara, a unutar obuhvata područja istraživanja se svojom veličinom ističu Crna Mlaka jugoistočno i Ribnjak jugozapadno od grada Jastrebarsko. One su nastale kao genetski podtip naplavinskih i denudacijsko-erozionih procesa. Osim Kupe, u njihovom formiranju sudjelovale su i vode manje važnih linijskih tokova. U sedimentacijskom smislu njihovi deponati ponašaju se kao leće u aluvijalnim talozima. Uz siltove i masne gline akumulira se organogeni materijal. Gline su tamnosive do crne boje i sadrže alternirane tanke zone (1-3 cm) močvarnog, djelomično karboniziranog, bilja. Na udio pojedinih litoloških komponenti u barskim naslagama utječe stupanj zrelosti i komunikativnost močvare sa susjednim vodama. Na istraživanom području grada Jastrebarsko, unutar lista Karlovac, pretežno se nalaze šumske močvare niskog stupnja zrelosti.



Slika 2. 5. Digitalizirana Osnovna geološka karta područja obuhvata istraživanja u mjerilu 1:100 000; List Zagreb (Šikić et al., 1972.) i List Karlovac (Beneček et al., 1989.)

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

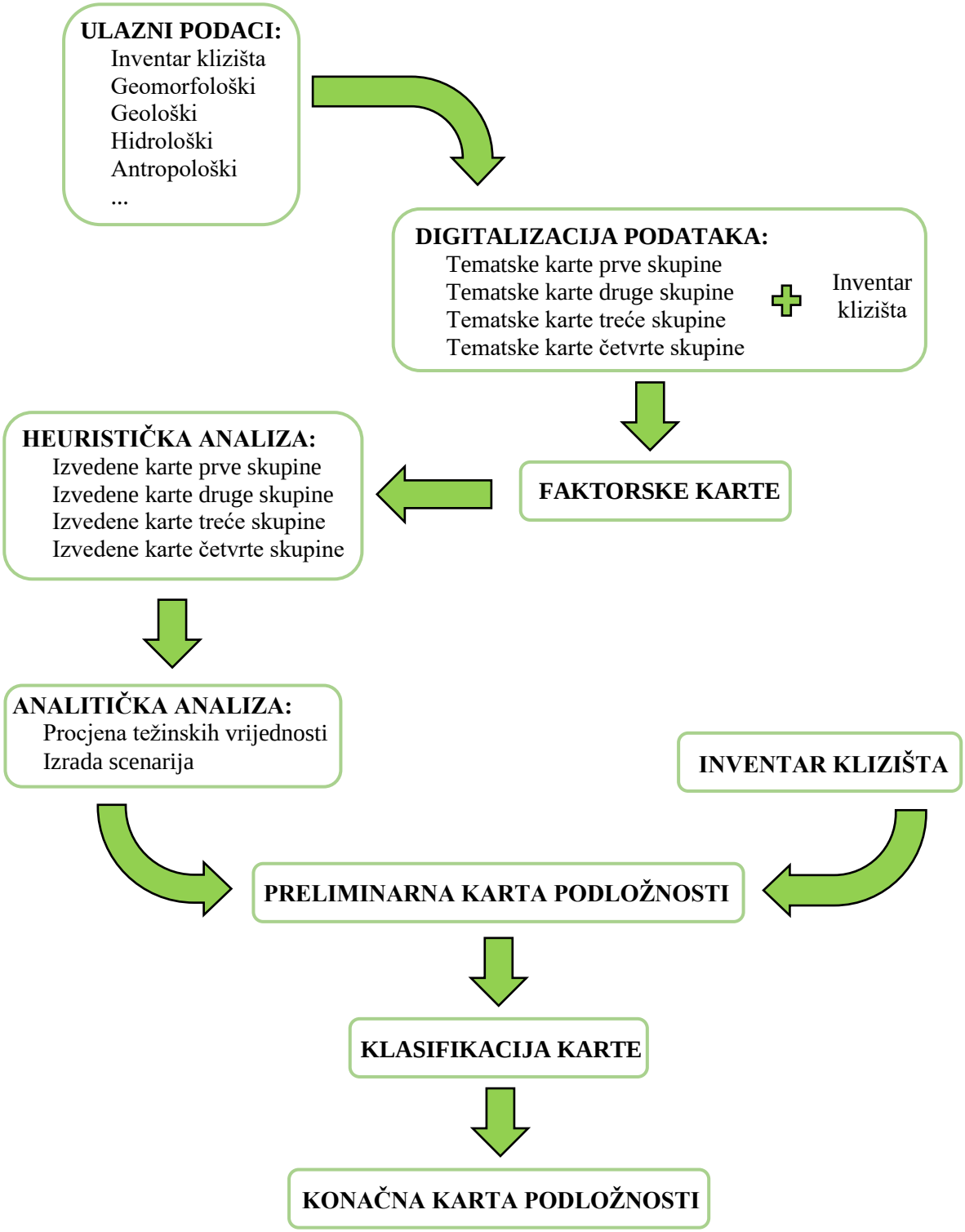
U okviru ovog rada izrađene su dvije karte podložnosti. Izrada prve karte podložnosti na klizanje grada Jastrebarsko temelji se na metodologiji iz rada '*Procjena podložnosti na klizanje na području grada Karlovca primjenom bivarijatne statističke metode*' (Sinčić, 2020.). Takav pristup je odabran zbog toga što područje grada Karlovca graniči s jugozapadnim dijelom grada Jastrebarsko, a geološke i geomorfološke karakteristike ova dva područja su relativno slične. Shodno tome odlučeno je da se provede analiza primjenjivosti podataka s jedne (grad Karlovac) na drugoj, sličnoj lokaciji (grad Jastrebarsko). Iz tog razloga odabir faktorskih karata za analizu podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko je istovjetan faktorskim kartama korištenim pri analizi podložnosti na klizanje na području grada Karlovca. Najznačajnija razlika je što se u ovom radu koristi inventar klizišta od svega 47 evidentiranih klizišta (što nije dovoljno za provođenje samostalne statističke analize podložnosti na klizanje) dok je u radu Sinčić (2020.) zabilježeno njih ukupno 196. Obzirom da su korištene faktorske karte u ovom radu istovjetne onima u radu Sinčić (2020.), klase tih karata su prilagođene kako bi se omogućilo preuzimanje već definiranih statističkih podataka s područja grada Karlovca bez proračuna novih za područje grada Jastrebarsko.

U radu Sinčić (2020.) kao osnova za analizu pojedinih faktora na klizanje korišten je tzv. *Hi*-kvadrat test (Grubišić, 2004.), na temelju kojeg su odabrane faktorske karte za analize podložnosti, dok su za određivanje težinskih vrijednosti pojedine klase odabrane kvantitativne metode (metode zasnovane na podacima), odnosno metoda *Weight of Evidence* i metoda *informacijske vrijednosti*. Težinske vrijednosti prema metodi *Weight of Evidence* nazivaju se W_{map}, dok one dobivene prema metodi informacijske vrijednosti nose naziv I.V. Statistički pristup pomoću kojeg su provedene navedene metode je bivarijatna statistička analiza kod koje se sve faktorske karte preklapaju s kartom inventara klizišta na osnovu čega se dobiva konačna karta podložnosti na klizanje. Upravo spomenute W_{map} i I.V. vrijednosti su preuzete za provedbu analiza u ovom radu.

Kada govorimo o primjenjivosti rezultata koji se temelje na preuzetim W_{map} i I.V. vrijednostima iz rada Sinčić (2020.) tada je potrebno ispitati stupanj točnosti dobivenih modela. Metoda kojom se ispitao stupanj točnosti dobivenih modela, a ujedno i primjenjivost preuzetih podataka iz rada Sinčić (2020.), je metoda ROC (engl. *Receiver Operating Characteristic*) krivulje. Model se smatra točnijim što je ROC krivulja bliža gornjem lijevom kutu, a lošijim što se više približava dijagonali koja odgovara slučajnom testu. Površina

ispod ROC krivulje (engl. *Area Under Curve*, AUC) je mjera za određivanje učinkovitosti nekog klasifikatora i jednaka je vjerojatnosti da će klasifikator rangirati slučajno odabrani pozitivan primjer višim nego će rangirati slučajno odabrani negativan primjer, uz pretpostavku da pozitivni primjeri imaju veći rang. Površina AUC jednaka je 1 (100%) ako se radi o idealnom klasifikatoru, ako je 0,5 (50%) radi se o slučajnom klasifikatoru (nasumično određivanje), a ako je vrijednost AUC jednaka 0 (0%), tada klasifikator ne prepoznaje odnose varijabli (Tokić, 2017.) Opisani princip ROC krivulje je korišten i u radu Sinčić (2020.) i to kao metoda određivanja točnosti modela, no i u svrhu konačne klasifikacije modela, dok se pak klasifikacija najboljeg modela u ovom radu temeljila na metodi *Natural Break(s)*.

Metodologija izrade druge karte podložnosti temelji se na kvantitativno-kvalitativnom pristupu analizi podložnosti na klizanje korištenjem iskustvene tzv. statističko-heurističke metode. Kod ove metode određivanje težine pojedini klasa faktorskih karata i težine faktorskih karata kao cjeline ovisi primarno o znanju i iskustvu stručnjaka koje može, ali i ne mora biti potpomognuto statističkim alatima (Mihalić Arbanas, 2018.). Dijagram toka primjenjene kvantitativno-kvalitativne metode prikazan je na slici 3.1. Glavna mana ove metode je subjektivnost, pošto u složenim situacijama stručnjak ne generalizira problem. Dakle, biti će kreirano više scenarija prilikom izrade konačne karte prema ovom principu pošto se radi o iterativnom postupku, što znači da se na osnovu rezultata točnosti dobivenog modela, težinske vrijednosti klasa i faktorskih karata po potrebi korigiraju s ciljem ponavljanja analize i dobivanja boljih rezultata. Glavna nit vodilja prilikom određivanja važnosti, odnosno težina pojedinih klasa faktorskih karata, bila je gustoća klizišta u klasi. Za svaku klasu dodjeljivane su subjektivne ocjene od 1 (niski utjecaj) do 5 (vrlo visok utjecaj) prema utjecaju pojedine klase na razvitak klizišta, dok je ukupna težina pojedine faktorske karte određena pomoću analitičkog alata pod nazivom AHP (engl. *Analytic Hierarchy Process*) kalkulator. AHP predstavlja metodu pomoću koje je moguće procijeniti važnost pojedinog kriterija međusobnom usporedbom parova kriterija. Metoda podržava odabir do 20 kriterija koji se uspoređuju u parovima gdje se unutar svakog para analizira važnost između dva kriterija i pridodaje ocjena od 1 (jednaka važnost) do 9 (znatno važniji). Konačna točnost, odnosno konzistentnost, analize se prikazuje preko CR (engl. *Consistency Ratio*) faktora čija vrijednost primarno ovisi o vrsti i broju korištenih kriterija. Ako je dobivena vrijednost CR faktora niža od 10%, smatra se kako je AHP analiza provedena konzistentno (Goepel, 2018.). Konačno, kao metoda klasifikacije najbolje ocijenjenog modela podložnosti na klizanje u okviru ove metode je također *Natural Break(s)* klasifikacija.



Slika 3. 1. Dijagram toka statističko-heurističke metode

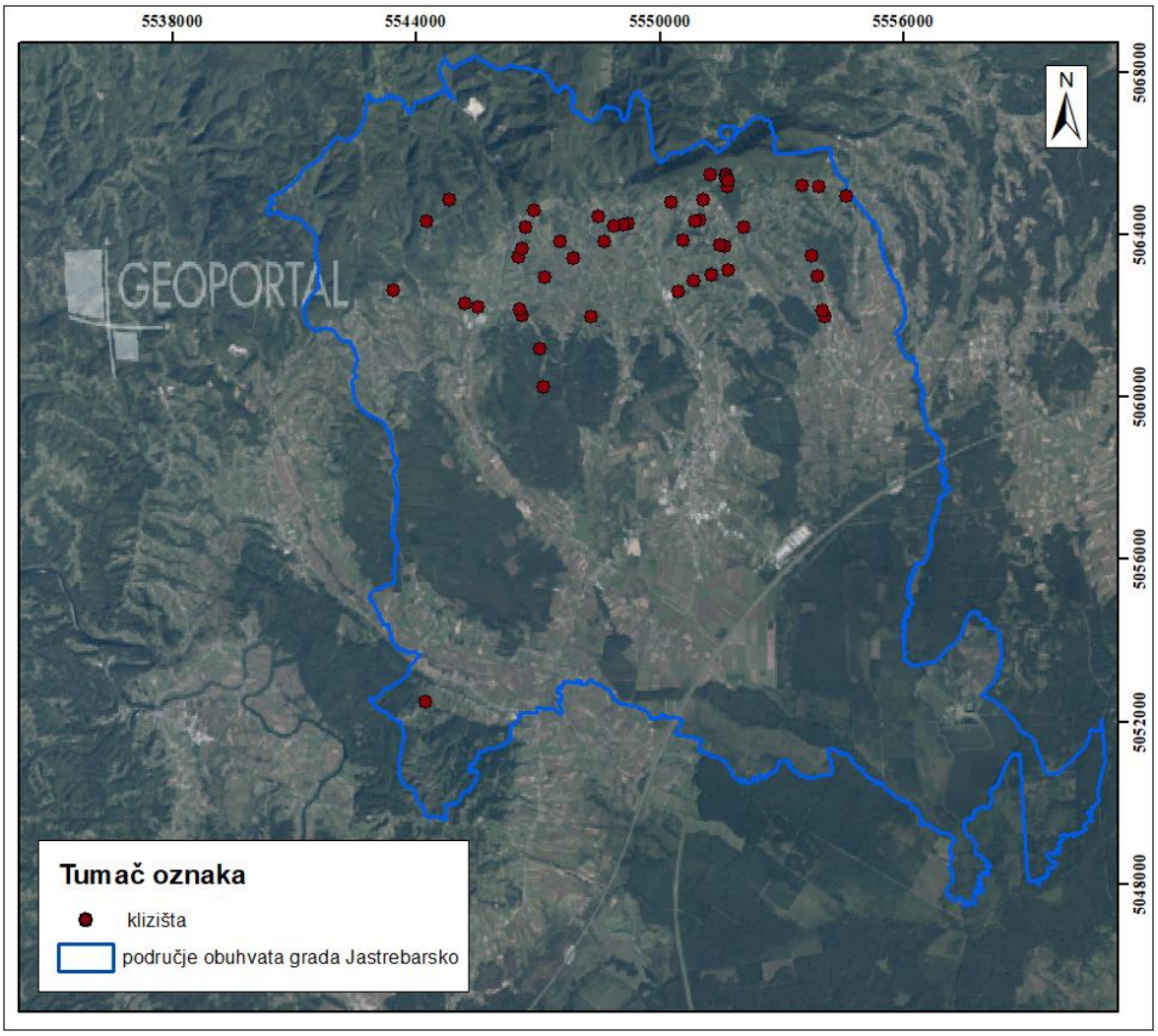
4. ULAZNI PODACI

Ovo poglavlje sadrži detaljan opis svih ulaznih podataka korištenih u analizama podložnosti na klizanje. Opis se bazira na inventaru klizišta i prostornim podacima koji su korišteni prilikom kreiranja pojedinih faktorskih karata. Također, opisana je i metodologija prikupljanja te obrada podataka, dok su sami podaci birani iskustveno s obzirom na njihovu dostupnost na istraživanom području.

4.1. Inventar klizišta

Inventar klizišta predstavlja prikaz svih aktiviranih klizišta na nekom području predočenih točkastom ili poligonskom temom. Podaci o aktiviranim klizištima se mogu prikupljati izravnim i/ili neizravnim metodama. Podaci o aktiviranim klizištima na nekom području se najčešće pribavljaju od gradskih uprava koje vode stalnu evidenciju o klizištima, no mogu ih prikupiti i fizičke osobe za neka specifična istraživanja na područjima od osobnog interesa. Inventar koji je korišten u ovom radu dobiven je od gradske uprave grada Jastrebarsko u tabličnom obliku (*MS Excel* tablica) s popisom od 47 klizišta i katastarskih čestica preko kojih su se klizišta pojavila u posljednjih nekoliko godina zaključno sa 2019. godinom. Klizišta su većinom prijavili građani ili komunalni redari kada bi primijetili oštećenje prometne infrastrukture ili građevina u blizini kojih je došlo do aktivacije klizišta.

Kako bi se tablični inventar klizišta prikazao digitalno, potrebno je kreirati točkastu temu za svako evidentirano klizište. Na temelju podataka o klizištima i katastarskim česticama na kojima se nalaze, pomoću katastarskog prikaza s Geoportala (DGU), istočkano je ukupno 110 točaka koje predstavljaju 47 klizišta. Međutim, takav prikaz nije reprezentativan za prostorne analize te je sljedeći korak bio odabir, na temelju slobodne procjene, reprezentativne točke za svako klizište. Kao konačan rezultat dobiveno je 47 pojedinačnih točaka klizišta prikazanih na slici 4.1.



Slika 4. 1. Inventar klizišta na području grada Jastrebarsko krajem 2019. godine

4.2. Ulazni podaci za izradu faktorskih karata klizanja

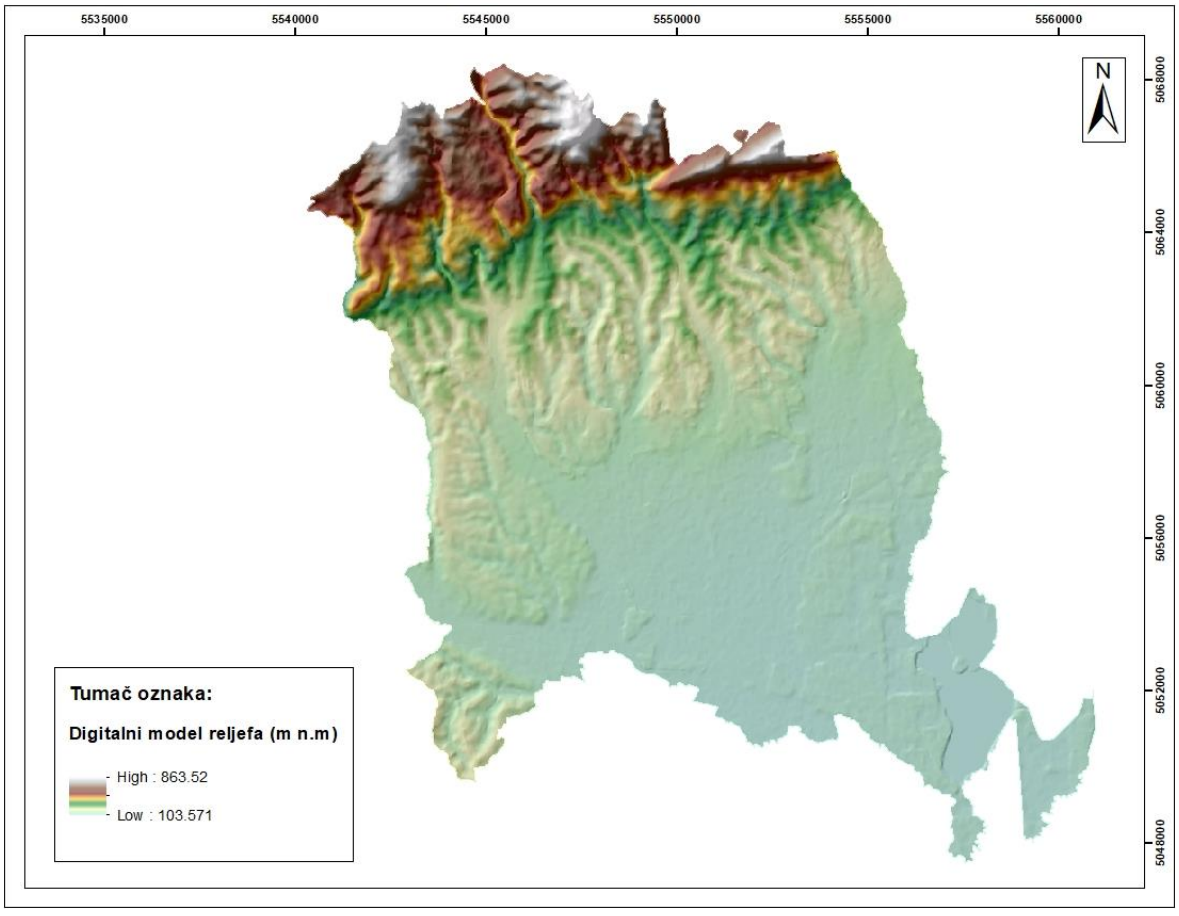
Ovo potpoglavlje opisuje način obrade ulaznih podataka i dobivanje tematskih karata koje su izrađene pomoću tih podataka. Dobivene tematske karte su temelj za izradu faktorskih karata koje će se kasnije primijeniti u procesu prostorne analize. Ulazni podaci u ovom radu mogu se podijeliti na četiri tematske skupine prema sadržaju, a to su: geomorfološki podaci, geološki podaci, hidrološki podaci i antropološki podaci. Sve obrade na ulaznim podacima provedene su pomoću GIS softvera.

4.2.1. Geomorfološki podaci

Geomorfološki podaci su oni koji nastaju kao posljedica evolucije reljefa planeta Zemlje. Geomorfologija nekog područja je posljedica niza procesa, a jedan od važnijih su geološki procesi koji dovode do stvaranja planina, vulkana, depresija, kotlina te ostalih reljefnih

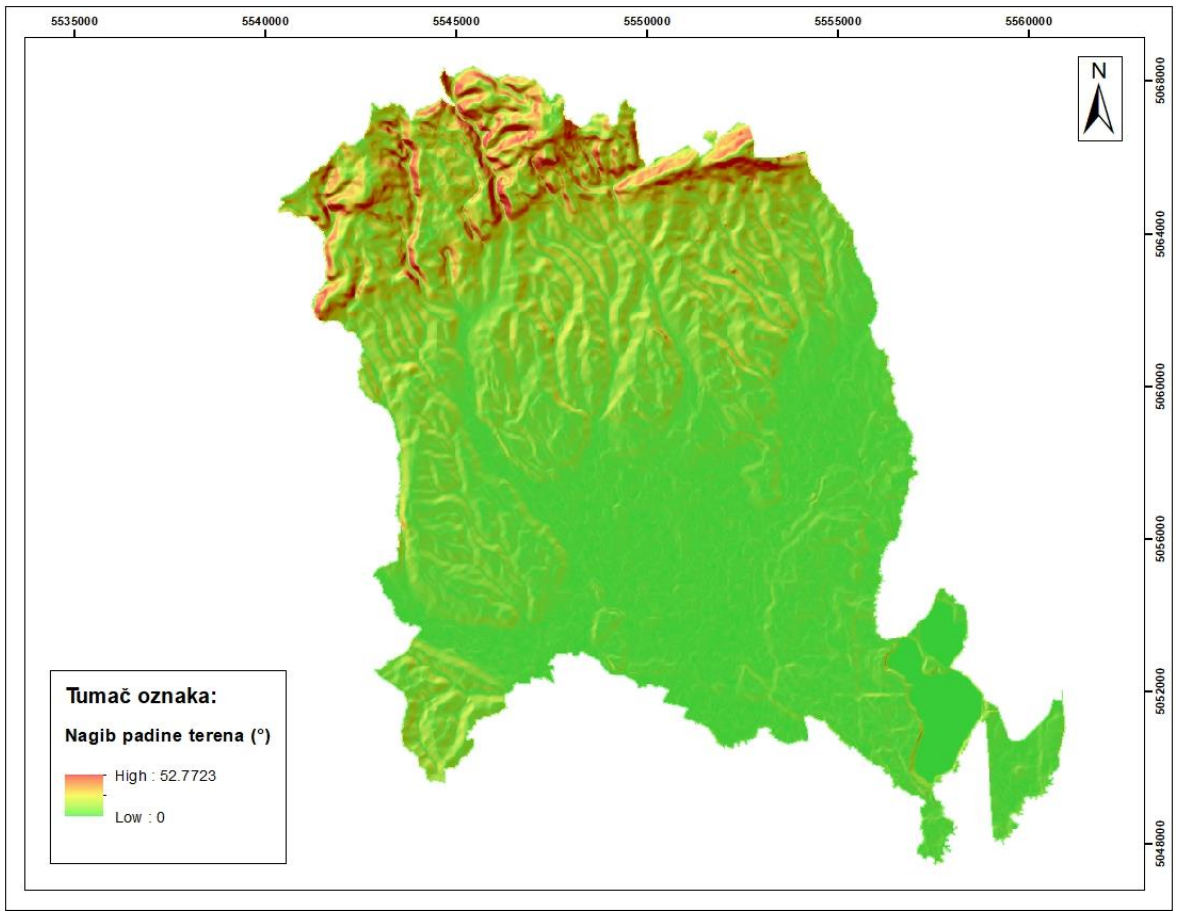
oblika na površini Zemlje. Kao ulazni podatak za analizu geomorfoloških uvjeta na nekom području koristi se digitalni model reljefa, tzv. DEM-a (eng. *Digital Elevation Model*). Iz DEM-a se mogu izvesti geomorfološki, ali i hidrološki podaci potrebni za izradu većeg dijela faktorskih karata potrebnih u daljnjim analizama. Postoje dvije vrste DEM-a, prvi je vektorski tzv. TIN (eng. *triangular irregular network*) DEM, a drugi je rasterski (ćelijski) koji se još naziva i karta visina (eng. *heightmap*) gdje svaka ćelija predstavlja određenu vrijednost nadmorske visine. U ovom radu korištena je rasterska inačica DEM-a.

Digitalni model reljefa potreban za izradu ovog rada je preuzet s internetske stranice *Copernicus Land Monitoring Service* (*EU-DEM*) kao rasterska datoteka rezolucije 25 m. Podatak je preuzet za područje cijele Europe, a zatim se posebno izdvojilo područje interesa tj. područje grada Jastrebarsko. Digitalni model reljefa izdvojenog područja grada Jastrebarsko prikazan je na slici 4.2., a glavni podatak koji se iščitava je raspon nadmorskih visina područja koji se kreće od 103 m n.m. do 863 m n.m.



Slika 4. 2. Digitalni model reljefa (EU-DEM) područja grada Jastrebarsko

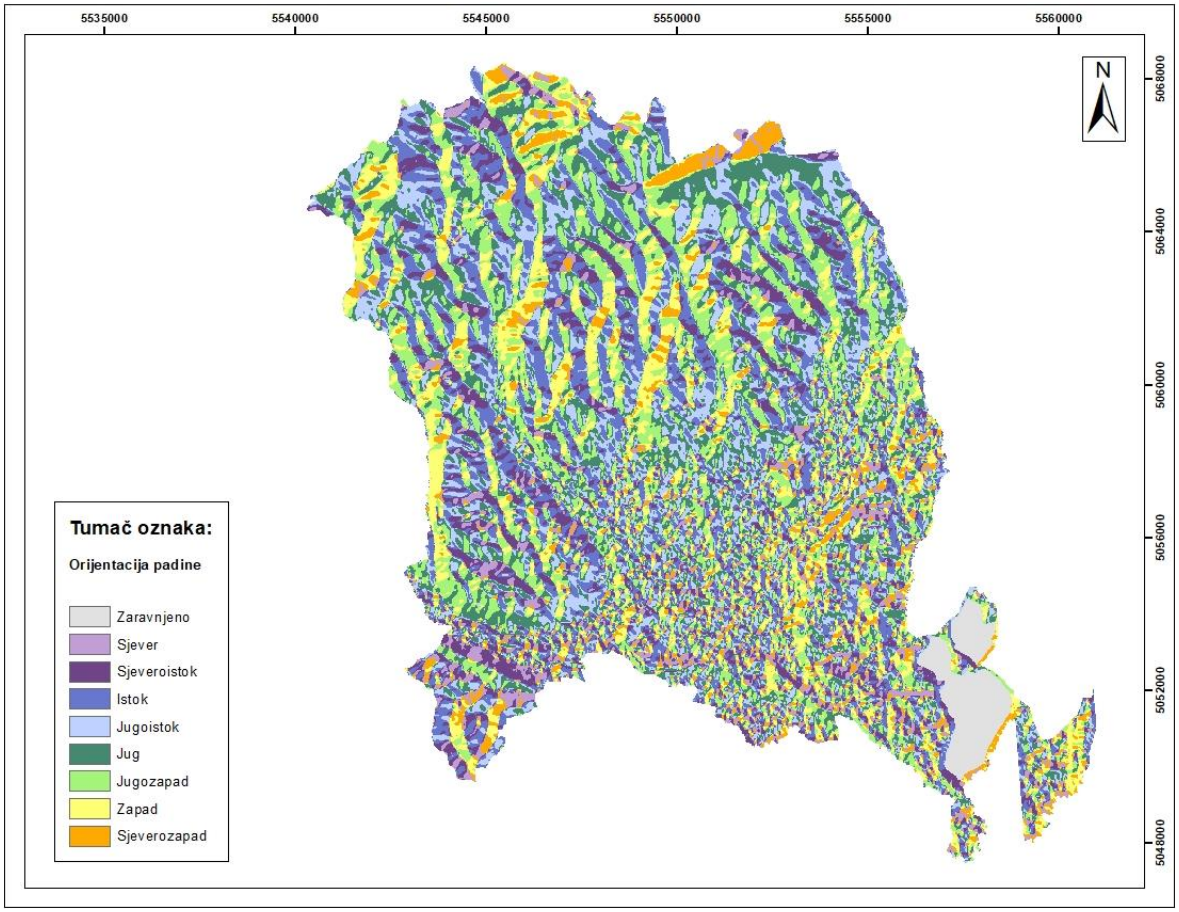
Sljedeći geomorfološki podatak, točnije morfometrijski parametar, koji ima vrlo veliku važnost prilikom učinkovitog analiziranja i opisivanja reljefa je nagib terena. Karta nagiba terena (Slika 4.3.) u GIS programu se izvodi na temelju DEM-a pomoću ekstenzije *Spatial Analyst* i naredbe *Slope* koja identificira gradijent odnosno stupanj maksimalne promjene u smjeru z-osi za promatranu ćeliju i njenih osam susjednih ćelija rasterskog podatka. Na temelju z-koordinate, odnosno razlike promatrane ćelije i susjednih ćelija, *Slope* naredba računa nagib u stupnjevima. Kao rezultat dobiva se prikaz prostorne distribucije vrijednosti kutova nagiba terena u rasponu od 0° do 90°. Na području grada Jastrebarsko dobiveni raspon nagiba terena se kreće od 0° do 53°.



Slika 4. 3. Prikaz nagiba terena na području grada Jastrebarsko

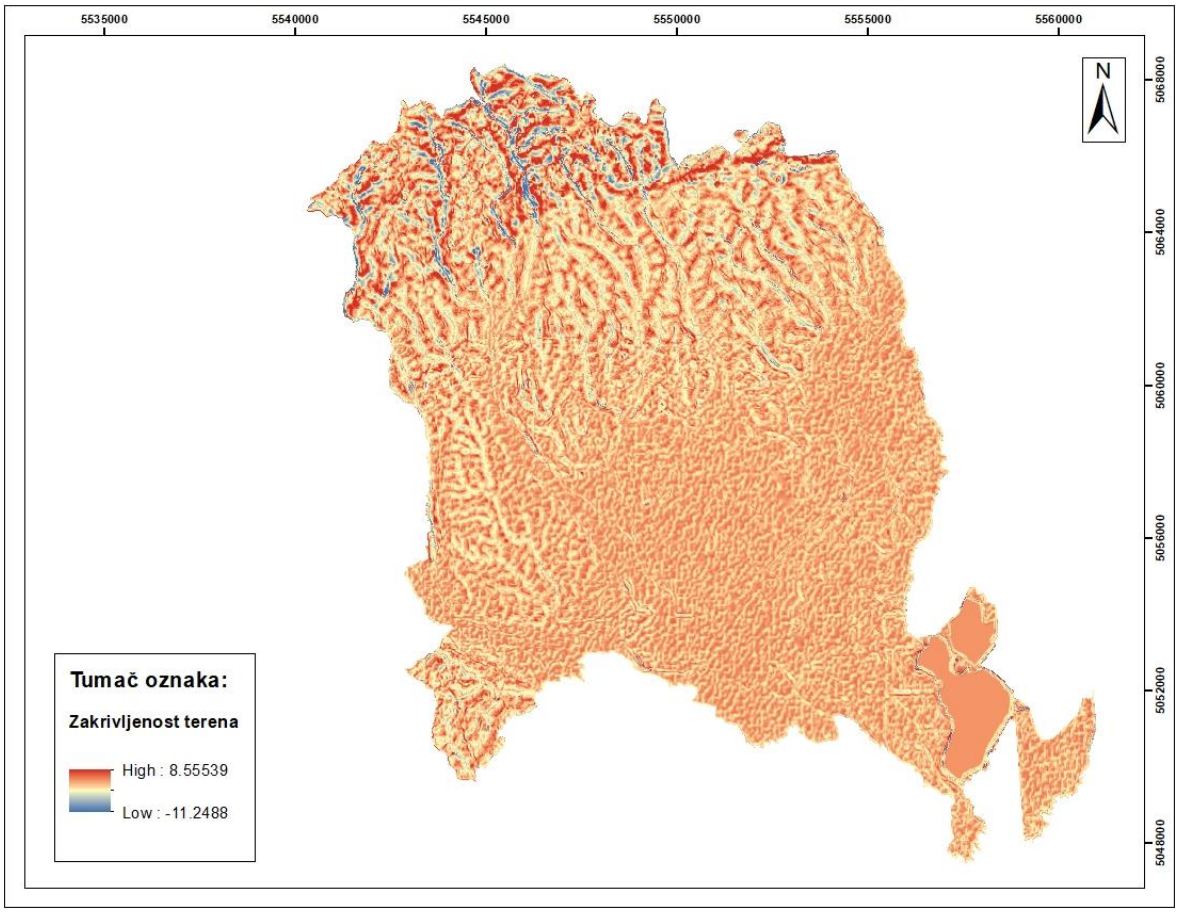
Sljedeća tematska karta temeljena na DEM-u je karta s prikazom orijentacije padine (Slika 4.4.). Karta je dobivena naredbom *Aspect* (*Spatial Analyst*) u GIS programu pomoću koje je rasterski podatak DEM-a klasificiran prema četiri glavne i četiri sporedne strane svijeta, uključujući i zaravnjene dijelove terena. Dakle, karta orijentacije padine u suštini predstavlja

klasifikaciju točke na padini s obzirom na azimut koji se određuje na temelju orijentacije ravnine koja predstavlja tu ćeliju, a definirana je s 3x3 vrijednostima susjednih z-koordinata.



Slika 4. 4. Prikaz orijentacije padina na području grada Jastrebarsko

Tematska karta zakrivljenosti terena (Slika 4.5.) služi za prikaz konkavnosti ili konveksnosti pojedine padine. Karta je izvedena preko naredbe *Curvature* (*Spatial Analyst*) u GIS programu, a također se temelji na DEM-u kao i prethodne karte. Zakrivljenost terena je važna prilikom definiranja razvoja procesa na padinama, odnosno potiče li pojedini oblik padine određeni proces ili ga usporava. Kao primjer može se opisati proces sličan klizanju, a to je proces tečenja debrisa na padini koji će usporavati ili pak ubrzavati s obzirom na nailazak konkavnih (negativni predznak – plava boja) odnosno konveksnih padina (pozitivan predznak – crvena boja).



Slika 4. 5. Prikaz zakrivljenosti terena na području grada Jastrebarsko

Karta hrapavosti terena je sljedeća tematska karta (Slika 4.6.). Hrapavost terena se u GIS programu može izvesti na dva načina. Prvi način pomoću naredbe *Focal Statistics* (*Spatial Analyst Tools, Neighborhood*) koja, na temelju DEM-a, proračunava tri statistička tipa izlaznih podataka; *Maximum*, *Minimum* i *Mean*. Zatim se koristeći naredbu *Raster Calculator* (*Spatial Analyst Tools, Map Algebra*) i dobivene statističke izlazne podatke pomoću formule 4.1. dobiva krajnji rezultat, odnosno hrapavost terena na području interesa.

$$RGH = \frac{(Mean - Min)}{(Max - Min)} \tag{4.1.}$$

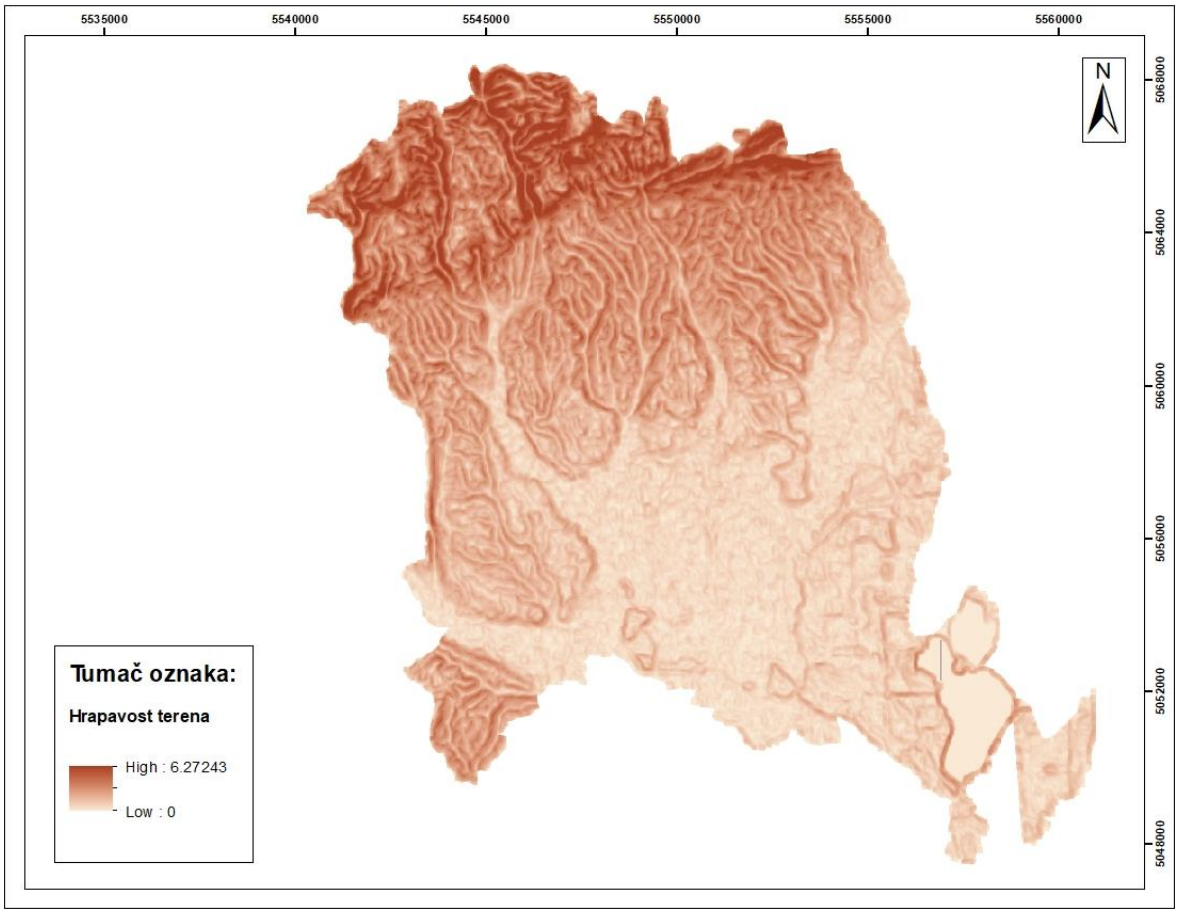
Drugi način je izvedba pomoću *plug-in* alata pod nazivom *Geomorphometry and Gradient Metrics Toolbox*. Unutar tog alata postoji kreirana *Phyton* skripta naredbe *Roughness* koja automatizirano provodi izračun hrapavosti terena na temelju DEM-a prema Riley et al. (1999.) gdje je hrapavost definirana kao korijen između zbroja kvadrata razlike središnje

ćelije prozora te, u slučaju prozora veličine 3x3 ćelije, osam susjednih ćelija kao što je navedeno u formuli 4.2.:

$$RGH = ((Z5 - Z1)^2 + (Z5 - Z2)^2 + (Z5 - Z3)^2 + (Z5 - Z4)^2 + (Z5 - Z6)^2 + (Z5 - Z7)^2 + (Z5 - Z8)^2 + (Z5 - Z9)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4.2.)$$

gdje je: Z5 – središnja ćelija prozora veličine 3x3
Z1-Z9 – susjedne ćelije središnje ćelije Z5

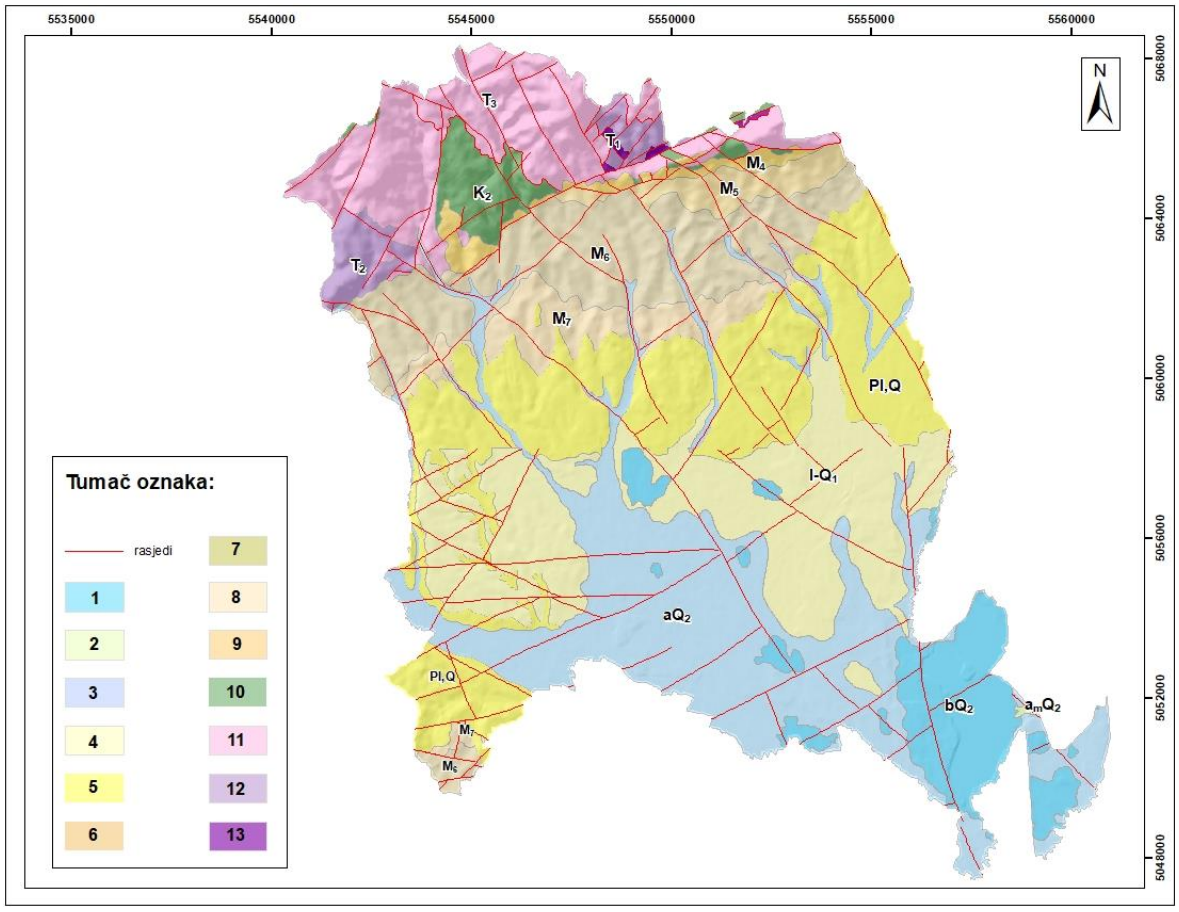
Kao metoda povoljna za dobivanje hrapavosti terena u ovom radu odabrana je prva metoda jer su pomoću nje dobiveni zadovoljavajući rezultati za analizirano područje. Brojčano gledajući hrapavost je manja što je vrijednost bliža nuli i obrnuto, pa je tako na području grada Jastrebarsko raspon vrijednosti hrapavosti od 0 do 6,27. Za usporedbu, vrijednosti hrapavosti na području grada Karlovca iz rada Sinčić (2020.) su raspona od 0 do 4,62.



Slika 4. 6. Prikaz rezultata hrapavosti terena na području grada Jastrebarsko dobivenih na temelju prve metode

4.2.2. Geološki podaci

Geološki podaci razmatrani u radu su sljedeći: geološka građa, odnosno litologija i strukturni elementi na području istraživanja. Ti podaci su digitalizirani s dva lista OGK mjerila 1:100 000, a radi se o Listu Zagreb (Šikić et al., 1972.) i Listu Karlovac (Beneček et al., 1989.). Na slici 4.7. prikazana je digitalizirana OGK korištena kao ulazni podatak u analizi. Ono što se može primijetiti, u odnosu na kartu na slici 2.5. jest da je u ovom slučaju karta modificirana, odnosno da umjesto početnih 16, sadrži 13 litoloških jedinica. Modificirane litološke jedinice su sljedeće: P_2^1i P_1^1 u **M7** , M_3^2i $M_3^{1,2}$u **M6** te K_2i K_2^1 u **K2**. Modifikacija, odnosno spajanje jedinica se provodilo prema približno istoj starosti i vrsti naslaga . Ovakvim postupkom je osigurano poklapanje klasa u ovom radu s klasama u radu Sinčić (2020.), kako bi bilo moguće provesti istovrsnu metodologiju. Detaljan prikaz modificirane litologije na području istraživanja s obzirom na geološku starost i pripadnost pojedinoj stratigrafskoj jedinici dan je u tablici 4.1.



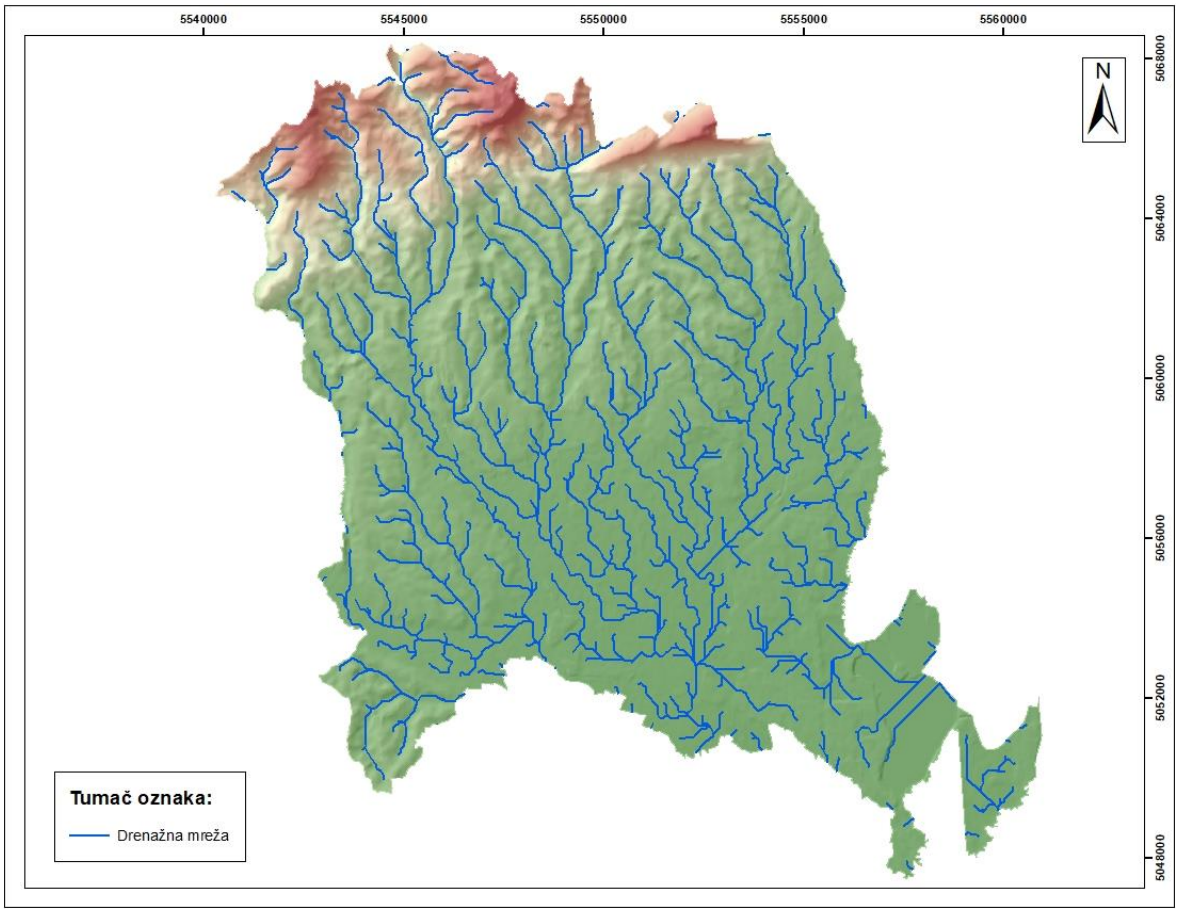
Slika 4. 7. Digitalizirani prikaz modificirane OGK za područje grada Jastrebarsko; List Zagreb (Šikić et al., 1972.) i List Karlovac (Beneček et al., 1989.).

Tablica 4. 1 Opis vrsta stijena na području grada Jastrebarsko prema modificiranoj geološkoj karti obzirom na njihovu geološku starost

Klasa	Starost	Nova oznaka	Stara oznaka	Vrsta stijene
1	holocen, bara	bQ_2	b	mulj, glina, silt
2	holocen, mrtvaja	a_mQ_2	a_m	silt, gline, pijesci, organogeni mulj
3	holocen, aluvij	aQ_2	a	pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci, silt, barski talozi
4	pleistocen, ?wurm	$l\text{-}Q_1$	$l\text{-}Q_1$	bezkarbonatni kopneni les:silt
5	plikokvartar	Pl,Q	Pl,Q	pijesci, šljunci, gline, pješčenjaci i konglomerati
6	pont	M_7	P_2^1	pijesci lapori pješčenjaci konglomerati gline i ugljen (rhomboidea)
			P_1^1	
7	miocen, panon	M_6	M_3^2	vapnoviti lapori, pijesci, pješčenjaci, konglomerati, vapnenci i gline
			$M_3^{1,2}$	
8	miocen, sarmat	M_5	${}_1M_3^1$	pijesci, pješčenjaci, konglomerati, gline, lapori i vapnenci
9	baden	M_4	${}_2M_2^2$	pjeskovito vapnenački lapori, gline, pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati i bio-klastični vapnenci
10	gornja kreda	K_2	K_2	vulkanogeno sedimentni kompleks
			K_2^1	
11	gornji trijas	T_3	T_3	vapnoviti dolomiti, ulošci šejla, vapnenci i dolomitizirani vapnenci
12	srednji trijas	T_2	T_2	uslojeni dolomiti, dolomizizirani vapnenci, ulošci vapnenaca, lapora i šejla
13	donji trijas	T_1	T_1	Subarkoze, tinjčasti siltiti, dolomiti, dolomitizirani vapnenci i lapori

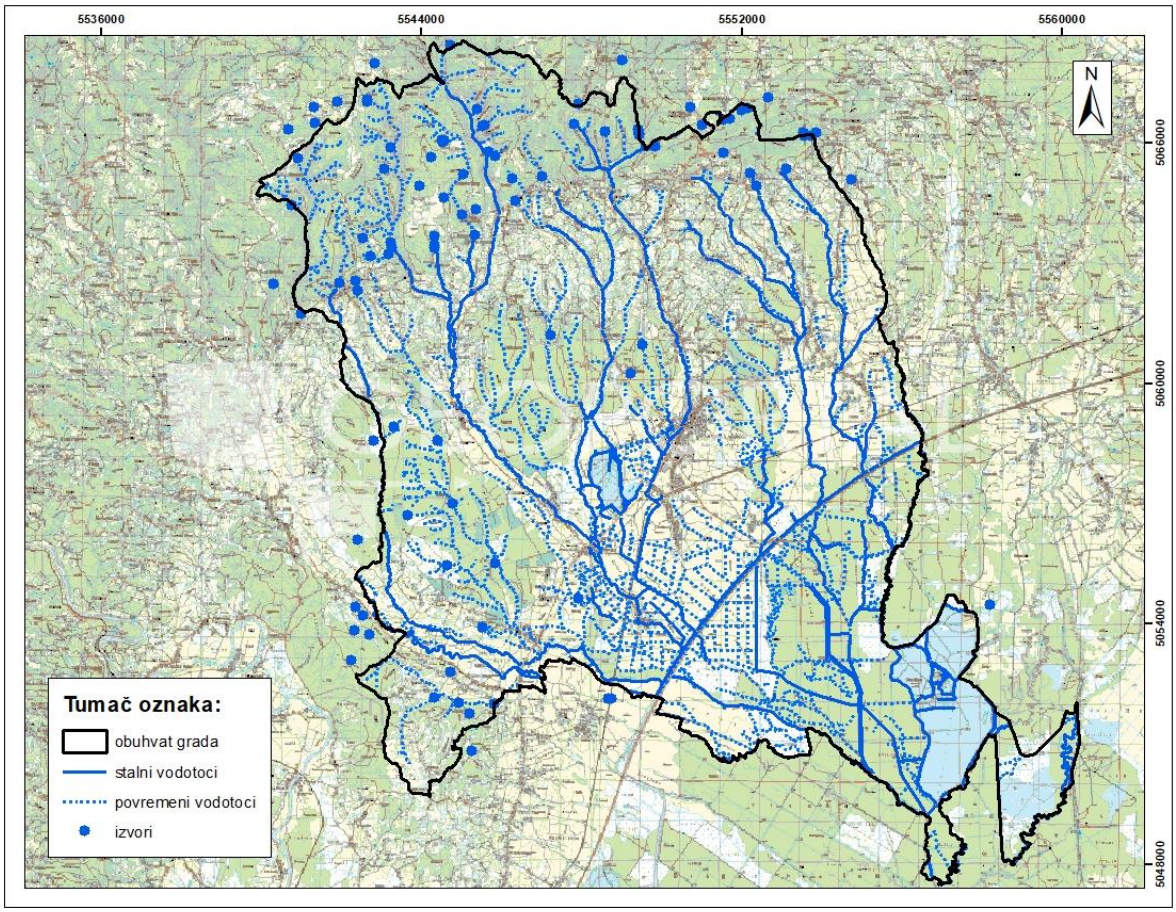
4.2.3. Hidrološki podaci

Hidrološki podaci korišteni u ovom radu su: drenažna mreža, vodotoci (povremeni i stalni), izvori te vlažnost terena na području istraživanja. Drenažna mreža predstavlja 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.). U ovom radu drenažna mreža je izvedena na temelju DEM-a korištenjem niza naredbi iz *Hydrology* seta alata (*Spatial Analyst Tools*). Kao krajnji rezultat je dobiven vektorski podatak linijskog oblika koji je prikazan na slici 4.8.



Slika 4. 8. Prikaz izvedene drenažne mreže za područje grada Jastrebarsko

Digitalizacija vodotoka, koji su kategorizirani na povremene i stalne, te izvora na području istraživanja je obavljena preko topografske podloge mjerila 1:25 000. Podloga je preuzeta u WMS obliku sa servera Državne geodetske uprave. Podaci o vodotocima su prikazani kao linijski vektorski podatak, dok su svi izvori prikazani kao točkasti vektorski podatak (Slika 4.9.). Treba napomenuti kako su uzeti u obzir izvori unutar obuhvata i izvori neposredno izvan obuhvata istraživanja s obzirom da zona utjecaja tih izvora, neposredno izvan obuhvata istraživanja, može sezati unutar obuhvata što može utjecati na rezultat analize. Na temelju ovako digitaliziranih podataka su izrađene pojedinačne faktorske karte iz domene hidrologije: karta udaljenosti od izvora, karta udaljenosti od svih vodotoka, karta udaljenosti od stalnih vodotoka i karta udaljenosti od povremenih vodotoka.



Slika 4. 9. Prikaz digitaliziranih izvora i vodotoka područja istraživanja na temelju topografske karte mjerila 1: 25 000 (WMS, DGU server)

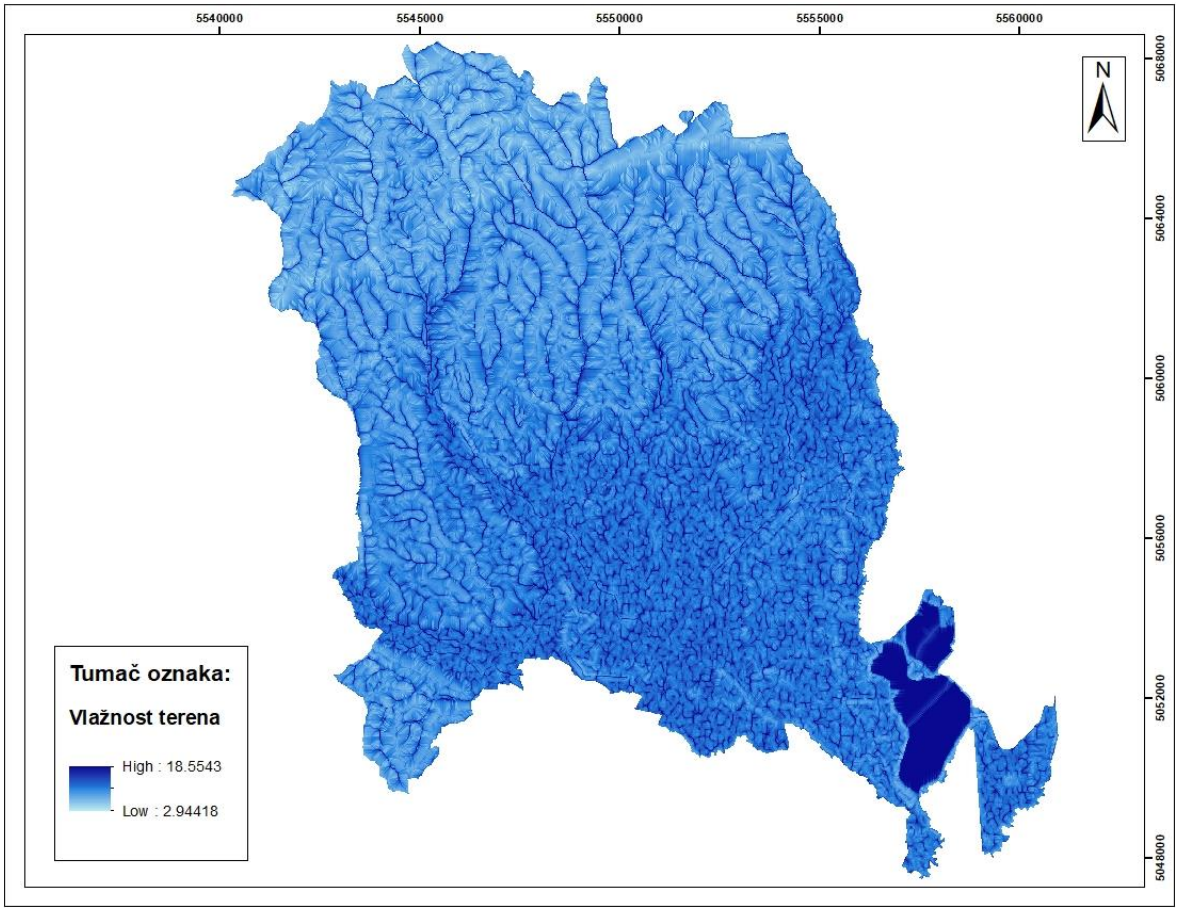
Vlažnost terena (eng. *Compound Topographic Index, CTI*) je posebna karta iz domene hidrologije, odnosno hidroloških podataka koji imaju utjecaj na pojavnost klizišta. Karta nam daje prikaz razina vlažnosti terena na području istraživanja (Slika 4.10.). Karta vlažnosti terena se izvodi preko DEM-a i moguće ju je kreirati na dva načina.

Prvi način izvođenja karte se sastoji od korištenja niza naredbi unutar *Spatial Analyst Tools*-a, gdje je potrebno kombinirati alate iz *Hydrology* seta, *Map Algebra* seta te *Surface* seta alata. Postupak je vremenski konzumirajući zbog opetovanog unašanja i obrade izvedenih podataka u navedenim alatima.

Drugi način je puno jednostavniji i vremenski brži, a izvodi se unašanjem jednog ulaznog podatka, DEM-a, u *Geomorphometry and Gradient Metrics Toolbox* gdje postoji gotova *Phyton* skripta *Compound Topographic Index* koja kao krajnji rezultat kreira prikaz raspodjele vlažnosti terena na traženom području.

Metoda koja je odabrana u okviru izrade ovog rada je prva metoda zato što su dobiveni reprezentativniji rezultati za analizirano područje u odnosu na drugu metodu. Konačna

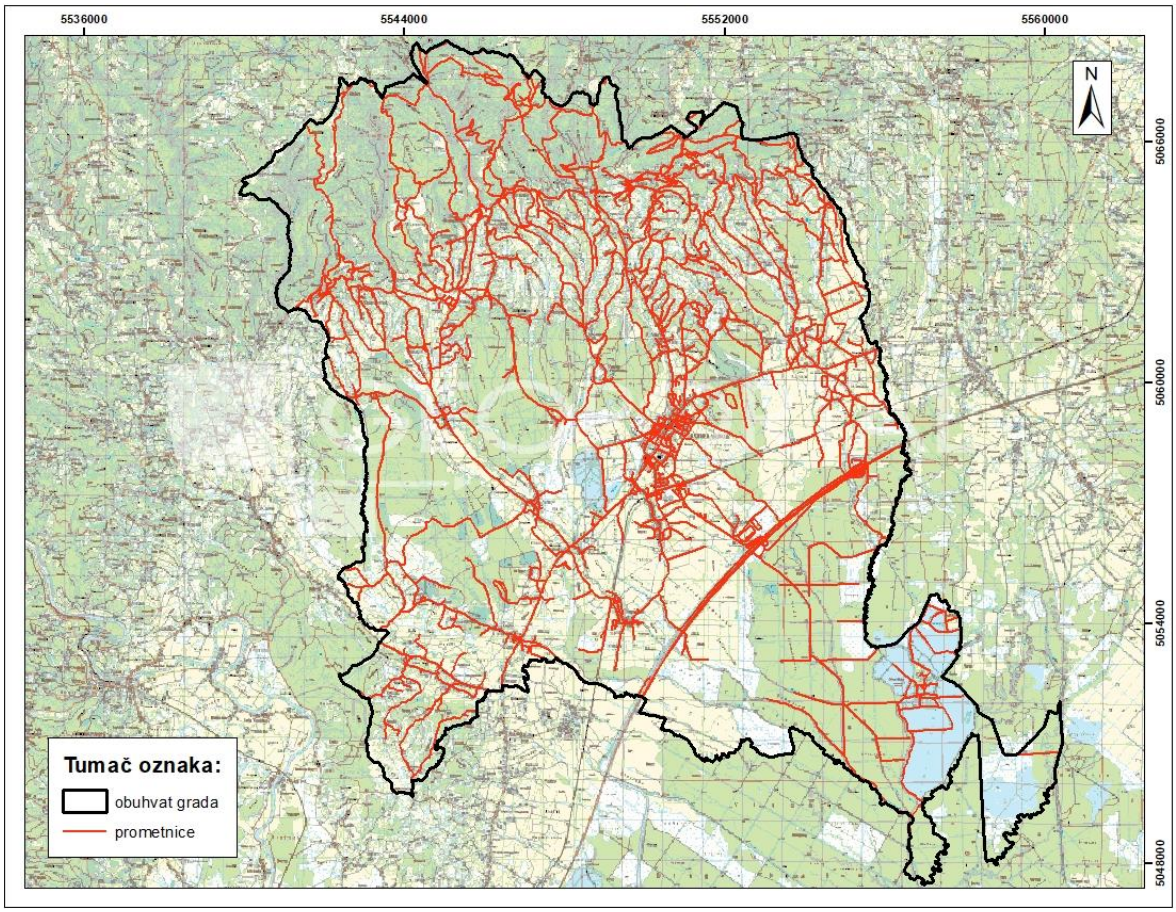
tematska karta vlažnosti terena je prikazana u rasterskom obliku gdje niže vrijednosti (svjetlija boja) ukazuju na manju vlažnost (npr. brežuljkasti predio terena), a više vrijednosti (tamnija boja) na povećanu vlažnost (zaravnjeni predio terena).



Slika 4. 10. Prikaz izvedene raspodjele vlažnosti terena na području grada Jastrebarsko primjenom prve metode

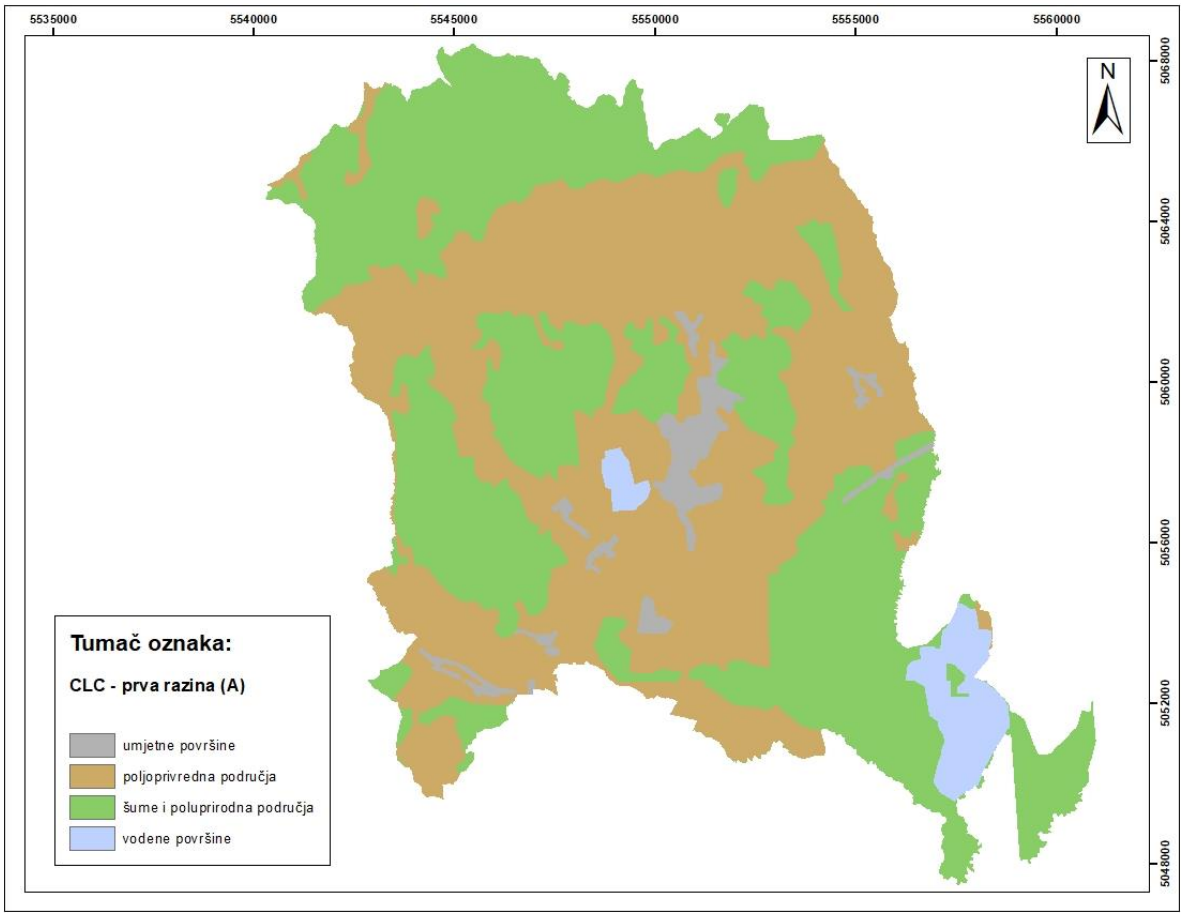
4.2.4. Antropološki podaci

Antropološki podaci potrebni za analizu obuhvaćaju mrežu prometnica na području istraživanja te namjenu zemljišta na području istraživanja. Mreža prometnica za cijelu Republiku Hrvatsku je preuzeta s internetske GIS baze podataka naziva *Geofabrik* i to u linijskom vektorskom obliku. Tada su prometnice, korištenjem naredbe *Clip* (*Analysis Tools*), "odrezane" tako da se prikazuju samo one unutar područja interesa, odnosno područja obuhvata grada Jastrebarsko (Slika 4.1.)



Slika 4. 11. Prikaz prometnica u obliku vektorskog linijskog podatka na području istraživanja grada Jastrebarsko (Geofabrik, 2020.)

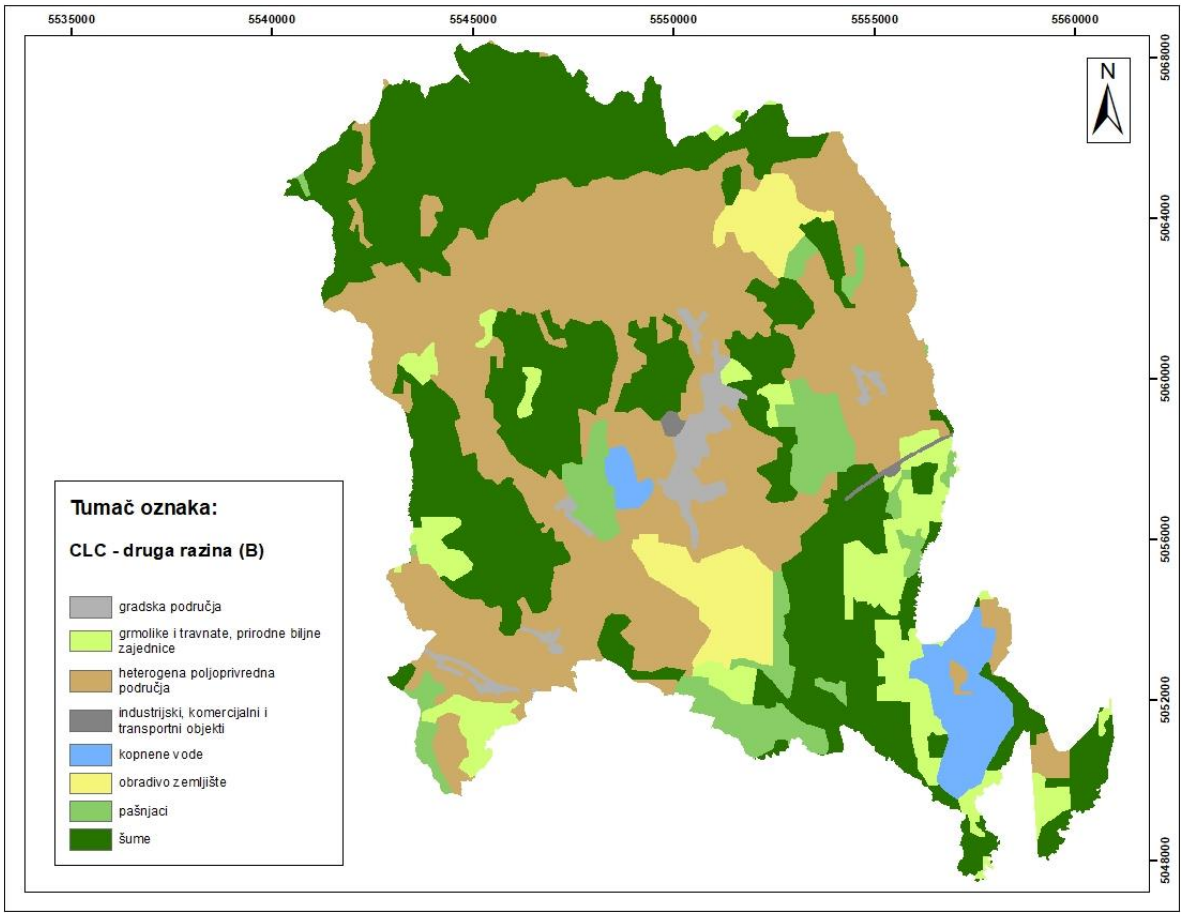
Informacije o namjeni zemljišta preuzete su s internetske stranice *Copernicus Land Monitoring Service* (*Corine Land Cover*) kao gotove rasterske datoteke spremne za korištenje i analizu u ArcMap programu. Općenito, namjena zemljišta prema *Corine Land Cover*-u (CLC) je podijeljena na tri razine odnosno klase detaljnosti. U ovom radu su korištene prve dvije razine podjele koje su opisane u tablici 4.2. Treća razina je najdetaljnija podjela, ali je zanemarena budući da se analiza provodi u regionalnom mjerilu. Shodno tome, podjela prve razine korištena je kao faktorska karta namjene zemljišta A (Slika 4.12.), a podjela druge razine kao faktorska karta namjene zemljišta B (Slika 4.13.).



Slika 4. 12. Prikaz prve razine (A) podjele namjene zemljišta prema CLC klasifikaciji za područje grada Jastrebarsko

Tablica 4. 2 Prikaz podjele namjene zemljišta prema prvoj razini (A) i drugoj razini (B) na temelju CLC klasifikacije (*Copernicus Land Monitoring Service, 2018.*)

Prva razina klasifikacije (A)	Druga razina klasifikacije (B)
umjetne površine (1)	gradska područja (11)
	industrijski, komercijalni i transportni objekti (12)
	rudokopi, odlagališta otpada i gradilišta (13)
	umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov (14)
poljoprivredna područja (2)	obradivo zemljište (21)
	višegodišnji nasadi (22)
	pašnjaci (23)
	heterogena poljoprivredna područja (24)
šume i poluprirodna područja (3)	šume (31)
	grmolike i travnate, prirodne biljne zajednice (32)
	otvorene površine sa malo ili bez vegetacije (33)
vlažna područja (4)	kopnena vlažna područja (41)
	priobalna vlažna područja (42)
vodene površine (5)	kopnene vode (51)
	morske vode (52)



Slika 4. 13. Prikaz druge razine (B) podjele namjene zemljišta prema CLC klasifikaciji za područje grada Jastrebarsko

5. ANALIZE PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

Analize podložnosti na klizanje provedene su na temelju faktorskih karata koje se dobivaju preklapanjem karte inventara klizišta s tematskim kartama. Faktorske karte daju uvid u preduvjete za pojavu klizišta na nekom analiziranom području ovisno o promatranom faktoru. Ovo poglavlje se bazira na detaljnom opisu svih kreiranih faktorskih karata za područje grada Jastrebarsko. Također, dan je tablični prikaz podataka s pridodanim W_{map} i I.V. vrijednostima s područja grada Karlovca te je ocijenjena primjenjivosti tih vrijednosti u svrhu analize u ovom radu. Na kraju poglavlja prikazani su i rezultati subjektivnog ocjenjivanja utjecaja pojedinih klasa faktorskih karata na pojavu klizišta koji će se koristiti u svrhu izvedbe karte podložnosti prema statističko-heurističkoj metodi.

5.1. Klizišta

Klizišta su glavni podatak u analizama podložnosti na klizanje. Što su točniji i upotpunjeniji podaci o distribuciji klizišta točniji su krajnji rezultati analiza. Stoga, u svrhu izrade ovog rada klizišta su terenski verificirana te je ustanovljeno da je od ukupno 47 zabilježenih klizišta sanirano njih 40. Sanirana klizišta su bila aktivirana na području obradivog zemljišta (vinogradi i voćnjaci) ili pak na područjima uz prometnu infrastrukturu. Nesanirana klizišta, njih 7, se nalaze na obraslom, teže dostupnom i zabačenom terenu daleko od stambenih jedinica ili bilo kakvih infrastrukturnih objekata. Slika 5.1. prikazuje nekoliko lokacija obiđenih klizišta. Na slici 5.1a je prikazano klizište sanirano gabionskim potpornim zidom na lokaciji Vranov Dol, slika 5.1b prikazuje lokaciju klizišta u Lokošin Dolu koje je također sanirano, dok slike 5.1c i 5.1d prikazuju klizišta na području Kupeč Dola koja su trenutno umirena i nesanirana. Crvena linija prikazuje glavnu pukotinu, dok crne strelice prikazuju generalni smjer klizanja materijala.



Slika 5. 1. Lokacije nekoliko saniranih i umirenih klizišta na području grada Jastrebarsko

Sva evidentirana klizišta, sanirana i nesanirana, su zabilježena u GIS-u te je kreirana podloga pod nazivom karta inventara klizišta (Slika 4.1). Ta karta je krucijalan podatak za provođenje analize podložnosti na klizanje jer se preklapanjem karte inventara klizišta sa svakom kreiranom faktorskom karatom provodi analiza utjecaja pojedinih faktora na učestalost pojavnosti klizišta tako da se proračunava gustoća klizišta u pojedinoj klasi faktorskih karata.

5.2. Faktorske karte

Kao i u radu Sinčić (2020.), ovaj rad se bazira na 17 izvedenih faktorskih karata podijeljenih u četiri grupe faktora: geomorfološki faktori, geološki faktori, hidrološki faktori i antropološki faktori. Karte se temelje na tematskim kartama kreiranim u GIS-u pomoću linijskih i točkastih objekata oko kojih je definirano više obuhvatnih zona (engl. *Multi buffer zone*). Klasifikacija pojedinih faktorskih karata u ovom radu je provedena na temelju klasifikacije faktorskih karata u radu Sinčić (2020.). Broj klizišta po klasi je određen alatom

Spatial Join (*Analysis Tools/Overlay*). Prilikom korištenja ovog alata potrebno je naglasiti kako se sve faktorske karte, ako su u rasterskom obliku, moraju pretvoriti u vektorski oblik i to alatom *Raster to Polygon (Conversion Tools/From Raster),* a zatim se pristupa učitavanju podataka u alat *Spatial Join*. Nakon učitavanja podataka, kao opcija odabira podudaranja u alatu *Spatial Join* odabrana je *Completley_contains* opcija kako bi se uzele u obzir samo one točke klizišta koje se potpuno nalaze unutar poligona pojedine klase. Klasifikacije svih faktorskih karata i analiza utjecaja pojedinih klasa faktorskih karata opisani su u nastavku.

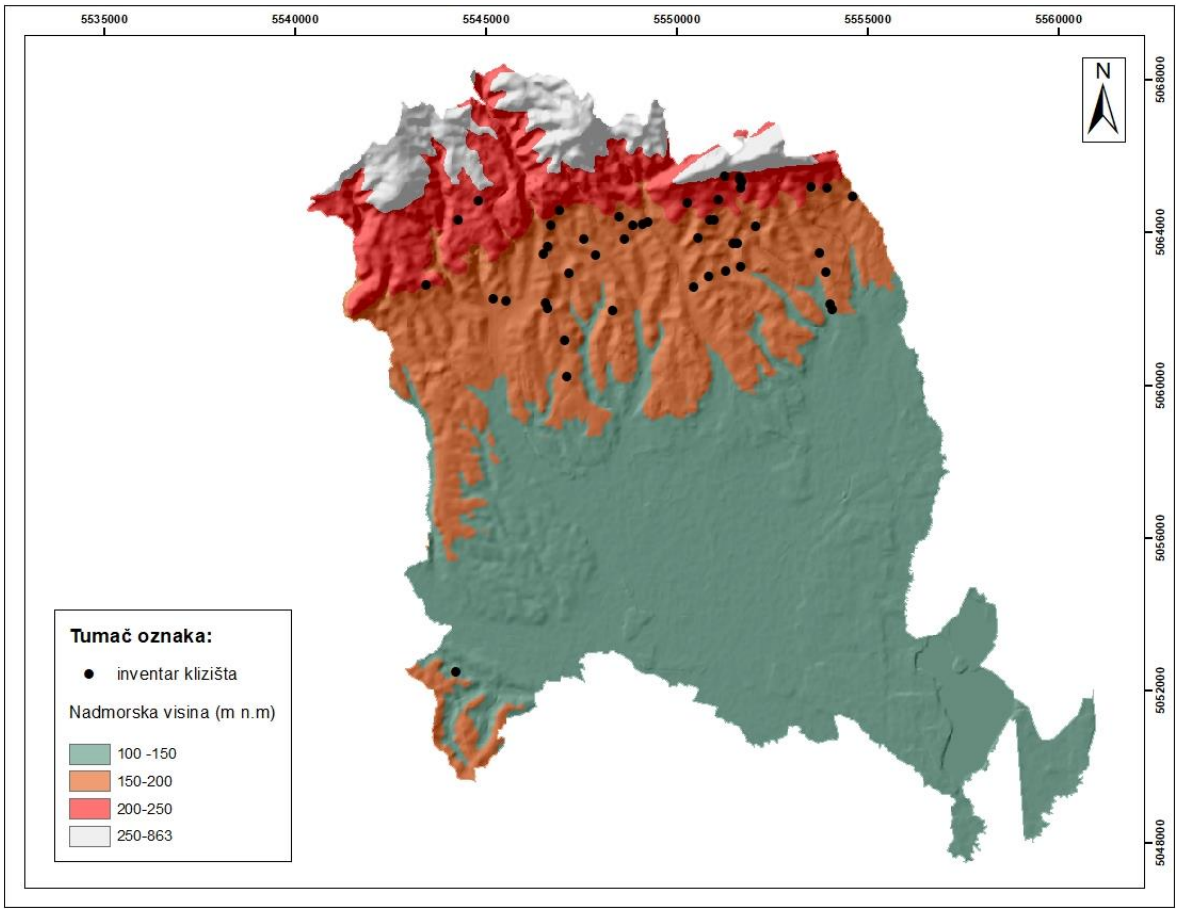
5.2.1. Geomorfološke faktorske karte

Ulazni podatak u svrhu dobivanja izvedenih geomorfoloških faktorskih karata u ovom radu je digitalni model reljefa tzv. DEM rezolucije 25x25 m. Za analizu podložnosti na klizanje korišteni su sljedeći geomorfološki faktori: nadmorska visina, nagib terena, orijentacija padine, zakrivljenost terena i hrapavost terena. U radu Sinčić (2020.) je korišten *Hi*-kvadrat test kojim je dokazana relevantnost navedenih faktora kao parametara za analizu podložnosti, pa se ta logika primjenjuje i u ovom radu.

Karta nadmorske visine, u daljnjem tekstu *NAVI* (slika 5.2.) podijeljena je na četiri klase kao što je i prikazano u tablici 5.1. Iz iste tablice se može iščitati kako je najveća pojava klizišta zabilježena u klasama veće nadmorske visine, tj. od 250 m n.m. naviše s ukupno 23 klizišta što je 48,94% od cjelokupno evidentiranih klizišta na području istraživanja. Nasuprot tome, u klasi do 150 m n.m. nije evidentirana ni jedna pojava klizanja. Ako pogledamo podatke o gustoći klizišta, najveća gustoća s obzirom na površinu klase se javlja u klasi 200-250 m n.m. Pregledom podatka o broju klizišta i gustoći klizišta iste karte u radu Sinčić (2020.) odlučeno je da pridodane Wmap i I.V. vrijednosti nisu sasvim primjenjive za opisivanje težine klasa karte *NAVI* u ovom radu.

Tablica 5. 1. Prikaz evidentiranih klizišta po klasama faktorske karte nadmorske visine s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
103-150 m n.m.	103,20 km^2	0	0.0000	-0,6558	-0.1524
150-200 m n.m.	50,69 km^2	4	0.0789	1,2784	0.3361
200-250 m n.m.	24,06 km^2	20	0.8313	0,0090	-0.0626
250-863 m n.m.	47,98 km^2	23	0.4794	-0,4219	-0.2451
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

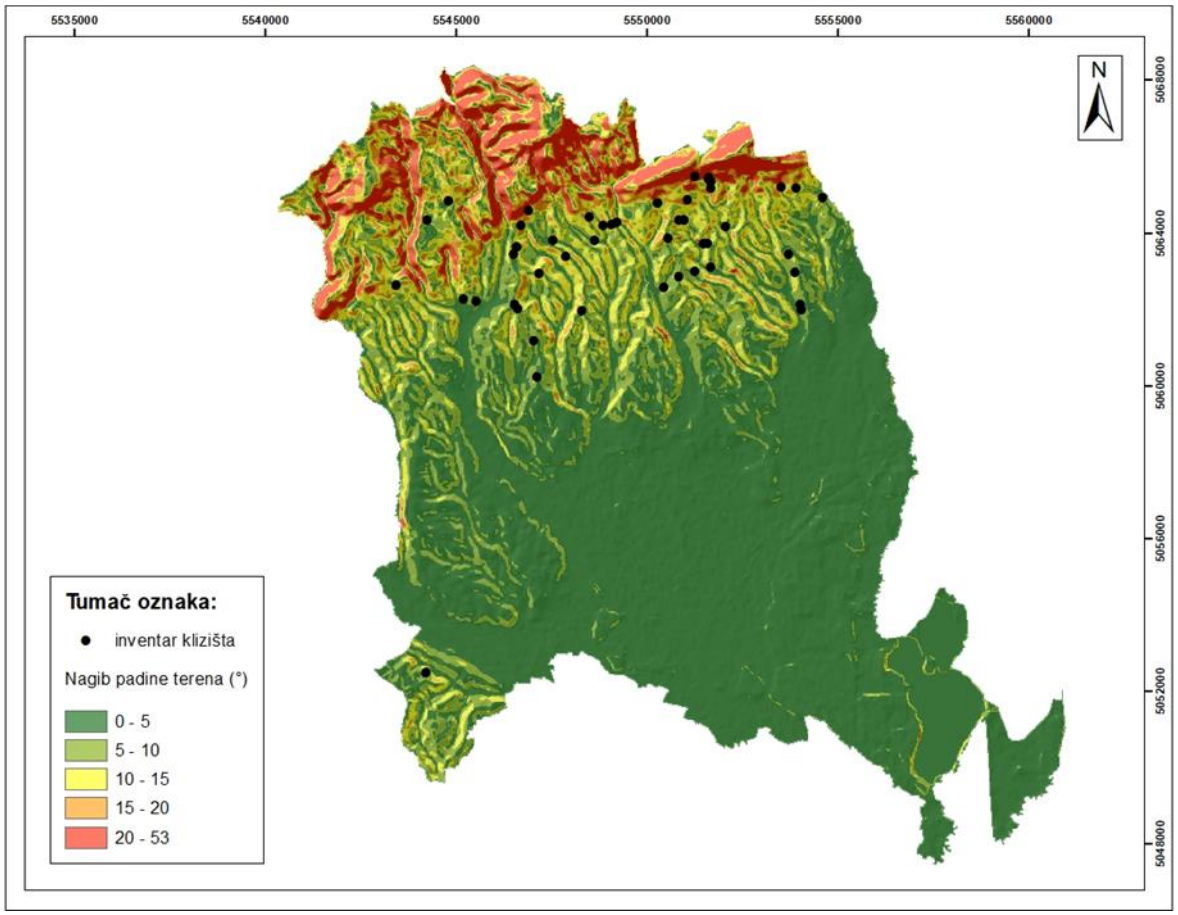


Slika 5. 2. Faktorska karta nadmorske visine za područje grada Jastrebarsko

Faktorska karta nagiba padine terena, u daljnjem tekstu *NATE* (Slika 5.3.) je podijeljena u pet klasa kao što je i prikazano u tablici 5.2. Najveća pojava klizišta u ovom slučaju evidentirana je u klasama s nagibom padine terena 5-10° i 10-15° gdje se ukupno nalazi 34 klizišta tj. 72,34% od svih zabilježenih klizišta na području grada Jastrebarsko. Kao klasa s najmanje klizišta ističe se klasa najvećeg nagiba terena gdje je evidentirano svega 3 pojave klizanja. Promatrajući gustoću klizišta po klasama karte najveća zabilježena je u klasi nagiba 10-15°. Uspoređujući podatke o broju klizišta i gustoći klizišta za istu kartu iz rada Sinčić (2020.) pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti povoljno opisuju težinu pojedine klase karte *NATE* u ovom radu.

Tablica 5. 2. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte nagiba padine terena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-5°	137,80 km^2	5	0.0363	-0,7365	-0.1877
5-10°	39,39 km^2	18	0.4570	0,5086	0.2048
10-15°	23,75 km^2	16	0.6737	0,8420	0.3720
15-20°	10,57 km^2	5	0.4730	0,3173	0.1855
20-53°	14,41 km^2	3	0.2122	1,5970	0.7410
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



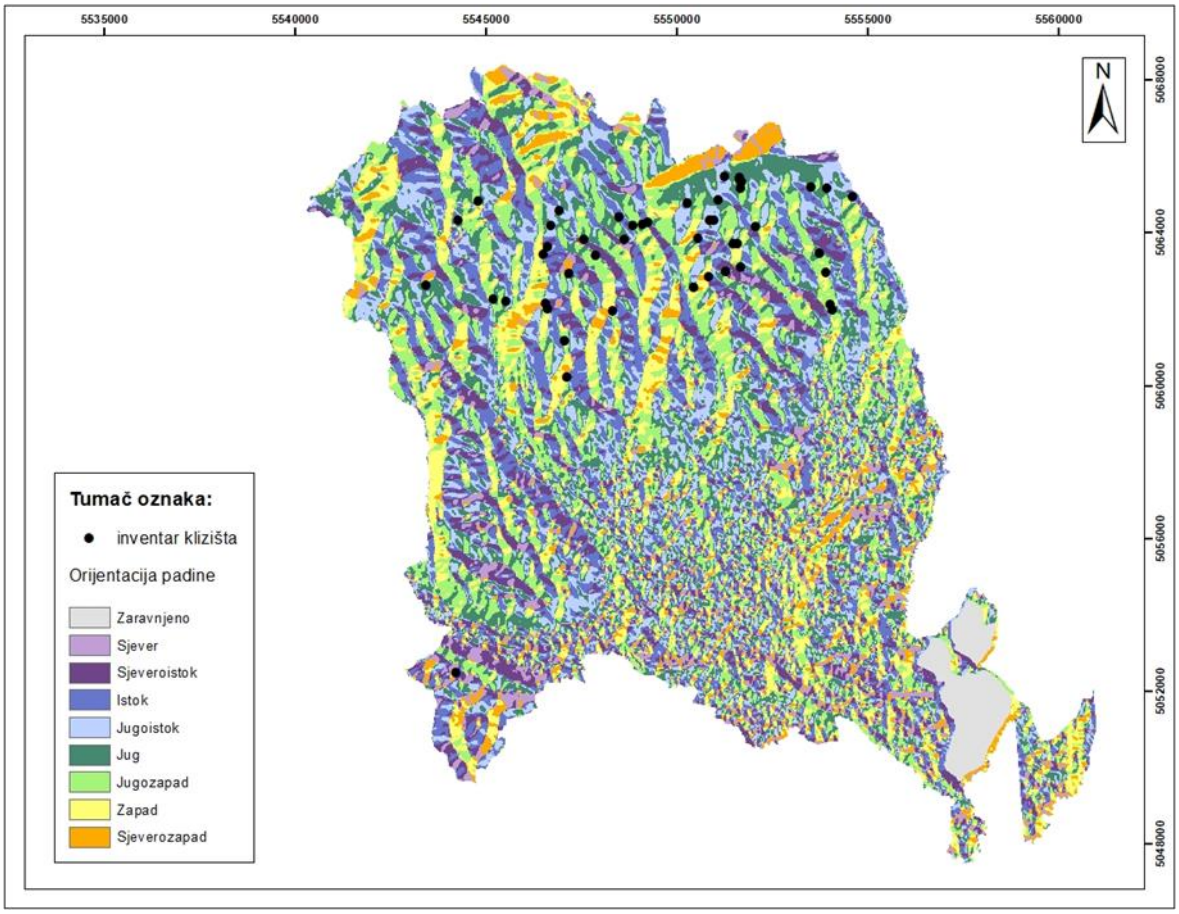
Slika 5. 3. Faktorska karta nagiba terena za područje grada Jastrebarso

Karta orijentacije padine, u daljnjem tekstu *ORPA* (Slika 5.4.) podijeljena je na devet klasa kao što je prikazano u tablici 5.3. Na zaravnjenom terenima nisu evidentirana klizišta kao ni na sjeverno orijentiranim padinama, dok ih je najviše evidentirano na padinama orijentiranim jug – jugoistok, njih 51,06% (24 klizišta). Upravo u klasama s najviše klizišta je zabilježena i najveća gustoća klizišta. Shodno tome, može se zaključiti da navedena orijentacija padina pogoduje pojavi procesa klizanja. Pregledom podataka o klizištima s obzirom na faktorsku kartu orijentacija padine u radu Sinčić (2020.) donijeta je odluka da se

faktorska karta *ORPA* proglasi povoljnom sa stajališta primjenjivosti W_{map} i I.V. vrijednosti u ovom radu.

Tablica 5. 3. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte orijentacije padine s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
Zaravnjeno	5,40 km^2	0	0.0000	-0,0131	0.0000
Sjever	12,03 km^2	0	0.0000	-0,4604	-0.1749
Sjeveroistok	22,40 km^2	5	0.2232	0,5150	0.1897
Istok	36,71 km^2	4	0.1090	0,2199	0.0863
Jugoistok	34,07 km^2	12	0.3522	0,0264	0.0141
Jug	34,93 km^2	12	0.3435	0,5003	0.1909
Jugozapad	37,29 km^2	7	0.1877	-0,5322	-0.2039
Zapad	28,73 km^2	4	0.1392	-0,2593	-0.0952
Sjeverozapad	14,31 km^2	3	0.2096	-0,4933	-0.1873
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

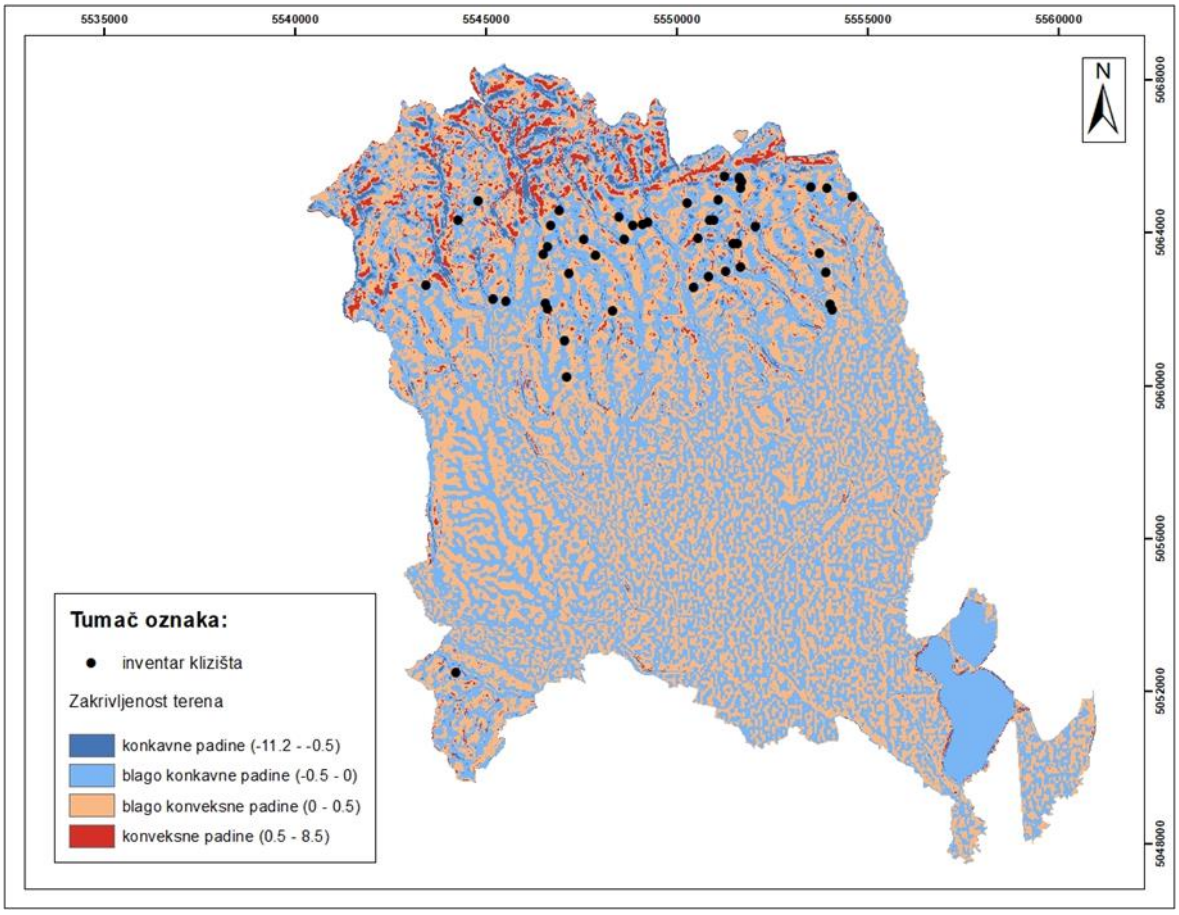


Slika 5. 4. Faktorska karta orijentacije padina terena za područje grada Jastrebarsko

Sljedeća faktorska karta korištena u analizi je karta zakrivljenosti terena, u daljnjem tekstu kao *ZATE* (Slika 5.5.) koja je podijeljena u četiri klase prema tablici 5.4. Pregledom dobivenih rezultata primjećuje se da daleko najveći utjecaj na pojavu klizišta imaju blago konkavne padine s najvećim brojem zabilježenih klizišta, njih 31 tj. postotkom od 65,96%. Također, navedena klasa ima i najveću gustoću klizišta. Karta *ZATE* se pokazala nepovoljnom s obzirom na pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti iz rada Sinčić (2020.) zbog drugačije raspodjele klizišta po klasama, a samim time i različite gustoće klizišta po klasama.

Tablica 5. 4. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte zakrivljenosti terena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
Konkavne padine	6,43 km^2	0	0.0000	0,1683	0.0573
Blago konkavne padine	109,30 km^2	31	0.2836	-0,6572	-0.2082
Blago konveksne padine	103,46 km^2	15	0.1450	-0,5370	-0.1734
Konveksne padine	6,70 km^2	1	0.1493	1,1445	0.3681
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

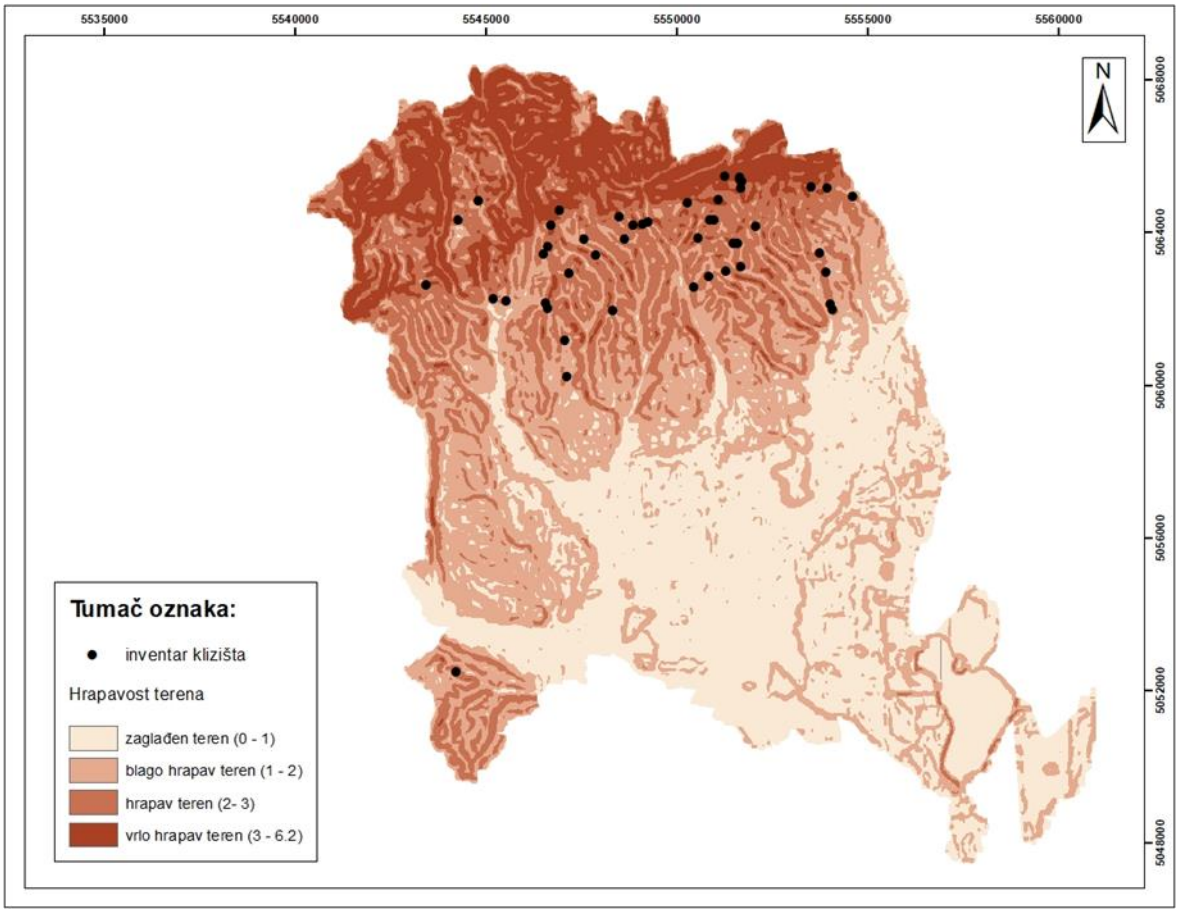


Slika 5. 5. Faktorska karta zakrivljenosti terena za područje grada Jastrebarsko

Zadnja faktorska karta iz domene geomorfologije je karta hrapavosti terena, u daljnjem tekstu *HRATE* (Slika 5.6.). Karta je podijeljena u četiri klase kao što je prikazano u tablici 5.5. U ovom slučaju najveći broj klizišta, njih 26, je u klasi hrapavog terena gdje se nalazi 55,32% klizišta, te ujedno i najveća gustoća klizišta. Niti jedno klizište nije evidentirano u klasi zaglađenog terena koja po ovakvim rezultatima ima najmanji utjecaj na pojavu klizišta. Slična raspodjela podataka klizišta je zabilježena je u radu Sinčić (2020.) čime se ova karta može povoljno ocijeniti s obzirom na primjenu pridodanih W_{map} i I.V. vrijednosti.

Tablica 5. 5. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte hrapavosti terena s pridodanim težinskim vrijednostima za područje grada Jastrebarsko

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
Zaglađen teren	85,54 km^2	0	0.0000	-3,1256	-1.1135
Blago hrapav teren	70,62 km^2	11	0.1558	0,6745	0.1469
Hrapav teren	49,41 km^2	26	0.5262	0,7447	0.2378
Vrlo hrapav teren	26,95 km^2	10	0.3711	0,9832	0.4095
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

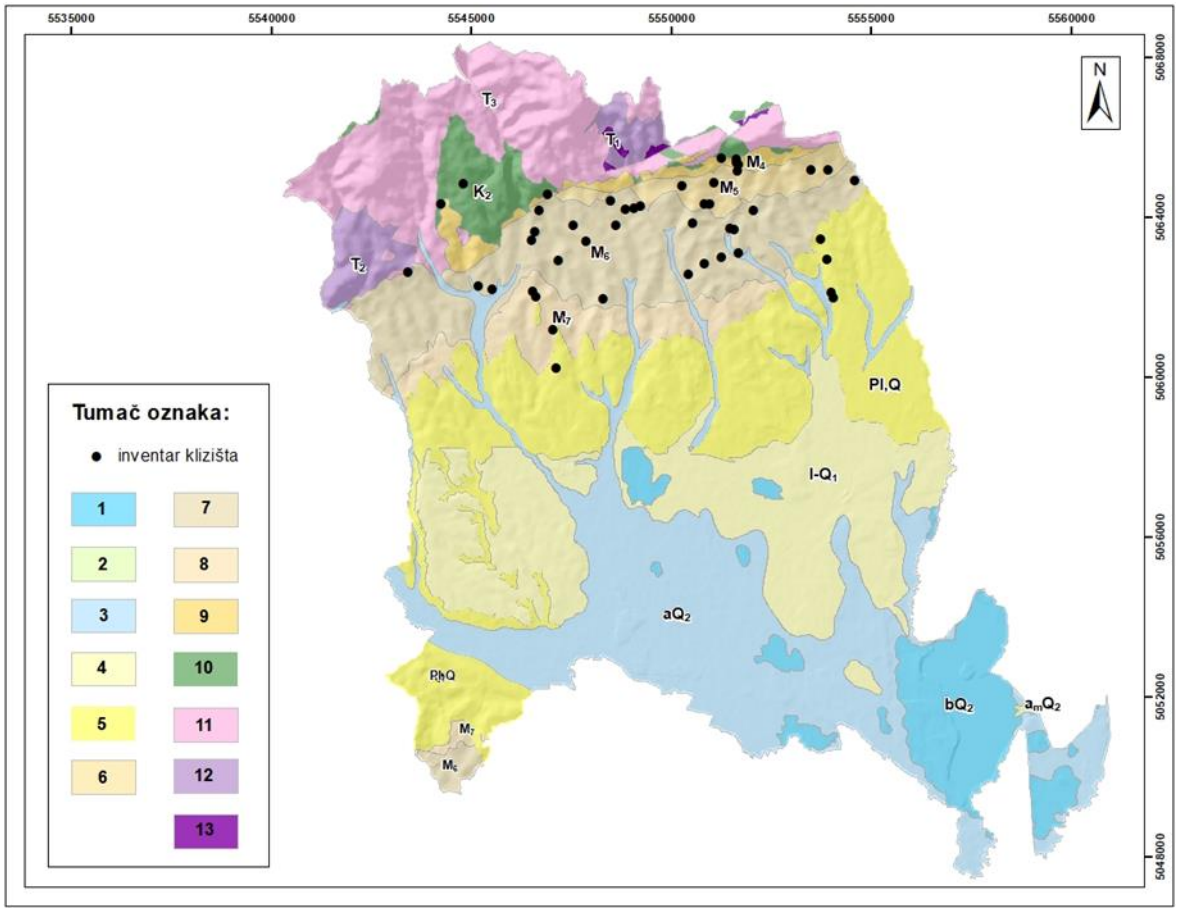


Slika 5. 6. Faktorska karta hrapavosti terena za područje grada Jastrebarsko

5.2.2. Geološke faktorske karte

Litološka građa područja, udaljenost od geološke granice te udaljenost od rasjeda su geološki faktori koji su odabrani za analizu u ovom radu. Kao i u slučaju geomorfoloških faktora i ovdje se slijedi činjenica iznesena u radu Sinčić (2020.) koja pokazuje kako su prema *Hi*-kvadrat testu provedenom u tom radu svi faktori klizanja relevantni za analizu podložnosti na klizanje.

Kao podloga za faktorsku kartu vrsta stijena (Slika 5.7.), u daljnjem tekstu *VRST*, korištena je modificirana tematska karta geologije koja je preklopljena s kartom inventara klizišta. Tako je osigurana podudarnost s klasama vrsta stijena iz rada Sinčić (2020.) i time omogućeno pridodavanja već definiranih težinskih vrijednosti.



Slika 5. 7. Faktorska karta s prilagođenim vrstama stijena za područje grada Jastrebarsko

Pregledom podataka o distribuciji klizišta po pojedinim litološkim klasama na području grada Jastrebarsko (tablica 5.6.) kao klase s najvećim utjecajem na pojavu klizišta istaknule su se klase miocenskih naslaga (M_4, M_5 i M_6) koje su građene pretežito od vapnovitih lapora, pijeska, pješčenjaka, konglomerata, vapnenca i gline. Uvidom u rad Sinčić (2020.)

primijećeno je kako se klizišta na području grada Karlovca pretežno pojavljuju u klasi pliokvartarnih naslaga (Pl,Q) s materijalom sličnim onome u miocenskim naslagama; pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci, silt i barski talozi. Također, ostvarena je poprilična podudarnost broja klizišta u klasama iz ovog rada i klasama iz rada Sinčić (2020.). Na temelju svega navedenog odlučeno je da pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti na karti *VRST* zadovoljavaju uvjet primjenjivosti.

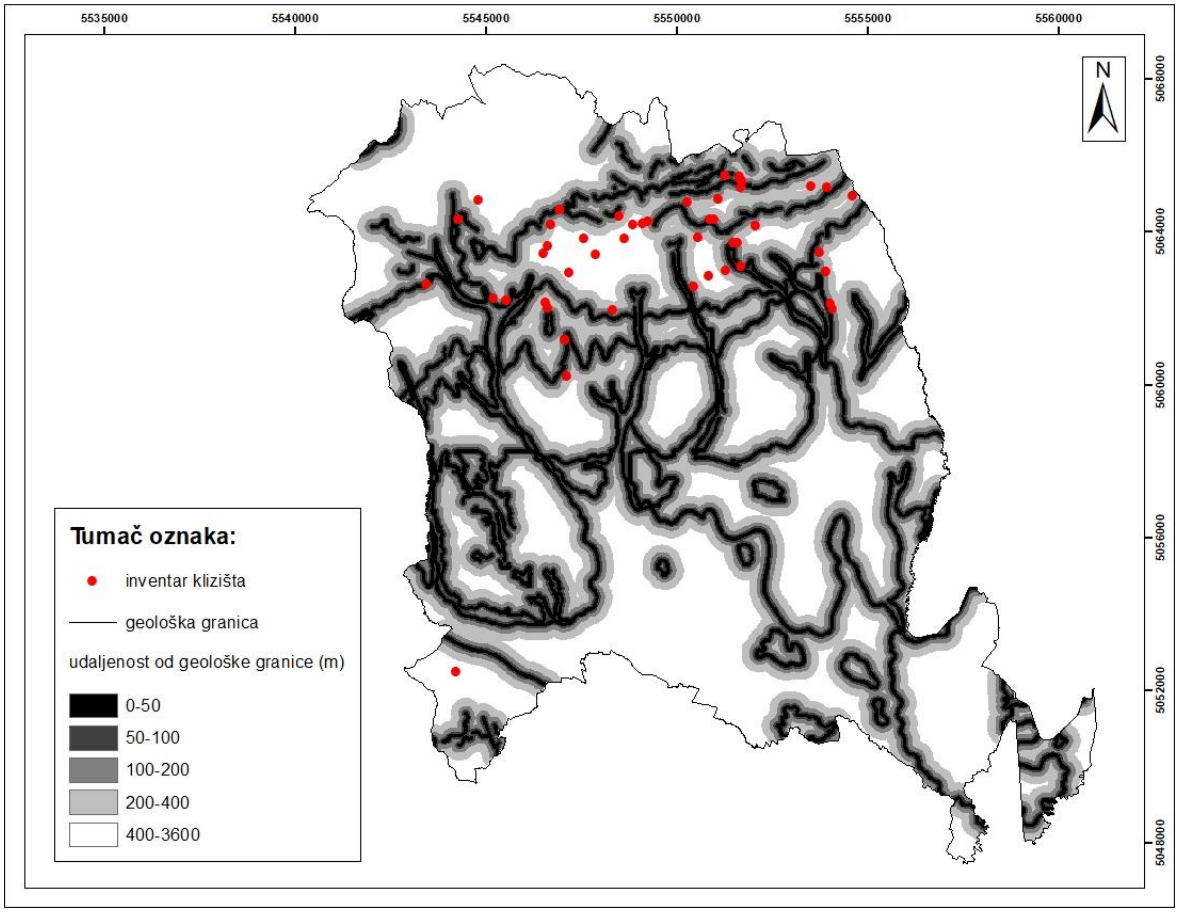
Tablica 5. 6. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte vrste stijena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
bQ_2	15,77 km^2	0	0.0000	-1,6533	-0.6764
a_mQ_2	0,09 km^2	0	0.0000	-0,0786	0.0000
aQ_2	49,39 km^2	0	0.0000	-0,5287	-0.1535
$l\text{-}Q_1$	39,04 km^2	0	0.0000	-1,4837	-0.5688
Pl,Q	45,51 km^2	6	0.1318	0,7119	0.2175
M_7	9,40 km^2	3	0.3191	-0,0695	0.0000
M_6	25,33 km^2	23	0.9080	-0,0701	0.0000
M_5	4,53 km^2	7	1.5453	0,2323	0.1290
M_4	3,17 km^2	6	1.8927	-0,9480	-0.3777
K_2	5,69 km^2	2	0.3515	-0,0686	0.0000
T_3	22,92 km^2	0	0.0000	1,4308	0.6413
T_2	5,11 km^2	0	0.0000	0,1410	0.0903
T_1	0,46 km^2	0	0.0000	0,0934	0.0698
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

Faktorska karta udaljenosti od geoloških granica, u daljnjem tekstu *UDGG*, (Slika 5.8.) podijeljena je na 5 klasa kao što je prikazano u tablici 5.7. Broj evidentiranih klizišta je najveći u klasi 100-200 m gdje je zabilježeno njih 17, odnosno 36,17% od ukupno evidentiranih klizišta na istraživanom području. U istoj klasi je zabilježena i najveća gustoća klizišta. Pregledom podataka o evidentiranim klizištima u radu Sinčić (2020.) zamijećen je velik broj klizišta u klasama do 100 m udaljenosti od geoloških granica čime je podudarnost s podacima u ovom radu minimalna. Na temelju toga odlučeno je kako pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti nisu povoljne za opisivanje težine klasa karte *UDGG*.

Tablica 5. 7. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od geoloških granica s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-50	29,05 km^2	6	0.2065	0,5094	0.1651
50-100	24,33 km^2	2	0.0822	0,4643	0.1680
100-200	37,91 km^2	17	0.4484	-0,7147	-0.2464
200-400	52,44 km^2	12	0.2288	-0,5676	-0.1921
400-3600	82,67 km^2	10	0.1210	-0,1659	-0.0522
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



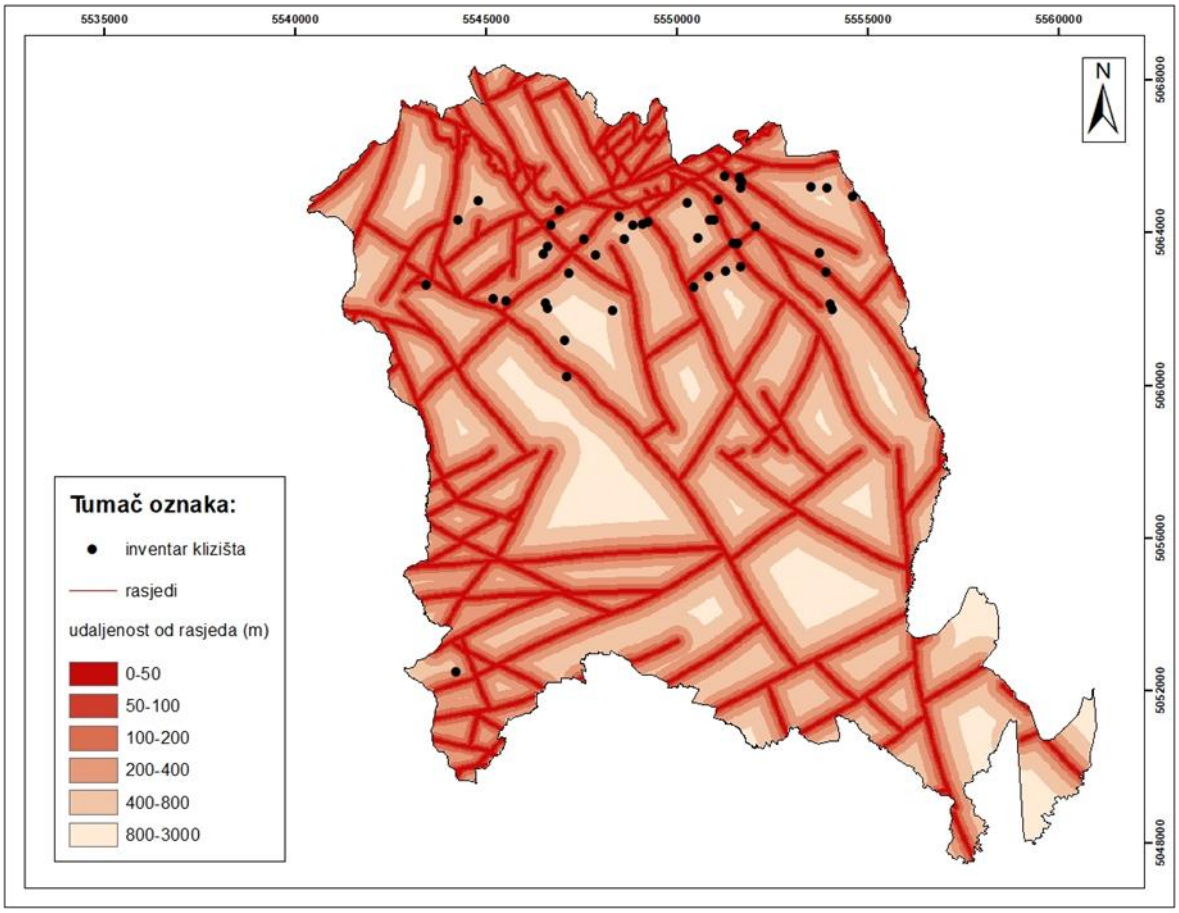
Slika 5. 8. Faktorska karta udaljenosti od geološke granice za područje grada Jastrebarsko

Posljednja faktorska karta iz domene geoloških faktora koji utječu na pojavnost klizišta je karta udaljenosti od rasjeda, u daljnjem tekstu *UDRA* (Slika 5.9.). Ova karta je podijeljena na ukupno šest klasa s raspoređenim zonama udaljenosti od rasjeda kao što je navedeno u tablici 5.8. Iz podataka navedenih u tablici vidljivo je kako je broj evidentiranih klizišta najveći u zoni 200-800 m od samog rasjeda gdje se ukupno gledajući nalazi 26 klizišta tj. 55,32% od ukupno evidentiranih klizišta na cijelom području. No, s obzirom na gustoću klizišta prednjače zone 0-50 m i 400-800 m gdje je zabilježena najveća gustoća pojavnosti

klizišta s obzirom na površinu klase. Pregledom podataka o klizištima u radu Sinčić (2020.) primjećuje se drugačija raspodjela gustoća klizišta u odnosu na ovaj rad stoga je odlučeno kako pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti nisu povoljne za težinski opis klasa faktorske karte *UDRA* u ovom radu.

Tablica 5. 8. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od rasjeda s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-50	27,72 km^2	7	0.2525	0,7211	0.2698
50-100	25,14 km^2	4	0.1591	0,8645	0.3245
100-200	43,24 km^2	10	0.2313	-0,1869	-0.0713
200-400	62,20 km^2	13	0.2090	-0,1166	-0.0418
400-800	51,90 km^2	13	0.2505	0,1032	0.0333
800-3000	16,18 km^2	0	0.0000	-1,2715	-0.4738
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



Slika 5. 9. Faktorska karta udaljenosti od rasjeda za područje grada Jastrebarsko

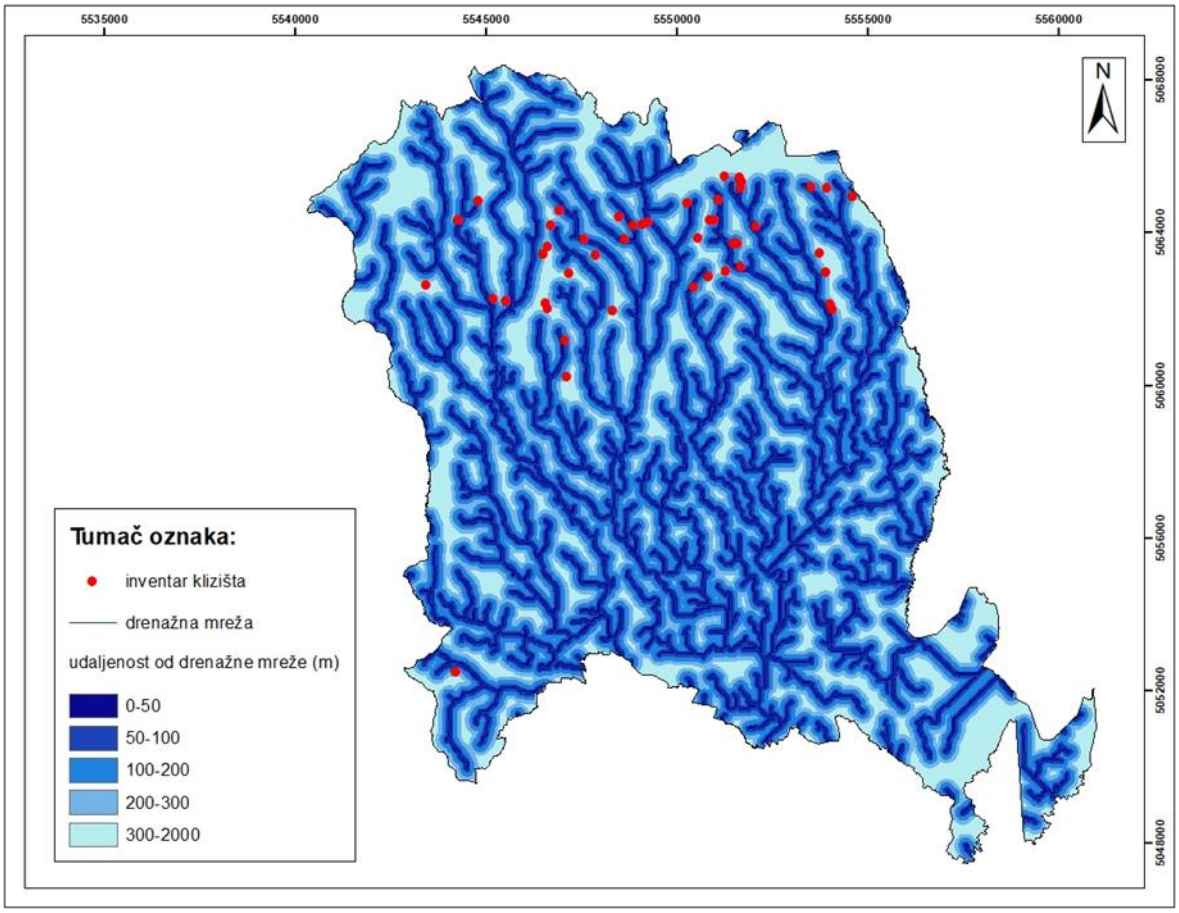
5.2.3. Hidrološke faktorske karte

Najbrojniji faktori korišteni pri analizi podložnosti na klizanje u ovom radu su upravo hidrološki faktori. Kreirane faktorske karte iz domene hidrologije u ovom radu su sljedeće: karta udaljenosti od drenažne mreže, karta udaljenosti od izvora, karta udaljenosti od povremenih vodotoka, karta udaljenosti od stalnih vodotoka, karta udaljenosti od svih vodotoka i karta vlažnosti terena. Sve navedene faktorske karte podijeljene su u identične klase kao i u radu Sinčić (2020.) radi mogućnosti pridodavanja definiranih težinskih faktora. Kao i kod ranije opisanih potpoglavlja i ovdje je relevantnost svih navedenih faktora u svrhu izrade analize podložnosti ispitana *Hi*-kvadrat testom te je pokazano kako su relevantni za provedbu analize.

Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže, u daljnjem tekstu *UDRMR*, prikazana je na slici 5.10., a podjela karte s pripadajućim klasama, distribucijom klizišta i gustoće klizišta po klasi te pridodanim težinskim vrijednostima navedena je u tablici 5.9. Pregledom distribucije klizišta po pojedinim klasama faktorske karte *UDRMR* vidljivo je kako se najveći broj evidentiranih klizišta, njih 25, javlja u rasponu od 100-300 m udaljenosti od drenažne mreže, dok je najveća gustoća klizišta, s obzirom na površinu klase, zabilježena u klasi 200-300 m. Uvidom u podatake o raspodjeli klizišta s obzirom na udaljenost od drenažne mreže u radu Sinčić (2020.) zamjećuje se jednolika raspodjela klizišta po klasama te potpuno različita gustoća klizišta po klasama što odudara od podataka u ovom radu. Shodno tome, odlučeno je kako pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti nisu sasvim povoljne za opisivanje težine klasa u ovom slučaju.

Tablica 5. 9. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte drenažne mreže s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-50	39,23 km^2	6	0.1529	-0,2726	-0.0925
50-100	38,38 km^2	8	0.2084	-0,3512	-0.1233
100-200	68,32 km^2	12	0.1756	-0,2953	-0.0874
200-300	46,74 km^2	13	0.2781	0,8376	0.2735
300-2000	33,71 km^2	8	0.2373	0,0173	0.0089
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



Slika 5. 10. Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže za područje grada Jastrebarsko

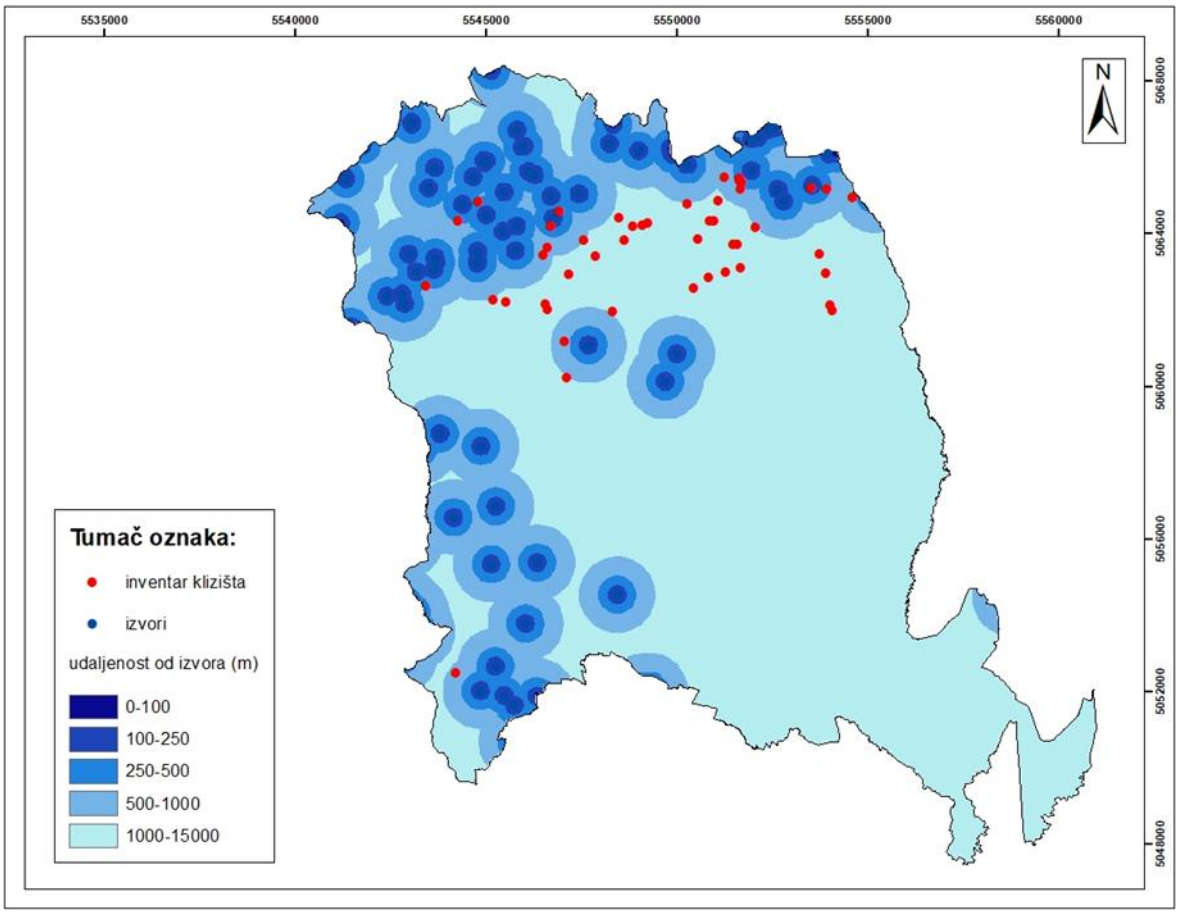
Sljedeća faktorska karta je karta udaljenosti od izvora, u daljnjem tekstu *UDI* (Slika 5.11.). Karta je podijeljena na pet klasa s pripadajućim brojem evidentiranih klizišta u svakoj od klasa, proračunatom gustoćom klizišta te pridodanim W_{map} i I.V. vrijednostima kao što je i prikazano u tablici 5.10

Tablica 5. 10. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od izvora s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-100	1,82 km^2	1	0.5495	-0,4333	-0.2172
100-250	8,75 km^2	2	0.2286	0,9924	0.3649
250-500	23,79 km^2	7	0.2942	-0,0437	-0.0433
500-1000	46,73 km^2	9	0.1926	0,1716	0.0333
1000-15000	145,31 km^2	28	0.1927	-0,2216	-0.0599
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

Prema podacima u tablici broj evidentiranih klizišta je najveći u klasama najudaljenijima od izvora, pa se tako u klasi 1000-15000 m nalazi 28 klizišta od ukupno evidentiranih 47 klizišta

na istraživanom području. Kao posljedica vrlo male površine klase 0-50 m gustoća klizišta te klase je najveća unatoč tome što je evidentirano samo jedno klizište. Uvidom u podatke iz rada Sinčić (2020.) primijećen je isti uzorak pojave klizišta s obzirom na klase udaljenosti od izvora čime se pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti mogu smatrati povoljnima za analizu u ovom radu.

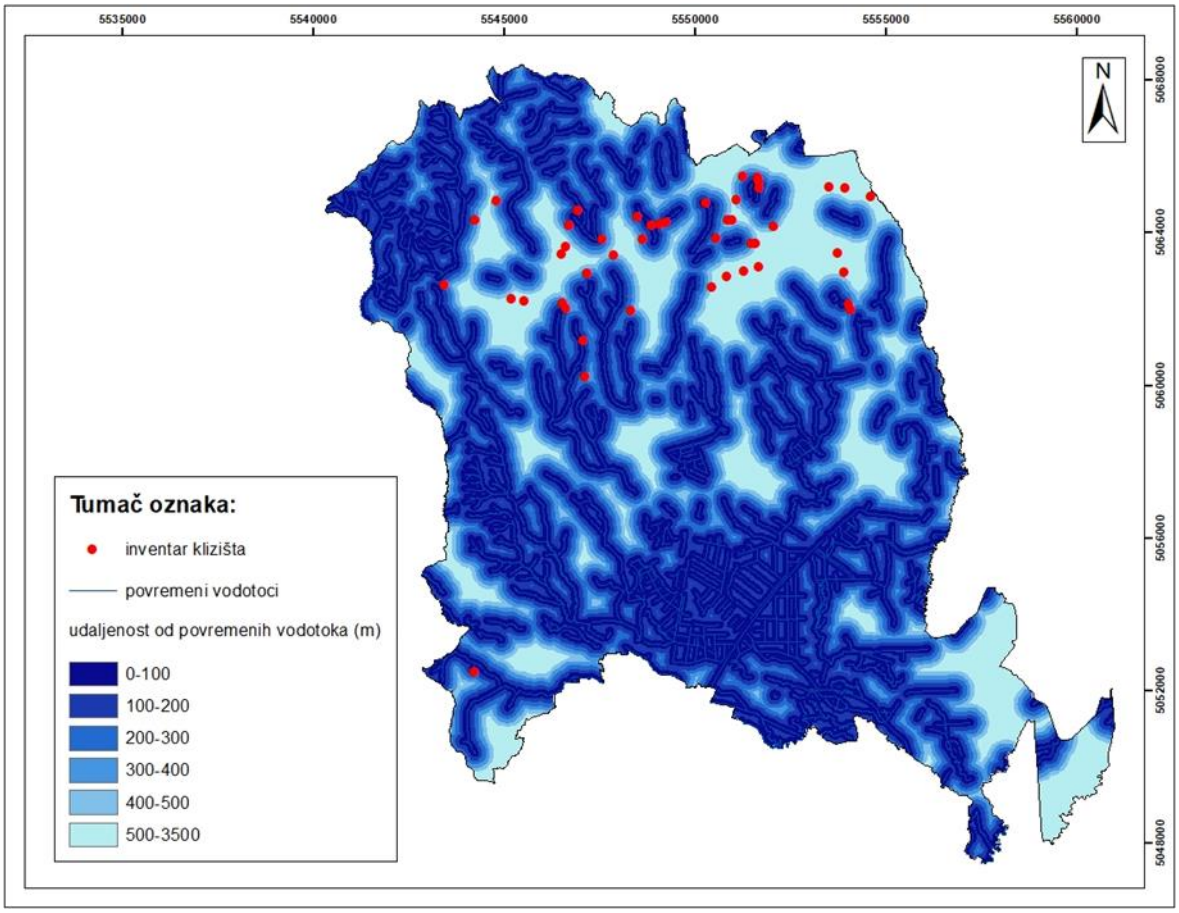


Slika 5. 11. Faktorska karta udaljenosti od izvora za područje grada Jastrebarsko

Slijede opisi faktorskih karta vodotoka područja grada Jastrebarsko. Prva je karta udaljenosti od povremenih vodotoka, u daljnjem tekstu *UDPO*, koja je prikazana na slici 5.11. Karta je podijeljena na šest klasa i svakoj od klasa su pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti kao što je i prikazano u tablici 5.11.

Tablica 5. 11. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od povremenih vodotoka s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-100	70,09 km^2	7	0.0999	-0,9452	-0.3145
100-200	50,74 km^2	7	0.1380	-0,3051	-0.1080
200-300	34,08 km^2	9	0.2641	-0,1659	-0.0665
300-400	22,96 km^2	6	0.2613	0,3864	0.1432
400-500	16,01 km^2	4	0.2498	-0,1215	-0.0555
500-3500	32,51 km^2	14	0.4306	1,4511	0.5022
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



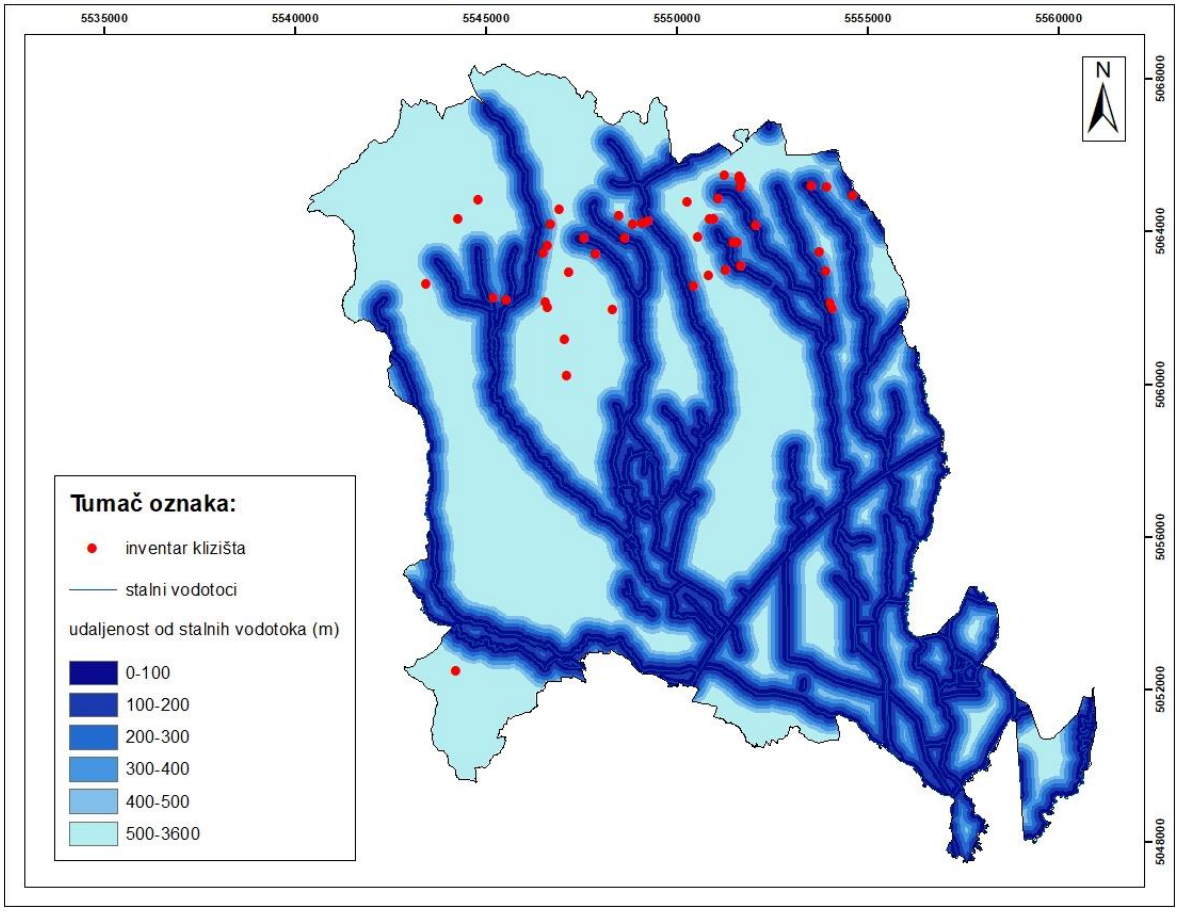
Slika 5. 12. Faktorska karta udaljenosti od povremenih vodotoka za područje grada Jastrebarsko

Najveći broj evidentiranih klizišta nalazi se u najudaljenijoj klasi 500-3500 m gdje je zabilježeno 14 klizišta odnosno 29,79% od ukupnog broja klizišta na istraživanom području. Gledajući gustoću klizišta s obzirom na površinu klase, najveća zabilježena gustoća je u rasponu klasa 200-400 m udaljenosti od povremenih vodotoka. Pridodane težinske vrijednosti iz rada Sinčić (2020.) u ovom slučaju nisu povoljne za opis težina pojedinih klasa s obzirom da se u tom radu podaci o broju klizišta različito grupiraju po klasama u odnosu

na podatke u ovom radu. Karta udaljenosti od stalnih vodotoka, u daljnjem tekstu *UDST* (Slika 5.13.) je podijeljena također na šest klasa koje su navedene u tablici 5.12. uz odgovarajuće pridodane W_{map} i I.V. vrijednosti, površine klasa te broj klizišta i gustoću klizišta po pojedinoj klasi.

Tablica 5. 12. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od stalnih vodotoka s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-100	39,71 km^2	6	0.1511	0,3631	0.1500
100-200	33,21 km^2	8	0.2409	-0,5716	-0.1991
200-300	27,82 km^2	7	0.2516	0,0949	0.0605
300-400	23,00 km^2	6	0.2609	-0,6948	-0.2560
400-500	18,10 km^2	5	0.2762	-1,4087	-0.5591
500-3600	84,58 km^2	15	0.1773	0,1851	0.0562
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



Slika 5. 13. Faktorska karta udaljenosti od stalnih vodotoka za područje grada Jastrebarsko

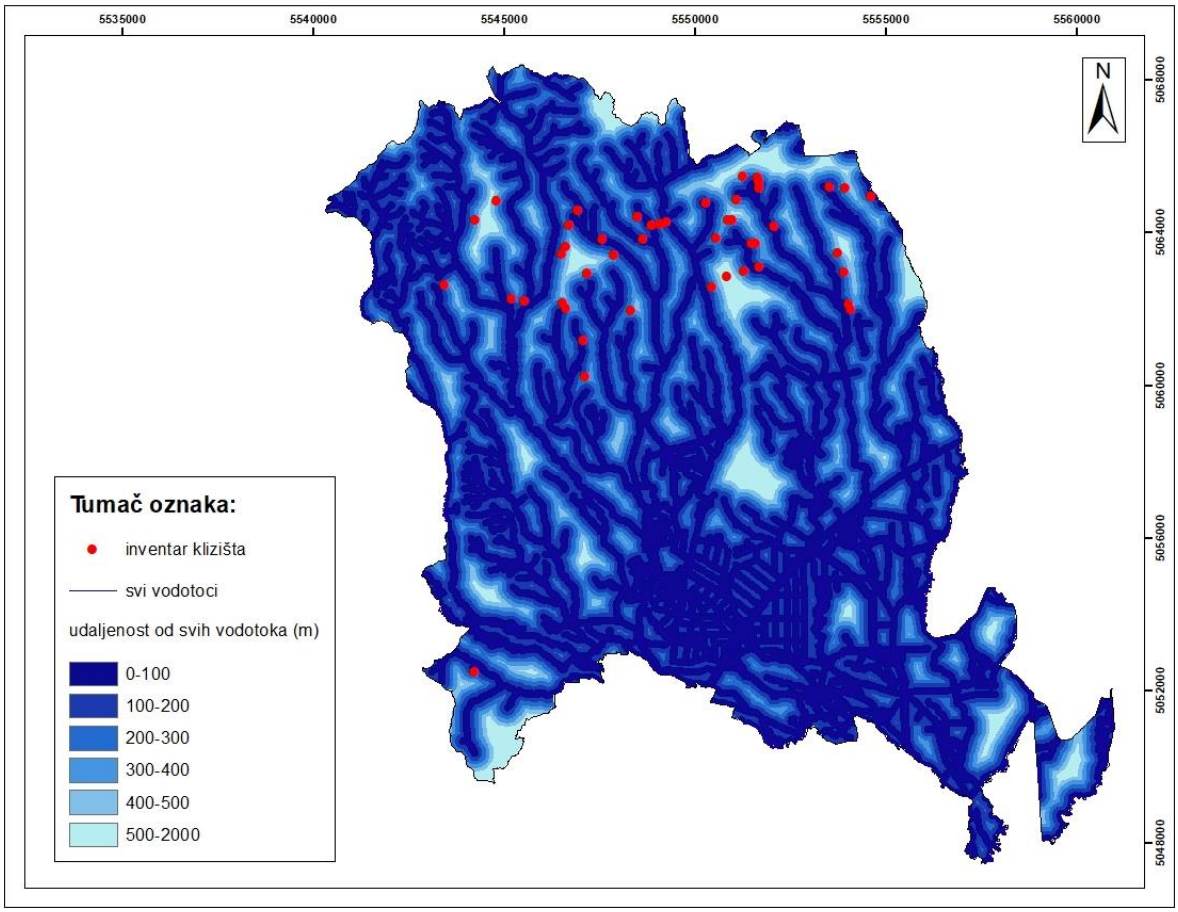
U ovom slučaju je najviše klizišta evidentirano u najudaljenijoj klasi 500-3600 m od stalnih vodotoka gdje se nalazi 15 klizišta odnosno 31,91% od ukupnog broja klizišta s analiziranog područja. No, unatoč tome kao klasa s najvećom gustoćom klizišta ističe se klasa 400-500 m udaljenosti od stalnih vodotoka gdje je evidentirano svega 5 klizišta. Uvidom u podatke o raspodjeli klizišta po klasama faktorske karte *UDST* za područje grada Karlovca odlučeno je da pridodane težinske vrijednosti u ovom rada nisu povoljne za opisivanje težine pojedinih klasa s obzirom na različitu raspodjelu podataka u odnosu na rad Sinčić (2020.)

Posljednja faktorska karta na temu vodotoka je faktorska karta udaljenosti od svih vodotoka, u daljnjem tekstu *UDVO* (Slika 5.14.). Karta je izvedena tako da objedinjuje stalne i povremene vodotoke kako bi se analizirao ukupan učinak vodotoka na pojavnost klizišta na području grada Jastrebarsko. Karta je podijeljena na šest klasa, a podaci o broju klizišta, težinskim vrijednostima, gustoći klizišta po klasi i površini klasa dani su u tablici 5.13.

Tablica 5. 13. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od svih vodotoka s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-100	99,52 km^2	12	0.1206	-0,5088	-0.1547
100-200	60,45 km^2	12	0.1985	-0,4700	-0.1829
200-300	34,14 km^2	13	0.3808	-0,0225	-0.0335
300-400	17,49 km^2	8	0.4574	-0,0840	-0.0611
400-500	8,49 km^2	1	0.1178	0,7735	0.2930
500-2000	6,31 km^2	1	0.1585	1,8230	0.6527
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

Objedinjavanjem povremenih i stalnih vodotoka kao rezultat dobivamo značajan broj klizišta u klasama do 200 m udaljenosti od vodotoka, njih 24 odnosno 51,06% klizišta od ukupnog broja evidentiranih klizišta na analiziranom području. No, gledajući gustoću klizišta po klasi, najveća se gustoća javlja u klasi 300-400 m udaljenosti od vodotoka gdje je evidentirano svega 8 klizišta, no na maloj površini. Sličan uzorak rasprostranjenosti klizišta po klasama udaljenosti od svih vodotoka je primijećen i u radu Sinčić (2020.) čime pridodane težinske vrijednosti povoljno opisuju težinu pojedine klase u ovom radu.



Slika 5. 14. Faktorska karta udaljenosti od svih vodotoka za područje grada Jastrebarsko

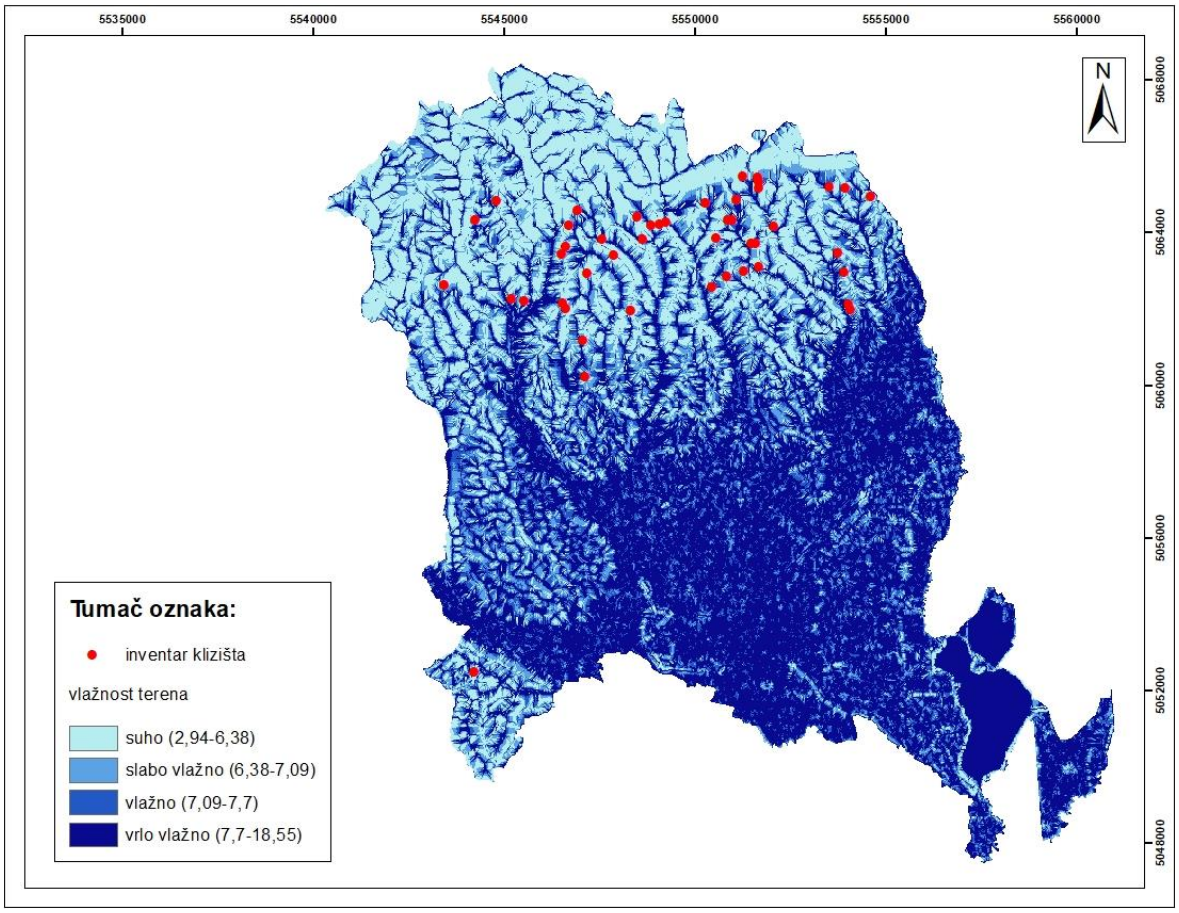
Konačna karta iz domene hidroloških faktora koja je kreirana u svrhu ove analize je faktorska karta vlažnosti terena, u daljnjem tekstu *VLATE* (Slika 5.15.) Karta prikazuje raspodjelu vlažnosti terena na području grada Jastrebarsko prema tablici 5.14. Raspodjela klasa je prilagođena onoj u radu Sinčić (2020.), a jedino odstupanje je u maksimalnoj i minimalnoj vrijednosti s obzirom da se radi o različitim terenima istraživanja.

Tablica 5. 14. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte vlažnosti terena s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
Suho (2,94-6,38)	55,95 km^2	23	0.4111	1,0499	0.3393
Slabo vlažno (6,38-7,09)	36,41 km^2	14	0.3845	0,1912	0.0814
Vlažno (7,09-7,7)	32,06 km^2	6	0.1871	-1,6695	-0.5658
Vrlo vlažno (7,7-18,55)	101,45 km^2	4	0.0394	-1,2824	-0.4580
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

U slučaju karte *VLATE* pregledom tabličnih rezultata pojave klizišta evidentno je kako najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa suhog terena u kojoj je zabilježeno 23 klizišta

odnosno 48,94% od ukupnog broja klizišta na promatranom području. Ta klasa daje i najveću gustoću klizišta. Kao i u slučaju karte *UDVO* u radu Sinčić (2020.) je evidentiran isti uzorak rasprostranjenosti klizišta po klasama vlažnosti terena čime su pridodane težinske vrijednosti karti *VLATE* u ovom radu ocijenjene povoljno.



Slika 5. 15. Faktorska karta vlažnosti terena za područje grada Jastrebarsko

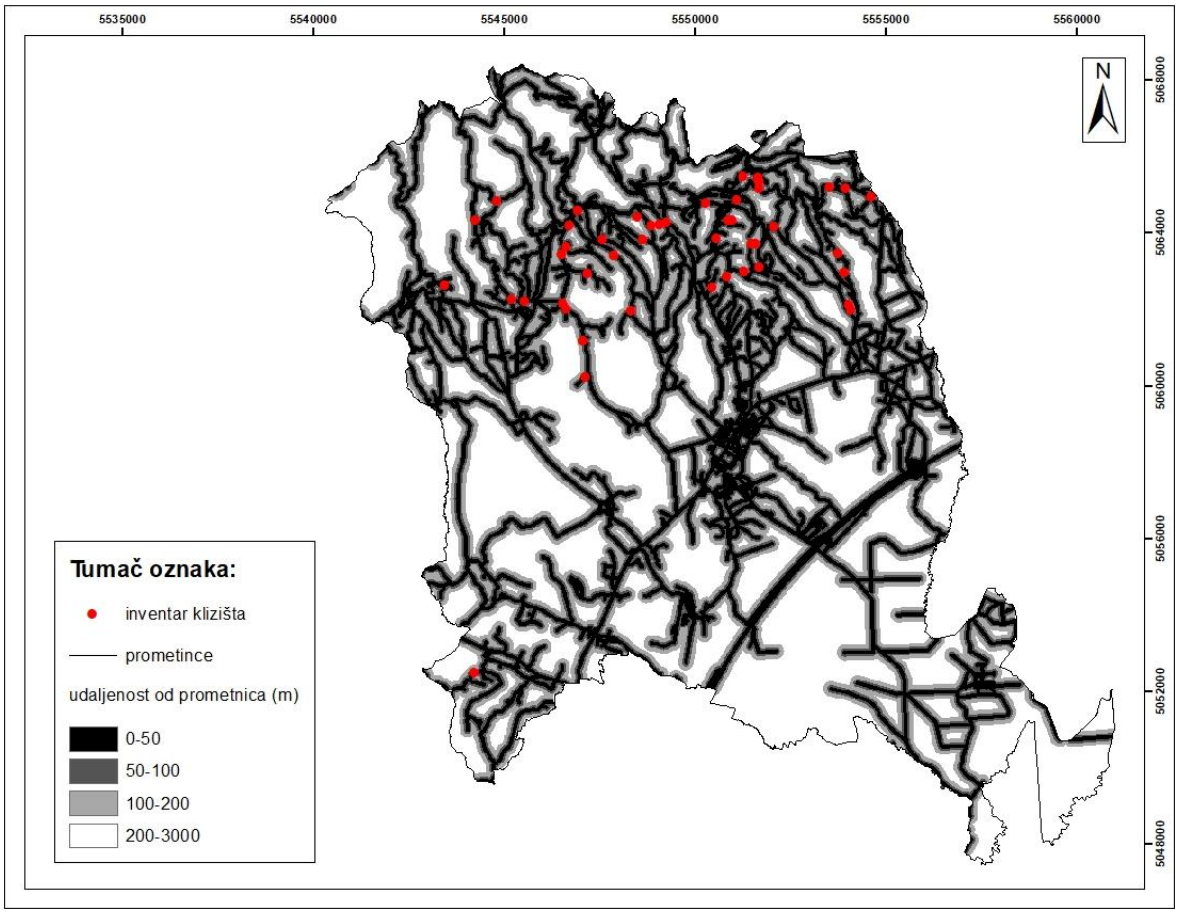
5.2.4. Antropološke faktorske karte

Posljednja skupina faktora koja ulazi u analizu u sklopu ovog rada su antropološki faktori. To su oni faktori koji su nastali kao posljedica ljudskog djelovanja u okolišu. Od antropoloških faktora su korišteni sljedeći: namjena zemljišta (podjela na dvije razine detaljnosti, A i B) te udaljenost od prometnica na području grada Jastrebarsko. Relevantnost ovih, kao i svih do sad opisanih faktora, provjerena *Hi*-kvadrat testom u radu Sinčić (2020.) čime je zaključeno kako su kreirane faktorske karte relevantne za provedbu analize podložnosti. Karta udaljenosti od prometnica, u daljnjem tekstu *UDPR* (Slika 5.16.) je

podijeljena na četiri klase kojima su pridodane definirane W_{map} i I.V. težinske vrijednosti kao što je i prikazano u tablici 5.15.

Tablica 5. 15. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte udaljenosti od prometnica s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
0-50	51,54 km^2	34	0.6597	2,495	0.6891
50-100	39,47 km^2	10	0.2534	-2,662	-0.6711
100-200	52,99 km^2	3	0.0566	-3,440	-0.9708
200-3000	82,40 km^2	0	0.0000	-3,511	-0.8327
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/



Slika 5. 16. Faktorska karta udaljenosti od prometnica za područje grada Jastrebarsko

Pregledom rezultata evidentiranih klizišta u zoni tik do prometnica, odnosno zoni 0-50 m, registrirano je 34 klizišta, tj. 72,34% od ukupnog broja klizišta, a kumulativno gledajući u zoni 0-100 m čak 93,62% klizišta. Dakle sa sigurnošću se može reći kako prometnice, koje su antropološki faktor, za razliku od do sada analiziranih prirodnih faktora, najviše doprinose nestabilnosti padina i pojavi klizišta, čime karta *UDPR* dobiva veliki značaj u ovoj analizi.

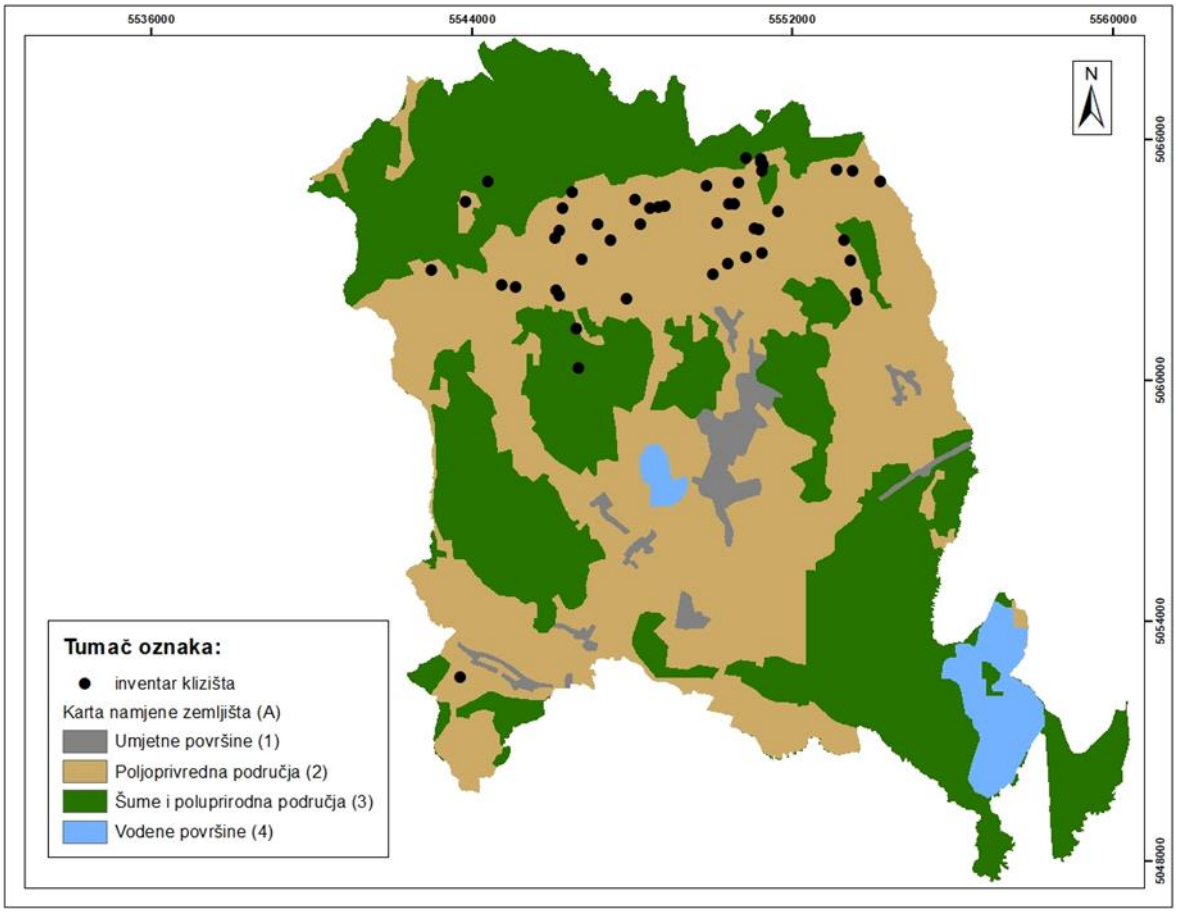
Ako promatramo podatke o gustoći klizišta klasa 0-50 m prednjači s daleko najvećim brojem klizišta po jedinici površine. Uvidom u podatke iz rada Sinčić (2020.) na području grada Karlovca zabilježeno je čak 123 klizišta u zoni 0-50 m udaljenosti od prometnica, a općenito je vidljiv sličan uzorak evidentiranih klizišta po klasama kao i u ovom radu čime pridodane težinske vrijednosti dobivaju značaj u ovoj analizi.

Sljedeće dvije karte obuhvaćaju analizu istog faktora, a radi se o faktoru namjene zemljišta na području grada Jastrebarsko. Jedina razlika u kartama je detaljnost podjele namjene zemljišta, pa tako razlikujemo kartu namjene zemljišta A, u daljnjem tekstu *NAZE_A*(Slika 5.17) i kartu namjene zemljišta B, u daljnjem tekstu *NAZE_B* (Slika 5.18.). Karta *NAZE_A* predstavlja prvu razinu podjele kao što je navedeno u tablici 5.16, a karta *NAZE_B* drugu razinu podjele koja je navedena u tablici 5.17.

Tablica 5. 16. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte namjene zemljišta A s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

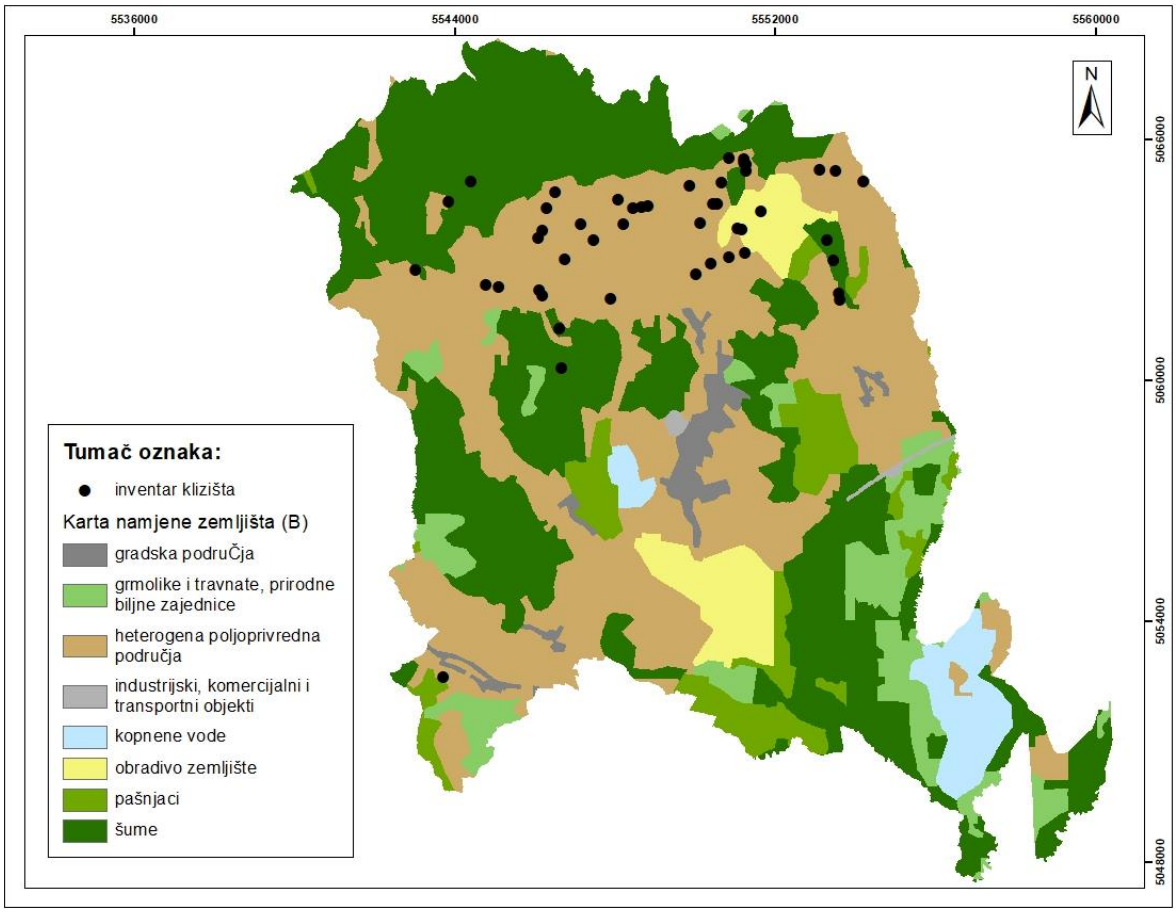
Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
Umjetne površine	6,73 km^2	0	0.0000	0,3478	0.2789
Poljoprivredne područja	108,62 km^2	42	0.3867	0,8260	0.1869
Šume i polupri. područja	103,47 km^2	5	0.0483	-2,3821	-0.6762
Vodene površine	7,62 km^2	0	0.0000	0,8384	0.4950
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	/

Prema rezultatima temeljenim na karti *NAZE_A* za područje grada Jastrebarsko u tablici iznad evidentirano je 42 klizišta na terenu klasificiranom kao poljoprivredno područje, što čini čak 89,36% od ukupnog broja klizišta. Također, navedena klasa prednjači i s gustoćom klizišta. Dakle s velikom sigurnošću se može zaključiti kako najveći utjecaj na pojavnost klizišta ima klasa poljoprivrednog područja. Slična raspodjela podataka je prikazana i u radu Sinčić (2020.) stoga je odlučeno kako su pridodane težinske vrijednosti u ovom radu opravdane.



Slika 5. 17. Faktorska karta namjene zemljišta A izvedena s obzirom na klasifikaciju prema prvoj razini

Kod karte *NAZE_B* (Slika 5.18.), odnosno druge razine podjele, imamo duplo veći broj klasa (tablica 5.17.) pa je i za očekivati kako će se broj klizišta raspršiti po pojedinim klasama. No, unatoč tome i dalje najpodložnija klasa je heterogeno poljoprivredno područje s 36 evidentiranih klizišta tj. postotkom od 76,6% uz par klizišta, u njemu srodnom, području obradivog zemljišta. Ovdje valja primijetiti kako u 4 od 8 klasa nije evidentirano ni jedno klizište.



Slika 5. 18. Faktorska karta namjene zemljišta B izvedena s obzirom na klasifikaciju prema drugoj razini

Tablica 5. 17. Prikaz distribucije klizišta po klasama faktorske karte namjene zemljišta B s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.)

Klasa	Površina klase	Broj klizišta u klasi	Gustoća klizišta (kliz./km^2)	W_{map}	I.V.
Gradska područja	5,06 km^2	0	0.0000	0,5716	0.4030
Grmolike i travnate prirodne biljne zajednice	16,31 km^2	0	0.0000	-2,1509	-0.7253
Heterogena poljoprivredna područja	88,84 km^2	36	0.4052	1,0337	0.2646
Industrijski, komercijalni i transportni objekti	0,64 km^2	0	0.0000	-0,4279	0.0000
Kopnene vode	7,35 km^2	0	0.0000	0,7638	0.4950
Obradivo zemljište	10,17 km^2	3	0.2950	-0,4455	0.0000
Pašnjaci	13,84 km^2	0	0.0000	-1,8949	-0.6216
Šume	84,20 km^2	8	0.0950	-2,3231	-0.6666
Ukupno područje	**226 km^2**	**47**	**0.2080**	/	

Dakle, kao i u slučaju karte *NAZE_A* gotovo sva klizišta su u klasi poljoprivrednog područja, točnije heterogenog poljoprivrednog područja što tu klasu čini najpodložnijom za razvitak

novih klizišta. Isti slučaj se javlja i u radu Sinčić (2020.) pa se može reći kako su pridodane težinske vrijednosti povoljne za primjenu i u ovom radu.

Tijekom ovog poglavlja, odnosno, analize podložnosti na klizanje sa stajališta primjenjivosti kreiranih faktorskih karta ocijenjena je povoljna primjena preuzetih W_{map} i I.V. vrijednosti na 9 od ukupno kreiranih 17 faktorskih karata. Valjanost primjene pridodanih definiranih težinskih vrijednosti iz rada Sinčić (2020.) označena je ili zelenom (opravdana primjena) ili crvenom (nepovoljna primjena) bojom. Ocjenjivanje se baziralo na međusobnom uspoređivanju uzoraka raspodjele broja klizišta po klasama te gustoće klizišta po klasama iz rada Sinčić (2020.) i ovog rada. No, prilikom provedbe postupaka kreiranja scenarija pojedinih karata podložnosti u ovom radu korištene su i one karte koje nisu povoljno ocijenjene sa stajališta primjenjivosti definiranih težinskih vrijednosti što će biti prikazano u poglavljima koja slijede. Njihovo korištenje je opravdano s obzirom na to da su te karte bile korištene u kreiranju originalnih scenarija u radu Sinčić (2020.), a upravo ti scenariji su temelj za analize provedene u ovom radu.

Konačno, u okviru ove cjeline izrađene su i objedinjene tablice za svaki od utjecajnih faktora (tablica 5.18- 5.21.) sa svim do sada spomenutim podacima. Treba napomenuti kako su navedene tablice nadopunjene stupcima koji služe u svrhu provođenja statističko-heurističke analize. Pod nadopunom se misli na pridodane ocijene svakoj od klasa obzirom na proračunatu gustoću klizišta u pojedinoj klasi. Svaka klasa je ocijenjena ocjenom od 1 do 5 prema utjecaju na pojavnost klizanja gdje ocjena 1 predstavlja nizak utjecaj, a ocjena 5 vrlo visok utjecaj. Ocjene su pridodane subjektivno, a kao orijentir u procesu ocjenjivanja su uzete maksimalne i minimalne vrijednosti gustoće klizišta u klasama za svaki od promatranih faktora, gdje je maksimalna gustoća ocijenjena s 5, a minimalna s 1. Ostale ocjene su zatim raspoređene unutar tog raspona. Cjelokupan proces kreiranja scenarija prema statističko-heurističkoj metodi analize podložnosti na klizanje, koristeći ovako ocijenjene klase, opisan je u sljedećem poglavlju.

Tablica 5. 18. Objedinjeni prikaz klasa geomorfoloških faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko

Faktori klizanja	Faktorske karte	Klase	Površina klase (km2)	Broj klizišta u klasi	Postotak klizišta u klasi	Gustoća klizišta (po km2)	Težina klase (1-5)
Geomorfološki faktori	**NAVI**	103-150	103.20	0	0.0%	0.0000	1
		150-200	50.69	4	8.5%	0.0789	1
		200-250	24.06	20	42.6%	0.8313	5
		250-863	47.98	23	48.9%	0.4794	3
		Ukupno područje	226.00	47	100%	0.2080	
	NATE	0-5°	137.80	5	10.6%	0.0363	1
		5-10°	39.39	18	38.3%	0.4570	4
		10-15°	23.75	16	34.0%	0.6737	5
		15-20°	10.57	5	10.6%	0.4730	4
		20-53°	14.14	3	6.4%	0.2122	2
		Ukupno područje	226.00	47	100%	0.2080	
	ORPA	Zaravnjeno	5.40	0	0.0%	0.0000	1
		Sjever	12.03	0	0.0%	0.0000	1
		Sjeveroistok	22.40	5	10.6%	0.2232	4
		Istok	36.71	4	8.5%	0.1090	1
		Jugoistok	34.07	12	25.5%	0.3522	5
		Jug	34.93	12	25.5%	0.3435	5
		Jugozapad	37.29	7	14.9%	0.1877	3
		Zapad	28.73	4	8.5%	0.1392	2
		Sjeverozapad	14.31	3	6.4%	0.2096	4
		Ukupno područje	226.00	47	100%	0.2080	
	ZATE	Konkavne padine	6.43	0	0.0%	0.0000	1
		Blago konkavne padine	109.30	31	66.0%	0.2836	5
		Blago konveksne padine	103.46	15	31.9%	0.1450	3
		Konveksne padine	6.70	1	2.1%	0.1493	3
		Ukupno područje	226.00	47	100%	0.2080	
	HRATE	Zaglađen teren	85.54	0	0.0%	0.0000	1
		Blago hrapav teren	70.62	11	23.4%	0.1558	2
		Hrapav teren	49.41	26	55.3%	0.5262	5
		Vrlo hrapav teren	26.95	10	21.3%	0.3711	3
		Ukupno područje	226.00	47	100%	0.2080	

***NAVI**-karta nadmorske visine, **NATE**-karta nagiba terena, **ORPA**-karta orijentacije padine, **ZATE**-karta zakrivljenost terena, **HRATE**- karta hrapavosti terena*

Tablica 5. 19. Objedinjeni prikaz klasa geoloških faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko

Faktori klizanja	Faktorske karte	Klase	Površina klase (km2)	Broj klizišta u klasi	Postotak klizišta u klasi	Gustoća klizišta (po km2)	Težina klase (1-5)
Geološki faktori	**VRST**	bQ2	15.77	0	0.0%	0.0000	1
		amQ2	0.09	0	0.0%	0.0000	1
		aQ2	49.39	0	0.0%	0.0000	1
		l-Q1	39.04	0	0.0%	0.0000	1
		Pl,Q	45.51	6	12.8%	0.1318	2
		M7	9.40	3	6.4%	0.3191	2
		M6	25.33	23	48.9%	0.9080	5
		M5	4.53	7	14.9%	1.5453	5
		M4	3.17	6	12.8%	1.8927	5
		K2	5.69	2	4.3%	0.3515	2
		T3	22.92	0	0.0%	0.0000	1
		T2	5.11	0	0.0%	0.0000	1
		T1	0.46	0	0.0%	0.0000	1
		Ukupno područje	226.00	47	100%	0.2080	
	UDGG	0-50	29.05	6	12.8%	0.2065	3
		50-100	24.33	2	4.3%	0.0822	1
		100-200	37.91	17	36.2%	0.4484	5
		200-400	52.44	12	25.5%	0.2288	3
		400-3600	82.67	10	21.3%	0.1210	1
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	UDRA	0-50	27.72	7	14.9%	0.2525	5
		50-100	25.14	4	8.5%	0.1591	3
		100-200	43.24	10	21.3%	0.2313	5
		200-400	62.20	13	27.7%	0.2090	5
		400-800	51.90	13	27.7%	0.2505	5
		800-3000	16.18	0	0.0%	0.0000	1
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	

***VRST**-karta vrsta stijene, **UDGG**- karta udaljenost od geološke granice, **UDRA**-karta udaljenosti od rasjeda*

Tablica 5. 20. Objedinjeni prikaz klasa hidroloških faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko

Faktori klizanja	Faktorske karte	Klase	Površina klase (km2)	Broj klizišta u klasi	Postotak klizišta u klasi	Gustoća klizišta (po km2)	Težina klase (1-5)
Hidrološki faktori	**UDRMR**	0-50	39.23	6	12.8%	0.1529	1
		50-100	38.38	8	17.0%	0.2084	4
		100-200	68.32	12	25.5%	0.1756	3
		200-300	46.74	13	27.7%	0.2781	5
		300-2000	33.71	8	17.0%	0.2373	5
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	UDI	0-100	1.82	1	2.1%	0.5495	5
		100-250	8.75	2	4.3%	0.2286	2
		250-500	23.79	7	14.9%	0.2942	3
		500-1000	46.73	9	19.1%	0.1926	1
		1000-15000	145.31	28	59.6%	0.1927	1
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	UDPO	0-100	70.09	7	14.9%	0.0999	1
		100-200	50.74	7	14.9%	0.1380	2
		200-300	34.08	9	19.1%	0.2641	3
		300-400	22.96	6	12.8%	0.2613	3
		400-500	16.01	4	8.5%	0.2498	3
		500-3500	32.51	14	29.8%	0.4306	5
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	UDST	0-100	39.71	6	12.8%	0.1511	3
		100-200	33.21	8	17.0%	0.2409	5
		200-300	27.82	7	14.9%	0.2516	5
		300-400	23.00	6	12.8%	0.2609	5
		400-500	18.10	5	10.6%	0.2762	5
		500-3600	84.58	15	31.9%	0.1773	3
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	UDVO	0-100	99.52	12	25.5%	0.1206	1
		100-200	60.45	12	25.5%	0.1985	3
		200-300	34.14	13	27.7%	0.3808	4
		300-400	17.49	8	17.0%	0.4574	5
		400-500	8.49	1	2.1%	0.1178	1
		500-2000	6.31	1	2.1%	0.1585	2
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	VLATE	suho	55.95	23	48.9%	0.4111	5
		slabo vlažno	36.41	14	29.8%	0.3845	4
		vlažno	32.06	6	12.8%	0.1871	2
		vrlo vlažno	101.45	4	8.5%	0.0394	1
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	

***UDRMR**- karta udaljenosti od drenažne mreže, **UDI**-karta udaljenosti od izvora, **UDPO**-karta udaljenosti od povremenih vodotokova, **UDST**- karta udaljenosti od stalnih vodotokova, **UDVO**- karta udaljenosti od svih vodotokova, **VLATE**-karta vlažnosti terena*

Tablica 5. 21. Objedinjeni prikaz klasa antropogenih faktorskih karata korištenih u statističko-heurističkoj analizi podložnosti na klizanje područja grada Jastrebarsko

Faktori klizanja	Faktorske karte	Klase	Površina klase (km2)	Broj klizišta u klasi	Postotak klizišta u klasi	Gustoća klizišta (po km2)	Težina klase (1-5)
Antropogeni faktori	**UDPR**	0-50	51.54	34	72.3%	0.6597	5
		50-100	39.47	10	21.3%	0.2534	3
		100-200	52.99	3	6.4%	0.0566	1
		200-3000	82.40	0	0.0%	0.0000	1
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	NAZE_A	Umjetne površine	6.73	0	0.0%	0.0000	-
		Poljoprivredne područja	108.62	42	89.4%	0.3867	-
		Šume i poluprirodna područja	103.47	5	10.6%	0.0483	-
		Vodene površine	7.62	0	0.0%	0.0000	-
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	
	NAZE_B	Gradska područja	5.06	0	0.0%	0.0000	1
		Grmolike i travnate prirodne biljne zajednice	16.31	0	0.0%	0.0000	1
		Heterogena poljoprivredna područja	88.84	36	76.6%	0.4052	5
		Industrijski, komercijalni i transportni objekti	0.64	0	0.0%	0.0000	1
		Kopnene vode	7.35	0	0.0%	0.0000	1
		Obradivo zemljište	10.17	3	6.4%	0.2950	3
		Pašnjaci	13.84	0	0.0%	0.0000	1
		Šume	84.20	8	17.0%	0.0950	2
		Ukupno područje	226.00	47	100.0%	0.2080	

***UDPR**- karta udaljenosti od prometnica, **NAZE_A**-karta namjene zemljišta A, **NAZE_B**-karta namjene zemljišta B*

6. KARTE PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

Ovo poglavlje se temelji na detaljnom opisu definiranih scenarija, odnosno različitih kombinacija preklapanja prethodno definiranih faktorskih karata u svrhu izrade i odabira konačne karte podložnosti. Scenariji prema prvoj, statističkoj metodi, su definirani na temelju podataka iz rada Sinčić (2020.), a u drugoj metodi prema iskustveno odabranim faktorskim kartama. Karte podložnosti na temelju metode iz rada Sinčić (2020.) bazirane su na dva najbolja scenarija iz tog rada, jedan prema metodi *Weight of Evidence* (scenarij 8), a drugi prema metodi *informacijskih vrijednosti* (scenarij 6). Verifikacija modela provedena je pomoću ROC krivulje, a kao najbolja karta podložnosti dobivena temeljem ove metode odabrana je ona koja je pokazala najviši stupanj točnosti. Odabrana karta je potom reklasificirana u četiri klase podložnosti na klizanje pomoću *Natural Break(s)* klasifikacije.

U statističko-heurističkoj metodi scenariji su definirani na temelju subjektivnih ocjena pridodanih klasama svake karte te na temelju proračunate težine faktorske karte kao cjeline. Vrijednosti ocjena klasa su fiksne u procesu kreiranja scenarija pojedinih karata podložnosti, a ono što varira su broj i vrsta korištenih faktorskih karata prilikom definiranja pojedinog scenarija te težinske vrijednosti karata kao cjeline koje su definirane primjenom AHP kalkulatora. Konačno odabrana karta podložnosti na temelju ove metode je ona koja je pokazala veću točnost primjene modela, što je ispitano pomoću ROC krivulje. Na kraju cijelog procesa, kao i kod prve metode, odabrana karta je klasificirana u četiri klase prema Natural Break(s) klasifikaciji.

6.1. Izrada karte podložnosti na temelju primjene vrijednosti definiranih težinskih fakotra i informacijskih vrijednosti

Izrada modela podložnosti primjenom težinskih faktora temelji se na pretpostavci da se njihove vrijednosti, definirane za susjednu lokaciju, mogu primijeniti na drugoj, sličnoj, lokaciji. Dakle, vrijednosti težinskih faktora proračunate metodom *Weight of Evidence* i metodom *informacijskih vrijednosti* za područje grada Karlovca primijenjene su na lokaciji grada Jastrebarsko, uz uvjet međusobnog poklapanja vrsta i raspona podataka na koje se odnose težinske vrijednosti.

U radu Sinčić (2020.) je isprobano ukupno osam scenarija primjenom metode *Weight of Evidence* te osam scenarija primjenom metode *informacijske vrijednosti*. Kao najpovoljniji scenarij metode *Weight of Evidence* pokazao se scenarij osam, a za metodu *informacijske vrijednosti* scenarij pod brojem šest. Upravo na temelju ta dva scenarija kreirane su karte

podložnosti u ovom radu. Postupak izrade karata podložnosti na klizanje podrazumijeva zbrajanje klasa faktorskih karata prema dodijeljenim težinskim vrijednostima pojedinoj klasi. Alat u GIS-u korišten u tu svrhu je alat *Weighted Sum* (*Spatial Analyst*). Faktorske karte koje su korištene u procesu zbrajanja ovisno o metodi prikazane su u tablici 6.1., a rezultati analize na slici 6.1.

Tablica 6. 1. Odabrane faktorske karte za kreiranje originalnih i modificiranih scenarija prema metodi *Weight of Evidence* (W.o.E.) i metodi *informacijske vrijednosti* (I.V.) temeljem rada Sinčić (2020.)

Skupina faktora	Faktorske karte	Metoda W.o.E. (scenarij 8.)	Metoda I.V. (scenarij 6.)
Geomorfološki faktori	Nadmorska visina	-	+
	Nagib terena	+	+
	Orijentacija padine	+	+
	Zakrivljenost terena	+	+
	Hrapavost terena	+	+
Geol. faktori	Litologija	+	-
	Udaljenost od geološke granice	+	-
	Udaljenost od rasjeda	+	-
Hidrološki faktori	Udaljenost od drenažne mreže	+	+
	Udaljenost od izvora	+	+
	Udaljenost od povremenih vodotoka	+	+
	Udaljenost od stalnih vodotoka	+	+
	Udaljenost od svih vodotoka	-	-
	Vlažnost terena	+	+
Antropogeni faktori	Namjena zemljišta A	+	+
	Namjena zemljišta B	-	-
	Udaljenost od prometnica	+	+

Kako bi se rezultati pokušali bolje prilagoditi području grada Jastrebarsko odlučeno je napraviti i dva modificirana scenarija sa težinskim vrijednostima iz metode *Weight of Evidence* i jedan sa težinskim vrijednostima iz metode *informacijske vrijednosti*. Razlog zbog čega su izrađeni i modificirani scenariji je taj što je u prethodnom poglavlju analizirana distribucija klizišta po klasama i njihova gustoća, na temelju čega su donijete preliminarne ocjene o valjanosti primjene pojedinih faktorskih karata s pridodanim težinskim vrijednostima iz rada Sinčić (2020.). Rezultati tih analiza poslužili su za definiranje modificiranih scenarija. U ovim modificiranim scenarijima korištene su iste faktorske karte kao i prilikom originalnih scenarija, a jedina razlika je u težini pojedine faktorske karte korištene u procesu zbrajanja.

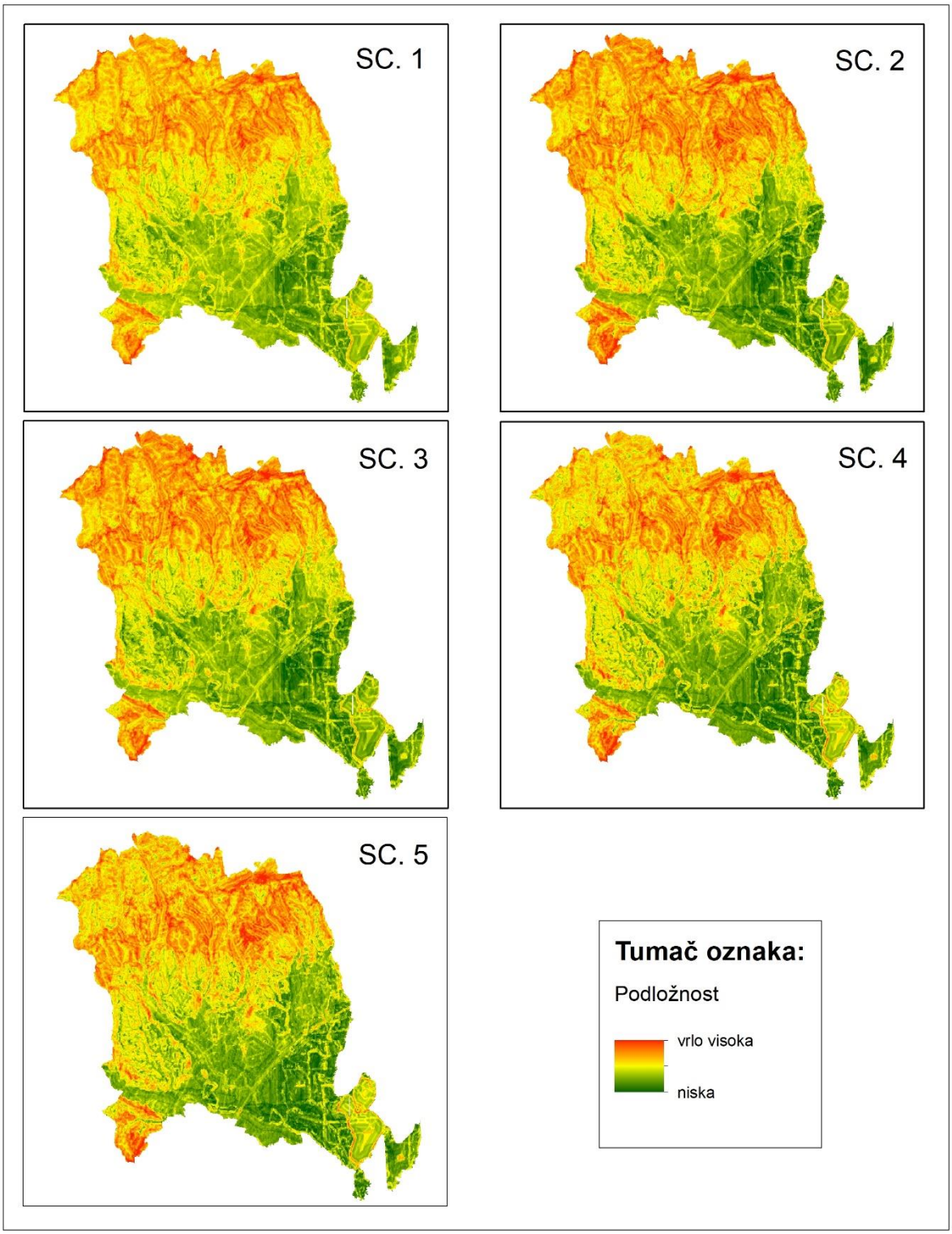
a) **Prvi scenarij (SC.1):** Ispituje primjenu težinskih vrijednosti, dobivenih metodom *Weight of Evidence*, prema scenariju osam iz rada Sinčić (2020.). Korištene faktorske karte su zbrajane po preuzetim W_{map} težinskim vrijednostima klasa pomnoženim s jediničnim težinskim koeficijentima (*Weight=1*) u GIS programu.

b) **Drugi scenarij (SC.2):** Razlika između scenarija SC.1 i prvog modificiranog scenarija, SC.2, je u težinskim koeficijentima pojedinih faktorskih karata kao cjeline te u upotrebi faktorske karte NAVI u analizi. Težinski koeficijenti su u ovom scenariju modificirani na temelju podataka evidentiranih klizišta na području grada Jastrebarsko tako da su težine karata UDRMR, VRST i NATE povećane za pola vrijednosti originalne težine (*Weight=1.5*), dok su preostale karte, uključujući i kartu NAVI, ostale nepromijenjenih vrijednosti težinskog koeficijenta (*Weight=1*).

c) **Treći scenarij (SC.3):** predstavlja drugu modifikaciju scenarija SC.1. Težine pojedinih faktorskih karti su jednake kao i u prethodnom scenariju (SC.2), no razlika je što se ovdje karta NAVI ne koristi u analizi.

d) **Četvrti scenarij (SC.4):** ovaj scenarij prikazuje rezultate dobivene zbrajanjem originalnih težinskih vrijednosti po klasama metode I.V. preuzetih iz scenarija broj šest prema radu Sinčić (2020.). Prilikom zbrajanja faktorskih karata korišteni su jedinični težinski koeficijenti karata kao cjeline (*Weight=1*).

e) **Peti scenarij (SC.5):** rezultati su također dobiveni zbrajanjem težinskih I.V. vrijednosti kao i u prethodnom scenariju no, s obzirom na drugačiju pojavnost klizišta na području grada Jastrebarsko u odnosu na grad Karlovac, težinski koeficijenti korištenih faktorskih karata su modificirani u odnosu na prethodni scenarij. Tako su težine za karte UDRMR, ORPA i NATE povećane za pola vrijednosti (*Weight=1.5*).



Slika 6. 1. Skupni prikaz kreiranih scenarija karte podložnosti područja grada Jastrebarsko prema statističkim podacima iz rada Sinčić (2020.)

Vizualno analizirajući rezultate originalno dobivenih karta i modificiranih karata možemo zaključiti kako su razlike neznatne i odnose se na ponegdje različito raspoređene zone podložnosti po analiziranom području. No, kako vizualna procjena izvedenih karata

podložnosti nije relevantna, pristupilo se određivanju statističkog stupnja točnosti primijenjenih metoda koristeći ROC krivulju. Rezultati analize pomoću ROC krivulje za obje metode prikazani su u tablici 6.2.

Tablica 6. 2. Rezultati ROC krivulje za originalno definirane i modificirane scenarije metoda *Weight of Evidence* i *informacijske vrijednosti*

Scenarij	Metoda *Weight of Evidence*	Scenarij	Metoda *informacijske vrijednosti*
	Točnost (%)		Točnost (%)
SC.1	84%	SC.4	86%
SC.2	82%	SC.5	84%
SC.3	83%		-

Pregledom tablice možemo zaključiti kako je najbolje rezultate, obzirom na postignutu vrijednost uspješnosti od 86%, dala karta podložnosti kreirana prema originalnom scenariju metode *informacijske vrijednosti* iz rada Sinčić (2020.), odnosno karta iz scenarija SC.4. Također, može se zamijetiti kako su modifikacijom spomenutog scenarija u svrhu prilagodbe podataka području grada Jastrebarsko dobiveni neznatno lošiji rezultati uspješnosti. Kao najlošija karta se pokazala karta dobivena na temelju modificiranog scenarija broj osam iz rada Sinčić (2020.), odnosno karta prema scenariju SC.2. S obzirom na sve izneseno, kao podloga za kreiranje karte podložnosti u okviru ove metode uzima se model dobiven temeljem originalnog scenarija broj šest iz rada Sinčić (2020.), odnosno scenarij SC.4, koji se temelji na težinskim vrijednostima dobivenim metodom informacijske vrijednosti. ROC krivulja odabranog scenarija je prikazana na slici 6.2. Aproksimacija prikazane ROC krivulje provedena je pomoću *JMAK* (*Johnson – Mehl – Avrami – Kolmogorov*) jednadžbe, Johnson et.al. (1937.), prema izrazu 6.1. koji glasi:

$$Y_{fit} = A \cdot (1 - e^{(-k \cdot x^n)}) \tag{6.1}$$

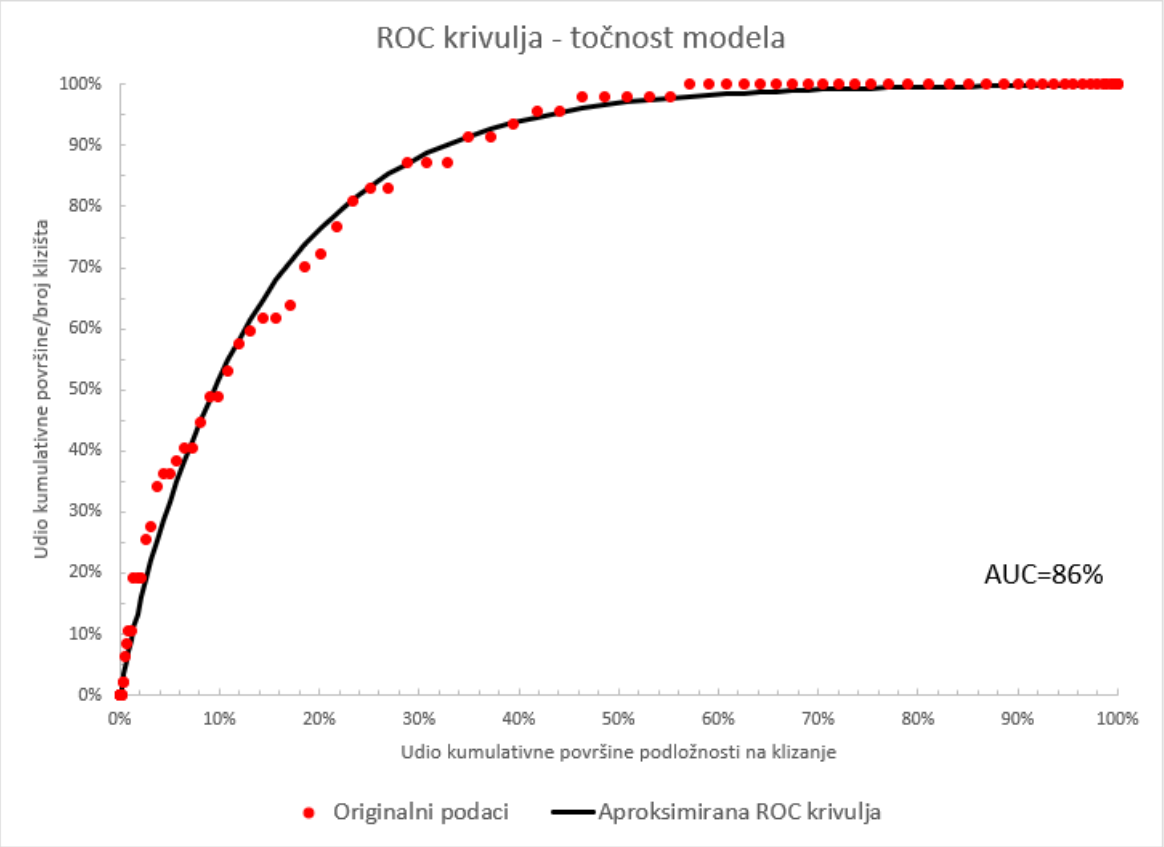
Gdje je: Y_{fit} – proračunati udio kumulativne površine/broj klizišta

x – udio kumulativne površine podložnosti na klizanje

A – varijabla br.1

k – varijabla br.2

n – varijabla br.3



Slika 6. 2. Rezultati analize ROC krivulje za stupanj točnosti modela dobivenog prema scenariju SC.4 primjenom definiranih informacijskih vrijednosti

6.2. Izrada karata podložnosti temeljem statističko-heurističke metode

U sklopu provedbe analize podložnosti prema drugoj, statističko-heurističkoj, metodi napravljeno je također pet scenarija. Svaki od definiranih scenarija koristi određene faktorske karte sa subjektivno pridodanim ocjenama po klasama koje su definirane u tablicama 5.18 – 5.21. Konačne postotne vrijednosti težinskih koeficijenata korištenih faktorskih karata kao cjeline određene su pomoću AHP kalkulatora. Karte podložnosti su kreirane u GIS programu koristeći alat *Weighted Sum* (*Spatial Analyst*). Proces se sastojao od ručnog pridodavanja ocjena pojedinim klasama u atributnoj tablici svake faktorske karte te množenja te ocjene s težinskim koeficijentom dobivenim pomoću AHP kalkulatora. Množenje ovih dviju veličina provedeno je pomoću *Field Calculatora*. Posljednji korak u procesu kreiranja karte podložnosti je zbrajanje korištenih faktorskih karta, ovisno o scenariju. Zbrajanje je provedeno po polju atributne tablice koje predstavlja umnožak subjektivnih ocjena klasa i težinskih koeficijenata faktorske karte kao cjeline. U tablicama 6.4.- 6.8. je prikaz svih scenarija koji su analizirani statističko-heurističkom metodom uz

prateće podatke o dobivenim težinama pojedine karte i rangu prema važnosti u provedenoj analizi, dok je na slici 6.4 dan prikaz svih rezultantnih karata podložnost.

a) **Prvi scenarij (SC.1):** za potrebe ovog scenarija korištene su sve faktorske karte, odnosno njih 16 (u obzir je uzeta jedna karta namjene zemljišta, NAZE_B). Tu do izražaja dolazi statistički alat AHP kalkulator. Naime, težinu pojedinog kriterija (faktorske karte) je vrlo teško procijeniti iskustveno kada se razmatra više od 5-6 kriterija u analizi kao što je to u ovom slučaju. Pomoću AHP kalkulatora je međusobnom usporedbom parova kriterija lakše odrediti važnost svakog kriterija zasebno. Jedini zahtjev prilikom provedbe takvog procesa jest da faktor konzistencije, CR faktor, bude manji od 10% što je u ovom slučaju i ostvareno s obzirom da je dobivena vrijednost 7.3%. Taj postotak nam ukazuje da je osigurano konzistentno procjenjivanje među parovima u AHP postupku. Korišteni kriteriji i dobivene težine kriterija su prikazani u tablici 6.3.

Tablica 6. 3. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja prvog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi

Broj kriterija	Naziv kriterija	Težina kriterija (%)	Rang kriterija
1	NAVI	2.40	12
2	NATE	17.4	1
3	ORPA	1.6	15
4	ZATE	3	10
5	HRATE	3.9	9
6	VRST	12.9	2
7	UDGG	2.5	11
8	UDRA	4.3	8
9	UDRMR	5.7	7
10	UDI	1.3	16
11	UDPO	1.8	14
12	UDST	1.9	13
13	UDVO	11	5
14	VLATE	6.2	6
15	UDPR	12.4	3
16	NAZE_B	11.7	4
UKUPNO:		100	

b) **Drugi scenarij (SC.2):** korišteno je 13 kriterija, odnosno faktorskih karata, od ukupno dostupnih 17. Karte koje su izbačene iz analize su hidrološke karte UDI, UDPO, UDST i antropološka karta NAZE_A. Pregledom tablica 5.18 – 5.21. odlučeno je kako te karte imaju zanemariv utjecaj na pojavu klizanja na analiziranom području s obzirom da se

najveća koncentracija klizišta pojavljivala u klasama koje su najudaljenije od promatranog utjecajnog faktora. Iznimka je karta UDI gdje je najveća koncentracija klizišta upravo u klasi najbližoj promatranom hidrološkom faktoru (izvoru). Razlog tome je što je površina te klase toliko mala da je svega 1 evidentirano klizište bilo dovoljno da se klasa ocjeni kao visoko utjecajna. No, sagledavši širu sliku situacije logično se nameće zaključak kako izvori gotovo pa nemaju utjecaj na razvoj klizišta na analiziranom području. Smanjenjem korištenog broja kriterija u analizi pokušalo se dobiti i niži faktor konzistencije. No, unatoč tome dobiveni CR faktor je iznosio 7,7% što je više u odnosu na prvi scenarij, ali povoljno sa stajališta konzistentnosti procjenjivanja parova u AHP analizi. Korišteni kriteriji i dobivene težine kriterija su prikazani u tablici 6.4.

Tablica 6. 4. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja drugog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi

Broj kriterija	Naziv kriterija	Težina kriterija (%)	Rang kriterija
1	NATE	22	1
2	UDPR	14	2
3	VRST	13	3
4	NAZE_B	12	4
5	UDVO	11	5
6	UDRMR	6	6
7	HRATE	5	7
8	VLATE	4	8
9	ZATE	3	9
10	UDRA	3	10
11	UDGG	3	11
12	NAVI	2	12
13	ORPA	2	13
UKUPNO:		100	

c) **Treći scenarij (SC.3):** kako bi se još jednom provjerila pretpostavka ovisnosti CR faktora o broju kriterija, u ovom scenariju je odlučeno drastično smanjiti broj korištenih faktorskih karata, na njih 8. Međutim pretpostavka nije ostvarena s obzirom da je dobiveni CR faktor u ovom slučaju iznosio 8.6%. Dakle, smanjenje broja kriterija korištenih u AHP analizi nije pozitivno utjecalo na povećanje konzistentnosti procjene odnosno na sniženje CR faktora. Korišteni kriteriji i dobivene težine kriterija su prikazani u tablici 6.5.

Tablica 6. 5. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja trećeg scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi

Broj kriterija	Naziv kriterija	Težina kriterija (%)	Rang kriterija
1	NATE	22.2	1
2	VRST	16.8	2
3	UDRMR	11.2	5
4	NAZE_B	7.8	6
5	ORPA	7.3	7
6	UDRA	14.7	3
7	UDGG	7.2	8
8	UDPR	12.8	4
UKUPNO:		100	

d) Četvrti scenarij (SC.4): koristi se isti broj faktorskih karata kao i u prethodnom scenariju, no razlika je što su karte UDRA, UDGG i UDRMR zamijenjene kartama VLATE, NAVI i UDVO. Zanimljivo je napomenuti da je faktor konzistencije, CR, u ovom scenariju iznosio 5,1% što je manje u odnosu na prethodni scenarij koji koristi isti broj kriterija. Prema tome može se reći kako na smanjenje CR faktora ne utječe broj kriterija već vrsta odabranih kriterija. Prikaz korištenih kriterija i njihove težine dan je u tablici 6.6.

Tablica 6. 6. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja četvrtog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi

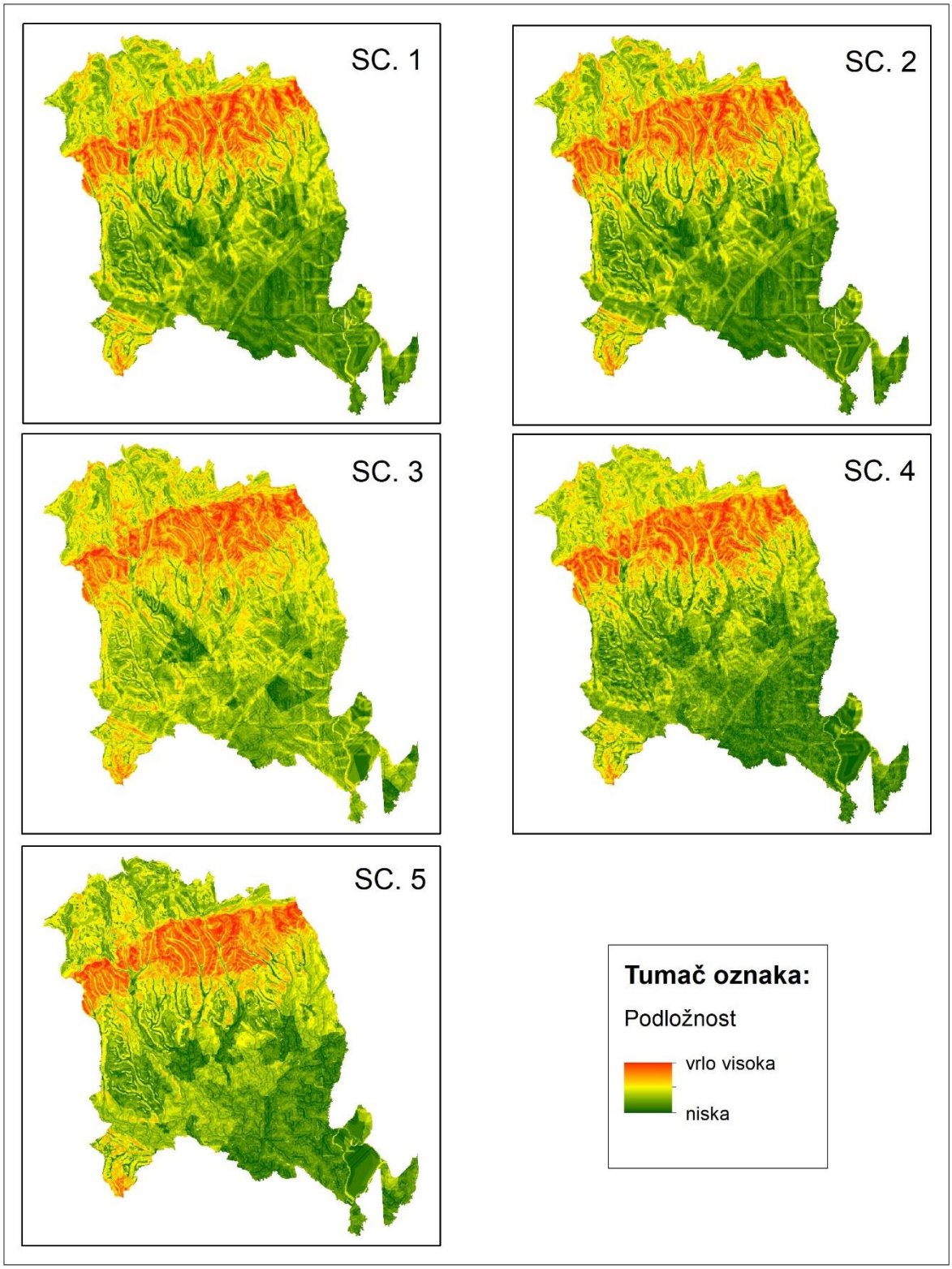
Broj kriterija	Naziv kriterija	Težina kriterija (%)	Rang kriterija
1	NATE	19	1
2	VRST	17	2
3	UDVO	9.4	7
4	NAZE_B	13.2	3
5	UDPR	10.3	5
6	VLATE	9	8
7	ORPA	12	4
8	NAVI	10.1	6
UKUPNO:		100	

e) Peti scenarij (SC.5): s obzirom da se radi o zadnjem scenariju kreiranom u sklopu statističko-heurističke metode odlučeno je maksimalno smanjiti broj korištenih faktorskih karata na njih svega pet. Treba istaknuti kako je u ovom slučaju dobiveni faktor konzistencije CR 1.7%, što je najmanja vrijednost u odnosu na ostale scenarije. To je posljedica toga što je u ovoj analizi korišten najmanji broj kriterija i to onih koji su međusobno, po važnosti, razlučivi pa je onda i konzistentnost procjenjivanja važnosti

među parovima kriterija bila po mnogočemu lakša. Korišteni kriteriji i dobivene težine kriterija su prikazani u tablici 6.7.

Tablica 6. 7. Faktorske karte korištene prilikom kreiranja petog scenarija i njihove težinske vrijednosti dobivene prema AHP metodi

Broj kriterija	Naziv kriterija	Težina kriterija (%)	Rang kriterija
1	NATE	29	1
2	VRST	25	2
3	UDRMR	14	4
4	NAZE_B	20	3
5	ORPA	12	5
UKUPNO:		100	



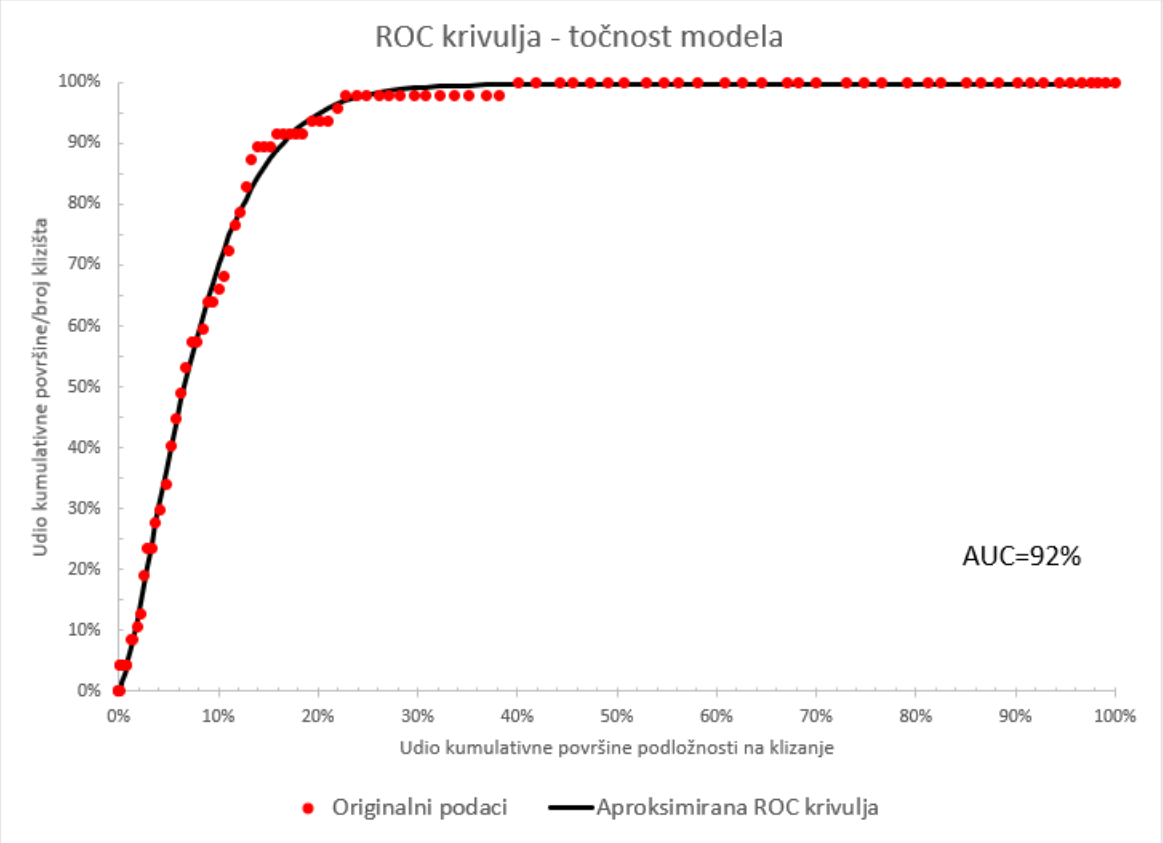
Slika 6. 3. Karte podložnosti dobivene prema različito definiranim scenarijima korištenjem statističko-heurističke metode

Vizualno analizirajući dobivene karte možemo ih podjeliti u dvije skupine; prva su one karte na kojima je vidljivo poprilično povećanje žute (srednje podložne) zone kao što je slučaj

prema scenarijima SC.3 i SC.5. Druga skupina obuhvaća one karte na kojima je vidljiv porast zelene (nisko podložne) kao što su karte prema scenarijima SC.1, SC.2 i SC.4. Svi kreirani scenariji ispitani prema stupnju točnosti i primjenjivosti metodom ROC krivulje. Rezultati provedenog ispitivanja su prikazani u tablici 6.8. Iz tablice je vidljivo kako prva tri kreirana scenarija pokazuju identičnu točnost modela, a najvišu točnost pokazuje scenarij SC.4 (92%) Scenarij SC.5 je pokazao najmanju točnost primjenjivosti modela od 88%. ROC krivulja najboljeg modela kreiranog prema statističko-heurističkoj metodi prikazana je na slici 6.4. Aproksimacija prikazane ROC krivulje je, kao i u slučaju prve metode, provedena pomoću JMAK jednadžbe (6.1.).

Tablica 6. 8. Rezultati analize točnosti statističko-heurističkih modela ispitani metodom ROC krivulje

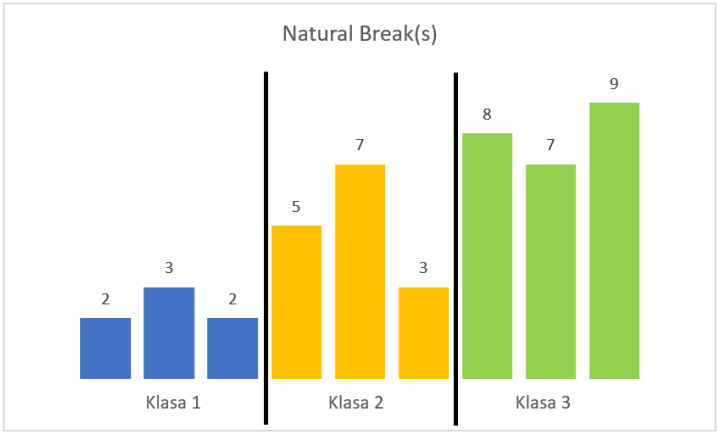
Scenarij	Točnost modela (%)
SC.1	91%
SC.2	91%
SC.3	91%
SC.4	92%
SC.5	88%



Slika 6. 4. Rezultati analize ROC krivulje za stupanj točnosti modela dobivenog prema scenariju SC.4 statističko-heurističke metode

6.3. Klasifikacija karata podložnosti

Ovo potpoglavlje se temelji na procesu klasifikacije konačno odabranih karata podložnosti dobivenih pomoću prve metode (primjena težinskih vrijednosti definiranih na temelju metode informacijskih vrijednosti s područja grada Karlovca) – **KARTA 1** i druge metode (statističko-heurističke) – **KARTA 2**. Obje odabrane karte su klasificirane prema metodi Natural Break(s). Navedena klasifikacijska metoda se smatra optimalnom klasifikacijskom shemom u GIS-u (Heyman et.al., 2017.). Bazira se na prirodno grupiranim podacima gdje se zatim identificira prekid među klasama na način da se minimalizira varijanca unutar klase i poveća razlika između pojedinih klasa što je i prikazano na slici 6.5. Kao jedina mana ove metode ističe se činjenica što svaki različiti set podataka generira svoju vlastitu klasifikacijsku shemu pa je otežana krajnja usporedba između više kreiranih karata (Heyman, et.al., 2017.). Karte su u GIS-u klasificirane prema automatski ponuđenim break values (%) vrijednostima te je definirano četiri klase.

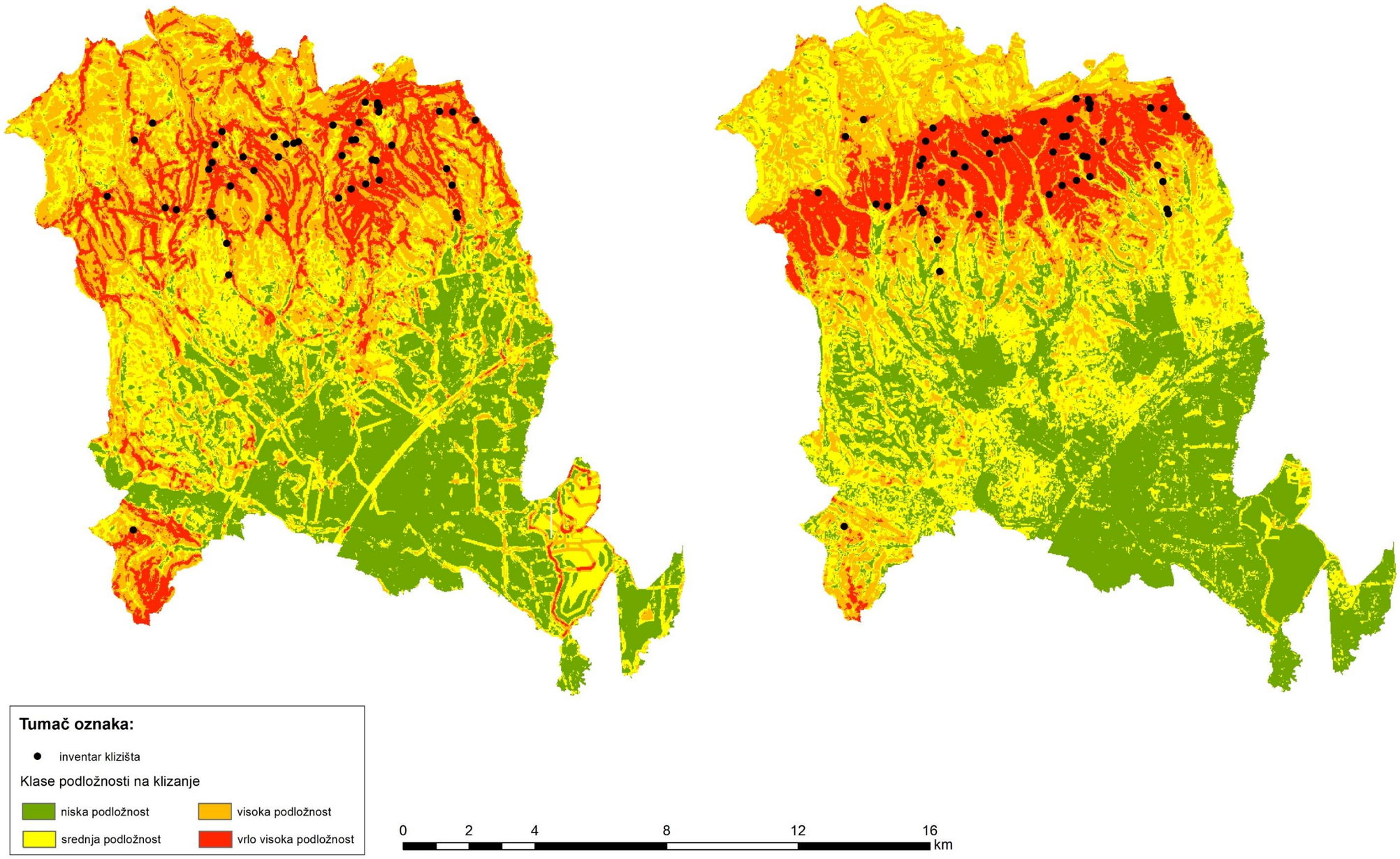


Slika 6. 5. Ilustracija principa raspodjele klasa prilikom primjene *Natural Break(s)* klasifikacije

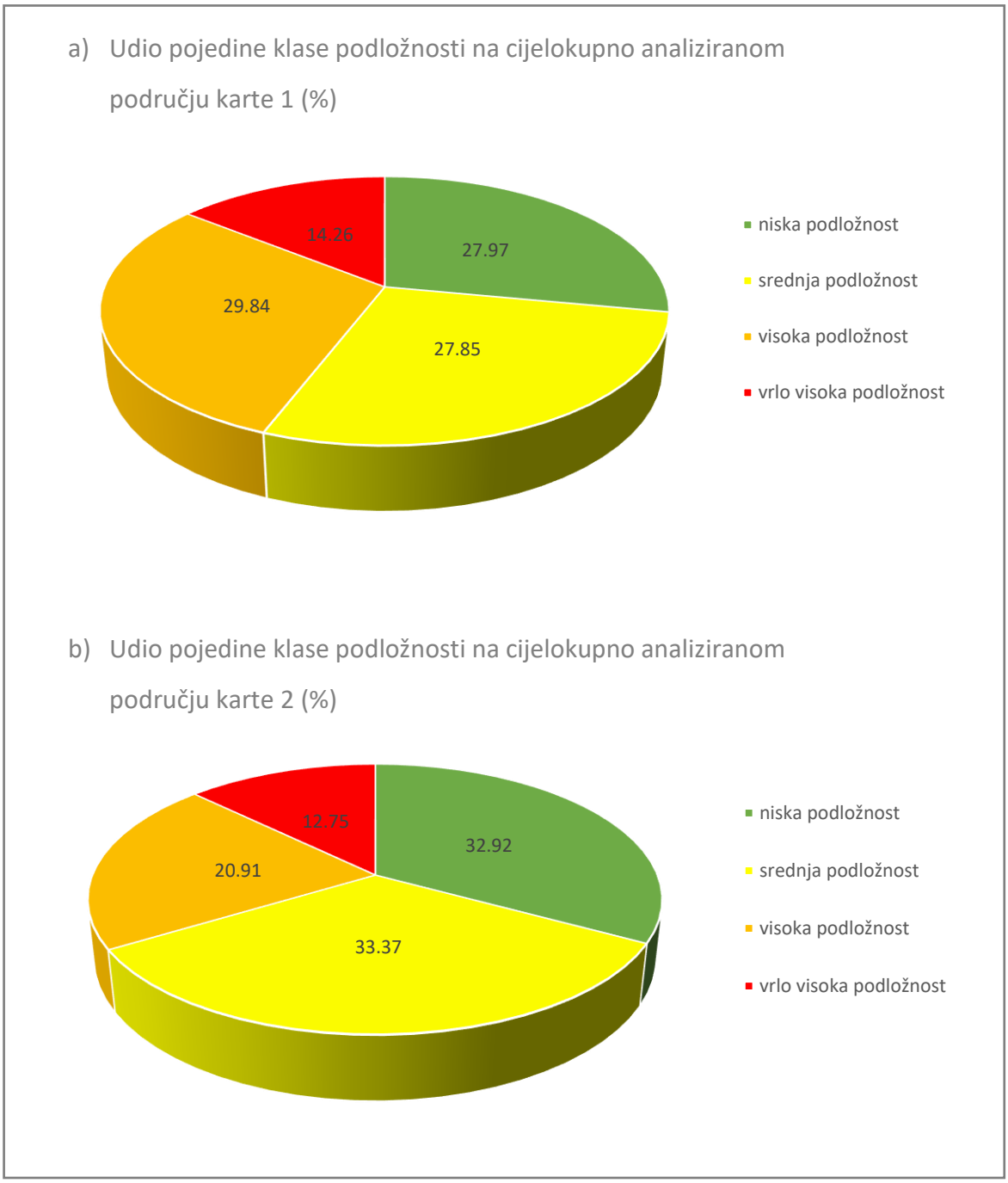
Konačno odabrane karte podložnosti na klizanje su klasificirane na sljedeće klase: (I) klasa niske podložnosti na klizanje; (II) klasa srednje podložnosti na klizanje; (III) klasa visoke podložnosti na klizanje te konačno (IV) klasa vrlo visoke podložnosti na klizanje. Tako klasificirane karte su prikazane na slici 6.6. Dijagrami relativnih udjela pojedinih klasa podložnosti na analiziranom području za karte 1 i 2 prikazane su na slici 6.7. Analizom dobivenih grafičkih pokazatelja o raspodjeli klasa podložnosti na temelju obje kreirane karte primjećuje se poprilično jednolik uzorak raspodjele klasa podložnosti. No, karta 2 pokazuje nešto manji udio klase vrlo visoke podložnosti i nešto veći udio klase niske podložnosti u odnosu na kartu 1.

a) KARTA 1 - primjena definiranih informacijskih vrijednosti s područja grada Karlovca

b) KARTA 2 - statističko-heuristička metoda



Slika 6. 6. Konačno odabrane karte podložnosti temeljene na prvoj (KARTA 1) i drugoj metodologiji (KARTA 2) klasificirane prema *Natural Break(s)* klasifikaciji

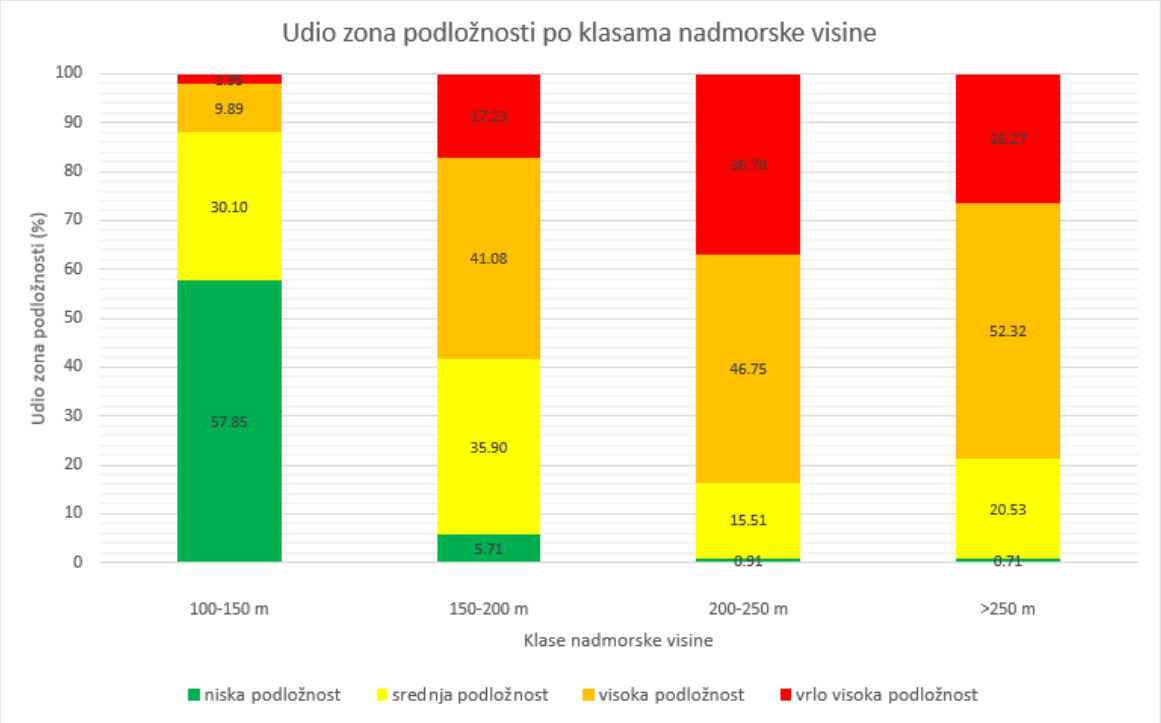


Slika 6. 7. Prikaz površinskih udjela klasa podložnosti na klizanje prema konačno odabranim kartama podložnosti

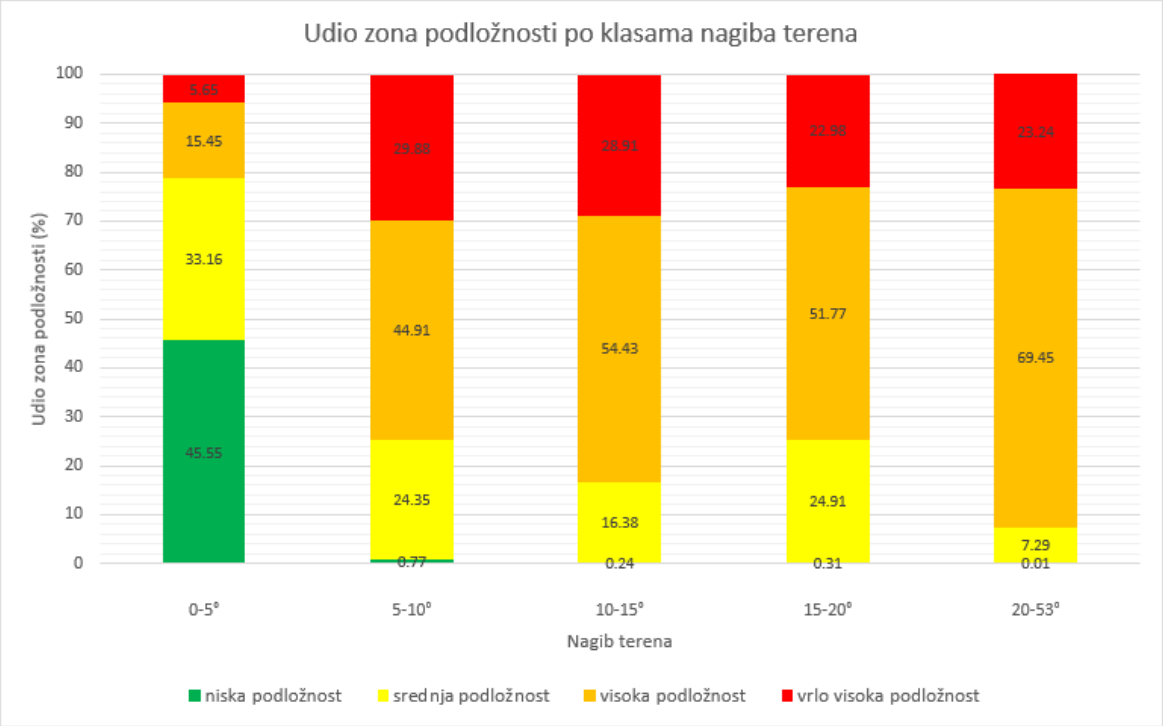
6.4. Analiza karata podložnosti

Usporedna analiza dobivenih karata podložnosti provedena je s obzirom na postotni udio pojedine zone podložnosti na klizanje po definiranim klasama nadmorske visine, nagiba padine, namjene zemljišta (B razine) te vrste stijena. Karte su analizirane u zasebnim postupcima na način da su se i karta 1 i karta 2 preklapale s faktorskim kartama NAVI, NATE, NAZE_B i VRST pomoću alata *Tabulate Intersection*. Na taj način su dobivene raspodjele postotnih udjela svih klasa podložnosti koje se nalaze unutar pojedine definirane klase navedenih faktorskih karata (slike 6.8 – 6.15). Također, u okviru ovog potpoglavlja analizirana je i gustoća klizišta po dobivenim zonama podložnosti za obje kreirane karte podložnosti, a rezultati te analize su prikazani tablici 6.9.

Pregledom dobivenih grafičkih pokazatelja za kartu 1 vidljivo je kako se udio zone niske podložnosti smanjuje porastom nadmorske visine i nagiba padine dok udio zone visoke i vrlo visoke podložnosti raste. Najveći zabilježeni postotak zone vrlo visoke podložnosti s obzirom na nadmorsku visinu je u klasi 200-250 m, a s obzirom na nagib padine je u klasi 5-10°, a koja se s obzirom na postotak površine od 46.18% prevladavajuća u klasi nadmorske visine od 200 do 250 m.

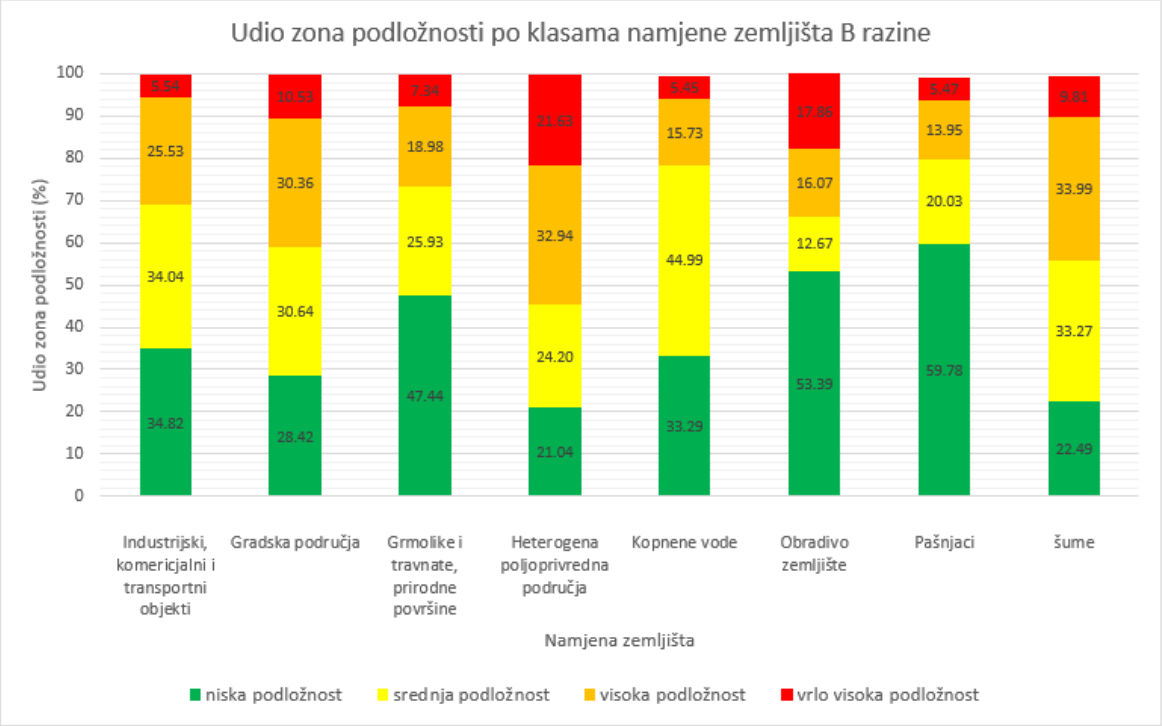


Slika 6. 8. Udio zona podložnosti po klasama nadmorske visine za kartu 1

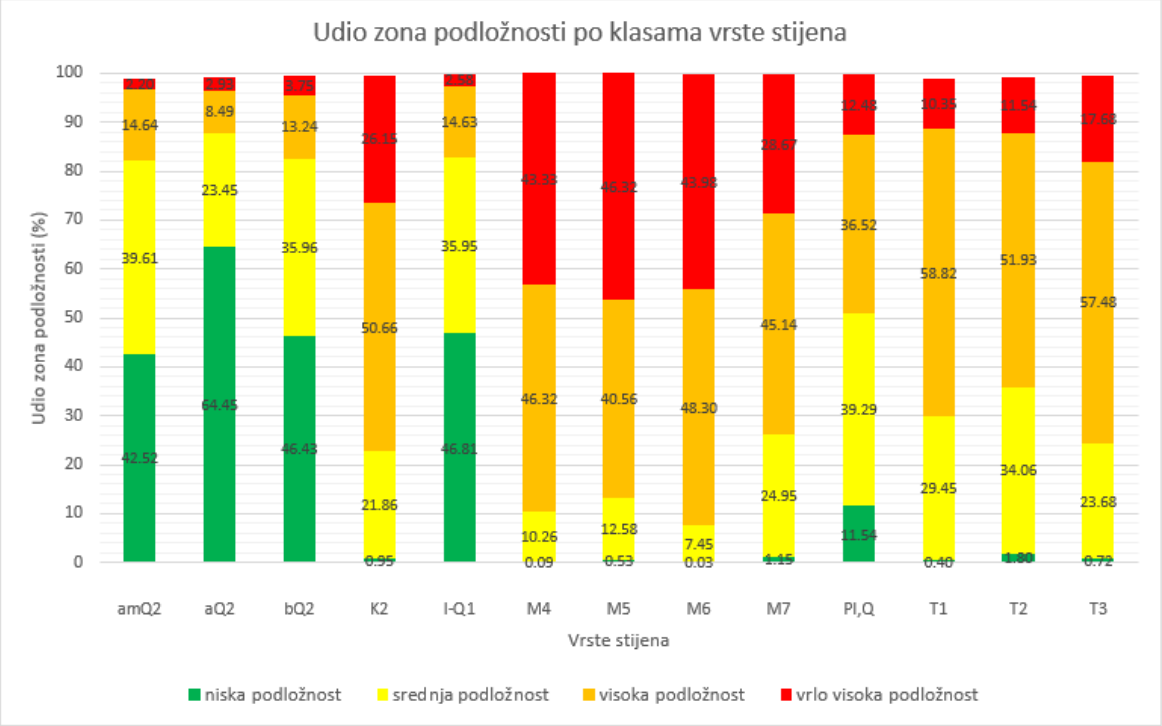


Slika 6. 9. Udio zona podložnosti po klasama nagiba terena za kartu 1

Promatrajući rezultate dobivene za namjenu zemljišta vidljivo je kako je najveći postotni udio zone niske podložnosti evidentiran u klasama obradivog zemljišta i pašnjaka, dok se kao klasa s najvećim udjelom potencijalno nestabilnih zona ističe klasa heterogenog poljoprivrednog područja. Potencijalno najnestabilnije klase vrsta stijena s najvećim udjelom zone vrlo visoke podložnosti su miocenske naslage (M_4, M_5 i M_6), dok se kao najstabilnije klase ističu holocenske i pliokvartarne naslage s najvećim udjelom zone niske podložnosti. Upravo navedene nestabilne klase vrsta stijena se nalaze na području nagiba padine od 5 do 10°, na nadmorskoj visini od 200 do 250 m te na području heterogenog poljoprivrednog zemljišta.



Slika 6. 10. Udio zona podložnosti po klasama namjene zemljišta B razine za kartu 1

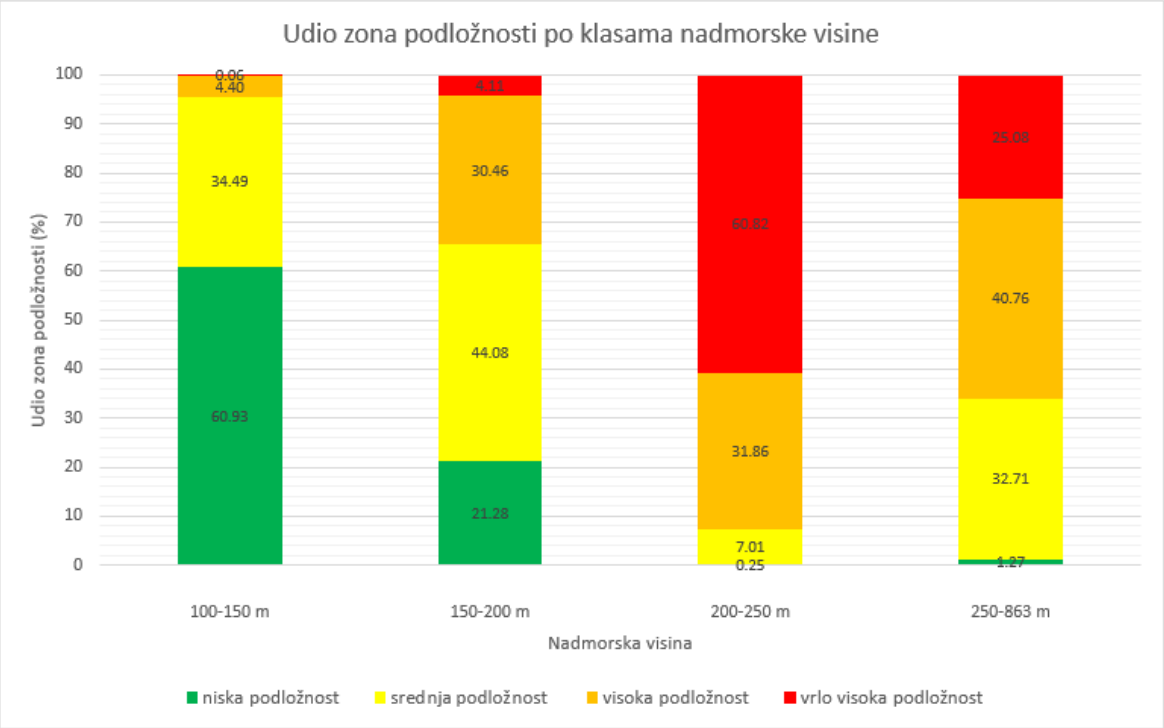


Slika 6. 11. Udio zona podložnosti po klasama vrste stijena za kartu 1

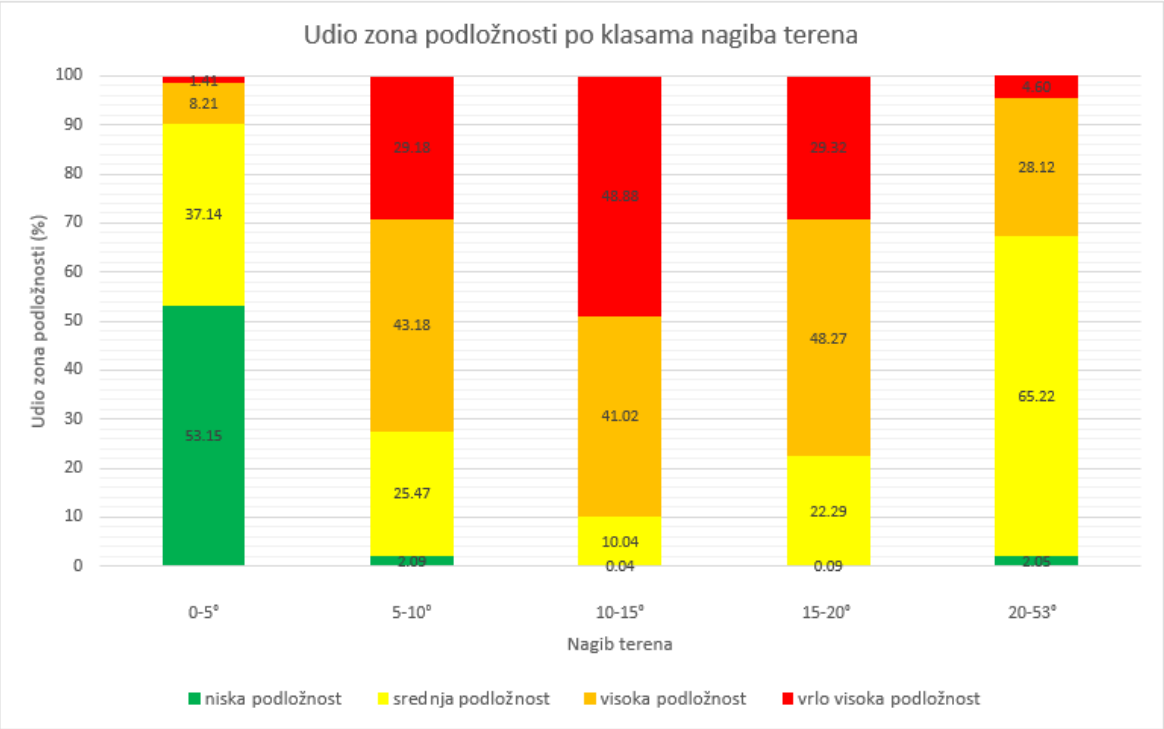
Podaci analize karte 2 pokazuju sličan uzorak raspodjele zona podložnosti s obzirom na klase nadmorske visine i nagiba padina kao i u slučaju karte 1. Potencijalno najnestabilnija klasa

nadmorske visine je ona od 200 do 250 m, no ovdje je kao potencijalno najnestabilnija klasa nagiba padine zabilježena klasa 10-15°. Navedena klasa nagiba se javlja kao treća najzastupljenija klasa nagiba u klasi nadmorske visine od 200 do 250 m s postotnim udjelom od 24.69%.

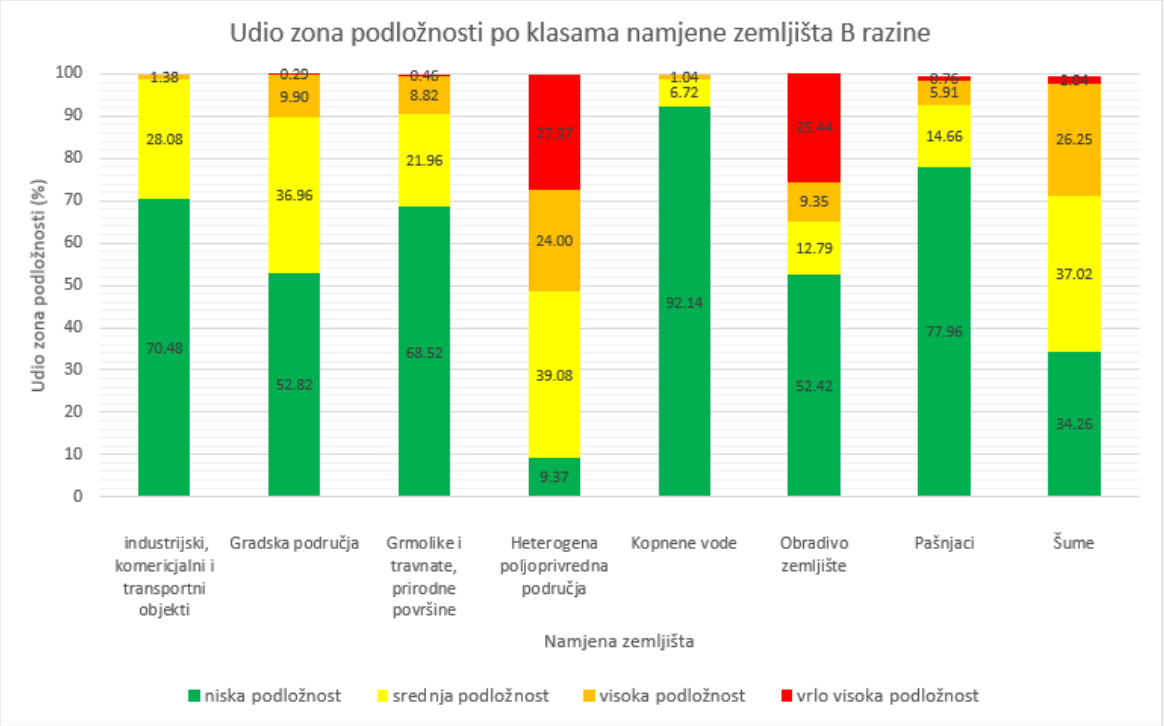
Sa stajališta namjene zemljišta, generalno gledajući, udio zone niske podložnosti je veći po svim klasama u odnosu na kartu 1, a najveći postotak javlja se u klasi kopnenih voda i pašnjaka. Kao potencijalno najnestabilnije područje ističe se heterogeno poljoprivredno područje s približno sličnim udjelom zone vrlo visoke podložnosti kao i kod karte 1. Promatrajući klase vrste stijena, vidljiv je značajan porast zone vrlo visoke podložnosti u najnestabilnijim, miocenskim, naslagama te značajan porast udjela zone niske podložnosti u stabilnim, holocenskim i pliokvartarnim, naslagama u odnosu na kartu 1.



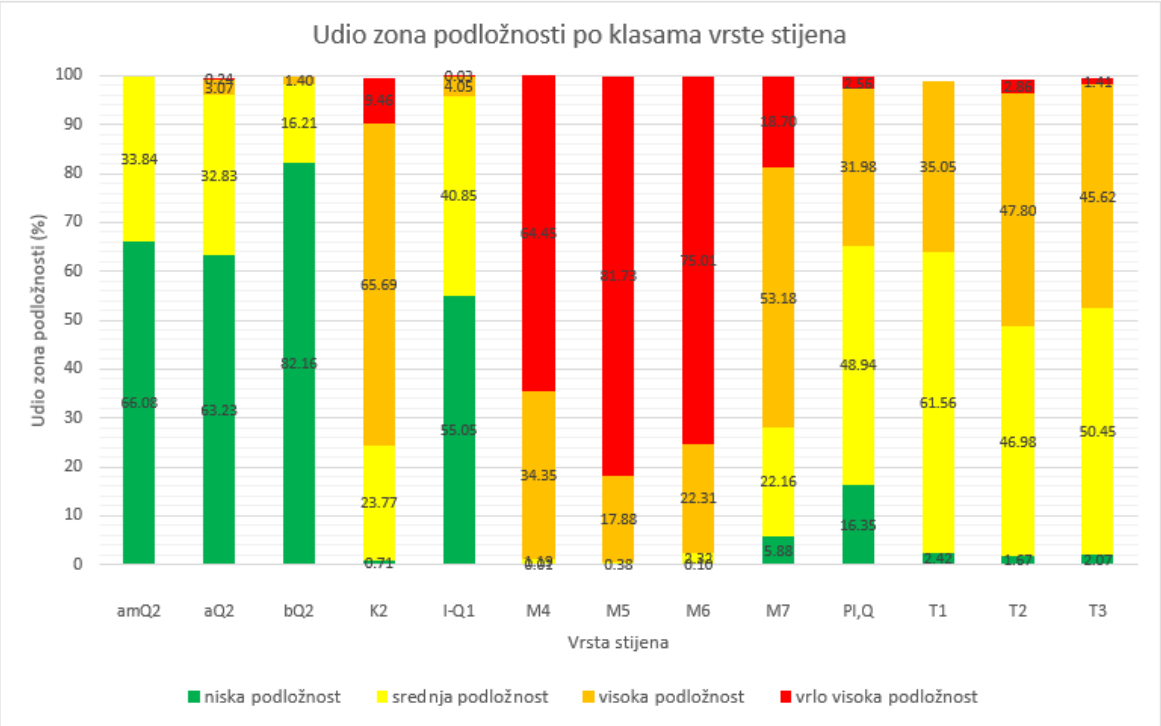
Slika 6. 12. Udio zona podložnosti po klasama nadmorske visine za kartu 2



Slika 6. 13. Udio zona podložnosti po klasama nagiba terena za kartu 2



Slika 6. 14. Udio zona podložnosti po klasama namjene zemljišta B razine za kartu 2



Slika 6. 15. Udio zona podložnosti po klasama vrste stijena za kartu 2

Pokazatelj koji je razmatran u svrhu posljednje analize dobivenih karata podložnosti je gustoća klizišta u četiri zone podložnosti, gdje je zahtjev da u zoni vrlo visoke podložnosti gustoća bude što veća, a u zoni niske podložnosti što manja. Također, udio pojedinih zona je razmatran tako da je poželjno imati što niži udio zone vrlo visoke podložnosti, a što viši udio niske podložnosti (Erak, 2018.). Rezultati provedenog postupka su prikazani u tablici 6.9.

Tablica 6. 9. Analiza gustoće klizišta po zonama podložnosti karata 1 i 2

Karta		Zone podložnosti na klizanje			
		Niska	Srednja	Visoka	Vrlo visoka
1	Udio klizišta (%)	0	6.38	31.91	61.7
	Površina zone (%)	27.97	27.85	29.84	14.26
	Gustoća klizišta (po km^2 zone)	0	0.047	0.222	0.899
2	Udio klizišta (%)	0	2.13	10.64	87.23
	Površina zone (%)	**32.93**	33.37	20.91	**12.75**
	Gustoća klizišta (po km^2 zone)	**0**	0.013	0.106	**1.423**

Pregledom tabličnih rezultata iznesenu hipotezu prema Erak (2018.) ispunjava karta 2 kreirana statističko-heurističkom metodom s obzirom da je zona vrlo visoke podložnosti najmanjeg udjela s najvećom gustoćom klizišta, a zona niske podložnosti najvećeg udjela s najmanjom gustoćom klizišta na analiziranom području.

7. DISKUSIJA

Osnovni ulazni podatak koji se koristi u svrhu analiza podložnosti kao što su ove provedene u ovom radu je inventar klizišta. Točnost odnosno reprezentativnost inventara klizišta je jedan od ključnih uvjeta koji mora biti zadovoljen prilikom izrade analiza podložnosti na klizanje na nekom istraživanom području. Inventar klizišta grada Jastrebarsko se temelji na podacima prikupljenim tijekom komunalnih ophodnji na području grada ili na dojavama građana. Zbog navedenog, u inventaru se mahom nalaze klizišta koja su uzrokovala oštećenja prometnih infrastruktura, privatnih zemljišta ili građevina na uskom području. Takav inventar možemo smatrati nepotpunim odnosno, nereprezentativnim za potpuno točnu analizu podložnosti cjelokupnog područja. Budući da je korišteni inventar u ovoj analizi jedini poznati inventar za područje grada Jastrebarsko s ukupno 47 zabilježenih klizišta odlučeno je provesti analizu u svrhu dobivanja preliminarne karte podložnosti koja se zatim može koristiti kao podloga za daljnja istraživanja podložnosti na klizanje na području grada Jastrebarsko.

U postupku izrade konačne karte podložnosti primijenjene su dvije metode; prva je metoda zasnovana na statističkim podacima preuzetim iz rada '*Procjena podložnosti na klizanje na području grada Karlovca primjenom bivarijatne statističke metode'* (Sinčić, 2020.), a druga metoda se temelji na kvantitativno-kvalitativnom pristupu analizi podložnosti na klizanje korištenjem iskustvene tzv. statističko-heurističke metode. Za obje metode su, osim navedenog inventara, korišteni i prostorni ulazni podaci (geomorfološki, geološki, hidrološki i antropološki) na temelju kojih su izvedeni i analizirani različiti faktori klizanja. Geomorfološki faktori klizanja se temelje na digitalnom modelu terena (DEM-u) rezolucije 25 m što se pokazalo kao odgovarajuća rezolucija za provedbu analize podložnosti u sitnom mjerilu i na regionalnoj razini. Geološki faktori su izvedeni pomoću osnovne geološke karte mjerila 1:100 000, hidrološki su dobiveni digitalizacijom topografske karte mjerila 1:25 000 dok su antropološki faktori izvedeni preuzimanjem podataka s weba (*Geofabrik, Open Street Map i Copernicus Land Monitoring Service*) u mjerilu 1:100 000 iz 2018. godine.

Postupak provedbe prve metode analize podložnosti na klizanje zasnovan je na ocjeni primjenjivosti W_{map} i I.V. podataka iz rada Sinčić (2020.) u ovom radu, obzirom da je riječ o dvije susjedne i po mnogočemu slične lokacije (grad Karlovac i grad Jastrebarsko). Iz rada Sinčić (2020.) preuzeta su dva scenarija, s pripadajućim faktorskim kartama i težinskim vrijednostima po klasama tih karata. Riječ je o scenariju broj osam (najbolji scenarij metode

Weight of Evidence) i scenariju broj šest (najbolji scenarij metode *informacijske vrijednosti*). Paralelno navedenim, glavnim, scenarijima kreirano je još par sporednih tzv. modificiranih scenarija koji se temelje na glavnim scenarijima, no s različitim kombinacijama faktorskih karata i njihovim cjelokupnim težinskim vrijednostima. Dakle, ukupno je kreirano pet scenarija. Tijekom analize podložnosti na klizanje ocijenjena je povoljna primjenjivost preuzetih W_{map} i I.V. vrijednosti na 9 od 17 faktorskih karata korištenih u ovom radu. No, unatoč tome u analizama provedenim u ovom radu su korištene i one karte koje nisu povoljno ocijenjene sa stajališta primjenjivosti definiranih težinskih vrijednosti s obzirom na to da su one bile korištene u originalnim scenarijima u radu Sinčić (2020.). Nakon kreiranja odgovarajućih scenarija podložnosti provedena je analiza stupnja točnosti pomoću ROC krivulje kako bi se ispitala primjenjivost modela na analiziranom području. Rezultati provedene analize stupnja točnosti modela su prednost dali metodi *informacijske vrijednosti* s obzirom da je pokazala više stupnjeve točnosti za sve kreirane scenarije u odnosu na metodu *Weight of Evidence*. Kao konačni model sa stupnjem točnosti od visokih 86% odabran je scenarij SC.4, odnosno originalni scenarij metode *informacijske vrijednosti* iz rada Sinčić (2020.). Za usporedbu valja napomenuti kako je isti model u radu Sinčić (2020.) ocijenjen sa stupnjem točnosti od 94%, što daje dodatnu težinu modelu dobivenom u ovom radu s obzirom na to da je razlika u stupnju točnosti prema originalnoj lokaciji primjene modela (grad Karlovac) samo 8%. Posljednji korak u okviru ove metode je bio klasifikacija odabrane karte koja je provedena metodom *Natural Break(s)*gdje je karta klasificirana u četiri klase podložnosti.

Druga metoda, statističko-heuristička, je samostalno provedena metoda u ovom radu. Metoda se temelji na provedbi analitičko hijerarhijskog procesa (AHP) prilikom određivanja težinskih vrijednosti pojedine faktorske karte dok su težine klasa unutar svake karte ocjenjene subjektivnim ocjenama od 1 do 5. Treba napomenuti kako su iz scenarija u scenarij subjektivno pridodane ocjene bile fiksne, a težinski postoci proračunati u AHP procesu su mijenjani tijekom izvođenja pojedine analize. Kao i kod metode prema podacima iz rada Sinčić (2020.) kreirano je ukupno pet scenarija. Scenariji se razlikuju u broju korištenih kriterija i težini kriterija koji je proračunat zasebno za svaki scenarij korištenjem AHP kalkulatora. Jedini uvjet koji je pritom morao biti ispunjen je da CR faktor (faktor konzistencije) bude manji od 10% jer je tako osigurano konzistentno procjenjivanje među parovima kriterija u AHP analizi. Navedeni uvjet su ispunile sve kreirane karte podložnosti. U postupku odabira konačne karte podložnosti na temelju statističko-heurističke metode provedena je analiza stupnja točnosti svih modela istovjetna prvoj metodi, dakle pomoću

ROC krivulje. Analiza je u ovom slučaju pokazala da model iz scenarija SC.4 daje najbolje rezultate s točnošću od 92% što je za 6% više od karte dobivene u prvoj metodi. Kako bi se provela usporedna analiza dviju karata i ova karta je klasificirana u četiri klase metodom *Natural Break(s).*

Nakon klasificiranja obje karte provedena je analiza s obzirom na udio zona podložnosti po klasama faktorske karte nadmorske visine (NAVI), nagiba padine (NATE), namjene zemljišta (NAZE_B) i vrste stijena (VRST), a ujedno analizirana je i gustoća klizišta u zonama podložnosti za obje karte. Rezultati dobiveni navedenim analizama pokazali su sličan trend raspodjele udjela zona podložnosti po klasama navedenih faktorskih karata, no karta 2 je dala rezultate s izraženijim, bilo nižim ili višim, postocima zone niske i vrlo visoke podložnosti. Kako bi se provjerila reprezentativnost klasifikacijske metode *Natural Break(s),* a samim time i kreiranih karata te dobivenih zona podložnosti, provedena je spomenuta analiza gustoće klizišta po pojedinoj zoni prema kriteriju iz Erak (2018.).

Kao karta koja je svojim pokazateljima u potpunosti zadovoljila navedeni kriterij pokazala se karta 2 (statističko-heuristička) kojoj se, na temelju tih rezultata, daje prednost za korištenje kao podloge pri daljnjim, detaljnijim, analizama podložnosti na području grada Jastrebarsko. No, potrebno je napomenuti da slabiji rezultati karte 1 (primjena definiranih težinskih vrijednosti iz rada Sinčić, 2020.) su posljedica primjene metode sa susjedne, slične, lokacije i korištenje nepotpunog inventara klizišta. Naime, statistička metoda korištena u radu Sinčić (2020.) je povoljnija za veliki broj klizišta kojih je u tom radu bilo 196 u odnosu na ovaj rad gdje je evidentirano njih svega 47. Zbog toga nije moguće u potpunosti točno opisati ponašanje modela podložnosti na klizanje na području grada Jastrebarsko primjenom rezultata težinskih vrijednosti dobivenih metodologijom s područja grada Karlovca. Nadalje, inventar klizišta odnosno, distribucija klizišta, na području grada Jastrebarsko je mahom na jednom, užem, području obuhvata te nije reprezentativno raspoređena po cjelokupnom području (što je slučaj kod grada Karlovca) čime je vrlo teško procijeniti ponašanje ostatka terena s obzirom na pojavnost klizišta. Jedino pravo rješenje navedenih problema je provedba sustavnog kartiranja klizišta cjelokupnog područja grada Jastrebarsko u svrhu nadopune inventara što je skupo, a kao jeftinija varijanta nameće se modifikacija spomenute metode analize prema Sinčić (2020.) ili primjena neke druge statističke metode koja bi dala odgovarajuće odnosno reprezentativnije rezultate analize.

8. ZAKLJUČAK

Općenita kvaliteta analiza provedenih u ovom radu ponajviše ovisi o kvaliteti i broju ulaznih podataka. Kao krucijalan podatak koji je temelj svih analiza podložnosti na klizanje ističe se inventar klizišta i njegova pouzdanost te točnost. Poznato je da je, generalno gledajući, velika većina korištenih inventara sa stajališta sitnog mjerila nepotpuna što je glavni problem s kojim se stručnjaci suočavaju prilikom izvođenja ovakvih ili sličnih analiza (Cantarino et.al. 2018.). Kao razlog tome nameće se cijena i vrijeme provođenja sustavnog kartiranja terena u svrhu dobivanja potpunog, pouzdanog i točnog inventara. Zbog toga, konačni modeli, odnosno karte, kreirane u ovakvim postupcima imaju određena ograničenja u primjeni. Prema tome, dobiveni rezultati u ovom radu se ne mogu smatrati u potpunosti točnim već preliminarnim informacijama te mogu poslužiti kao podloge za daljnja istraživanja u svrhu njihova poboljšanja.

Iz konačno odabranih karta podložnosti za područje grada Jastrebarsko može se iščitati kako postoji pretežito nizak do srednji rizik od klizanja za stanovništvo odnosno za materijalna dobra. Informacije koje valja istaknuti, a dobivene su u procesu provedbe svih analiza u ovom radu su sljedeće:

- Najutjecajniji faktori na pojavu klizišta su litološki faktori (M_4, M_5 i M_6), udaljenost od prometnica (0-50 m) te nadmorska visina (200- 250 m n.m.) gdje je evidentirana najveća gustoća klizišta
- Udio vrlo visoke podložnosti na klizanje na cjelokupno analiziranom području je relativno nizak i iznosi 14.26% (karta 1) odnosno 12.75% (karta 2)
- Područja s nadmorskom visinom 200-250 m sadrže najviši udio zone vrlo visoke podložnosti
- Područja s nagibom terena 5-15° sadrže najviši udio zone vrlo visoke podložnosti
- Područja heterogenog poljoprivrednog zemljišta su područja s najvećim udjelom zone vrlo visoke podložnosti
- Područja s miocenskim naslagama (M_4, M_5 i M_6) su područja s najvećim udjelom zone vrlo visoke podložnosti, dok holocenska i pliokvartarna područja sadrže najveći udio zone niske podložnosti

9. POPIS LITERATURE

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

BENČEK, Đ., JUKOVAC, J., MAGAŠ, N., ŠIMUNIĆ, A. (1989.); *Osnovna geološka karta 1:100 000, List Karlovac*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1989

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 str.

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

CANTARINO, I., CARRION, M.A.,GISBERT, F.J., MARTÍNEZ IBÁÑEZ, V., (2018); *A ROC analysis-based classification method for landslide susceptibility maps*. Landslides. 16. doi:10.1007/s10346-018-1063-4.

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: 25. lipnja 2020.)

ERAK, M. (2018.); *Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske,* Rudarsko geološko naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Sveučilište u Zagrebu, Diplomski rad

GOEPEL, K.D. (2018.); Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487,

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

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

MARKOVIĆ, M., (1983.); *Osnovi primenjene geomorfologije*, Posebna izdanja, knjiga 8, Geoinstitut, Beograd.

MADAŠ, N., BUKOVAC, J., BENČEK, Đ., (1989.); *Osnovna geološka karta, tumač za List Karlovac*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1989.

RILEY, S.J., DEGLORIA, S.D., ELLIOT, R., (1999.); *A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity*. Intermountain Journal of Sciences, 5, 1-4.

SINČIĆ, M. (2020.); *Procjena podložnosti na klizanje na području grada Karlovca primjenom bivarijantne statističke metode*, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Sveučilište u Zagrebu, Diplomski rad

ŠIKIČ, K., BASCH, A., ŠIMUNIĆ, A. (1972.); *Osnovna geološka karta 1:100 000 i tumač za List Zagreb*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1972.

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

VAN WESTEN, C.J., (2002); *Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping*. ITC Publication, 21 str.

WEB izvori:

WMS server DGU, https://geoportal.dgu.hr/ (zadnji pristup: 3.lipnja 2020.)

Copernicus Land Monitoring Service (Corine Land Cover), https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover (CLC2018_CLC2012_V2018_20b2.gdb) (zadnji pristup: 8.lipnja 2020.)

Free GIS Datasets, https://freegisdata.rtwilson.com/#home (zadnji pristup: 10. lipnja 2020.)

Geofabrik, https://www.geofabrik.de/ (zadnji pristup: 10. lipnja 2020.)

Državni zavod za statistiku, DZS, 2011. Statistička izvješća - Popis stanovništva iz 2011. Godine. https://www.dzs.hr/ (zadnji pristup: 25.srpnja 2020.)

AxisMaps, 2017., https://www.axismaps.com (zadnji pristup: 22.rujna 2020.)