Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske

Erak, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:169:377591

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske

Diplomski rad

Marko Erak

GI 313

Zagreb, 2018.

Veliku zahvalnost dugujem mentorici, prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas na stručnim savjetima, razumijevanju i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Srdačno se zahvaljujem i znanstvenoj novakinji Sanji Bernat Gazibara na susretljivosti i pomoći oko izrade rada.

Najveće hvala mojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom studiranja.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

KARTA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE REPUBLIKE HRVATSKE

MARKO ERAK

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

Sažetak

Klizišta predstavljaju veliki problem u gotovo svim dijelovima svijeta budući da mogu uzrokovati značajne ekonomske i socijalne gubitke. Istraživanja klizišta, a sukladno tomu i zoniranja terena s obzirom na podložnost klizanju, provode se radi prevencije nastanka novih klizišta, odnosno smanjenja posljedica od klizanja. Iako u Hrvatskoj trenutno ne postoje sveobuhvatne karte hazarda od klizanja, Vlada RH donijela je odluku o osnivanju radnih tijela kojom je predviđena i procjena rizika klizanja. Cilj ovog rada bio je izraditi kartu podložnosti na klizanje za područje Republike Hrvatske koja bi dala uvid u prostornu mogućnost pojave klizišta u Hrvatskoj. Obrađeni i analizirani ulazni podaci odnosno faktorske karte bili su karta vrste stijena i tala, karta nagiba padine i karta namjene zemljišta područja Republike Hrvatske. Karta podložnosti izrađena je neizravnom heurističkom metodom prema kojoj se svakoj od klasa faktorskih karata i samim faktorskim kartama težinske vrijednosti koje ukazuju na utjecaj određene klase i karte na mogućnost pojave klizišta dodjeljuju iskustveno. Ukupno je načinjeno pet različitih karata podložnosti na klizanje prema scenarijima koji se razlikuju u težinskim vrijednostima faktorskih karata. Dobivene karte potom su verificirane usporedbom s digitaliziranim inventarom klizišta. Prema statističkim podacima dobivenim verifikacijom i iskustvenim kriterijima određena je finalna karta podložnosti na klizanje RH koja predstavlja osnovu za neka daljnja istraživanja i radove ili informaciju za lokalnu, regionalnu i nacionalnu upravu iz domene gradnje, prostornog planiranja, civilne zaštite i zaštite okoliša.

Ključne riječi: klizište, podložnost na klizanje, hazardi od klizanja, Hrvatska.

Diplomski rad sadrži: 35 stranica, 7 tablica, 12 slika, 1 prilog i 26 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Pomoć pri izradi: Sanja Bernat Gazibara, mag. ing. geol.

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, UNIZG-RGNF
Doc. dr. sc. Martin Krkač, UNIZG-RGNF
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, UNIRI-GF

Datum obrane: 14. rujna 2018.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP OF THE REPUBLIC OF CROATIA

MARKO ERAK

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Institute of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Landslides pose a serious problem in almost all parts of the world as they can cause significant economic and social losses. Landslides investigation and spatial terrain zonation with regards to the landslide susceptibility is carried out to prevent the formation of new landslides and to reduce the consequences. Although there are currently no comprehensive maps of landslide hazards available for the country's area, the Government of the Republic of Croatia has recently adopted a decision on the establishment of a working body that, amongst other, foresees the assessment of the landslide risk on the national level. The aim of this paper was to create a landslide susceptibility map of the area of the Republic of Croatia, which would give an insight into the spatial probability of the occurrence of future landslides. The input data that were processed and analyzed (i.e. factors) were the lithology, slope gradient and land usage map. The output, landslide susceptibility map, was made by an indirect heuristic method according to which each factor and factor's classes are assigned empirical weight values that indicate the influence of a particular class and factor on the possibility of the landslide occurrence. Five different susceptibility maps were made according to scenarios that differ in the factor's weight value. The produced maps were then verified by comparing them with the digitized landslide inventory. According to the statistical data obtained by verification and empirical criteria, a final landslide susceptibility map of the Republic of Croatia was presented. It can be used as a basis for further research or input information for local, regional and national administration, especially in the domain of construction, urban planning and civil and environmental protection.

Keywords: landslide, landslide susceptibility, landslide hazard, Croatia.

Thesis contains: 35 pages, 7 tables, 12 figures, 1 enclosure and 26 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor
Technical support and assistance: Sanja Bernat Gazibara, MEng.

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

Date of defense: 14 September 2018.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEORIJSKE OSNOVE 3

2.1. Klizišta 3

2.2. Inventari klizišta 5

2.3. Karte podložnosti na klizanje 6

2.4. Metode procjene podložnosti na klizanje 8

3. ULAZNI PODACI 11

3.1. Inventar klizišta s OIGK 11

3.2. Vrste stijena i tala 12

3.3. Nagib padina 16

3.4. Namjena zemljišta 17

4. MODEL PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE 19

4.1. Analiza faktorskih karata i određivanje težinskih vrijednosti 20

4.2. Karta podložnosti na klizanje 24

5. VERIFIKACIJA MODELA 27

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK 29

7. LITERATURA 33

POPIS SLIKA

Slika 2–1. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu. (prema WP/WL1 1993b)..... 3
Slika 2–2. Pregled i podjela metoda procjene podložnosti na klizanje. (prema Corominas i Mavrouli 2011; Corominas i dr. 2013)..... 9
Slika 2–3. Isječak s ELSUS - europske karte podložnosti na klizanje. (Wilde i dr. 2018). 10
Slika 3–1. Digitalizirana klizišta s OIGK (prema Čubrilović i dr. 1967) 12
Slika 3–2. Inženjerskogeološke jedinice digitalizirane s OIGK (Čubrilović i dr. 1967) koje su korištene kao faktorske klase za procjenu podložnosti na klizanje. Detaljan opis svih jedinica dan je u tablici 3-1..... 13
Slika 3–3. Faktorska karta nagiba padine s pripadajućim faktorskim klasama. 17
Slika 3–4. Faktorska karta namjene zemljišta dobivena obradom CORINE karte pokrova zemljišta (Agencija za okoliš i prirodu 2013) s pripadajućim faktorskim klasama. 18
Slika 4–1. Dijagram toka istraživanja i izrade karte podložnosti na klizanje. 19
Slika 4–2. Izvedena karta utjecaja klasa faktorske karte vrste stijena i tala na pojavu klizišta s određenim težinskim vrijednostima. 22
Slika 4–3. Izvedena karta utjecaja klasa faktorske karte nagiba padine na pojavu klizišta s određenim težinskim vrijednostima..... 23
Slika 4–4. Karte podložnosti na klizanje RH izrađene prema pet različitih scenarija opisanih u tablici 4-4. 26
Slika 5–1. Dijagram gustoća klizišta prema zonama podložnosti i razlike između gustoće visoko podložne (crvene) zone i zone koja nije podložna na klizanje (zelena) za sve načinjene scenarije..... 28

POPIS TABLICA

Tablica 2–1. Najčešće korišteni ulazni podaci odnosno faktori koji mogu imati utjecaj na pojavu klizišta i njihova relevantnost pri procjeni podložnosti na klizanje u različitim mjerilima karte (prema Van Westen 2008). M - malo relevantno, S - srednje relevantno i V - vrlo relevantno..... 6

Tablica 3–1. Inženjerskogeološke jedinice OIGK (Čubrilović i dr. 1967) korištene kao faktorske klase za vrste stijena i tala na području Republike Hrvatske. D - promjer zrna u mm, U - koeficijent nejednoličnosti zrna, n - poroznost u postotcima, k - hidraulička vodljivost u cm/s, σ - čvrstoća na pritisak u kPa/cm^2, α - trošenje u cm^3/50 cm^2 i β - kut prirodnog nagiba padina u stupnjevima. 14

Tablica 4–1. Težinske vrijednosti klasa faktorske karte vrste stijena i tala. AK - aktivna klizišta, UK - umirena klizišta, PT - plastično tečenje i LP - labilne padine. Detaljan opis klase nalazi se u Tablici 3-1. 20

Tablica 4–2. Težinske vrijednosti klasa faktorske karte nagiba padine. AK - aktivna klizišta, UK - umirena klizišta, PT - plastično tečenje i LP - labilne padine. 23

Tablica 4–3. Raspodjela klizišta i površine po klasama faktorske karte namjene zemljišta. AK - aktivna klizišta, UK - umirena klizišta, PT - plastično tečenje i LP - labilne padine. 24

Tablica 4–4. Težinske vrijednosti faktorskih karata, vrijednosti podložnosti i njihova klasifikacija u zone podložnosti za sve scenarije. Crveno - visoka podložnost, narančasto - umjerena podložnost, žuto - niska podložnost i zeleno - nije podložno na klizanje. 25

Tablica 5–1. Rezultati analize verifikacije karata podložnosti na klizanje. 27

POPIS PRILOGA

Prilog 1 Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske mjerila 1:800 000

1. UVOD

Klizišta predstavljaju veliki problem u gotovo svim dijelovima svijeta, a najčešće u brdskim i planinskim područjima te na obalama rijeka, jezera i mora. Mogu uzrokovati značajne ekonomske i socijalne gubitke, izravne i neizravne, na privatnim i javim dobrima. Proces klizanja podrazumijeva sve vrste gibanja mase stijena ili tla niz padinu (Cruden 1991), a nastaje kad su posmična naprezanja veća od posmične čvrstoće materijala. S obzirom na mehanizam klizanja razlikujemo procese klizanja, tečenja, odronjavanja, prevrtanja i bočnog razmicanja (Varnes 1984). U ovom radu analizirani su isključivo procesi klizanja i tečenja, dok su ostali procesi izuzeti iz analize.

Istraživanja klizišta, a sukladno tomu i zoniranja terena s obzirom na podložnost klizanju, provode se radi prevencije nastanka novih klizišta, odnosno smanjenja posljedica od klizanja te su informacija za široki spektar korisnika, najčešće iz lokalne, regionalne i nacionalne uprave, iz domene gradnje, prostornog planiranja i civilne zaštite. Vlada Republike Hrvatske je u rujnu 2016. godine donijela *'Odluku o osnivanju radnih tijela Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa za izradu dokumenata i provođenje aktivnosti na području smanjenja rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj'* kojom je predviđena procjena rizika klizanja, kao jednog od rizika iz grupe rizika degradacije tla. Karte hazarda od klizanja, koje bi bile podloga za izradu karata rizika na razini cijele države zasad ne postoje u Republici Hrvatskoj, iako se takva potreba ističe već više od 20 godina (Mihalić 1998). Samo određena urbana područja imaju izrađene neke od karata hazarda od klizanja kao npr. karta podložnosti na klizanje iz 1979. godine za područje podsljemenske zone Grada Zagreba (Polak i dr. 1979; Mihalić Arbanas i dr. 2016). Europska skupina stručnjaka za klizišta (*engl. The European Landslide Expert Group*) Europske komisije je u veljači 2018. godine objavila drugu verziju karte (detaljnije opisano u poglavlju 2, **slika 2-3**) podložnosti na klizanje za područje EU i susjednih zemalja (*engl. European Landslide Susceptibility Map version 2 - ELSUS*) (Wilde i dr. 2018). Očito je kako se u posljednje vrijeme sve veća važnost pridaje izradi prognostičkih karata klizišta na kojima su prikazane prostorne i vremenske procjene nastanka klizišta, s ciljem smanjenja ljudskih žrtava i materijalnih šteta. Najbolji i najsvježiji primjer razornosti i posljedica neosviještenosti šire javnosti o problemu klizišta je onaj iz Hrvatske Kostajnice iz ožujka 2018. godine. Tada je, uslijed nepovoljnih meteoroloških uvjeta (velike oborine i brzo topljenje snijega), nastalo klizište koje je u svega nekoliko sati izbrisalo jedno čitavo gradsko naselje.

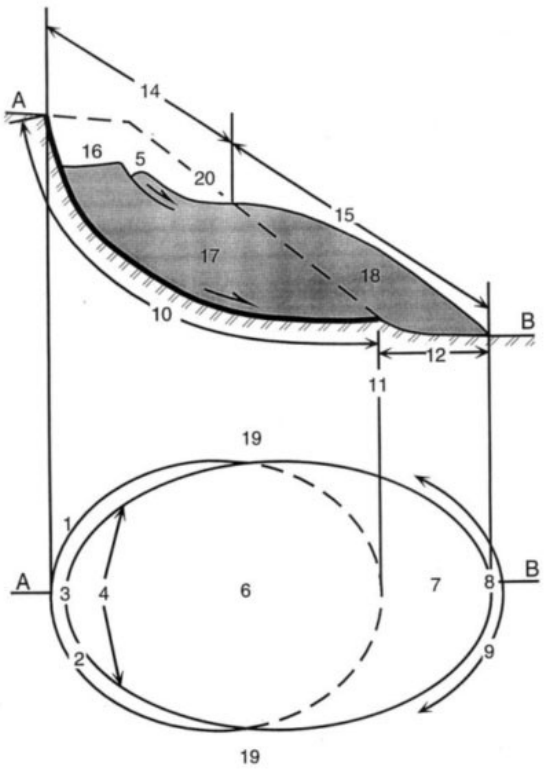
U ovom radu opisana je metodologija izrade karte podložnosti na klizanje sitnog mjerila heurističkim (iskustvenim) pristupom. Kvalitativna metoda zasniva se na prethodnom poznavanju svih uzročnika klizanja, odnosno faktora nestabilnosti koji mogu rezultirati nastankom klizišta (*engl. knowledge driven approach*), a podrazumijeva iskustveno određivanje težinskih vrijednosti za svaku klasu faktorskih karata (Corominas i dr. 2013). Kartografske podloge, odnosno ulazni podaci bili su Osnovna inženjerskogeološka karta (*OIGK*) mjerila 1:500 000 (Čubrilović i dr. 1967), karta nagiba padina dobivena iz digitalnog modela visina (*engl. Digital Elevation Model – DEM*) rezolucije 20 m i karta namjene zemljišta (*engl. Land cover*) (Agencija za okoliš i prirodu 2013) koje su analizirane i uspoređivane s digitaliziranim inventarom klizišta s OIGK. Cilj rada bio je izraditi kartu podložnosti na klizanje za područje Republike Hrvatske koja bi dala uvid u prostornu mogućnost pojave klizišta u Hrvatskoj te poslužila kao podloga za daljnja istraživanja, izrade inventara klizišta i zoniranja u zonama visokih podložnosti u detaljnijim mjerilima, prvenstveno hazarda od klizanja i rizika od klizanja.

2. TEORIJSKE OSNOVE

U ovom poglavlju dana je teorijska osnova koja se odnosi na procese klizanja i pojave klizišta, kao i istraživanja klizišta koja se provode u svrhu zoniranja hazarda klizanja, od izrade inventara klizišta do procjene podložnosti na klizanje.

2.1. Klizišta

Prirodna degradacija tla i površinskih dijelova terena uslijed procesa trošenja i transporta materijala neizbježna je na gotovo svim padinama. Kako je prethodno spomenuto, klizanje podrazumijeva sve vrste gibanja mase stijena ili tla niz padinu (Cruden 1991). U većini slučajeva klizišta nastaju kao rezultat vrlo sporih procesa, ali se neka klizišta mogu dogoditi trenutno, što ovisi o brzini klizanja (Mihalić Arbanas i dr. 2013). Prilikom istraživanja klizišta razlikujemo čimbenike koji utječu na nestabilnost padina (preduvjeti klizanja) i čimbenike koji su pokrenuli klizište (pokretači klizanja). Preduvjeti klizanja mogu biti značajke stijena i tala, različiti geomorfološki uvjeti i procesi te fizički i antropogeni procesi dok su najčešći pokretači klizanja fizički procesi (oborine i potresi) i antropogeni procesi. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu s nazivima dijelova prikazan je na **slici 2-1**.



1 Kruna ili čelo
2 Glavna pukotina ili škarpa
3 Vrh
4 Prednja strana
5 Donja škarpa
6 Glavno tijelo
7 Stopa ili podnožje
8 Dno
9 Završetak klizišta
10 Ploha sloma
11 Završetak plohe sloma
12 Ploha separacije
13 Pokrenuti materijal
14 Zona usjednutog materijala
15 Zona akumulacije
16 Usijedanje
17 Usjednuta masa
18 Akumulacija
19 Bok
20 Originalna površina terena

Slika 2–1. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu. (prema WP/WL1 1993b)

Postoji nekoliko klasifikacija klizišta ovisno o tipu i brzini gibanja, vrsti pokrenutog materijala i aktivnosti klizišta. Prema Varnes (1984), mehanizam gibanja jedan je od osnovnih kriterija za klasifikaciju klizišta pri čemu razlikujemo:

- odronjavanje (*engl. fall*) - odvajanje mase sa strmih padina po površini slobodnim padom;
- prevrtanje (*engl. topple*) - rotacija odvojene mase oko osi prema naprijed. Ponekad može doći u kombinaciji s klizanjem ili odronjavanjem;
- klizanje (*engl. slide*) - gibanje relativno koherentne mase materijala po jednoj ili više dobro definiranih kliznih ploha (ploha sloma);
- razmicanje (*engl. spread*) - bočno razmicanje blokova uslijed kojeg nastaju posmične pukotine;
- tečenje (*engl. flow*) - raznovrsna gibanja s varijacijama u brzini toka i vlažnosti. Često započinje kao klizanje, odronjavanje ili prevrtanje nakon čega dolazi do brzog gubitka kohezije materijala.

Podjela klizišta prema aktivnosti razlikuje tri karakteristike: (1) stanje aktivnosti koje opisuje vrijeme kretanja; (2) distribuciju aktivnosti koja opisuje smjer kretanja i (3) stil aktivnosti koji ukazuje na tip(ove) gibanja prema njihovom mehanizmu (WP/WLI 1990, 1991, 1993a, 1993b, 1994, 1995). Prema stanju aktivnosti razlikujemo:

- aktivno klizište;
- trenutačno neaktivno klizište;
- reaktivirano klizište;
- privremeno umireno klizište;
- trajno umireno klizište;
- stabilizirano klizište;
- reliktno ili fosilno klizište.

U ovom radu korišteni su podaci o klizištima prikazanim na Osnovnoj inženjerskogeološkoj karti SFRJ 1:500 000 (Čubrilović i dr. 1967) koja su podijeljena na: (1) aktivna klizišta; (2) umirena klizišta; (3) pojave plastičnog tečenja (klizišta prema mehanizmu kretanja) i (4) labilne padine. Zbog malog broja klizišta u pojedinim skupinama i zastarjelosti podataka, za sva analizirana klizišta u daljnjem tekstu se koristi zajednički naziv „klizišta“.

2.2. Inventari klizišta

Inventari klizišta (*engl. landslide inventory*) su prostorne baze podataka koje sadrže informacije o zabilježenim klizištima na nekom području zajedno s opisnim podacima poput klasifikacije klizišta, datuma pokretanja i relativnoj starosti klizišta, dimenzijama i/ili volumenu, trenutnoj aktivnosti, uzrocima klizišta i sl. Prema Guzzetti i dr. (2000) dijele se na:

- arhivske inventare klizišta - prikazuju podatke dobivene iz literature i druge arhivske građe;
- geomorfološke inventare klizišta - načinjeni istraživanjem konvencionalnim i/ili novim (inovativnim) metodama.

Konvencionalne metode izrade inventara klizišta su geomorfološko terensko kartiranje klizišta i vizualna identifikacija klizišta interpretacijom stereografskih parova zračnih snimaka. Obje metode su dugotrajne i zahtijevaju puno resursa (Guzzetti i dr. 2012). Suvremene metode baziraju se na daljinskim istraživanjima, prvenstveno na geomorfološkoj analizi koristeći digitalne modele visina visoke rezolucije, upotrebi različitih (pankromatskih, multispektralnih i SAR) avionskih i satelitskih snimaka te na laserskim (LiDAR) snimanjima uz korištenje inovativnih metoda, moderne opreme i računalnih programa. Primjer inventara izrađenog konvencionalnom metodom terenskog kartiranja klizišta opisan je u radu Mihalić i dr. (2008), a primjer inventara izrađenog inovativnim metodama laserskog skeniranja (LiDAR) u radu Bernat Gazibara i dr. (2017).

Točnost i preciznost inventara klizišta ovisi o nekoliko faktora među kojima su najvažniji (Guzzetti i dr. 2012): (1) mjerilo, starost i kvaliteta korištenih avionskih ili satelitskih snimaka, odnosno gustoća oblaka točaka dobivenog laserskim skeniranjem; (2) vrsta, mjerilo i kvaliteta kartografske podloge korištene za prikaz inventara; (3) kvaliteta opreme korištene za analiziranje i interpretaciju podataka uključujući i računalne programe te (4) znanje i iskustvo istraživača.

Za procjenu nastanka novih klizišta važno je imati informaciju o prostornoj i vremenskoj učestalosti klizišta na istraživanom području, zbog čega bi sve studije izrade karata podložnosti na klizanje trebale započeti s izradom kvalitetnog inventara klizišta (Corominas i dr. 2013).

2.3. Karte podložnosti na klizanje

Podložnost na klizanje (*engl. landslide susceptibility*) podrazumijeva kvalitativnu ili kvantitativnu procjenu prostorne vjerojatnosti pojave klizišta (Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara 2015). Karta podložnosti na klizanje stoga prikazuje podjelu područja na određene zone prema izračunatoj vjerojatnosti pojave klizišta, odnosno podložnosti te zone na klizanje. Prema Corominas i dr. (2013), metode koje se koriste za izradu karata podložnosti na klizanje zasnivaju se na važnoj pretpostavci da su *'uvjeti u prošlosti indikator uvjeta u budućnosti*'. To znači da područja u kojima su se već dogodila klizišta i njima slična, zbog svojih karakteristika, imaju veću vjerojatnost pojave novih klizišta.

Kvaliteta karata podložnosti na klizanje ovisi o količini, vrsti i kvaliteti ulaznih podataka koji se koriste u procjeni. Pri tome je važno napomenuti da korištenje nerelevantnih i nekvalitetnih ulaznih podataka može imati sasvim suprotan učinak. Pregled najčešće korištenih ulaznih podataka odnosno faktora koji mogu imati utjecaj na pojavu klizišta i njihova relevantnost pri procjeni podložnosti na klizanje u različitim mjerilima prikazani su u **tablici 2-1**.

Tablica 2–1. Najčešće korišteni ulazni podaci odnosno faktori koji mogu imati utjecaj na pojavu klizišta i njihova relevantnost pri procjeni podložnosti na klizanje u različitim mjerilima karte (prema Van Westen 2008). M - malo relevantno, S - srednje relevantno i V - vrlo relevantno.

Skupina podataka	**Vrsta podatka**	**Relevantnost za procjenu podložnosti na klizanje**	**Mjerilo karte**			
			Sitno	**Srednje**	**Krupno**	**Detaljno**
Inventar klizišta	Inventar klizišta	Jedan od najvažnijih podataka za procjenu podložnosti	V	V	V	S
	Aktivnost klizišta	Ponekad se koristi kod procjene podložnosti	S	S	V	V
	Monitoring klizišta	Ponekad se koristi kod procjene podložnosti	M	M	M	V
Digitalni model visina	Nagib padine	Najvažniji faktor kod kretanja uzrokovanih gravitacijom	M	V	V	V
	Smjer padine	Može biti pokazatelj razlika u vegetaciji i vlazi tla	V	V	V	V
	Duljina/oblik padine	Indikator hidrologije padine	S	V	V	V
	Smjer toka materijala	Koristi se kod hidrološkog modeliranja padine	M	S	V	V
	Akumulacija materijala	Koristi se kod hidrološkog modeliranja padine	M	S	V	V
	Reljef	Koristi se kod sitnog mjerila kao indikator vrste terena	V	S	M	M

Skupina podataka	Vrsta podatka	Relevantnost za procjenu podložnosti na klizanje	Mjerilo karte			
			Sitno	Srednje	Krupno	Detaljno
	Gustoća drenažne mreže	Koristi se kod sitnog mjerila kao indikator vrste terena	V	S	M	M
Geologija	Vrsta naslaga	Litološka karta preferirano zasnovana na inženjerskim svojstvima, a ne na stratigrafskoj klasifikaciji	V	S	V	V
	Trošnost	Dubina profila trošnosti važan je faktor pri nastanku klizišta	M	S	V	V
	Diskontinuiteti	Setovi diskontinuiteta i njihove karakteristike su važni kod odrona i prevrtanja	M	S	V	V
	Strukturne značajke	Geološke strukture, zajedno s nagibom i smjerom padine, važni kod predviđanja odrona i prevrtanja	V	V	V	V
	Rasjedi	Udaljenost od aktivnih rasjeda ili širina rasjedne zone važan je faktor za karte procjena podložnosti	V	V	V	V
Tlo	Vrsta tla	Inženjerska podjela tla zasnovana na geotehničkim značajkama	S	V	V	V
	Dubina tla	Dubina tla prema podacima s izdanaka, iz bušotina i rezultata geofizičkih istraživanja ključan je podatak u analizi stabilnosti	M	S	V	V
	Geomehaničke značajke	Granulometrija, kohezija, kut unutarnjeg trenja i gustoća suhog tla ključni su podaci u analizi stabilnosti	M	S	V	V
	Hidrološke značajke	Volumen pora, hidraulička vodljivost i retencija glavni su parametri u modeliranju podzemnih voda	M	S	V	V
Hidrologija	Razina podzemne vode	Prostorno i vremenski ovisna dubina RPV	M	M	S	V
	Vlažnost tla	Prostorno i vremenski ovisna vlažnost tla jedan je od glavnih podataka u analizi stabilnosti	M	M	S	V
	Hidrološki čimbenici	Padaline, otjecanje, evapotranspiracija, infiltracija, perkolacija i dr.	S	V	V	V
	Mreža vodotoka	'*Buffer* zone' oko glavnih vodotoka ili vodotoka koje erodiraju nasipe	V	V	V	M
Geomorfologija	Glavne geomorfološke jedinice	Glavna podjela na jedinice relevantna za karte sitnih mjerila	V	S	S	M
	Detaljne geomorfološke jedinice	Homogene jedinice u pogledu litologije i morfoloških pojava i procesa	V	V	S	M
Namjena zemljišta	Namjena zemljišta	Vrsta namjene/pokrova zemljišta ključan je faktor procjene podložnosti	V	V	V	V

Skupina podataka	Vrsta podatka	Relevantnost za procjenu podložnosti na klizanje	Mjerilo karte			
			Sitno	Srednje	Krupno	Detaljno
	Promjene u namjeni zemljišta	Vremenska promjena namjene/pokrova zemljišta važan je podatak u analizi stabilnosti	S	V	V	V
	Značajke vegetacije	Vrsta vegetacije, dubina i kohezivnost korijenja	M	S	V	V
	Ceste	Karta '*buffer* zona' oko cesta sa zasjecima često se koristi kao ulazni podatak u procjeni podložnosti	S	V	V	V
	Građevine	Karta područja sa zasjecima načinjenim za izgradnju građevina ponekad se koristi kod procjene podložnosti	S	V	V	V

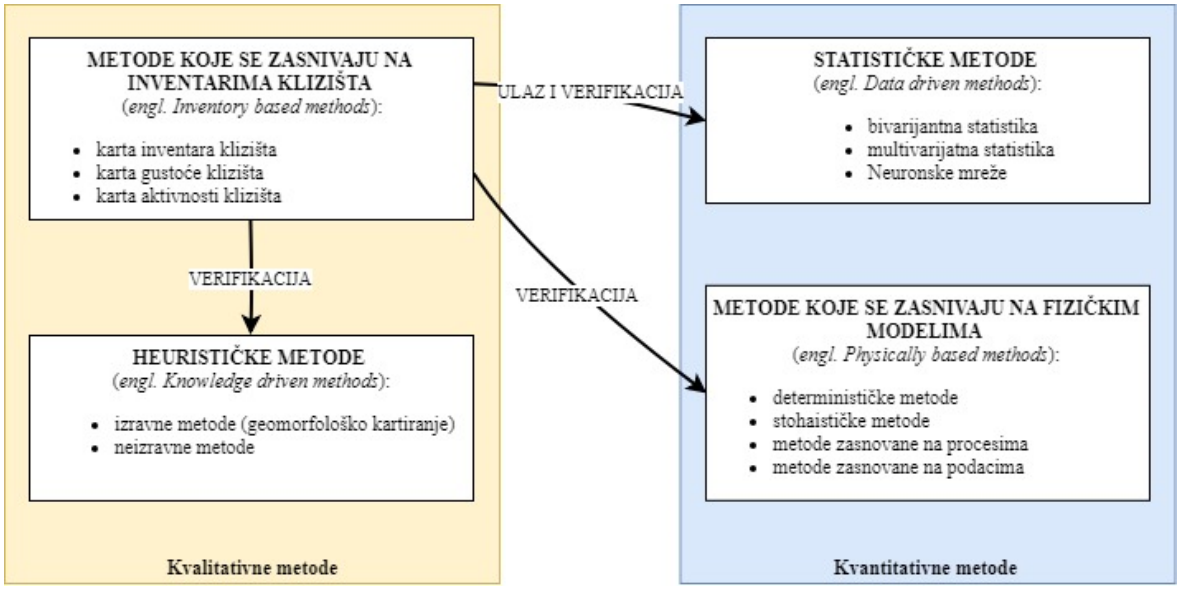
2.4. Metode procjene podložnosti na klizanje

Odabir metode procjene podložnosti na klizanje ovisi prvenstveno o dostupnosti ulaznih podataka te o opsežnosti istraživanja i mjerilu karte. Prema Soeters i Van Westen (1996) te Guzetti i dr. (1999), metode za procjenu podložnosti na klizanje dijele se na:

1. metode koje se zasnivaju na inventarima klizišta (*engl. inventory based methods*) - obuhvaća osnovne metode koje se baziraju na procjeni gustoće klizišta u nekoj prostornoj jedinici. Mogu biti korisne u područjima koja su karakterizirana reaktivacijom starih klizišta;
2. heurističke metode (*engl. knowledge driven methods*) - zasnivaju se na znanju i iskustvu stručnjaka koji odlučuju o svim kriterijima, težini faktorskih karata i njihovih klasa. Nedostatak metoda je subjektivnost iako može rezultirati najtočnijim procjenama jer u složenim situacijama stručnjak ne generalizira problem;
3. statističke metode (*engl. data driven methods*) - metode koje se zasnivaju na ulaznim podacima. Stručnjak odlučuje o kriterijima i vrsti ulaznih podataka, a težinske vrijednosti automatski su izračunate usporedbom faktorskih karata s inventarom klizišta. Metode su objektivne, a u analizi se koristi bivarijantna ili multivarijantna statistika. Iako statističke metode općenito daju vrlo dobre rezultate, u složenim proračunima utjecaja faktora može doći do generalizacije, a time i pogrešnih rezultata;

4. metode koje se zasnivaju na fizičkim modelima (*engl. physically based models*) - podložnost se računa koristeći jedan od fizičkih modela (deterministički, stohastički, zasnovan na procesima ili na podacima). Metode daju općenito najbolje kvantitativne rezultate, ali zahtijevaju više ulaznih podataka. Prikladne su uglavnom za istraživanja krupnijeg mjerila.

Na **slici 2-2** prikazan je pregled i podjela metoda procjene podložnosti na klizanje. Metode su podijeljene na kvalitativne (heurističke i metode koje se zasnivaju na inventarima klizišta) i kvantitativne (statističke i metode koje se zasnivaju na fizičkim modelima). Metode koje se zasnivaju na inventarima klizišta također su važne za verifikaciju kod ostalih metoda te su neophodan ulazni podatak kod statističkih metoda.

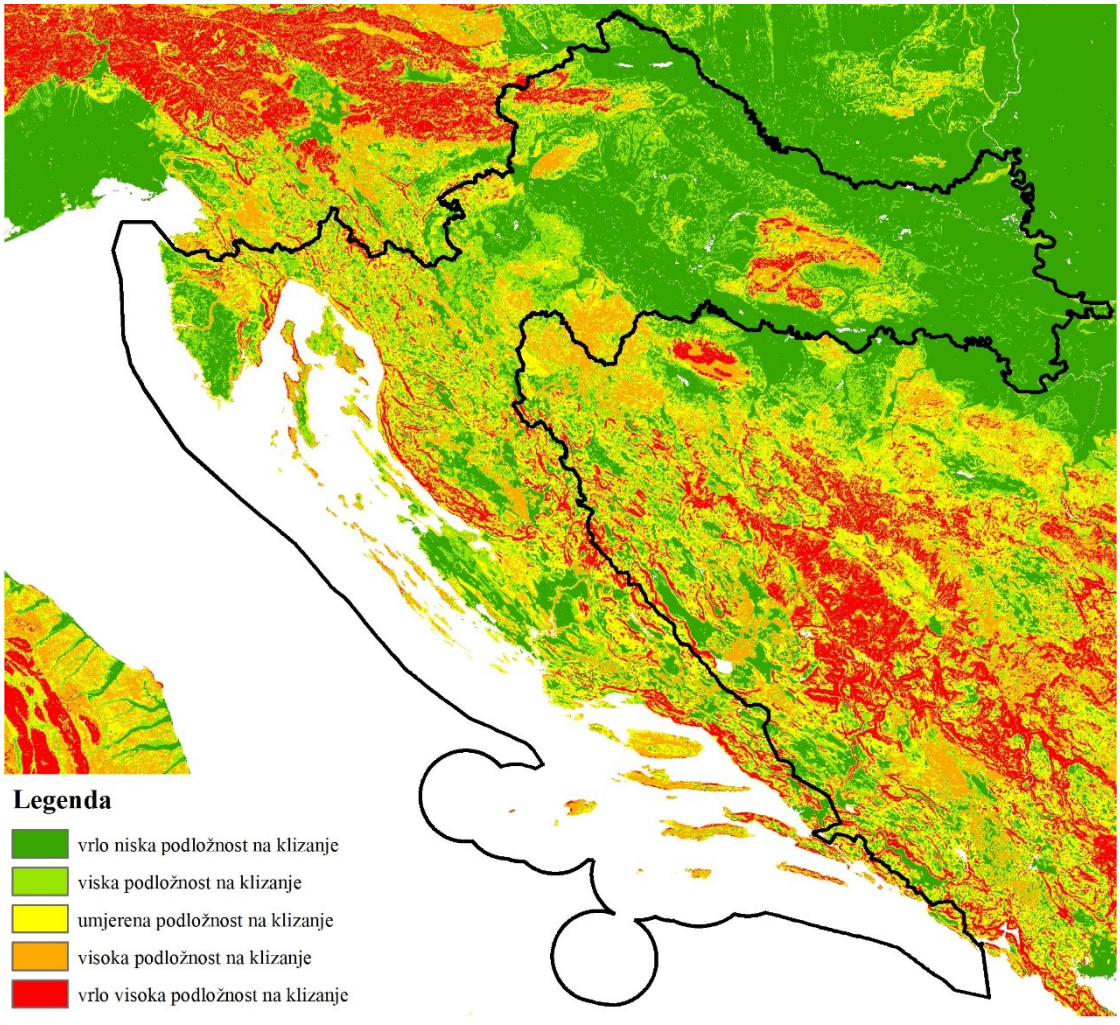


Slika 2–2. Pregled i podjela metoda procjene podložnosti na klizanje. (prema Corominas i Mavrouli 2011; Corominas i dr. 2013)

Za procjenu podložnosti na klizanje područja Republike Hrvatske u ovom radu korištena je neizravna heuristička metoda. Heurističke metode vrlo se često koriste pri procjenama podložnosti u sitnom mjerilu (na razini države), a mogu biti izravne ili neizravne. Izravna metoda podrazumijeva izravno kartiranje klizišta i zona podložnosti na terenu ili u kabinetu iz morfoloških i drugih podataka i subjektivnu procjenu potencijalne opasnosti na klizanje od strane stručnjaka koji provodi zoniranje. Kod neizravnih metoda analizira se nekoliko faktora za koje se smatra da imaju utjecaja na pojavu klizišta, a najčešće se provode prostorne analize u geografskom informacijskom sustavu (GIS). Stručnjak tada daje svakom faktoru i svim klasama iz faktora određene težinske vrijednosti

kojima se određuje njihov utjecaj na podložnost klizanju. Rezultati ovakvih metoda su subjektivni i ovise isključivo o znanju i iskustvu stručnjaka. Međutim, težinske vrijednosti su poznate (za razliku kod statističkih metoda) i mogu se po potrebi mijenjati, a karta usavršavati (Corominas i Mavrouli 2011). Karte podložnosti načinjene ovakvim metodama također se mogu uspoređivati s inventarom klizišta u procesu verifikacije rezultata što je i napravljeno u ovom radu.

Karte podložnosti na klizanje mogu se smatrati početnim korakom za izradu karata hazarda od klizanja i rizika od klizanja. Međutim, mogu biti i krajnji proizvod jednog istraživanja i koristiti se za gradnju, prostorno planiranje, civilnu zaštitu te studije utjecaja na okoliš (Corominas i Mavrouli 2011). Primjer karte podložnosti na klizanje prikazan je na **slici 2-3**. Prilikom izrade ELSUS - Europske karte podložnosti na klizanje (Wilde i dr. 2018) korišteni su ulazni podaci nagiba padine, litologije i namjene zemljišta, a karta je verificirana usporedbom s inventarom klizišta.



Slika 2–3. Isječak s ELSUS - europske karte podložnosti na klizanje. (Wilde i dr. 2018)

3. ULAZNI PODACI

U ovom poglavlju opisani su svi korišteni ulazni podaci odnosno faktori nestabilnosti s njihovim osnovnim karakteristikama. Ulazni podaci u analizi i procjeni podložnosti na klizanje bili su:

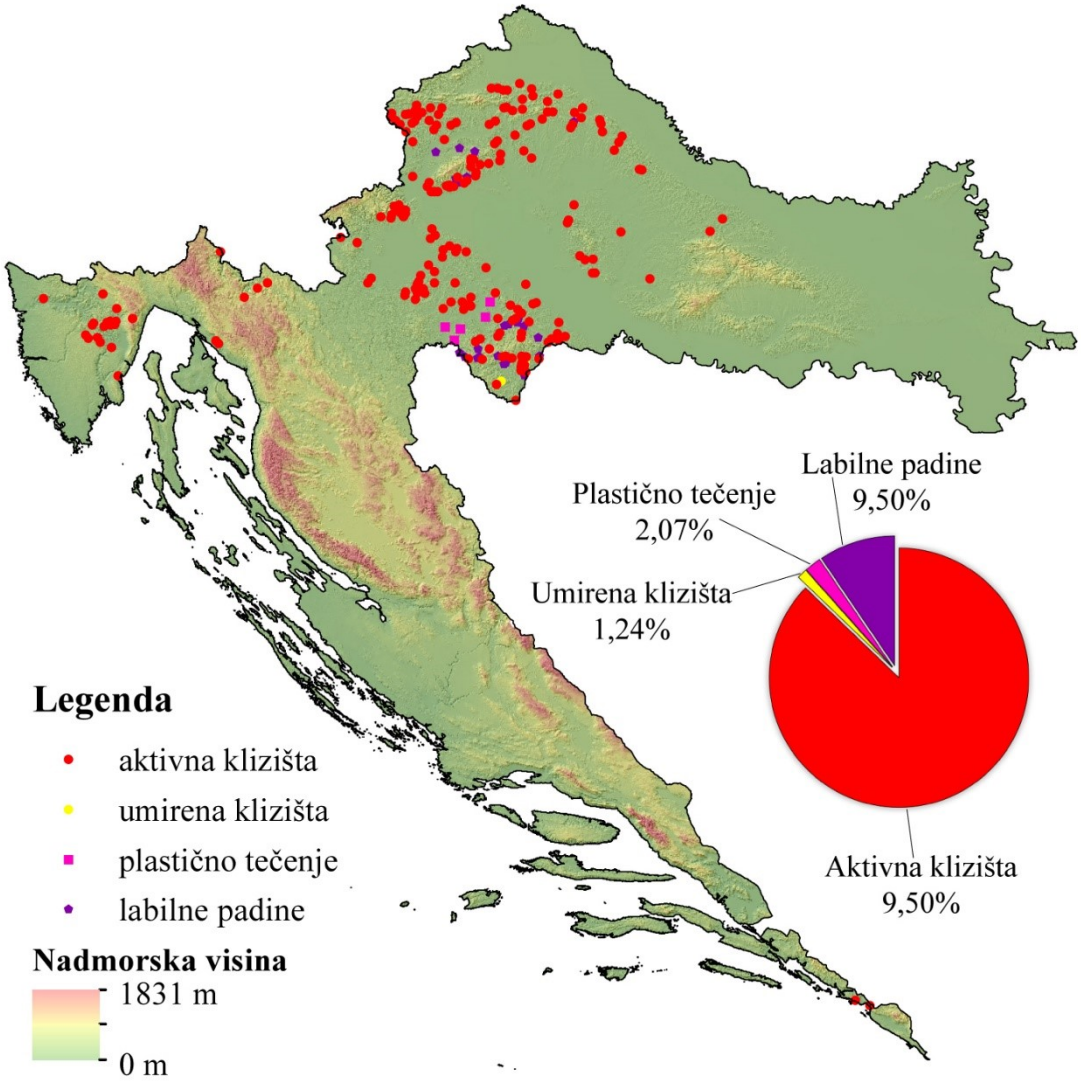
1. vrsta stijena i tala preuzeta s Osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ (OIGK) mjerila 1:500 000 (Čubrilović i dr. 1967), pri čemu su inženjerskogeološke jedinice preuzete kao klase faktora vrsta stijena i tala;
2. nagib padina izveden iz digitalnog modela visina rezolucije 20 metara;
3. namjene zemljišta preuzeta s CORINE karte (Agencija za okoliš i prirodu 2013) s faktorskim klasama osnovne podjele pokrova zemljišta na prvoj razini.

Osim faktorskih karata u radu je korišten i inventar klizišta preuzetih s OIGK (Čubrilović i dr. 1967) koji je poslužio kao statistički pokazatelj pri određivanju težinskih vrijednosti, a također i u procesu verifikacije dobivenih karata podložnosti.

3.1. Inventar klizišta s OIGK

Inventar klizišta načinjen je digitalizacijom egzogenih pojava s Osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ mjerila 1:500 000 (Čubrilović i dr. 1967) što je obuhvaćalo: (1) aktivna klizišta; (2) umirena klizišta; (3) pojave plastičnog tečenja (klizišta prema mehanizmu kretanja) i (4) labilne padine. Važno je napomenuti kako druge egzogene pojave s OIGK, primjerice odroni, sipari, jaruge, bujični nanosi i sl. nisu bili uključeni u analizu u sklopu ovog rada.

Na **slici 3-1** prikazan je prostorni raspored digitaliziranih klizišta korištenih u ovom radu. Prema inventaru klizišta s OIGK, na području Republike Hrvatske zabilježeno je ukupno 242 pojave klizišta. Od toga je 211 klasificirano kao aktivna klizišta, 3 kao umirena klizišta, 5 kao pojave plastičnog tečenja i 23 kao labilne padine.



Slika 3–1. Digitalizirana klizišta s OIGK (prema Čubrilović i dr. 1967)

3.2. Vrste stijena i tala

Faktorske klase vrsta stijena i tala dobivene su digitalizacijom inženjerskogeoloških jedinica s OIGK (Čubrilović i dr. 1967). Prostor Republike Hrvatske podijeljen je na ukupno 28 inženjerskogeoloških jedinica kako je prikazano na **slici 3-2**.

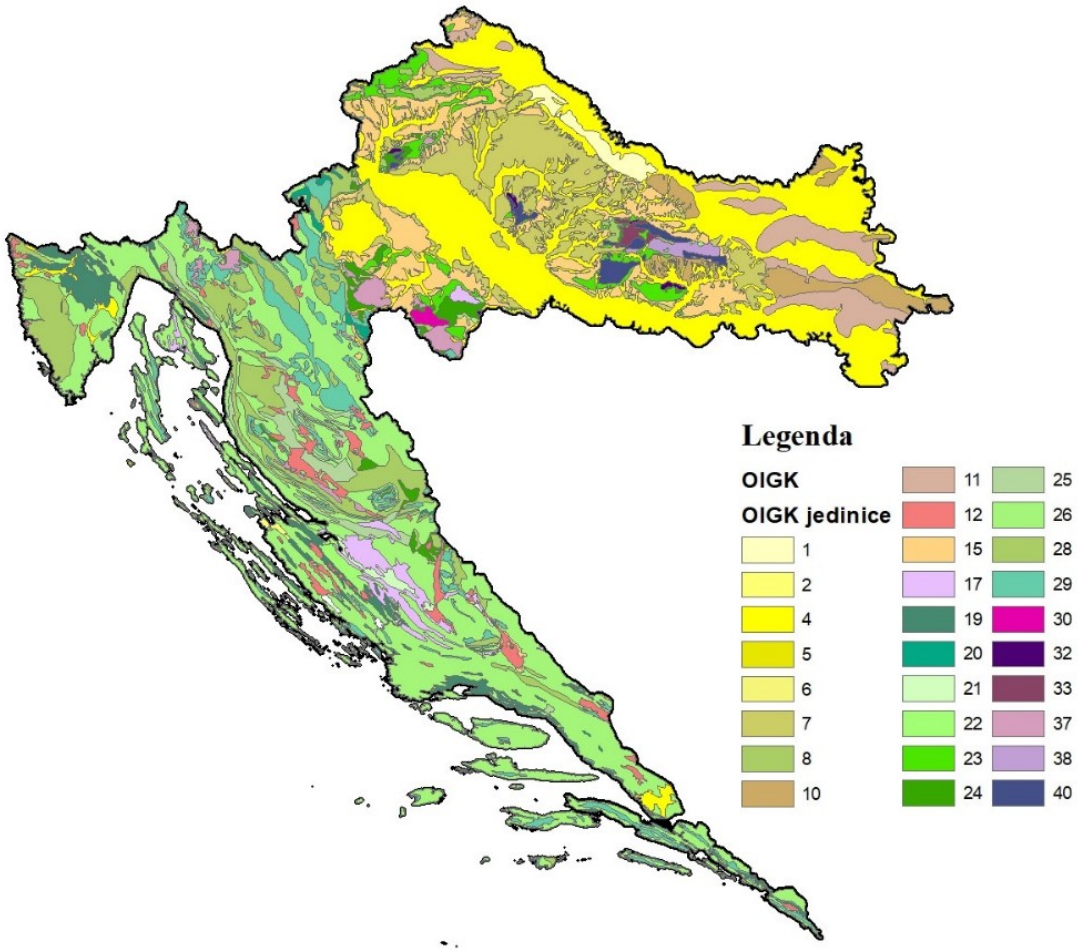
Područje primorske Hrvatske izgrađeno je većinom od:

- mezozojskih vapnenaca i kriptokristalastih dolomita (inženjerskogeološke jedinice 26, 28 i 29);
- paleogenskog fliškog kompleksa pješčenjaka, vapnenih lapora, škriljavih glina i laporovitih vapnenaca (inženjerskogeološka jedinica 19);
- donjokrednih vapnenačkih breča (inženjerskogeološka jedinica 25);
- prahovite gline (inženjerskogeološka jedinica 12);

- flišolikog kompleksa mlađeg neogena: vapnenih lapora, pjeskovitih vapnenaca, glinenih škriljavaca, konglomerata i pješčenjaka (inženjerskogeološke jedinice 24 i 37);
- paleogenskih konglomerata s vapnenačkim valuticama (inženjerskogeološka jedinica 17);
- vapnenih lapora paleogena (klase 21 i 22).

Kontinentalna Hrvatska izgrađena je od uglavnom od:

- holocenskih pjeskovitih šljunaka (inženjerskogeološka jedinica 4);
- mlađe neogenskih klastita: pijesaka, šljunaka, gline, laporovite gline, pješčenjaka i lapora (inženjerskogeološke jedinice 7 i 15);
- prapora i prahovite gline pleistocena i holocena (inženjerskogeološke jedinice 1, 10 i 11);
- vapnenih lapora, škriljavih glina, konglomerata i pješčenjaka starijeg neogena i oligocena (inženjerskogeološka jedinica 23).



Slika 3–2. Inženjerskogeološke jedinice digitalizirane s OIGK (Čubrilović i dr. 1967) koje su korištene kao faktorske klase za procjenu podložnosti na klizanje. Detaljan opis svih jedinica dan je u tablici 3-1.

Tablica 3-1 sadrži podatke o vrsti i genezi materijala (stijena ili tala), starosti te osnovnim litološkim i mehaničkim karakteristikama naslaga inženjerskogeoloških jedinica s OIGK, kao i podatke o zastupljenosti na području Hrvatske.

Tablica 3–1. Inženjerskogeološke jedinice OIGK (Čubrilović i dr. 1967) korištene kao faktorske klase za vrste stijena i tala na području Republike Hrvatske. D - promjer zrna u mm, U - koeficijent nejednoličnosti zrna, n - poroznost u postotcima, k - hidraulička vodljivost u cm/s, σ - čvrstoća na pritisak u kPa/cm^2, α - trošenje u cm^3/50 cm^2 i β - kut prirodnog nagiba padina u stupnjevima.

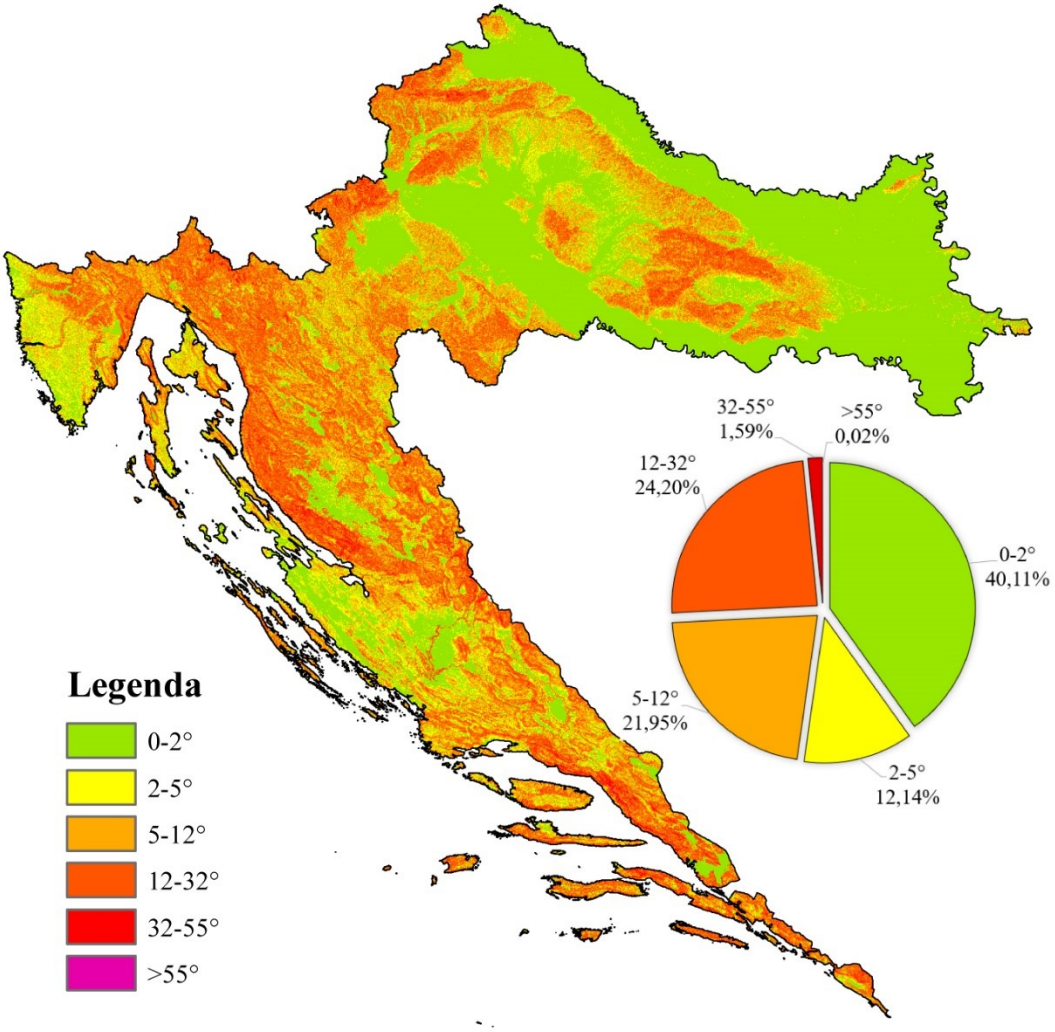
Br.	OIGK jedinice Opis	Površina (km^2)	 (%)
1	Živi pijesci - pretežno stabilizirani; eolski sedimenti pleistocena i holocena; neuslojeni, D=0,25-0,5, U do 5, porozni i u površinskom dijelu bez vode, k≈10^{-3}, vrlo podložni eroziji	534,06	0,94%
2	Pijesci; jezerski sedimenti mlađeg neogena; D=0,01-0,5, U<10, uslojeni i dobro složeni, k=(1-5)·10^{-2}, jako podložni eroziji, β≈30	51,77	0,09%
4	Pjeskoviti šljunci – ponegdje glinoviti; fluvijalni pleistocensko-holocenski sedimenti; najčešće pokriveni prašinastim glinama; slabo složeni i nejasno uslojeni, znatno porozni, k=10^{-1}-10^{-3}, β<35	13 158,21	23,23%
5	Pijesci i šljunci; obično uslojeni, dobro složeni i ponegdje cementirani; kompleks jezerskih (mlađe neogenskih) i rjeđe riječnih (kvartarnih) terasnih sedimenata, jako porozan, dobro vodopropusan i podložan eroziji	9,38	0,02%
6	Pijesci i gline s čestim vertikalnim i bočnim prijelazima; najčešće dobro složeni; kompleks jezerskih sedimenata mlađeg neogena, sa znatnim promjenama u poroznosti i vodopropusnosti, β dosta različit	2,66	0,00%
7	Pijesci, šljunci i gline; slabo do srednje složeni i ponegdje cementirani, dobro izražene slojevitosti; kompleks jezerskih sedimenata mlađeg neogena s velikim promjenama u poroznosti i vodopropusnosti, podložan eroziji i klizanju, β različit	4 601,01	8,12%
8	Drobine, šljunci, pijesci i prašinaste gline – s valuticama i blokovima; proluvijalni sedimenti pretežno holocenske starosti; neuslojeni i slabo složeni, U>25, poroznost i vodopropusnost jako promjenjivi, β<30	3,11	0,01%
10	Prapor; negdje s izdvojenim zonama i s promjenjivim postotkom $CaCO_3$ supstance; eolski sediment pleistocena; neuslojen, U<5, jako porozan k=10^{-3}-10^{-4}, porastom vlažnosti bitno mijenja svojstva, jako podložan eroziji i vertikalnom odlamanju	1 382,32	2,44%
11	Praporne prašinaste gline i u manjoj mjeri uslojen močvarni prapor - s malim sadržajem $CaCO_3$ supstance; sedimenti pleistocena i holocena; U do 15, srednje porozni, k<10^{-4}, znatno mijenjaju svojstva pod djelovanjem vode i smrzavanja	2 197,25	3,88%

Br.	OIGK jedinice Opis	Površina (km^2)	 (%)
12	Prašinaste gline i u manjoj mjeri crvenica - s uklopcima matičnih stijena; eluvijalno-deluvijalni sediment kvartara; neuslojeni, U>15, slabo vodopropusni, podložni eroziji	1 177,06	2,08%
15	Pješčenjaci, laporovite gline, lapori i pijesci; kompleks jezerskih, uslojenih sedimenata mlađeg neogena; s velikim promjenama poroznosti i vodopropusnosti, podložan eroziji i klizanju	3 671,42	6,48%
17	Konglomerati (od vapnenjačkih valutica) paleogena, mjestimično s lećama i proslojcima pješčenjaka i vapnenih lapora; mjestimično uslojeni, valutice većinom dobro zaobljene, dobro vezani karbonatnim vezivom, često okršeni, β=50-80	1 026,22	1,81%
19	Pješčenjaci, vapneni lapori, škriljave tvrde gline i rjeđe laporoviti vapnenci - s čestim ritmičkim izmjenjivanjem; pločasti i slojeviti, fliški kompleks paleogena, često tektonski jako boran i ispucan, praktički vodonepropusan, podložan nejednakom raspadanju, eroziji i klizanju, β=25-60	1 576,42	2,78%
20	Pješčenjaci, vapneni lapori, škriljave tvrde gline, konglomerati i vapnenci; dobro uslojeni i ponegdje debelo uslojeni, fliški kompleks mezozoika, jako boran i ispucan, praktički vodonepropusan, podložan eroziji i klizanju, β=30-50	184,00	0,32%
21	Vapneni lapori i konglomerati paleogena; pločasti, uslojeni i debelo uslojeni, jako ispucali i malo do srednje vodopropusni, β različit	166,65	0,29%
22	Vapneni lapori paleogena - s dosta $CaCO_3$ komponente; pločasti i tanko uslojeni, jako ispucali i slabo okršeni, praktički vodonepropusni, β=35-60	224,93	0,40%
23	Vapneni lapori i škriljave tvrde gline (uslojeni i pločasti) konglomerati i pješčenjaci (slojeviti i debelo uslojeni) i grebenski vapnenci; kompleks jezerskih sedimenata starijeg neogena i oligocena, boran i jako ispucan, vodonepropusan, podložan lakom raspadanju i eroziji, β dosta različit	1 327,14	2,34%
24	Vapneni lapori, pjeskoviti vapnenci, škriljave tvrde gline, konglomerati i pješčenjaci; nepravilna izmjena litoloških članova; flišoliki kompleks mezozoika, boran, obično jako ispucan, najčešće vodonepropusan i podložan eroziji i klizanju, β različit	755,91	1,33%
25	Vapnenjačke breče s karbonatnim vezivom; pretežno donje krede; masivne i veoma debelo uslojene, dosta ispucane i često okršene, σ≈1200, β=50-80	1 039,74	1,84%
26	Vapnenci – kriptokristalasti; pretežno morski sedimenti mezozoika; najčešće uslojeni, rjeđe masivni, jako ispucani, nejednoliko i često jako okršeni i vodopropusni, površinski dijelovi bez vode, σ≈1700, α≈15, β=45-85	14 452,44	25,51%
28	Vapnenci i dolomiti – kriptokristalasti; pretežno morski mezozojski sedimenti; slojeviti i debelo uslojeni – često lećasto isklinjeni, jako ispucani, okršeni, vodopropusni, površinski dijelovi bez vode, β=45-80	4 602,76	8,13%

Br.	OIGK jedinice Opis	Površina (km^2)	 (%)
29	Dolomiti – kriptokristalasti; pretežno morski sedimenti mezozoika; najčešće masivni i debelo uslojeni, većinom ispucani i lokalno okršeni, raspadanjem stvaraju dolomitski pijesak, β=45-80	2 884,23	5,09%
30	Škriljave tvrde gline, glineni škriljavci, rožnjaci, pješčenjaci i tufovi i u manjoj mjeri: vapnenci, dijabazi, melafiri, serpentiniti; vulkanogeno-sedimentni kompleks mezozoika – izrazito litološki heterogen, anizotropan i tektonski oštećen, vodonepropusan, prožet vlagom, vrlo podložan eroziji i klizanju, β dosta različit	107,45	0,19%
32	Daciti i andeziti (uglavnom tercijarni) i rjeđe porfiri i porfiriti (mezozojski i stariji); porfirske strukture, često masivni, mjestimično hidrotermalno promijenjeni, n=1-5, vodonepropusni, σ=1900-2100, α=7-9, β=45-80	69,36	0,12%
33	Graniti, granodioriti i rjeđe dioriti: pretežno paleozojski; masivni, zrnatski i ispucani, n≈1, praktično vodonepropusni, σ≈2000, α=5-7 – postpaleozojskih, β=40-70	125,56	0,22%
37	Glineni škriljavci savršene kalavosti, argilofiliti, pješčenjaci i rjeđe konglomerati i vapnenci: često smjenjivanje škriljavih plastičnih i uslojenih krutih masa; flišoliki kompleks mlađeg paleozoika, jako boran, savijan i izlomljen, vodonepropusan, duboko raspadnut i često podložan eroziji i klizanju, β=25-50	636,50	1,12%
38	Glineni škriljavci savršene kalavosti, filiti, sericitski, kloritski, kvarcni i drugi škriljavci s lećama mramora i kvarcita; paleozojski i stariji, jako borani, ispresavijani i ispucani, vodonepropusni, zona površinskog raspadanja duboka i sklona klizanju i intenzivnoj eroziji, σ<500, β=20-50	208,42	0,37%
40	Gnajsi, tinjčevi i rjeđe amfibolitski i drugi škriljavci - s lećama kvarcita i mramora; predpaleozojski, različite škriljavosti, jako borani, izlomljeni i duboko raspadnuti, slabo vodopropusni, σ različita, zona površinskog raspadanja podložna eroziji i klizanju, β=35-60	467,31	0,83%

3.3. Nagib padina

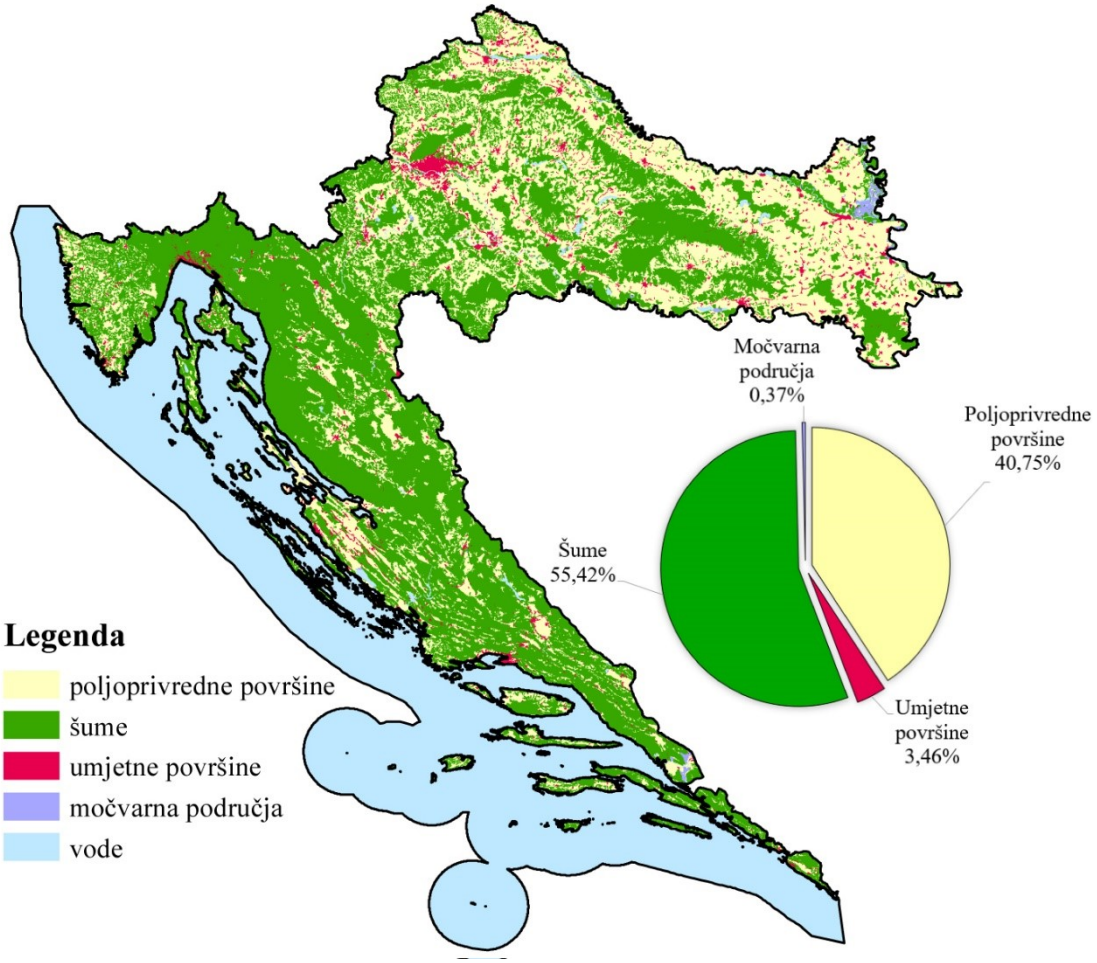
Karta nagiba padina izvedena je iz digitalnog modela visina (DEM) rezolucije 20 metara. Obradom DEM-a dobivena je karta nagiba padina podijeljena u šest faktorskih klasa s iskustveno određenim rasponima vrijednosti nagiba, kako je prikazano na **slici 3-3**. Prema ovako klasificiranoj karti nagiba najveći dio Hrvatske (40,11% ukupne površine RH) ima nagib padine 0-2°, nakon čega slijede nagibi 12-32° (24,20% ukupne površine RH) i 5-12° (21,95% ukupne površine RH), kao i nagibi 2-5° (12,14% ukupne površine RH). Vrlo su malo zastupljena područja s nagibima 32-55° (1,59% ukupne površine RH) i nagibima >55° (0,02% površine RH).



Slika 3–3. Faktorska karta nagiba padine s pripadajućim faktorskim klasama.

3.4. Namjena zemljišta

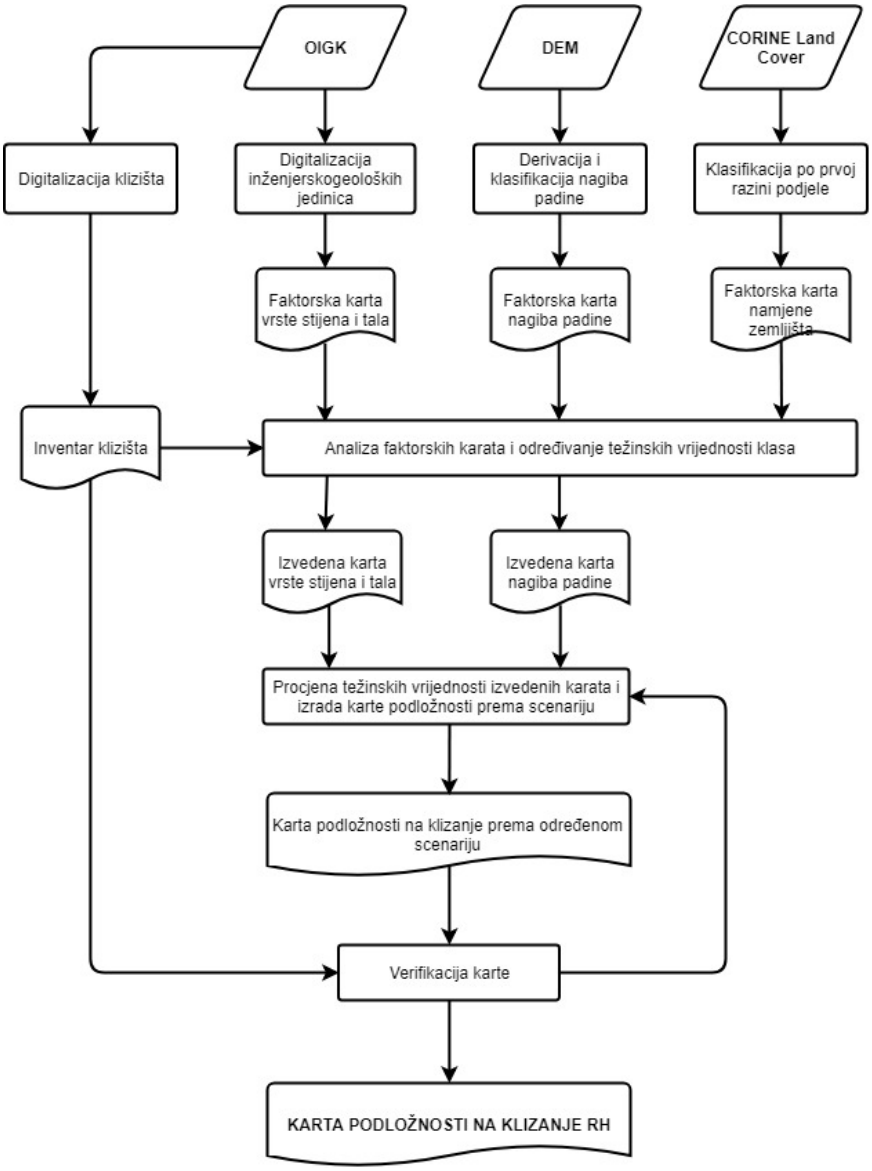
Faktorska karta namjene zemljišta dobivena je obradom CORINE karte pokrova zemljišta mjerila 1:1 000 000 za 2012. godinu (Hrvatska agencija za okoliš i prirodu 2013). Kao faktorske klase karte namjene zemljišta preuzeta je klasifikacija prve razine originalne karte. Na **slici 3-4** prikazana je faktorska karta s klasama i relativnom zastupljenosti tipova pokrova zemljišta u Republici Hrvatskoj. Ne uzimajući u obzir vodene površine, natpolovična većina od 55,42% Hrvatske pokrivena je šumama i drugim prirodnim površinama, 40,75% površine su poljoprivredne površine, 3,46% Hrvatske su umjetne površine (gradovi, naselja i sl.), a 0,37% otpada na močvarna područja.



Slika 3–4. Faktorska karta namjene zemljišta dobivena obradom CORINE karte pokrova zemljišta (Agencija za okoliš i prirodu 2013) s pripadajućim faktorskim klasama.

4. MODEL PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE

Izrada modela podložnosti, odnosno zoniranje podložnosti i izrada karte podložnosti na klizanje može se podijeliti u dvije faze: (1) analiza svih faktorskih karata i određivanje težinskih vrijednosti pripadajućih klasa i (2) određivanje težinske vrijednosti svih ulaznih faktorskih karata i izrada karte podložnosti na klizanje određenom metodom. Dobivena karta podložnosti se potom iskustveno klasificira na zone podložnosti. Ovaj proces je iterativan što znači da se na osnovu rezultata verifikacije dobivenog modela (opisano u poglavlju 5 ovog rada) težinske vrijednosti klasa i faktorskih karata po potrebi korigiraju te se zatim cijela analiza ponavlja s ciljem dobivanja boljih rezultata. Na **slici 4-1** prikazan je dijagram toka izrade modela koji prikazuje proces korištenja i obrade ulaznih podataka, analize dobivenih rezultata i procjene težinskih vrijednosti te konačno izrade karte podložnosti.



Slika 4–1. Dijagram toka istraživanja i izrade karte podložnosti na klizanje.

4.1. Analiza faktorskih karata i određivanje težinskih vrijednosti

Analiza faktorskih karata podrazumijevala je iskustveno određivanje težinskih vrijednosti klasa faktorskih karata odnosno ulaznih podatka. U tu svrhu korištene su gustoće digitaliziranih klizišta u klasama faktora. Međutim, važno je napomenuti da gustoća klizišta nije bila odlučujući čimbenik u određivanju težinskih vrijednosti već je poslužila samo kao svojevrstan pokazatelj što je i demonstrirano u sljedećim primjerima.

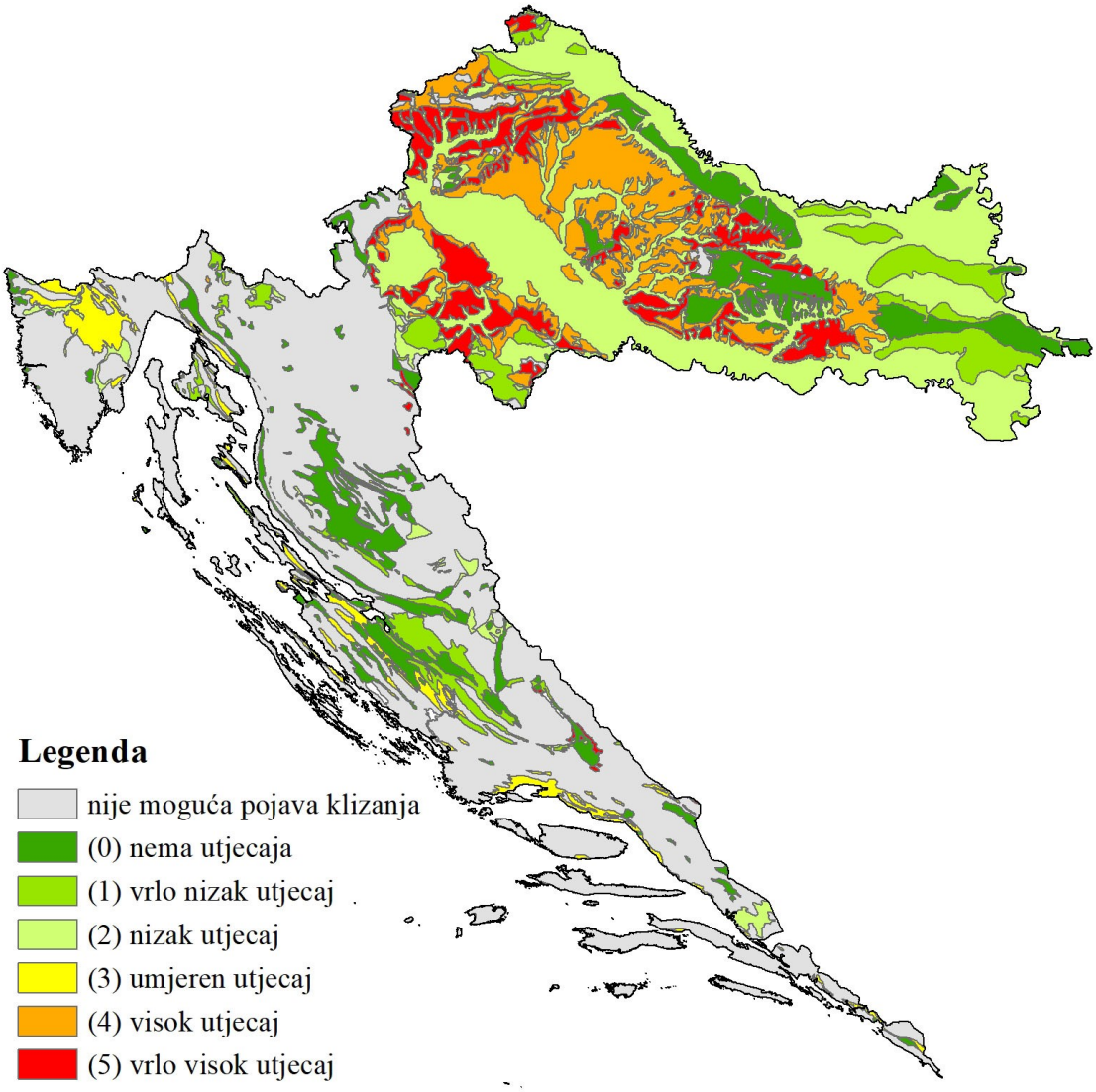
Od 28 inženjerskogeoloških jedinica prisutnih na području RH, u njih 11 zabilježena je pojava klizišta. Težinske vrijednosti klasa dodijeljene su u rasponu od 0 (nema utjecaja) do 5 (vrlo visok utjecaj), kako je prikazano u **tablici 4-1**. Vrijednosti su dodijeljene iskustveno, na temelju gustoće klizišta te litoloških i inženjerskogeoloških svojstava naslaga. Karbonatnim naslagama vapnenaca i dolomita (klase 26, 28 i 29) dodijeljene su vrijednosti -20, kako bi se eliminirale iz daljnje analize budući da je pretpostavljeno da u njima proces klizanja nije moguć, a procesi odronjavanja i prevrtanja nisu analizirani u ovom radu.

Tablica 4–1. Težinske vrijednosti klasa faktorske karte vrste stijena i tala. AK - aktivna klizišta, UK - umirena klizišta, PT - plastično tečenje i LP - labilne padine. Detaljan opis klase nalazi se u Tablici 3-1.

	Klizišta							
Broj klase	**AK**	**UK**	**PT**	**LP**	**Ukupno**	**%**	**Težinska vrijednost (q_k)**	
1					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
2					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
4	11			1	12	4,96%	**2**	nizak utjecaj
5					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
6					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
7	34			2	36	14,88%	**4**	visok utjecaj
8					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
10					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
11	1				1	0,41%	**1**	vrlo nizak utjecaj
12					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
15	84	2	5	6	97	40,08%	**5**	vrlo visok utjecaj
17	2			4	6	2,48%	**1**	vrlo nizak utjecaj
19	20				20	8,26%	**3**	umjeren utjecaj
20					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
21					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
22					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
23	33			3	36	14,88%	**4**	visok utjecaj
24	9			3	12	4,96%	**2**	nizak utjecaj
25					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
26	4				4	1,65%	**-20**	nije moguća pojava klizišta
28	3				3	1,24%	**-20**	nije moguća pojava klizišta

Broj klase	Klizišta						Težinska vrijednost (q_k)	
	AK	UK	PT	LP	Ukupno	%		
29	2				2	0,83%	**-20**	nije moguća pojava klizišta
30	2			4	6	2,48%	**1**	vrlo nizak utjecaj
32					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
33					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
37	6	1			7	2,89%	**1**	vrlo nizak utjecaj
38					0	0,00%	**0**	nema utjecaja
40					0	0,00%	**0**	nema utjecaja

Vidljivo je kako najveći utjecaj na pojavu klizišta imaju mlađe neogenski jezerski sedimenti pješčenjaka, laporovitih glina, lapora i pijesaka (klasa 15). Visok utjecaj na pojavu klizišta imaju i nešto slabije uslojeni mlađi neogenski jezerski sedimenti (klasa 7) te borani i ispucani, uslojeni i pločasti jezerski sedimenti starijeg neogena i oligocena (klasa 23). Fliški kompleks paleogena koji uključuje pješčenjake, lapore, gline i rjeđe laporovite vapnence (klasa 19) ima umjeren utjecaj na pojavu klizišta. Nizak utjecaj na klizišta imaju pleistocensko-holocenski pjeskoviti, ponegdje glinoviti šljunci (klasa 4) i borani i raspucani flišoliki kompleks mezozoika s nepravilnim izmjenama litoloških članova (klasa 24). Klastiti pleistocena i holocena (klasa 11), konglomerati paleogena (klasa 17), vulkanogeno-sedimentni kompleks mezozoika (klasa 30) i flišoliki kompleks mlađeg paleozoika (klasa 37) imaju vrlo nizak utjecaj, dok ostale klase uopće nemaju utjecaja na pojavu klizišta. Izvedena karta utjecaja klasa faktorske karte vrste stijena i tala na pojavu klizišta s pripadajućim težinskim vrijednostima prikazana je na **slici 4-2**.



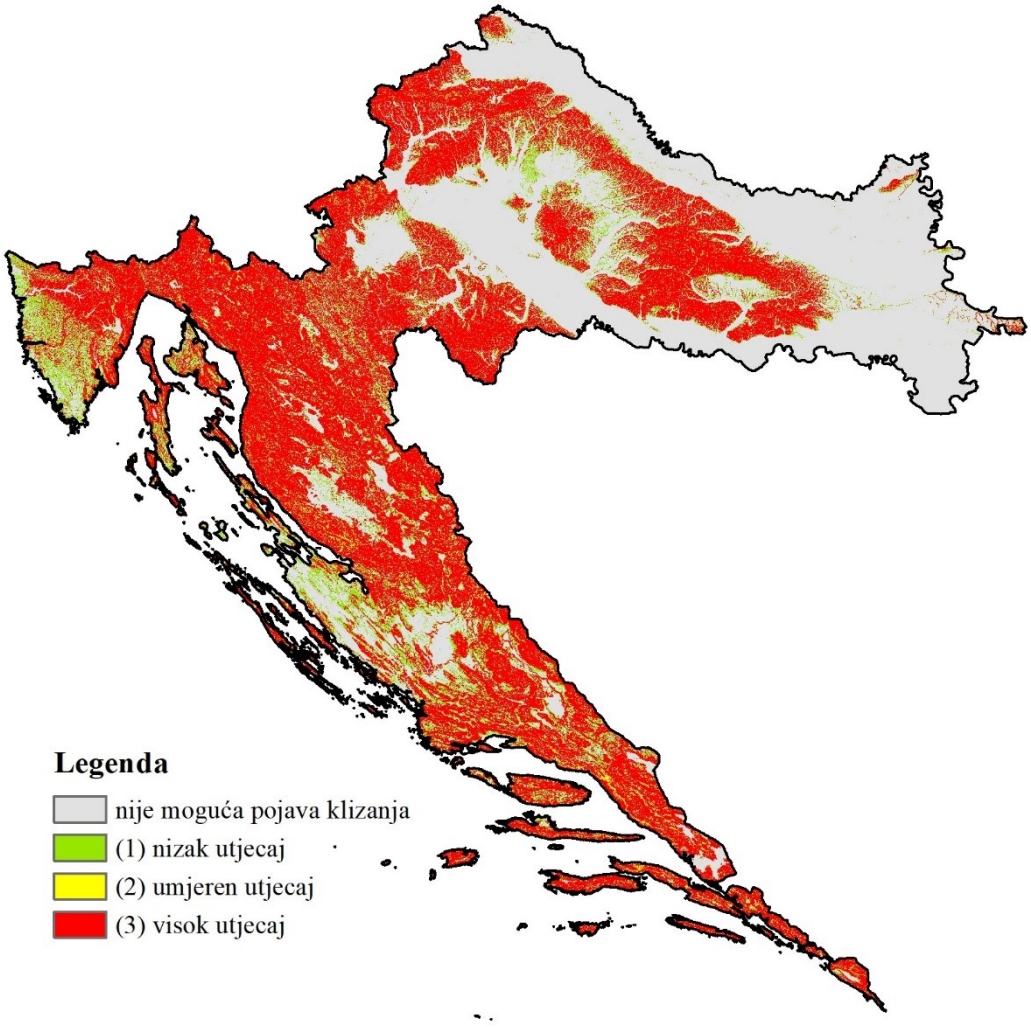
Slika 4–2. Izvedena karta utjecaja klasa faktorske karte vrste stijena i tala na pojavu klizišta s određenim težinskim vrijednostima.

Težinske vrijednosti klasa nagiba padine dodijeljene su iskustveno u rasponu od 1 (nizak utjecaj) do 3 (visok utjecaj). Za klase nagiba padine 0-2° i >55° određeno je kako pojava klizanja nije moguća pa su im dodijeljene težinske vrijednosti -20. Naime, kod vrlo niskih nagiba padine (0-2°) vrlo je malo vjerojatno da će doći do pojave klizanja, dok se kod velikih nagiba padine (većih od 55°) prvenstveno očekuju pojave prevrtanja ili odrona. Klase faktorske karte nagiba padine s pripadajućim težinskim vrijednostima prikazane su u **tablici 4-2**.

Tablica 4–2. Težinske vrijednosti klasa faktorske karte nagiba padine. AK - aktivna klizišta, UK - umirena klizišta, PT - plastično tečenje i LP - labilne padine.

Raspon nagiba	Klizišta						Težinska vrijednost (q_k)	
	AK	UK	PT	LP	Ukupno	%		
0-2°	29		3	2	34	14,05%	**-20**	nije moguća pojava klizišta
2-5°	26			2	28	11,57%	**1**	nizak utjecaj
5-12°	74	1	1	9	85	35,12%	**3**	visok utjecaj
12-32°	81	2	1	10	94	38,84%	**3**	visok utjecaj
32-55°	1				1	0,41%	**2**	umjeren utjecaj
>55°					0	0,00%	**-20**	nije moguća pojava klizišta

Najveći utjecaj na pojavu klizišta imaju klase nagiba padine između 5 i 32°. Umjeren utjecaj na pojavu klizišta ima nagib padine 32-55°, a nizak utjecaj ima klasa nagiba 2-5°. **Slika 4-3** prikazuje izvedenu kartu utjecaja klasa faktorske karte nagiba padine na pojavu klizišta s pripadajućim težinskim vrijednostima klasa.



Slika 4–3. Izvedena karta utjecaja klasa faktorske karte nagiba padine na pojavu klizišta s određenim težinskim vrijednostima.

Faktorska karta namjene zemljišta analizirana je s obzirom na gustoću klizišta u klasama. Imajući u vidu udio površine određene klase namjene zemljišta (**slika 3-4**) i gustoću klizišta u njoj (**tablica 4-3**) zaključeno je kako nije moguće odrediti pouzdane težinske vrijednosti jer vjerojatnost pojave klizišta nije moguće korelirati s faktorskom kartom namjene zemljišta s klasama pokrova prve razine CORINE klasifikacije. Ova faktorska karta stoga nije uzeta u daljnja razmatranja u ovom radu.

Tablica 4–3. Raspodjela klizišta i površine po klasama faktorske karte namjene zemljišta. AK - aktivna klizišta, UK - umirena klizišta, PT - plastično tečenje i LP - labilne padine.

	Klizišta						Površina	
Pokrov zemljišta	**AK**	**UK**	**PT**	**LP**	**Ukupno**	**%**	**(km^2)**	**%**
Poljoprivredne površine	89	2	3	14	108	44,63%	22 883,69	40,75%
Umjetne površine	10			1	11	4,55%	1 944,10	3,46%
Šume	112	1	2	8	123	50,83%	31 121,07	55,42%
Močvarna područja					0	0,00%	209,13	0,37%

4.2. Karta podložnosti na klizanje

Karta podložnosti na klizanje načinjena je prostornim analizama u GIS-u. Vrijednost podložnosti izračunata je kao suma težinskih vrijednosti faktorskih klasa pomnoženih s težinskih vrijednostima faktorskih karata prema **jednadžbi 4-1**.

$$Q_k = \sum_{i=0}^{n} t_i \cdot q_k \qquad \textbf{(4-1)}$$

Gdje je:

- Q_k*: vrijednost podložnosti;*
- *n: broj korištenih ulaznih, faktorskih karata;*
- *t: težinska vrijednost faktorske karte;*
- q_k*: težinska vrijednost lokacije pripadajuće faktorske karte.*

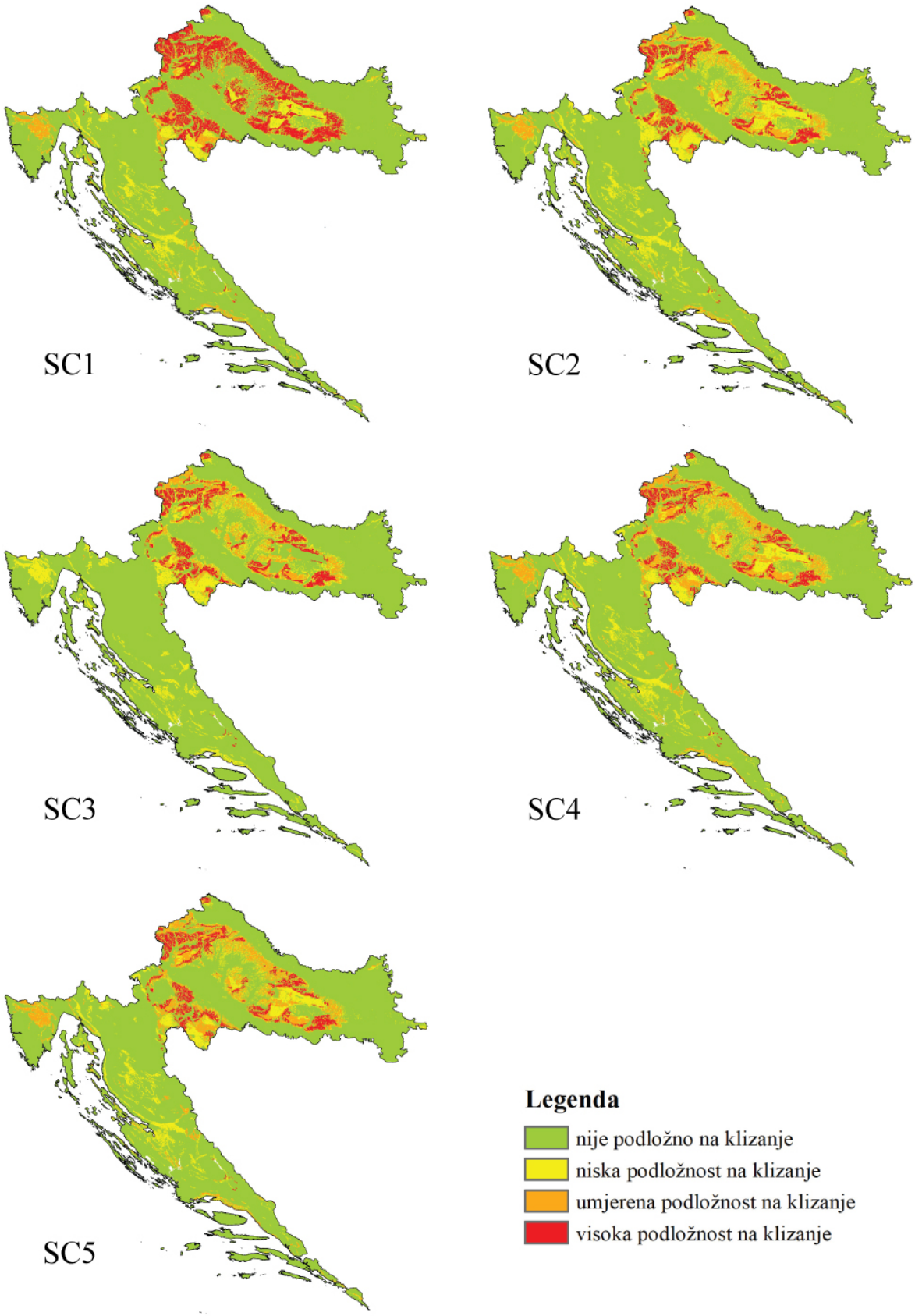
Dobivena karta podložnosti na klizanje potom je verificirana usporedbom s inventarom klizišta (opisanim u poglavlju 5 ovog rada). Budući da korištena heuristička metoda dopušta izmjene težinskih vrijednosti, a s obzirom na rezultate verifikacije modela načinjene su korekcije težinskih vrijednosti faktorskih karata u svrhu dobivanja boljih rezultata. Ukupno je izrađeno pet karata podložnosti od kojih svaka predstavlja određeni scenarij. Međusobno se razlikuju prema dodijeljenim težinskim vrijednostima ulaznih, faktorskih karata te prema klasifikaciji dobivenih vrijednosti podložnosti. **Tablica 4-4**

prikazuje pregled težinskih vrijednosti faktorskih karata i klasifikacije vrijednosti podložnosti za sve scenarije.

Tablica 4–4. Težinske vrijednosti faktorskih karata, vrijednosti podložnosti i njihova klasifikacija u zone podložnosti za sve scenarije. Crveno - visoka podložnost, narančasto - umjerena podložnost, žuto - niska podložnost i zeleno - nije podložno na klizanje.

Scenarij	Težinske vrijednosti faktorskih karata (t_i)		Težinske vrijednosti dobivenih zona karte podložnosti (Q_k) i klasifikacija u zone podložnosti																
	Vrsta stijena i tala	Nagib padine																	
SC1	1	1	8	7	6	5	4	3	2	1	0	<0							
SC2	1	1	8	7	6	5	4	3	2	1	0	<0							
SC3	2	1	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	<0		
SC4	1	2	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	<0				
SC5	1	3	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	<0	

Prema scenarijima SC1 i SC2, vrijednosti faktorskih karata vrste stijena/tala i nagiba padine bile su jednake (1:1), a jedina razlika bila je u klasifikaciji vrijednosti podložnosti kako je prikazano u **tablici 4-4**. U scenariju SC3 dodijeljena je dvostruko veća težinska vrijednost faktorske karte vrste tla i stijena od karte nagiba padine (2:1). Suprotno tome, u scenariju SC4 pretpostavljena je dvostruko veća težinska vrijednost faktorske karte nagiba padine u odnosu na kartu vrsta stijena i tala (1:2). Prema scenariju SC5, težinska vrijednost karte nagiba padine bila je trostruko veća od karte vrsta stijena i tala (1:3). **Slika 4-4** prikazuje sve dobivene karte podložnosti na klizanje RH izrađenu prema svih pet opisanih scenarija.



Slika 4–4. Karte podložnosti na klizanje RH izrađene prema pet različitih scenarija opisanih u tablici 4-4.

5. VERIFIKACIJA MODELA

Verifikacija dobivenih karata podložnosti na klizanje rađena je usporedbom zona podložnosti s inventarom klizišta s OIGK (Čubrilović i dr. 1967). Pri tome je analizirana gustoća klizišta po zonama te udio ukupne površine zone podložnost u Republici Hrvatskoj. Skupni pregled dobivenih rezultata analize za sve zone podložnosti po svim scenarijima prikazan je u **tablici 5-1**.

Tablica 5–1. Rezultati analize verifikacije karata podložnosti na klizanje.

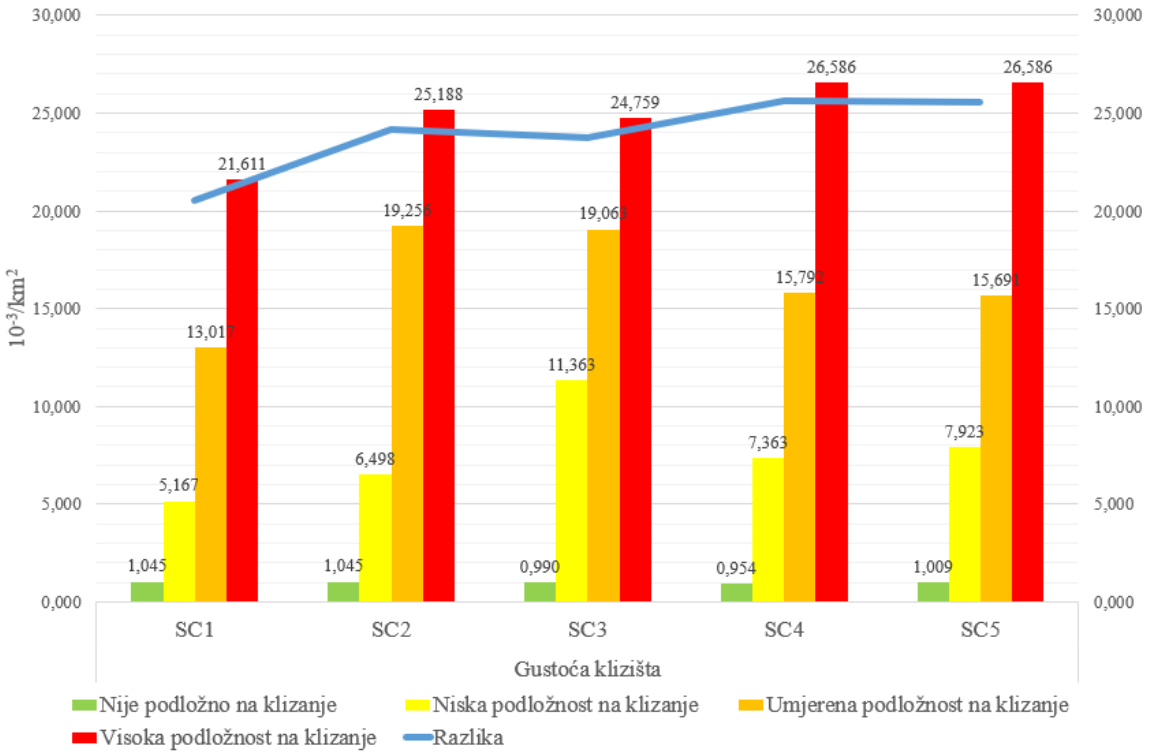
Scenarij		Zone podložnosti na klizanje			
		Nije podložno na klizanje	**Niska podložnost na klizanje**	**Umjerena podložnost na klizanje**	**Visoka podložnost na klizanje**
SC1	Udio klizišta (%)	18,19%	9,09%	22,31%	50,41%
	Površina zone (%)	74,98%	7,58%	7,39%	**10,05%**
	Gustoća klizišta (10^{-3}/km^2)	**1,045**	5,167	13,017	**21,611**
SC2	Klizišta (%)	18,19%	18,60%	35,54%	27,67%
	Površina (%)	74,98%	12,33%	7,95%	**4,74%**
	Gustoća klizišta (10^{-3}/km^2)	**1,045**	6,498	19,256	**25,188**
SC3	Klizišta (%)	18,19%	27,27%	27,27%	27,27%
	Površina (%)	78,83%	10,30%	6,14%	**4,73%**
	Gustoća klizišta (10^{-3}/km^2)	**0,990**	11,363	19,063	**24,759**
SC4	Klizišta (%)	16,53%	17,77%	36,77%	28,93%
	Površina (%)	74,83%	10,42%	10,05%	**4,70%**
	Gustoća klizišta (10^{-3}/km^2)	**0,954**	7,363	15,792	**26,586**
SC5	Klizišta (%)	17,77%	16,94%	36,36%	28,93%
	Površina (%)	76,07%	9,23%	10,01%	**4,70%**
	Gustoća klizišta (10^{-3}/km^2)	**1,009**	7,923	15,691	**26,586**

Osnovni pokazatelji koji su razmatrani prilikom verifikacije karata podložnosti prema različitim scenarijima bili su gustoća klizišta u zonama visoke podložnosti (crvene zone) i u zonama koje nisu podložne na klizanje (zelene zone). Gustoća klizišta u crvenim zonama trebala je biti što veća, a gustoća klizišta u zelenim zonama trebala je biti što manja. Također, bilo je poželjno da je udio zone visoke podložnosti na klizanje u Republici Hrvatskoj što niži.

Karta podložnosti prema scenariju SC1 imala je vrlo visok udio klizišta u zoni visoke podložnosti, ali je istovremeno površina ove zone iznosila 10,05% površine RH (**slika 4-3**, SC1). Reklasifikacijom s istim težinskim vrijednostima, ali različitom klasifikacijom zona (**tablica 4-4**) dobivena je karta prema scenariju SC2 (**slika 4-3**, SC2)

koja je dala bolje rezultate vidljive u povećanju gustoće klizišta u crvenoj zoni visoke podložnosti i smanjenju gustoće klizišta u zelenoj zoni koja nije podložna na klizanje. Potom su načinjene još dvije karte podložnosti u kojima je jedna od faktorskih karata imala dvostruko veću težinsku vrijednost (**tablica 4-4**). Bolje rezultate dala je karta podložnosti prema scenariju SC4 (**slika 4-3**, SC4) gdje faktorska karta nagiba padine ima veću težinsku vrijednost od faktorske karte vrste stijena i tala. Na karti prema scenariju SC3 (**slika 4-3**, SC3) manja je gustoća klizišta u zelenoj zoni, ali i u crvenoj, visoko podložnoj zoni. Budući da je dvostruko veća vrijednost nagiba padine dala bolje rezultate, provedena je još jedna analiza s trostruko većom težinskom vrijednosti faktorske karte nagiba padine (**slika 4-3**, SC5). Međutim, ona je dala identične, odnosno neznatno lošije rezultate u odnosu na kartu prema scenariju SC4.

Na **slici 5-1** prikazan je dijagram gustoća klizišta prema zonama podložnosti za sve načinjene scenarije. Prema njemu i **tablici 5-1** vidljivo je da karta podložnosti na klizanje izrađena prema scenariju SC4 i ona izrađena prema scenariju SC5 imaju najveće gustoće klizišta u visoko podložnoj, crvenoj zoni, dok najmanju gustoću klizišta u nepodložnoj, zelenoj zoni ima karta scenarija SC4.



Slika 5–1. Dijagram gustoća klizišta prema zonama podložnosti i razlike između gustoće visoko podložne (crvene) zone i zone koja nije podložna na klizanje (zelena) za sve načinjene scenarije.

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je izraditi kartu podložnosti na klizanje za područje Republike Hrvatske koja bi dala uvid u prostornu mogućnost pojave klizišta u Hrvatskoj. Za analizu su korišteni ulazni podaci o vrstama stijena i tala s Osnovne inženjerskogeološke karte mjerila 1:500 000 (Čubrilović i dr. 1967), digitalni model visina rezolucije 20 metara i karta pokrova zemljišta (Hrvatska agencija za okoliš i prirodu 2013). Karta podložnosti na klizanje izrađena je koristeći neizravnu heurističku metodu procjene podložnosti prema kojoj se svakoj od klasa faktorskih karata i samim faktorskim kartama iskustveno dodjeljuju težinske vrijednosti koje ukazuju na utjecaj određene klase i karte faktora na mogućnost pojave klizišta .

Dijagram toka modela koji prikazuje proces obrade i analize podataka te izrade karte prikazan je na **slici 4-1**. Osnovne ulazne podatke prvo je trebalo obraditi i pripremiti za proces analize. To je uključivalo digitalizaciju klizišta i inženjerskogeoloških jedinica s OIGK, reklasifikaciju digitalnog modela visina radi izrade faktorske karte nagiba padina te klasifikaciju karte pokrova zemljišta. Potom je svaka od faktorskih karata klasificirana prema procijenjenom utjecaju klasa na pojavu klizišta te je svakoj klasi dodijeljena određena težinska vrijednost (**tablice 4-1, 4-2 i 4-3**). To je načinjeno iskustveno, ali s obzirom na gustoću digitaliziranih klizišta u određenoj klasi koja je poslužila kao svojevrstan pokazatelj pri određivanju težinskih vrijednosti. Uslijedila je procjena težinskih vrijednosti dvije korištene faktorske karte (vrste stijena/tala i nagiba padine) i izrada karte podložnosti na klizanje. Karta je potom verificirana koristeći digitalizirani inventar klizišta s OIGK, a dodijeljene težinske vrijednosti su korigirane u svrhu dobivanja boljih rezultata verifikacije karte. Ukupno je napravljeno pet karata podložnosti na klizanje (**slika 4-4**) prema različitim scenarijima, svaki od kojih se razlikuje prema dodijeljenim težinskim vrijednostima faktorskih karata.

Prema dobivenim statističkim podacima (**tablica 5-1**) i kriterijima korištenim pri verifikaciji karte, zaključeno je kako karte podložnosti na klizanje izrađene prema scenarijima SC4 i SC5 imaju bolje rezultate od onih izrađenih prema ostalim scenarijima, ali su međusobno vrlo slične (**slika 4-4**). Obje karte (scenariji SC4 i SC5) imaju jednaku gustoću klizišta u visoko podložnoj, crvenoj zoni. Budući da karta prema scenariju SC4 ima nešto manju gustoću klizišta u nepodložnoj, zelenoj zoni i bolje udjele površina nisko i

umjereno podložne zone, zaključeno je kako je konačna karta podložnosti na klizanje ona izrađena prema scenariju SC4.

Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske mjerila 1:800 000 nalazi se kao **prilog 1** ovog rada. Prema njoj, područja visoke podložnosti na klizanje obuhvaćaju: središnji dio Dilj gore, zapadne obronke Psunja, dio Požeške gore, sjeverne obronke Papuka i Krndije, središnji dio Moslavačke gore, zapadni dio Međimurja, dijelove Kalničkog gorja, veći dio Ivanščice i hrvatskog zagorja, sjeverozapadne i jugoistočne obronke Medvednice, jugoistočni dio Žumberačko-samoborskog gorja, Vukomeričke gorice, sjeverne dijelove Zrinske gore kao i druga, manja, brežuljkasta područja Hrvatske. Zona umjerene podložnosti na klizanje obuhvaća istočne obronke Dilja i Krndije, južne obronke Papuka, dijelove Psunja i Požeške gore, veći dio Bilogore i Moslavačke gore, dijelove Ivanščice i Hrvatskog zagorja, središnji dio Medvednice, dijelove Žumberačko-samoborskog gorja, središnji dio Zrinske gore, zapadni dio Petrove gore, dijelove Korduna, središnji dio Istre, manje dijelove okolice Rijeke te na otocima Krku, Rabu i Pagu, dijelove Plješevice i Dinare, manje dijelove Ravnih kotara i dalmatinske zagore, padine Kozjaka, Mosora i Biokova te manje dijelove Srđa i Snježnice. Niska podložnost na klizanje zonirana je u središnjem dijelu Papuka i Psunja, na dijelovima Bilogore i Moslavačke gore, Medvednici, zapadnom dijelu Žumberačko-samoborskog gorja, južnim dijelovima Zrinske gore i središnjem prostoru Petrove gore, dijelovima Gorskog kotara i Kvarnera, manjim dijelovima Velebita, brežuljkasto-brdskom području Like, području Bukovice i manjim dijelovima Ravnih kotara i dalmatinske zagore.

Iz rezultata verifikacije vidljivo je kako su karte s dvostruko i trostruko većom težinskom vrijednosti nagiba padine dale bolje rezultate od onih gdje je težinska vrijednost faktorskih karata bila jednaka ili na strani faktorske karte vrste stijena/tala. Može se zaključiti kako je nagib padine važniji faktor u provedbi analize podložnosti na klizanje za područje Republike Hrvatske u sitnom mjerilu, a jedan od razloga za to je i nepostojanje pouzdane litološke karte Republike Hrvatske.

Budući da je ovo jedna od prvih karata podložnosti sitnog mjerila izrađena za područje cijele Republike Hrvatske, usporedba s kartama istog tipa i obuhvata nije bila moguća. Stoga je napravljena vizualna usporedba s europskom kartom podložnosti na klizanje - ELSUS (**slika 2-3**) (Wilde i dr. 2018) koja je za područje Hrvatske izrađena

koristeći iste vrste ulaznih, faktorskih karata. Već na prvi pogled jasno je kako su razlike među kartama velike. Razlog tomu je činjenica da ELSUS karta prikazuje podložnost na sve tipove klizanja (što uključuje odrone, prevrtanja i sl.) dok je karta podložnosti napravljena u sklopu ovog rada izrađena samo za procese klizanja. Također, budući da je zoniranje na ovakvim kartama relativno (zone su određene međusobnom usporedbom), zone podložnosti ELSUS karte načinjene na razini kontinenta su zasigurno u nesrazmjeru sa zonama podložnosti na razini države. Ipak, određena područja RH nalaze se u podudarnim zonama podložnosti prema obje karte. To su npr. područja slavonskih gora (Papuka, Psunja, Krndije i Požeške gore), Ivanščice, Kalničkog gorja i Medvednice u vrlo podložnoj zoni; područje unutrašnjosti Istre, Petrove gore, Zrinske gore u Banovini i Bukovice u umjereno podložnoj zoni te ravničarska područja (Slavonija), područja oko velikih nizinskih rijeka i krške zaravni u zoni nepodložnoj na klizanje. Veći dio primorske Hrvatske tj. Hrvatske izgrađene primarno od okršenih karbonatnih naslaga nije podudarno zoniran na ove dvije karte zbog toga što su u karbonatnim naslagama puno učestaliji procesi odroni i prevrtanja od procesa klizanja.

Nedostatak primijenjene metode je prvenstveno velika subjektivnost u određivanju ključnih parametara analize (težinske vrijednosti faktorskih karata i klasa te određivanje zona podložnosti) što za posljedicu može imati i velike varijacije u dobivenim kartama podložnosti. S druge strane, velika prednost metode jest što su sve vrijednosti promjenjive, a analiza relativno brza za provesti pa se korekcijama varijabli i ponavljanjem analize u nekoliko iteracija može doći do kvalitetnih rezultata što je u ovom radu i napravljeno. Pri tome je presudno iskustvo stručnjaka koji subjektivno definira kriterije analize i prikaza rezultata procjene podložnosti.

Najveći utjecaj na model podložnosti zasigurno ima kvaliteta ulaznih podataka. Iako su za potrebe ovog rada, a s obzirom na mjerilo i svrhu karte, ulazni podaci bili zadovoljavajući (u pogledu broja i kvalitete), za preciznije karte podložnosti na klizanje zasigurno bi trebalo koristiti kvalitetnije ulazne podatke. To se prvenstveno odnosi na podatke inventara klizišta i litologije odnosno inženjerskogeoloških jedinica koji su u ovom radu digitalizirani s 50 godina stare inženjerskogeološke karte. To nipošto ne znači da su korišteni ulazni podaci netočni već samo ukazuje na potrebu izrade ažurnijeg inventara klizišta i kvalitetnijih, široko dostupnih podataka o vrstama stijena i tala na području RH.

Karta podložnosti na klizanje (**prilog 1**) izrađena u sklopu ovog rada predstavlja mali doprinos problematici procjene i predviđanja pojave klizišta. Kartirane zone podložnosti mogu biti osnova za daljnja istraživanja ili ih je moguće praktično primijeniti za dobivanje osnovnih informacija o opasnosti od klizišta za lokalnu, regionalnu i nacionalnu uprave iz domene gradnje, prostornog planiranja, civilne zaštite i zaštite okoliša (vezano za klimatske promjene).

7. LITERATURA

Bernat Gazibara S., Krkač M., Sečanj M., Mihalić Arbanas S., 2017. Identification and mapping of shallow landslides in the City of Zagreb (Croatia) using the LiDAR-based terrain model. U: Mikoš M., Tiwari B., Yin Y., Sassa K. (eds.): Advancing Culture of Living with Landslides. Cham, Switzerland, Springer, str. 1093-1100.

Corominas, J., Mavrouli, O., 2011. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk assessment and zoning. Deliverable D2.4. SafeLand (Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies).

Corominas, J., Van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.-P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Der Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M.G., Pastor, M., 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, 73(2), str. 209-263.

Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43(1), str. 27-29.

Čubrilović, P., Palavestrić, Lj., Nikolić, T., Ćirić, B., 1967. Inženjerskogeološka karta SFR Jugoslavije. Beograd: Savezni geološki zavod

Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, 2013. CORINE land cover Hrvatska. Karta pokrova zemljišta mjerila 1:1.000.000 za 2012. godinu. Zagreb: Hrvatska agencija za okoliš i prirodu.

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geoomorphology, 31(1-4), str. 181-216.

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A., 2000. Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy. Evironmental Management, 25(3), str. 247-363.

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.

Mihalić, S., 1998. Recommendations for landslide hazard and risk mapping in Croatia. Geologia Croatica, 51(2), str. 195–204.

Mihalić, S., 2007. Osnove inženjerske geologije. Interna skripta RGN fakulteta. Zagreb: RGN fakultet.

Mihalić, S., Oštrić, M., Vujnović, T., 2008. Landslide susceptibility mapping in the Starca Basin (Croatia, Europe). 2nd European Conference of International Association for Engineering Geology (EUROENGEO). Madrid.

Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Bernat, S., Krkač, M., Kalinić, P., Martinović, K., Fabris, N., Sajko, J., Antolović, A., 2013. Upravljanje kriznim situacijama uslijed pokretanja klizišta. Zbornik radova V. konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa. Zagreb: Državna uprava za zaštitu i spašavanje, str. 151-164.

Mihalić, S., Bernat Gazibara, S., 2015. Inženjerskogeološko kartiranje. Interna skripta RGN fakulteta, Zagreb: RGN fakultet.

Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., Bernat, S., 2016. Application of advanced technologies in landslide research in the area of the City of Zagreb (Croatia, Europe). Geologia Croatica, 69(2), str. 231-243.

Polak, K., Klemar, M., Nejkova, M., Radošević, N., Stepan, Z., Miroslav, M., Kritanić, Z., 1979. Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba. Zagreb: Geotehnika Geoexpert, str. 107.

Soeters, R., Van Westen, C.J., 1996. Slope Instability. Recognition, analysis and zonation. U: Landslide: Investigations and Mitigation. National Academy Press, Washington, D.C., str. 12-35.

Van Westen, C.J., 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Engineering geology, 102(3-4), str. 112-131.

Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Darantiere, Pariz: UNESCO Press.

Wilde, M., Günther, A., Reichenbach, P., Malet, J.-P., Hervás, J., 2018. Pan-European landslide susceptibility mapping: ELSUS Version 2. Journal of Maps, 14(2): 97-104 i pripadajuća karta.

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1990. A suggested method for reporting a landslide. Bull Inter Assoc Eng Geol, 41, str. 5–12.

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1991. A suggested method for a landslide summary. Bull Intern Assoc Eng Geol , 43, str. 101–110.

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1993a. A suggested method for describing the activity of a landslide. Bull Intern Assoc Eng Geol, 47, str. 53–57.

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

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1994. A suggested method for describing the causes of a landslide. Bull Intern Assoc Eng Geol, 50, str. 71–74.

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bull Inter Assoc Eng Geol, 52, str. 75–78.

300000 400000 500000 600000 700000 800000

5100000 5000000 4900000 4800000 4700000

0 12,5 25 50 75 100 km

Legenda

- administrativne granice županija
- klizišta vektorizirana s OIGK SFRJ 1:500.000 (Čubrilović i dr. 1967)
- nije podložno na klizanje
- niska podložnost na klizanje
- umjerena podložnost na klizanje
- visoka podložnost na klizanje

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

KARTA PODLOŽNOSTI NA KLIZANJE REPUBLIKE HRVATSKE
Diplomski rad

Mentor	Izradio		
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas	**Marko Erak**		
Datum **rujan, 2018.**	Mjerilo **1:800 000**	Prilog br. **1**	