

# Procjena podložnosti na klizanje na području Grada Karlovca primjenom bivarijantne statističke metode

---

**Sinčić, 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:169:383218>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-10**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**PROCJENA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE NA PODRUČJU GRADA KARLOVCA  
PRIMJENOM BIVARIJANTNE STATISTIČKE METODE**

Diplomski rad

Marko Sinčić

GI 352

Zagreb, 2020.

*Prvenstveno, želim se zahvaliti mentorici, prof.dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas na odobrenoj temi, ukazanom povjerenju te korekcijama koje su doprinijele kvaliteti ovog diplomskog rada.*

*Nadalje, srdačno se zahvaljujem komentorici, dr.sc. Sanji Bernat Gazibara na ideji za temu diplomskog rada, vođenju i savjetima te iskrenoj i velikodušnoj pomoći pri izradi rada.*

*Zahvaljujem svojoj obitelji na podršci, razumijevanju i strpljenju tijekom studiranja.*

*Naposljetku, hvala svim prijateljima koji su mi uljepšali studentske dane.*

PROCJENA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE NA PODRUČJU GRADA KARLOVCA  
PRIMJENOM BIVARIJANTNE STATISTIČKE METODE

MARKO SINČIĆ

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

Sažetak

Cilj ovoga rada je bilo izraditi preliminarnu kartu podložnosti na klizanje u regionalnom mjerilu na temelju postojećeg inventara klizišta Grada Karlovca i dostupnih prostornih podataka primjenom bivarijantne statističke metode. Ukupno je analizirano 17 preduvjeta klizanja izvedenih iz digitalnog modela terena rezolucije 25 m, pokrova i namjene korištenja zemljišta *Corine Land Cover*, prometnica dostupnih na *Open Street Map*, te digitalizacijom Osnovne geološke karte M 1:100.000 i topografske karte M 1:25.0000. Za analizu utjecaja pojedinih klasa faktorskih karata klizanja i definiranje težinskih faktora primijenjene su dvije metode, metoda *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti. Karte podložnosti na klizanje izvedene su za osam različitih scenarija, a verificirane su analizom ROC krivulje. Analiza je pokazala da najviši stupanj točnosti (96%) i predikcije (94%) ima karta podložnosti izvedena na temelju 14 faktora klizanja, uključujući nagib terena, orijentaciju padine, hrapavost i zakrivljenost terena, litologiju, udaljenost od geoloških granica i rasjeda, vlažnost terena, udaljenost od stalnih i povremenih vodotoka te izvora, udaljenost od prometnica i namjenu zemljišta. Konačna karta podložnosti na klizanje klasificirana je s obzirom na četiri klase podložnosti na klizanje, te je oko 60% područja klasificirano kao nisko podložno na klizanje, oko 16% je klasificirano kao srednje podložno na klizanje, oko 14% kao područja visoke podložnosti i 11% kao područja vrlo visoke podložnosti na klizanje. Iz daljnjih analiza raspodjele klasa podložnosti na klizanje s obzirom na namjenu klizišta i gustoću stanovništva može se zaključiti da postoji opravdani rizik od klizanja za stanovništvo, odnosno materijalna dobra na području Grada Karlovca. Iz navedenog se zaključuje da su nužna daljnja istraživanja koja će rezultirati detaljnijim i pouzdanijim kartama klizišta.

Ključne riječi: klizište, podložnost na klizanje, Karlovac

Diplomski rad sadrži: 70 stranica, 11 tablica, 53 slike, 1 prilog i 28 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentorica: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica

Komentorica: dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, poslijedoktorandica

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

Doc. dr.sc. Martin Krkač, docent, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

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

Datum obrane: 20. veljače 2020.

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology  
and Petroleum Engineering

Graduate Engineer of Geological Engineering Thesis

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF KARLOVAC CITY USING BIVARIATE  
STATISTICS METHODOLOGY

MARKO SINČIĆ

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

Abstract

The purpose of this thesis is to create a preliminary landslide susceptibility map on a regional scale based upon an existing landslide inventory from Karlovac City and available spatial data using bivariate statistics. In total, 17 sliding preconditions were created from a digital elevation model with 25 m spatial resolution, Corine Land Cover land use, traffic road data available on Open Street Map and by digitalization of General Geological Map M 1:100.000 and a topographic map M 1:25.000. For the analysis of the influence of certain classes from factor landslide maps and defining weight factors two methods were used, Weight of Evidence and Information Value. Susceptibility maps were created by defining eight different scenarios and verified by ROC curve analysis. Analyses showed that the susceptibility map created from 14 landslide factors: slope gradient, aspect, roughness and curvature of the terrain, lithology, proximity from geological boundary and faults, terrain humidity, proximity from permanent and intermittent watercourses and springs, proximity from traffic roads and land use has maximum success rate (96%) and maximum prediction rate (94%). Final susceptibility map was classified in terms of four classes of landslide susceptibility; 60% of the territory was classified as low susceptibility, around 16% was classified as medium susceptibility, around 14% as areas of high susceptibility and 11% as areas of very high susceptibility. Further analyses of the division of susceptibility classes regarding land use and population density showed there is a justified risk of sliding for the population, and material goods in the Karlovac City area. From the above it can be concluded that further research is necessary, which would result in more detailed and reliable landslide maps.

Keywords: landslide, landslide susceptibility, Karlovac

Thesis contains: 70 pages, 11 tables, 53 pictures, 1 enclosure and 28 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Prof. Dr.Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor

Co-supervisor: Dr.Sanja Bernat Gazibara, Post-doctoralresearcher

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

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

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

Date of defense: 20 February 2020.

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Geografske značajke .....	3
2.2	Geomorfološke značajke .....	5
2.3	Geološka građa .....	7
<b>3</b>	<b>METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>10</b>
3.1	<i>Hi</i> -kvadrat test .....	10
3.2	Metoda <i>Weight of Evidence</i> i metoda informacijske vrijednosti.....	12
3.3	Metoda verifikacije primjenom ROC krivulje .....	15
<b>4</b>	<b>ULAZNI PODACI</b> .....	<b>16</b>
4.1	Inventar klizišta .....	16
4.2	Ulazni podaci za faktorske karte klizanja .....	17
4.2.1	Geomorfološki faktori.....	17
4.2.2	Geološki faktori .....	21
4.2.3	Hidrološki faktori .....	23
4.2.4	Antropogeni faktori.....	25
<b>5</b>	<b>ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE</b> .....	<b>28</b>
5.1	Obrada klizišta .....	28
5.2	Faktorske karte .....	29
5.2.1	Geomorfološki faktori.....	29
5.2.2	Geološki faktori .....	34
5.2.3	Hidrološki faktori .....	38
5.2.4	Antropogeni faktori.....	43
<b>6</b>	<b>KARTA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE</b> .....	<b>48</b>
6.1	Izrada karte podložnosti na klizanje i verifikacija .....	48
6.2	Klasifikacija karte podložnosti Grada Karlovca na klizanje .....	56
6.3	Primjena karte podložnosti na klizanje Grada Karlovca.....	58
<b>7</b>	<b>DISKUSIJA</b> .....	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>68</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Geografska lokacija područja istraživanja, jedinice lokalne samouprave Grada Karlovca. ....	3
Slika 2.2 Administrativna podjela Grada Karlovca i okolice.....	4
Slika 2.3 Prikaz nadmorskih visina i nagiba terena područja Grada Karlovca. ....	5
Slika 2.4 Lokacija istraživanog područja u odnosu na geomorfološke regije (Bognar, 2001): Panonski bazen (1.); Zavalu SZ Hrvatske (1.3.); Vukomeričke gorice s zavalom Crne Mlake (1.3.7.); Gorski masiv Petrove gore i Kremešnice s okolnim pobrđima (1.3.8.); Zavalu Crne Mlake sa nizinom Kupe (1.3.7.2.); Gorski masiv Kremešnice s Utinjsko - Tušilovačkim pobrđem (1.3.8.2.); i Vojničko pobrđe (1.3.8.4.).....	6
Slika 2.5 Digitalizirana Osnovna geološka karta 1:100 000 List Karlovac (Benček et al., 1989) i List Črnomelj (Bukovac et al., 1983).....	9
Slika 3.1 Pojednostavljeni dijagram toka izrade karte podložnosti na klizanje primjenom bivarijantne statističke metode (Bernat Gazibara, 2019 prema Van Westen et al., 2002).....	13
Slika 4.1 Inventar klizišta Grada Karlovca iz razdoblja 2014.-2019. godine .....	16
Slika 4.2 Digitalni model reljefa ( <i>EU-DEM</i> ) područja Grada Karlovca.....	17
Slika 4.3 Nagib terena područja Grada Karlovca. ....	18
Slika 4.4 Orijehtacija padine područja Grada Karlovca.....	19
Slika 4.5 Zakrivljenost terena područja Grada Karlovca.....	19
Slika 4.6 Hrapavost terena područja Grada Karlovca.....	20
Slika 4.7 Digitalizacija Osnovne geološke karte List Karlovac (Benček et al., 1989) i List Črnomelj (Bukovac et al., 1983) za područje Grada Karlovca. ....	21
Slika 4.8 <i>EU-DEM</i> i prikaz izvedene drenažne mreže za područje Grada Karlovca. ....	23
Slika 4.9 Digitalizacija topografske karte 1:25 000 - stalni i povremeni vodotoci (WMS server DGU).....	24
Slika 4.10 Digitalizacija topografske karte 1:25 000 - izvori i vodotoci (WMS server DGU).....	24
Slika 4.11 <i>EU-DEM</i> i prikaz izvdene vlažnosti terena za područje Grada Karlovca. ....	25
Slika 4.12 Prometnice - vektorski podatak u obliku linija ( <i>Open Street Map, 2019</i> ).....	26
Slika 4.13 Namjena zemljišta - prva razina (izvor: <i>Copernicus Land Monitoring Service, 2018</i> ). ....	26
Slika 4.14 Namjena zemljišta - druga razina (izvor: <i>Copernicus Land Monitoring Service, 2018</i> ). ....	27
Slika 5.1 Lokacije klizišta korištenih za verifikaciju odnosno izradu modela podložnosti Grada Karlovca. ....	28
Slika 5.2 Faktorska karta nadmorskih visina za područje Grada Karlovca. ....	31
Slika 5.3 Faktorska karta nagiba terena za područje Grada Karlovca. ....	32
Slika 5.4 Faktorska karta orijentacija padine za područje Grada Karlovca. ....	32
Slika 5.5 Faktorska karta zakrivljenosti terena za područje Grada Karlovca. ....	33

Slika 5.6 Faktorska karta hrapavosti terena za područje Grada Karlovca .....	34
Slika 5.7 Faktorska karta vrste stijena za područje Grada Karlovca. ....	35
Slika 5.8 Faktorska karta udaljenosti od geološke granice za područje Grada Karlovca. ....	37
Slika 5.9 Faktorska karta udaljenosti od rasjeda za područje Grada Karlovca. ....	37
Slika 5.10 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže za područje Grada Karlovca. ....	40
Slika 5.11 Faktorska karta udaljenosti od izvora za područje Grada Karlovca.....	40
Slika 5.12 Faktorska karta udaljenosti od povremenih vodotoka za područje Grada Karlovca. ...	41
Slika 5.13 Faktorska karta udaljenosti od stalnih vodotoka za područje Grada Karlovca.....	41
Slika 5.14 Faktorska karta udaljenosti od vodotoka. za područje Grada Karlovca.....	42
Slika 5.15 Faktorska karta vlažnosti terena za područje Grada Karlovca.....	43
Slika 5.16 Faktorska karta udaljenosti od prometnica za područje Grada Karlovca.....	45
Slika 5.17 Faktorska karta namjene zemljišta A izvedena s obzirom na klasifikaciju prema prvoj razini.....	46
Slika 5.18 Faktorska karta namjene zemljišta B izvedena s obzirom na klasifikaciju prema drugoj razini.....	46
Slika 6.1 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije I, II, III i IV dobivene metodom <i>Weight of Evidence</i> . Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti na klizanje, odnosno nižih $W_{map}$ vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti i na klizanje, odnosno područja viših $W_{map}$ vrijednosti. ...	50
Slika 6.2 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije I, II, III i IV dobivene metodom informacijske vrijednosti. Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti i na klizanje, odnosno nižih $I_i$ vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje, odnosno više $I_i$ vrijednosti. ....	51
Slika 6.3 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije V, VI, VII i VIII dobivene metodom <i>Weight of Evidence</i> . Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti na klizanje, odnosno nižih $W_{map}$ vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje, odnosno više $W_{map}$ vrijednosti.....	53
Slika 6.4 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije V, VI, VII i VIII dobivene metodom informacijske vrijednosti. Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti na klizanje, odnosno nižih $I_i$ vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje, odnosno više $I_i$ vrijednosti. ....	54
Slika 6.5 Rezultati analize ROC krivulje za stupanj točnosti Scenarija VIII.....	55
Slika 6.6 Rezultati analize ROC krivulje za stupanj predikcije Scenarija VIII.....	55
Slika 6.7 Klasifikacija ROC krivulje za kartu podložnosti na klizanje prema kriterijima iz Bernat Gazibara (2019). ....	56
Slika 6.8 Klasificirana karta podložnosti na klizanje Grada Karlovca dobivena prema Scenariju VIII i primjenom metode <i>Weight of Evidence</i> . ....	57
Slika 6.9 Površinski udjeli klasa podložnosti na klizanje na konačnoj karti podložnosti Grada Karlovca. ....	58
Slika 6.10 Prikaz naselja Grada Karlovca na konačnoj karti podložnosti na klizanje.....	59



Slika 6.11 Udio klasa podložnosti na klizanje u klasama namjene zemljišta u Gradu Karlovcu..	60
Slika 6.12 Udio broja klizišta u klasama namjene zemljišta u Gradu Karlovcu .....	60
Slika 6.13 Karta gustoće stanovništva Grada Karlovca. ....	61
Slika 6.14 Udio klasa podložnosti na klizanje u klasama gustoće stanovništva na području Grada Karlovca. ....	62
Slika 6.15 Udio broja evidentiranih klizišta u klasama gustoće stanovništva u Gradu Karlovcu.	63

## POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Definiranje varijabli korištenih za izračun pomoću metode <i>Weight of Evidence</i> (Van Westen et al. 2002).....	14
Tablica 4.1 Tumač za klase vrsta stijena za područje Grada Karlovca.....	22
Tablica 4.2 Podjela namjene zemljišta po klasifikaciji prve (A) i druge razine (B) ( <i>Copernicus Land Monitoring Service, 2018</i> ).....	27
Tablica 5.1 Prikaz rezultata <i>Hi</i> -kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za geomorfološke faktore klizanja.....	30
Tablica 5.2 Prikaz rezultata <i>Hi</i> -kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za geološke faktore.....	36
Tablica 5.3 Prikaz rezultata <i>Hi</i> -kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za hidrološke faktore.....	39
Tablica 5.4 Prikaz rezultata <i>Hi</i> -kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i <i>Weight of Evidence</i> metode za antropogene faktore.....	44
Tablica 6.1 Definiranje faktorskih karata za Scenarije I, II, III i IV.....	49
Tablica 6.2 Rezultati analize ROC krivulje za scenarije I, II, III i IV.....	51
Tablica 6.3 Definiranje faktorskih karata za Scenarije V, VI, VII i VIII.....	52
Tablica 6.4 Rezultati ROC krivulje za scenarije V, VI, VII i VIII.....	52

## POPIS PRILOGA

Prilog 1

Karta podložnosti na klizanje Grada Karlovca mjerila M1:100.000

## 1 UVOD

Klizanje je tip pokreta masa pod kojim se podrazumijeva gibanje mase stijena, debris ili tla niz padinu (Cruden, 1991). U radu Mihalić Arbanas & Arbanas (2015) daje se sažeti pregled predmeta istraživanja i novije literature koji su vezani za pet vrsta istraživanja klizišta: identifikacija i kartiranje klizišta, detaljno istraživanje klizišta, monitoring klizišta, procjena hazarda i rizika od klizanja, i stabilizacija klizišta i mjere sanacije. Identifikacija klizišta, kartiranje, detaljno istraživanje i monitoring primarno su namijenjeni za prikupljanje podataka o klizištima u različitim mjerilima, od detaljnog mjerila na razini građevinskih čestica (<1:5 000) preko krupnog mjerila na lokalnoj razini (1:5 000-1:25 000) i srednjeg, odnosno sitnog mjerila na regionalnoj i državnoj razini (1:25 000-1:100 000, 1:100 000, >1:250 000). Podaci o klizištima se koriste za modeliranje geometrije klizišta (uključivo i svojstva materijala tla i stijena i podzemnu vodu), zatim pokretača klizišta i napredovanje klizišta, kako bi se odredile značajke postojećih klizišta i omogućilo predviđanje potencijalnih klizišta na razini određene padine ili skupine padina. Razlikuju se dva glavna pristupa modeliranju klizišta: fizičko modeliranje kojim se određuju mehanička svojstva tla i stijena i numeričko modeliranje kojim se potvrđuju prethodna i predviđaju buduća ponašanja klizišta. Rezultati modeliranja klizišta i analize stabilnosti se praktično koriste za razvoj i primjenu mjera prevencije i sanacije. Osim toga, modeliranje hazarda klizanja provodi se pomoću empirijskih, statističkih i numeričkih tehnika kako bi se predvidjeli prostorno i vremenski događaji klizanja, od mjerila određene lokacije do regionalnog mjerila. Rezultati modeliranja hazarda klizanja praktično se koriste za razvoj i primjenu mjera upravljanja rizicima.

U ovom radu se prikazuje modeliranje hazarda klizanja korištenjem statističkih tehnika u svrhu predviđanja prostorne vjerojatnosti klizanja na području Grada Karlovca u mjerilu 1:100 000, što odgovara državnom mjerilu. Rezultat je zoniranje hazarda klizanja koje je prikazano na karti podložnosti na klizanje M1:100 000. Izrada ove karte statističkim metodama iziskivala je korištenje inventara klizišta pod čime se podrazumijeva karta s lokacijama pojava klizišta koja su bila aktivna ili su još uvijek aktivna na istraživanom području. U radu je korišten inventar klizišta koji je nastao kontinuiranom evidencijom lokacija klizišta u razdoblju od 2014. do 2019. godine od strane lokalne samouprave Grada Karlovca. Osim inventara klizišta, za potrebe modeliranja podložnosti na klizanje izrađeno je i

niz karata faktora klizanja, pod čime se podrazumijevaju kartografski prikazi preduvjeta klizanja, geomorfoloških, geoloških, hidroloških i antropogenih.

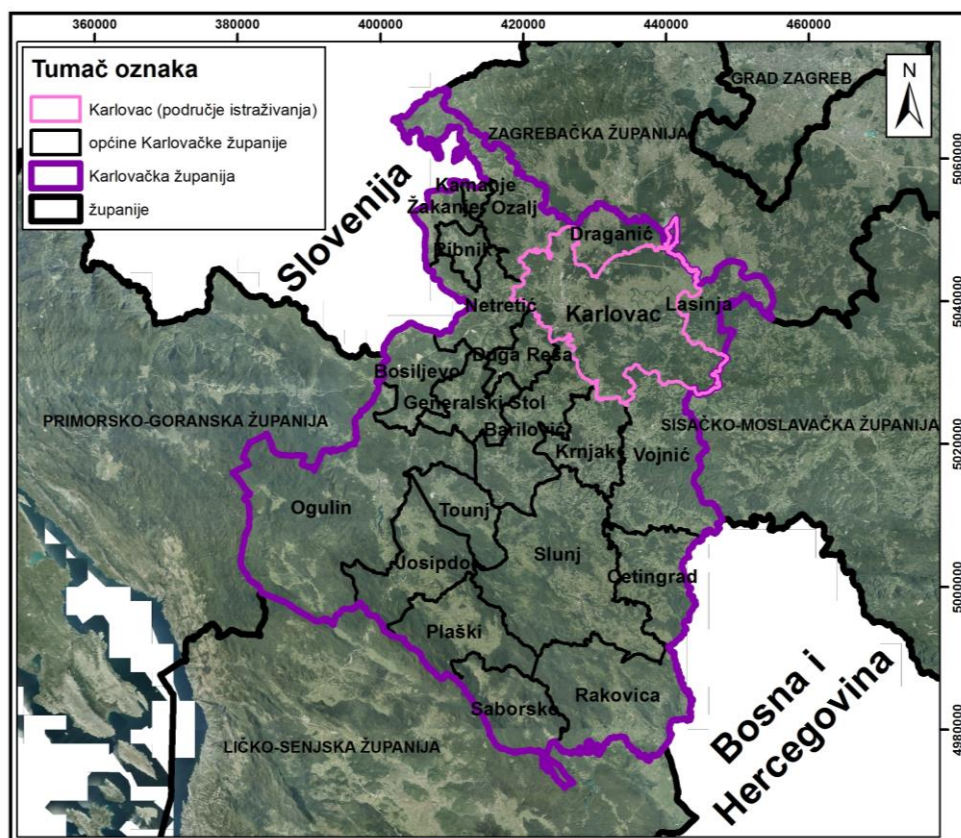
Ciljevi diplomskog rada bili su: prikupljanje podataka i različitih izvora, obrada prostornih podataka u GIS-u, izrada faktorskih karata klizanja i definiranje klasa faktora klizanja, analize utjecaja pojedinih klasa faktora klizanja na pojavu klizišta, izrada karata podložnosti na klizanje prema osam različitih scenarija, verifikacija izvedenih karata podložnosti te reklasifikacija konačne karte podložnosti na četiri klase podložnosti na klizanje. Konačni očekivani rezultat provedenog istraživanja je karta podložnosti na klizanje koja prikazuje informacije o opasnostima od klizanja, a koje se mogu koristiti u prostornom planiranju, za procjenu rizika te od strane šire javnosti. Karta podložnosti na klizanje je analizirana u odnosu na inventar klizišta, kao i kartu namjene zemljišta i kartu gustoće stanovništva. Na ovaj način dobivene su korisne preliminarne informacije o izloženosti ljudi i materijalnih dobara interesantne za domenu gradnje, prostornog planiranja, civilne zaštite i zaštite okoliša. Zaključeno je da, budući da na istraživanom području registriran značajan broj klizišta, karta podložnosti na klizanje može uvelike unaprijediti sustav upravljanja klizištima kroz sustav prostornog planiranja.

## 2 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje provedeno u diplomskom radu obuhvaća administrativno područje jedinice lokalne samouprave Grada Karlovca koji se nalazi u središnjoj Hrvatskoj. Geografski položaj istraživanog područja te detaljni podaci o spomenutim geološkim i geomorfoloških značajkama izneseni su u ovom poglavlju, budući da značajno utječu na preduvjete klizanja, a time i na aktiviranje procesa klizanja.

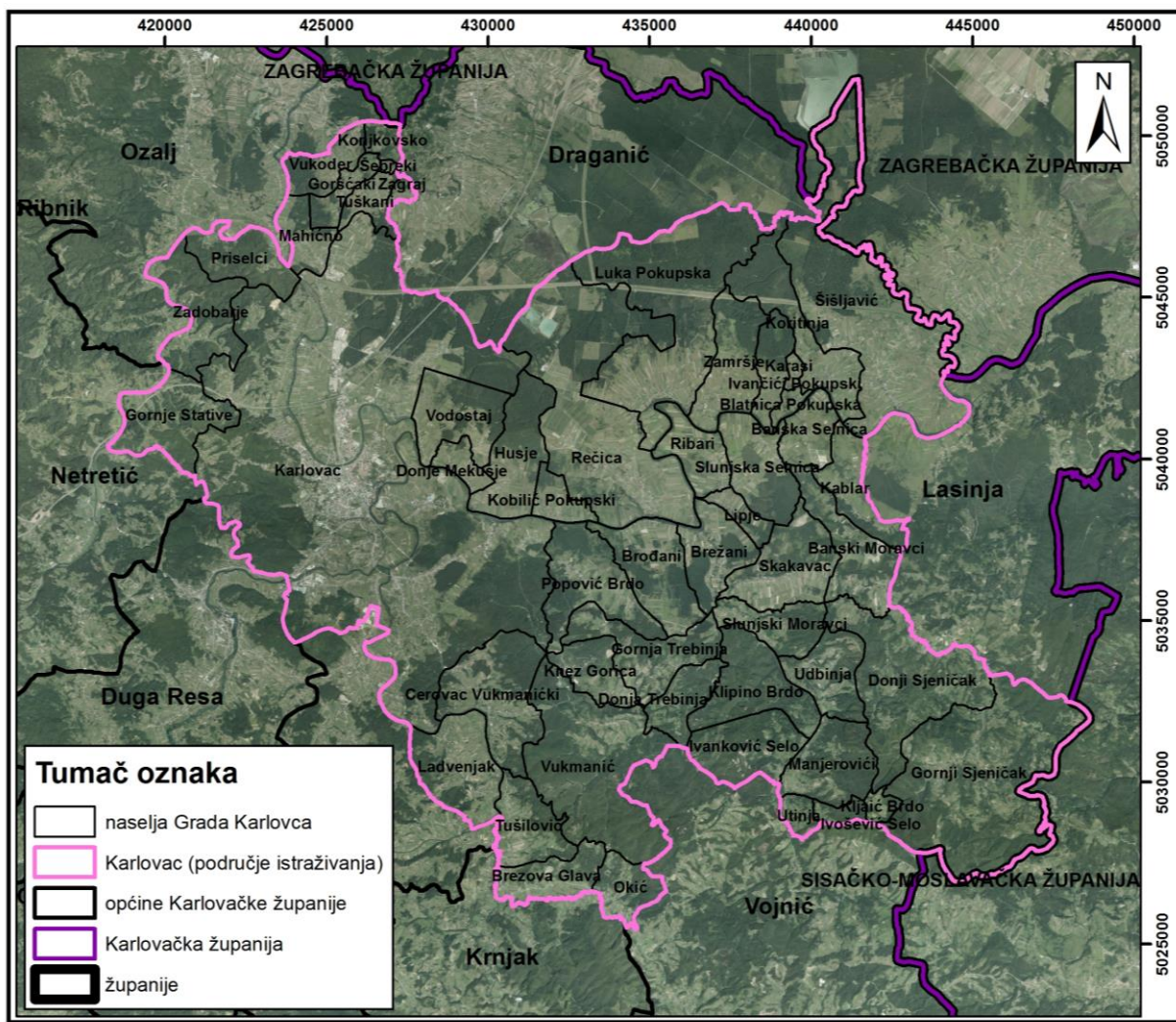
### 2.1 Geografske značajke

Grad Karlovac nalazi se u sjevernom dijelu Karlovačke županije i ujedno predstavlja administrativno i najveće urbano središte županije. Lokacija na najužem dijelu Hrvatske i udaljenost od 50-ak kilometara do Slovenije na sjeverozapadu te Bosne i Hercegovine na jugoistoku čine ga važnim prometnim i gospodarskim središtem. Geografska lokacija Grada u odnosu na susjedne jedinice regionalne odnosno lokalne samouprave prikazana je na slici 2.1.



Slika 2.1 Geografska lokacija područja istraživanja, jedinice lokalne samouprave Grada Karlovca.

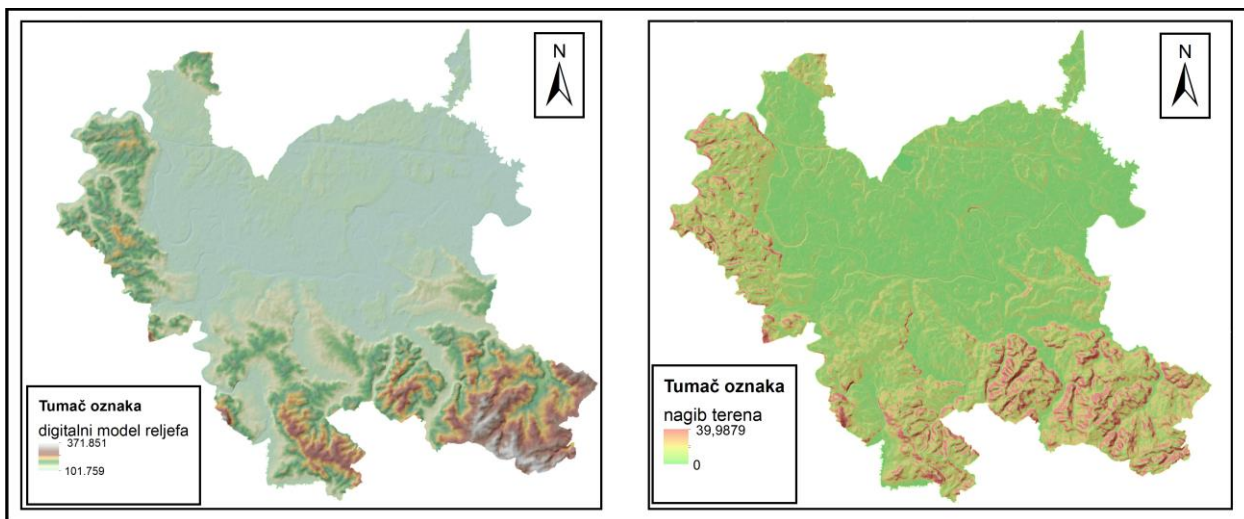
Grad Karlovac je smješten na granici nizinske i gorske Hrvatske, u području s umjerenom kontinentalnom klimom. Ukupna površina Grada je 402 km<sup>2</sup>, a administrativno je podijeljen na naselja prikazana na slici 2.2, odnosno na 12 gradskih četvrti i 26 mjesnih odbora. Prema popisu stanovništva iz 2011. godine područje Grada Karlovca ima 59.016 stanovnika (DZS, 2011).



Slika 2.2 Administrativna podjela Grada Karlovca i okolice.

## 2.2 Geomorfološke značajke

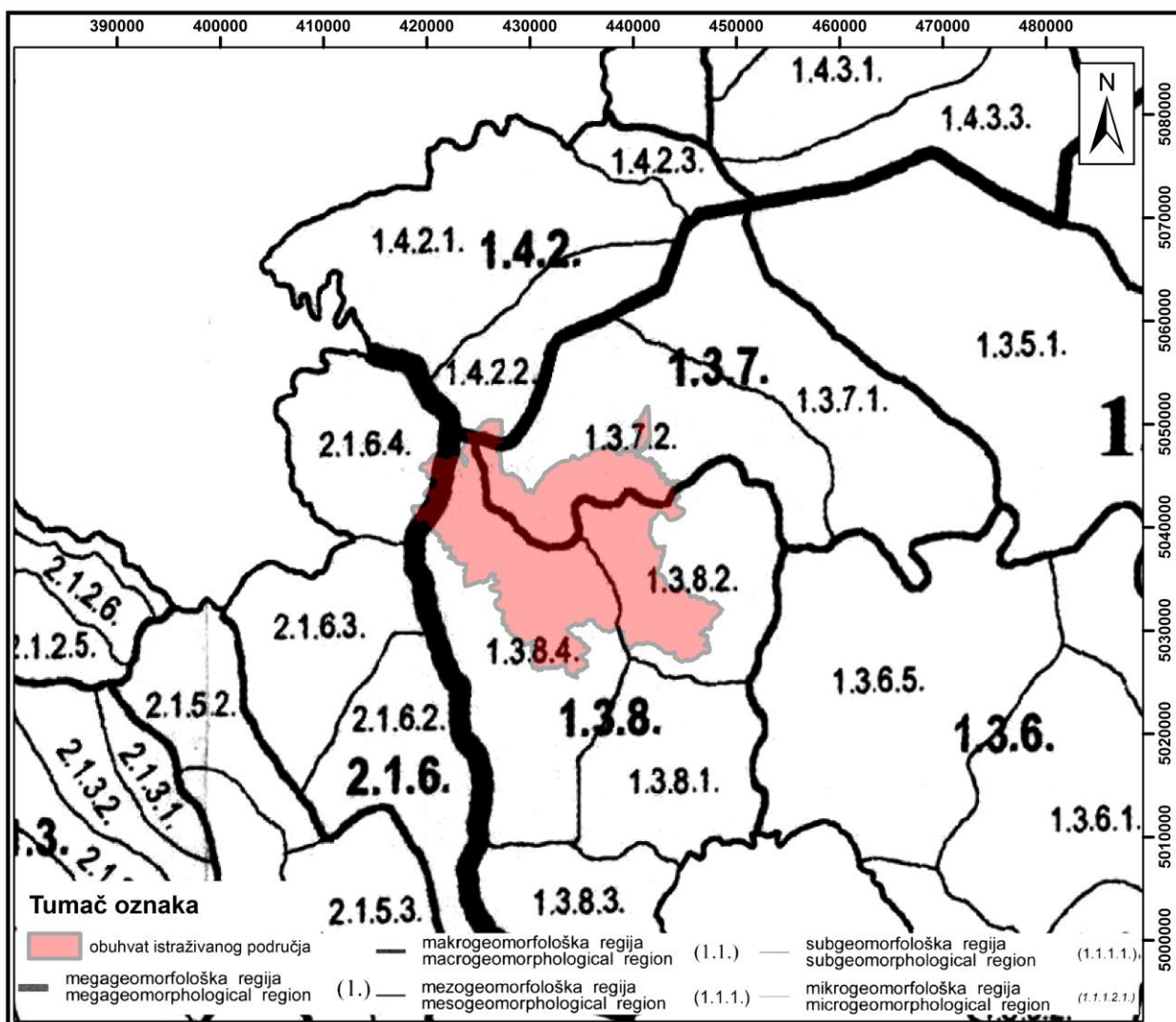
Na slici 2.3 prikazan je digitalni model reljefa s prostornom raspodjelom nadmorskih visina i nagiba padina na području Grada Karlovca. Sjeverni dio istraživanog područja je pretežito nizinsko područje koje je površinskim tokom rijeke Kupe odvojeno od južnog, pretežito brežuljkastog i brdovitog dijela. Zbog navedenog razlikujemo prostore Karlovačkog Pokuplja kao nizinskog, te Korduna kao brežuljkastog dijela. Morfološki se razlikuje Karlovačka kotlina čija prosječna nadmorska visina iznosi maksimalno 120 m n.m. Kotlina je omeđena najnižim obroncima Samoborskog gorja na sjeverozapadnoj strani te Vukomeričkim Goricama na sjeveroistočnoj strani. Južno od kotline počinju brežuljkasti i brdoviti krajevi s prosječnim nadmorskim visinama od 200 do 370 m n.m. U smjeru sjeverozapada prema Ozlju, u naseljima Gornje Stative, Zadobarje i Priselci prevladava brežuljkasto-brdoviti reljef. Karlovac ima bogatu hidrografsku mrežu s četiri velike rijeke, Koranom, Kupom, Mrežnicom i Dobrom. Kupa se dodatno prihranjuje s desnim pritokama Utinjom, Trepčom i Radonjom. Područje je relativno dobro pošumljeno, pretežito bjelogoričnim šumama (Madaš et al., 1989).



2.3 Prikaz nadmorskih visina i nagiba terena područja Grada Karlovca.

Prema Bognar (2001), gotovo cijelo područje istraživanja pripada u megageomorfološku regiju Panonski bazen (1.), odnosno makrogeomorfološku regiju Zavala SZ Hrvatske (1.3.). Približno sjeverni dio Zavale SZ Hrvatske pripada u mezogeomorfološku regiju Vukomeričke gorice s zavalom Crne Mlake (1.3.7.), a južni u Gorske masive Petrove gore i Kremešnice s okolnim pobrđima (1.3.8.). Subgeomorfološki, prostor Vukomeričkih gorica sa zavalom Crne

Mlake odnosi se samo na Zavalu Crne Mlake s nizinom Kupe (1.3.7.2.) dok se Gorski masivi Petrove gore i Kremešnice dijele na istočni dio definiran kao Gorski masiv Kremešnice s Utinjsko - Tušilovačkim pobrđem (1.3.8.2.) i zapadni dio odnosno Vojničko pobrđe (1.3.8.4.). Lokacije spomenutih regija i njihov međusobni odnos prikazan je na slici 2.4.



Slika 2.4 Lokacija istraživanog područja u odnosu na geomorfološke regije (Bognar, 2001): Panonski bazen (1.); Zavala SZ Hrvatske (1.3.); Vukomeričke gorice s zavalom Crne Mlake (1.3.7.); Gorski masiv Petrove gore i Kremešnice s okolnim pobrđima (1.3.8.); Zavala Crne Mlake sa nizinom Kupe (1.3.7.2.); Gorski masiv Kremešnice s Utinjsko - Tušilovačkim pobrđem (1.3.8.2.); i Vojničko pobrđe (1.3.8.4.).

Najniža vrijednost nadmorske visine u istraživanom području iznosi 102 m n.m., a najviša vrijednost 372 m n.m. Na zapadu te na jugu i jugozapadu istraživanog područja dolazi do



značajnijih povećanja nadmorske visine zbog prijelaza u brežuljkasto-brdovite predjele. Ostatak istraživnog područja karakteriziraju ravničarski predjeli s malim nadmorskim visinama. Analizom nagiba padina ustanovljeno je da većinu istraživnog područja čine ravnice i blago nagnuti tereni, a iznimka su zapadni, južni i jugoistočni dijelovi istraživnog područja gdje prevladavaju strmije padine, maksimalnog nagiba do 40°.

### **2.3 Geološka građa**

Geološka građa istraživnog područja je većim dijelom prikazana je na Listu Karlovac (Benček et al., 1989) Osnovne geološke karte (OGK) M 1:000 000, i znatno manjim dijelom na Listu Črnomelj (Bukovac et al., 1983). U nastavku diplomskog rada opisane su značajnije geološke jedinice na temelju podataka iz Tumača OGK za List Karlovac (Madaš et al., 1989). Istraživano područje obuhvaća geotektonski strukturni kompleks karbonatne platforme Dinarida, nazvanog Dinarik, kao i strukturni kompleks "bazenskog" prostora Dinarida, tzv - Supradinarik i neogenski strukturni kompleks.

Najstarije naslage na istraživnom području pripadaju mlađem paleozoiku (P<sub>2</sub>). Pojavljuju se na sjeverozapadu istraživnog područja kod naselja Zadobarje te u većoj mjeri na jugu, kod ušća rijeke Radonje u Koranu, odnosno s desne obale spomenutih rijeka. Debljine ovih naslaga nisu određene, a radi se o kvarcnim konglomeratima, pješčenjacima, silitima te šejlovima.

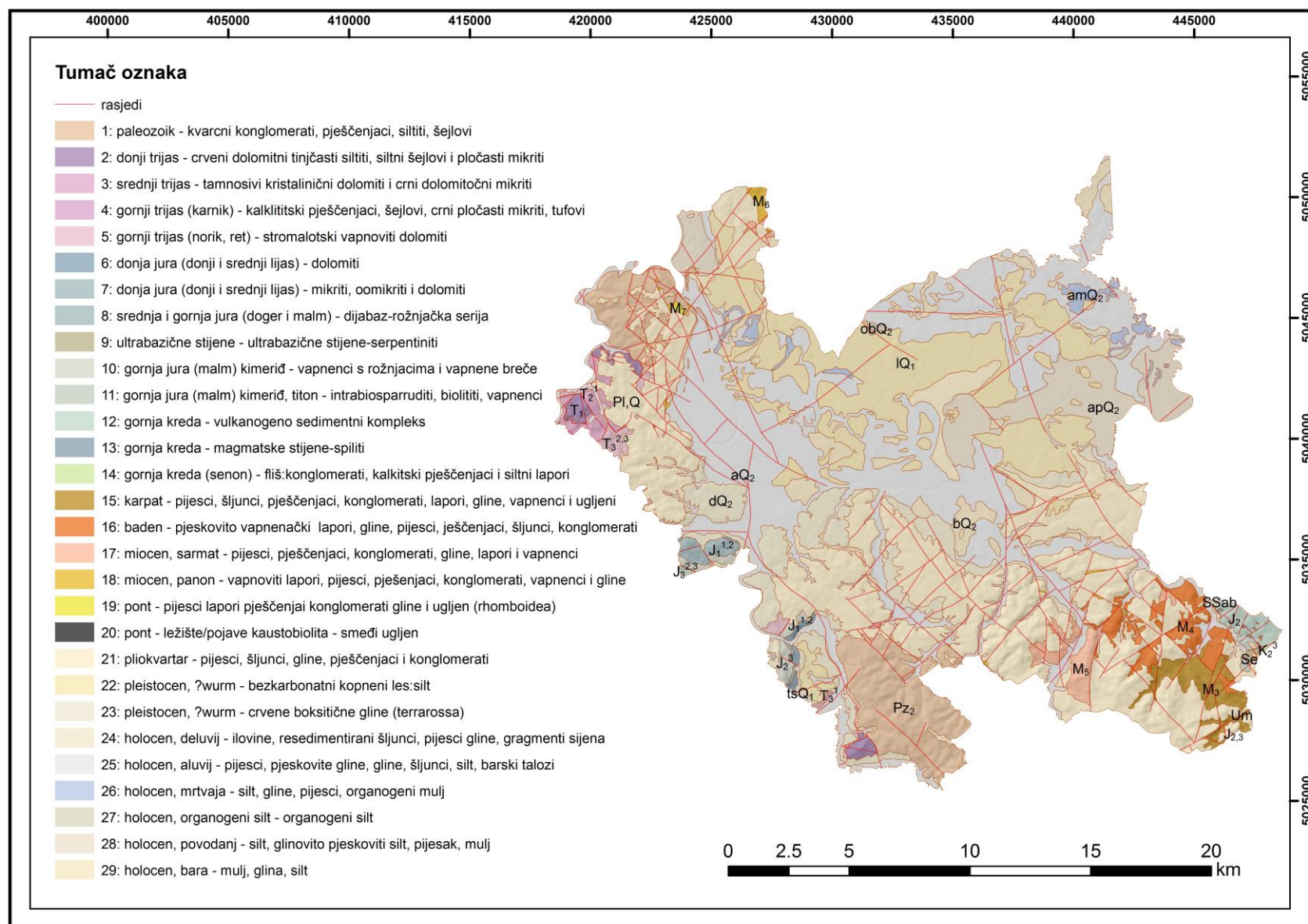
Benček et al. (1989) ističu da otvorene naslage mezozoika pripadaju diferenciranim sedimentacijskim prostorima, u okviru geotektonskog pojasa karbonatne platforme Dinarida i geotektonskog "bazenskog", eudinamskog pojasa Dinarida, danas približene i navučene s jugozapadnom vegencijom navlačenja. Mezozojske naslage trijasa, jure i krede su na istraživnom području slabo zastupljene. Trijaskе naslage pojavljuju se s obje strane rijeke Dobre na samom istoku istraživnog područja. U obuhvat Grada Karlovca pripada samo desna obala Dobre gdje su trijaskе naslage u kontaktu s pliokvartarskim (Pl,Q). Jurske naslage na prostoru Lista Karlovac pojavljuju se u diferenciranim razvojima (dolomiti i vapnenci), a na istraživnom području prisutne su s desne obale rijeke Mrežnice u blizini ušća s Koranom te oko 5 km uzvodno od ušća s obje strane Korane. Od krednih naslaga, pojavljuju se samo

gornjokredne na samom jugoistoku istraživanog područja i s mjestimičnom pojavom spilita (magmatske stijene) koje pripadaju vulkanogeno-sedimentnom kompleksu stijena debljine oko 250 - 300 m. Kenozojske naslage opisane dalje u tekstu pokrivaju gotovo 80% površine Lista OGK Karlovac.

Miocenske naslage najviše se pojavljuju na jugoistoku istraživanog područja, u kontaktu s pleistocenskim i holocenskim naslagama. To su sarmatske (M<sub>5</sub>), tortonske (M<sub>4</sub>) i helvetske naslage (M<sub>3</sub>). Debljine helvetskih naslaga kreću se od 150 do 180 m, a karakterizira ih velika raznolikost facijesa i brza promjena litoloških jedinica. U tortonskim naslagama prevladavaju pjeskovite, laporovite i vapnene komponente, a debljine ovih slojeva iznose do 300 m. Sarmatske naslage čine pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati, gline te lapori i vapnenci, a debljina im iznosi oko 100 m. Osim spomenutih, izdvojene su i naslage panona (M<sub>6</sub>), ali samo u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Lista Karlovac.

U brdovitim predjelima na jugu i jugoistoku istraživanog područja česte su naslage pleistocena (Pl,Q), a radi se o pijescima, šljuncima, glinama te pješčenjacima i konglomeratima. Debljina ovih naslaga ne prelazi 100 m, a također se pojavljuju i s desne obale rijeke Kupe na istoku istraživanog područja. Litološki sastav ovih sedimenata je raznolik i ovisi o starijoj podlozi.

Na sjeveru i istoku Lista Karlovac najviše su rasprostranjene kvartarne naslage. Radi se o pleistocenskim naslagama barskog lesa (lbQ<sub>1</sub>) i bezkarbonatnog kopnenog lesa (silt) (lQ<sub>1</sub>) te holocenskim naslagama deluvija (dQ<sub>2</sub>), aluvija (aQ<sub>2</sub>), mrtvaja (amQ<sub>2</sub>), organogenih barskih tvorevina (obQ<sub>2</sub>), povodnja (apQ<sub>2</sub>), sedimenata korita (ada-ak) te bara (bQ<sub>2</sub>). Od spomenutih najviše se pojavljuju aluvijalne naslage (aQ<sub>2</sub>) koje prekrivaju više od trećine ukupne površine Lista i to na području Karlovačke depresije (Crna Mlaka). Općenito, radi se o naslagama pijeska, pjeskovitih glina, glina, šljunaka, silta i barskih taloga, a maksimalne debljine dosežu 10 metara.



Slika 2.5 Digitalizirana Osnovna geološka karta 1:100 000 List Karlovac (Benček et al., 1989) i List Črnomelj (Bukovac et al., 1983).

### 3 METODE ISTRAŽIVANJA

U ovom radu korišten je *Hi*-kvadrat test kao osnova za analizu klasa pojedinih faktora na klizanje, kako bi se odredio njihov relativni utjecaj na klizanje, odnosno odabrale faktorske karte za analize podložnosti. Metoda *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti korištene su za određivanje težinskih faktora, na osnovi kojih je izrađena karata podložnosti na klizanje. Verifikacija izrađenih karata provedena je pomoću ROC krivulja. Sve navedene metode opisane su u daljnjim poglavljima.

#### 3.1 *Hi*-kvadrat test

*Hi*-kvadrat test pripada u skupinu statističkih testova koji se koriste za ispitivanje nezavisnosti dvije varijable ili faktora. Rezultati ovog testa su zaključci o povezanosti između dvije skupine testove odnosno vjerojatnosti o njihovoj povezanosti (Grubišić, 2004). Pojava klizišta na istraživanom području posljedica je inicijatora klizanja, tj. oborina, na mjestima gdje postoje određeni preduvjeti klizanja (geomorfološke značajke, geološka građa, fizički procesi i antropogeni utjecaj). Analiza preduvjeta klizanja na istraživanom području sastoji se od prostornih analiza kartografskih podloga, odnosno geomorfoloških, geoloških, hidroloških i antropogenih faktora. Metoda *Hi*-kvadrat testa korištena je kako bi se procijenio relativni utjecaj pojedinih faktora klizanja na pojavu samih klizišta odnosno korištena je kako bi se utvrdilo odstupanje dobivene frekvencije od one očekivane pod određenom hipotezom (*Hi*-kvadrat test). Navedeni odnos definiran je prema jednadžbi:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t} \quad (3.1)$$

gdje je  $f_0$  opažane frekvencije (npr. broj kartiranih klizišta), a  $f_t$  očekivane (teoretske) frekvencije (npr. broj očekivanih klizišta), tj frekvencije koje bismo očekivali po određenom hipotezom, te vrijedi:

$$\sum f_0 = \sum f_t = N - \text{ukupna frekvencija} \quad (3.2)$$

Postavlja se nul-hipoteza kako bi se provjerilo slijede li opažanja teoretsku raspodjelu. Nakon izračuna teoretske, odnosno očekivane frekvencije  $f_t$  uspoređuju se s opažanim frekvencijama.

Veće razlike između opaženih i očekivanih frekvencija rezultiraju većim iznosima  $\chi^2$ . Manji iznosi  $\chi^2$  ukazuju da postavljenu hipotezu treba prihvatiti, a veći da ju treba odbaciti. Značajnost  $\chi^2$  se utvrđuje pomoću granične vrijednosti testa koja je definirana pomoću stupnja slobode i razine značajnosti. Stupanj slobode najčešće iznosi 5% odnosno 1%, a broj stupnjeva slobode računa se pomoću izraza  $K-1$ , gdje je  $K$  ukupan broj razreda (broj klasa faktorske karte).

Prema Grubišić (2004), *Hi*-kvadrat test najčešće se koristi u slijedećim slučajevima: (a) kad imamo frekvencije jednog uzorka pa želimo ustanoviti odstupaju li te frekvencije od frekvencija koje očekujemo uz neku hipotezu; (b) kad imamo frekvencije dvaju ili više nezavisnih uzoraka te želimo ustanoviti razlikuju li se uzorci u opaženim svojstvima; (c) kad imamo frekvenciju dvaju zavisnih uzoraka, koji imaju dihotomna svojstva, te želimo ustanoviti razlikuju li se uzorci u mjernim svojstvima, tj. je li došlo do promjene. Razlika između opaženih i teoretskih frekvencija je statistički značajna ako je dobiveni  $\chi^2$  veći od izračunate granične vrijednosti.

Na temelju inventara klizišta izračunat je broj klizišta u svakoj klasi korištenih faktorskih karata koje predstavljaju opažanu frekvenciju odnosno  $f_0$ . Pretpostavka nul-hipoteze jest da sve klase jednako utječu, odnosno ne utječu na pojavu klizanja. Prema tome, očekivane (teoretske) frekvencije  $f_i$  određene su na način da se pretpostavi jednaka gustoća klizišta (isti broj klizišta) u svakoj klasi pojedine faktorske karte. Vrijednosti  $\chi^2$  niže od granične potvrđuju nul-hipotezu odnosno dolazimo do zaključka da faktorska karta ne utječe na pojavu klizanja. Ako su  $\chi^2$  vrijednosti veće od izračunate granične vrijednosti, nul-hipoteza se odbacuje odnosno zaključuje se da faktorska karta utječe na pojavu klizanja. Osim samog značaja faktorske karte (ima ili nema značaj za pojavu klizanja), moguće je i utvrditi utjecaj pojedine klase, ako se ispostavi da faktorska karta ima značaj za pojavu klizanja. Utjecaj pojedine klase ovisi o predznaku ispred vrijednosti koja je rezultat razlike kartiranog i očekivanog broja klizišta za tu klasu. Negativne vrijednosti ukazuju da u promatranoj klasi ima veći broj očekivanih klizišta od kartiranih, a pozitivne vrijednosti na manji broj očekivanih od kartiranih klizišta. Pozitivne vrijednosti ukazuju na negativan utjecaj analizirane klase na stabilnost padina.

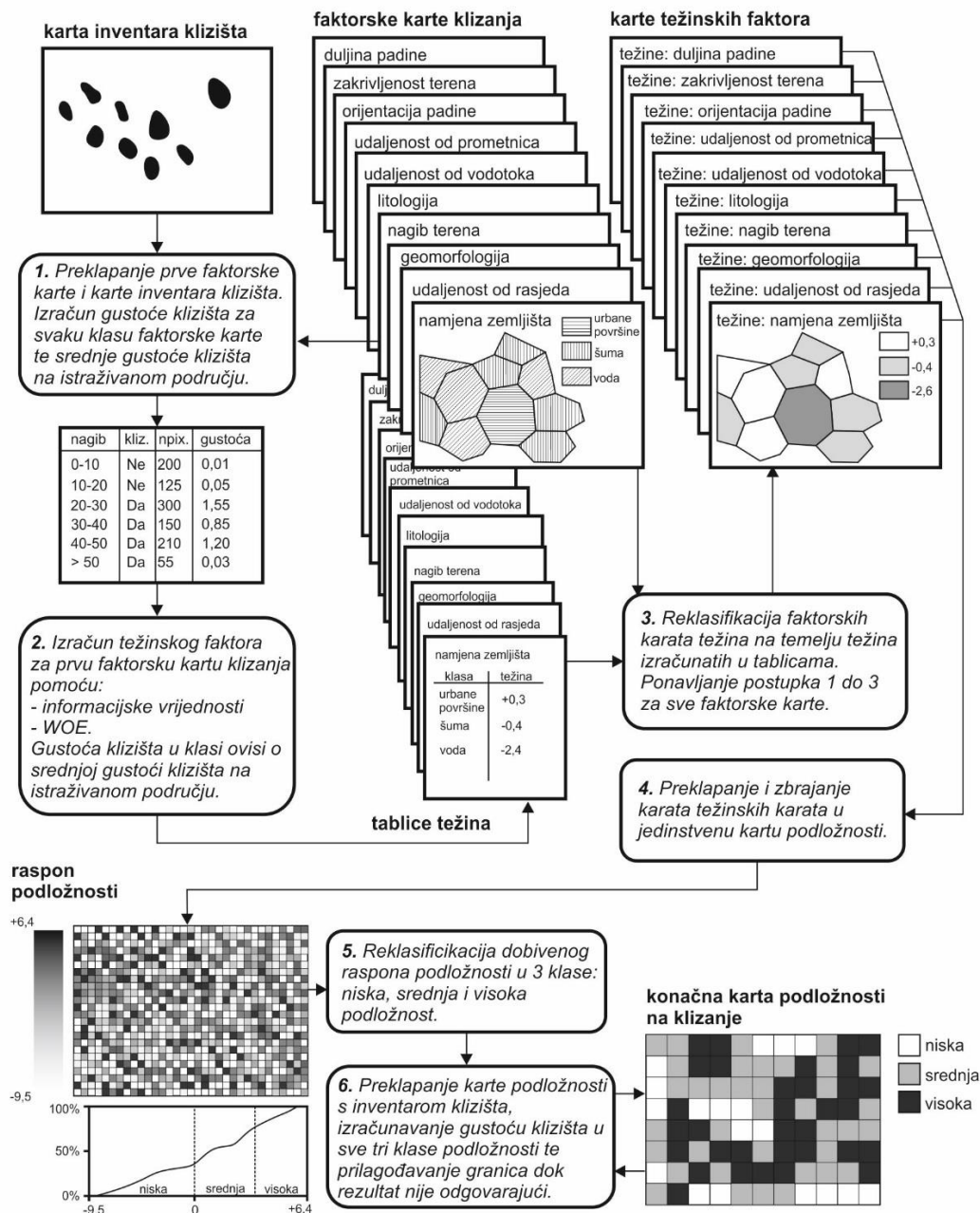
### 3.2 Metoda *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti

Podložnost na klizanje (engl. *landslide susceptibility*) je kvantitativna ili kvalitativna procjena prostorne vjerojatnosti pojave određene vrste klizišta na nekom području. Pregled metoda procjene podložnosti na klizanje dan je u mnogim radovima, npr. u članku Corominas et al. (2013). Kvalitativne metode su metode koje se zasnivaju na inventarima klizišta (engl. *inventory-based methods*) i metode koje se zasnivaju na znanju o klizištima (engl. *knowledge driven methods*). Kvantitativne metode su metode koje se zasnivaju na podacima (engl. *data-driven methods*) i na modelima fizički zasnovanim modelima (engl. *physically based models*). U ovom radu primijenjene su kvantitativne metode koje se zasnivaju na podacima. U ovim metodama se analiziraju faktori klizanja na način da se kombinacije faktora, za koje se zna da su bili preduvjeti klizanja u prošlosti, dodjeljuju ocjene na osnovi statističkih analiza. Rezultati ovih analiza se izražavaju kao vjerojatnost. Ove metode se nazivaju „metode koje se zasnivaju na podacima“ (engl. „data-driven“) jer se podaci o postojećim klizištima koriste da bi se dobile informacije o relativnoj važnosti faktorskih karata i klasa. Postoje tri glavna pristupa kod metoda koje se zasnivaju na podacima, a to su: bivarijantna statistička analiza, multivarijantna statistička analiza i statistička analiza aktivnog učenja. Bivarijantna statistička metoda podrazumijeva preklapanje svake faktorske karte s kartom inventara klizišta u svrhu dobivanja učestalosti klizišta u klasama pojedinog faktora. Nedostatak bivarijante metode jest što se polazi od pretpostavke da su korišteni faktori klizanja međusobno nezavisni, što u prirodi najčešće nije slučaj. Kod metode multivarijantne statistike predviđanje klizišta je konceptualno i operativno slično predviđanjima ostalih geoloških pojava (zamke za naftu, rudno-mineralna tijela). Pojava koju nastojimo prostorno identificirati nastala je kao rezultat međusobno povezanih faktora od kojih mnogi nisu poznati. (Van Westen et al., 2002).

U ovom radu korišten je statistički pristup odnosno bivarijantna metoda kako bi se izradila karta podložnosti na klizanje Grada Karlovca. Općeniti shematski prikaz postupka izrade karte prema Van Westen et al. (2002) prikazan je na slici 3.1. Svaka faktorska karta preklapa se s kartom inventara klizišta u svrhu dobivanja učestalosti klizišta u svakoj pojedinoj klasi svih faktora. Uspoređivanjem gustoće klizišta u klasama faktora s gustoćom klizišta na cijelom istraživanom području određuje se relativan utjecaj promatranog faktora klizanja. Nakon izračunatih gustoća primjenom različitih metoda određuju se težinski faktori (Coe et al.,

2004). Točnije, korištene su dvije metode za određivanje težinskih faktora koje pripadaju u domenu odabranog pristupa, a to su: metoda *Weight of Evidence* i metoda informacijske vrijednosti.

### Bivarijantna statistička analiza



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

Metodu *Weight of Evidence* razvio je Kanadski geološki institut (Agterberg et al., 1990; Bonham-Carter et al., 1989), a korištena je za kartiranje mineralnih sirovina. Sabto (1991) je primijenio navedenu metodu za analizu hazarda klizišta. Ova metoda jednostavna je za korištenje u GIS sučelju, a u tablici 3.1 prikazane su korištene varijable za izračun težinskih faktora. Prikazane varijable su četiri moguće kombinacije koje se dobivaju nakon preklapanja karte klizišta (engl. *binary landslide map*) s faktorskom kartom (engl. *binary variable map*) (Van Westen et al., 2002).

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

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

Navedene varijable dalje su korištene u jednadžbama kako slijedi:

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

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

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

Metoda informacijskih vrijednosti je jednostavna metoda koju su razvili Yin i Yan (1988), a zasniva se na jednostavnoj jednadžbi koja izračunava informacijsku vrijednost  $I_i$  za varijabu  $X_i$ :

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

gdje je  $S_i$ - broj jedinica površine ili piksela klizišta i prisutnost varijable  $X_i$ ;  $N_i$ - broj jedinica površine ili piksela varijable  $X_i$ ;  $S$ - ukupan broj jedinica površine ili piksela klizišta;  $N$ - ukupan broj jedinica površine ili piksela.



### 3.3 Metoda verifikacije primjenom ROC krivulje

Verifikacija karata podložnosti uključuje određivanje stupnja točnosti stupnja predikcije modela. Navedeni parametri izračunaju se i prikazuju se pomoću ROC (engl. *Receiver Operator Characteristic*) krivulje. Ova krivulja grafički prikazuje senzitivnosti u odnosu na 1-specificnost, tj. lažno pozitivnu stopu za svaku graničnu vrijednost testa vrijednosti. Točnost modela se smatra višom što je ROC krivulja bliža gornjem lijevom kutu, a lošija što se više približava dijagonali koja odgovara slučajnom testu. Mjera za određivanje točnosti testa pomoću ROC krivulje je površina ispod ROC krivulje (Tokić, 2017).

Površina ispod ROC krivulje (engl. *area under ROC 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  $AUC = 0$  (0%), tada klasifikator ne prepoznaje odnose varijabli (Tokić, 2017).

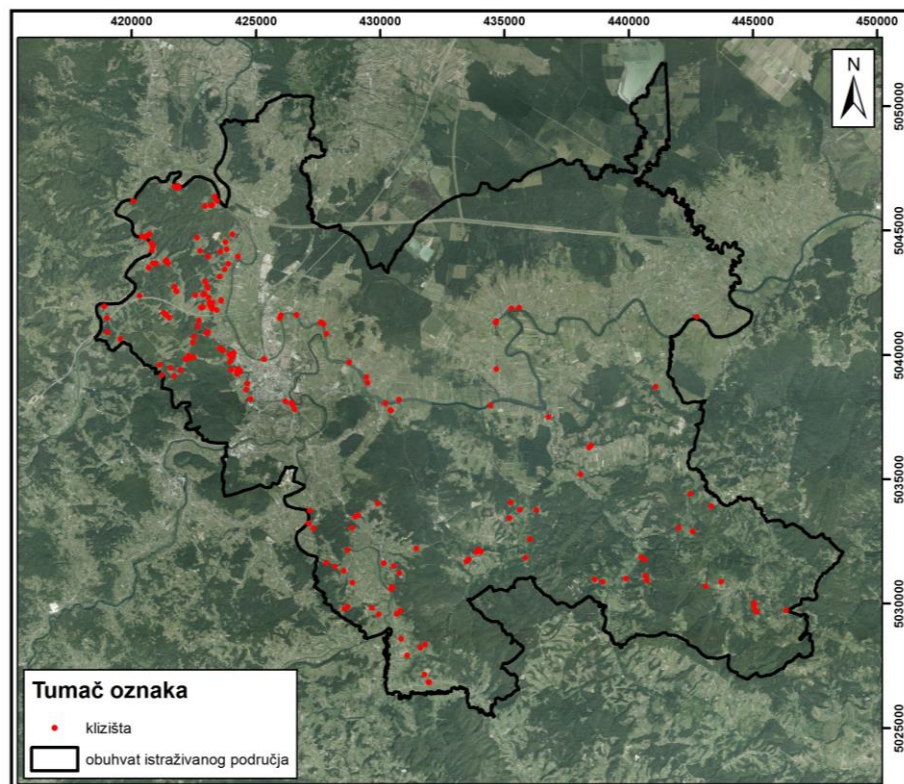
U ovom radu završna karta će se klasificirati prema Bernat Gazibara (2019), odnosno na četiri klase podložnosti, a granične vrijednosti klasa definirane su subjektivno na ROC krivulji. Granice klasa podložnosti na klizanje definirane su s obzirom na granične udjele kumulativnih površina, odnosno udjele broja klizišta. Prema Cantarino et al. (2019), metoda klasifikacije karte podložnosti na klizanje ne utječe samo na konačni izgled karte, već i na odluke koje se donose na temelju karte u svrhu uspješnog upravljanja zemljištem. Stoga je postupak klasifikacije podložnosti značajan za kvalitetu same karte i njezinu uporabnu vrijednosti.

## 4 ULAZNI PODACI

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

### 4.1 Inventar klizišta

Inventar klizišta je set podataka koji prikazuje klizišta aktivirana kao posljedica događaja jednog ili više pokretača (Guzzeti et al., 2012). Podaci o klizištima mogu se prikupljati izravnim i neizravnim metodama te mogu biti prikazani kao poligoni ili točke. Podaci za inventar klizišta dobiveni su od gradske uprave Grada Karlovca, u vektorskom obliku, kao točke koje označavaju lokacije 196 evidentiranih klizišta u razdoblju od 2014. do 2019. godine. Na slici 4.1. prikazan je inventar klizišta Grada Karlovca izrađen sustavnom evidencijom klizišta koja su prijavili građani. Uglavnom se radi o klizištima koja su oštetila građevine ili infrastrukturu ili koja su registrirana tijekom ophodnje komunalnog redara.



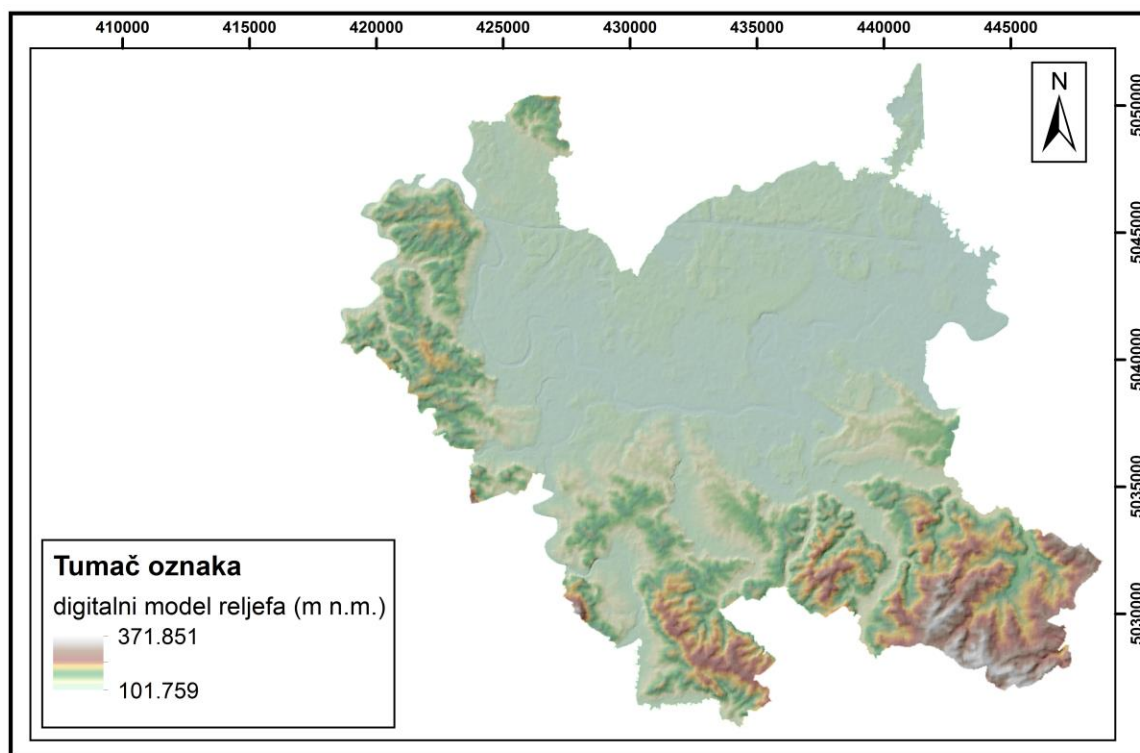
Slika 4.1 Inventar klizišta Grada Karlovca iz razdoblja 2014.-2019. godine.

## 4.2 Ulazni podaci za faktorske karte klizanja

U ovom poglavlju opisani su ulazni podaci odnosno tematske karte na temelju kojih su izrađene faktorske karte. Navedeni su izvorni podaci i načini njihove obrade u GIS-u u obliku faktorskih karata. Sve analize provedene su u ArcMap softveru. Ulazni podaci podijeljeni su u četiri tematske skupine prema sadržaju: geomorfološki, geološki, hidrološki i antropogeni faktori.

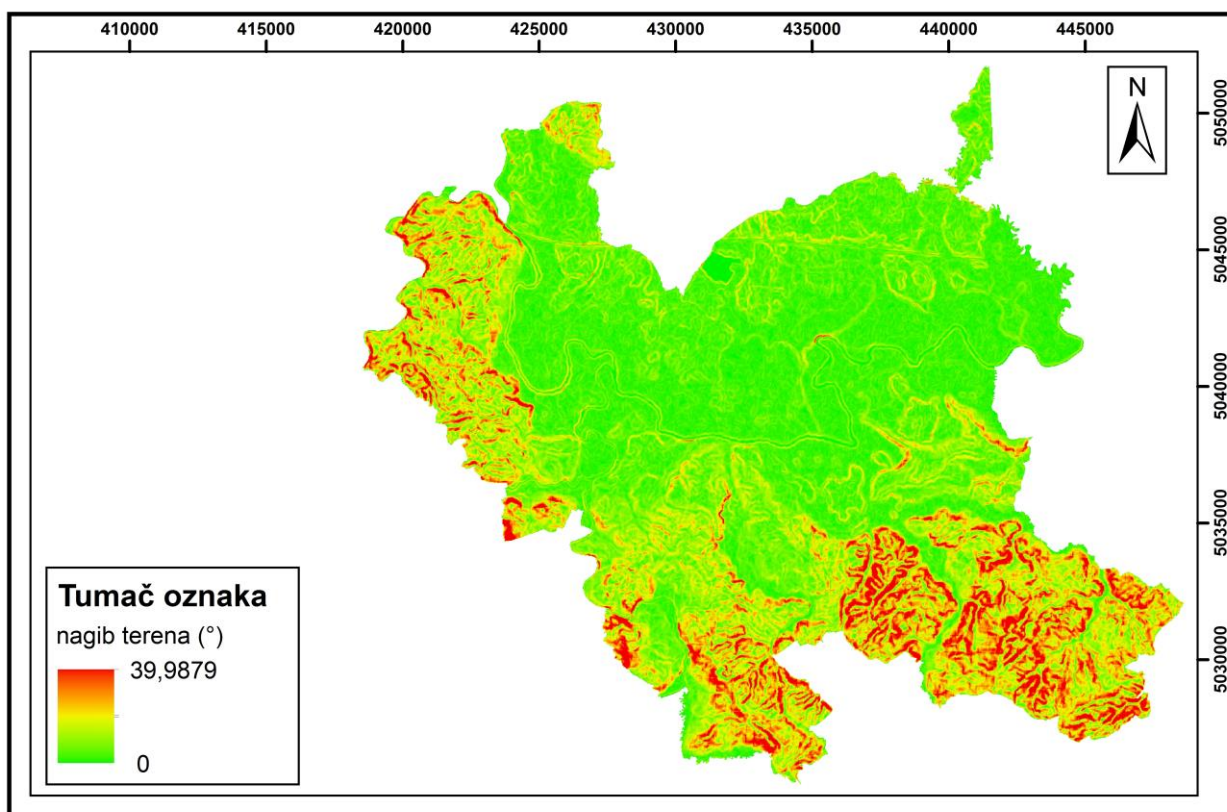
### 4.2.1 Geomorfološki faktori

Digitalni model reljefa (engl. *Digital Elevation Model, DEM*) preuzet je s internet stranice *Copernicus Land Monitoring Service (EU-DEM)*, kao rasterska datoteka rezolucije 25 m. *EU-DEM* je mreža rasterskih datoteka za područje Europe u koju je uključen i teritorij Republike Hrvatske. Digitalni model reljefa prikazan je na slici 4.2 i predstavlja vrlo važan ulazni podatak budući da su iz njega izvedeni sve geomorfološke te dio hidroloških faktorskih karata. Raspon nadmorskih visina iznosi od 102 do 372 m n.m., a reklasifikacijom DEM-a izvedena je faktorska karta nadmorskih visina.



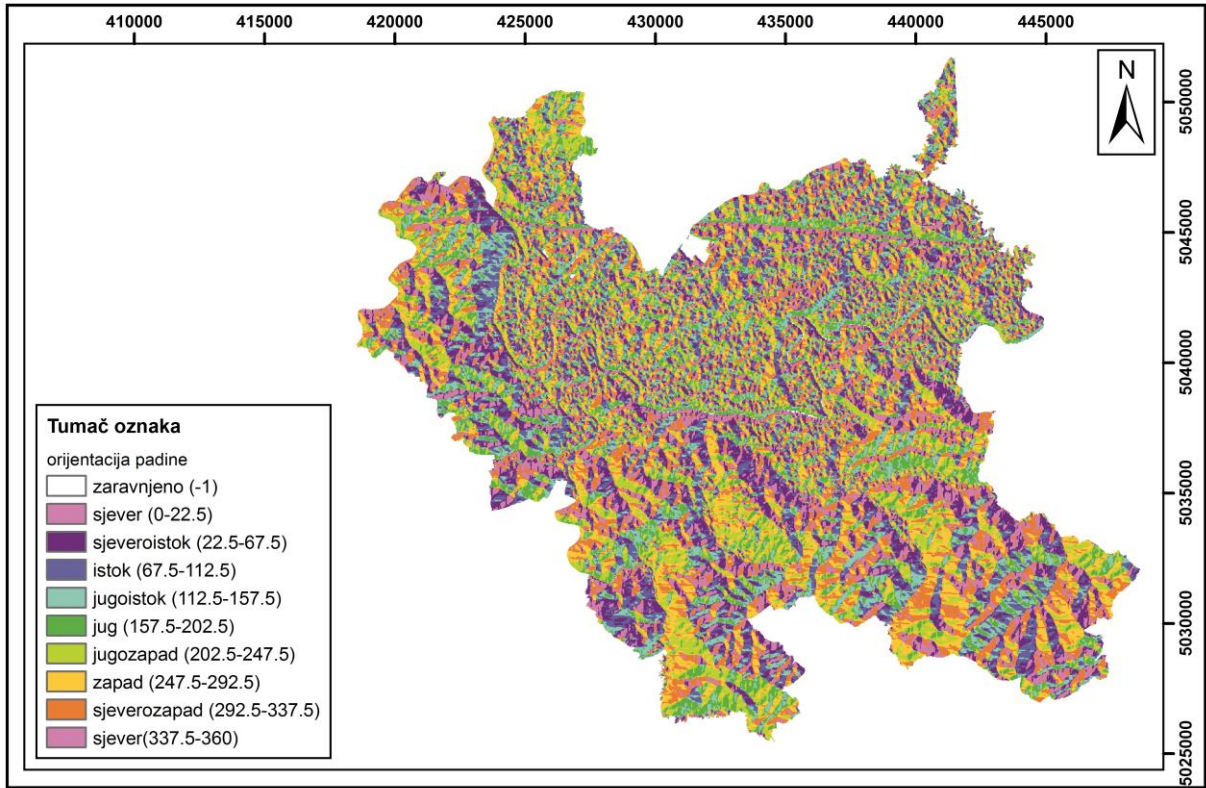
Slika 4.2 Digitalni model reljefa (*EU-DEM*) područja Grada Karlovca.

Nagib terena (slika 4.3) se često smatra najvažnijim morfometrijskim parametrom koji se koristi za učinkovitije analiziranje i opisivanje reljefa. Karta nagiba terena izvedena je pomoću ekstenzije *Spatial Analyst* (alata *Slope*) ArcMap softvera te prikazuje prostornu distribuciju vrijednosti kutova nagiba u rasponu od 0° do 90°. Općenito, funkcija nagiba uklapa x-y plohu i z-vrijednost unutar područja od 3x3 ćelija, te različitim metodama za istu (središnju) ćeliju i osam susjednih ćelija računa vrijednost nagiba. Ova funkcija koristi se za učinkovitije analiziranje i opisivanje reljefa, a izvodi se pomoću naredbe *Slope* koja prikazuje odnos maksimalne promjene vrijednosti z-koordinate svake ćelije. Na temelju z-koordinate (razlike promatrane ćelije i susjednih) naredba računa nagib terena u stupnjevima (kut nagiba) za svaku ćeliju, a rezultati poprimaju vrijednosti od 0 do 90°.

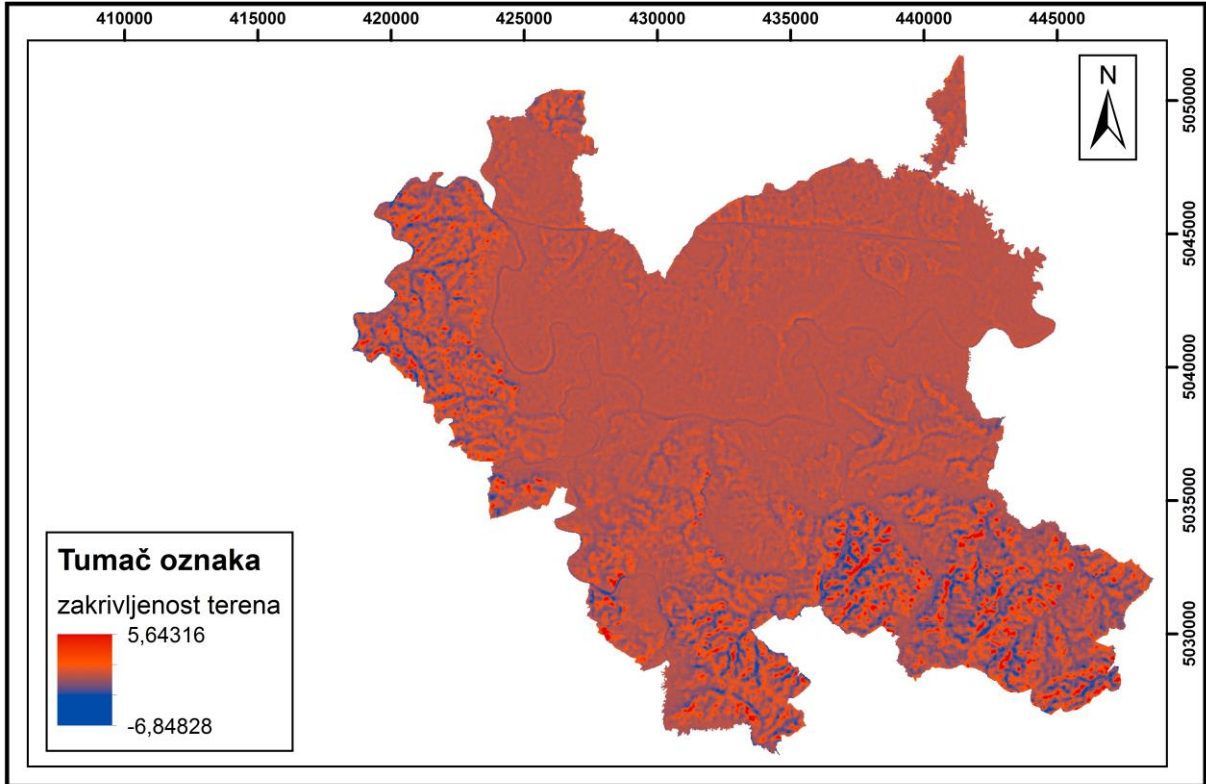


Slika 4.3 Nagib terena područja Grada Karlovca.

Orijentacija padine (slika 4.4) predstavlja klasifikaciju točke na padini s obzirom na azimut. Preko DEM-a naredbom *Aspect* (*3D Analyst*) u ArcMap softveru dobivena je rasterska datoteka klasificirana prema osam glavnih i sporednih stana svijeta te zaravnjenim terenima. Azimut svake ćelije određuje se na temelju orijentacije ravnine koja predstavlja tu ćeliju, a ona je definirana s 3x3 vrijednostima susjednih z-koordinata.



Slika 4.4 Orijentacija padine područja Grada Karlovca.



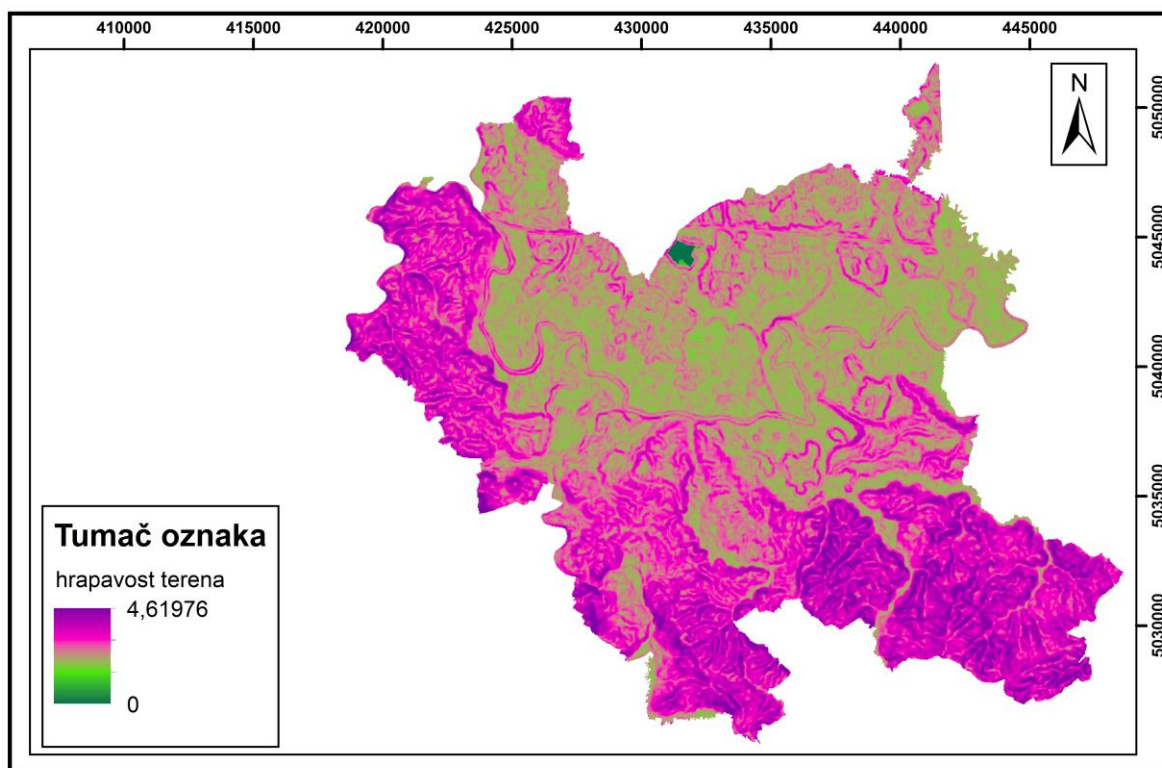
Slika 4.5 Zakrivljenost terena područja Grada Karlovca.

Zakrivljenost terena (slika 4.5) prikazuje oblik odnosno konkavnost ili konveksnost pojedine padine, a dobiva se naredbom *Curvature (3D Analyst)* u ArcMap softveru. Matematički se zakrivljenost može opisati kao druge derivacije površine. Oblici zakrivljenost definiraju moguće procese na padinama, odnosno dolazi li do usporavanja ili ubrzavanja tečenja na padini. Vrijednosti blizu nuli upućuju na linearno tečenje odnosno ravne padine.

Hrapavost terena (4.6) je izvedena pomoću alata *Roughness* u *Geomorphometry and Gradient MetricsToolbox-u* (Evans et al., 2014) u ArcMap softveru. Hrapavost terena u alatu *Roughness* u istom softveru definirana je prema Riley et al. (1999) kao korijen između zbroja kvadrata razlike središnje ćelije prozora te u slučaju prozora veličine 3x3 ćelije, 8 susjednih ćelija :

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

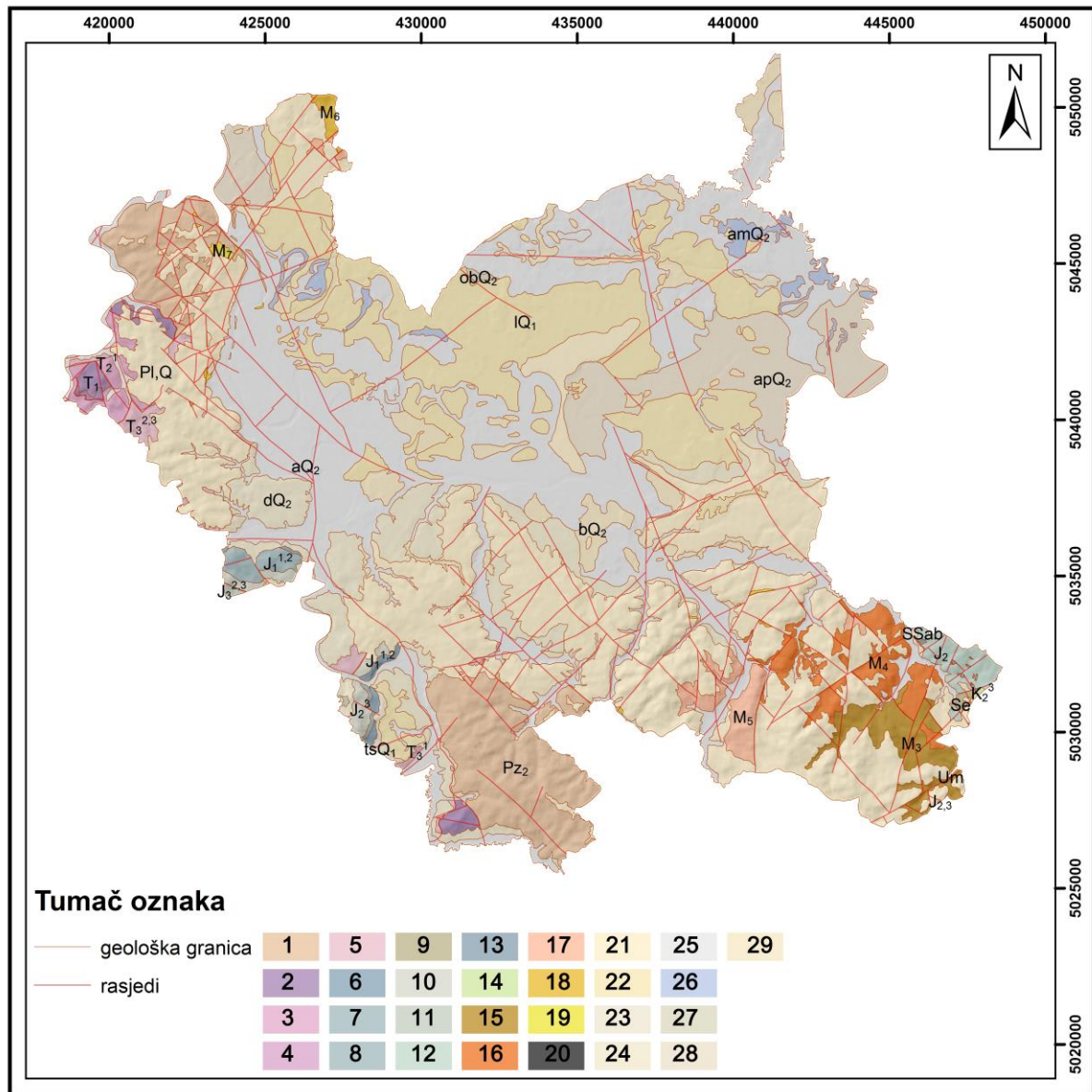
gdje je: Z5 - središnja ćelija prozora veličine 3x3 ćelije; Z1, Z2, Z3, Z4, Z6, Z7, Z8, Z9 - susjedne ćelije.



Slika 4.6 Hrapavost terena područja Grada Karlovca.

#### 4.2.2 Geološki faktori

Podaci o geološkoj građi, odnosno litologiji i strukturnim elementima, preuzeti su s OGK mjerila 1:100 000 List Karlovac (Benček et al., 1989) i List Črnomelj (Bukovac et al., 1983). Digitalizacijom su izvedene dvije faktorske karte, koje prikazuju vrste stijena i udaljenosti od geoloških granica. Rasjedi su također digitalizirani s OGK i izvedena je faktorska karta udaljenosti od rasjeda. Rezultati spomenute digitalizacije s pripadajućim tumačem oznaka prikazani su na slici 4.7, a u tablici 4.1 navedene su vrste stijena prema legendi karte.



Slika 4.7 Digitalizacija Osnovne geološke karte List Karlovac (Benček et al., 1989) i List Črnomelj (Bukovac et al., 1983) za područje Grada Karlovca.

Tablica 4.1 Tumač za klase vrsta stijena za područje Grada Karlovca.

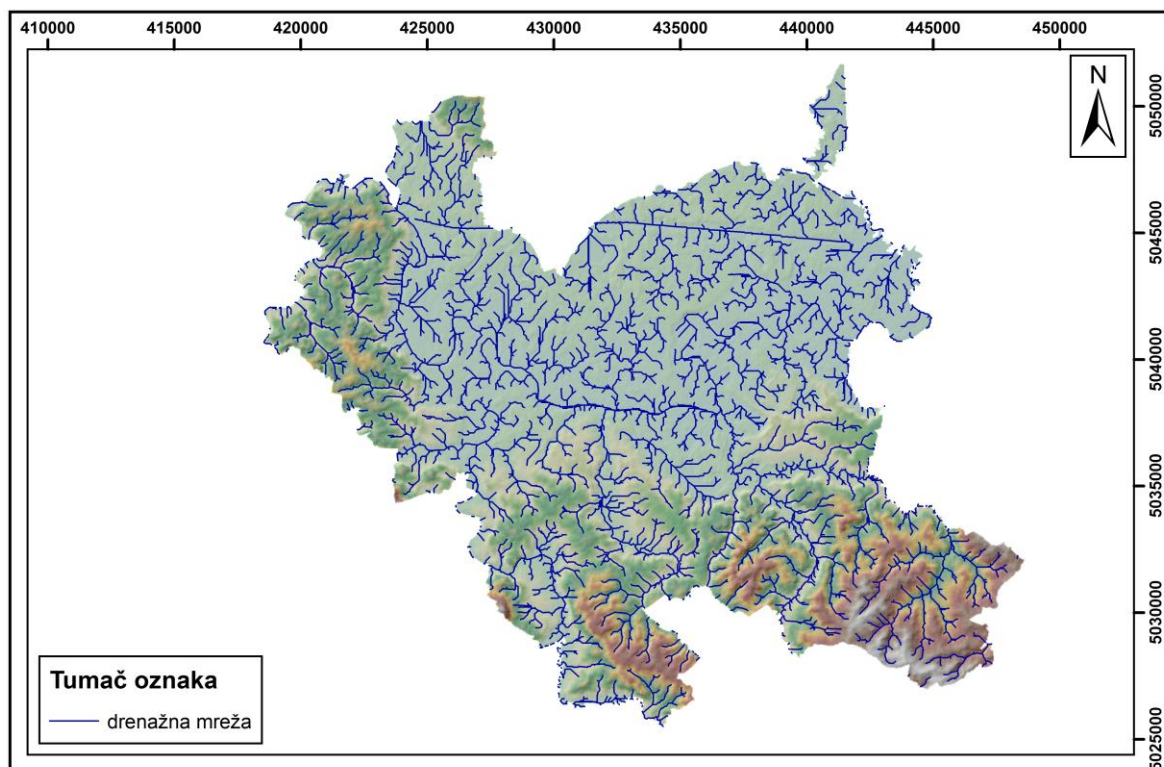
Klasa	Starost	Stratigrafska oznaka	Vrsta stijene
1	paleozoik	Pz <sub>2</sub>	kvarcni konglomerati, pješčenjaci, siltiti, šejlovi
2	donji trijas	T <sub>1</sub>	crveni dolomitni tinčasti siltiti, silti dolomitični šejlovi i pločasti zalaporeni mikriti
3	srednji trijas	T <sub>2</sub> <sup>1</sup>	tamnosiivi kristalinični dolomiti i crni dolomitični mikriti
4	gornji trijas (karnik)	T <sub>3</sub> <sup>1</sup>	kalklititski pješčenjaci, šejlovi, crni pločasti mikriti, tufovi
5	gornji trijas (norik, ret)	T <sub>3</sub> <sup>2,3</sup>	stromalotski vapnoviti dolomiti
6	donja jura (donji i srednji lijas)	J <sub>1</sub> <sup>1,2</sup>	dolomiti
7	donja jura (donji i srednji lijas)	J <sub>1</sub> <sup>1,2</sup>	mikriti, oomikriti i dolomiti
8	srednja i gornja jura (doger i malm)	J <sub>2,3</sub>	dijabaz-rožnjačka serija
9	ultrabazične stijene	Se	ultrabazične stijene-serpentiniti
10	gornja jura (malm) kimerid	J <sub>3</sub> <sup>2</sup>	vapnenci s rožnjacima i vapnene sedimentne breče
11	gornja jura (malm) kimerid, titon	J <sub>3</sub> <sup>2,3</sup>	intrabiosparruditi, biolititi i bioklastični vapnenci
12	gornja kreda	K <sub>2</sub>	vulkanogeno sedimentni kompleks
13	gornja kreda	ββab	magmatske stijene-spiliti
14	gornja kreda (senon)	K <sub>2</sub> <sup>3</sup>	fliš:konglomerati, kalkitski pješčenjaci i silti lapori
15	karpatski	M <sub>3</sub>	pijesci, šljunci, pješčenjaci, konglomerati, lapori, gline, vapnenci i ugljeni
16	baden	M <sub>4</sub>	pjeskovito vapnenački lapori, gline, pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati i bio-klastični vapnenci
17	miocen, sarmat	M <sub>5</sub>	pijesci, pješčenjaci, konglomerati, gline, lapori i vapnenci
18	miocen, panon	M <sub>6</sub>	vapnoviti lapori, pijesci, pješčenjaci, konglomerati, vapnenci i gline
19	pont	M <sub>7</sub>	pijesci lapori pješčenjaci konglomerati gline i ugljen (rhomboidea)
20	pont	Um	ležište/pojave kaustobiolita - smeđi ugljen
21	pliokvartar	Pl,Q	pijesci, šljunci, gline, pješčenjaci i konglomerati
22	pleistocem, ?wurm	IQ <sub>1</sub>	bezkarbonatni kopneni les:silt
23	pleistocen, ?wurm	tsQ <sub>1</sub>	crvene boksitične gline (terrarossa)
24	holocen, deluvij	dQ <sub>2</sub>	ilovine, resedimentirani šljunci, pijesci gline, fragmenti sijena
25	holocen, aluvij	aQ <sub>2</sub>	pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci, silt, barski talozi
26	holocen, mrtvaja	amQ <sub>2</sub>	silt, gline, pijesci, organogeni mulj
27	holocen, organogenisilt	obQ <sub>2</sub>	organogeni silt
28	holocen, povodanj	apQ <sub>2</sub>	silt, glinovito pjeskoviti silt, pijesak, mulj
29	holocen, bara	bQ <sub>2</sub>	mulj, glina, silt



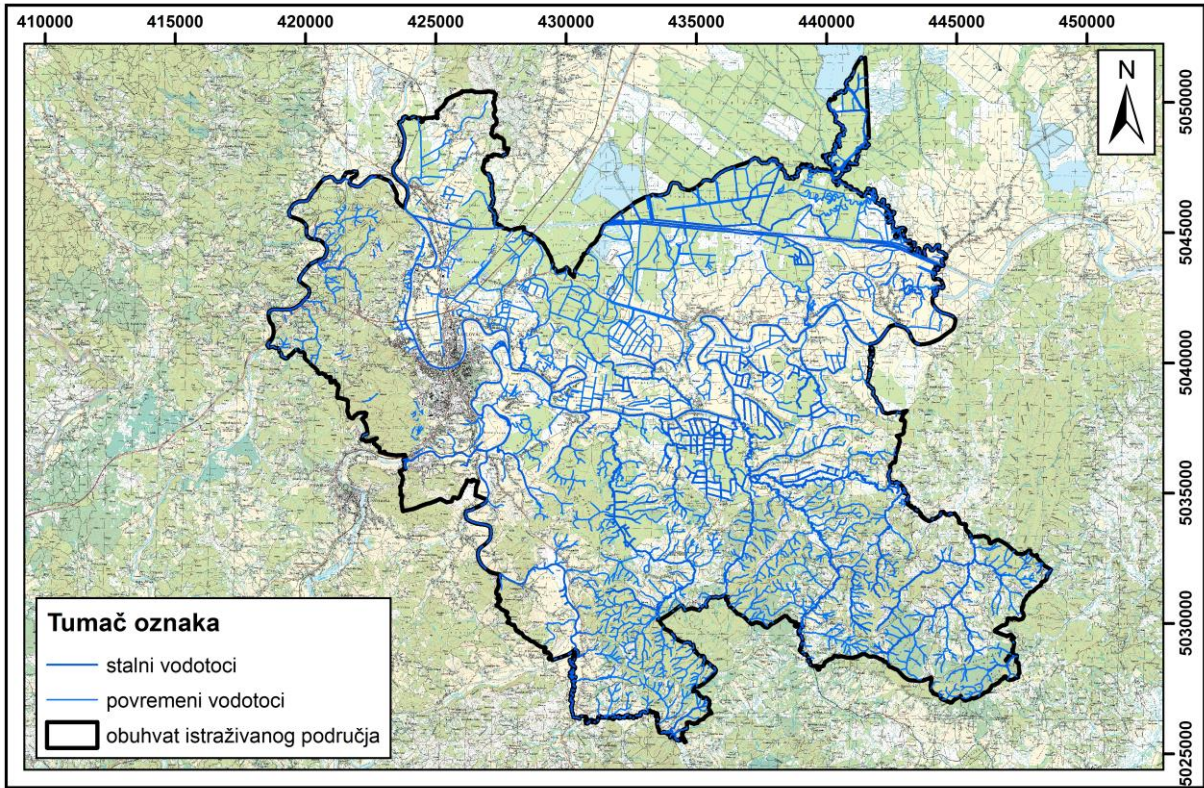
### 4.2.3 Hidrološki faktori

Drenažna mreža je skup svih drenažnih sustava nekog područja odnosno skup prirodnih kanala kojima stalno ili povremeno teče voda, a koji se povezuju u jedinstveni vodotok i predstavljaju najmanju neovisnu geomorfološku sastavnicu (Marković, 1983). U ovom radu drenažna mreža izvedena je u GIS-u na temelju digitalnog modela reljefa te je prikazana kao vektorski podatak linijskog oblika na slici 4.8.

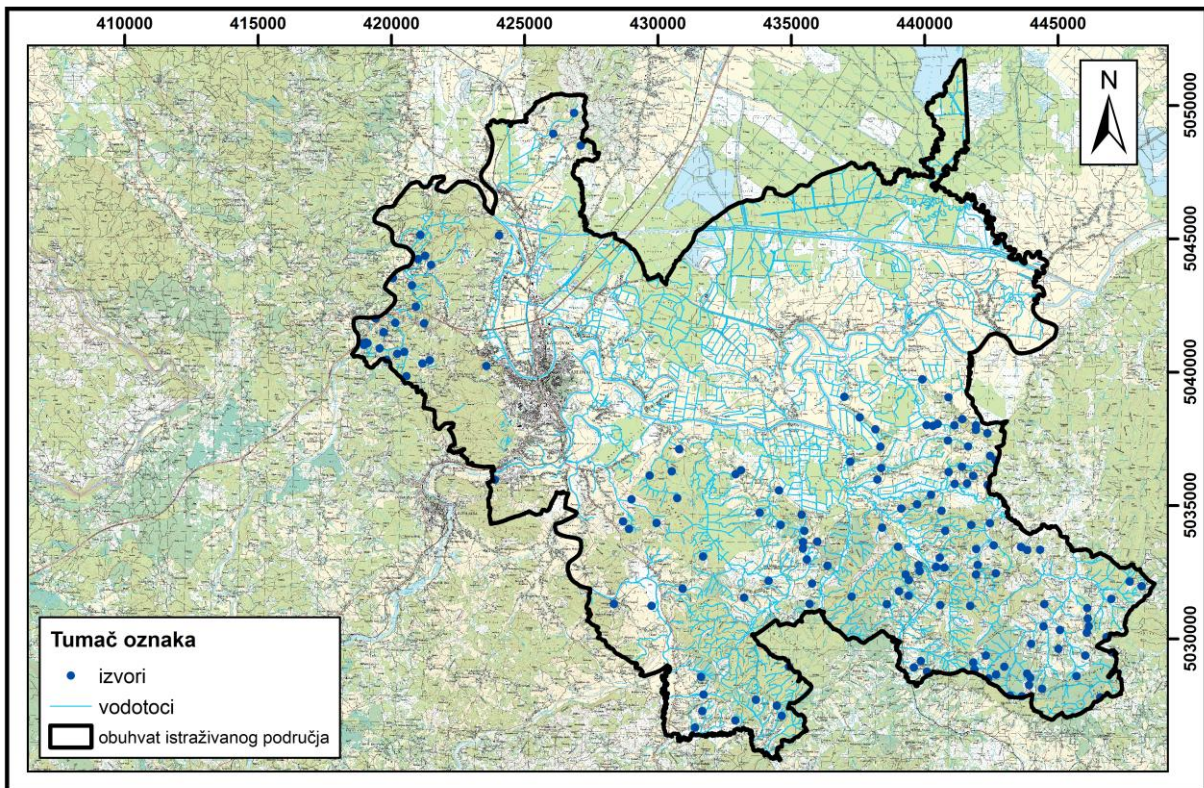
Digitalizacijom topografske karte 1:25 000 (TK25) (slika 4.9 i 4.10) dostupnoj na WMS serveru Državne geodetske uprave dobiveni su vektorski podaci o vodotocima i izvorima. Vodotoci su kategorizirani prema kartografskim uputama za izradu topografskih karata, odnosno klasificirani su na stalne i povremene vodotoka. Na temelju digitaliziranih podataka izrađene su faktorske karte udaljenosti od izvora, udaljenosti od (svih) vodotoka, udaljenosti od povremenih vodotoka i udaljenosti od stalnih vodotoka.



Slika 4.8 EU-DEM i prikaz izvedene drenažne mreže za područje Grada Karlovca.

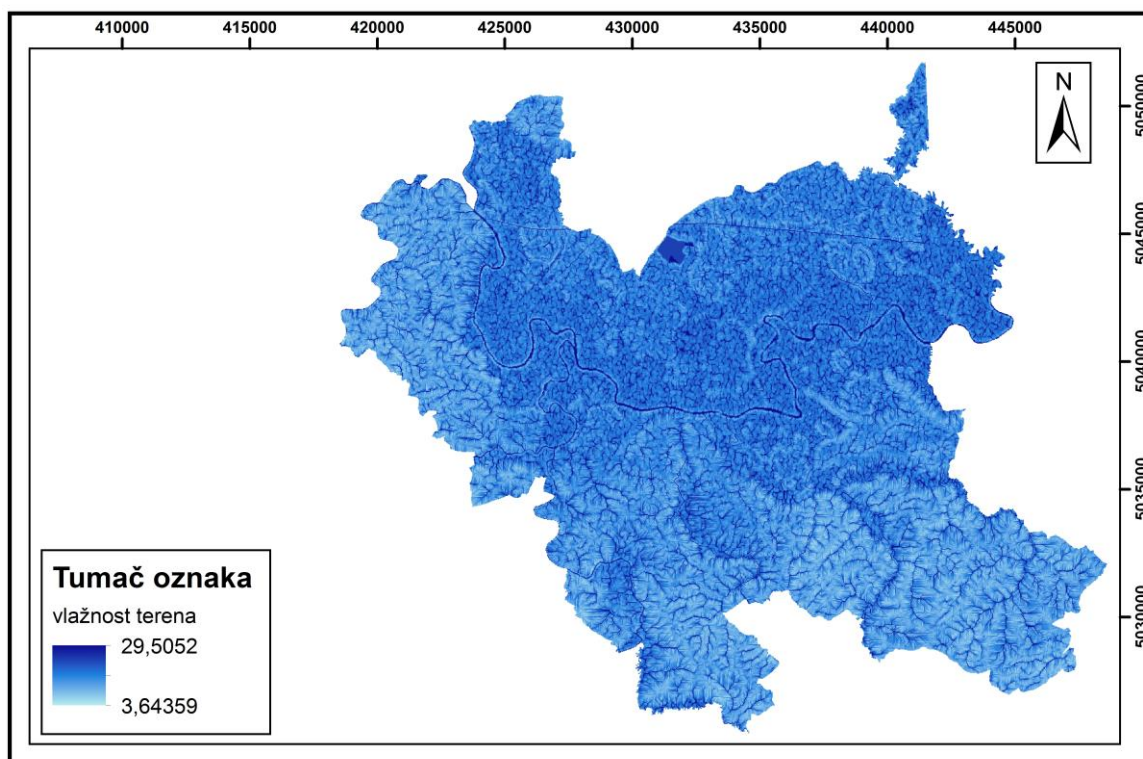


Slika 4.9 Digitalizacija topografske karte 1:25 000 - stalni i povremeni vodotoci (WMS server DGU).



Slika 4.10 Digitalizacija topografske karte 1:25 000 - izvori i vodotoci (WMS server DGU).

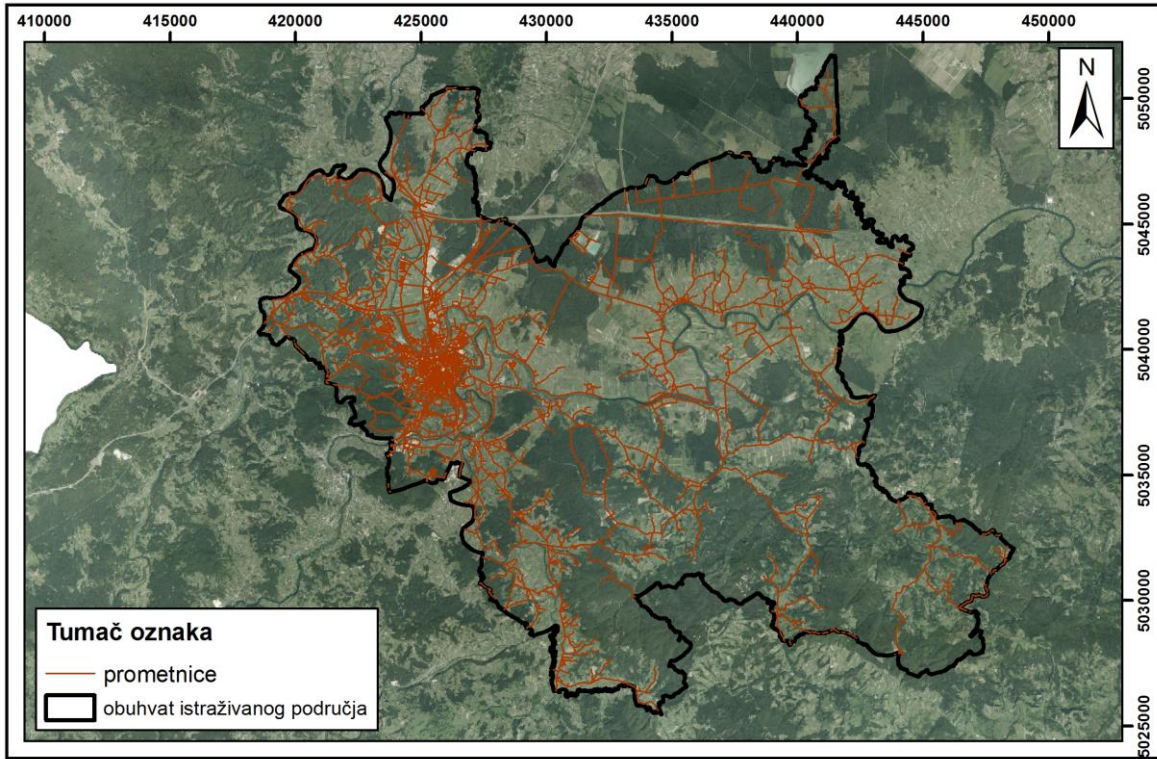
Vlažnost terena (engl. *Compound Topographic Indeks, CTI*) odnosno razina vlažnosti terena prikazana je na slici 4.11. Karta vlažnosti terena je izvedena iz DEM-a u GIS-u, a prikazana je u obliku rasterske datoteke na kojoj niže vrijednosti ukazuju na nižu vlažnost (vrhovi brežuljaka), a veće vrijednosti na veću vlažnost terena (ravničarski predjeli).



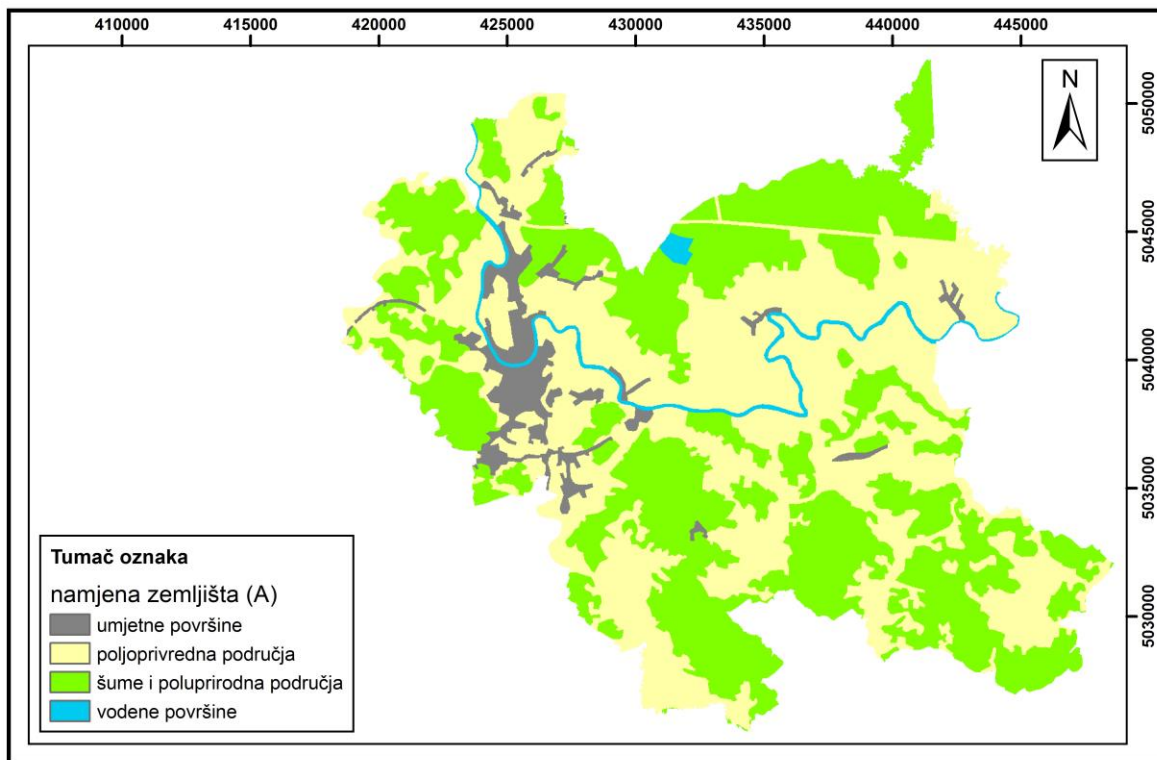
Slika 4.11 *EU-DEM* i prikaz izvedene vlažnosti terena za područje Grada Karlovca.

#### 4.2.4 Antropogeni faktori

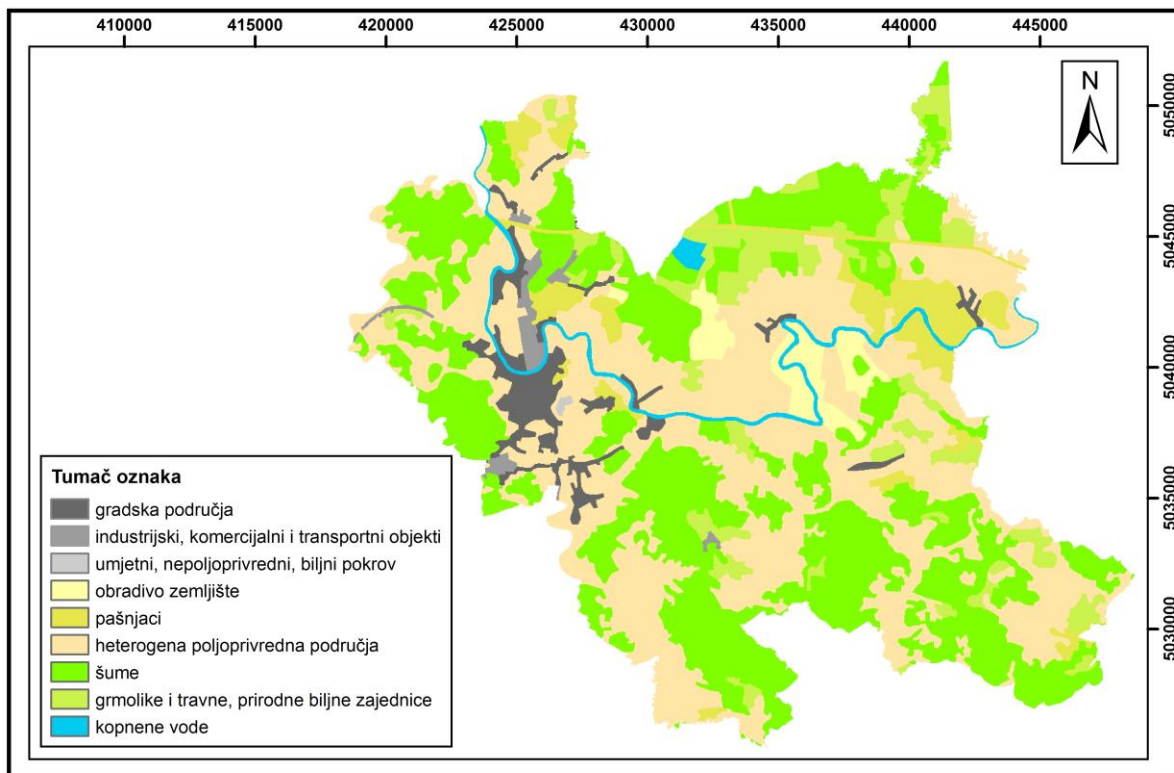
Cestovna mreža odnosno prometnice (uključujući i željeznice) preuzete su s internet stranice *Open Street Map* u obliku linijskog vektorskog podatka, kako je prikazano na slici 4.12. Informacije o namjeni zemljišta preuzete su s internetske stranice *Copernicus Land Monitoring Service (Corine Land Cover)* kao gotove rasterske datoteke spremne za korištenje u GIS-u. Namjena zemljišta prema *Corine Land Cover (CLC)* klasificirana je na tri razine detaljnosti. U ovom radu korištena je podjela prve i druge razine kako je prikazano u tablici 4.2, dok najdetaljnija podjela treće razine nije korištena u analizi zbog velikih dimenzija istraživanog područja i sitnog mjerila analize. Podjela prve razine (slika 4.13) korištena je kao faktorska karta namjene zemljišta A, a druge razine (slika 4.14) kao faktorska karta namjene zemljišta B.



Slika 4.12 Prometnice - vektorski podatak u obliku linija (*Open Street Map*, 2019).



Slika 4.13 Namjena zemljišta - prva razina (izvor: *Copernicus Land Monitoring Service*, 2018).



Slika 4.14 Namjena zemljišta - druga razina (izvor: Copernicus Land Monitoring Service, 2018).

Tablica 4.2 Podjela namjene zemljišta po klasifikaciji prve (A) i druge razine (B) (Copernicus Land Monitoring Service, 2018).

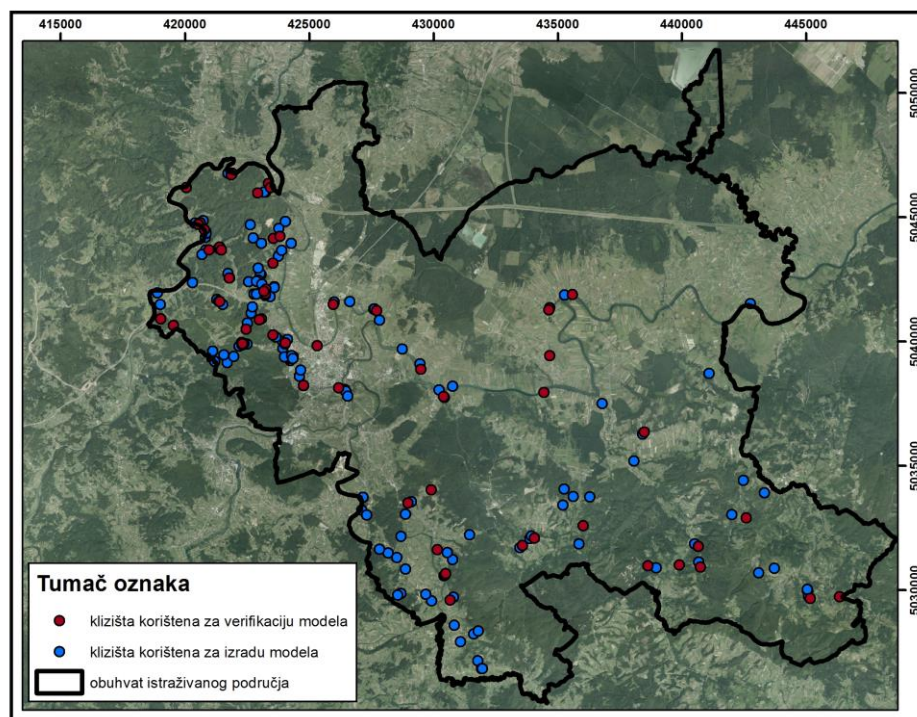
Prva razina klasifikacije	Druga razina klasifikacije
umjetne površine (1)	gradska područja (11)
	industrijski, komercijalni i transportni objekti (12)
	rudokopi, odlagališta otpada i gradilišta (13)
	umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov (14)
poljoprivredna područja (2)	obrađivo zemljište (21)
	višegodišnji nasadi (22)
	pašnjaci (23)
	heterogena poljoprivredna područja (24)
šume i poluprirodna područja (3)	šume (31)
	grmolike i travne, prirodne biljne zajednice (32)
	otvorene površine s 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)

## 5 ANALIZA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

Na temelju ulaznih podataka opisanih u prethodnom poglavlju izrađene su faktorske karte za analizu podložnosti na klizanje koje predstavljaju preduvjete za pojavu klizišta na području Grada Karlovca ukupne površine 402 km<sup>2</sup>. U ovom poglavlju opisane su faktorske karte klizanja te su prikazani rezultati analize utjecaja pojedinih klasa faktorskih karata na pojavu klizišta.

### 5.1 Klizišta

Inventar klizišta Grada Karlovca podijeljen je slučajnim odabirom u GIS-u u dva seta podataka, set za izradu modela podložnosti na klizanje, i set za verifikaciju modela (slika 5.1). Za izradu modela podložnosti na klizanje korišteno je 70% klizišta, a 30% klizišta je korišteno za verifikaciju. Set klizišta za izradu modela korišten je za definiranje klasa faktorskih karata, definiranje težinskih faktora za pojedine klase te analize točnosti modela. Klizišta za verifikaciju korištena su kako bi se odredio stupanj predikcije svih izvedenih karata podložnosti na klizanje.



Slika 5.1 Lokacije klizišta korištenih za verifikaciju odnosno izradu modela podložnosti Grada Karlovca.

## 5.2 Faktorske karte

Za analizu podložnosti na klizanje na istraživanom području izvedeno je ukupno 17 faktorskih karata. Za karte udaljenosti od točkastih i linijskih objekata, *Hi*-kvadrat test je proveden u dva koraka. U prvom koraku su klase faktorskih karata definirane s obzirom na udaljenost od 50 m od promatranog grafičkog obilježja. U drugom koraku su klase udaljenosti grupirane na način da je u svim klasama sadržano barem jedno evidentirano klizište. Klasifikacije svih faktorskih karata klizanja i analiza utjecaja pojedinih klasa faktorskih karata opisani su slijedećim poglavljima.

### 5.2.1 Geomorfološki faktori

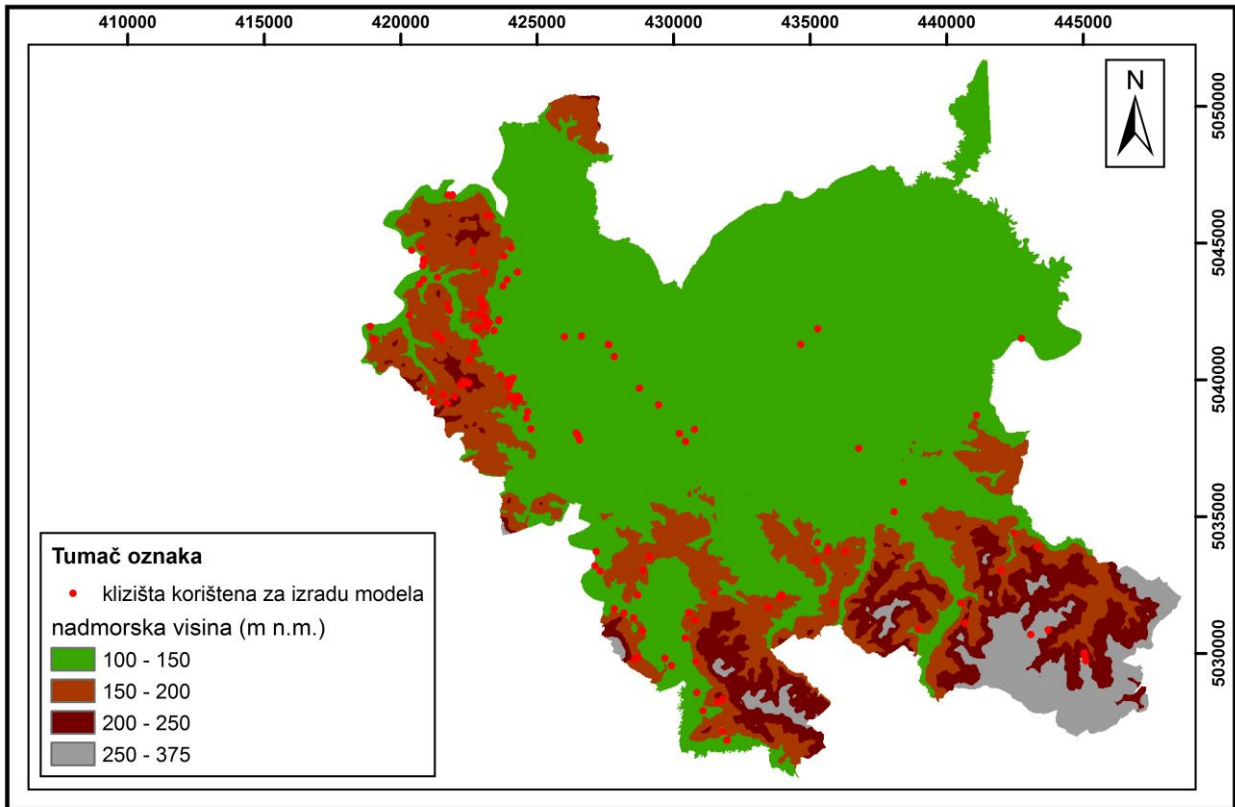
Svi geomorfološki faktori izvedeni su iz DEM-a rezolucije  $25 \times 25$  m u GIS-u. Za analizu podložnosti na klizanje odabrani su slijedeći geomorfološki faktori: nadmorska visina, nagib terena, orijentacija padine, zakrivljenost terena, hrapavost terena i vlažnost terena. Prema *Hi*-kvadrat testu, svi faktori su relevantni parametri za analizu podložnosti (tablica 5.1). Vrijednosti  $\chi^2$  veće su od graničnih vrijednosti pa se odbacuju nul-hipoteze kojima je pretpostavljeno da su klizišta normalno distribuirana na cijelom istraživanom području, odnosno distribucija klizišta u pojedinim klasama faktorskih karata se razlikuje od očekivane distribucije klizišta. Vrijednost  $\chi^2$  za faktorsku kartu orijentacije padine je malo veća od granične vrijednosti te se može zaključiti da orijentacija padine nema veliki utjecaja na nestabilnost padina, odnosno na pojavu klizišta. Hrapavost terena i vlažnost terena imaju najviše  $\chi^2$  vrijednosti u odnosu na granične vrijednosti te se može zaključiti da značajno ukazuju na terene koji su podložni na klizanje. Rezultati *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za sve geomorfološke faktore prikazani su u tablici 5.1.

Karta nadmorske visine (slika 5.2) podijeljena je na četiri klase: 100-150 m n.m.; 150-200 m n.m.; 200-250 m n.m.; i 250-375 m n.m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 47,50 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 7,81 te se stoga se odbacuje nul-hipoteza. U klasi iznad 250 m n.m. evidentirana su samo četiri klizišta, dok klasa 150-200 m n.m. ima najveći utjecaj na pojavu klizišta.

Tablica 5.1 Prikaz rezultata *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za geomorfološke faktore klizanja.

Faktor klizanja	$H_i$ kvadrat test						Information value		Weight of Evidence						
	Opis klase	Površina klase $N_i$ (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta $S_i$	Gustoća klizišta $W$ ( $S_i/N_i$ )	Očekivani broj klizišta ( $S_i$ )	$(S_i - S_j)^2 / S_j$	$S_i/N_i/S/N$	$I_i = \log(S_i/N_i / S/N)$	npix1	npix2 (N - npix1)	npix3 ( $N_i - npix1$ )	npix4 (N - $S_i + S_j$ )	W+	W-	Wmap
Nadmorska visina	Stupanj slobode = 3 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 7.81			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass= $N_i$	nsiclass= $S_i$			
	100-150 m n.m.	2.68E+08	66	2.46E-07	93.75	8.21	0.70	-0.1524	66	74	2.68E+08	1.32E+08	-0.3509	0.4699	-0.6558
	150-200 m n.m.	79097500	60	7.59E-07	27.67	37.77	2.17	0.3361	60	80	79097440	3.21E+08	0.7739	-0.3394	1.2784
	200-250 m n.m.	33013125	10	3.03E-07	11.55	0.21	0.87	-0.0626	10	130	33013115	3.67E+08	-0.1440	0.0120	0.0090
	250-375 m n.m.	20105000	4	1.99E-07	7.03	1.31	0.57	-0.2451	4	136	20104996	3.8E+08	-0.5644	0.0226	-0.4219
	<b>SUM</b>	<b>4E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.5E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>47.50</b>							<b>0.1651</b>		
Nagib terena	Stupanj slobode = 4 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 9.49			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass= $N_i$	nsiclass= $S_i$			
	0-5°	2.82E+08	64	2.27E-07	98.59	12.14	0.65	-0.1877	64	76	2.82E+08	1.18E+08	-0.4321	0.6073	-0.7365
	5-10°	80264375	45	5.61E-07	28.08	10.20	1.60	0.2048	45	95	80264330	3.2E+08	0.4716	-0.1639	0.5086
	10-15°	29133125	24	8.24E-07	10.19	18.71	2.35	0.3720	24	116	29133101	3.71E+08	0.8564	-0.1125	0.8420
	15-20°	7408125	4	5.4E-07	2.59	0.77	1.54	0.1885	4	136	7408121	3.93E+08	0.4340	-0.0103	0.3173
	20-40°	1556875	3	1.93E-06	0.54	11.07	5.51	0.7410	3	137	1556872	3.99E+08	1.7062	-0.0178	1.5970
	<b>SUM</b>	<b>4E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.5E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>52.87</b>							<b>0.3028</b>		
Orijentacija padine	Stupanj slobode = 8 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 15.51			S/N=	3.49E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass= $N_i$	nsiclass= $S_i$			
	zaravnjeno	1155000	0	0	0.40	0.40	0.00	0.0000	0	140	1155000	4E+08	0.0000	0.0029	-0.0131
	sjever	51371250	12	2.34E-07	17.95	1.97	0.67	-0.1749	12	128	51371238	3.49E+08	-0.4026	0.0476	-0.4604
	sjeвероисток	53626250	29	5.41E-07	18.74	5.62	1.55	0.1897	29	111	53626221	3.47E+08	0.4368	-0.0884	0.5150
	istok	49268125	21	4.26E-07	17.21	0.83	1.22	0.0863	21	119	49268104	3.51E+08	0.1988	-0.0313	0.2199
	jugoistok	44331875	16	3.61E-07	15.49	0.02	1.03	0.0141	16	124	44331859	3.56E+08	0.0324	-0.0041	0.0264
	jug	44261250	24	5.42E-07	15.46	4.71	1.55	0.1909	24	116	44261226	3.56E+08	0.4395	-0.0710	0.5003
	jugozapad	50350625	11	2.18E-07	17.59	2.47	0.63	-0.2039	11	129	50350614	3.5E+08	-0.4696	0.0525	-0.5322
	zapad	53456875	15	2.81E-07	18.68	0.72	0.80	-0.0952	15	125	53456860	3.47E+08	-0.2193	0.0299	-0.2593
sjeвероzapad	52863750	12	2.27E-07	18.47	2.27	0.65	-0.1873	12	128	52863738	3.48E+08	-0.4313	0.0519	-0.4933	
	<b>SUM</b>	<b>4.01E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.49E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>19.02</b>							<b>-0.0102</b>		
Zakrivljenost terena	Stupanj slobode = 3 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 7.81			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass= $N_i$	nsiclass= $S_i$			
	konkavne padine	70144375	28	3.99E-07	24.54	0.49	1.14	0.0573	28	112	70144347	3.3E+08	0.1319	-0.0304	0.1683
	blago konkavne padine	1.39E+08	30	2.17E-07	48.46	7.03	0.62	-0.2082	30	110	1.39E+08	2.62E+08	-0.4795	0.1837	-0.6572
	blago konveksne padine	1.28E+08	30	2.35E-07	44.72	4.85	0.67	-0.1734	30	110	1.28E+08	2.72E+08	-0.3993	0.1437	-0.5370
	konveksne padine	63684375	52	8.17E-07	22.28	39.65	2.33	0.3681	52	88	63684323	3.36E+08	0.8476	-0.2910	1.1445
	<b>SUM</b>	<b>4E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.5E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>52.01</b>							<b>0.0060</b>		
Hrapavost terena	Stupanj slobode = 3 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 7.81			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass= $N_i$	nsiclass= $S_i$			
	zaglađen teren	1.48E+08	4	2.69E-08	51.95	44.25	0.08	-1.1135	4	136	1.48E+08	2.52E+08	-2.5639	0.4347	-3.1256
	blago hrapav teren	1.65E+08	81	4.91E-07	57.75	9.36	1.40	0.1469	81	59	1.65E+08	2.35E+08	0.3383	-0.3322	0.6745
	hrapav teren	77705000	47	6.05E-07	27.18	14.44	1.73	0.2378	47	93	77704953	3.22E+08	0.5475	-0.1932	0.7447
	vrlo hrapav teren	8906875	8	8.98E-07	3.12	7.66	2.57	0.4095	8	132	8906867	3.91E+08	0.9429	-0.0363	0.9832
	<b>SUM</b>	<b>4E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.5E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>75.71</b>							<b>-0.1270</b>		

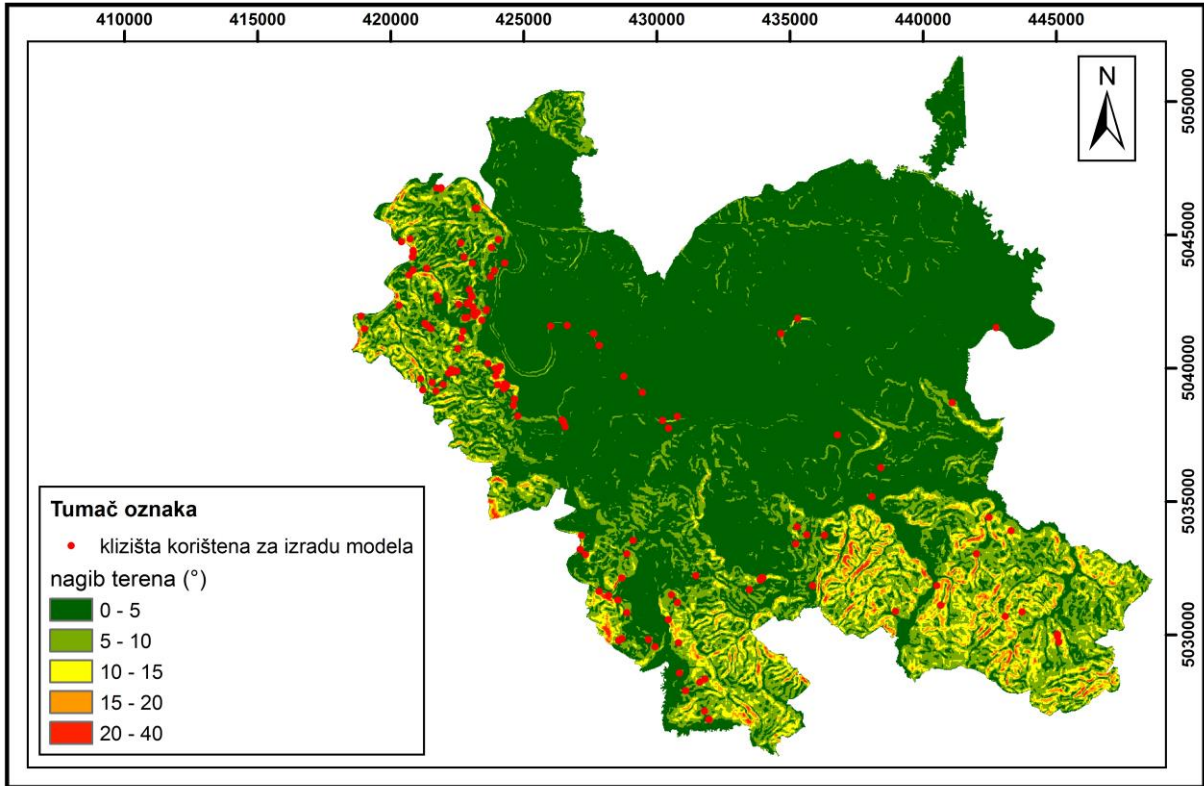




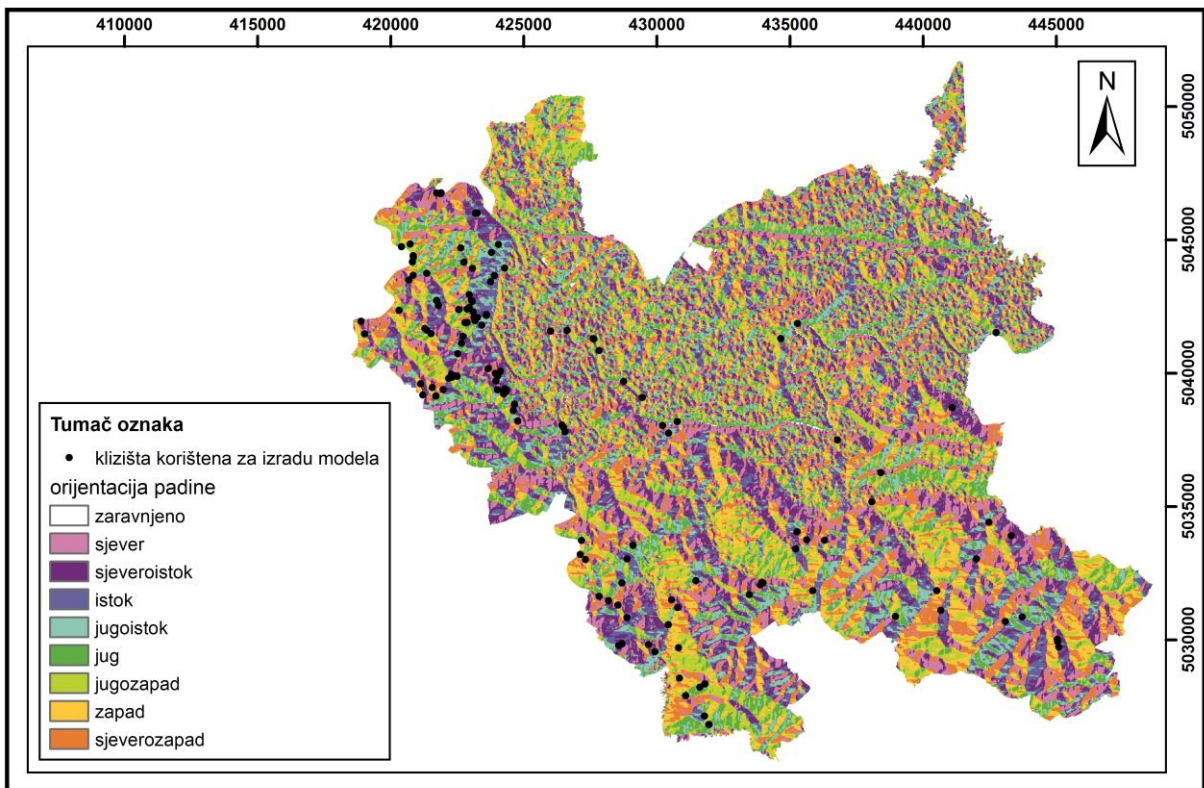
Slika 5.2 Faktorska karta nadmorskih visina za područje Grada Karlovca.

Karta nagiba terena (slika 5.3) podijeljena je na 5 klasa: 0 - 5°; 5 - 10°; 10 - 15°; 15-20°; i 20 - 40°. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 52,87 i veća je od granične vrijednosti koja je iznosi 9,49 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Najveći utjecaj na pojavu klizišta imaju klase nagiba terena 5-20°; i 20 - 40°, dok je u klasi 0 - 5° evidentirano manje klizišta od očekivanog.

Karta orijentacije padine (slika 5.4) podijeljena je na devet klasa: zaravnjeni teren, sjever (S), sjeveroistok (SI), istok (I), jugoistok (JI), jug (J), jugozapad (JZ), zapad (Z) i sjeverozapad (SZ). Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 19,02 i veća je od granične vrijednosti koja je iznosi 15,51 stoga se odbacuje nul-hipoteza. Na zaravnjenim terenima nisu evidentirana klizišta dok ih je najviše evidentirano na padinama orijentiranim prema sjeveroistoku i jugu te možemo zaključiti da navedene padine najviše utječu na pojavu klizišta.

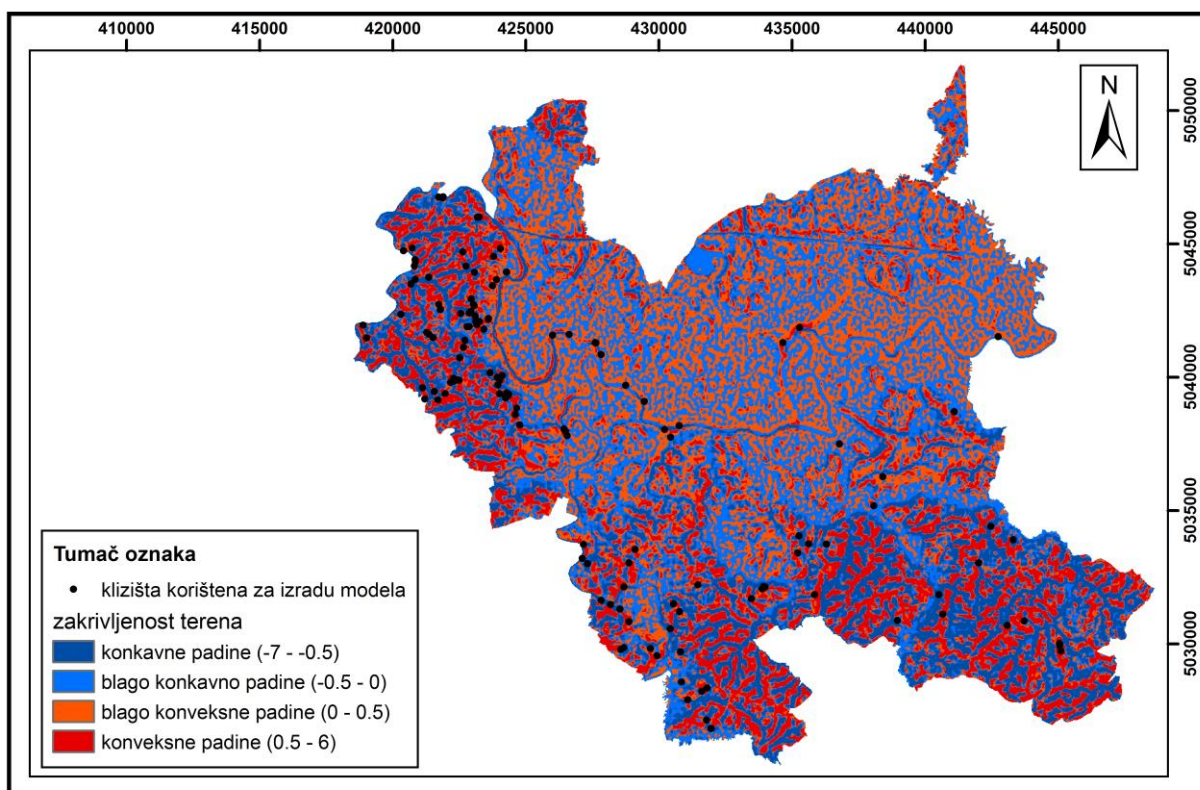


Slika 5.3 Faktorska karta nagiba terena za područje Grada Karlovca.



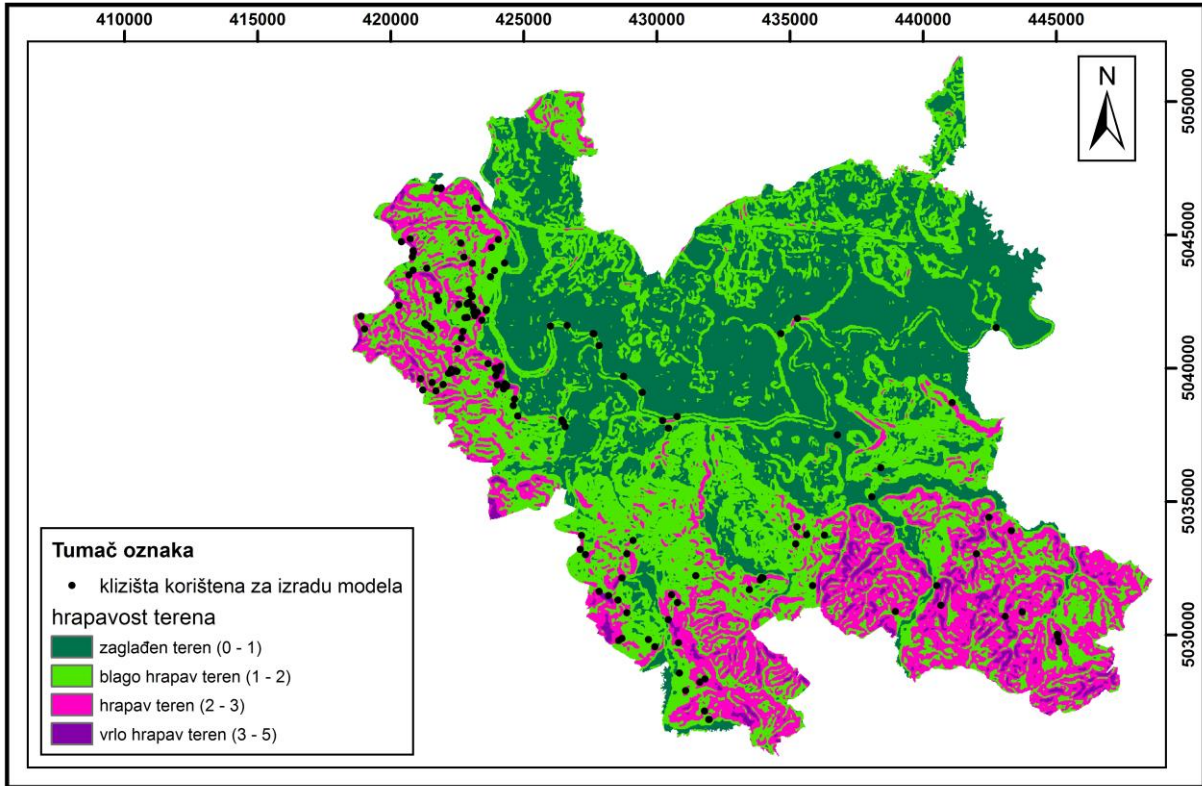
Slika 5.4 Faktorska karta orijentacija padine za područje Grada Karlovca.

Karta zakrivljenosti terena (slika 5.5) podijeljena je na četiri klase: konkavne padine (-7 - -0,5); blago konkavne padine (-0,5 - 0); blago konveksne padine (0 - 0,5); i konveksne padine (0,5 - 6). Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 52,01 i veća je od granične vrijednosti koja je iznosi 7,81 stoga se odbacuje nul-hipoteza. Prema rezultatima, daleko najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa 0,5 - 6, odnosno konveksne padine.



Slika 5.5 Faktorska karta zakrivljenosti terena za područje Grada Karlovca.

Karta hrapavosti terena (slika 5.6) podijeljena je na četiri klase: zaglađen teren (0 - 1) ; blago hrapav teren (1 - 2); hrapav teren (2 - 3); i vrlo hrapav teren (3 - 5). Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 75,71 i veća je od granične vrijednosti koja je iznosi 7,81 stoga se odbacuje nul-hipoteza. U klasi zaglađenih terena i vrlo hrapavih terena nalazi se svega 12 klizišta (znatno manje od očekivanog broja klizišta), dok klase blago hrapavih terena i hrapavih terena imaju značajan utjecaj na pojavu klizišta.



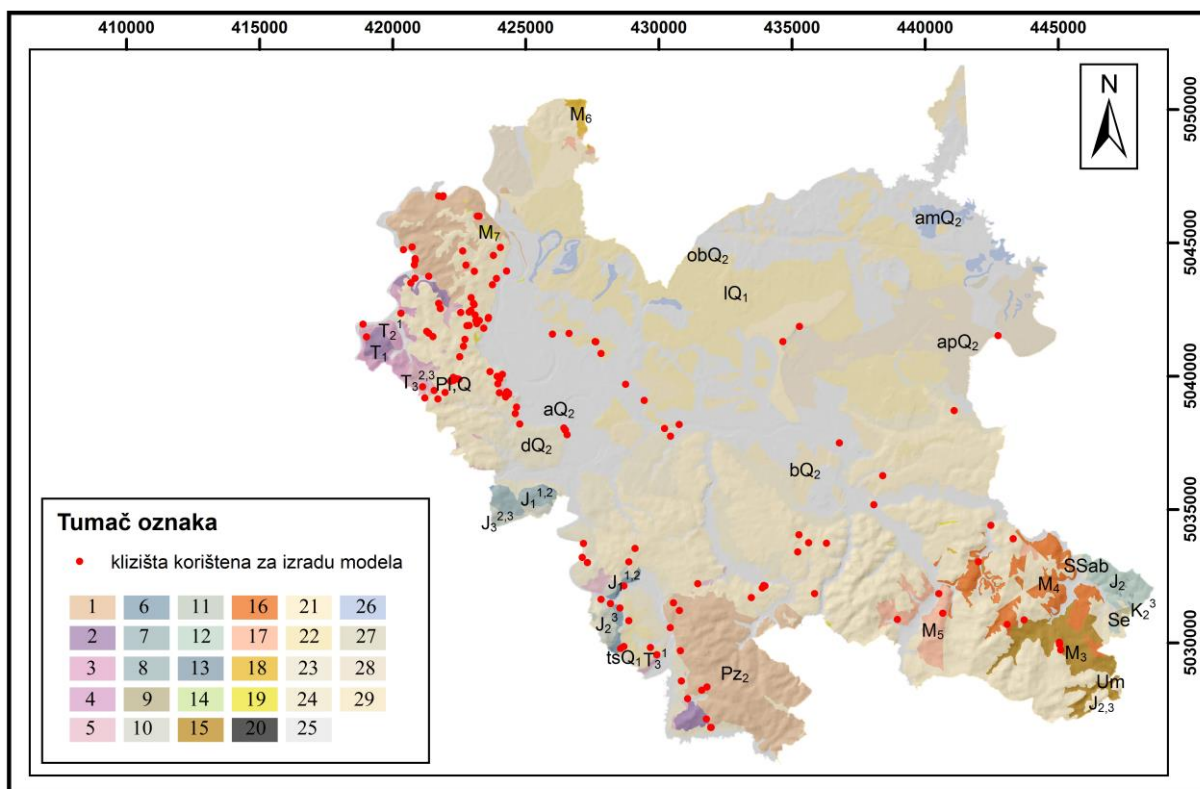
Slika 5.6 Faktorska karta hrapavosti terena za područje Grada Karlovca.

### 5.2.2 Geološki faktori

Vrsta stijena, udaljenost od geološke granice i udaljenost od rasjeda su geološki faktori korišteni za analizu koji su dobiveni digitalizacijom OGK Lista Karlovac i Lista Črnomelj i obradom digitaliziranih podataka kako je opisano u poglavlju 4.2.2. *Hi*-kvadrat test pokazao je da su svi faktori klizanja relevantni za analizu podložnosti na klizanje. Vrijednosti  $\chi^2$  veće su od granične vrijednosti pa se odbacuje nul-hipoteza kojom je pretpostavljeno da su klizišta normalno distribuirana na cijelom promatranom području, odnosno distribucija klizišta u pojedinim klasama svakog faktora razlikuje se od očekivane distribucije klizišta. Sva tri faktora imaju visoke  $\chi^2$  vrijednosti, dok značajno visoke vrijednosti imaju udaljenost od geološke granice te udaljenost od rasjeda. Rezultati *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za svaki geološki faktor prikazani su u tablici 5.2.

Litologija odnosno vrsta stijena (slika 5.7) podijeljena je na 29 klasa prema kronostratigrafskim jedinicama definiranim na OGK M1:100.000, a detaljan opis svih klasa

prikazan je u tablici 4.1. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 144,01 i veća je od granične vrijednosti koja je iznosi 41,34 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Klasa s najvećim utjecajem na pojavu klizišta su pliokvartarne naslage (Pl,Q): pijesci, šljunci, gline, pješčenjaci i konglomerati. Značajan broj klizišta evidentiran je u klasi aluvij (aQ<sub>2</sub>): pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci, silt, barski talozi.



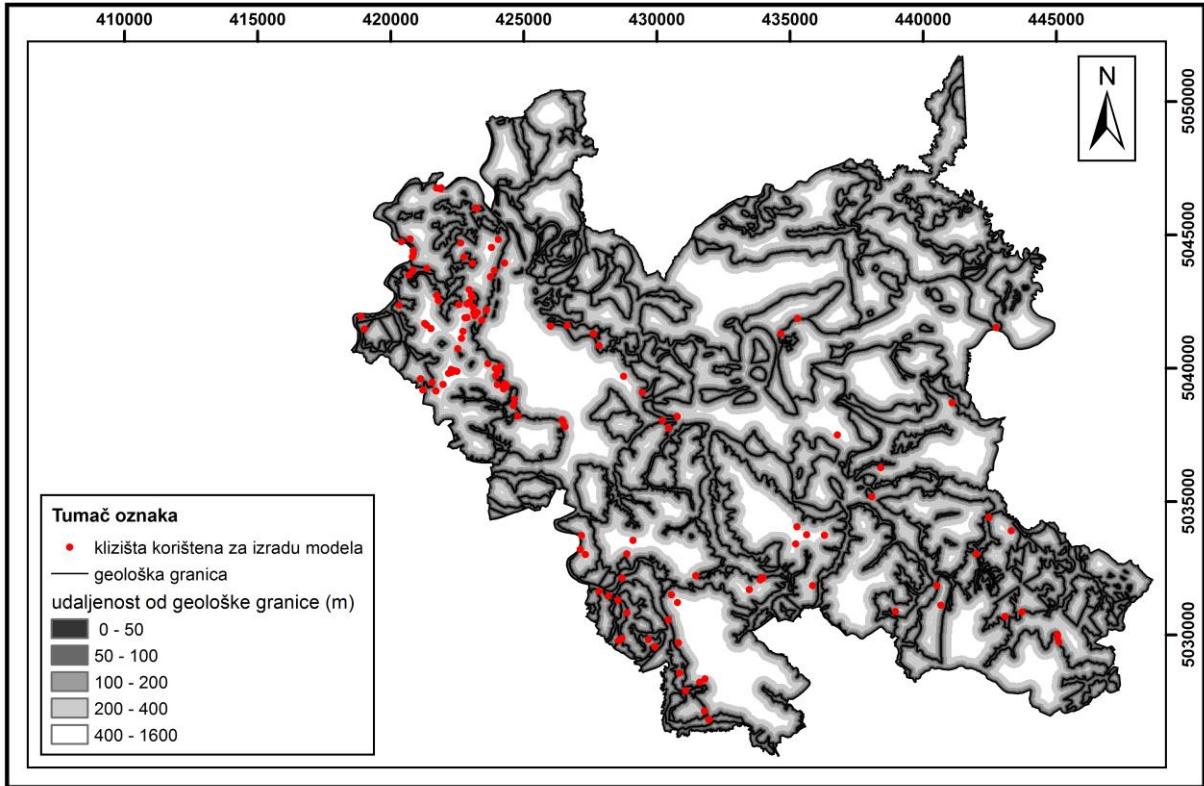
Slika 5.7 Faktorska karta vrste stijena za područje Grada Karlovca.

Karta udaljenosti od geoloških granica (slika 5.8) podijeljena je na pet klasa: 0 - 50 m; 50 - 100 m; 100 - 200 m; 200 - 400 m; 400 - 800 m; i 800 - 3800 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 767,67 i znatno je veća od granične vrijednosti koja iznosi 9,49 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. U klasama 0 - 50 m i 50 - 100 m očekivano je 4,38 klizišta, a evidentirano je 49 klizišta, odnosno 36 klizišta pa se može zaključiti da se većina klizišta pojavljuju u blizini geološke granice (od 0 do 100 m). U klasi udaljenosti većoj od 800 m od geološke granice očekivano je 105 klizišta, a evidentirano je svega 17 klizišta.

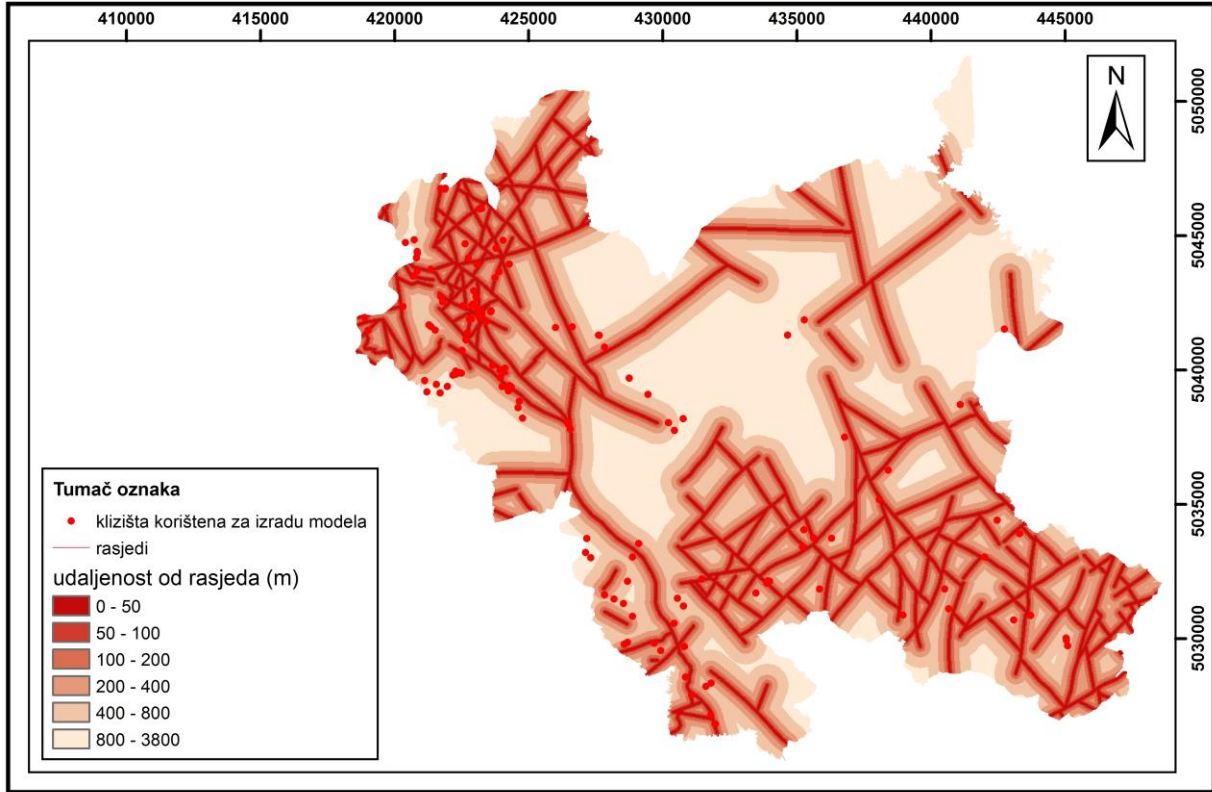
Tablica 5.2 Prikaz rezultata *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za geološke faktore.

Faktor klizanja	Hi kvadrat test					Information value			Weight of Evidence						
	Opis klase	Površina klase $N_i$ ( $m^2$ )	Broj kartiranih klizišta $S_i$	Gustoća klizišta $W$ ( $S_i/N_i$ )	Očekivani broj klizišta ( $S_i$ )	$(S_i - S_j)^2 / S_j$	$S_i/N_i/S/N$	$I_i = \log(S_i/N_i / S/N)$	npix1	npix2 (N- npix1)	npix3 (N <sub>i</sub> - npix1)	npix4 (N-S N <sub>i</sub> +S <sub>i</sub> )	W+	W-	Wmap
Litologija (vrsta stijene)	Stupanj slobode = 28 ; P = 0.05		Granična vrijednost = 41.34			S/N=	3.49E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=N <sub>i</sub>	nslclass=S <sub>i</sub>				
	1: P <sub>2</sub>	26775000	11	4.11E-07	9.36	0.29	1.18	0.0703	11	129	26774989	3.74E+08	0.1619	-0.0127	0.1061
	2: T <sub>1</sub>	2436875	1	4.1E-07	0.85	0.03	1.17	0.0698	1	139	2436874	3.98E+08	0.1607	-0.0011	0.0934
	3: T <sub>2</sub> <sup>1</sup>	2324375	1	4.3E-07	0.81	0.04	1.23	0.0903	1	139	2324374	3.98E+08	0.2080	-0.0014	0.1410
	4: T <sub>3</sub> <sup>1</sup>	65625	1	1.52E-05	0.02	41.63	43.61	1.6396	1	139	65624	4.01E+08	3.7753	-0.0070	3.7139
	5: T <sub>3</sub> <sup>2,3</sup>	2614375	4	1.53E-06	0.91	10.43	4.38	0.6413	4	136	2614371	3.98E+08	1.4767	-0.0224	1.4308
	6: J <sub>1</sub> <sup>1,2</sup>	782500	3	3.83E-06	0.27	27.19	10.97	1.0403	3	137	782497	4E+08	2.3953	-0.0197	2.3466
	7: J <sub>1</sub> <sup>1,2</sup>	2038125	1	4.91E-07	0.71	0.12	1.40	0.1474	1	139	2038124	3.99E+08	0.3394	-0.0021	0.2731
	8: J <sub>3</sub>	1875	0	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0	140	1875	4.01E+08	0.0000	0.0000	-0.0684
	9: Se	227500	0	0	0.08	0.08	0.00	0.0000	0	140	227500	4E+08	0.0000	0.0006	-0.0690
	10: J <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1892500	1	5.28E-07	0.66	0.17	1.51	0.1796	1	139	1892499	3.99E+08	0.4136	-0.0024	0.3476
	11: J <sub>3</sub> <sup>2,3</sup>	231875	0	0	0.08	0.08	0.00	0.0000	0	140	231875	4E+08	0.0000	0.0006	-0.0690
	12: K <sub>2</sub>	2946250	0	0	1.03	1.03	0.00	0.0000	0	140	2946250	3.98E+08	0.0000	0.0074	-0.0758
	13: ββab	114375	0	0	0.04	0.04	0.00	0.0000	0	140	114375	4.01E+08	0.0000	0.0003	-0.0687
	14: K <sub>2</sub> <sup>3</sup>	72500	0	0	0.03	0.03	0.00	0.0000	0	140	72500	4.01E+08	0.0000	0.0002	-0.0686
	15: M <sub>3</sub>	5763125	5	8.68E-07	2.01	4.43	2.48	0.3950	5	135	5763120	3.95E+08	0.9094	-0.0219	0.8629
	16: M <sub>4</sub>	6828125	1	1.46E-07	2.39	0.81	0.42	-0.3777	1	139	6828124	3.94E+08	-0.8696	0.0100	-0.9480
	17: M <sub>5</sub>	4253125	2	4.7E-07	1.49	0.18	1.35	0.1290	2	138	4253123	3.96E+08	0.2969	-0.0037	0.2323
	18: M <sub>6</sub>	687500	0	0	0.24	0.24	0.00	0.0000	0	140	687500	4E+08	0.0000	0.0017	-0.0701
	19: M <sub>7</sub>	421875	0	0	0.15	0.15	0.00	0.0000	0	140	421875	4E+08	0.0000	0.0011	-0.0695
	20: Um	5000	0	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0	140	5000	4.01E+08	0.0000	0.0000	-0.0684
	21: Pl,Q	1.09E+08	63	5.77E-07	38.18	16.14	1.65	0.2175	63	77	1.09E+08	2.91E+08	0.5009	-0.2794	0.7119
	22: lQ <sub>1</sub>	53015625	5	9.43E-08	18.53	9.87	0.27	-0.5688	5	135	53015620	3.48E+08	-1.3097	0.1056	-1.4837
	23: tsQ <sub>1</sub>	550000	2	3.64E-06	0.19	17.01	10.41	0.1073	2	138	549998	4E+08	2.3424	-0.0130	2.2871
	24: dQ <sub>2</sub>	26564375	10	3.76E-07	9.28	0.06	1.08	0.0323	10	130	26564365	3.74E+08	0.0745	-0.0055	0.0116
	25: aQ <sub>2</sub>	1.1E+08	27	2.45E-07	38.45	3.41	0.70	-0.1535	27	113	1.1E+08	2.91E+08	-0.3535	0.1068	-0.5287
	26: amQ <sub>2</sub>	4059375	0	0	1.42	1.42	0.00	0.0000	0	140	4059375	3.97E+08	0.0000	0.0102	-0.0786
	27: obQ <sub>2</sub>	406250	0	0	0.14	0.14	0.00	0.0000	0	140	406250	4E+08	0.0000	0.0010	-0.0694
	28: apQ <sub>2</sub>	22701250	1	4.41E-08	7.93	6.06	0.13	-0.8994	1	139	22701249	3.78E+08	-2.0710	0.0512	-2.1905
	29: bQ <sub>2</sub>	13585625	1	7.36E-08	4.75	2.96	0.21	-0.6764	1	139	13585624	3.87E+08	-1.5576	0.0273	-1.6533
<b>SUM</b>	<b>4.01E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.49E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>144.01</b>									<b>-0.0684</b>	
Udaljenost od litološke granice	Stupanj slobode = 4 ; P = 0.05		Granična vrijednost = 9.49			S/N=	3.49E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=N <sub>i</sub>	nslclass=S <sub>i</sub>				
	0-50m	95879375	49	5.11E-07	4.38	455.18	1.46	0.1651	49	91	95879326	3.05E+08	0.3801	-0.1572	0.5094
	50-100m	69962500	36	5.15E-07	4.38	228.60	1.47	0.1680	36	104	69962464	3.31E+08	0.3869	-0.1053	0.4643
	100-200m	90835000	18	1.98E-07	8.75	9.78	0.57	-0.2464	18	122	90834982	3.1E+08	-0.5673	0.1195	-0.7147
	200-400m	89071875	20	2.25E-07	17.50	0.36	0.64	-0.1921	20	120	89071855	3.12E+08	-0.4424	0.0973	-0.5676
	400-1600m	54860000	17	3.1E-07	105.00	73.75	0.89	-0.0522	17	123	54859983	3.46E+08	-0.1202	0.0178	-0.1659
	<b>SUM</b>	<b>4.01E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.49E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>767.67</b>									<b>-0.0279</b>
Udaljenost od rasjeda	Stupanj slobode = 5 ; P = 0.05		Granična vrijednost = 11.07			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=N <sub>i</sub>	nslclass=S <sub>i</sub>				
	0-50m	38430625	25	6.51E-07	1.84	291.13	1.86	0.2698	25	115	38430600	3.62E+08	0.6212	-0.0958	0.7211
	50-100m	35240625	26	7.38E-07	1.84	316.81	2.11	0.3245	26	114	35240599	3.65E+08	0.7471	-0.1133	0.8645
	100-200m	60688750	18	2.97E-07	3.68	55.63	0.85	-0.0713	18	122	60688732	3.4E+08	-0.1642	0.0267	-0.1869
	200-400m	85048750	27	3.17E-07	7.37	52.30	0.91	-0.0418	27	113	85048723	3.15E+08	-0.0962	0.0244	-0.1166
	400-800m	87443125	33	3.77E-07	14.74	22.63	1.08	0.0333	33	107	87443092	3.13E+08	0.0767	-0.0225	0.1032
	800-3800m	93691250	11	1.17E-07	110.53	89.62	0.34	-0.4738	11	129	93691239	3.07E+08	-1.0909	0.1846	-1.2715
<b>SUM</b>	<b>4.01E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.5E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>828.13</b>									<b>0.0040</b>	

Karta udaljenosti od rasjeda (slika 5.9) podijeljena je na šest klasa: 0 - 50 m; 50 - 100 m; 100 - 200 m; 200 - 400 m; i 400 - 1600 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 828,13 i znatno je veća od granične vrijednosti koja iznosi 11,07 stoga se nul-hipoteza odbacuje. Klase udaljenosti 0 - 50 m i 50 - 100 m imaju daleko najveći utjecaj na pojavu klizišta, evidentirano je 25, odnosno 26 klizišta, a očekivano je svega 1,84 u svakoj klasi.



Slika 5.8 Faktorska karta udaljenosti od geološke granice za područje Grada Karlovca.



Slika 5.9 Faktorska karta udaljenosti od rasjeda za područje Grada Karlovca.

### 5.2.3 Hidrološki faktori

Za analizu podložnosti na klizanje korišteni su slijedeći hidrološki faktori: udaljenost od drenažne mreže, udaljenost od izvora, udaljenost od povremenih vodotoka, udaljenost od stalnih vodotoka, udaljenost od vodotoka i karta vlažnosti terena. *Hi*-kvadrat test pokazao je da su svi faktori klizanja relevantni za analizu podložnosti. Vrijednosti  $\chi^2$  veće su od granične vrijednosti pa se odbacuje nul-hipoteza kojom je pretpostavljeno da su klizišta normalno distribuirana na cijelom promatranom području, odnosno distribucija klizišta u pojedinim klasama svakog faktora razlikuje se od očekivane distribucije klizišta. Rezultati *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za svaki hidrološki faktor prikazani su u tablici 5.3.

Najveću  $\chi^2$  vrijednost ima parametar udaljenosti od izvora, a najmanju parametar udaljenosti od drenažne mreže. Sve karte osim one udaljenosti od drenažne mreže izvedene su na temelju obrade digitaliziranih podataka (izvori i vodotoci) s topografske karte mjerila 1:25 000 (TK25), kao što je opisano u poglavlju 4.2.3.

Karta udaljenosti od drenažne mreže (slika 5.10) podijeljena je na pet klasa: 0 - 50 m; 50 - 100 m; 100 - 200 m; 200 - 300 m; i 300 - 550 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 98,24 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 9,49 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Od svih hidroloških parametara, ovaj ima najmanju  $\chi^2$  vrijednost. Distribucija evidentiranih klizišta je značajna za analizu u gotovo svim klasama.

Karta udaljenosti od izvora (slika 5.11) podijeljena je na pet klasa: 0 - 100 m; 100 - 250 m; 250 - 500 m; 500 - 1000 m; i 1000 - 12 000 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 392,36 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 9,49 stoga se odbacuje nul-hipoteza. Klasa 0 - 100 m je vrlo male površine i evidentirano je samo jedno klizište. U klasama 100 - 250 m, 250 - 500 m i 500 - 1000 m evidentirano je znatno više klizišta od očekivanog broja.

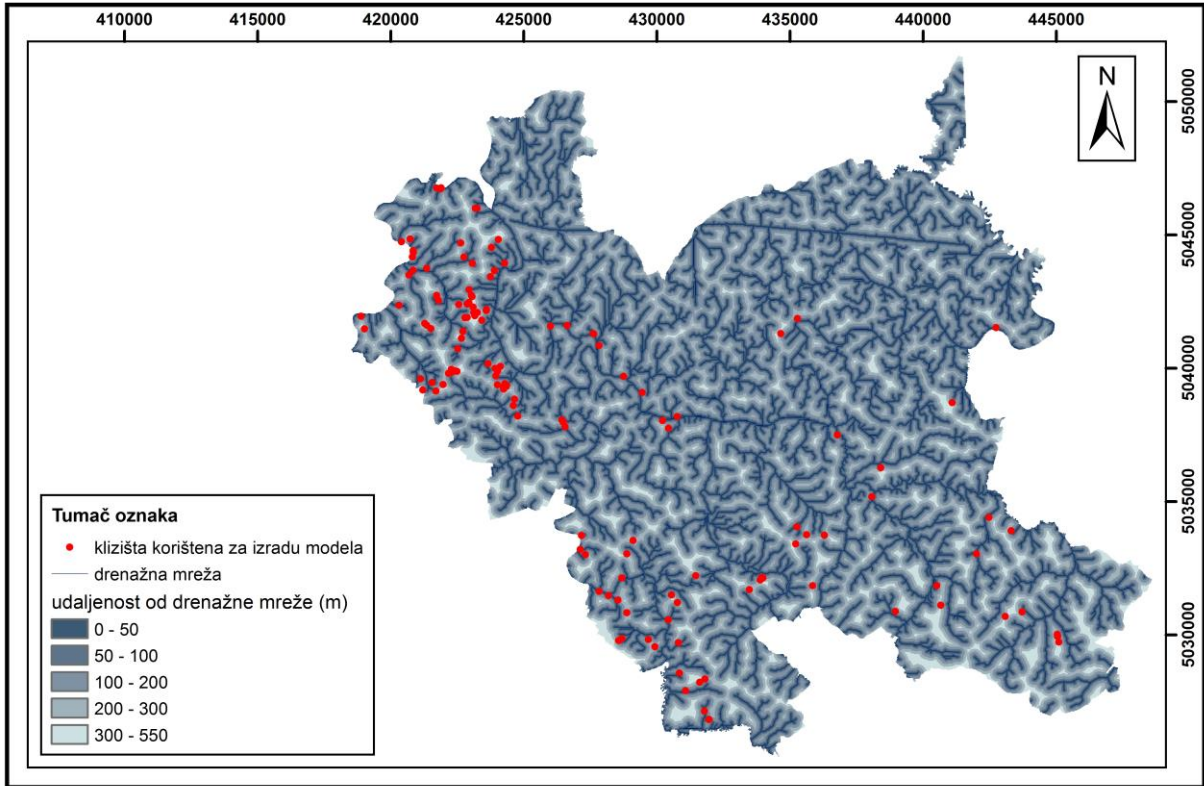
Karta udaljenosti od povremenih vodotoka (slika 5.12) podijeljena je na šest klasa: 0 - 100 m; 100 - 200 m; 200 - 300 m; 300 - 400 m; 400 - 500 m; i 500 - 2 300 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 211,82 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 11,07 stoga se odbacuje nul-hipoteza. S obzirom na razliku između broja kartiranih i očekivanih klizišta, klasa 0 - 100 m ukazuje na mogućnost pojave klizišta.



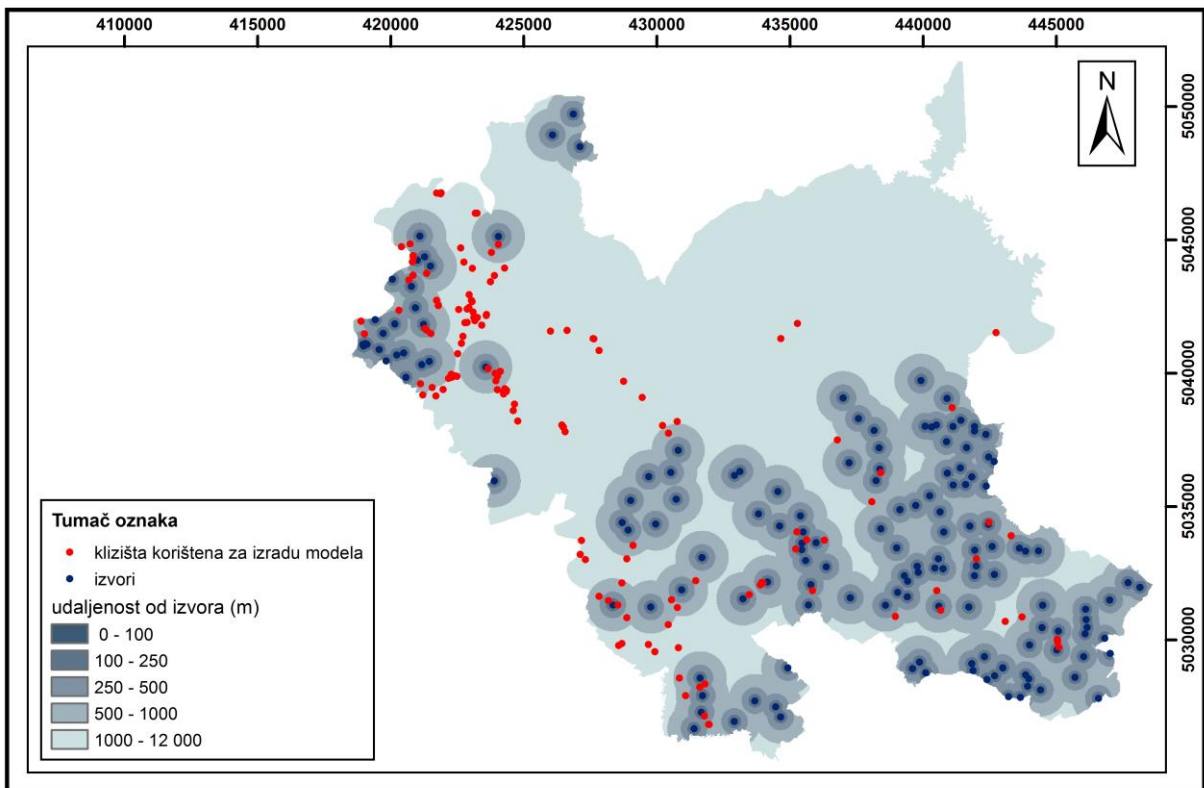
Tablica 5.3 Prikaz rezultata *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za hidrološke faktore.

Faktor klijanja	Hi kvadrat test						Information value		Weight of Evidence						
	Opis klase	Površina klase Ni (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta Si	Gustoća klizišta W (S/Ni)	Očekivani broj klizišta (Si)	(Si-Si) <sup>2</sup> / Si	Si/Ni/S/N	li=log(Si/Ni/S/N)	npix1	npix2 (N-npix1)	npix3 (Ni-npix1)	npix4 (N-Si+Si)	W+	W-	Wmap
Udaljenost od drenažne mreže	Stupanj slobode = 4 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 9.49			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=Ni	nsiclass=Si			
	0-50m	91916875	26	2.83E-07	12.73	13.84	0.81	-0.0925	26	114	91916849	3.08E+08	-0.2129	0.0556	-0.2726
	50-100m	83504375	22	2.63E-07	12.73	6.76	0.75	-0.1233	22	118	83504353	3.17E+08	-0.2839	0.0632	-0.3512
	100-200m	1.36E+08	39	2.86E-07	25.45	7.21	0.82	-0.0874	39	101	1.36E+08	2.64E+08	-0.2012	0.0900	-0.2953
	200-300m	71547500	47	6.57E-07	25.45	18.24	1.88	0.2735	47	93	71547453	3.28E+08	0.6297	-0.2120	0.8376
	300-550m	16796250	6	3.57E-07	63.64	52.20	1.02	0.0089	6	134	16796244	3.83E+08	0.0205	-0.0009	0.0173
SUM	4E+08	140	3.5E-07	140.00	98.24									-0.0041	
Udaljenost od izvora	Stupanj slobode = 4 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 9.49			S/N=	3.49E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=Ni	nsiclass=Si			
	0-100m	4719375	1	2.12E-07	1.17	0.02	0.61	-0.2172	1	139	4719374	3.96E+08	-0.5002	0.0047	-0.4333
	100-250m	22233125	18	8.1E-07	1.75	150.89	2.32	0.3649	18	122	22233107	3.78E+08	0.8403	-0.0805	0.9924
	250-500m	56912500	18	3.16E-07	2.92	78.00	0.91	-0.0433	18	122	56912482	3.44E+08	-0.0996	0.0156	-0.0437
	500-1000m	90122500	34	3.77E-07	5.83	136.00	1.08	0.0333	34	106	90122466	3.11E+08	0.0767	-0.0234	0.1716
	1000-12000	2.27E+08	69	3.04E-07	128.33	27.43	0.87	-0.0599	69	71	2.27E+08	1.74E+08	-0.1380	0.1552	-0.2216
SUM	4.01E+08	140	3.49E-07	140.00	392.36									0.0715	
Udaljenost od povremenih vodotoka	Stupanj slobode = 5 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 11.07			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=Ni	nsiclass=Si			
	0-100m	1.36E+08	23	1.7E-07	6.09	46.99	0.48	-0.3145	23	117	1.36E+08	2.65E+08	-0.7243	0.2345	-0.9452
	100-200m	98977500	27	2.73E-07	6.09	71.85	0.78	-0.1080	27	113	98977473	3.01E+08	-0.2488	0.0699	-0.3051
	200-300m	63298750	19	3E-07	6.09	27.39	0.86	-0.0665	19	121	63298731	3.37E+08	-0.1531	0.0263	-0.1659
	300-400m	39058750	19	4.86E-07	6.09	27.39	1.39	0.1432	19	121	39058731	3.61E+08	0.3297	-0.0432	0.3864
	400-500m	22738750	7	3.08E-07	6.09	0.14	0.88	-0.0555	7	133	22738743	3.77E+08	-0.1279	0.0072	-0.1215
500-2300m	40468750	45	1.11E-06	109.57	38.05	3.18	0.5022	45	95	40468705	3.6E+08	1.1564	-0.2812	1.4511	
SUM	4E+08	140	3.5E-07	140.00	211.82									0.0136	
Udaljenost od stalnih vodotoka	Stupanj slobode = 5 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 11.07			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=Ni	nsiclass=Si			
	0-100m	62752500	31	4.94E-07	3.89	189.00	1.41	0.1500	31	109	62752469	3.38E+08	0.3455	-0.0798	0.3631
	100-200m	49756875	11	2.21E-07	3.89	13.00	0.63	-0.1991	11	129	49756864	3.51E+08	-0.4585	0.0509	-0.5716
	200-300m	42294375	17	4.02E-07	3.89	44.20	1.15	0.0605	17	123	42294358	3.58E+08	0.1393	-0.0178	0.0949
	300-400m	36091875	7	1.94E-07	3.89	2.49	0.55	-0.2560	7	133	36091868	3.64E+08	-0.5895	0.0432	-0.6948
	400-500m	31082500	3	9.65E-08	3.89	0.20	0.28	-0.5591	3	137	31082497	3.69E+08	-1.2873	0.0592	-1.4087
500-3600m	1.78E+08	71	3.98E-07	120.56	20.37	1.14	0.0562	71	69	1.78E+08	2.22E+08	0.1295	-0.1178	0.1851	
SUM	4E+08	140	3.5E-07	140.00	269.27									-0.0622	
Udaljenost od vodotoka	Stupanj slobode = 5 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 11.07			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=Ni	nsiclass=Si			
	0-100m	1.79E+08	44	2.45E-07	7.78	168.69	0.70	-0.1547	44	96	1.79E+08	2.2E+08	-0.3562	0.2183	-0.5088
	100-200m	1.04E+08	24	2.3E-07	7.78	33.83	0.66	-0.1829	24	116	1.04E+08	2.95E+08	-0.4210	0.1146	-0.4700
	200-300m	52434375	17	3.24E-07	7.78	10.93	0.93	-0.0335	17	123	52434358	3.47E+08	-0.0771	0.0111	-0.0225
	300-400m	26292500	8	3.04E-07	7.78	0.01	0.87	-0.0611	8	132	26292492	3.73E+08	-0.1406	0.0092	-0.0840
	400-500m	13090000	9	6.88E-07	7.78	0.19	1.96	0.2930	9	131	13089991	3.87E+08	0.6746	-0.0332	0.7735
500-1800	24141250	38	1.57E-06	101.11	39.39	4.49	0.6527	38	102	24141212	3.76E+08	1.5029	-0.2544	1.8230	
SUM	4E+08	140	3.5E-07	140.00	253.05									0.0657	
vlažnost terena	Stupanj slobode = 3 ; P = 0.05			Granična vrijednost = 7.81			S/N=	3.5E-07	nnmap = N	nslide=S	nclass=Ni	nsiclass=Si			
	suho	83761875	64	7.64E-07	29.30	41.1	2.18	0.3393	64	76	83761811	3.16E+08	0.7812	-0.3761	1.0499
	slabo vlažno	1.35E+08	57	4.22E-07	47.25	2.01	1.21	0.0814	57	83	1.35E+08	2.65E+08	0.1875	-0.1110	0.1912
	vlažno	1.16E+08	11	9.51E-08	40.47	21.5	0.27	-0.5658	11	129	1.16E+08	2.84E+08	-1.3028	0.2594	-1.6695
	vrlo vlažno	65654375	8	1.22E-07	22.97	9.76	0.35	-0.4580	8	132	65654367	3.35E+08	-1.0547	0.1204	-1.2824
SUM	4E+08	140	3.5E-07	140.00	74.3									-0.1073	

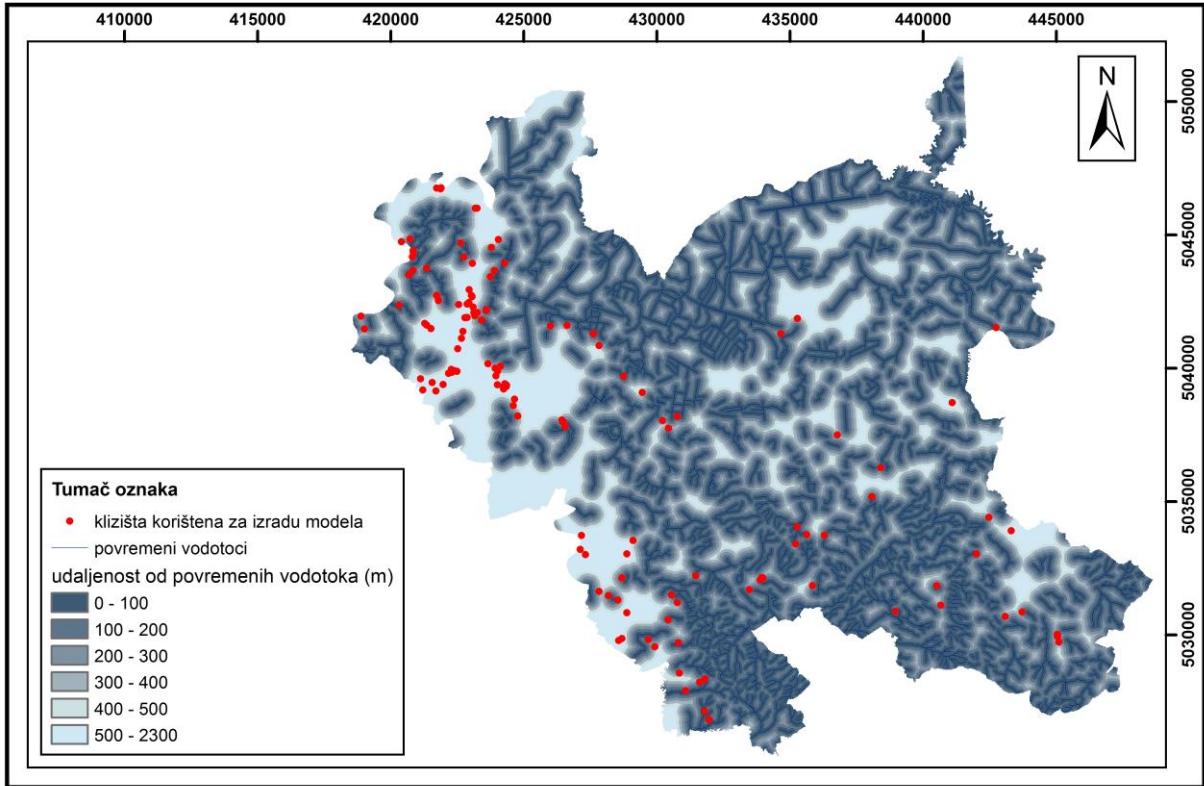
Karta udaljenosti od stalnih vodotoka (slika 5.13) podijeljena je na šest klasa: 0 - 100 m; 100 - 200 m; 200 - 300 m; 300 - 400 m; 400 - 500 m; i 500 - 3 600 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 267,82 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 11,07 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Kao i u prethodnom slučaju analize udaljenosti od privremenih vodotoka, daleko najveći utjecaj ima klasa 0 - 100 m, odnosno u blizini vodotoka evidentiran je relativno velik broj klizišta.



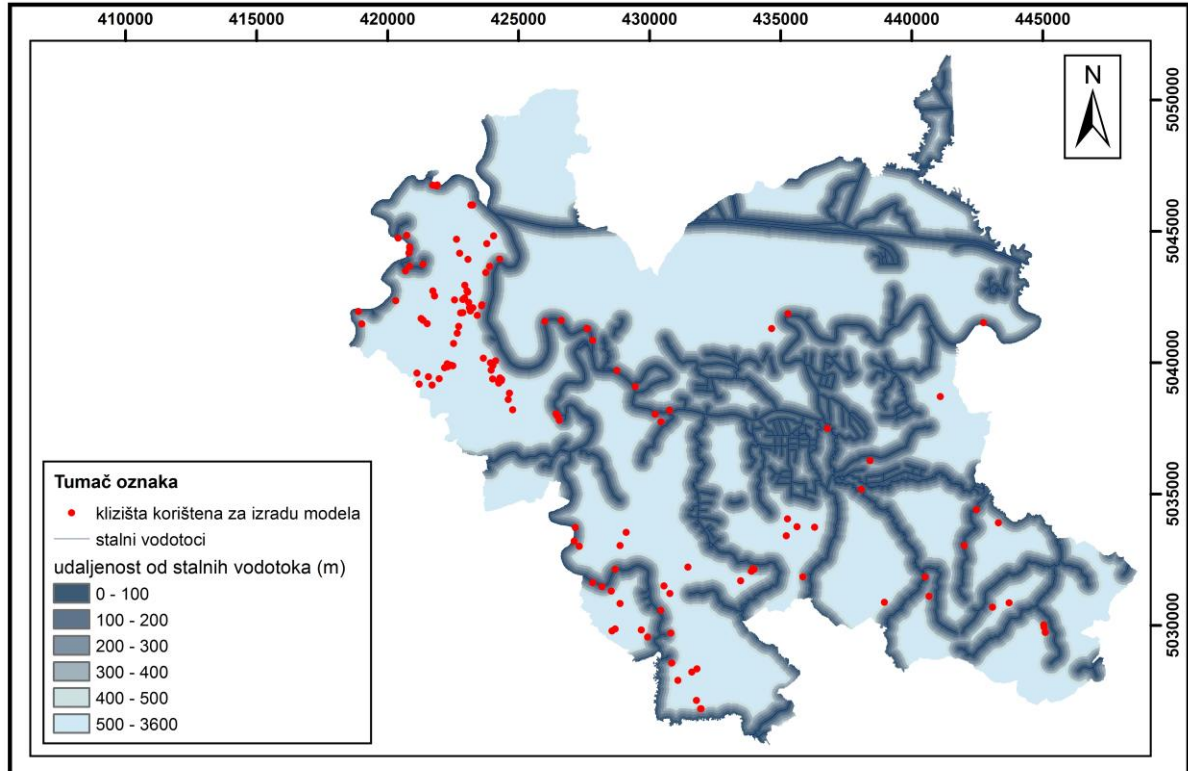
Slika 5.10 Faktorska karta udaljenosti od drenažne mreže za područje Grada Karlovca.



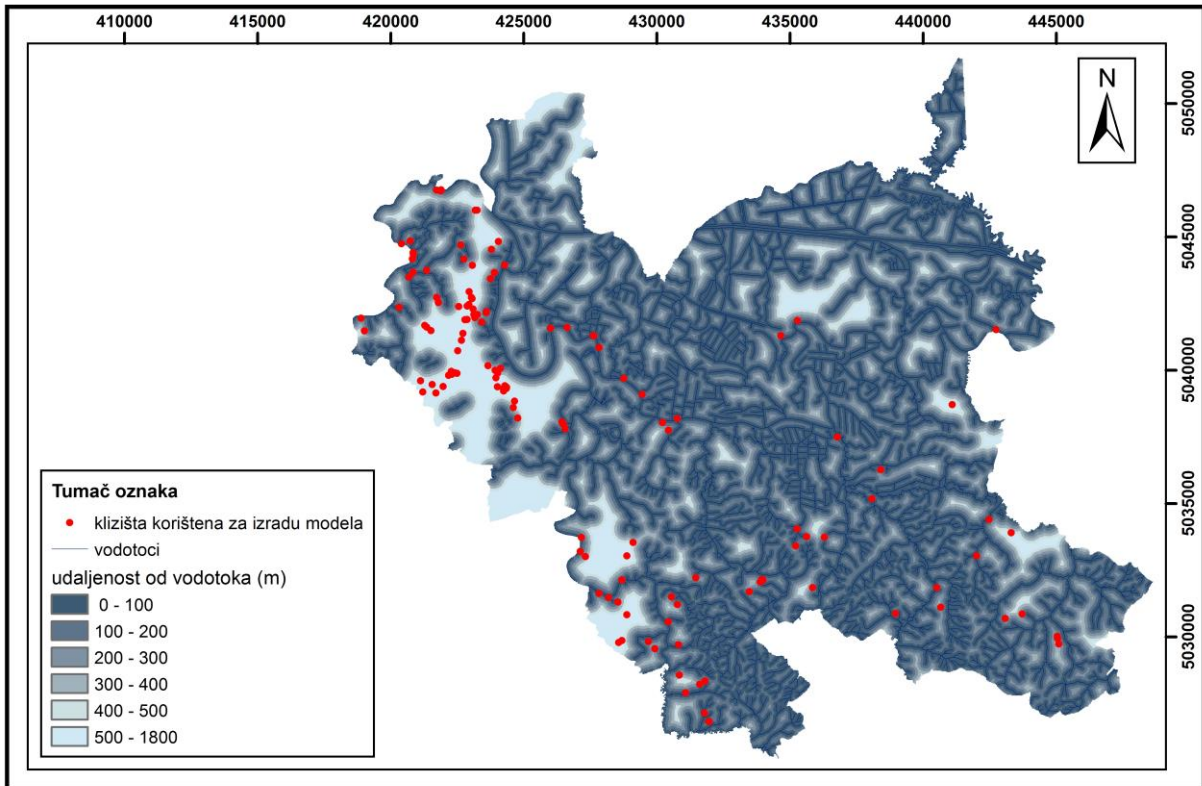
Slika 5.11 Faktorska karta udaljenosti od izvora za područje Grada Karlovca.



Slika 5.12 Faktorska karta udaljenosti od povremenih vodotoka za područje Grada Karlovca.

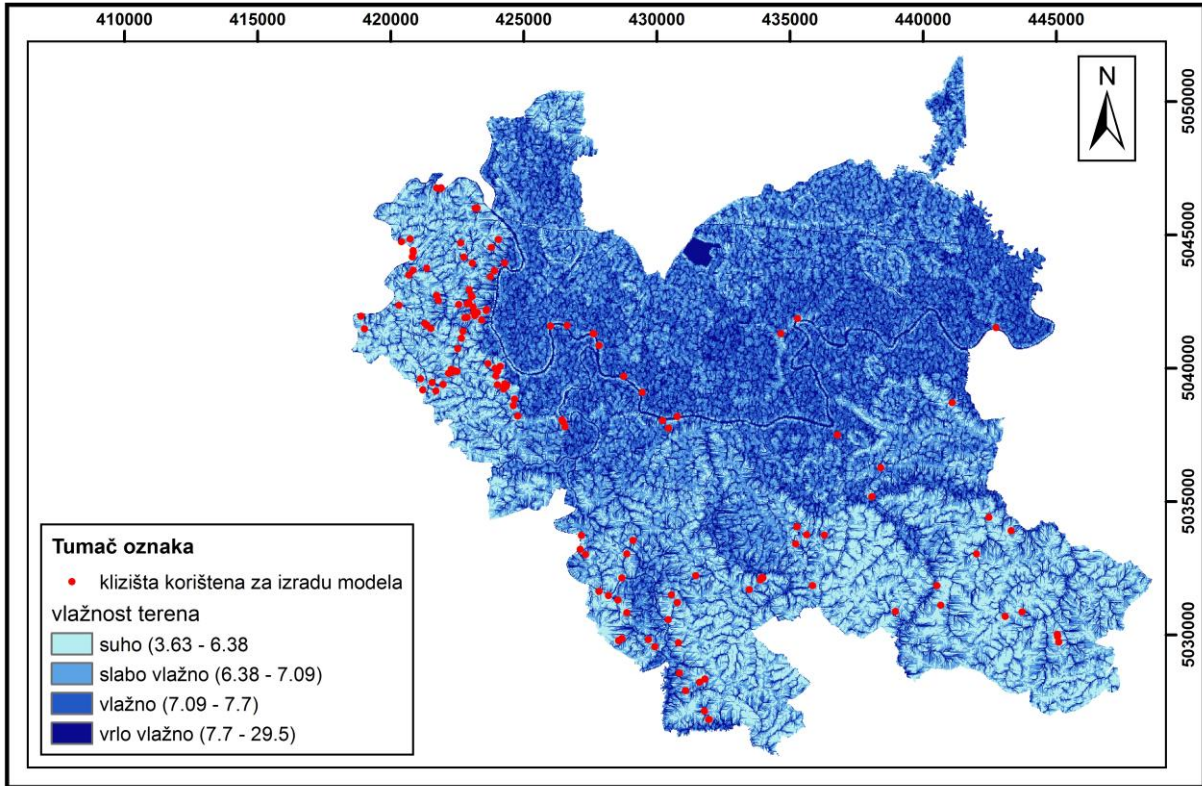


Slika 5.13 Faktorska karta udaljenosti od stalnih vodotoka za područje Grada Karlovca.



Slika 5.14 Faktorska karta udaljenosti od vodotoka za područje Grada Karlovca.

Karta udaljenosti od vodotoka (slika 5.14) podijeljena je na šest klasa: 0 - 100 m; 100 - 200 m; 200 - 300 m; 300 - 400 m; 400 - 500 m; i 500 - 1 800 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 253,05 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 11,07 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Izvedena karta objedinjuje i povremene i stalne vodotoke. Karta vlažnosti terena (slika 5.15) podijeljena je na četiri klase: suh teren (3,36 - 6,38); slabo vlažan teren (6,38 - 7,09); vlažan teren (7,09 - 7,7); i vrlo vlažan teren (7,7 - 29,5). Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 74,3 i veća je od granične vrijednosti koja je iznosi 7,81 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa suh teren (3,36 - 6,38) i znatno manje klasa slabo vlažan teren (6,38 - 7,09).



Slika 5.15 Faktorska karta vlažnosti terena za područje Grada Karlovca.

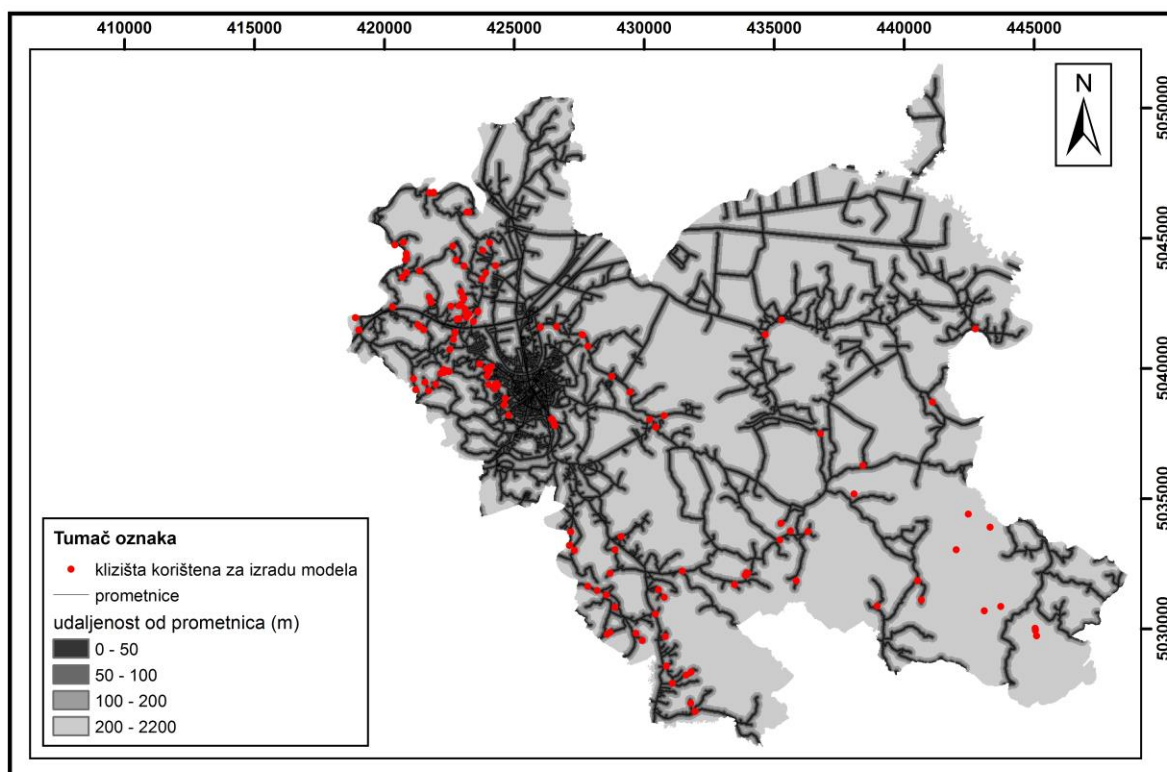
#### 5.2.4 Antropogeni faktori

Od antropogenih faktora analizirana je namjena zemljišta s obzirom na klasifikaciju prema prvoj razini hijerarhijske podjele (karta namjene zemljište A) i prema drugoj razini iste podjele (karta namjene zemljište B) te s obzirom na udaljenost od prometnica. *Hi*-kvadrat test pokazao je da su sve faktorske karte relevantne za analizu podložnosti. Vrijednosti  $\chi^2$  veće su od granične vrijednosti pa se odbacuje nul-hipoteza kojom je pretpostavljeno da su klizišta normalno distribuirana na cijelom promatranom području, odnosno distribucija klizišta u pojedinim klasama svakog faktora razlikuje se od očekivane distribucije klizišta. Najveću  $\chi^2$  vrijednost u ovoj skupini faktora ima karta udaljenosti od prometnica. Rezultati *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za sve antropogene faktore prikazani su u tablici 5.4.

Tablica 5.4 Prikaz rezultata *Hi*-kvadrat testa, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode za antropogene faktore.

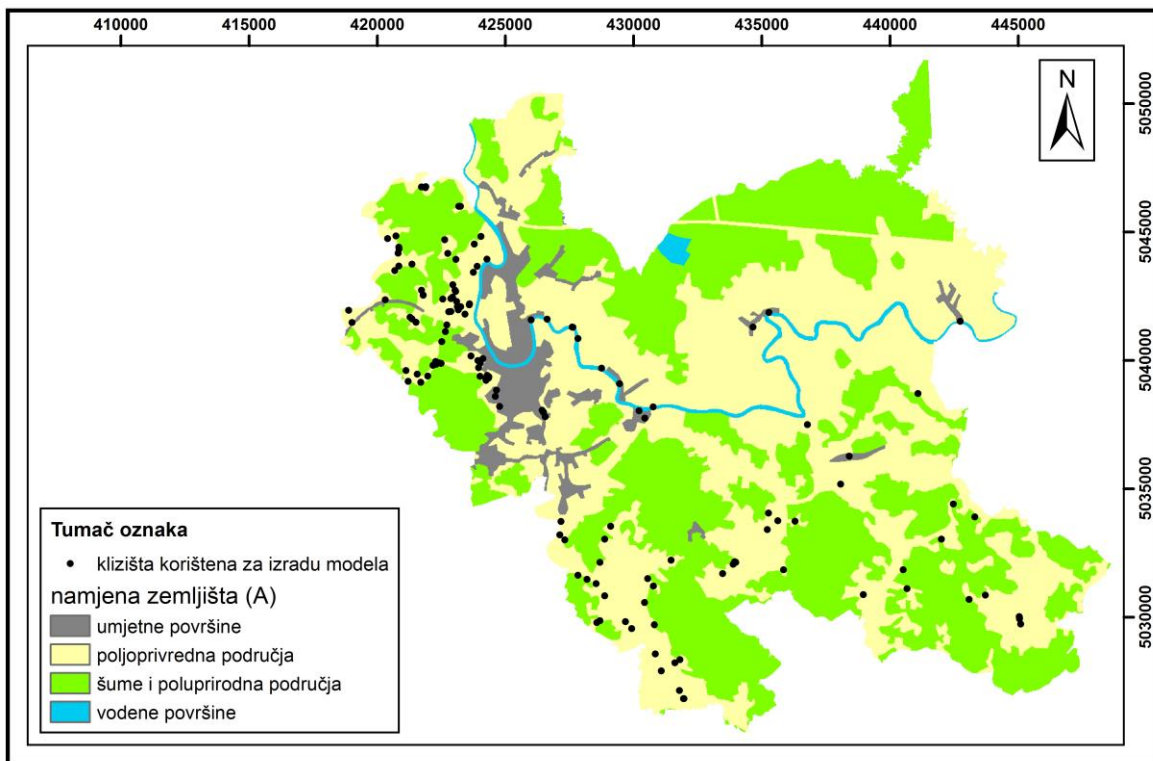
Faktor klizanja	Hi kvadrat test					Information value		Weight of Evidence							
	Opis klase	Površina klase $N_i$ (m <sup>2</sup> )	Broj kartiranih klizišta $S_i$	Gustoća klizišta $W (S_i/N_i)$	Očekivani broj klizišta ( $S_i$ )	$(S_i - S_j)^2 / S_j$	$S_i/N_i/S/N$	$I_i = \log(S_i/N_i/S/N)$	npix1	npix2 (N - npix1)	npix3 (N <sub>i</sub> - npix1)	npix4 (N - S <sub>i</sub> - N <sub>i</sub> + S <sub>i</sub> )	W+	W-	Wmap
Udaljenost od prometnica	Stupanj slobode = 3 ; P = 0.05		Granična vrijednost = 7.81			S/N= 3.5E-07		nnmap = N	nslide=S	nclass=N <sub>i</sub>	nsiclass=S <sub>i</sub>				
	0-50m	71935625	123	1.71E-06	3.18	4512.01	4.89	0.6891	123	17	71935502	3.28E+08	1.587	-1.910	2.495
	50-100m	53614375	4	7.46E-08	3.18	0.21	0.21	-0.6711	4	136	53614371	3.47E+08	-1.545	0.115	-2.662
	100-200m	80181250	3	3.74E-08	6.36	1.78	0.11	-0.9708	3	137	80181247	3.2E+08	-2.235	0.202	-3.440
	200-2200m	1.94E+08	10	5.14E-08	127.27	108.06	0.15	-0.8327	10	130	1.94E+08	2.06E+08	-1.917	0.591	-3.511
	<b>SUM</b>	<b>4E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.5E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>4622.06</b>									<b>-1.002</b>
Namjena zemljišta (A)	Stupanj slobode = 4 ; P = 0.05		Granična vrijednost = 9.49			S/N= 3.49E-07		nnmap = N	nslide=S	nclass=N <sub>i</sub>	nsiclass=S <sub>i</sub>				
	umjetne površine	19573125	13	6.64E-07	6.84	5.55	1.90	0.2789	13	127	19573112	3.81E+08	0.6423	-0.0474	0.3478
	poljoprivredna zemljišta	1.97E+08	106	5.37E-07	68.93	19.94	1.54	0.1869	106	34	1.97E+08	2.03E+08	0.4304	-0.7374	0.8260
	šume i poluprirodna područja	1.77E+08	13	7.37E-08	61.68	38.42	0.21	-0.6762	13	127	1.77E+08	2.24E+08	-1.5569	0.4833	-2.3821
	vodene površine	7323750	8	1.09E-06	2.56	11.57	3.13	0.4950	8	132	7323742	3.93E+08	1.1398	-0.0404	0.8384
	<b>SUM</b>	<b>4.01E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.49E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>75.47</b>									<b>-0.3418</b>
Namjena zemljišta (B)	Stupanj slobode = 8 ; P = 0.05		Granična vrijednost = 15.51			S/N= 3.49E-07		nnmap = N	nslide=S	nclass=N <sub>i</sub>	nsiclass=S <sub>i</sub>				
	gradska područja	14708750	13	8.84E-07	5.14	12.02	2.53	0.4030	13	127	14708737	3.86E+08	0.9280	-0.0601	0.5716
	industrijski, komercijalni i transportni objekti	4589375	0	0	1.60	1.60	0.00	0.0000	0	140	4589375	3.96E+08	0.0000	0.0115	-0.4279
	umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov	275000	0	0	0.10	0.10	0.00	0.0000	0	140	275000	4E+08	0.0000	0.0007	-0.4171
	obradivo zemljište	11481250	0	0	4.01	4.01	0.00	0.0000	0	140	11481250	3.89E+08	0.0000	0.0291	-0.4455
	pašnjaci	23948125	2	8.35E-08	8.37	4.85	0.24	-0.6216	2	138	23948123	3.77E+08	-1.4313	0.0472	-1.8949
	heterogena poljoprivredna područja	1.62E+08	104	6.43E-07	56.55	39.82	1.84	0.2646	104	36	1.62E+08	2.39E+08	0.6093	-0.8408	1.0337
	šume	1.46E+08	11	7.53E-08	51.05	31.42	0.22	-0.6666	11	129	1.46E+08	2.55E+08	-1.5349	0.3718	-2.3231
	grmolike i travne, prirodne biljne zajednice	30403750	2	6.58E-08	10.62	7.00	0.19	-0.7253	2	138	30403748	3.7E+08	-1.6700	0.0645	-2.1509
	kopnene vode	7323750	8	1.09E-06	2.56	11.57	3.13	0.4950	8	132	7323742	3.93E+08	1.1398	-0.0404	0.7638
<b>SUM</b>	<b>4.01E+08</b>	<b>140</b>	<b>3.49E-07</b>	<b>140.00</b>	<b>112.39</b>									<b>-0.4164</b>	

Karta udaljenosti od prometnica (slika 5.16) podijeljena je na četiri klase: 0 - 50 m; 50 - 100 m; 100 - 200 m; i 200 - 2 200 m. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 4 622,06 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 7,81 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Klasa udaljenosti 0 - 50 m od prometnica ima najveću razliku očekivanih i kartiranih klizišta te se može zaključiti kako prometnice doprinose nestabilnosti padina. Međutim, treba uzeti u obzir da je većina klizišta evidentirana od strane komunalnog redara, odnosno odjela zaduženog za održavanje prometnica.

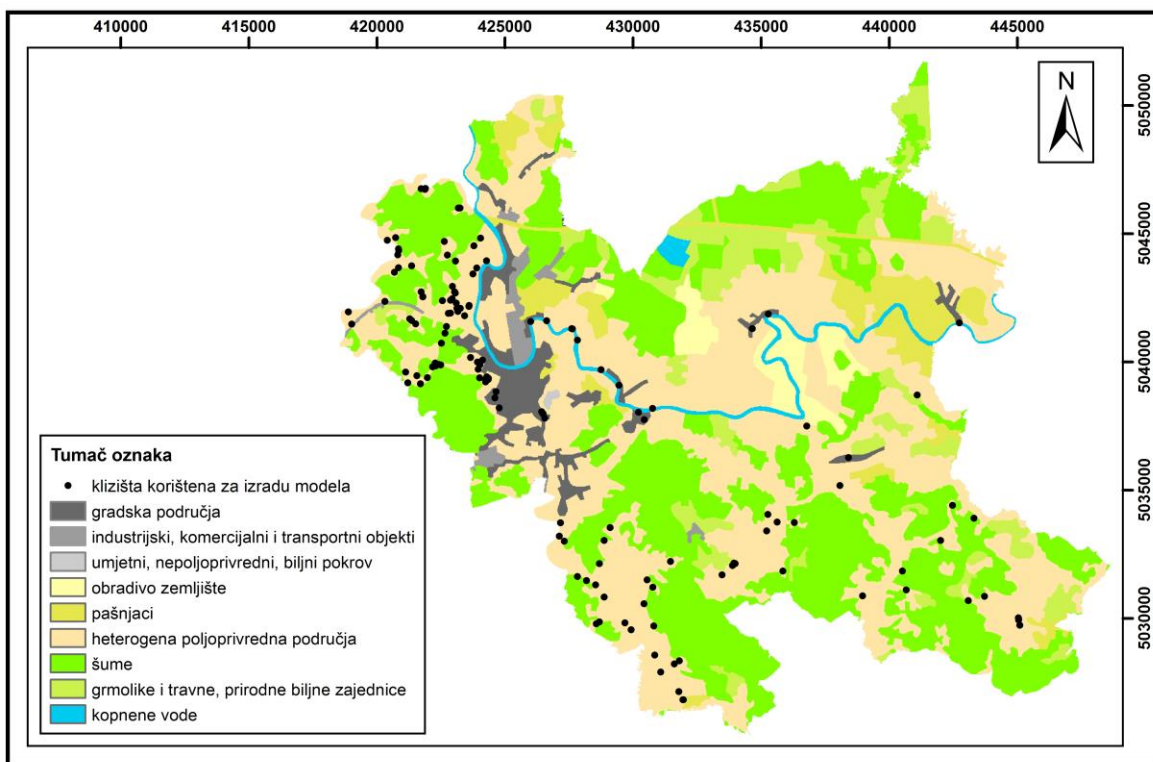


Slika 5.16 Faktorska karta udaljenosti od prometnica za područje Grada Karlovca.

Karta namjene zemljišta A izvedena s obzirom na klasifikaciju prema razini 1 (slika 5.17) podijeljena je na četiri klase: umjetne površine; poljoprivredna zemljišta; šume i poluprirodna područja; i vodene površine. Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 75,47 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 9,49 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. U klasi poljoprivrednih površina, očekivani broj klizišta je 68,93, a evidentirano je 106 klizišta. Iz navedenog zaključujemo da najveći utjecaj na pojavu klizišta ima klasa poljoprivredna zemljišta.



Slika 5.17 Faktorska karta namjene zemljišta A izvedena s obzirom na klasifikaciju prema prvoj razini.



Slika 5.18 Faktorska karta namjene zemljišta B izvedena s obzirom na klasifikaciju prema drugoj razini.



Karta namjene zemljišta B izvedena s obzirom na klasifikaciju prema razini 2 (slika 5.18) podijeljena je na devet klasa: gradska područja (11); industrijski, komercijalni i transportni objekti (12); umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov (14); obradivo zemljište (21); pašnjaci (23); heterogena poljoprivredna područja (24); šume (31); grmolike i travne, prirodne biljne zajednice (32); i kopnene vode (51). Vrijednost  $\chi^2$  iznosi 112,39 i veća je od granične vrijednosti koja iznosi 15,51 te se stoga odbacuje nul-hipoteza. Gotovo sva kartirana klizišta nalaze se u klasi heterogena poljoprivredna područja (24), odnosno njih 104 što ovu klasu čini najpodložnijom na klizanje. U klasama industrijski, komercijalni i transportni objekti (12), umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov (14) i obradivo zemljište (21) nisu zabilježena klizišta.

## 6 KARTA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

U ovom poglavlju definirani su scenariji odnosno različite kombinacije prethodno izvedenih faktorskih karata kako bi se izvela karta podložnosti na klizanje najviše točnosti. Za sve scenarije primijenjene su dvije metode, metoda informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metoda, a potom je provedena i verifikacija svih modela s obzirom na stupanj točnosti modela i stupanj predikcije modela. Na temelju verifikacije odabrana je karta podložnosti na klizanje najvišeg stupnja točnosti i predikcije koja je potom klasificirana u četiri klase podložnosti na klizanje. Na kraju su provedene analize kojima je potvrđena mogućnost praktične primjene izvedene karte podložnosti na klizanje.

### 6.1 Izrada karte podložnosti na klizanje i verifikacija

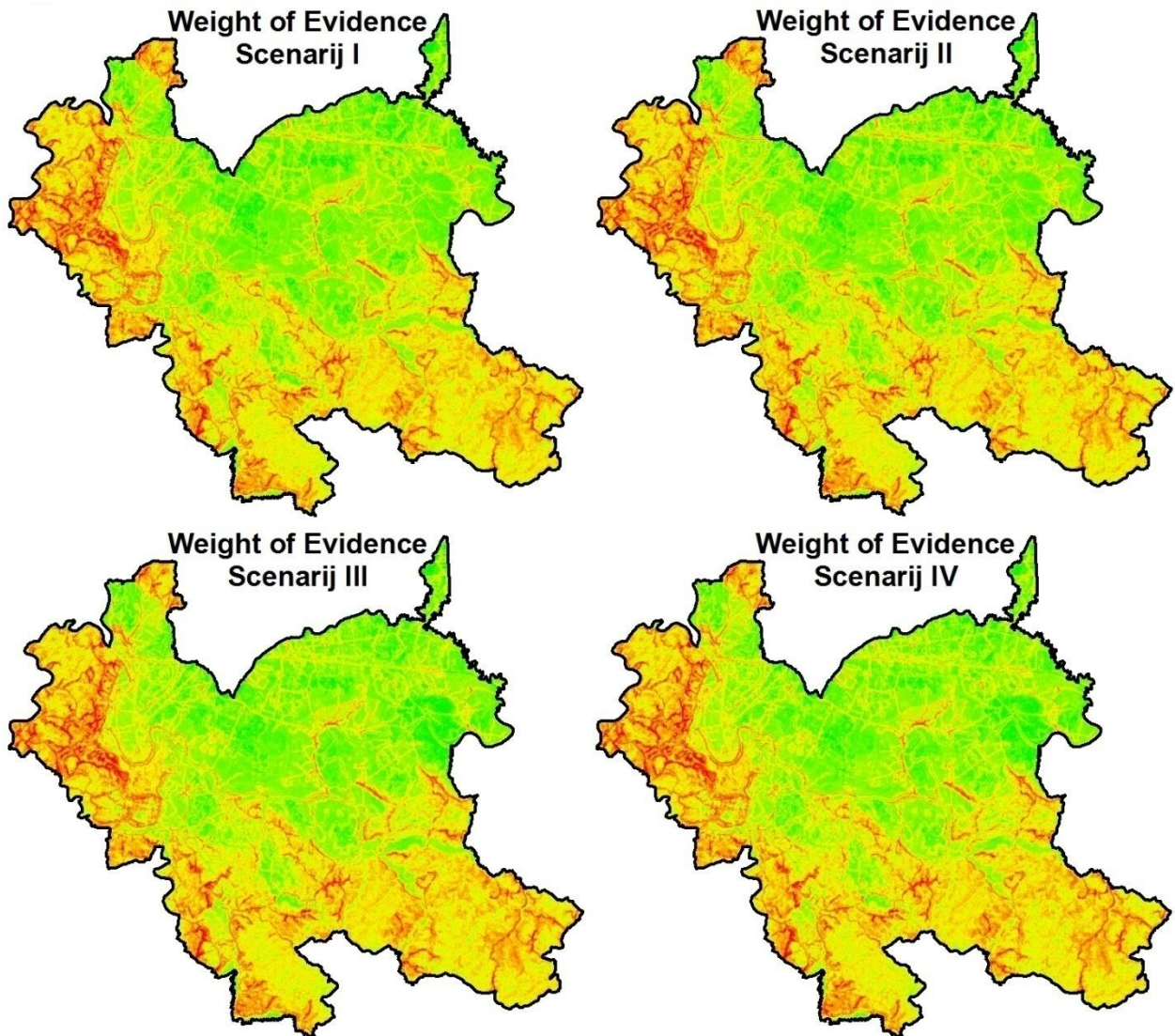
Za analizu podložnosti na klizanje korišteno je 70% klizišta evidentiranih u inventaru Grada Karlovca, odnosno 140 klizišta dobivenih slučajnim odabirom u GIS-u koja su korištena za izradu modela podložnosti na klizanje i određivanje stupnja točnosti. Preostalih 30% klizišta, odnosno 56 klizišta korišteno je za verifikaciju modela i određivanje stupnja predikcije (slika 6.1). Za svaku klasu faktorske karte klizanja definirana je težinska vrijednost s obzirom na dvije primijenjene metode,  $I_i$  za metodu informacijske vrijednosti i  $W_{map}$  za *Weight of Evidence* metodu. Postupak izrade karte podložnosti na klizanje podrazumijeva zbrajanje faktorskih karata prema dodijeljenim težinskim vrijednostima.

U prvom dijelu, definirana su četiri scenarija čiji je cilj odrediti utjecaj karte namjene zemljišta ovisno o primijenjenoj razini hijerarhijske klasifikacije. Stoga su analizirana dva scenarija s faktorskom kartom namjene zemljišta A, izrađenom po prvoj razini klasifikacije (slika 5.17) i dva scenarija s faktorskom kartom namjene zemljišta B, izrađenom po drugoj razini klasifikacije (slika 5.18). Osim toga, izrađena su dva scenarija s faktorskim kartama udaljenosti od stalnih vodotoka i od povremenih vodotoka zasebno (slike 5.12 i 5.13), te faktorskom kartom udaljenosti od vodotoka (slika 5.14). U svakom od četiri scenarija (Scenarij I-IV) korištene su različite kombinacije karata namjene zemljišta i udaljenosti od vodotoka, prikazane u tablici 6.1. Karte podložnosti na klizanje za sva četiri scenarija, dobivene metodom *Weight of Evidence*, prikazane na slikama 6.1, a metodom informacijske vrijednosti na slikama 6.2.

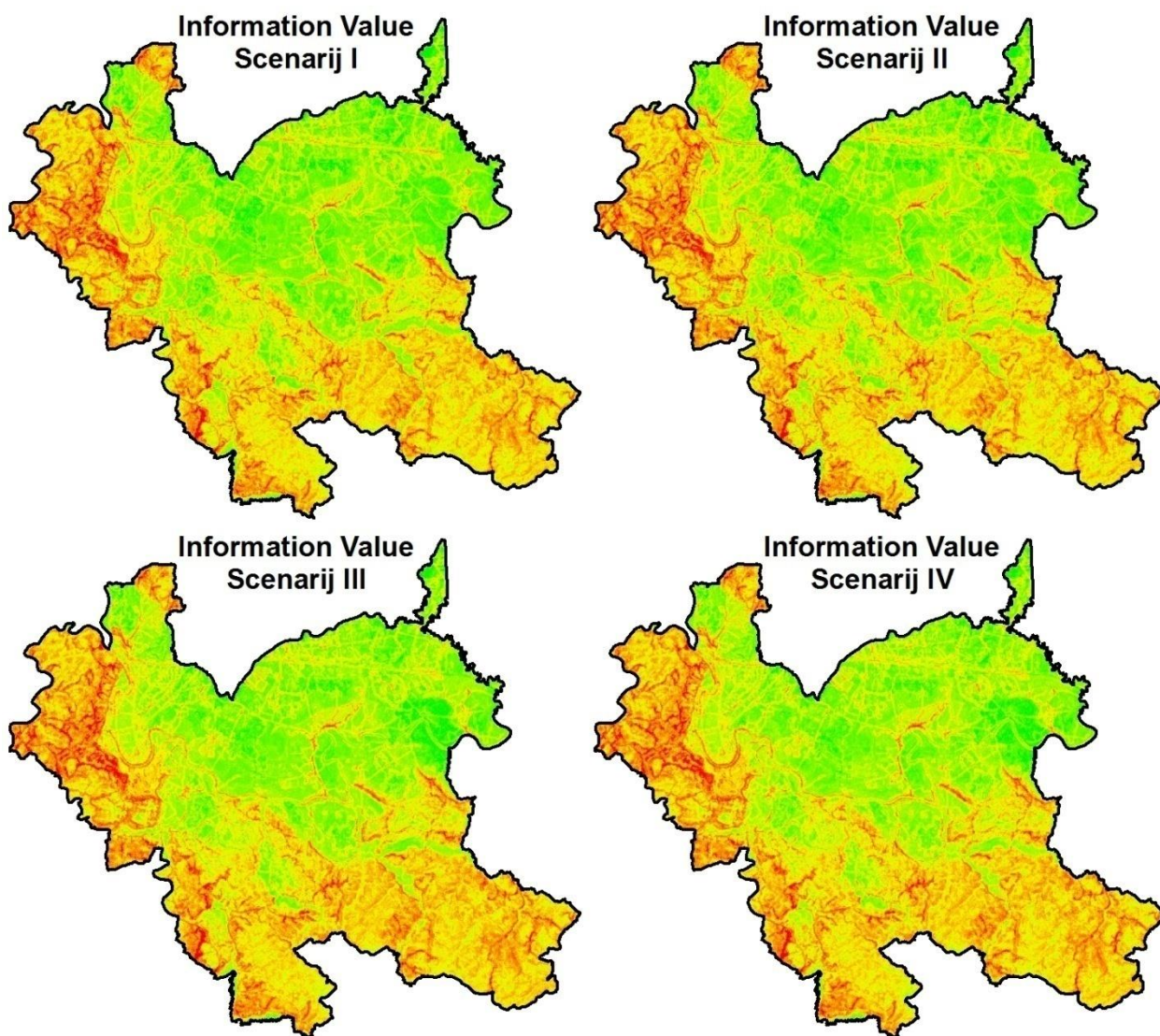
Tablica 6.1 Definiranje faktorskih karata za Scenarije I, II, III i IV

Skupina faktora	Faktorske karte	Scenarij			
		I	II	III	IV
<b>geomorfološki faktori</b>	nadmorska visine	+	+	+	+
	nagib terena	+	+	+	+
	orijentacija padine	+	+	+	+
	zakrivljenost terena	+	+	+	+
	hrapavost terena	+	+	+	+
<b>geološki faktori</b>	litologija (vrsta stijene)	+	+	+	+
	udaljenost od geološke granice	+	+	+	+
	udaljenost od rasjeda	+	+	+	+
<b>hidrološki faktori</b>	udaljenost od drenažne mreže	+	+	+	+
	udaljenost od izvora	+	+	+	+
	udaljenost od povremenih vodotoka	-	+	-	+
	udaljenost od stalnih vodotoka	-	+	-	+
	udaljenost od vodotoka	+	-	+	-
	vlažnost terena	+	+	+	+
<b>antropogeni faktori</b>	namjena zemljišta A	+	+	-	-
	namjena zemljišta B	-	-	+	+
	udaljenost od prometnica	+	+	+	+

Nakon što je izvedeno osam karata podložnosti na klizanje, određen je stupanj točnosti i predikcije primijenjenih modela i scenarija. Rezultati analize ROC krivulje za metodu informacijske vrijednosti i metode *Weight of Evidence* za scenarije I, II, III i IV prikazani su u tablici 6.2. Sva četiri scenarija, modelirana primjenom dviju različitih metoda, pokazala su vrlo dobre rezultate budući da su postignute vrijednosti točnosti i predikcije iznad 90%, odnosno da variraju u rasponu od 90 do 94%, ovisno o metodi i korištenoj faktorskoj karti. Iako su sva četiri analizirana scenarija pokazala visoki stupanj točnosti, kao relevantan scenarij za daljnje analize odabran je Scenarij II, s faktorskim kartama udaljenosti od stalnih i povremenih vodotoka i namjene zemljišta klasificirane prema prvoj razini (karta A). S obzirom na to, ova kombinacija faktorskih karata koristit će se u drugom dijelu.



Slika 6.1 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije I, II, III i IV dobivene metodom *Weight of Evidence*. Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti na klizanje, odnosno nižih  $W_{map}$  vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti i na klizanje, odnosno područja viših  $W_{map}$  vrijednosti.



Slika 6.2 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije I, II, III i IV dobivene metodom informacijske vrijednosti. Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti i na klizanje, odnosno nižih  $I_i$  vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje, odnosno više  $I_i$  vrijednosti.

Tablica 6.2 Rezultati analize ROC krivulje za scenarije I, II, III i IV.

		<i>Weight of Evidence</i> metoda		metoda informacijske vrijednosti	
		točnost %	predikcija %	točnost %	predikcija %
Scenarij	I	93	92	93	91
	II	93	92	94	91
	III	93	92	93	91
	IV	94	90	94	91

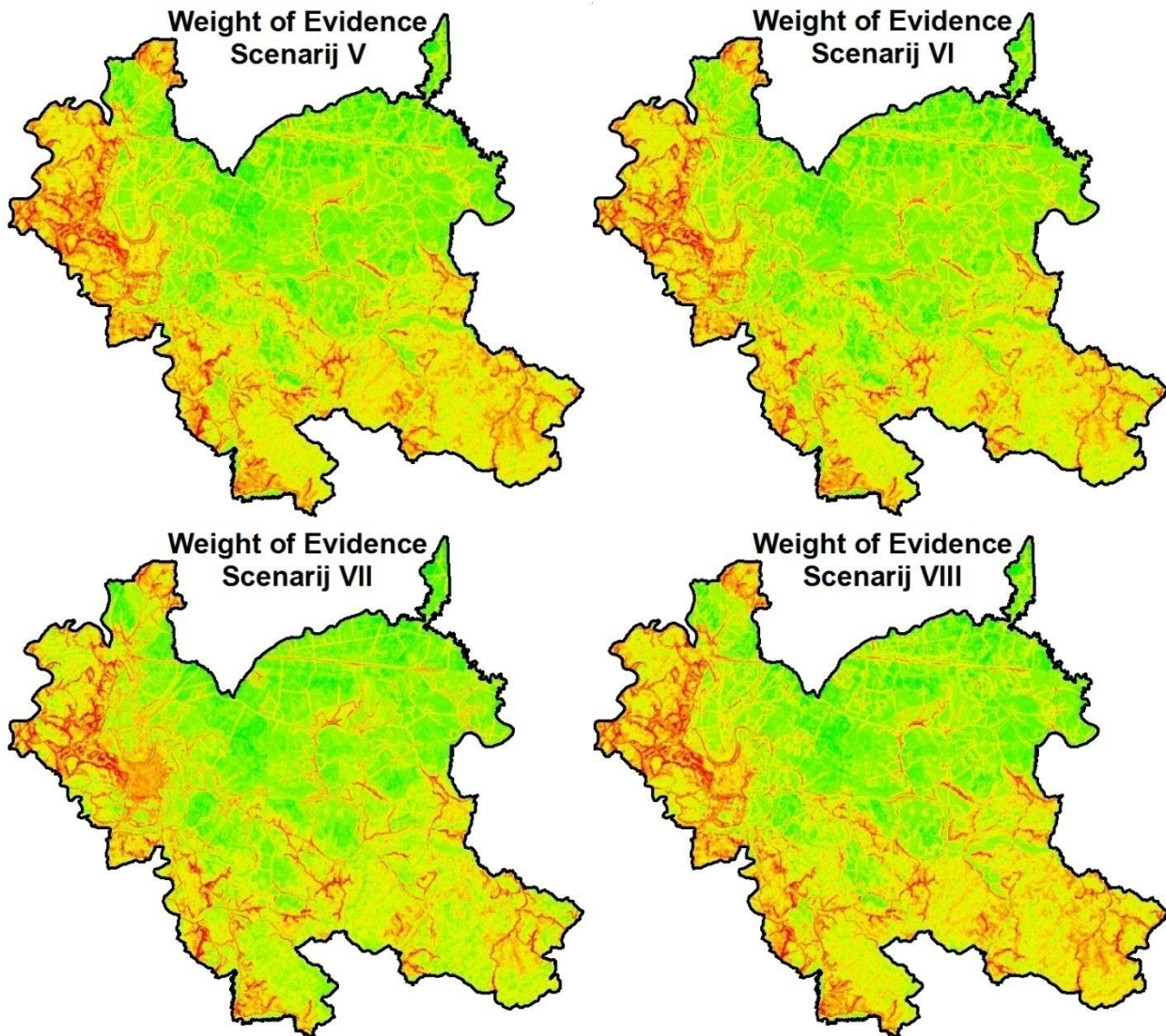
Dodatna četiri scenarija (tablica 6.3.) definirana su na slijedeći način: (i) Scenarij V - sve faktorske karte osim faktorske karte udaljenosti od rasjeda; (ii) Scenarij VI - sve faktorske karte osim geoloških faktorskih karata (vrsta stijena, udaljenost od geološke granice, udaljenost od rasjeda); (iii) Scenarij VII - sve faktorske karte osim faktorske karte zakrivljenosti terena i faktorske karte hrapavosti terena; i (iv) Scenarij VIII - sve faktorske karte osim faktorske karte nadmorskih visina. Nakon zbrajanja faktorskih karata za navedene scenarije dobivene su karte podložnosti na klizanje prikazane na slikama 6.3 i 6.4, a rezultati analize ROC krivulja prikazani su u tablici 6.4.

Tablica 6.3 Definiranje faktorskih karata za Scenarije V, VI, VII i VIII.

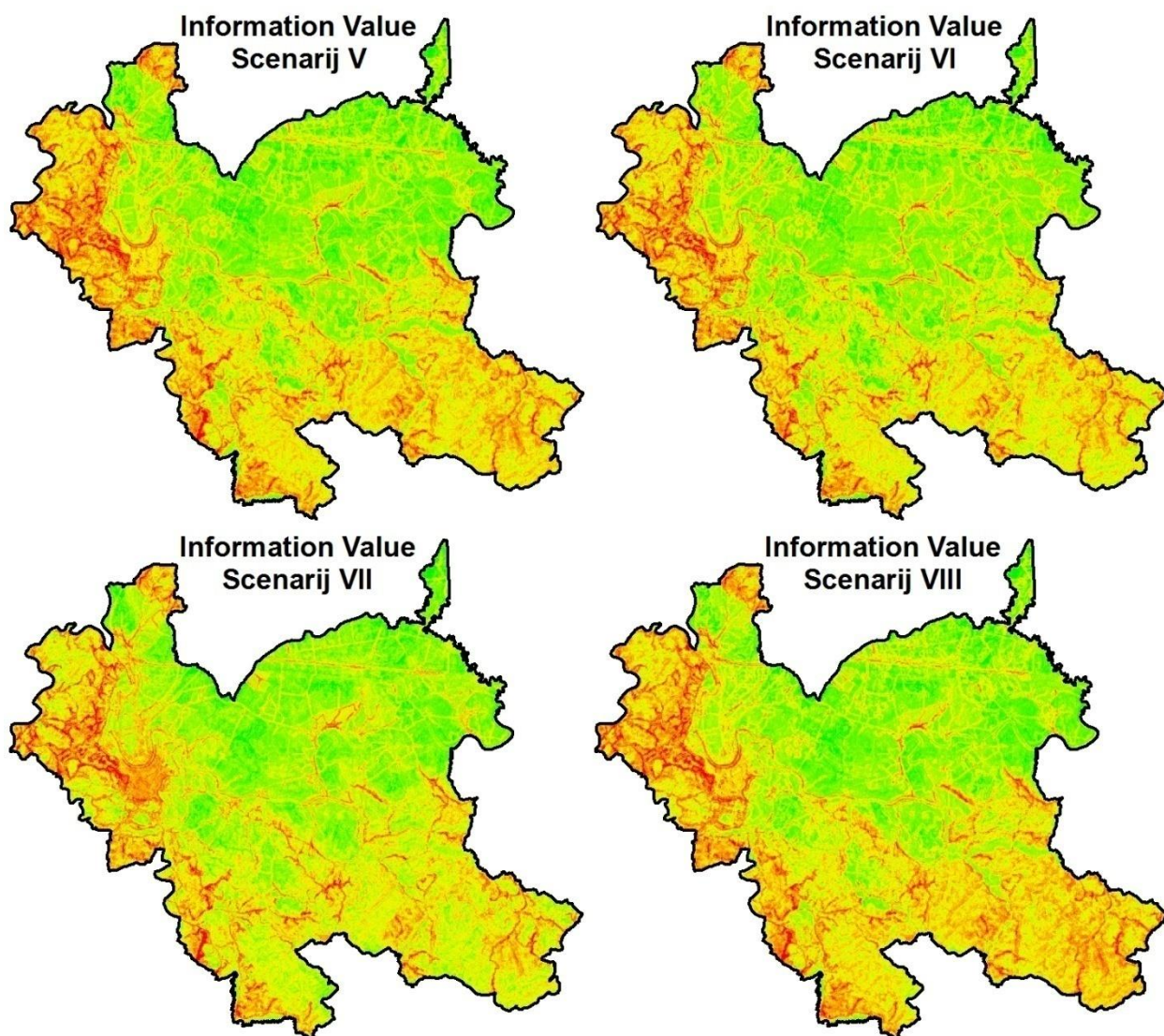
Skupina faktora	Faktorske karte	Scenariji			
		V	VI	VII	VIII
geomorfološki faktori	nadmorska visina	+	+	+	-
	nagib terena	+	+	+	+
	orijentacija padine	+	+	+	+
	zakrivljenost terena	+	+	-	+
	hrapavost terena	+	+	-	+
geološki faktori	litologija (vrsta stijene)	+	-	+	+
	udaljenost od litološke granice	+	-	+	+
	udaljenost od rasjeda	-	-	+	+
hidrološki	udaljenost od drenažne mreže	+	+	+	+
	udaljenost od izvora	+	+	+	+
	udaljenost od povremenih vodotoka	+	+	+	+
	udaljenost od stalnih vodotoka	+	+	+	+
	vlažnost terena	+	+	+	+
antropogeni faktori	namjena zemljišta A	+	+	+	+
	udaljenost od prometnica	+	+	+	+

Tablica 6.4 Rezultati ROC krivulje za scenarije V, VI, VII i VIII

		Weight of Evidence metoda		metoda informacijske vrijednosti	
		točnost %	predikcija %	točnost %	predikcija %
Scenarij	V	94	92	94	91
	VI	94	93	94	92
	VII	94	92	94	91
	VIII	96	94	92	92



Slika 6.3 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije V, VI, VII i VIII dobivene metodom *Weight of Evidence*. Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnost na klizanje, odnosno nižih  $W_{map}$  vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje, odnosno više  $W_{map}$  vrijednosti.

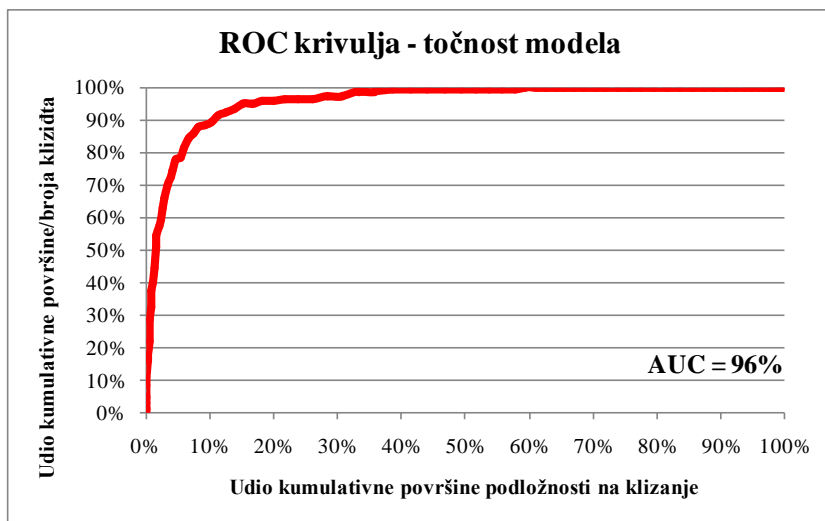


Slika 6.4 Karte podložnosti na klizanje područja Grada Karlovca za scenarije V, VI, VII i VIII dobivene metodom informacijske vrijednosti. Nijanse zelene i žute boje prikazuju područja niske podložnosti na klizanje, odnosno nižih  $I_i$  vrijednosti; nijanse narančaste i crvene boje prikazuju područja visoke podložnosti na klizanje, odnosno više  $I_i$  vrijednosti.

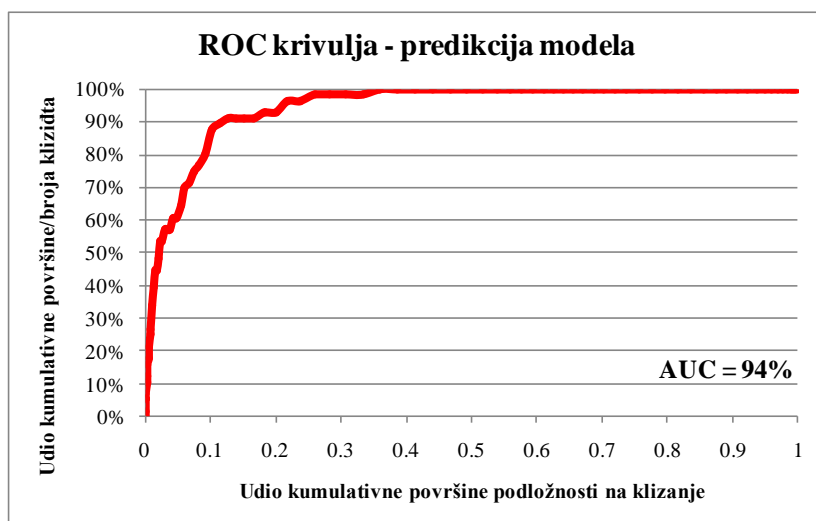
Prema rezultatima analize ROC krivulje prikazanih u tablici 6.4 za scenarije V, VI, VII i VIII može se zaključiti da metoda *Weight of Evidence* daje bolje rezultate, odnosno najviši stupanj točnosti i predikcije za svaki od analiziranih scenarija. Na temelju navedenog odbačeni su modeli dobiveni metodom informacijske vrijednosti, a od scenarija dobivenih metodom *Weight of Evidence* najviši stupanj točnosti i predikcije ima Scenarij VIII scenarij (96% i



94%). Usporedbom Scenarija I, II, III i IV i Scenarija VIII dobivenih po metodi *Weight of Evidence*, Scenarij VIII ima najviši stupanj točnosti i predikcije te će se koristiti za izradu konačne karte podložnosti na klizanje. ROC krivulje za stupanj točnosti i predikcije Scenarija VIII prikazane su na slici 6.5 odnosno 6.6.



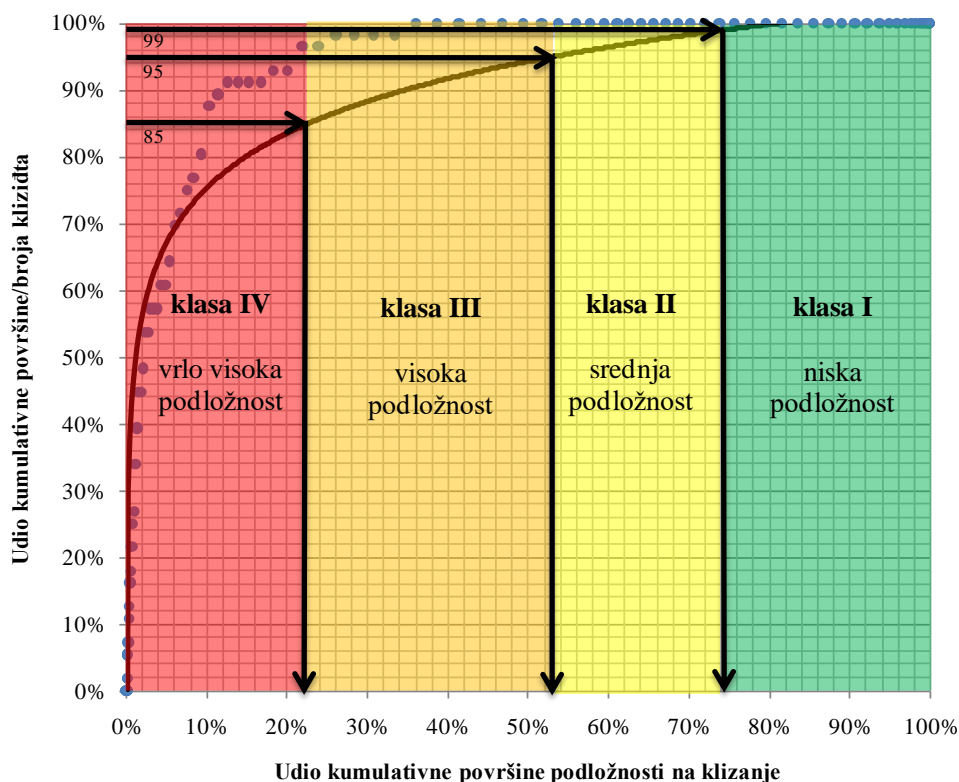
Slika 6.5 Rezultati analize ROC krivulje za stupanj točnosti Scenarija VIII.



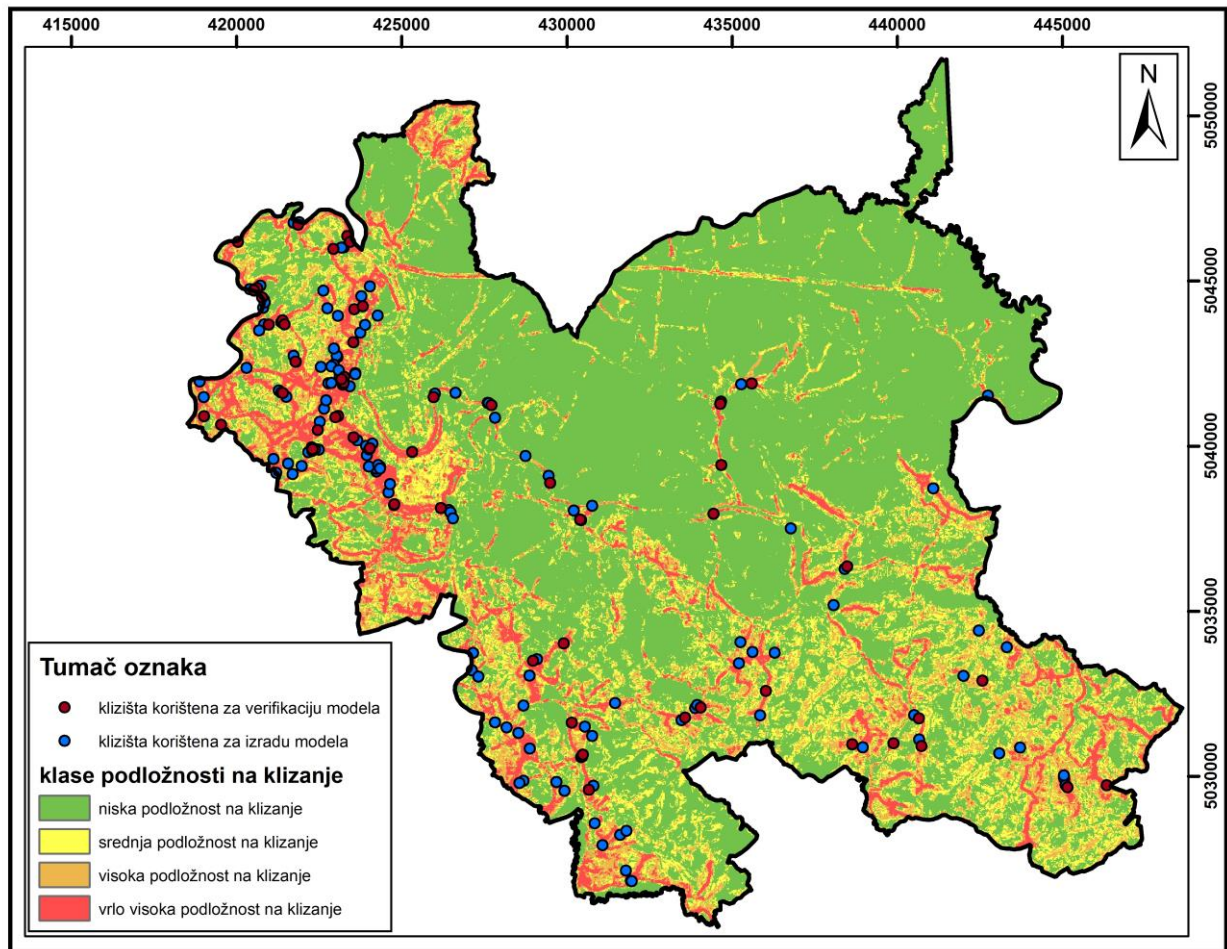
Slika 6.6 Rezultati analize ROC krivulje za stupanj predikcije Scenarija VIII.

## 6.2 Klasifikacija karte podložnosti Grada Karlovca na klizanje

Karta podložnosti na klizanje izrađena za Scenarij VIII primjenom metode *Weight of Evidence* klasificirana je s obzirom na granične uvjete definirane prema Bernat Gazibara (2019). Konačna karta podložnosti na klizanje (prilog 1) klasificirana je na sljedeće klase: (i) klasa niske podložnosti na klizanje definirana kao područje unutar kojega se nalazi 1% kumulativne površine/broja klizišta; (ii) klasa srednje podložnosti na klizanje definirana kao područje unutar kojega se nalazi maksimalno 5% kumulativne površine/broja klizišta; (iii) klasa visoke podložnosti na klizanje definirana kao područje unutar kojega se nalazi maksimalno 15 % kumulativne površine/broja klizišta; i (iv) klasa vrlo visoke podložnosti na klizanje definirana kao područje unutar kojega se nalazi 85 % kumulativne površine/broja klizišta. Klasificirana ROC krivulja prema navedenom opisu prikazana je na slici 6.7, a klasificirana karta podložnosti na klizanje Grada Karlovca prema Scenariju VIII i primjenom metode *Weight of Evidence* prikazana je na slici 6.8.



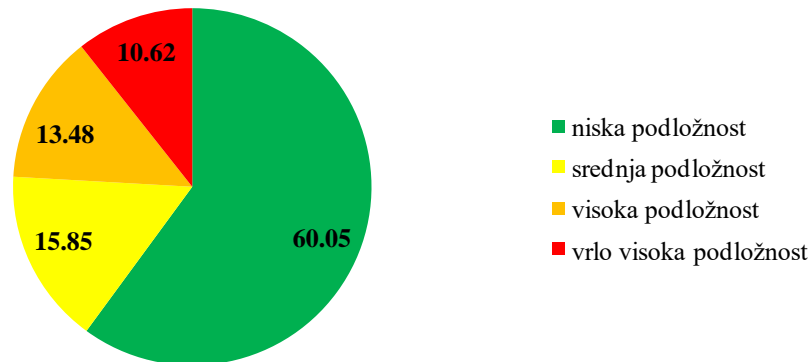
Slika 6.7 Klasifikacija ROC krivulje za kartu podložnosti na klizanje prema kriterijima iz Bernat Gazibara (2019).



Slika 6.8 Klasificirana karta podložnosti na klizanje Grada Karlovca dobivena prema Scenariju VIII i primjenom metode *Weight of Evidence*.

Na slici 6.9 prikazani su relativni udjeli klasa podložnosti na istraživanom području prema konačnoj karti podložnosti na klizanje Grada Karlovca. Udio područja klasificiranog kao nisko podložno na klizanje iznosi 239,17 km<sup>2</sup> ili 60,05% istraživanog područja, srednje podložno na klizanje je 63,13 km<sup>2</sup> ili 15,85 % istraživanog područja, područja klasificirana kao visoko podložna na klizanje obuhvaćaju 53,70 km<sup>2</sup> ili 13,48 % istraživanog područja, a područja klasificirana kao vrlo visoko podložna na klizanje 42,31 km<sup>2</sup> ili 10,62 % istraživanog područja.

**Površinski udio pojedine klase podložnosti u ukupnoj površini promatranog područja (%)**

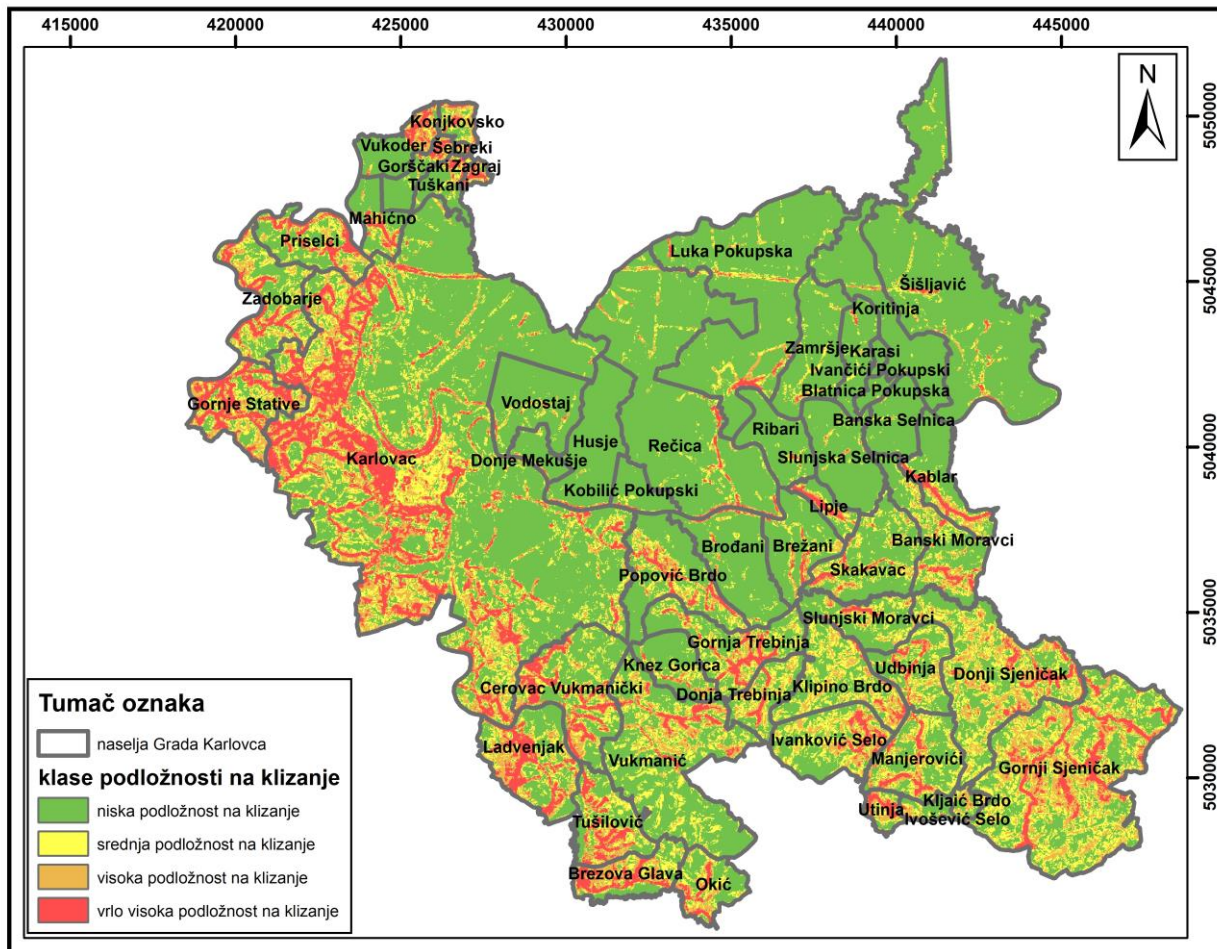


Slika 6.9 Površinski udjeli klase podložnosti na klizanje na konačnoj karti podložnosti Grada Karlovca.

### 6.3 Primjena karte podložnosti na klizanje Grada Karlovca

Na slici 6.10 prikazana su naselja Grada Karlovca na konačnoj karti podložnosti na klizanje. Samo naselje Karlovac se velikim dijelom nalazi u klasi vrlo visoke podložnosti na klizanje, osobito središnji i zapadni dio naselja. Područje Gornjih Stativa na zapadu također je izrazito podložno na klizanje. Središnji, sjeverni i sjeveroistočni dio grada su pretežito u klasi niske podložnosti. U naseljima Husje, Banska Selnica, Blatnica Pokupska i Ivančiči Pokupski gotovo u potpunosti nedostaju područja klasificirana kao visoko ili vrlo visoko podložna na klizanje. Općenito, južni dio istraživanog područja ima značajan udio klase vrlo visoke podložnosti, posebice naselje Gornji Sjeničakna samom jugoistoku te naselja na jugu i jugoistoku kao što su Cerovac Vukmanički, Ladvenjak, Tušilović, Brezova Glava i Okić.

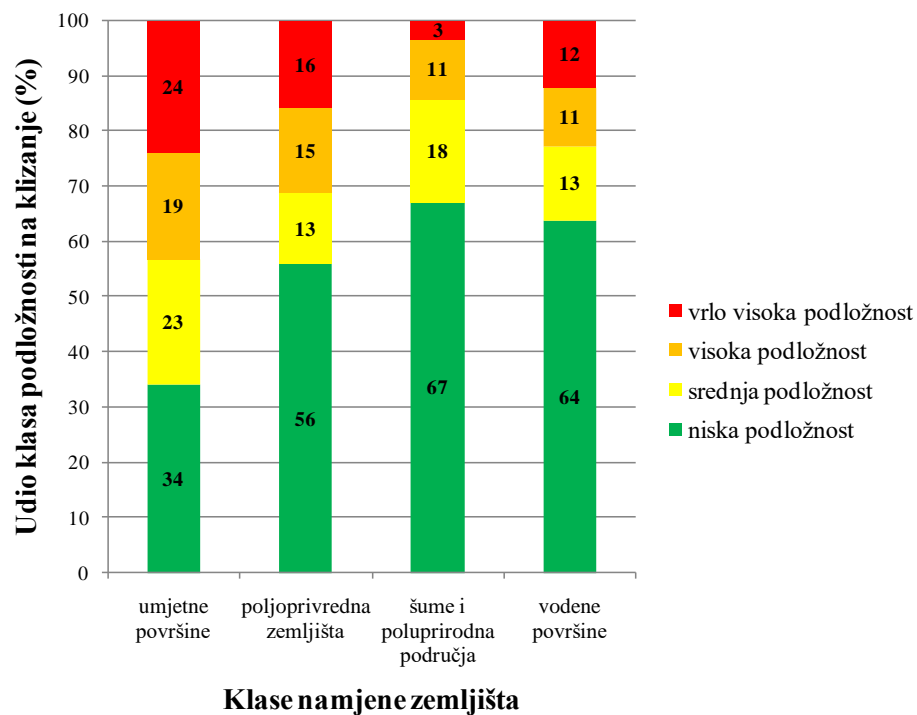
Analiza prostorne raspodjele klase podložnosti na klizanje s obzirom na namjenu zemljišta u Gradu Karlovcu prikazana je na slici 6.11 iz koje je vidljivo da područja vrlo visoke i visoke podložnosti na klizanje obuhvaćaju preko 40% umjetnih površina, preko 30% poljoprivrednih površina te 14% šuma i poluprirodnih područja. Klasa srednje podložnosti na klizanje obuhvaća preko 23% umjetnih površina, preko 13% poljoprivrednih površina te 18% šuma i poluprirodnih područja. Najveći udio područja niske podložnosti na klizanje je na području šuma i poluprirodnih područja (67%) te vodenih površina (64%). Na području umjetnih površina udio



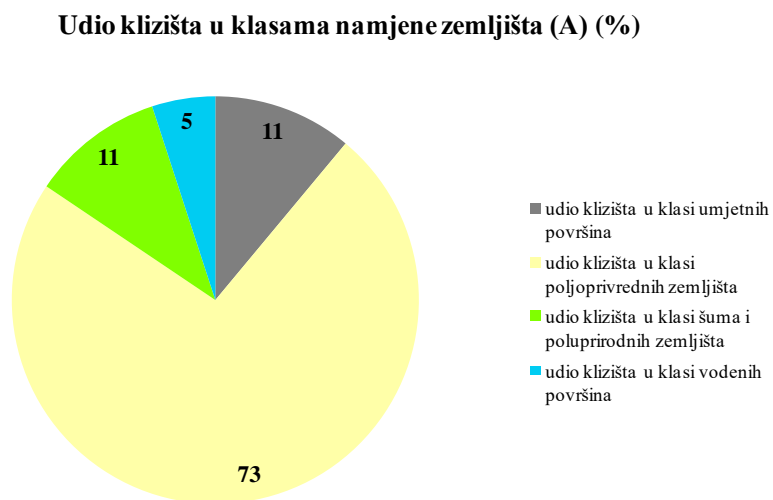
Slika 6.10 Prikaz naselja Grada Karlovca na konačnoj karti podložnosti na klizanje.

klase niske podložnosti je 34%, a na području poljoprivrednih površina 56%. Općenito se može zaključiti da je udio nestabilnih padina na području najveći na umjetnim površinama i poljoprivrednim zemljištima, odnosno na umjetnim površinama preko 60%, a na području poljoprivrednih površina preko 44%.

Ako se promatra broj klizišta u odnosu na namjenu zemljišta u Gradu Karlovcu, proizlazi da je u klasi umjetnih površina evidentirano 11% od ukupnog broja klizišta, a u klasi poljoprivrednih zemljišta je 73% evidentiranih klizišta. Na području šuma i poluprirodnih površina evidentirano je 11% klizišta, a na područjima klasificiranima kao vodene površine 5% klizišta. Grafički prikaz raspodjele evidentiranih klizišta na području Grada Karlovca prikazan je na slici 6.12.

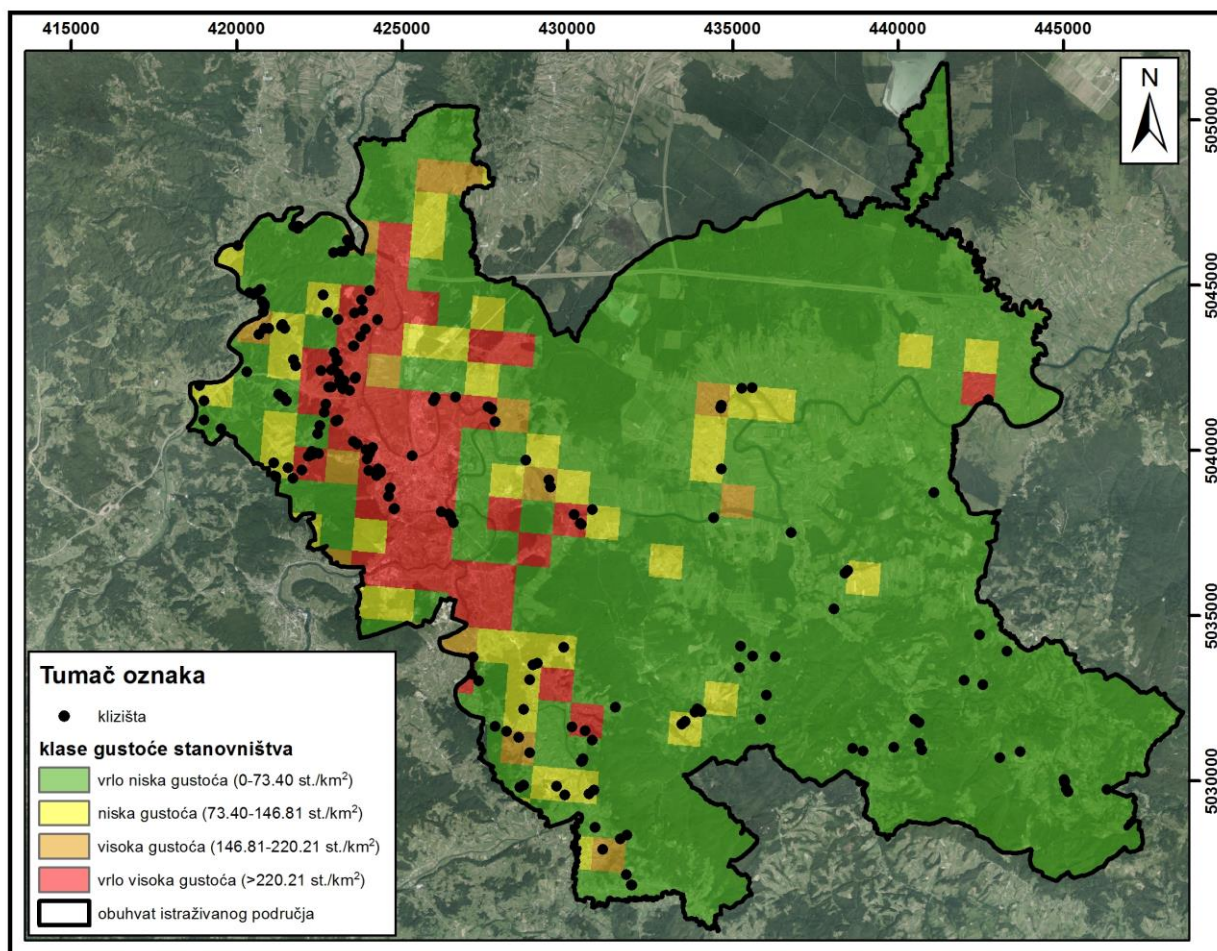


Slika 6.11 Udio klasa podložnosti na klizanje u klasama namjene zemljišta u Gradu Karlovcu.



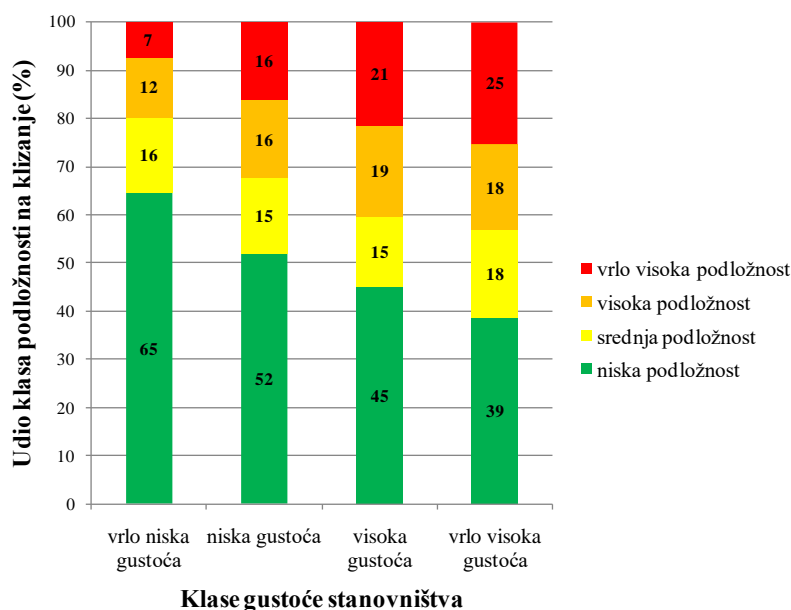
Slika 6.12 Udio broja klizišta u klasama namjene zemljišta u Gradu Karlovcu.

Na temelju podataka o raspodjeli stanovništva u Gradu Karlovcu (DZS, 2011) analizirana je prostorna raspodjela podložnosti na klizanje s obzirom na gustoću stanovništva. Karta stanovništva podijeljena je na pravilne poligone površine 1 km<sup>2</sup> za koje je određen broj stanovnika. Za područja bez podataka je pretpostavljeno da je broj stanovnika izrazito mali te se može zaključiti da se radi o nenaseljenim područjima. Iz karte stanovništva za područje Grada Karlovca izračunata je prosječna gustoća stanovništva od 146,81 stanovnika po km<sup>2</sup>, na temelju čega su definirane slijedeće klase gustoće stanovništva: (i) klasa vrlo niske gustoće (0 - 73,40 st./km<sup>2</sup>); (ii) klasa niske gustoće (73,40 - 146,81 st./km<sup>2</sup>); (iii) klasa visoke gustoće (146,81 - 220,21 stan/km<sup>2</sup>); i (iv) klasa vrlo visoke gustoće (više od 220,21 stan/km<sup>2</sup>). Karta gustoća stanovništva prikazana je na slici 6.13. Na slikama 6.14 i 6.15 prikazani su rezultati analize udjela klasa podložnosti na klizanje i udjela broja evidentiranih klizišta u klasama gustoće stanovništva.



Slika 6.13 Karta gustoće stanovništva Grada Karlovca.

Analiza udjela klasa podložnosti na klizanje s obzirom na gustoću stanovništva u Gradu Karlovcu prikazana je na slici 6.14 iz koje je vidljivo da na području vrlo niske gustoće stanovništva dominira klasa niske podložnosti na klizanje koja obuhvaća 65% područja. U istoj klasi gustoće stanovništva slijede klasa srednje podložnosti sa 16% područja, klasa visoka podložnosti s 12% područja i klasa vrlo visoke podložnosti sa 7% područja. Na području niske gustoće stanovništva, također dominira klasa niske podložnosti na klizanje koja obuhvaća 52% područja, a zatim slijede klasa srednje podložnosti s 15% područja, te klasa visoke podložnosti i vrlo visoke podložnosti zastupljenje svaka s po 16% područja. U područjima visoke gustoće stanovništva je 45% područja klasificiranog kao nisko podložno na klizanje, te 15% područja klasificiranog kao srednje podložno na klizanje, 19% područja klasificiranog kao visoko podložno na klizanje, i 21% područja vrlo visoke podložnosti na klizanje. Na području vrlo visoke gustoće stanovništva, klasa niske podložnosti na klizanje obuhvaća 39% područja, klasa srednje podložnosti 18% područja, klasa visoke podložnosti 18% područja i klasa vrlo visoke podložnosti 25% područja. Općenito, može se zaključiti da se s povećanjem gustoće stanovništva povećava i udio područja klasificiranih kao visoko i vrlo visoko podložna na klizanje. Također, na području visoke gustoće stanovništva udio klase visoke i vrlo visoke podložnosti je 40%, a na području vrlo visoke gustoće stanovništva udio klase visoke i vrlo visoke podložnosti je 43%.

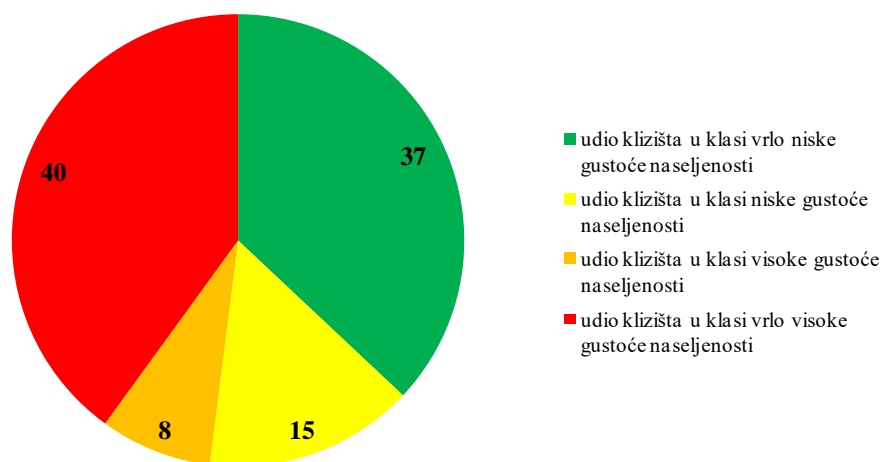


Slika 6.14 Udio klasa podložnosti na klizanje u klasama gustoće stanovništva na području Grada Karlovca.



Grafički prikaz udjela evidentiranih klizišta u pojedinim klasama gustoće stanovništva Grada Karlovca prikazana je na slici 6.15. Na području vrlo niske gustoća stanovništva evidentirano je 37% ili 73 klizišta, na području niske gustoće stanovništva evidentirano je 15% ili 29 klizišta, na područjima visoke gustoće 8% ili 16 klizišta, a na područjima vrlo visoke gustoće stanovništva ukupno je evidentirano 40% ili 78 klizišta.

**Udio klizišta u klasama gustoće naseljenosti (%)**



Slika 6.15 Udio broja evidentiranih klizišta u klasama gustoće stanovništva u Gradu Karlovcu.

## 7 DISKUSIJA

Inventar klizišta Grada Karlovca, korišten kao ulazni podatak za analizu podložnosti na klizanje, izrađen je na osnovi podataka prikupljenih na temelju dojava građana te registriranjem pojava klizišta prilikom ophodnji komunalnog redara iz Grada Karlovca. Kao posljedica toga su u inventaru sadržana većinom klizišta koja su uzrokovala oštećenja bilo na građevinama ili infrastrukturi. Zbog navedenog, korišteni inventar klizišta Grada Karlovca nije reprezentativan jer nije izrađen sustavnim kartiranjem klizišta već evidencijom onih pojava klizišta koje se nalaze u blizini građevina i prometnica. Budući da ovaj inventar sadrži ukupno 196 klizišta registriranih u svim dijelovima Grada Karlovca, na površini od 402 km<sup>2</sup>, mogao je poslužiti kao set podataka za preliminarnu analizu podložnosti na klizanje na području Grada Karlovca.

Prilikom izrade karte podložnosti na klizanje Grada Karlovca analizirani su različiti faktori klizanja izvedeni iz dostupnih prostornih podataka. Geomorfološki faktori klizanja (nadmorska visina, nagib terena, orijentacija padine, zakrivljenost padine i hrapavost padine) i dio hidroloških faktora klizanja (udaljenost od drenažne mreže i vlažnost terena) izvedeni su iz digitalnog modela reljefa rezolucije 25 m, što je odgovarajuća rezolucija za analize podložnosti na klizanje u sitnom mjerilu, za primjenu na regionalnoj razini. Također, geološki faktori klizanja su izvedeni iz jedine dostupne geološke karte, a to je OGK mjerila 1:100.000. Dio hidroloških faktora klizanja dobiven je digitalizacijom topografske karte mjerila 1:25.000, dok su antropogene faktorske karte izvedene iz dostupnih karata prometnica s weba (*Open Street Map*) i *Corine Land Covera (Copernicus Land Monitoring Service)* iz 2018. godine mjerila 1:100.000.

Za analizu utjecaja faktora klizanja na pojavu klizišta primijenjene su dvije bivarijantne statističke metode, metoda informacijske vrijednosti i metoda *Weight of Evidence*, koje se najčešće primjenjuju u krupnom mjerilu, odnosno za izradu karata podložnosti na klizanje za primjenu na lokalnoj razini. Međutim, s obzirom na detaljnost, mjerilo i rezoluciju ulaznih podataka korištenih za izvedene faktorske karte klizanja, može se zaključiti da je provedena analiza podložnosti na klizanje odgovarajuća za sitno regionalno mjerilo. Ukoliko u budućnosti budu dostupni potpuniji reprezentativniji podaci o klizištima, ali i prostorni podaci za izradu faktorskih karata klizanja, moguće je izraditi točniju i pouzdaniju kartu podložnosti na klizanje u srednjem ili krupnom mjerilu, za primjenu na lokalnoj razini.

Provedene bivarijantne statističke analize podložnosti na klizanje na području Grada Karlovca primjenom dviju metoda, metode informacijske vrijednosti i *Weight of Evidence* metode, omogućavaju usporedbu rezultata vrijednosti  $I_i$  (težinski faktori za metodu informacijske vrijednosti) i vrijednosti  $W_{map}$  (težinski faktori za metodu *Weight of Evidence*). Obje metode potvrđuju da klase u pojedinim faktorima klizanja imaju ili nemaju utjecaj na pojavu klizišta. Usporedbom Scenarija I, II, III i IV primijenjene metode se nisu značajno razlikovale u stupnju točnosti modela. Međutim, metoda *Weight of Evidence* pokazivala je nešto bolje rezultate kod predikcije, odnosno verifikacije modela. Također, u scenarijima V, VI, VII i VIII metoda *Weight of Evidence* dala je neznatno bolje rezultate točnosti i predikcije modela, zbog čega je odabrana za najtočniju i najpouzdaniju kartu podložnosti na klizanje .

Analizom podložnosti na klizanje prema različitim scenarijima utvrđeno je da sve korištene faktorske karte gotovo jednako utječu na konačan stupanj točnosti i predikcije izvedene karte podložnosti na klizanje. Zbog toga je konačna karta podložnosti odabrana na osnovi minimalnih razlika u točnosti ili predikciji u iznosu od svega nekoliko postotaka. Iz navedenog se može zaključiti da je u daljnjim analizama potrebno prikupiti detaljnije ulazne podatke za sve faktorske karte klizanja i na taj način izraditi pouzdaniju kartu podložnosti na klizanje. Faktorska karta udaljenosti od prometnica pokazala se kao bitan preduvjet za pojavu klizišta pa bi u daljnjim istraživanjima bilo korisno detaljnije digitalizirati prometnice na satelitskim snimkama istraživanog područja.

Karta podložnosti na klizanje dobivena Scenarijem VIII, odnosno model u kojem su korištene sve faktorske karte, osim karte nadmorskih visina, ima najviši stupanj točnosti (96%) i stupanj predikcije (94%). Bez obzira na navedeno, treba istaknuti da su obje primijenjene metode, metoda informacijske vrijednosti i metoda *Weight of Evidence*, prema svim analiziranim scenarijima dale rezultate točnosti i predikcije iznad 90%. Ovo potvrđuje da primjena bivarijante statističke metode na dostupnim prostornim podacima vrlo ograničene detaljnosti i rezolucije daje vrlo dobre rezultate i omogućava izradu pouzdanih preliminarnih karata podložnosti na klizanje u sitnom mjerilu.

Usporedbom klasificirane karte podložnosti na klizanje s namjenom zemljišta i gustoćom stanovništva na području Grada Karlovca dobivene su informacije koje ukazuju na visok rizik od klizišta. Naime, na području vrlo visoke gustoće stanovništva evidentirano je 78 ili 40% od ukupnog broja evidentiranih klizišta, a na umjetnim površinama je preko 40% područja klasificirano kao područje visoke i vrlo visoke podložnosti na klizanje.

## 8 Zaključak

Na području Grada Karlovca, u razdoblju od 2014. do 2019. godine, evidentirana su 196 klizišta koja su omogućila izradu inventara klizišta i primjenu statističkih metoda analize podložnosti na klizanje. Iako je inventar klizišta nepotpun, kontinuiranim evidentiranjem dojava klizišta, dobivena je karta klizišta koja je u ovom radu korištena za primjenu bivarijantne statističke metode. Postupak analize proveden je u cijelosti u okviru diplomskog rada, od prikupljanja podataka, obrade prostornih podataka u GIS-u, izrade faktorskih karata klizanja i definiranja klasa faktora klizanja, analize utjecaja pojedinih klasa faktora klizanja na pojavu klizišta, izrade karata podložnosti na klizanje prema osam različitih scenarija, verifikacije izvedenih karata podložnosti te reklasifikacija konačne karte podložnosti na četiri klase podložnosti na klizanje. Ukupno je analizirano 17 faktora klizanja, a konačna karta podložnosti na klizanje izvedena je na temelju 14 faktorskih karata: karte nagiba terena, karte orijentacije padine, karte hrapavosti terena, karte zakrivljenosti padine, karte litologije (vrste stijene), karte udaljenosti od geoloških granica, karte udaljenosti od rasjeda, karte udaljenosti od drenažne mreže, karte udaljenosti od izvora, karte udaljenosti od stalnih vodotoka, karte udaljenosti od privremenih vodotoka, karte udaljenosti od prometnica i karte namjene zemljišta reklasificirane s obzirom na prvu razinu namjene zemljišta. Primijenjene su dvije metode, metoda *Weight of Evidence* i metode informacijske vrijednosti. Na ukupno osam scenarija, odnosno osam kombinacija karata faktora klizanja. Iako su obje metode pokazale visoki stupanj točnosti i predikcije (> 90%), neznatno boljom se pokazala metoda *Weight of Evidence* kojom je postignut stupanj točnosti od 96% i stupanj predikcije od 94%.

S obzirom na dostupnost i rezoluciju prostornih podataka korištenih za analizu podložnosti na klizanje na području Grada Karlovca površine 402 km<sup>2</sup>, postoje i ograničenja za primjenu ove karte. Naime, izvedena karta podložnosti (prilog 1) može se primijeniti samo kao podloga za buduća istraživanja, jer daje preliminarne informacije o istraživanom području u sitnom mjerilu.

Iz provedene usporedbe karte podložnosti na klizanje i karte klizišta s kartom namjene zemljišta i kartom gustoće stanovništva može se zaključiti da postoji visoki rizik od klizanja za stanovništvo, odnosno za materijalna dobra na području Grada Karlovca, jer su dobivene sljedeće informacije:

- područja vrlo visoke i visoke podložnosti na klizanje obuhvaćaju preko 40% umjetnih površina, preko 30% poljoprivrednih površina te 14% šuma i poluprirodnih područja;
- na području poljoprivrednih zemljišta evidentirano je 73% klizišta, a preostalih 11% od ukupnog broja klizišta nalazi se na umjetnim površinama, odnosno 11% na području šuma i poluprirodnih površina;
- na područjima visoke gustoće stanovništva ukupno je evidentirano 8% ili 16 klizišta, a na područjima vrlo visoke gustoće stanovništva ukupno je evidentirano je 40% ili 78 klizišta
- na područjima visoke gustoće stanovništva je 19% područja klasificiranog kao visoko podložno na klizanje i 21% područja vrlo visoke podložnosti na klizanje;
- na području vrlo visoke gustoće stanovništva je 18% područja klasificiranog kao visoko podložno na klizanje i 25% područja vrlo visoke podložnosti na klizanje;

Iz navedenog proizlazi da su nužna daljnja istraživanja koja će rezultirati sustavnim kartiranjem klizišta na digitalnom modelu terena visoke rezolucije dobivenom laserskim skeniranjem iz zraka, te izradom karte podložnosti, hazarda i rizika od klizanja u krupnom mjerilu.

## 9 POPIS LITERATURE

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

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

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

BUKOVAC, J., ŠUŠNJAR, M., POLJAK, M., ČAKALO, M., 1983. Osnovna geološka karta 1:100.000, List Črnomelj, Geološki Zavod Zagreb i Geološki Zavod Ljubljana

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.

COEJ.A., GODTJ.W., BAUMR.L., BUCKNAMR.C., MICHAELJ.A., 2004b. Landslide susceptibility from topography in Guatemala. In: Lacerda WA et al. (ed) *Landslides, evaluation & stabilization*. Proceedings of the 9th international symposium on landslides, Rio de Janeiro 1:69–79.

COROMINAS, J., VAN WESTEN, C., FRATTINI, P., CASCINI, L., MALET, J.P., FOTOPOULOU, S., CATANI, F., VAN DEN EECKHAUT, M., MAVROULI, O., AGLIARDI, F., PITILAKIS, K., WINTER, M.G., PASTOR, M., CRUDEN, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27.

FERLISI, S., TOFANI, V., HERVAS, J., SMITH, J.T., 2013. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 73, Issue 2, 209–263.

Državni zavod za statistiku, DZS, 2011. Statistička izvješća - Popis stanovništva iz 2011. Godine. URL: <http://www.dzs.hr>

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 2019.)

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.

HIGHLAND, L.M., AND BOBROWSKY P., 2008 *The landslide handbook - A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129.

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.

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

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

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

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

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

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

WEB izvori:

Copernicus Land Monitoring Service (Corine Land Cover), <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (CLC2018\_CLC2012\_V2018\_20b2.gdb) (15.3.2019.)

Copernicus Land Monitoring Service (EU-DEM), <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=download> (eu\_dem\_v11\_E40N20.tif) (15.3.2019.)

Open Street Map, <http://download.geofabrik.de/europe.html> (croatia-latest-free.shp) (19.3.2019.)

WMS server DGU, <https://geoportal.dgu.hr/> (13.2.2019.)



415000

420000

425000

430000

435000

440000

445000



505000

5045000

5040000

5035000

5030000



### Tumač oznaka

● klizišta korištena za verifikaciju modela

● klizišta korištena za izradu modela

▭ naselja Grada Karlovca

▭ niska podložnost na klizanje

▭ srednja podložnost na klizanje

▭ visoka podložnost na klizanje

▭ vrlo visoka podložnost na klizanje



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO  
GEOLOŠKO  
NAFTNI FAKULTET

## PROCJENA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE NA PODRUČJU GRADA KARLOVCA PRIMJENOM BIVARIJANTNE STATISTIČKE METODE

Diplomski rad

Mentorica  
prof.dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas  
Komentorica  
dr.sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio  
Marko Sinčić, univ.bacc.ing.geol.

Datum

veljača, 2020.

Mjerilo

1:100 000

Prilog br.

1

