

Smjernice za izradu karata klizišta u Republici Hrvatskoj



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET



Sveučilište
u Rijeci
Građevinski
fakultet

Smjernice za izradu karata klizišta u Republici Hrvatskoj

Sanja Bernat Gazibara, Marko Sinčić, Martin Krkač,
Petra Jagodnik, Snježana Mihalić Arbanas

2023

Autorsko pravo ©2023. Sva prava pridržana

Ova publikacija i popratne informacije dostupne su na web stranici projekta LandSlidePlan (www.landslideplan.eu)

Preporučeno citiranje

Bernat Gazibara, S., Sinčić, M., Krkač, M., Jagodnik, P., Mihalić Arbanas, S. (2023):
Smjernice za izradu karata klizišta u Republici Hrvatskoj. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 69 str.

Publikacije projekta LandSlidePlan objavljene su u izvornom obliku, bez recenzije.

Projekt je financirala Hrvatska zaklada za znanost



LAND
SLIDE
PLAN



HRZZ

Smjernice za izradu karata klizišta u Republici Hrvatskoj

Ove Smjernice izrađene su kao rezultat znanstvenog projekta pod naslovom 'Razvoj metodologije procjene podložnosti na klizanje za planiranje namjene zemljišta primjenom LiDAR tehnologije' (HRZZ IP-2019-04-9900) kojega je financirala Hrvatska zaklada za znanost.

Publikacija je također dostupna na web stranici projekta www.landslideplan.eu.

KORISNIK:
Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

PARTNER:
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

TRAJANJE:
1. siječnja 2020. do 31. prosinca 2023.

AUTORI SMJERNICA:
doc. dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, mag. ing. geol.
Marko Sinčić, mag. ing. geol.
izv. prof. dr. sc. Martin Krkač, dipl. ing. geol.
doc. dr. sc. Petra Jagodnik, dipl. ing. geol.
prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, dipl. ing. geol.

SURADNICI:
Hrvoje Lukačić, mag. ing. geol., mag. ing. min.
prof. dr. sc. Željko Arbanas, dipl. ing. građ.

Smjernice su izradili istraživači HRZZ projekta LandSlidePlan s dugogodišnjim iskustvom u znanstvenim istraživanjima klizišta.

Stavovi i zaključci sadržani u Smjernicama djelo su autora dokumenta.

SADRŽAJ

PREDGOVOR

1	UVOD	1
2	PREGLED OSNOVNE TERMINOLOGIJE O KLIZIŠTIMA	4
3	PODJELA KARATA KLIZIŠTA	6
3.1	Karte inventara klizišta	6
3.2	Karte zoniranja podložnosti na klizanje	8
4	PREPORUKE ZA IZRADU KARATA KLIZIŠTA NA LOKALNOJ RAZINI	14
4.1	Izrada karata inventara klizišta u krupnom mjerilu	14
4.2	Izrada karata zoniranja podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu	15
5	PRIMJERI KARATA KLIZIŠTA IZRAĐENIH U OKVIRU HRZZ PROJEKTA LandSlidePlan	20
5.1	Karte inventara klizišta M 1:2.000	20
5.1.1	Karta inventara klizišta dijela podsljemenske zone Grada Zagreba M 1:2.000	22
5.1.2	Karta inventara klizišta dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja M 1:2.000	22
5.1.3	Karta inventara klizišta dijela Grada Buzeta M 1:2.000	22
5.2	Karte zoniranja podložnosti na klizanje M 1:5.000	21
5.2.1	Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela podsljemenske zone Grada Zagreba M 1:5.000	22
5.2.2	Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja M 1:5.000	22
5.2.3	Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Buzeta M 1:5.000	22
6	PRIMJENA KARATA KLIZIŠTA U PROSTORNOM PLANIRANJU	20
6.1	Mogućnosti primjene ovisno o mjerilu karte klizišta	20
6.2	Primjena karata zoniranja podložnosti na klizanje M1:25.000 u prostornom planiranju	20
6.3	Primjena karata zoniranja podložnosti na klizanje M1:5.000 u prostornom planiranju	20
6.4	Ostale primjene karata klizišta krupnog mjerila	20



1. UVOD

U vrijeme klimatskih promjena, preduvjet za održivo upravljanje prostorom je poznavanje svih vrsta geohazardnih procesa i njihove prostorne raspodjele na nekom području, odnosno sustavno evidentiranje pojava koje nastaju kao posljedica ovih procesa. Istraživanje klizišta za potrebe izrade karata klizišta i procjena opasnosti od klizanja u domeni je geoznanosti, a konačni rezultati su karte s podacima o postojećim klizištima i prognostičke karte s informacijama o potencijalnoj opasnosti koje daju informacije za širok spektar korisnika, najčešće iz domene prostornog uređenja. Smanjenje posljedica od rizika klizanja moguće je izradom različitih vrsta karata klizišta koje bi se koristile prilikom izrade prostornih planova za planiranje namjene zemljišta i druge namjene, kao i prilikom prostornih planova za potrebe izdavanja dozvola i definiranje uvjeta gradnje (Mihalić Arbanas et al., 2023).

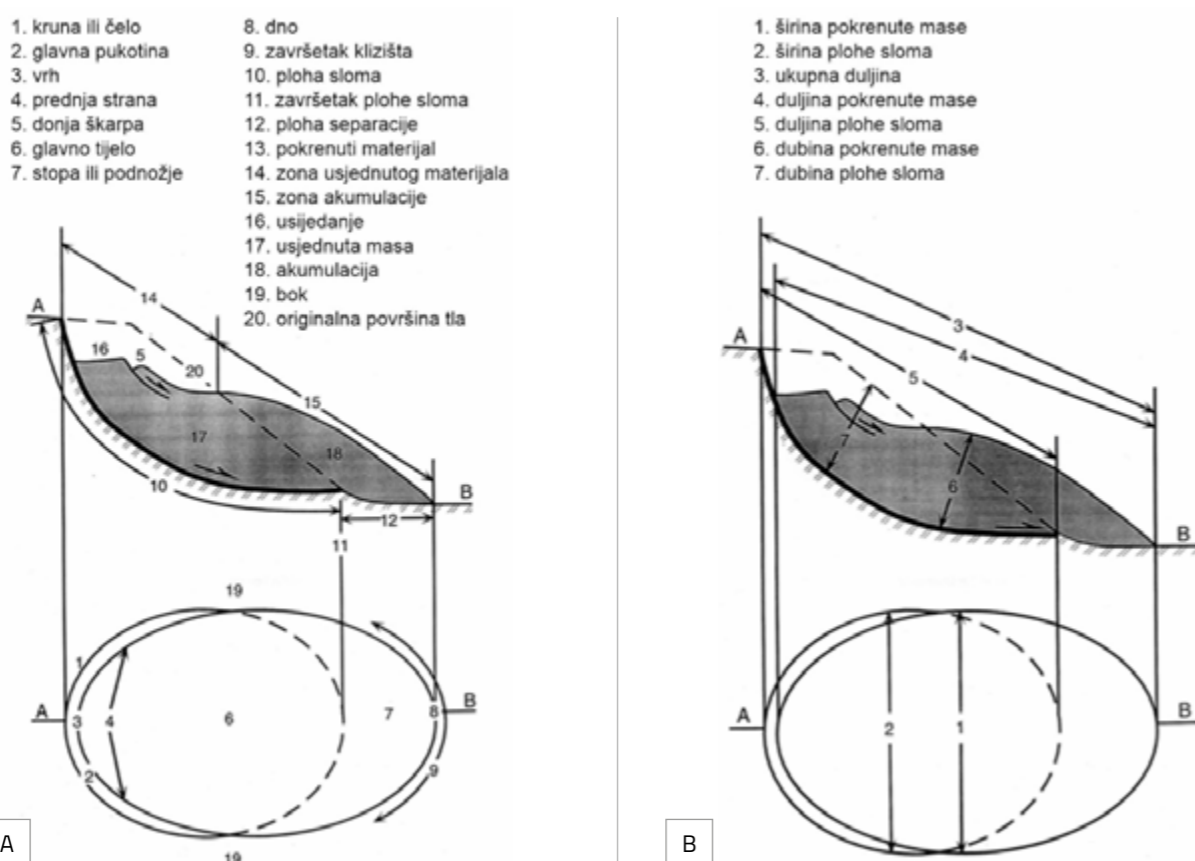
Ove Smjernice izrađene su u okviru znanstvenog projekta *Razvoj metodologije procjene podložnosti na klizanje za planiranje namjene zemljišta primjenom LiDAR tehnologije – LandSlidePlan* (HRZZ IP-2019-04-9900) Hrvatske zaklade za znanost. Istraživanje u okviru LandSlidePlan projekta bavilo se novim i nedovoljno istraženim pojavama u pogledu kartiranja malih i plitkih klizišta te je predstavljalo inovativni pristup znanstvenim istraživanjima procjene podložnosti na klizanje primjenom LiDAR (engl. Light Detection and Ranging) tehnologije za prikupljanje ulaznih podataka. Tri su glavna znanstvena cilja projekta: (i) **Land** – izraditi optimalni digitalni model terena bez vegetacije koji odražava morfologiju klizišta, te održava razliku između dijelova terena zahvaćenih klizanjem i dijelova terena bez klizišta, a koji mogu utjecati na namjenu zemljišta; (ii) **Slide** – izraditi pouzdanu kartu podložnosti na klizanje s najboljim prikazom područja podložnih na klizanje i područja s niskom vjerojatnosti pojave klizišta primjenom znanstvenih metoda na reprezentativnim područjima u Republici Hrvatskoj sa specifičnim inženjerskogeološkim uvjetima koji uvjetuju pojavu klizišta; **Plan** – izraditi karte koje prikazuju informacije o klizištima prema potrebama sustava prostornog uređenja u Hrvatskoj (posebice planiranje namjene zemljišta), a obuhvaćaju lokalnu i regionalnu razinu te su usklađene na nacionalnoj razini.

U svijetu znanosti, postoji veliki broj objavljenih radova koji se bavi različitim aspektima istraživanja i kartiranja klizišta ili modeliranja podložnosti na klizanje, međutim vrlo mali broj tih radova se fokusira na razvoj metodologije izrade karata koje će biti primijenjene u prostornom planiranju, gradnji ili civilnoj zaštiti. Smjernice za izradu karata klizišta u Republici Hrvatskoj osmišljene su kao alat koji upoznaje buduće izrađivače karata klizišta s preporukama temeljenim na pregledu postojeće literature, kao i zaključcima koji su proizašli iz znanstvenih istraživanja na projektu LandSlidePlan. Smjernice sadrže definicije osnovnih pojmova i terminologiju vezanu za klizišta, opise vrsta karata klizišta i razina zoniranja opasnosti od klizišta, preporuke za izradu karata inventara klizišta i karata zoniranja podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu te preporuke o primjeni karata klizišta u sustavu upravljanja prostorom, s težištem na prostornom planiranju i gradnji (izrada i provedba prostornih planova). Preporuke se prvenstveno temelje na znanju i iskustvu stečenom primjenom inovativnih tehnologija u istraživanju, kao i na postojećim ograničenjima u dostupnosti prostornih podataka u Hrvatskoj (ograničena količina geoloških i topografskih podataka) te potrebi za cjelovitim rješenjima u sustavu prostornog uređenja Republike Hrvatske, sukladno s globalnim i europskim zahtjevima za održivi razvoj te sigurnost i zaštitu ljudi i okoliša. Znanstveni i praktični cilj istraživanja bio je razvoj metodologije za procjenu podložnosti na klizanje korištenjem LiDAR tehnologije s obzirom na različite karakteristične okoliše u Republici Hrvatskoj s obzirom na prevladavajuće tipove klizanja u njima. U Smjernicama su prikazani i ogledni primjeri karata klizišta izrađeni za tri pilot područja karakterističnih geoloških građa i stupnja urbanizacije: (i) pilot područje (21 km²) u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba (kvartarne i neogenske naslage; visoki stupanj urbanizacije); (ii) pilot područje (20 km²) u Hrvatskom Zagorju, na području Grada Lepoglave i Općine Bednja (kvartarne i neogenske naslage; niski stupanj urbanizacije); (iii) pilot područje (20 km²) u Istri, na području Grada Buzeta (eocenski fliš; srednji stupanj urbanizacije).

2. PREGLED OSNOVNE TERMINOLOGIJE O KLIZIŠTIMA

Prema Cruden (1991), klizanje je proces gibanja mase stijene ili tla niz padinu pod utjecajem gravitacije, a pojava koja pri tome nastaje naziva se klizište. Klizišta su najčešće aktivirana prirodnim uzročnicima, poput intenzivnih oborina ili potresa, ali mogu nastati i kao posljedica ljudskih aktivnosti, odnosno građenja, poljoprivrednih radova te nekontroliranog uklanjanja vegetacijskog pokrova.

Cruden (1991) razlikuje pet osnovnih mehanizama gravitacijskog gibanja, a to su klizanje (u užem smislu), tečenje, odronjavanje, prevrtanje i razmicanje (Varnes, 1978; Cruden & Varnes, 1996; Hungr et al., 2001; Hungr et al., 2014). U Republici Hrvatskoj, najčešći tipovi klizišta nastaju klizanjem i tečenjem u tlu i mekoj stijeni, te odronjavanjem i prevrtanjem u stijenskoj masi. U ovim Smjernicama razmatraju se klizišta nastala mehanizmima klizanja i tečenja, odnosno kombinacijom ovih dvaju mehanizama gibanja. Nomenklaturu za klasifikaciju tipova klizišta definirao je Varnes (1978), a temelji se na različitim mehanizmima gibanja i vrstama materijala.



Slika 2.1 Terminologija vezana za opis klizišta (WP/WLI, 1993b): (A) dijelovi klizišta; (B) dimenzije klizišta.

Dopunu Varnesove klasifikacije klizišta objavili su Hungr et al. (2014). UNESCO-va radna skupina Međunarodnog udruženja geotehničara, (International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) izdala je seriju preporučenih metoda za potrebe izrade Svjetskog inventara klizišta (WP/WLI 1990, 1991, 1993a, 1993b, 1994, 1995) u kojima definiraju metodologiju za izradu izvješća o klizištima, te opis uzroka klizanja, aktivnosti klizišta i brzine gibanja.

Gibanje klizišta na padini rezultira stvaranjem zone usjedanja, koja predstavlja hipsometrijski niže područje klizišta u odnosu na originalnu površinu terena, te nastankom zone akumulacije, odnosno područja klizišta izdignuto u odnosu na originalnu površinu terena. Glavni elementi klizišta su glavna pukotina, bokovi i stopa klizišta, kojima je ujedno definirana i granica klizišta na površini terena, te ploha sloma, odnosno klizna ploha, koja predstavlja granicu između pokrenutog i nepokrenutog materijala u podzemlju. Svi elementi klizišta prikazani su na slici 2.1a, a

dimenzije klizište na slici 2.1b. Vrlo često se klizišta prilikom opisanja klasificiraju prema dubini, površini i volumenu klizišta, a terminologija za opis navedenih značajki dana je u tablici 2.1.

Tablica 2.1 Terminologija za opis klizišta s obzirom na dubinu, površinu i volumen klizišta.

Klasifikacija klizišta s obzirom na dubinu do klizne plohe (IPL, 2013)		
klasa	dubina klizišta	Opis
1	< 1 m	površinsko
2	1-5 m	plitko
3	5-20 m	srednje plitko
4	20-50 m	srednje duboko
5	50-100 m	duboko
6	100-500 m	vrlo duboko
7	>500 m	ekstremno duboko

Klasifikacija klizišta s obzirom na površinu (van Schalkwayk i Thomas, 1991)		
klasa	površina klizišta	Opis
1	0,01 – 101 m ²	vrlo mala
2	101-103 m ²	mala
3	103-105 m ²	srednje veliko
4	105-106 m ²	veliko
5	> 106 m ²	vrlo veliko

Klasifikacija klizišta s obzirom na volumen klizišta (IPL, 2013)		
klasa	dubina klizišta	Opis
1	< 103 m ³	vrlo mali
2	103-104 m ³	mali
3	104-105 m ³	umjereno mali
4	105-106 m ³	mjereno velik
5	106-107 m ³	velik
6	107-108 m ³	vrlo velik
7	> 108 m ³	ekstremno velik

Pod pojmom aktivnosti klizišta (tablica 2.4) (WP/WLI, 1993a) podrazumijevaju se: (i) stanje aktivnosti klizišta, koje je definirano vremenom gibanja; (ii) distribucija aktivnosti klizišta, koja je definirana smjerom gibanja; te (iii) stil aktivnosti klizišta, koji je definiran načinom gibanja klizišta, i to ovisno o vremenskoj i prostornoj kombinaciji mehanizama gibanja.

Tablica 2.4 Aktivnost klizišta (WP/WLI, 1993a).

stanje aktivnosti		
br.	naziv	opis
1	aktivno	klizište u pokretu.
2	trenutačno neaktivno	klizište koje trenutačno miruje, ali se gibalo u posljednjih 12 mjeseci
3	reaktivirano	aktivno klizište koje je prethodno bilo neaktivno.
4	privremeno umireno	klizište koje se nije gibalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se može reaktivirati iz istih ili nekih drugih uzroka
5	trajno umireno	neaktivno klizište koje više nije pod utjecajem uzročnika klizanja
6	stabilizirano	neaktivno klizište stabilizirano mjerama sanacije
7	reliktno	neaktivno klizište, koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju

Nastavak tablice 2.4

stil aktivnosti		
br.	naziv	opis
1	progresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru gibanja pokrenutog materijala
2	retrogresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru suprotnom od smjera gibanja pokrenutog materijala
3	povećavajuće	ploha sloma se proširuje u dva ili više smjerova
4	umanjujuće	volumen pokrenutog materijala se smanjuje
5	ograničeno	izostaje vidljiva ploha sloma; prisutan je samo ožiljak vidljiv u gornjem dijelu pokrenute mase
6	krećuće	pokrenuti materijal se kontinuirano giba bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala
7	proširujuće	ploha sloma se proširuje u zoni jednog ili oba boka klizišta

stil aktivnosti		
br.	naziv	opis
1	progresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru gibanja pokrenutog materijala
2	retrogresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru suprotnom od smjera gibanja pokrenutog materijala
3	povećavajuće	ploha sloma se proširuje u dva ili više smjerova
4	umanjujuće	volumen pokrenutog materijala se smanjuje
5	ograničeno	izostaje vidljiva ploha sloma; prisutan je samo ožiljak vidljiv u gornjem dijelu pokrenute mase

Varnesova klasifikacija klizišta (Varnes, 1978) je najšire korišteni klasifikacijski sustav za određivanje tipova klizišta (Cruden i Varnes, 1996; Hungr et al., 2014). Zasniva se na dva kriterija: (i) mehanizmu gibanja, i (ii) vrsti pokrenutog materijala. U engleskom govornom području, naziv klizišta prema Varnesovoj klasifikaciji (Varnes, 1978) sastoji se od dvije riječi, pri čemu prva riječ u nazivu klizišta označava vrstu pokrenutog materijala, a druga riječ označava mehanizam gibanja (Cruden i Varnes, 1996). U klasifikaciji se razlikuje pet osnovnih mehanizama gibanja, dok se u šesti tip svrstava tzv. kompleksno gibanje (engl. complex slope movements) koje predstavlja kombinaciju dvaju ili više mehanizama gibanja. Varnes (1978) pokrenuti materijal opisuje kao stijenu ili tlo. Stijena (engl. rock) predstavlja čvrstu ili tvrdnu masu koja je "intaktna" prije pokretanja određenim mehanizmom. Tlo (engl. soil) predstavlja rahlu, nekonsolidiranu ili slabo vezanu nakupinu čvrstih mineralnih čestica ili odlomaka stijena, a razlikuju se rezidualno i transportirano tlo. Materijal tla Varnes (1978) dijeli na "zemlju" (engl. earth) i debrist (engl. debris). Pod nazivom "zemlja" pretežno se podrazumijeva sitnozrnasto tlo, odnosno tlo koje je sastavljeno od 80 % ili više čestica dimenzija manjih od 2 mm. Pod nazivom debrist pretežno se podrazumijeva krupnozrnasto tlo koje je sastavljeno od 80% ili više čestica dimenzija većih od 2 mm.

Uzročnici klizanja se mogu klasificirati na preduvjete klizanja, koji padinu čine podložnom na klizanje, odnosno dovode padinu u stanje granične ravnoteže, i pokretače klizanja, koji padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje, odnosno iniciraju gibanje klizišta. Gibanje klizišta najčešće pokreće samo jedan proces, a predisponirano je brojnim preduvjetima i procesima (tablica 2.5). Klizanje mogu pokrenuti intenzivne i/ili dugotrajne oborine ili naglo otapanje snijega koji uzrokuju saturaciju padine i povišenje razine podzemne vode, naglo sniženje razine vode u vodotocima nakon poplava, podizanje razine vode u akumulacijama, ili erozija padine uzrokovana porastom razine vode u vodotocima i jezerima. Osim navedenih fizičkih procesa, klizanje mogu inicirati i potresi. U posljednjih nekoliko desetljeća, osobito u urbanim sredinama, mnoga klizišta su posljedica antropogenih aktivnosti, kao što su: iskopi na padini ili u njezinoj nožici, opterećenje padine ili njezinih vršnih dijelova, loše održavanje drenažnih sustava, procjeđivanje iz komunalne infrastrukture (npr. kanalizacije, vodovoda), odstranjivanje vegetacije (odšumljavanje), odlagališta rahlog otpada te umjetne vibracije (zbog prometa, teških strojeva itd.).

Tablica 2.5 Terminologija za opis klizišta s obzirom na dubinu, površinu i volumen klizišta.

1. UVJETI NA PADINI (značajke stijena/tala)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ materijali visoke plastičnosti ▪ senzitivni materijali ▪ kolapsibilni materijali ▪ trošni materijali ▪ smicani materijali ▪ raspucani materijali ▪ masa s nepovoljno orijentiranim diskontinuitetima (uključivo slojevitost, škrljavost, klivaž) ▪ masa s nepovoljno orijentiranim diskontinuitetima (uključivo rasjedi, zone smicanja, geol. granice) ▪ izmjena slojeva različite propusnosti i njihov utjecaj na razinu podzemne vode ▪ izmjena slojeva različite krutosti (kruti, zbijeni materijali na plastičnim materijalima)
2. GEOMORFOLOŠKI PROCESI
<ul style="list-style-type: none"> ▪ tektonsko izdizanje ▪ vulkansko izdizanje ▪ glacijalni procesi ▪ fluvijalna erozija u nožičnom dijelu padine ▪ erozija valova u nožičnom dijelu padine ▪ glacijalna erozija u nožičnom dijelu padine ▪ erozija bočnih rubova ▪ podzemna erozija (otapanje, ispiranje čestica) ▪ opterećenje vrha padine taloženjem sedimenata ▪ odstranjivanje vegetacije (erozijom, požarom, sušom)
3. FIZIČKI PROCESI
<ul style="list-style-type: none"> ▪ intenzivna kratkotrajna oborina ▪ brzo otapanje debelog snježnog pokrivača ▪ dugotrajna visoka oborina ▪ poplave, plima, vodni valovi ▪ potres ▪ vulkanska erupcija ▪ prodiranje vode slamanjem obala jezera u kraterima ▪ otapanje permafrosta ▪ trošenje uslijed smrzavanja i otapanja ▪ trošenje ekspandirajućih materijala stezanjem i bubrenjem
4. ANTROPOGENI PROCESI
<ul style="list-style-type: none"> ▪ iskopi na padini ili u njezinoj nožici ▪ opterećenje padine ili njezinih vršnih dijelova ▪ punjenje vodom (rezervoara) ▪ navodnjavanje ▪ loše održavanje drenažnih sustava ▪ procjeđivanje iz komunalne infrastrukture (npr. kanalizacije, vodovoda) ▪ odstranjivanje vegetacije (odšumljavanje) ▪ rudarenje i površinska eksploatacija ▪ odlagališta rahlog otpada ▪ umjetne vibracije (uslijed prometa, teških strojeva itd.)

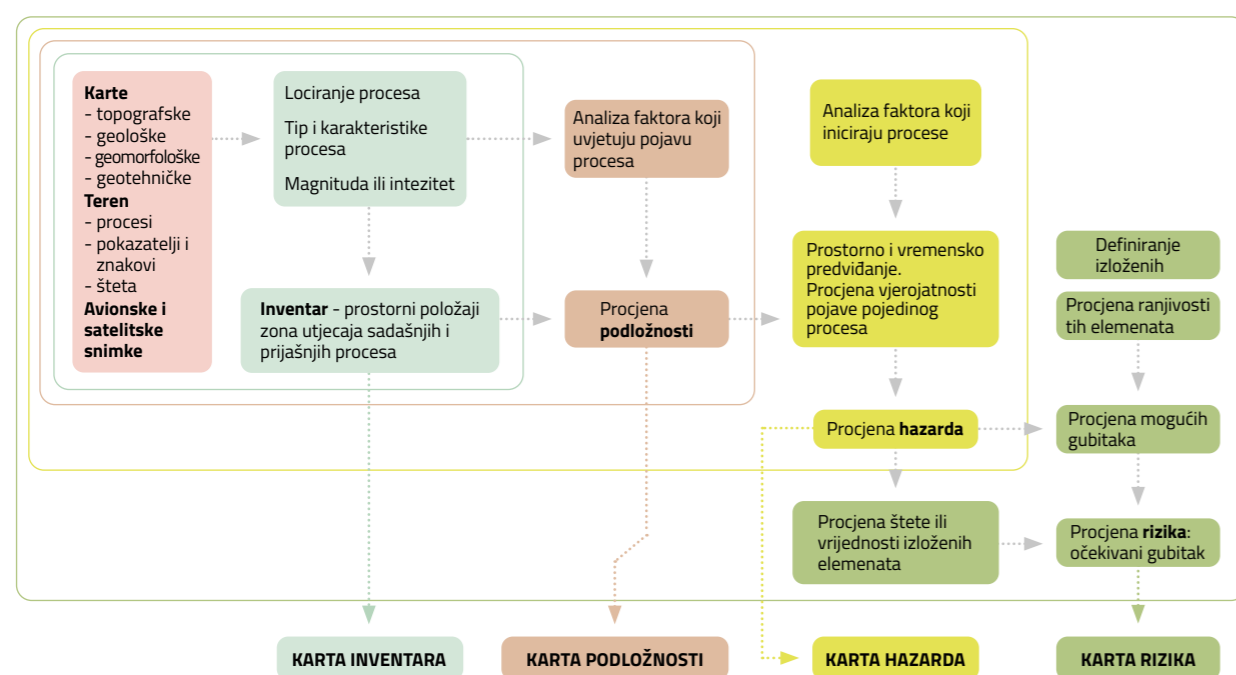
3. PODJELA KARATA KLIZIŠTA

Prema Guzzetti et al. (2000), karte klizišta se mogu podijeliti u tri skupine: (i) inventari klizišta (engl. landslide inventory map); (ii) karte gustoće klizišta (engl. landslide density maps); i (iii) karte hazarda klizanja (engl. landslide hazard maps). Karte inventara klizišta prikazuju područja na kojima su se dogodili procesi klizanja i tečenja u prošlosti do danas. Karte gustoće klizišta prikazuju prostornu distribuciju postojećih klizišta, a karte hazarda su prognostičke karte koje prikazuju stupanj podložnosti, hazarda ili rizika od klizanja na nekom području. U tablici 3.1 dan je prikaz različitih vrsta karata klizišta prema Gonzalez de Vallejo & Ferrer (2011), u kojoj je svaka od navedenih karta dobivena na temelju podataka prikazanih na prethodnoj karti i dodatnih podataka na kojima je provedena analiza, iz čega proizlazi da je karta podložnosti na klizanje preduvjet za kartu hazarda klizanja.

Metodologija izrade karata podložnosti, hazarda i rizika (prema Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011) prikazana je na slici 3.1. Procjena podložnosti na klizanje podrazumijeva kvalitativnu ili kvantitativnu procjenu prostorne vjerojatnosti pojave klizišta. Procjena hazarda klizanja predstavlja zoniranje terena s obzirom na prostornu vjerojatnost pojave klizišta određenog tipa, volumena, veličine i intenziteta u određenom vremenskom razdoblju. Analiza rizika klizišta podrazumijeva procjenu hazarda klizanja i tečenja za pojedince, populaciju, infrastrukturu, okoliš ili drugo (tzv. elementi pod rizikom) i ocjenu rizika (Fell et al., 2008). Analiza rizika stoga se sastoji se od analize hazarda, analize posljedica, ocjene rizika i vrednovanja rizika (Mihalić Arbanas et al., 2019).

Tablica 3.1 Vrste i sadržaj karata hazarda (prema Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011)

vrsta karte	sadržaj	metodologija
karta inventara	Prostorni položaj ili zona utjecaja sadašnjih i prijašnjih procesa. Karakteristika procesa (tip, veličina, brzina, intenzitet, i sl.).	Prikupljanje podataka (dokumenti, karte, avionske snimke, terensko istraživanje). Pregled tipova procesa i njihovih svojstava.
karta podložnosti	Područja s različitim stupnjem podložnosti na pojavu nekog geodinamičkog procesa.	Analiza procesa. Analiza faktora koji utječu na pojavu procesa. Analiza kombinacija faktora.
karta hazarda	Područja s različitim stupnjem hazarda.	Analiza inicijatora klizanja. Predviđanje "kada" i "gdje" će se pojaviti proces.
karta ranjivosti	Određivanje elemenata ili područja sa različitim stupnjem ranjivosti.	Određivanje elementa izloženih hazardu. Procjena njihove ranjivosti.
karta rizika	Zoniranje područja na temelju stupnja rizika.	Procjena gubitaka od pojedinog procesa.



Slika 3.1 Metodologija za izradu karata podložnosti, hazarda i rizika (prema Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011)

3.1 Karte inventara klizišta

Klizišta su najčešće izolirane pojave u reljefu, koje ne moraju biti velike površinom, ali se mogu pojaviti u velikome broju na nekom području, tj. imati visoku gustoću. Za razliku od drugih geohazarada, kao što su potresi i poplave, izrada karata inventara klizišta iziskuje zahtjevan postupak kartiranja. Prema Highland i Bobrowsky (2008), inventari klizišta mogu biti: (i) jednostavni, ukoliko prikazuju samo prostorni položaj klizišta pri čemu je lokacija klizišta prikazana točkom na glavnoj pukotini ili u centru klizišta, ili kao granica klizišta na površini terena; (ii) detaljni, gdje je svakom klizištu iscertana posebno zona usijedanja i zona akumulacije, te je za svako klizišta opisan tip pokreta, aktivnost, brzina gibanja, geološka starost naslaga, dubina klizanja i materijali koji su zahvaćeni klizanjem.

Karte inventara klizišta klasificiraju se s obzirom na mjerilo i metodu kartiranja (Guzzetti et al., 2000; Galli et al., 2008). Inventari sitnog mjerila, tzv. sinoptički inventari (> 1:200.000) izrađuju se na temelju podataka o klizištima dobivenih iz stručne i znanstvene literature, javnih ustanova, novina, tehničke dokumentacije ili intervjuiranjem stručnjaka za klizišta (Reichenbach et al., 1998; Salvati et al., 2009), iako postoje i primjeri inventara klizišta sitnog mjerila izrađenih vizualnom interpretacijom avionskih snimaka (Cardinali et al., 1990). Inventari srednjeg mjerila (1:25.000-1:200.000) najčešće se izrađuju interpretacijom avionskih snimaka mjerila 1:60.000 do 1:10.000, korištenjem povijesnih podataka i terenskom provjerama (Cardinali et al., 2001; Duman et al., 2005). Inventari krupnog mjerila (< 1:25.000) izrađuju se najčešće za manja područja interpretacijom avionskih snimaka mjerila 1:20.000 ili krupnijih, satelitskih snimaka ili digitalnih modela terena visoke rezolucije, te opsežnim terenskim kartiranjem (Van Den Eeckhaut et al., 2007; Fiorucci et al., 2011).

S obzirom na metodu identifikacije i kartiranja klizišta, razlikuju se (i) arhivski inventari i (ii) geomorfološki inventari. Općenito, arhivski inventari klizišta su sitnog mjerila (<1:200.000) i izrađeni su na temelju podataka iz literature ili drugih arhivskih izvora (upita javnim organizacijama i privatnim konzultantima, kronika, časopisa, tehničkih i znanstvenih izvješća, intervjui stručnjaka za klizišta itd.), ali ne uključuju postupke utvrđivanja i kartiranja klizišta. S druge strane, geomorfološki inventari klizišta sadrže podatke o klizištima dobivene interpretacijom fotografija iz zraka, satelitskih snimaka ili digitalnih modela terena (DMT) visoke rezolucije, nakon čega slijedi ograničen pregled terena (tj. terenska provjera). Rezultat su karte inventara klizišta srednjeg (1: 25.000 - 1:200.000) ili krupnog (> 1:25.000) mjerila. Dodatno, geomorfološki inventari klizišta se mogu podijeliti na: (i) povijesne inventare klizišta, (ii) inventare pojedinačnog događaja, (iii) sezonske inventare i (iv) inventare određenog vremenskog razdoblju.

Prema Guzzetti et al. (2012), prilikom izrade inventara klizišta usvajaju se slijedeće pretpostavke: (a) klizišta ostavljaju vidljive morfološke oblike na površini terena koji se mogu prepoznati terenskim kartiranjem, ili interpretacijom avionskih stereo-parova, satelitskih snimaka ili digitalnog modela terena; (b) morfološki oblik klizišta ovisi o mehanizmu gibanja (npr. odronjavanje, tečenje, klizanje, kompleksno klizanje itd.) i brzini, pri čemu će, općenito govoreći, isti mehanizam gibanja rezultirati sličnim morfološkim oblikom; (c) klizišta se ne pojavljuju nasumično, već su rezultat fizičkih procesa i svojstva materijala koji uvjetuju stabilnost padine; (d) za klizišta se može usvojiti načelo "prošlost i sadašnjost su ključ budućnosti" (Varnes, 1984).

Kvaliteta inventara klizišta, odnosno točnost karata nije jasno definirana i ne postoje standardi kvalitete (Galli et al., 2008), ali ona se može iskazati kao cjelovitost, odnosno potpunost inventara te na temelju geografske i tematske točnosti i preciznosti podataka prikazanih na karti. Potpunost inventara se odnosi na omjer klizišta prikazanih u inventaru i stvarnoga broja (u većini slučajeva nepoznat broj) klizišta na nekom području, a najčešće je povezana s površinom najmanjih klizišta koja nisu konzistentno kartirana u okviru inventara (Guzzetti et al., 2012). Geografska točnost podrazumijeva podudarnost između grafičke prezentacije granice klizišta u inventaru i položaja, veličine i oblika istog klizišta na terenu (Santangelo et al., 2010), dok se tematska točnost odnosi na niz dodatnih informacija kojima je pojedino klizište opisano (npr. mehanizam klizanja, procijenjena starost, dubina klizanja itd.). Osim navedenog, točnost inventara klizišta ovisi o slijedećim faktorima: (i) mjerilu, datumu i kvaliteti avionskog snimka, rezoluciji digitalnog modela terena, ili karakteristikama satelitskog snimka; (ii) vrsti, mjerilu i kvaliteti podloge

koja se koristi za prikaz karte klizišta; (iii) alatu koji se koristi prilikom analize i interpretacije snimaka, uključujući stereoskope i računalne programe za 3D vizualizaciju; (iv) vještini i iskustvu osobe koja interpretira klizišta. Van Den Eeckhaut et al. (2005) utvrdili su da poznavanje klizišta na istraživanom području i iskustvo kartiranja klizišta na karti osjenčanog reljefa izvedenoj iz digitalnog modela utječe na višu točnosti i potpunost konačnog inventara klizišta. Karte inventara klizišta mogu se izraditi korištenjem različitih tehnika, a izbor ovisi o namjeni karte klizišta, veličini istraživanog područja, mjerilu dostupnih topografskih podloga, zatim o mjerilu, rezoluciji i svojstvima dostupnih snimaka, vještini i iskustvu istraživača, ali i o raspoloživim financijskim sredstvima. Podloge dobivene daljinskim metodama istraživanja koje se najčešće primjenjuju prilikom izrade inventara klizišta su avionske snimke, optičke, termalne i mikrovalne radarske snimke te podaci dobiveni laserskim skeniranjem. Metode istraživanja koje se primjenjuju za izradu karte inventara klizišta mogu se podijeliti na nekoliko grupa (Van Westen et al., 2008; Guzzetti et al., 2012): (i) prikupljanje povijesnih podataka, (ii) terenske metode istraživanja, (iii) vizualna interpretacija snimaka, (iv) (polu)automatizirana klasifikacija snimaka na temelju spektralnih i topografskih svojstava; (v) monitoring; i (vi) datiranje starosti klizišta. Stupanj primjenjivosti različitih tehnika i metoda istraživanja za prikupljanje podataka o klizištima prikazan je u tablici 3.2.

Tablica 3.2 Pregled metoda istraživanja za prikupljanje podataka o klizištima (prema van Westen et al., 2018)

grupa	tehnika	mjerilo			
		regionalno	srednje	krupno	detaljno
interpretacija snimaka	stereoparovi avionskih snimaka	S	V	V	V
	satelitske snimke visoke rezolucije	S	V	V	V
	LiDAR digitalni modeli terena	N	S	V	V
	radarski snimci	N	S	S	S
(polu)automatizirano kartiranje na temelju spektralnih karakteristika	avionski snimci	S	V	V	V
	multispektralni satelitski snimci	V	S	S	S
	kombinacija optičkih i radarskih snimaka	S	S	S	S
(polu)automatizirano kartiranje na temelju visinskih karakteristika	InSAR	S	S	S	S
	LiDAR	V	V	V	V
	fotogrametrija	N	S	V	V
terenska istraživanja	terensko kartiranje	S	V	V	V
arhivski podaci	novine	V	V	V	V
	baze podataka od vatrogasaca, policije i održavanja prometnica	N	S	V	V
datiranje starosti klizišta	direkte i indirektne metode	N	N	N	N
monitoring	ekstenzometri, GNSS, totalna stanica, InSAR, terstričko LiDAR snimanje	-	-	N	V

Terensko kartiranje klizišta omogućava visoku točnost ukoliko se prilikom kartiranja koristi GPS, ali ono nije primjenjivo na nepristupačnim terenima (npr. strmi tereni obrasli gustom vegetacijom), a uz to je vremenski zahtjevno i samim time skupo. U praksi, interpretacija avionskih stereoparova je i dalje vrlo često korištena metoda za kartiranje klizišta koja iziskuje krupnije mjerilo snimaka. Satelitski snimci rezolucije veće od 5 m, kao i SAR (engl. synthetic aperture radar) snimci pokazali su se vrlo korisni prilikom identifikacije velikih klizišta kod kojih dolazi do velikih pomaka i značajne deformacije vegetacijskog pokrivača, ali ne i za kartiranje malih i plitkih klizišta na područjima prekrivenim gustom vegetacijom. Vizualna interpretacija klizišta pomoću digitalnog modela terena bez vegetacije dobivenog laserskim skeniranjem (skraćeno LiDAR DMT) provodi se na različitim morfometrijskim kartama izvedenima iz DMT-a. U najvećem broju istraživanja korištena je karta osjenčanog reljefa kao osnovna podloga za vizualnu interpretaciju (npr., Ardizzone i dr., 2007; Van Den Eeckhaut i dr., 2007; Petschko i dr., 2015) jer predstavlja najrealističniji pseudo-trodimenzionalni prikaz površine terena (Guzzetti i dr., 2012), no često se na njoj ne prepoznaju svi elementi klizišta pa je njihovo iscrtavanje njezinom interpretacijom otežano. Stoga je, za postizanje visoke geografske točnosti karte inventara, prilikom iscrtavanja granice klizišta potrebno koristiti što veći broj morfometrijskih karata izvedenih iz DMT (Jagodnik i dr., 2020a; Jagodnik i dr., 2020b), i to naročito ako morfologija površine klizišta nije u potpunosti očuvana (Đomlija, 20018). Nekoliko istraživača usporedilo je inventare klizišta dobivene vizualnom interpretacijom klizišta na LiDAR DMT-u i inventare klizišta dobivene terenskim kartiranjem ili vizualnom interpretacijom avionskih stereoparova (Booth et al., 2009; Razak et al., 2011, Bernat Gazibara et al., 2019a,b) te su ustvrdili kako je LiDAR DMT alat koji omogućava izradu reprezentativnijih i potpunijih inventara klizišta za lokalno i regionalno mjerilo. U posljednjih nekoliko godina razvijaju se modeli za automatizirano kartiranje klizišta na temelju spektralnih svojstava ili nadmorskih visina, ovisno o primijenjenoj metodi daljinskih istraživanja.

3.2 Karte zoniranja podložnosti na klizanje

Prognostičke karte klizišta podrazumijevaju zoniranje istraživanog područja na homogene prostorne jedinice klasificirane s obzirom na opasnost od klizanja, odnosno stvarni ili potencijalni stupanj podložnosti, hazarda ili rizika od klizanja (van Westen et al., 2005). Podložnost na klizanje može se definirati kao prostorna vjerojatnost klizanja (nastanka ili reaktivacije pojave klizišta) za unaprijed definirane preduvjete klizanja (Guzzetti et al., 1999). Glavne pretpostavke kod zoniranja podložnosti na klizanje su (Varnes i IAEG 1984; Hutchinson, 1995 preuzeto iz Aleotti i Chowdhury, 1999): (i) klizišta će se u budućnosti aktivirati zbog istih geoloških, geomorfoloških, hidrogeoloških i klimatskih preduvjeta kao i u prošlosti; (ii) pojava klizišta uvjetovana je preduvjetima klizanja koje je moguće identificirati i klasificirati; (iii) stupanj podložnosti je moguće procijeniti različitim kvalitativnim i kvantitativnim metodama; (iv) svi tipovi nestabilnosti na padinama mogu se identificirati i klasificirati. Karte podložnosti ne daju informaciju o veličini aktiviranih klizišta i vremenskoj vjerojatnosti pojave klizišta, odnosno "kada" i "koliko često" će se klizišta aktivirati (Guzzetti et al., 2005).

Odabir metode za procjenu podložnosti na klizanje ovisi o mjerilu i namjeni konačne karte, ali i dostupnim podacima o klizištima i preduvjetima klizanja na istraživanom području. Na primjer, karte podložnosti na klizanje državne (mjerila <100.000) i regionalne razine (mjerila 1:100.000 – 1:25.000) ne iziskuju kartiranje klizišta i izradu inventara klizišta (Corominas et al., 2013) te se zbog toga najčešće primjenjuju heurističke metode procjene podložnosti na klizanje, a rezultat je kvalitativna procjena podložnosti. Statističke metode procjene podložnosti na klizanje najčešće se primjenjuju za područja veličine 10 - 10.000 km², odnosno za izradu karata lokalne razine (mjerila 1:5.000 - 1:25.000), a rezultat je kvantitativna procjena prostorne vjerojatnosti pojave klizišta. Determinističke metode koriste se za zoniranje podložnosti na klizanje za pojedinačne lokacije ili manja područja (<10 km²), a temelje se na podacima dobivenim detaljnim inženjerskogeološkim i geotehničkim istraživanjima.

Faze zoniranja podložnosti na klizanje su: (i) izrada karte inventara klizišta; (ii) izrada karata najrelevantnijih preduvjeta klizanja; (iii) analiza preduvjeta klizanja/uvjeta na terenu za različite tipove klizišta i određivanje relativnog utjecaja faktora klizanja na pojavu klizišta; (iv) procjena težina pojedinih faktora klizanja i formuliranje kriterija za model podložnosti na klizanje; (v) procjena točnosti treniranja i predikcije modela; i (vi) zoniranje podložnosti na klizanje. U tablici 3.3, opisano je devet nužnih koraka za provedbu pouzdane procjene podložnosti na klizanje prema Reichenbach et al. (2018).

Tablica 3.3 Koraci za provedbu procjene podložnosti na klizanje prema Reichenbach et al. (2018).

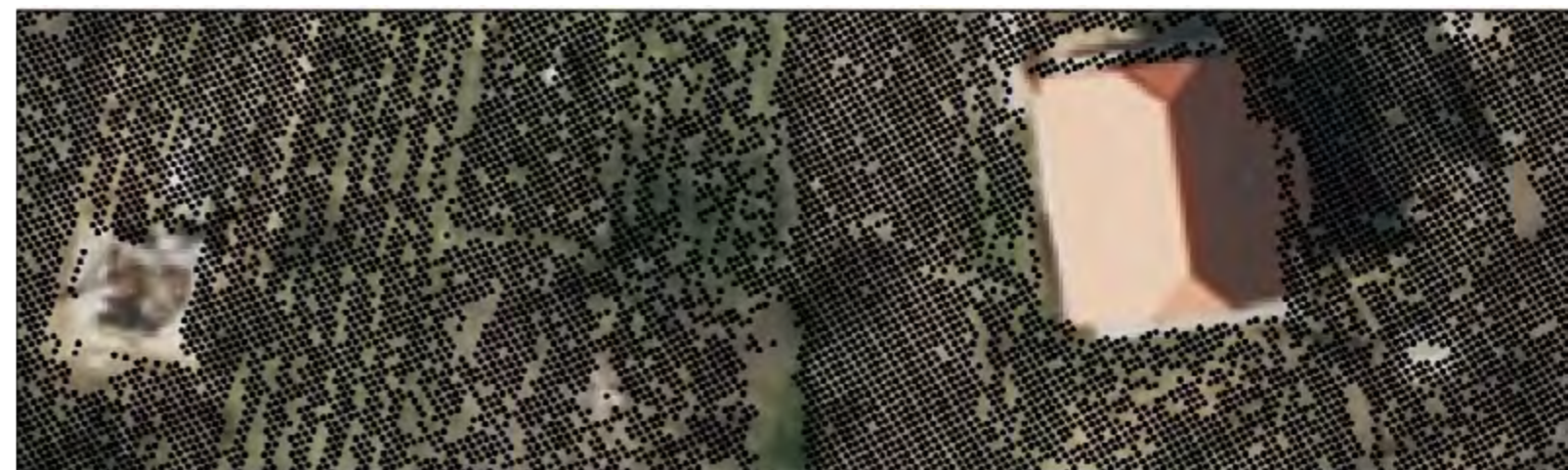
br.	korak	opis
1	prikupljanje relevantnih podataka o klizištima	Provjera postojećih karata klizišta, ili izrada nove karte inventara klizišta. Provjera prostorne i vremenske distribucije pojave klizišta te distribucije veličine klizišta. Uzeti u obzir vrstu, mjerilo i tehniku izrade inventara klizišta, različite tipove klizišta i inicijatore klizišta na istraživanom području.
2	prikupljanje relevantnih tematskih podataka	Provjera, izrada i odabir relevantnih preduvjeta klizanja. Uzeti u obzir originalno mjerilo prikupljenih ulaznih podataka. Digitalni modeli terena su obavezni i njihova rezolucija definira mjerilo i rezoluciju analize. Uzeti u obzir kvalitetu, točnost i relevantnost podataka o klizištima i tematskih podataka na način da se poštuje mjerilo i obuhvat analize.
3	odabir odgovarajuće kartografske jedinice	Odabir odgovarajuće kartografske jedinice (npr. pravilne ćelije, jedinice nagiba terena, administrativne jedinice) uzimajući u obzir: (a) geometriju podataka o klizištima (poligon, točka); (b) namjenu procjene (npr. razumijevanje preduvjeta klizanja, planiranje namjene zemljišta, rano upozoravanje); (c) mjerilo procjene (npr. sliv, lokalna, regionalna, državna razina) i vrsta ulaznih podataka (npr. kategorični, numerički).
4	odabir odgovarajuće statističke metode	Odabir odgovarajuće statističke metode, uzimajući u obzir: (a) tip klizišta i ulazne podatke o preduvjetima klizanja (npr. kategorični, numerički); (b) dostupno znanje i resurse; i (c) očekivani rezultat modeliranja. Preporuka je koristiti kombinirane metode.
5	procjena točnosti treninga modela	Odabir i primjena odgovarajuće metode i višestrukih parametara za procjenu točnosti treninga modela. Uzeti u obzir prostornu točnost i geomorfološki značaj pogreške modela.
6	procjena točnosti predikcije modela	Odabir i primjena odgovarajuće metode i višestrukih parametara za procjenu točnosti predikcije modela. Uzeti u obzir prostornu točnosti i geomorfološki značaj pogreške modela.
7	procjena nepouzdanosti modela	Odabir i primjena odgovarajuće metode za kvantitativnu procjenu nepouzdanosti povezane s predikcijom modela.
8	ocjena kvalitete modela	Upotreba indeksa za kvalitetu procjene podložnosti (prema Guzzetti et al. 2006a,b) za rangiranje kvalitete modela podložnosti na klizanje. Nije preporuka raditi procjenu podložnosti sa ocjenom 0.
9	definiranje primjene modela	Osmisliti odgovarajuće smjernice za korištenje karte podložnosti na klizanje i pri tome uključiti relevantne dionike. Također, potrebno je uzeti u obzir moguće posljedice prilikom primjene i korištenja karata zoniranja podložnosti na klizanje u nekom od sustava.
5	procjena točnosti treninga modela	Odabir i primjena odgovarajuće metode i višestrukih parametara za procjenu točnosti treninga modela. Uzeti u obzir prostornu točnost i geomorfološki značaj pogreške modela.

4. PREPORUKE ZA IZRADU KARATA KLIZIŠTA NA LOKALNOJ RAZINI

S obzirom da je svrha izrade karata klizišta primjena u prostornom planiranju na lokanoj razini, karte moraju biti izrađene u krupnom mjerilu, odnosno u mjerilu 1:5.000 ili detaljnijem. U nastavku Smjernica slijede preporuke za izradu karata inventara klizišta M 1:2.000 i karata zoniranja podložnosti na klizanje M 1:5.000 koje proizlaze iz doktorskih radova Đomlija (2018) i Bernat Gazibara (2019) te povezanih publikacija u znanstvenoj literaturi, odnosno najnovijih rezultata istraživanja ostvarenih istraživačkim aktivnostima u okviru projekta LandSlidePlan.

4.1 Izrada karata inventara klizišta u krupnom mjerilu

Tehnologija laserskog skeniranja je potpuno automatiziran, aktivan, optičko-mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih s određenih točaka snimanja. LiDAR (engl. Light Detection and Ranging) je skraćenica koja se koristi za 3D lasersko skeniranje, odnosno postupak snimanja objekata korištenjem preciznog uređaja, laserskog skenera koji radi na principu odašiljanja laserskih zraka prema objektu te mjeri njihovu refleksiju od objekta. Rezultat ovakvog načina snimanja je skup trodimenzionalnih XYZ točaka koji se naziva oblak točaka (engl. point cloud), a prikazan je na slici 4.1. Prethodna detaljna obrada LiDAR podataka i klasifikacija oblaka točaka nužna je kako bi se postigla određena razina kvalitete, odnosno kako bi se omogućila izrada digitalnog modela terena bez vegetacije i visoke rezolucije koji omogućava interpretaciju klizišta na izvedenim morfometrijskim kartama.

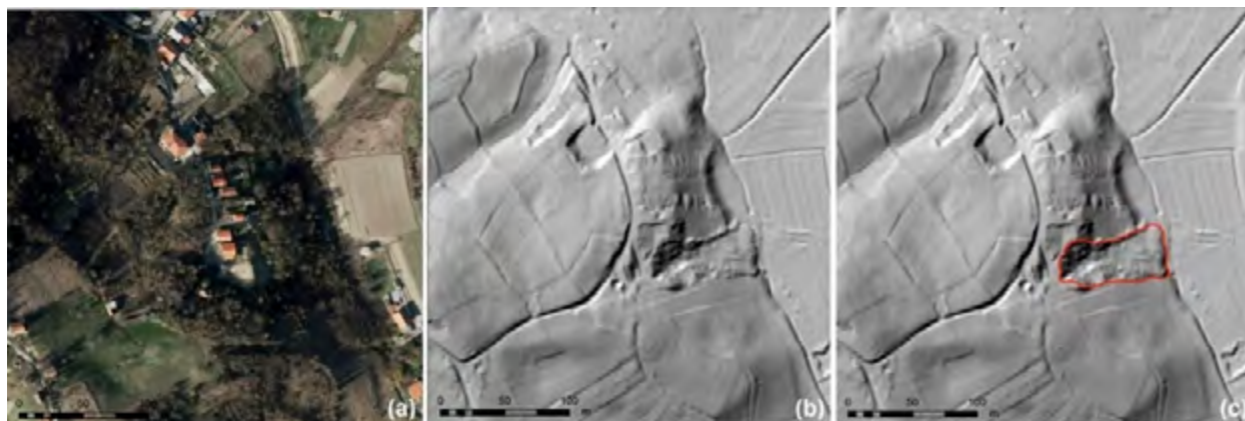


0 5 10 20 m

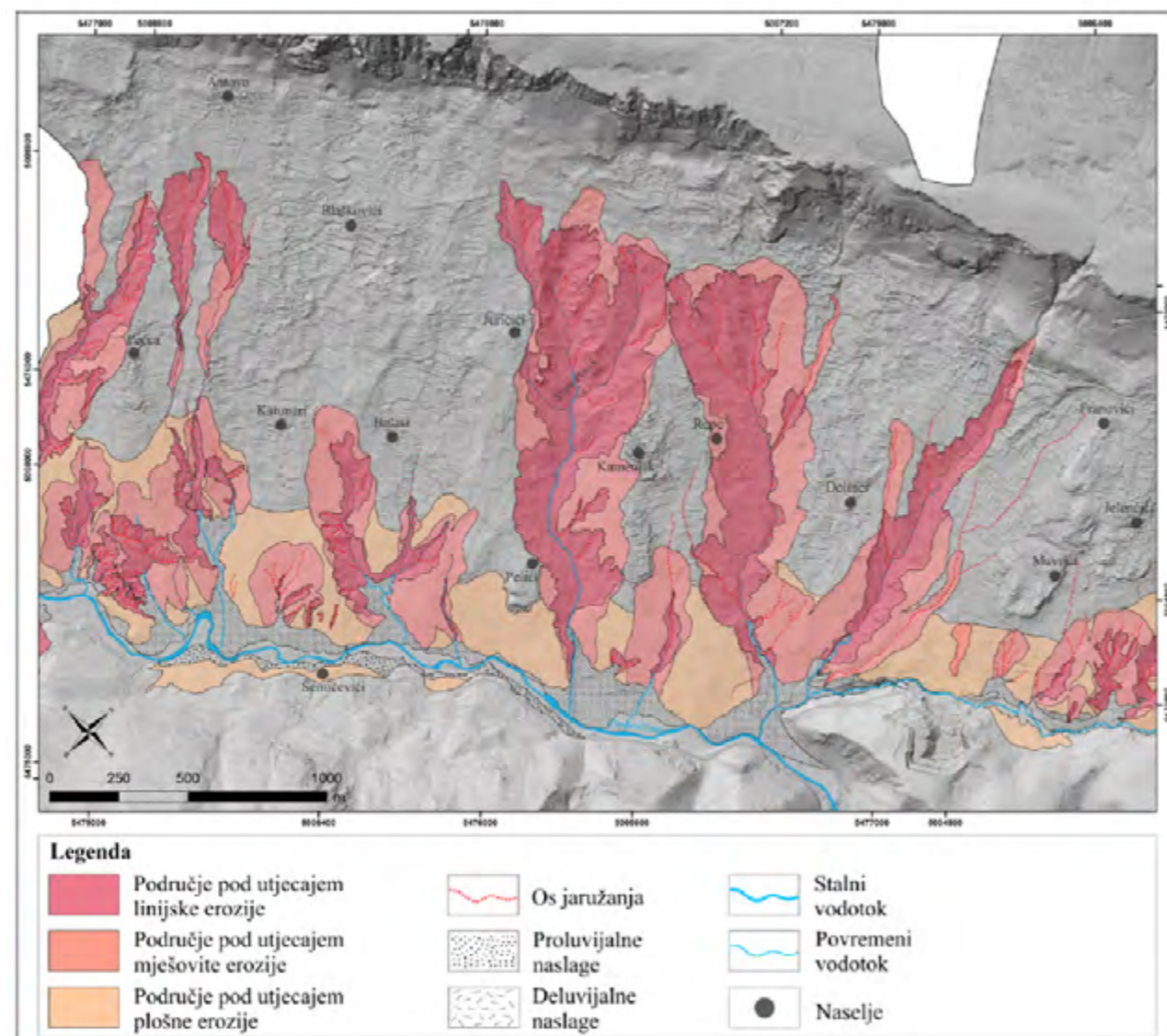
Slika 4.1 Oblak točaka (točke klasificirane kao klasa 2, odnosno površina terena) dobiven laserskim skeniranjem iz zraka na digitalnom ortofoto snimku.

Tipovi klizišta koji se najčešće identificiraju i kartiraju na LiDAR DMT-u visoke rezolucije su velika rotacijska i kompleksna klizišta (Haugerud et al., 2003; Glenn et al., 2006; Booth et al., 2009; Kasai et al., 2009), plitka i duboka klizišta (Chigira et al., 2004; Ardizzone et al., 2007; 2007; Kasai et al., 2009) te tokovi debrita (Haugerud et al., 2003). Kartiranje klizišta se pokazalo učinkovito na obrađenim površinama (Ardizzone et al., 2007, Mihalić et al., 2011) i šumskim područjima (Van den Eeckhaut et al., 2007; Razak et al., 2011), ali i za identificiranje relativno starih klizišta (Haugerud et al., 2003; Van den Eeckhaut et al., 2007; Booth et al., 2009; Kasai et al., 2009) i recentnih klizišta (Chigira et al., 2004; Ardizzone et al., 2007). U okviru svojih disertacija, Toševski (2018), Đomlija (2018) i Bernat Gazibara (2019) primijenili su LiDAR DMT visoke rezolucije za kartiranje klizišta u Republici Hrvatskoj te su utvrdili kako je LiDAR DMT također pouzdan za kartiranje više različitih vrsta aktivnih geomorfoloških procesa

na području Vinodolske udoline i podsljemenske zone Grada Zagreba (slika 4.2). Đomlija (2018) je izradila detaljan geomorfološki inventar različitih tipova klizišta u Vinodolskoj udolini, kojim su obuhvaćene pojave nastale procesima klizanja, tečenja, odronjavanja i prevrtanja, te inventar pojava erozije izazvane površinskim tečenjem vode niz padinu, temeljem čega je uspostavljena metodologija za postupak identifikacije i kartiranja linijske, mješovite i plošne erozije vizualnom interpretacijom LiDAR DMT-a (Đomlija i dr., 2019) (slika 4.3).

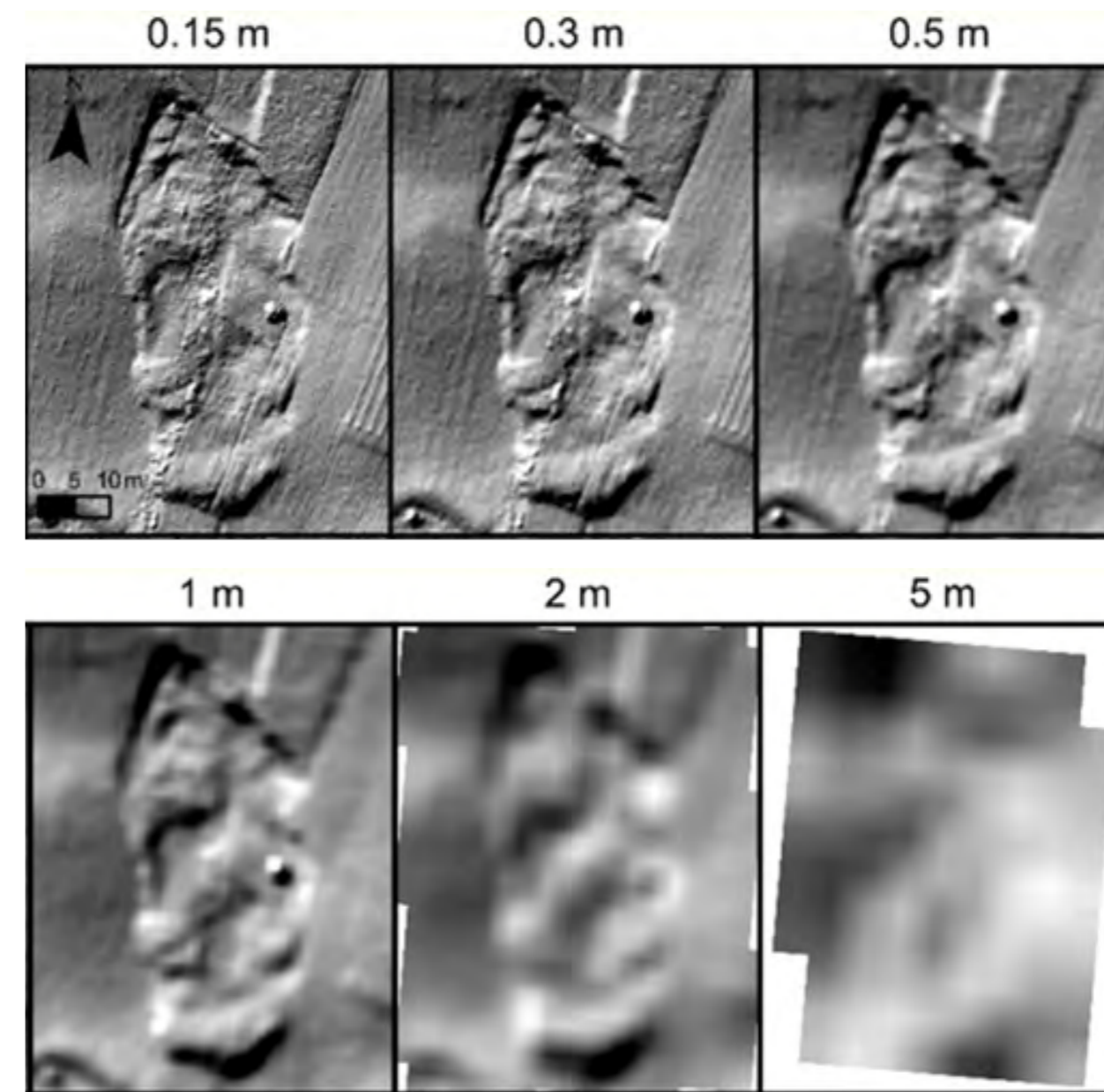


Slika 4.2 Izraženost morfologije klizišta na DOF-u i karti osjenčanog terena izvedenoj iz LiDAR DMT.



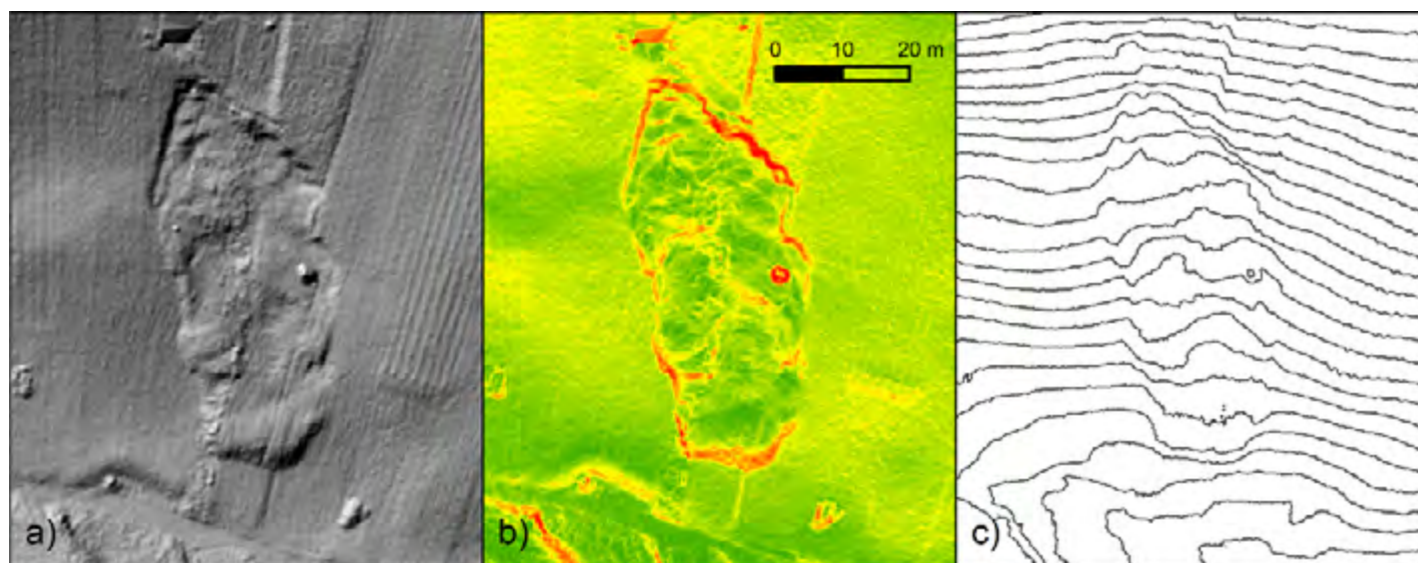
Slika 4.3 Karta inventara erozije na dijelu Vinodolske udoline (Đomlija, 2018)

Rezolucija DMT-a korištenih za identifikaciju i kartiranje klizišta iznosi od 2 do 5 m (Ardizzone et al., 2007; Schulz et al., 2007; Van Den Eeckhaut et al., 2007), te se s razvojem tehnologije laserskog skeniranja povećava, i u posljednjih nekoliko godina najčešće se koristi DMT rezolucije od 1 m, pa sve do 0,3 m (Amundsen et al., 2010; Borkowski et al., 2011; Bell et al., 2012; Tarolli et al., 2012; Gorsevski et al., 2016; Petschko et al., 2015). Na temelju provedenih istraživanja u različitim okolišima pojavljivanja klizišta, može se zaključiti da je rezolucija 1 x 1 m minimalna rezolucija koja je potrebna za izradu reprezentativnih i detaljnih karata inventara klizišta u krupnome mjerilu. Na slici 4.4 može se vidjeti primjer klizišta površine oko 350 m², što je prosječna veličina klizišta u kontinentalnom dijelu Hrvatske, na kartama osjenčanog terena izvedenih iz DMT-a različite rezolucije. al., 2011; Bell et al., 2012; Tarolli et al., 2012; Gorsevski et al., 2016; Petschko et al., 2015). Na temelju provedenih istraživanja u različitim okolišima pojavljivanja klizišta, može se zaključiti da je rezolucija 1 x 1 m minimalna rezolucija koja je potrebna za izradu reprezentativnih i detaljnih karata inventara klizišta u krupnome mjerilu. Na slici 4.4 može se vidjeti primjer klizišta površine oko 350 m², što je prosječna veličina klizišta u kontinentalnom dijelu Hrvatske, na kartama osjenčanog terena izvedenih iz DMT-a različite rezolucije.



Slika 4.4 Primjer izraženosti klizišta na kartama osjenčanog terena izvedenih iz DMT-a rezolucije 0,15 m, 0,3 m, 0,5 m, 1 m, 2 m i 5 m. (REFERENCA, 2222)

Pomoću alata u GIS (engl. Geographic Information System) programima, iz digitalnog modela terena bez vegetacije mogu se izraditi mnogobrojne morfometrijske karte koje se koriste prilikom vizualne identifikacije i kartiranja klizišta. Najčešće korištene morfometrijske karte su karta osjenčanog reljefa, karta nagiba i karta izohipsi ekvidistancije 1 ili 2 m (Ardizzone et al., 2007; Schulz et al., 2007; Van Den Eeckhaut et al., 2007; Gorsevski et al., 2015; Petschko et al., 2015).



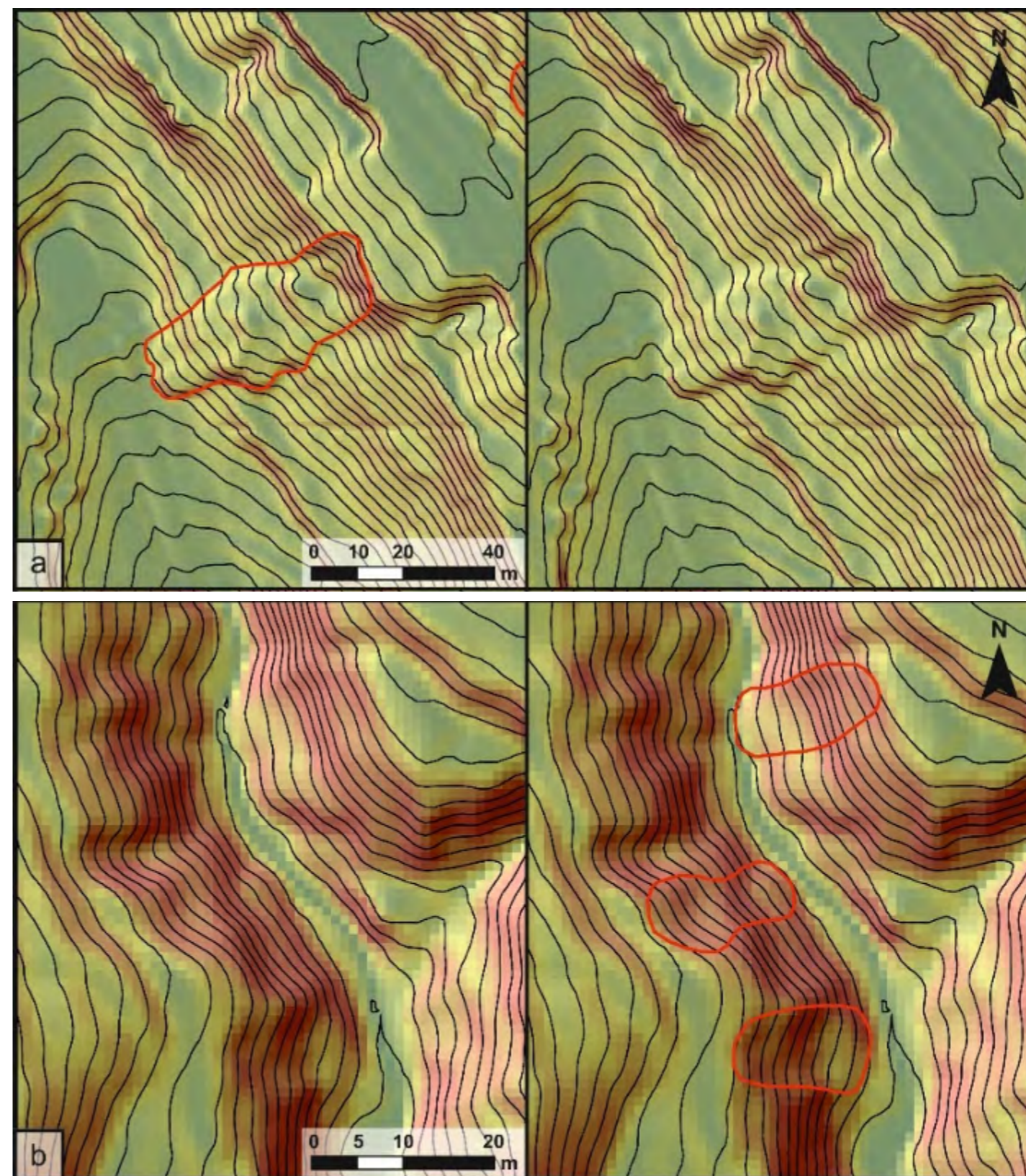
Slika 4.5 Primjer izraženosti morfologije klizišta na različitim morfometrijskim kartama izvedenim iz LiDAR DMT-a: (a) karta osjenčanosti reljefa; (b) karta nagiba terena; (c) karta izohipsi ekvidistance 1 m.

Karta osjenčanog reljefa (slika 4.5a) predstavlja pseudo-trodimenzionalni prikaz površine terena koji se koristi za vizualnu interpretaciju morfoloških karakteristika (Guzzetti et al., 2012). Iz LiDAR DMT-a su izvedene tri karte osjenčanosti reljefa s različitim kombinacijama parametara iluminacije ($45^\circ/45^\circ$, $135^\circ/45^\circ$ i $315^\circ/45^\circ$) kako bi se izbjegle sjene na padinama, odnosno da se osigura dobra vidljivost padina različitih orijentacija i omogućilo precizno iscrtavanje granice klizišta (Schulz, 2004, Jagodnik et al., 2020a). Nagib terena (slika 4.5b) se često smatra najvažnijim morfometrijskim parametrom koji se koristi za učinkovitije analiziranje i opisivanje reljefa. Karta nagiba omogućava i identificiranje manjih promjena u reljefu, kao što su strmiji dijelovi klizišta, glavna pukotina, bokovi klizišta i nožica klizišta (Ardizzone et al., 2007, Amundsen et al., 2010; Mihalić et al., 2013, Đomlija, 2018; Jagodnik i dr., 2020b). Karta slojnica na slici 4.5c izvedena je s ekvidistancijom od 1 m. Prema brojnim autorima, karta slojnica je vrlo značajna prilikom kartiranja granice klizišta, osobito u kombinaciji s kartom osjenčanog reljefa i kartom nagiba (Ardizzone et al., 2007; Van Den Eeckhaut et al., 2005; McKenna et al., 2008; Amundsen et al., 2010; Đomlija, 2018). Slojnice omogućavaju pouzdaniju identifikaciju reljefnih oblika, kao što su klizišta, jer jasno odražavaju specifične konveksne i konkavne dijelove terena, te na taj način ukazuju na zonu depresije i na zonu akumulacije. Kod aktivnih i relativno nedavno aktiviranih klizišta, moguće je vrlo precizno iscrutati granicu klizišta zbog karakterističnih "oštrih lomova" slojnica. Također, nepravilnost i nezaglađenost slojnica može ukazivati na nepravilnu morfologiju akumulacije klizišta.

Pomoć pri identifikaciji klizišta su i topografski profili (Schulz et al., 2007; McKenna et al., 2008), te karta zakrivljenosti (Amundsen et al., 2010; Miner et al., 2010), karta hrapavosti, karta orijentacije padine, karta vlažnosti terena i karta akumulacije toka (Miner et al., 2010). Identifikacija klizišta temelji se na prepoznavanju karakteristične morfologije klizišta, odnosno pojedinih dijelova klizišta kao što su glavna pukotina, konkavna zona depresije, te konveksna stopa klizišta (slika 4.5).

U okviru doktorske disertacije, Đomlija (2018) je klasificirala morfometrijske karte izvedene iz LiDAR DMT-a prema učinkovitosti za kartiranje pojedinih dijelova klizišta, i to s obzirom na relativan stupanj izraženosti morfologije

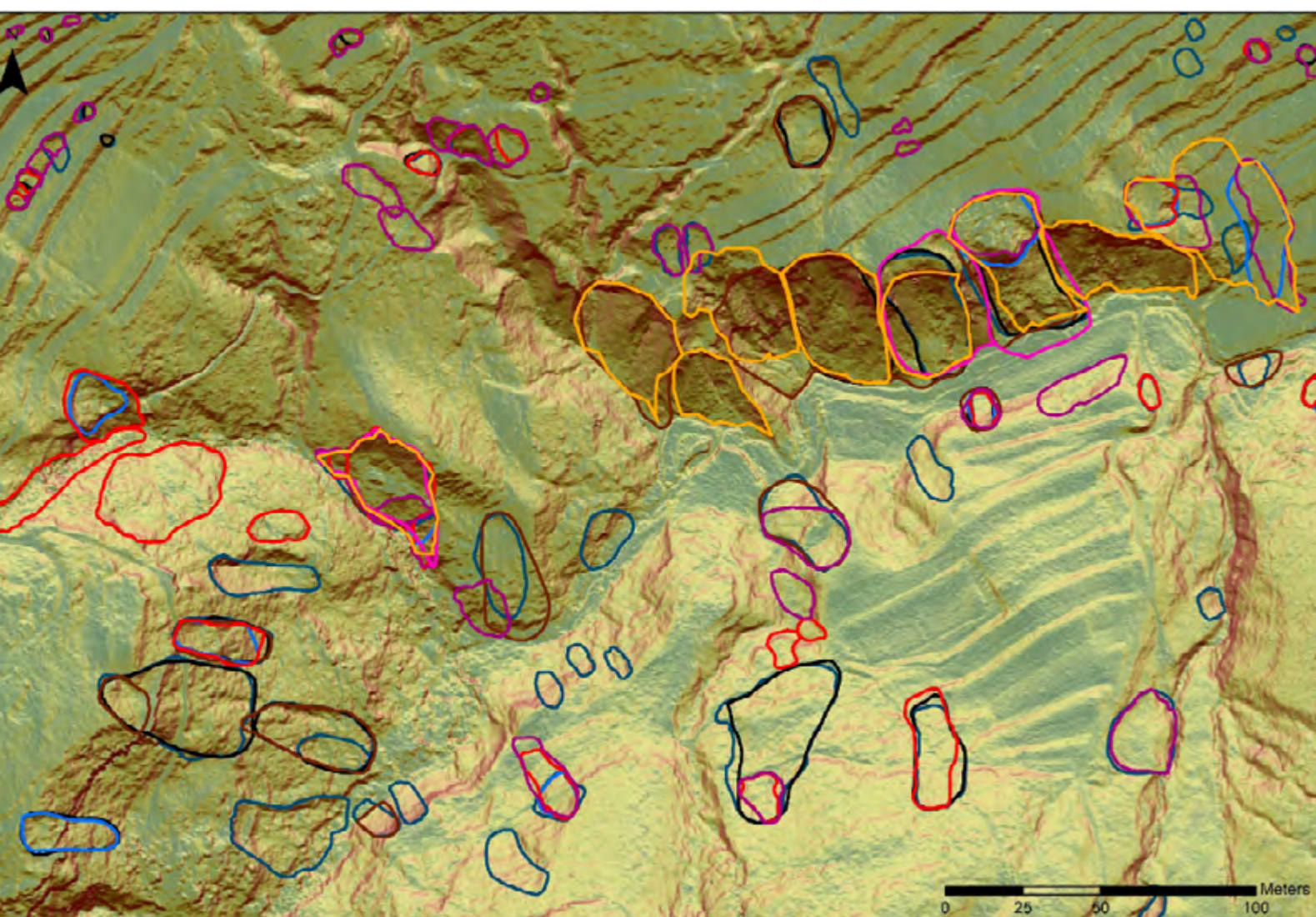
elemenata klizišta na karti osjenčanog reljefa. Na primjer, karta profilne zakrivljenosti terena, karta topografske hrapavosti i karta nagiba su najučinkovitije za kartiranje čela klizišta vrlo jasno izraženih klizišta (Đomlija, 2018). Morfologija klizišta može biti jasno izražena (slika 4.6) ukoliko se radi o relativno recentnoj pojavi klizanja, i slabo izražena ako je klizište relativno staro ili ako je površina klizišta izmijenjena uslijed antropogenih aktivnosti, kao što su poljoprivreda, iskopavanje, nasipavanje, sanacija klizišta i sl.



Slika 4.6 Primjer izraženosti morfologije klizišta na LiDAR DMT-u: (a) jasno izražena morfologija klizišta; (b) slabije izražena morfologija klizišta. (REFERENCA, 2222)

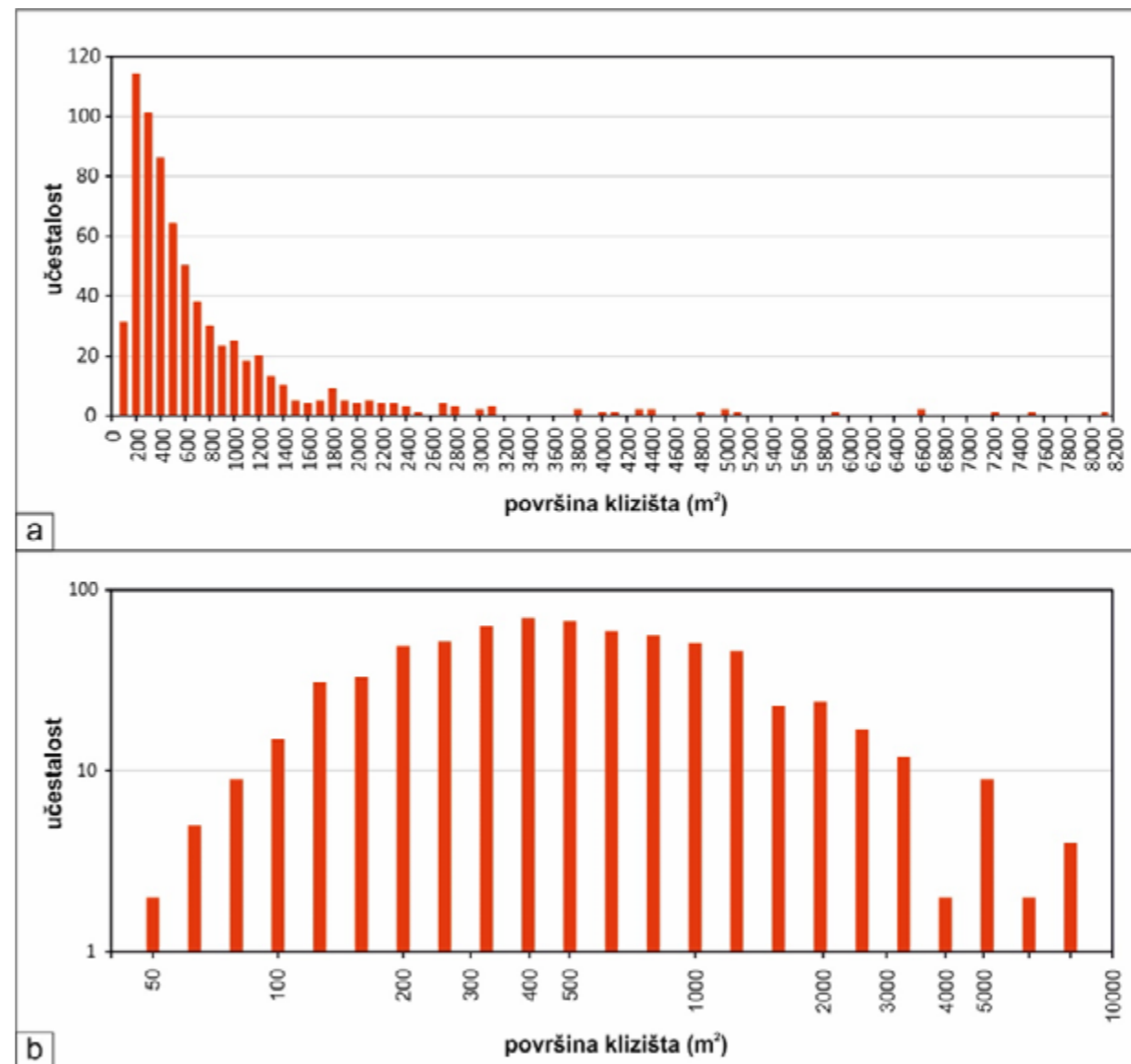
Osim izvedenih morfometrijskih karata, prilikom vizualne identifikacije i kartiranja klizišta na pilot područjima HRZZ projekta LandSlidePlan korištene su ortofoto (DOF) snimke i Google Earth satelitske snimke iz različitih vremenskih razdoblja. Avionske i satelitske snimke pilot područja korištene su za provjeru jesu li pojedini morfološki oblici nastali antropogenim zahvatom u okolišu, jer npr. nasipi uz prometnice i građevine ili odlagališta otpada mogu imati sličnu morfologiju kao i klizišta na morfometrijskim kartama izvedenim iz LiDAR DMT-a.

Točnost inventara klizišta ponajviše ovisi o iskustvu istraživača, odnosno o vještini istraživača u interpretaciji morfometrijskih karata izvedenih iz LiDAR DMT-a te o prethodnom poznavanju istraživanog područja, odnosno poznavanju geološke građe i aktivnih geomorfoloških procesa. Na slici 4.7 prikazan je rezultat interpretacije LiDAR DMT-a osam istraživača s različitim razinama iskustva u interpretaciji LiDAR DMT-a. Rezultat su velike razlike u broju identificiranih klizišta, ali i u granicama kartiranih morfoloških pojava, a dominantno su ovisile o prethodnom poznavanju istraživanog područja. Preklapanje kartiranih klizišta u osam analiziranih inventara je manje od 30%.



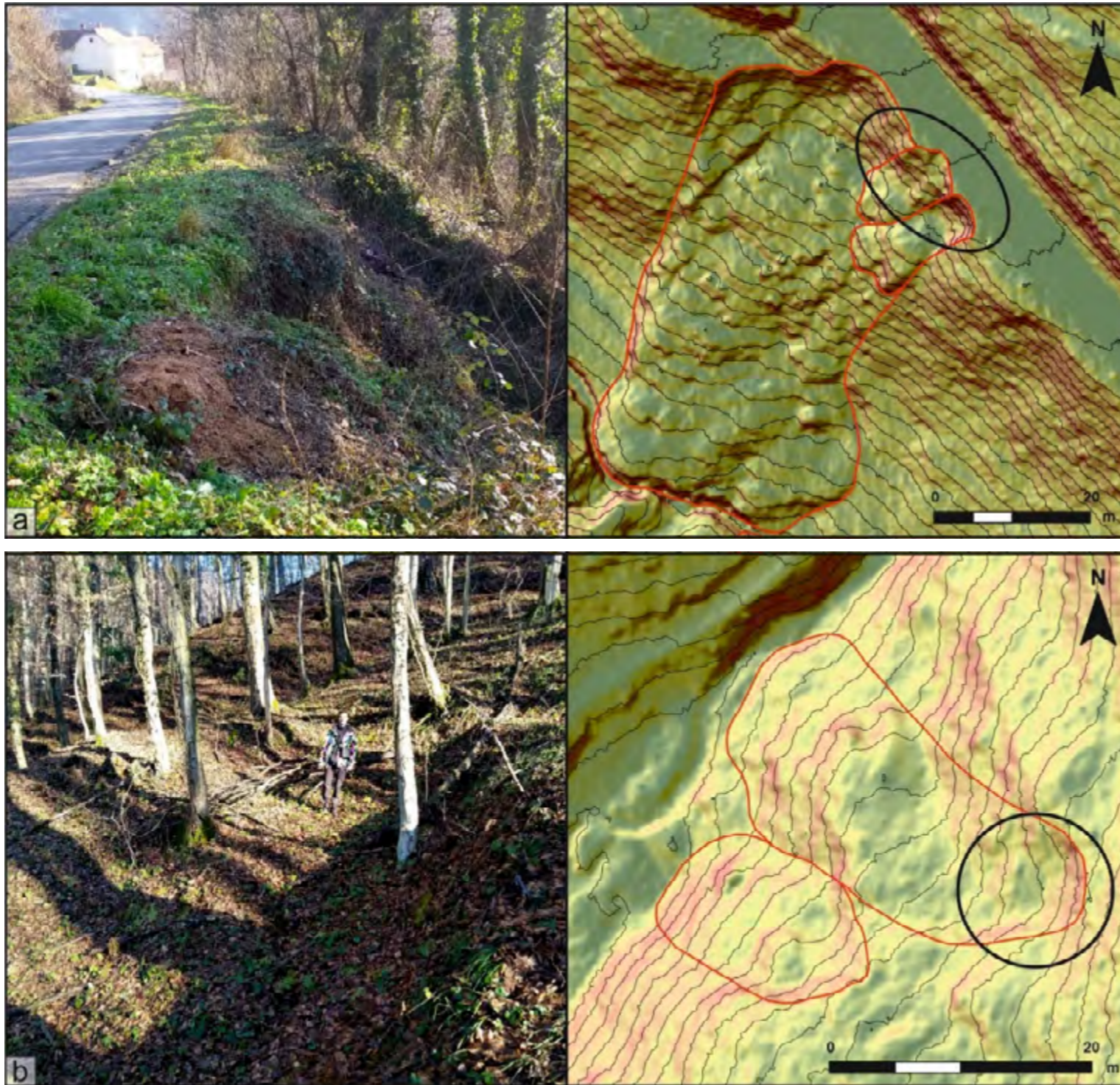
Slika 4.7 Rezultat interpretacije klizišta od strane osam istraživača s različitim iskustvom u interpretaciji LiDAR DMT-a i poznavanju istraživanog područja. (REFERENCA, 2222)

Jedna od analiza potpunosti inventara klizišta, odnosno njegove reprezentativnosti za izradu karata hazarda klizanja je raspodjela učestalosti površina kartiranih klizišta (slika 4.8). Raspodjela površina kartiranih klizišta u log-log mjerilu se u slučaju reprezentativnog inventara može opisati pomoću normalne raspodjele (Malamud et al., 2004). Prijelaz između rastućeg i padajućeg dijela krivulje raspodjele ukazuje na razliku između malih klizišta te srednjih i velikih klizišta. S obzirom na navedeno, pozitivan dio krivulje definira mala klizišta na pilot području, dok negativan dio krivulje definira srednja i velika klizišta.



Slika 4.8 Histogram učestalosti površine klizišta u inventaru dobivenog vizualnom interpretacijom morfometrijskih karata izvedenih iz LiDAR DMT-a: (a) prikaz učestalosti veličine površine klizišta po razredima od 100 m²; (b) prikaz učestalosti po razredima veličine površine klizišta u log-log mjerilu (Bernat Gazibara, 2019).

Prilikom terenske verifikacije inventara klizišta (slika 4.9) izrađenog interpretacijom LiDAR-DMT-a, klizišta su potvrđena ukoliko postoje vidljivi elementi klizišta, nepravilna morfologije na padini ili poremećeni vegetacijski pokrov. Terenski provjerena klizišta se mogu klasificirati kao: (i) potvrđena klizišta, ako su prilikom terenskog rekognosciranja identificirani pojedini elementi klizišta i/ili zona usijedanja i zona akumulacije materijala; (ii) pretpostavljena klizišta, ako je prilikom terenskog rekognosciranja utvrđena samo nepravilna morfologija terena i poremećena vegetacija na terenu ali nije bilo moguće identificirati elemente klizišta; te (iii) klizišta koja nije bilo moguće potvrditi zbog nepristupačnog terena ili terena obraslog niskom vegetacijom. Naime, veliko ograničenje prilikom terenskog rekognosciranja klizišta su neprohodna zemljišta obrasla početnim ili degradacijskim razvojnim stadijima šumskih sastojina (makija, garig, šikare, šibljaci i drugo).



Slika 4.9 Usporedan prikaz izraženosti klizišta na terenu prilikom verifikacije i na morfometrijskim kartama izvedenim iz LiDAR DMT-a. (REFERENCA, 2222)

4.2 Izrada karata podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu

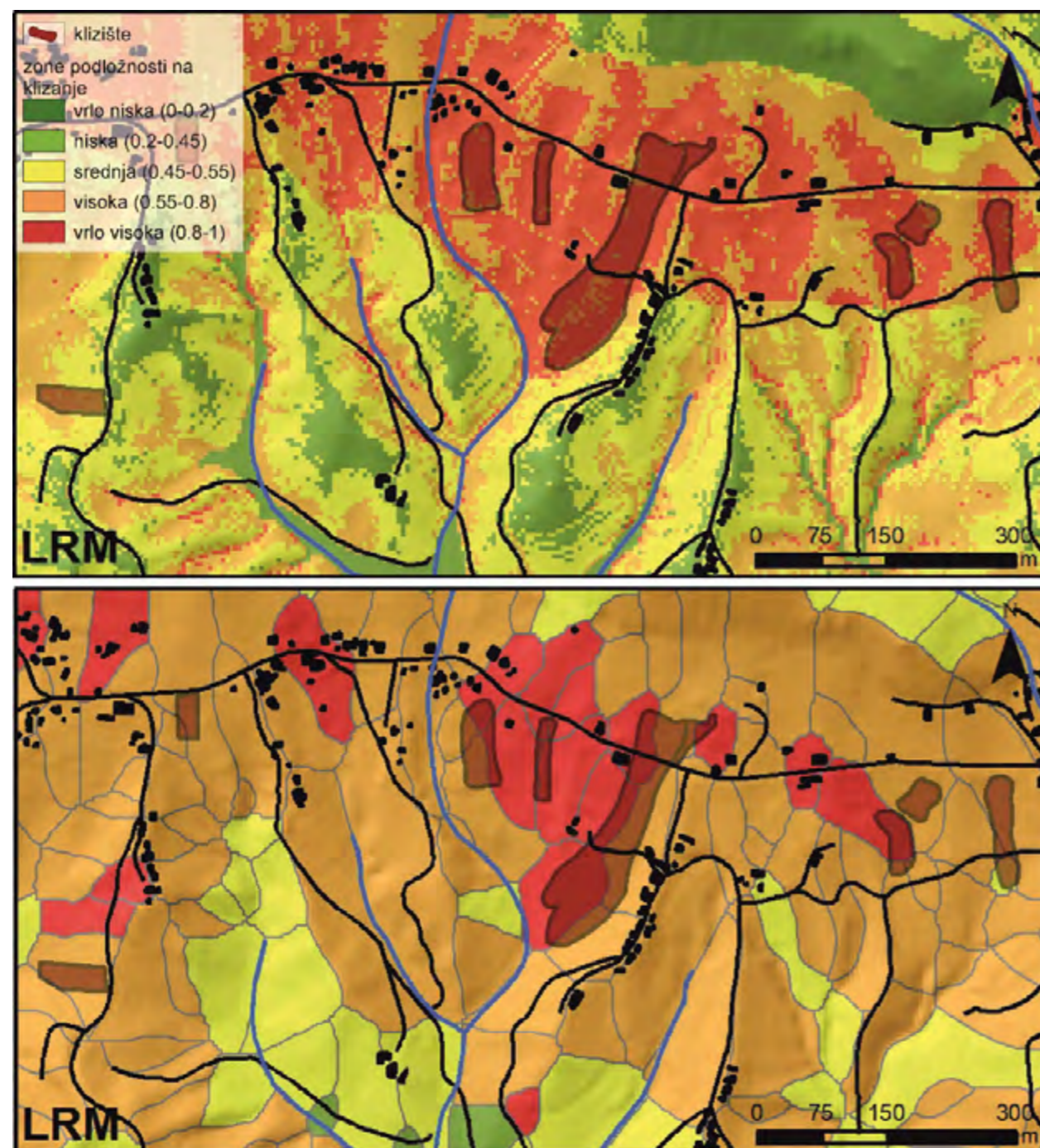
Ulazni podaci za analizu podložnosti na klizanje primjenom statističkih modela su inventar klizišta, koji predstavlja zavisnu varijablu, i preduvjeti klizanja, odnosno faktorske karte klizanja, koje predstavljaju nezavisne varijable. Faktorske karte klizanja mogu se podijeliti na karte izvedene iz DMT-a (npr. nagib terena, orijentacija padine, zakrivljenost terena i sl.), karte izrađene na temelju geomorfoloških, geoloških, inženjerskogeoloških, hidroloških podataka i karte izvedene iz karata namjene ili pokrova zemljišta. Prilikom definiranja potencijalnih faktorskih karata klizanja na nekom istraživanom području preporuka je uzeti u obzir što veći broj preduvjeta klizanja (tablica 4.1) i analizirati međuzavisnost faktora. Visoka međuzavisnost između faktorskih karata klizanja može značajno utjecati na konačan rezultat modela i dovesti do pogrešnih zaključaka. Faktorske karte klizanja koje uzrokuju visoku međuzavisnost s ostalim faktorima klizanja nužno je isključiti iz daljnjih analiza.

Tablica 4.1 Pregled najčešće korištenih faktorskih karata za procjenu podložnosti na klizanje s obzirom na mjerilo istraživanja (prema Soeters & van Westen, 1996).

Grupa	faktorska karta	mjerilo			
		regionalno	srednje	krupno	detaljno
digitalni model terena	nagib terena	N	V	V	V
	orijentacija padine	V	V	V	V
	duljina/oblik padine	S	V	V	V
	smjer toka	N	S	V	V
	akumulacija toka	N	S	V	V
	rašćanjenost reljefa	V	S	N	N
	gustoća drenažne mreže	V	S	N	N
geološka građa	vrsta stijene	V	V	V	V
	trošenje	N	S	V	V
	orijentacija diskontinuiteta	N	S	V	V
	strukturni elementi	V	V	V	V
	udaljenost od rasjeda	V	V	V	V
Tlo	vrsta inženjerskog tla	S	S	V	V
	debljina pokrivača	N	S	V	V
	fizičko-mehanička svojstva (granulometrijski sastav, kohezija, kut unutarnjeg trenja itd.)	N	S	V	V
	hidrogeološka svojstva (poroznost, propusnost, transmitivnost itd.)	N	N	V	V
hidrologija	razina podzemne vode	N	N	S	V
	vlažnost tla	N	V	S	V
	hidrološke značajke (evapotranspiracija, infiltracija, površinsko otjecanje itd.)	S	V	V	V
	udaljenost od vodotoka	V	S	V	N
geomorfologija	strukturne jedinice	V	S	N	N
	geomorfološke jedinice	V	V	N	N
namjena zemljišta	namjena zemljišta	V	V	S	N
	promjene u korištenju zemljišta	S	V	V	V
	vegetacijski pokrov	N	S	V	V
	udaljenost od prometnica	S	V	V	V
	udaljenost od objekata	S	V	V	V

*Stupanj primjenjivosti faktorskih karata na različita mjerila istraživanja: V-visok stupanj primjenjivosti, S-srednji stupanj primjenjivosti, N-nizak stupanj primjenjivosti.

Statističke analize se provode po različitim kartografskim jedinicama, a odabir jedinice je temeljni korak prilikom modeliranja podložnosti na klizanje te značajno utječe na konačnu kartu zoniranja podložnosti (Guzzetti et al., 1999). Van Westen et al. (1993) je dao sljedeću osnovnu podjelu kartografskih jedinica: pravilne ćelije; geomorfološke jedinice; jedinice definirane s obzirom na granice slivova, jedinice nagiba terena (eng. slope unit); te jedinice jedinstvenih uvjeta. Pravilne ćelije su najčešće korištene kartografske jedinice zbog jednostavnosti za obradu u svim rezolucijama, međutim postoje i određeni nedostaci za same modele podložnosti (Guzzetti et al., 1999). Najznačajniji nedostatak je kada se primjenjuje ista veličina ćelije, odnosno rezolucija DMT-a, za identifikaciju i kartiranje klizišta i za analizu podložnosti na klizanje jer zbog očuvanog morfološkog "otiska" klizišta u reljefu može dovesti do potencijalno pogrešnih rezultata (Pike, 1988, Tarolli and Tarboton, 2006; Passalacqua et al., 2010). Naime, u navedenom slučaju model podložnosti na klizanje je treniran na geomorfološkim značajkama samih klizišta, a ne na geomorfološkim značajkama padine na kojoj se klizište pojavilo. Dodatni nedostatak je što kartu



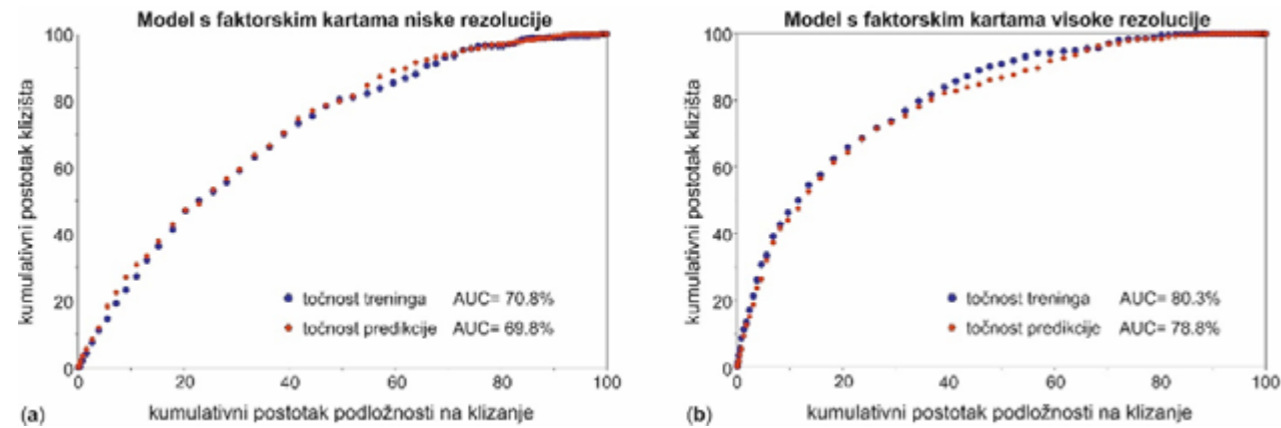
Slika 4.10 Usporedba karata podložnosti na klizanje izrađene primjenom različitih kartografskih jedinica: (a) pravilne ćelije dimenzija 5x5 m; (b) jedinice nagiba terena (Bernat Gazibara et al., 2023.)

podložnosti na klizanje koja je rezultat pravilnih kartografskih jedinica nije jednostavno interpretirati, odnosno zonirati, zbog raspršenih vrijednosti podložnosti na klizanje kod susjednih pravilnih ćelija. Jedinice nagiba terena su također vrlo često korištene kartografske jedinice jer predstavljaju osnovnu geomorfološku jedinicu i kao takva je vrlo praktična za procjenu podložnosti na klizanje. Prosječna veličina jedinice nagiba terena ovisi o tipu i veličini klizišta te će prilikom modeliranja biti potrebno odrediti reprezentativne karakteristike padina za koje se provodi modeliranje kako bi se dobila prostorno točna procjena podložnosti na klizanje. Nedostatak jedinica nagiba terena kao kartografskih jedinica u modeliranju podložnosti je ta da definiranje jedinica nagiba terena nije jednostavan zadatak i postojeće aplikacije za automatizirano kartiranje jedinica nagiba terena (Alvioli et al., 2016) ne daju kartografske jedinice koje odgovaraju svim mjerilima i namjenama procjene podložnosti. U radu Bernat Gazibara et al. (2023) uspoređene su karte podložnosti na klizanje dobivene primjenom pravilnih ćelija dimenzija 5x5 m i jedinica nagiba terena izrađenih aplikacijom koju je razvio Alvioli et al. (2016). Zaključak provedene usporedbe je da karta podložnosti na klizanje izrađena primjenom pravilnih ćelija daje bolju prostornu raspodjelu podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu jer omogućava diferencijaciju podložnosti unutar jedne padine (slika 4.10), što se pokazalo izrazito važno kod primjene karte krupnog mjerila u prostornom planiranju i civilnoj zaštiti.

Od svih podataka koje karta inventara klizišta može sadržavati, prostorna točnost klizišta je minimalni i najvažniji je zahtjev tijekom kartiranja klizišta (Aleotti & Chowdhury 1999; Fell et al., 2008a,b; Malamud et al., 2004). S obzirom na provedena istraživanja u okviru projekta LandSlidePlan, preporuka je za izradu karata podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu koristiti reprezentativne, detaljne i potpune inventare klizišta u kojima su klizišta kartirana poligonom jer su navedeni modeli tijekom validacije pokazali veću prostornu točnost (Sinčić et al. xxxx). Statističke metode koje se koriste za procjenu podložnosti na klizanje mogu se podijeliti na bivarijantne statističke analize, multivarijantne statističke analize i metode strojnog učenja (Corominas et al., 2013). Najčešće korištene metode su logistička regresija, te metode koje se temelje na težinskim faktorima (npr. metoda težinskih faktora i metoda informacijske vrijednosti). U posljednjih nekoliko godina sve češće se primjenjuju i metode strojnog učenja, kao što su metoda slučajnih šuma, metoda potpornih vektora, umjetne neuronske mreže itd (Reichenbach et al., 2018). Dosadašnja istraživanja su pokazala da su neke metode znatno bolje od drugih, ali se dosada niti jedna metoda nije pokazala superiornom u svim uvjetima modeliranja podložnosti na klizanje. Može se zaključiti da iskustvo i vještina istraživača u primjeni određene statističke metode imaju veći utjecaj na točnost modela podložnosti na klizanje od same statističke metode. Također, sve metode strojnog učenja daju slične rezultate i u većini slučajeva, ako koristimo reprezentativne podatke o klizištima i preduvjetima klizanja, rezultiraju modelima vrlo visoke točnosti s minimalnim varijacijama u procijenjenoj vjerojatnosti pojave klizišta. Na slici 4.11 prikazana je usporedba modela podložnosti na klizanje izvedena s istim ulaznim podacima, odnosno istim podacima o klizištima i istim faktorskim kartama klizanja, ali primjenom različitih statističkih metoda, točnije usporedba bivarijantne statističke metode (metoda informacijske vrijednosti) s metodama strojnog učenja (neuronske mreže, slučajne šume i metoda potpornih vektora). Pojedini autori se zalažu za primjenu nekoliko različitih statističkih metoda na istim ulaznim podacima kao i za kombinaciju dobivenih modela u "optimalni" model koji obično ima veću pouzdanost od pojedinačnih modela (Rossi et al., 2010).

Glavne pretpostavke kvantitativnih statističkih metoda su da se isti tipovi klizišta na cijelom istraživanom području pojavljuju unutar istih kombinacija faktorskih karata i da su različiti tipovi klizišta (npr. plitka i duboka klizišta) uvjetovani različitim faktorima klizanja (Corominas et al., 2013). Nepoznavanje istraživanog područja, odnosno nedostatak znanja o različitim tipovima klizišta i procesima na istraživanom području, onemogućava odabir relevantnih preduvjeta klizanja i konačnu procjenu podložnosti na klizanje. Kvaliteta izvedene karte podložnosti na klizanje ponajviše ovisi o kvaliteti ulaznih podataka, odnosno o prostornoj rezoluciji i točnosti faktorskih karata klizanja te potpunosti i točnosti karte inventara klizišta (Ardizzone et al., 2002, Sinčić et al, 2024). Na slikama 4.12 i 4.13 prikazane su usporedbe rezultata dva modela koji su nastali primjenom iste statističke metode, u ovom slučaju metode informacijske vrijednosti, te istog inventara klizišta izrađenog interpretacijom LiDAR DMT-a, ali su

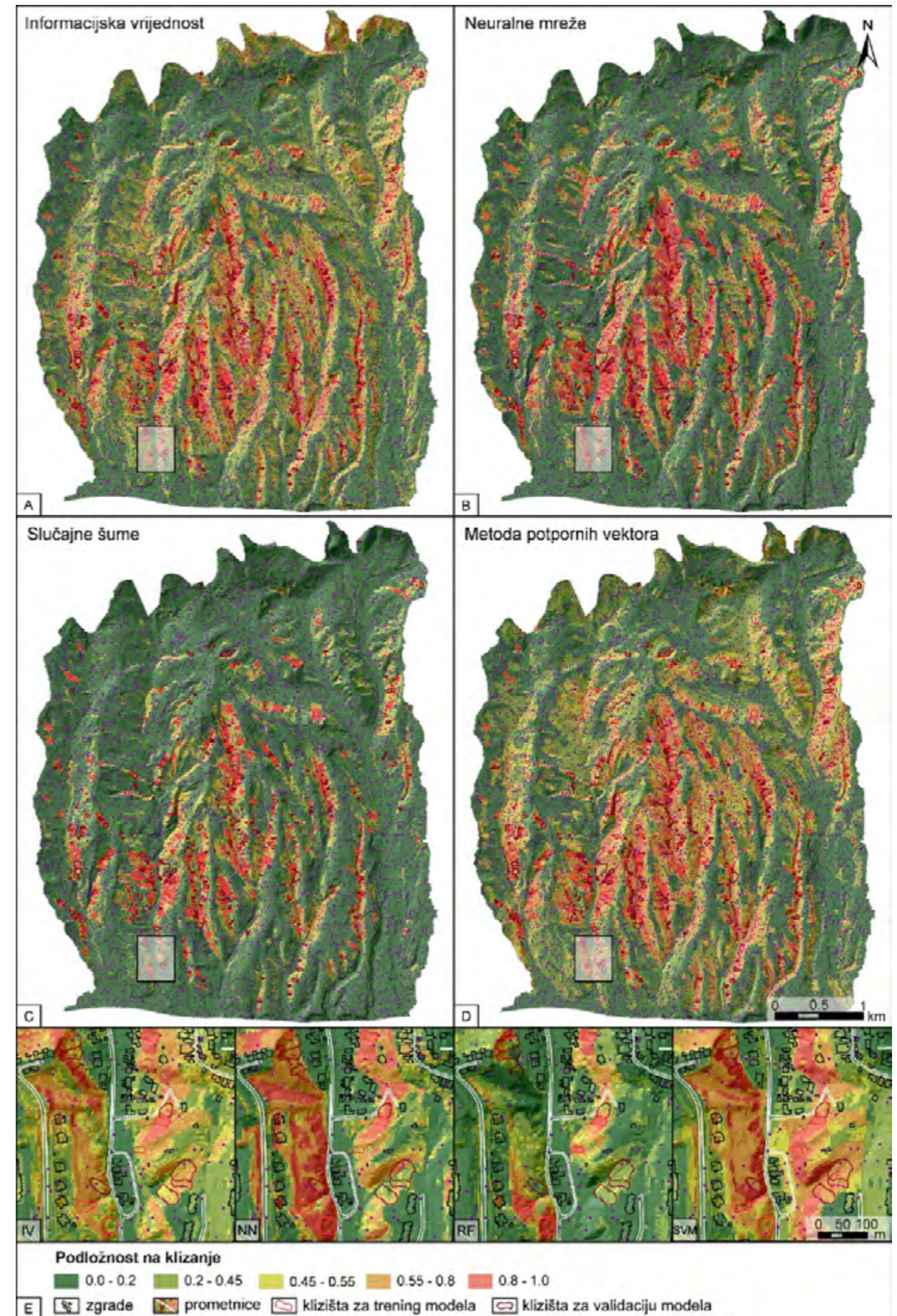
korišteni različiti ulazni podaci za izradu faktorskih karata. U prvom modelu je analiziran utjecaj faktorskih karata klizanja izvedenih iz ulaznih podataka srednjeg i sitnog mjerila i nedovoljne preciznosti i prostorne točnosti za modeliranje podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu. U drugom modelu su korištene faktorske karte klizanja izvedene iz podloga visoke rezolucije i prostorne točnosti, dobivene metodama daljinskih istraživanja. Iz usporede je vidljivo da se modeli podložnosti na klizanje značajno razlikuju u kvantitativnim parametrima točnosti treninga i predikcije modela (slika 4.12), a razlike su još i značajnije usporedbom prostorne točnosti dvaju modela (slika 4.13) (Krkač et al., 2023).



Slika 4.12 Usporedba AUC vrijednosti ROC krivulja za dva modela podložnosti na klizanje: (a) model u kojem su faktorske karte klizanja izrađene iz ulaznih podataka niske rezolucije i prostorne točnosti; (b) model u kojem su faktorske karte klizanja izrađene iz ulaznih podataka visoke rezolucije i prostorne točnosti (Krkač et al., 2023).

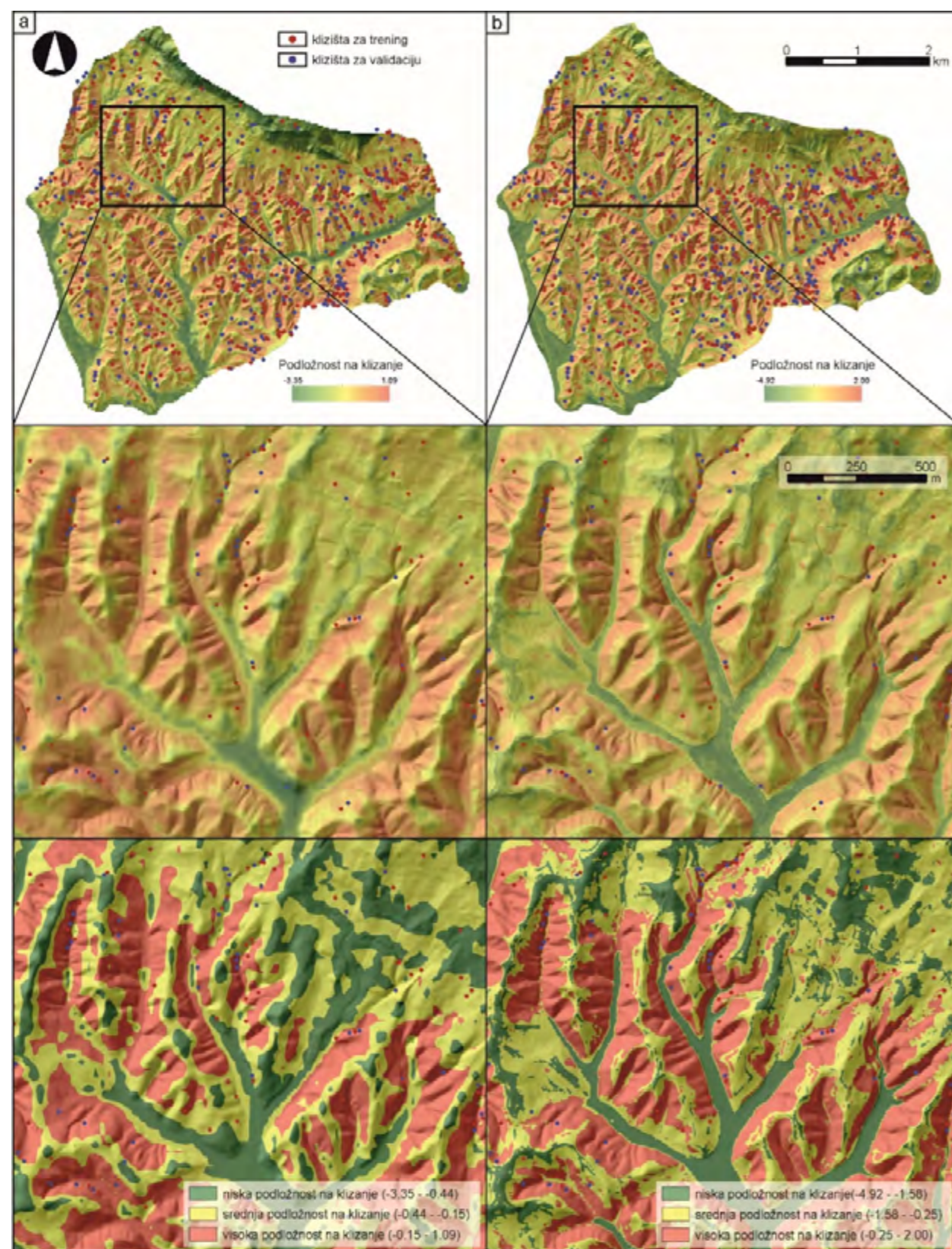
Tablica 4.2 Kriteriji i ocjene kvalitete procjene podložnosti na klizanje (Guzzetti et al., 2006a,b). Kategorije "a", "b", "c", "e" su jedinstvene. Kategorije "d", "f", "g", "h" sastavljene su od kombinacije jedinstvenih kategorija.

kategorija	zbroj prethodnih kategorija	kriterij	ocjena
a		Nije provedena procjena kvalitete i predikcije modela podložnosti.	0
b		Procjena točnosti treninga modela; točnost treninga dobivena na temelju iste informacije o klizištima koja se koristila za izradu modela podložnosti.	1
c		Procjena nepouzdanosti povezana s predikcijom podložnosti za svaku kartografsku jedinicu; nepouzdanost dobivena na temelju iste informacije o klizištima koja se koristila za izradu modela podložnosti.	2
d	b&c	(b) Procjena točnosti treninga modela i (c) procjena točnosti predikcije modela za svaku kartografsku jedinicu.	3
e		Procjena predikcije modela; točnost predikcije dobivena na temelju informacija o klizištima koje nisu korištene za izradu modela podložnosti.	4
f	b&e	(b) Procjena točnosti treninga modela i (e) Procjena točnosti predikcije modela	5
g	c&e	(c) Procjena nepouzdanosti povezana s predikcijom podložnosti za svaku kartografsku jedinicu i (e) procjena točnosti predikcije modela.	6
h	b&c&e	(b) Procjena točnosti treninga modela; (c) procjena nepouzdanosti povezana s predikcijom podložnosti za svaku kartografsku jedinicu i (e) procjena točnosti predikcije modela.	7



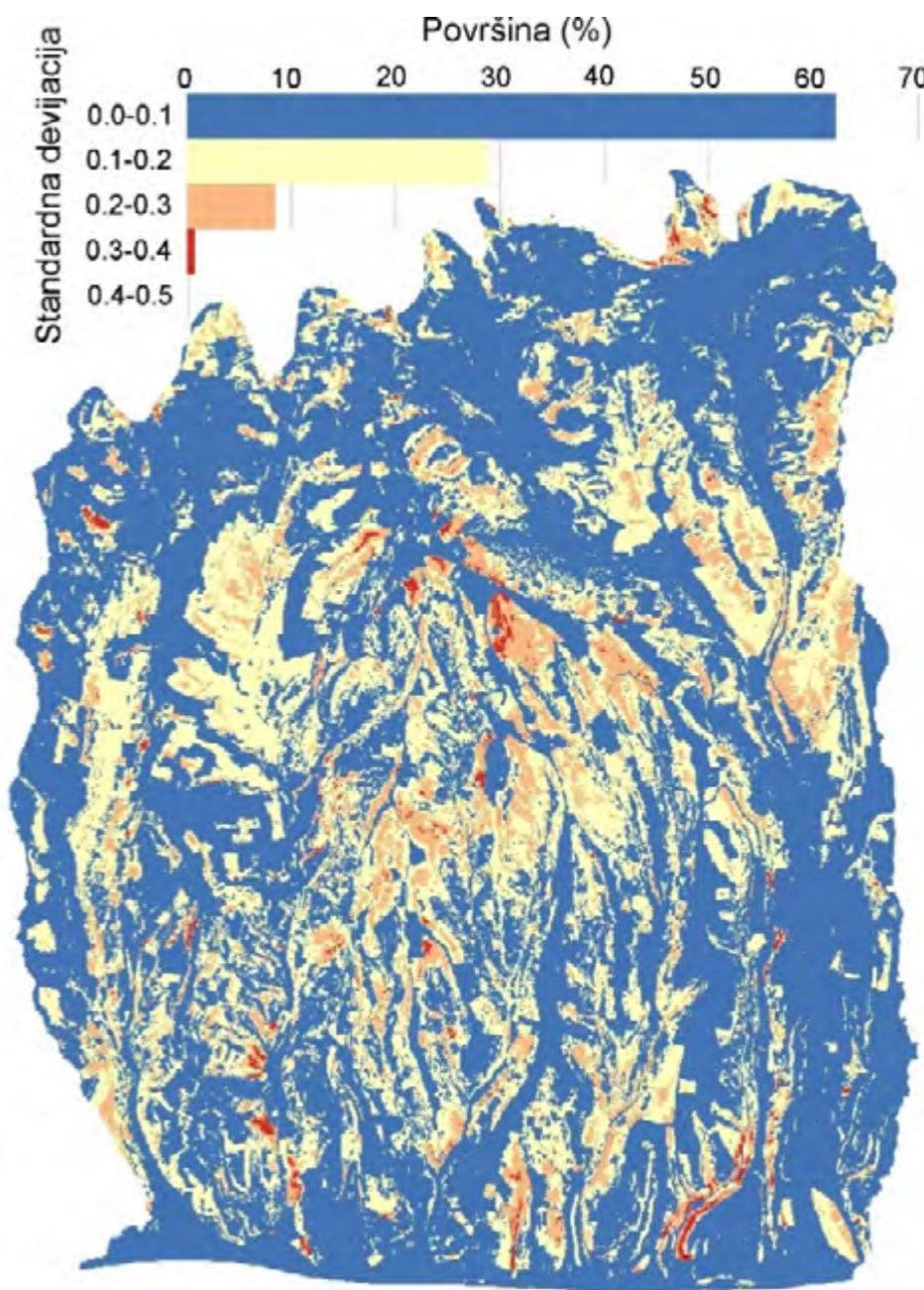
Slika 4.11 Usporedba karata podložnosti na klizanje dobivenih primjenom četiri različite statističke metode: (a) informacijska vrijednost; (b) neuronske mreže; (c) slučajne šume; (d) metoda potpornih vektora. (REFERENCA, 2222)

Guzzetti et al. (2006a,b) su predložili kriterije za ocjenu kvalitete provedene procjene podložnosti na klizanje prikazane u tablici 4.2. Ocjene za kvalitetu procjene podložnosti na klizanje kreću se od 0 (niska kvaliteta) do 7 (visoka kvaliteta) te je preporuka da se procjene podložnosti s ocjenom 0 smatraju neprihvatljivima i da ne koriste se za daljnju primjenu.



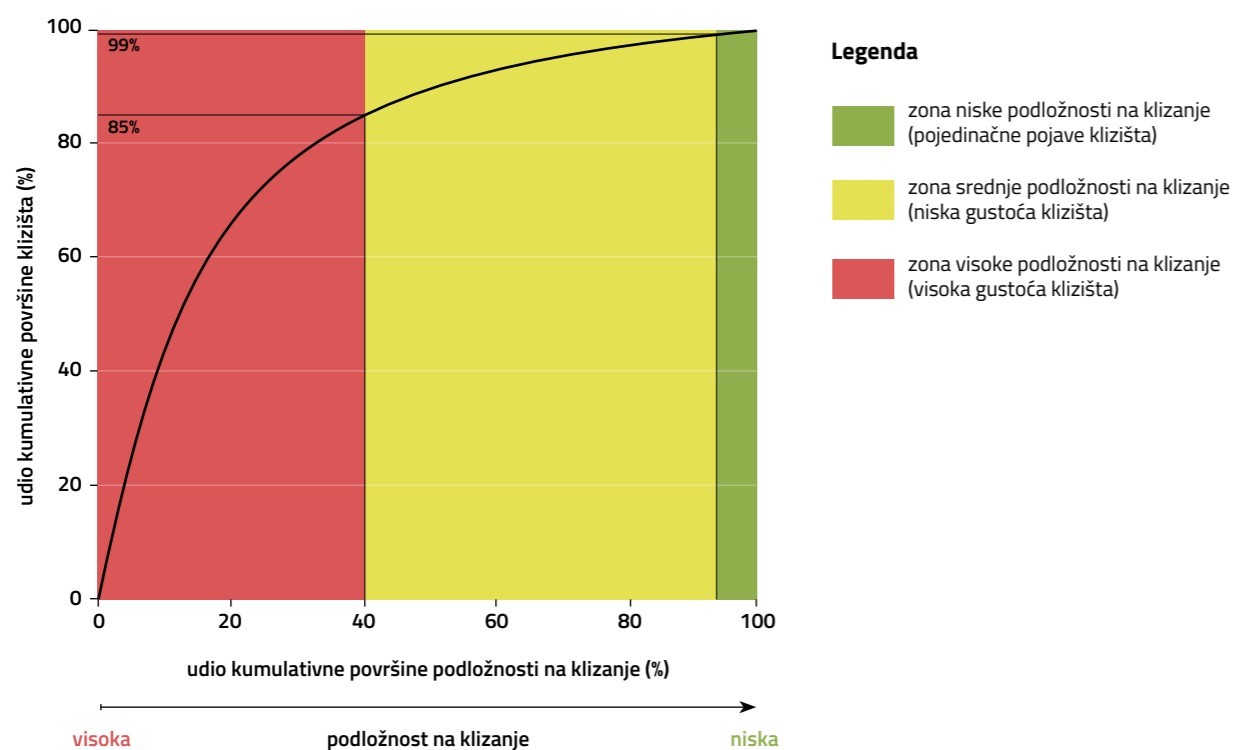
Slika 4.13 Usporedba dvaju modela podložnosti na klizanje s obzirom na kvalitetu ulaznih podataka: (a) model u kojem su faktorske karte klizanja izrađene iz ulaznih podataka niske rezolucije i prostorne točnosti; (b) model u kojem su faktorske karte klizanja izrađene iz ulaznih podataka visoke rezolucije i prostorne točnosti (Krkač et al., 2023).

Za procjenu točnosti i predikcije (validacije) modela potrebno je primijeniti različite kvantitativne parametre, kao što su površine ili AUC vrijednosti (eng. Area Under Curve) ispod krivulja operativnih karakteristika (ROC krivulja). AUC vrijednosti definirane na temelju osjetljivosti (eng. Hit Rate) i specifičnosti (eng. False Alarm Rate), Cohen kappa koeficijenta (Rossi et al. 2021) i distribucije klizišta u zonama podložnosti na klizanje. Pouzdanosti, odnosno nepouzdanosti modela moguće je procijeniti i kvalitativno primjenom karata standardne devijacije vjerojatnosti (Sinčić et al, 2024) podložnosti kako bi se dobio uvid u zone u kojima se modeli najviše razlikuju (slika 4.14). Osim toga, nužno je i vizualno procijeniti točnosti na uvećanim prikazima modela podložnosti na kartama osjenčanosti terena izvedenih iz LiDAR DMT-a visoke rezolucije. Istraživanja provedena u okviru HRZZ LandSlidePlan projekta pokazala su da isključivo kvantitativna validacija modela podložnosti na klizanje, s parametrima kao što su AUC vrijednosti određene iz ROC krivulja, ne ukazuju na prostornu točnost modela podložnosti na klizanje. Sinčić et al. (2024) dokazao je da su za validaciju karata podložnosti na klizanje u krupnom mjerilo nužni kvalitativni parametri jer prikazuju izrađene modele podložnosti u odnosu na stvarne okolišne uvjete (slika 4.11E).



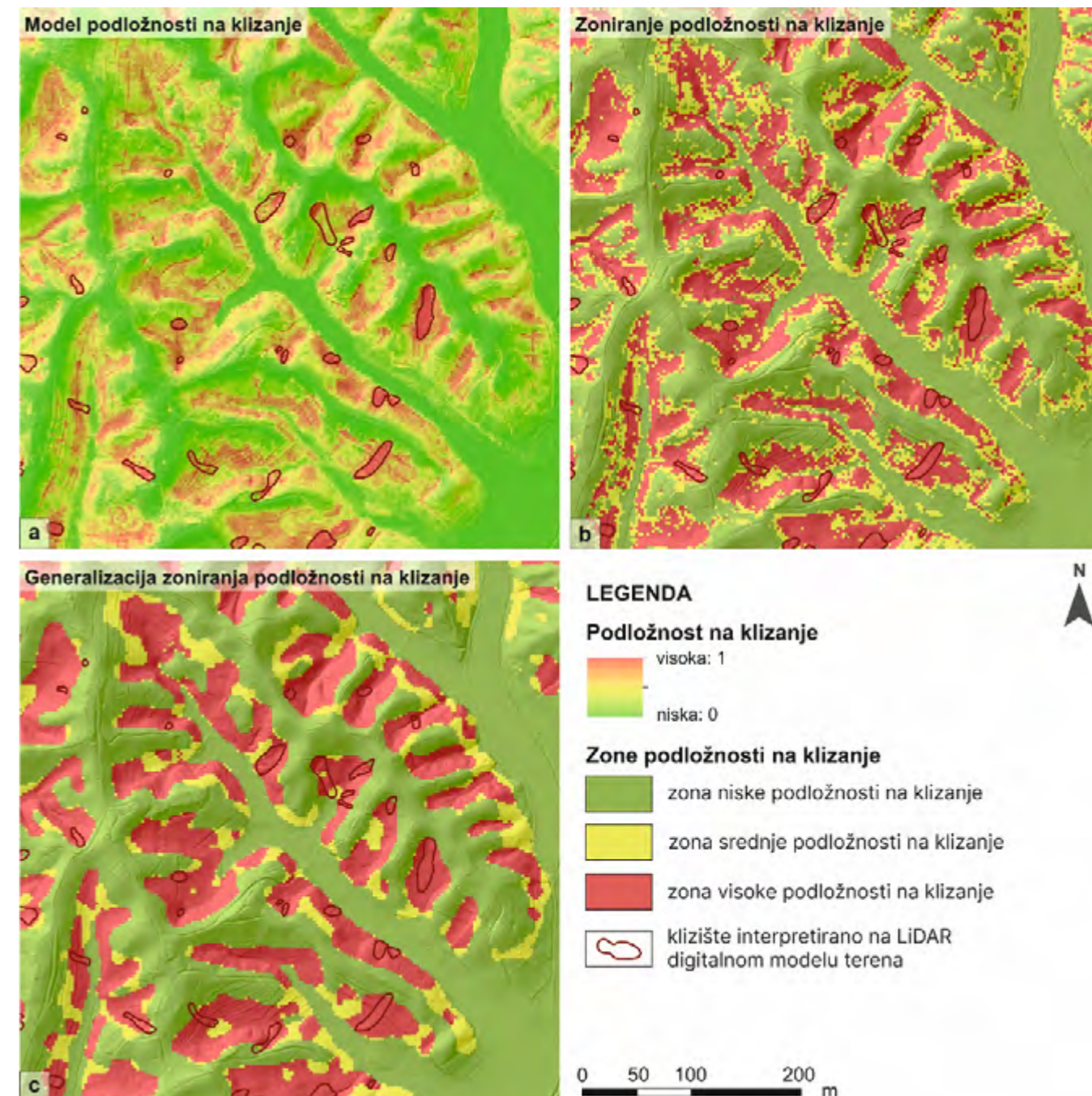
Slika 4.14 Varijabilnost standardne devijacije vjerojatnosti podložnosti za cijelo istraživano područje primjenom različitih statističkih metoda. Uspoređeni su modeli izvedeni metodom informacijske vrijednosti, linearnom regresijom, slučajnim šumama, metodom potpornih vektora i neuronskim mrežama. (REFERENCA, 2222)

Modele podložnosti na klizanje dobivene statističkim analizama potrebno je interpretirati, odnosno potrebno je provesti postupak zoniranja koji rezultira konačnom kartom podložnosti na klizanje. Pregledom svjetske literature ne postoje jedinstvene preporuke za zoniranje podložnosti na klizanje, te različiti autori primjenjuju različite metode. Za primjenu karata zoniranja podložnosti na klizanje u sustavu prostornog planiranja Republike Hrvatske preporuka je koristiti tri zone podložnosti na klizanje, odnosno zonu niske podložnosti na klizanje, zonu srednje podložnosti na klizanje i zonu visoke podložnosti na klizanje (Mihalić Arbanas et al., 2023; Bernat Gazibara et al., 2023). Granične vrijednosti zona podložnosti na klizanje definirane su ROC krivuljom (slika 4.15), koja je konstruirana s obzirom na kumulativnu površinu svih klizišta u inventaru u pojedinim klasama podložnosti na klizanje. Pri tome su granični udjeli definirani na sljedeći način (Bernat Gazibara, 2019): (i) niska zona podložnosti na klizanje definirana je kao područje na kojem se nalazi samo 1 % kumulativne površine klizišta iz potpunog inventara; (ii) zona srednje podložnosti na klizanje kao područje s maksimalno 14 % kumulativne površine klizišta; i (iii) zona visoke podložnosti na klizanje u kojoj se nalazi preostalih 85 % kumulativne površine klizišta. Predložena metoda zoniranja omogućava definiranje prosječne gustoće klizišta u pojedinoj zoni podložnosti na klizanje, i na taj način omogućava propisivanje konkretnih mjera za ublažavanje posljedica od klizišta kroz sustav prostornog planiranja (slika 4.16).



Slika 4.15 Zoniranje podložnosti na klizanje primjenom ROC krivulje te s obzirom na granične vrijednosti kumulativnih površina klizišta.

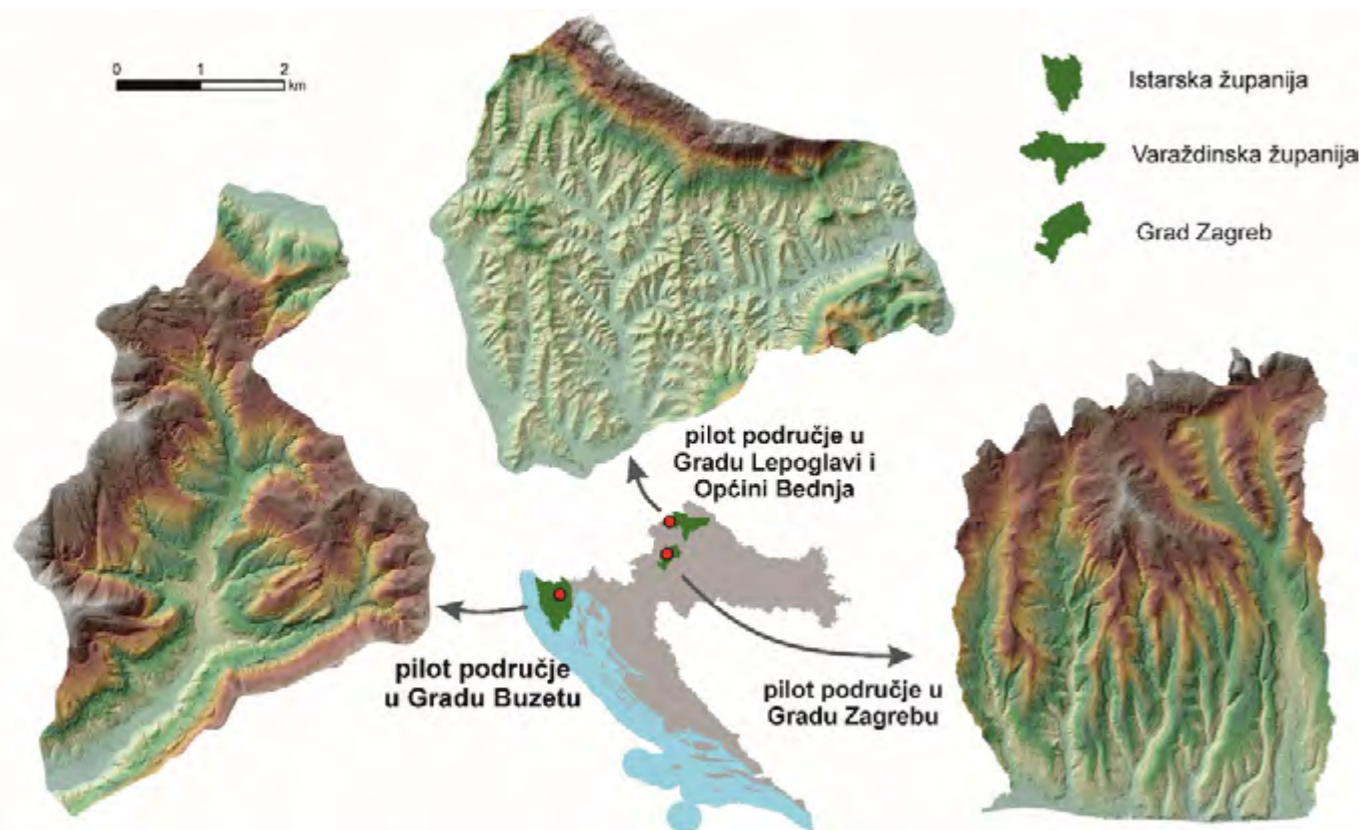
Nakon zoniranja podložnosti na klizanje, nužno je kartu generalizirati kako bi zone podložnosti na klizanje bile relativno homogene što omogućava jednostavnu i jednoznačnu praktičnu upotrebu u sustavu prostornog planiranja. Generalizacija uključuje uprosječivanje i filtriranje vrijednosti podložnosti na klizanje dobivenih za svaku pravilnu ćeliju primjenom žarišne statistike. Primjer modela podložnosti na klizanje, karte zoniranja podložnosti i generalizirane karte podložnosti prikazan je na slici 4.16. Prilikom generalizacije karte zoniranja podložnosti na klizanje, potrebno je očuvati prostornu točnost modela, a razlike u površinama zona podložnosti moraju biti minimalne nakon obrade žarišnom statistikom.



Slika 4.16 Primjer generalizacije karte zoniranja podložnosti na klizanje izrađene u krupnom mjerilu.

5. PRIMJERI KARATA KLIZIŠTA IZRAĐENIH U OKVIRU HRZZ PROJEKTA LandSlidePlan

Znanstveni i praktični cilj istraživanja provedenih u okviru HRZZ projekta LandSlidePlan bio je razvoj metodologije za procjenu podložnosti na klizanje korištenjem LiDAR tehnologije i to za različite geološke okoliše i tipove klizanja u Hrvatskoj. Metodologija je razvijena za tri pilot područja, a odabrana na temelju karakteristične geološke građe i stupnja urbanizacije: (i) pilot područje (21 km²) u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba (kvartarne i neogenske naslage; visoki stupanj urbanizacije); (ii) pilot područje (20 km²) u Hrvatskom Zagorju, na području Grada Lepoglave i Općine Bednja (kvartarne i neogenske naslage; niski stupanj urbanizacije); (iii) pilot područje (20 km²) u Istri, na području Grada Buzeta (eocenski fliš; srednji stupanj urbanizacije). Za svako pilot područje izrađene su karte inventara klizišta M 1:2.000, te su provedene zasebne sveobuhvatne analize podložnosti na klizanje koje su rezultirale trima kartama zoniranja podložnosti na klizanje M 1:5.000.

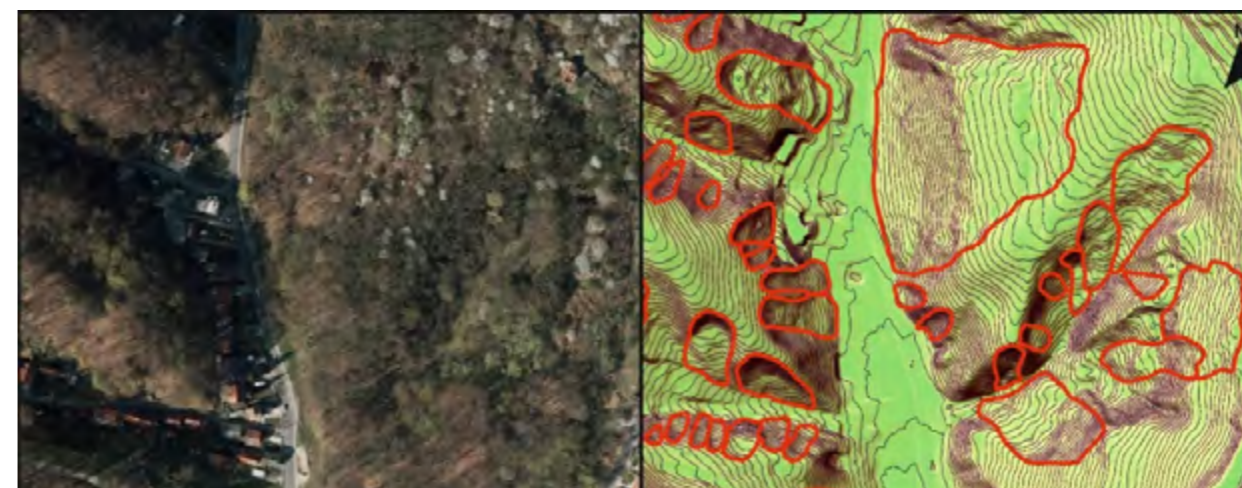


Slika 5.1 Prostorni položaj tri pilot područja u Republici Hrvatskoj za koja su izrađeni ogledni primjeri karata klizišta (s lijeva na desno): (i) pilot područje (20 km²) u Istri, na području Grada Buzeta; (ii) pilot područje (20 km²) u Hrvatskom Zagorju, na području Grada Lepoglave i Općine Bednja; (iii) pilot područje (21 km²) u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba.

5.1 Karte inventara klizišta M 1:2.000

Identifikacija i kartiranje klizišta na tri pilot područja ukupne površine oko 61 km² provedeno je vizualnom interpretacijom morfometrijskih karata izvedenih iz LiDAR DMT-a snimljenog u ožujku 2020. godine. LiDAR DMT visoke rezolucije i izvedene morfometrijske karte omogućile su vrlo točno, odnosno precizno i pouzdano kartiranje klizišta u detaljnom mjerilu, osobito na područjima prekrivenim gustom vegetacijom. Rezultat su reprezentativni inventari klizišta koji se mogu primijeniti u prostornom planiranju, ali i kao ulazni podatak za daljnju procjenu podložnosti na klizanje, odnosno izradu pouzdanih prognostičkih karata.

Morfometrijske karte korištene prilikom identifikacije klizišta vizualnom interpretacijom izrađene su iz LiDAR DMT-a rezolucije 0,3 x 0,3 m. Za identifikaciju morfologije klizišta korištene su tri morfometrijske karte, a to su karta osjenčanog reljefa, karta nagiba terena i karta slojnica ekvidistance 1 m (slika 5.2).




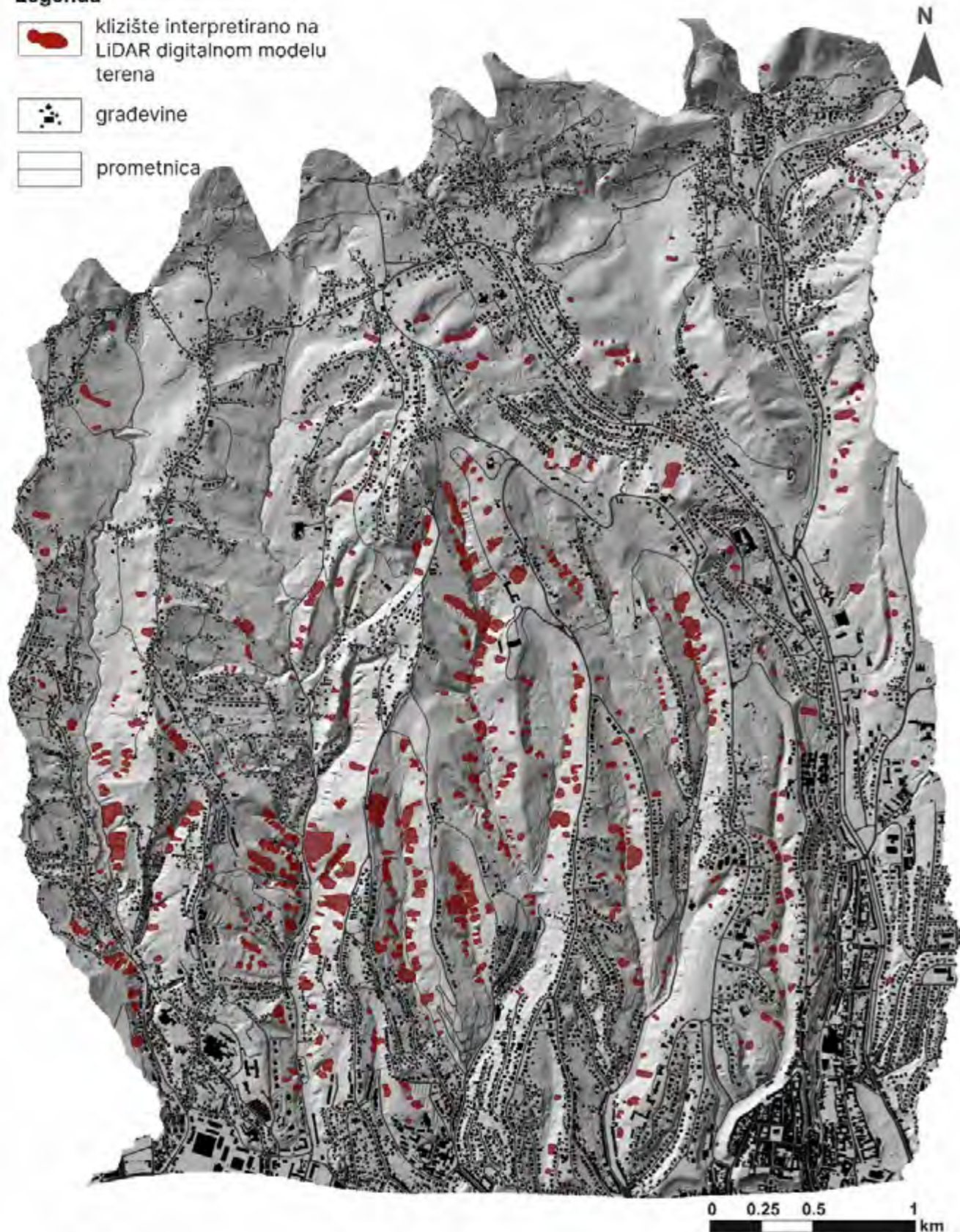
Slika 5.2 Usporedni prikaz dijela pilot područja u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba na: (a) digitalnom ortofotu (DOF); i (b) na preklapljivim morfometrijskim kartama izvedenim iz LiDAR DMT-a (karta slojnica ekvidistancije 1 m na transparentnoj karti nagiba terena i kartom osjenčanog reljefa u podlozi) s prikazom interpretiranih granica klizišta.

5.1.1 Karta inventara klizišta dijela podsljemenske zone Grada Zagreba M 1:2.000

Inventar klizišta za pilot područje dijela podsljemenske zone Grada Zagreba (površine 21 km²) obuhvaća dijelove gradskih četvrti Črnomerec, Gornji Grad – Medveščak i Podsljeme. Vizualnom interpretacijom morfometrijskih karta izvedenih iz LiDAR DMT-a identificirano je ukupno 707 klizišta za koja su iscrtnane granice klizišta, a čiji je prostorni položaj prikazan na slici 5.3. Prema mehanizmu gibanja, sve identificirane i kartirane pojave nestabilnosti na padinama nastale su isključivo procesom klizanja tla (prema klasifikaciji Cruden i Varnes, 1996), što je zaključeno na temelju litološkog sastava i geometrije pojave klizišta. Pilot područje dominantno je izgrađeno od neogenskih naslaga, a s obzirom na geometrije značajke, klizišta su relativno mala i plitka. S obzirom na stil aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993a), identificirana su sukcesivna i pojedinačna klizišta. Ukupna površina klizišta na pilot području iznosi 0,5 km², što je 2,43 % površine pilot područja, dok je srednja gustoća klizišta 33,3 klizišta/km². Veličina kartiranih klizišta je u rasponu od 43 do 8.064 m² (sred. vrijed. = 730 m², medijan = 427 m², stan. dev. = 942 m²). Najveći broj klizišta je veličine oko 400 m², dok je 90 % klizišta veličine između 100 m² i 2.000 m². Terenska provjera klizišta provedena je na 10 % klizišta u inventaru, odabranih slučajnim odabirom. Od ukupno 70 klizišta za terensku provjeru, potvrđeno je njih 21 %. Pretpostavljenih je 20 % klizišta s obzirom na nepravilnu morfologiju terena, dok za 59 % pojava nije bilo moguće utvrditi radi li se klizištu ili ne zbog njihove nepristupačnosti.

Legenda

-  klizište interpretirano na LiDAR digitalnom modelu terena
-  građevine
-  prometnica






Slika 5.3 Karta inventara klizišta dijela podsljemenske zone Grada Zagreba (21 km²) originalnog mjerila 1:2.000. Inventar klizišta izrađen je interpretacijom LiDAR DMT-a rezolucije 0,3x0,3 m snimljenom u ožujku 2020.

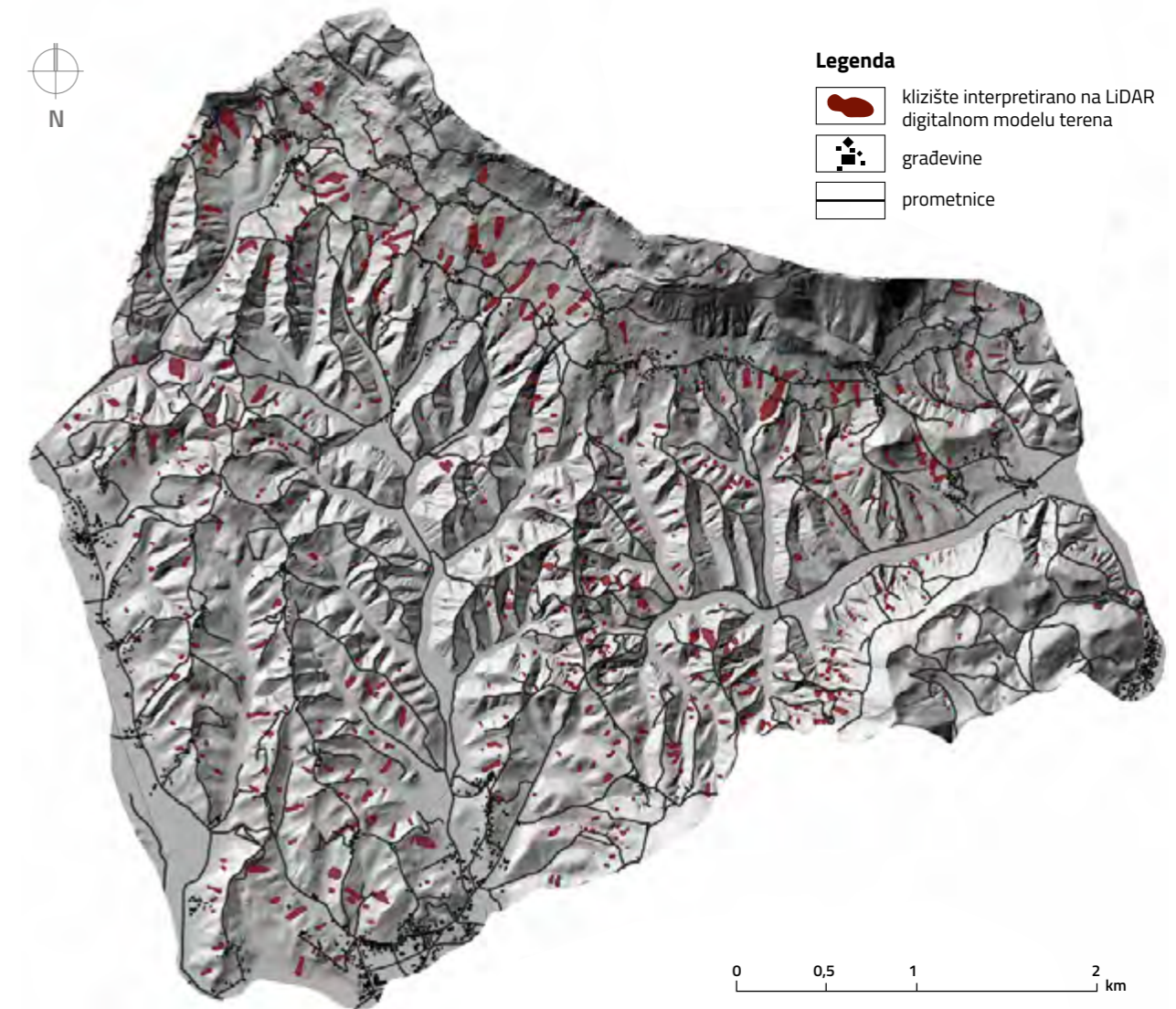
5.1.2 Karta inventara klizišta dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja M 1:2.000

Inventar klizišta za pilot područje u Hrvatskom Zagorju (površine 20,2 km²) obuhvaća dijelove Grada Lepoglave i Općine Bednja, odnosno 10-ak naselja. Vizualnom interpretacijom morfometrijskih karta izvedenih iz LiDAR DMT-a identificirano je ukupno 912 za koja su iscrtane granice klizišta, a čiji prostorni položaj je prikazan na slici 5.4. Prema mehanizmu gibanja, identificirane i kartirane pojave nestabilnosti na padinama nastale su procesima klizanja te klizanja i tečenja. Pilot područje dominantno je izgrađeno od miocenskih naslaga (>75 % područja istraživanja). Na osnovi litološkog sastava područja i utvrđene geometrije relativno malih i plitkih klizišta, zaključeno je da su to dominantno klizanja i tečenja tla (prema klasifikaciji Cruden i Varnes, 1996). S obzirom na stil aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993a), klizišta su pojedinačna i sukcesivna. Ukupna površina klizišta na pilot području iznosi 0,41 km² ili 2,02 % površine pilot područja, dok srednja gustoća klizišta iznosi 45,1 klizište/km². Veličina kartiranih klizišta iznosi od 3,3 do 13.779 m² (sred. vrijed. =448 m², medijan=173 m², stan. dev.=880 m²). Najveći broj klizišta veličine je oko 200 m². Terenska provjera provedena je na oko 24 % klizišta u inventaru, odnosno na 214 slučajno odabranih klizišta. Na terenu je oko 10 % provjerenih pojava isključeno kao klizište, dok je istovremeno identificirano dodatnih 28 pojava nastalih procesom klizanja, rezultirajući konačnim brojem od 912 klizišta u inventaru klizišta.



Legenda

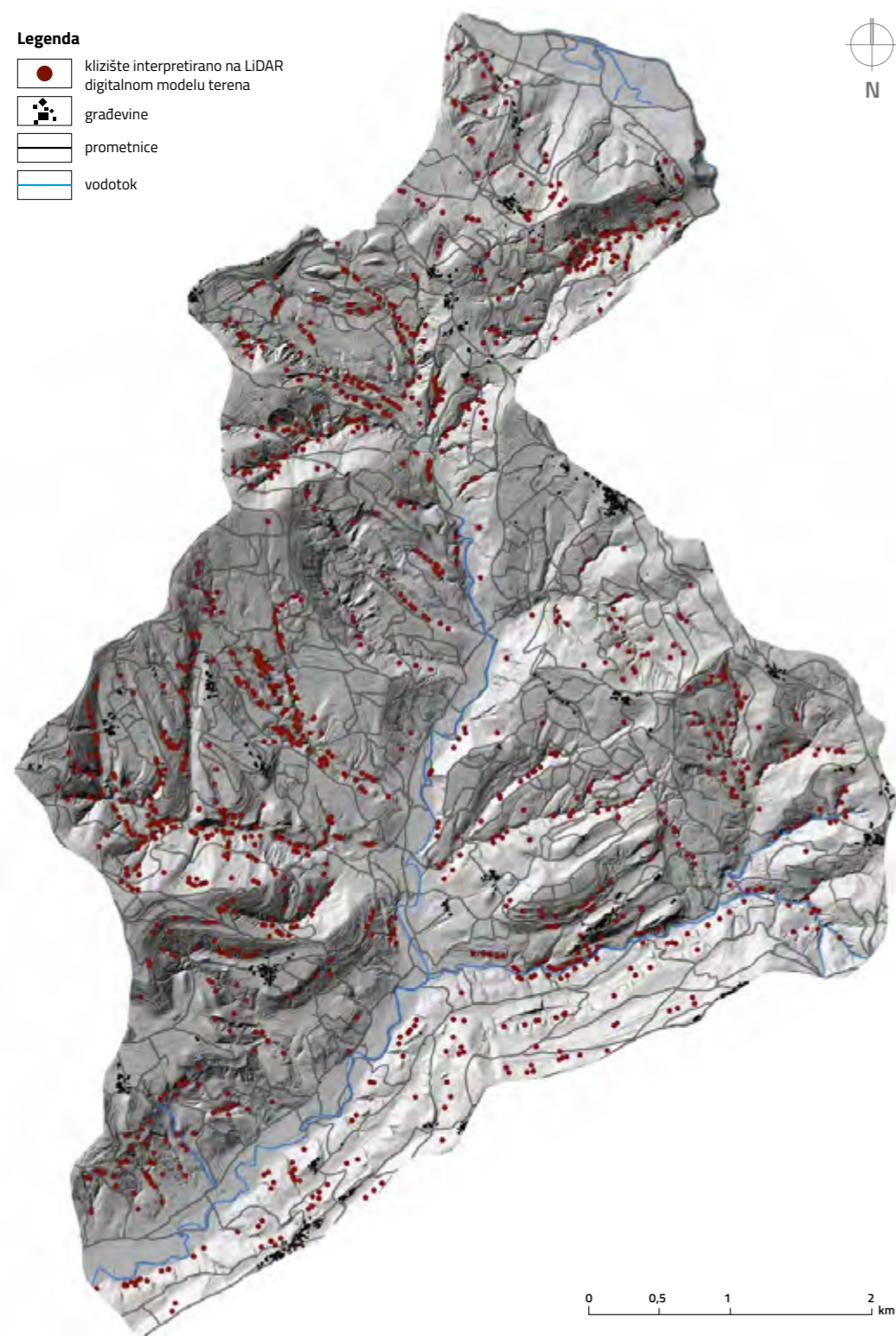
-  klizište interpretirano na LiDAR digitalnom modelu terena
-  građevine
-  prometnice



Slika 5.4 Karta inventara klizišta dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja (20 km²) originalnog mjerila 1:2.000. Inventar klizišta izrađen je interpretacijom LiDAR DMT-a rezolucije 0,3x0,3 m snimljenom u ožujku 2020.

5.1.3 Karta inventara klizišta dijela Grada Buzeta M 1:2.000

Inventar klizišta za pilot područje koje administrativno pripada Gradu Buzetu (površine 20 km²) obuhvaća područje i okolice ukupno deset manjih naselja. Vizualnom interpretacijom morfometrijskih karta izvedenih iz LiDAR DMT-a identificirano je ukupno 1.782 klizišta, a čiji je prostorni položaj prikazan na slici 5.5. Međutim, ovaj inventar nije potpuni inventar klizišta, a klizišta su kartirana točkom pozicioniranom u središtu identificiranog klizišta.



Slika 5.5 Karta inventara klizišta dijela Grada Buzeta (20 km²) originalnog mjerila 1:2.000. Inventar klizišta izrađen je interpretacijom LiDAR DMT-a rezolucije 0,3x0,3 m snimljenog u ožujku 2020.

Osnovni razlozi takvog načina kartiranja su, s jedne strane, izuzetno velika gustoća klizišta na pilot području, a s druge strane, složenost geoloških, odnosno geomorfoloških uvjeta u kojima se nalaze pojave klizišta. Naime, nastanak najvećeg broja klizišta na području Grada Buzeta vezan je uz intenzivno odvijanje procesa linijske erozije u flišnim naslagama zbog čega su klizišta smještena u aktivnim jarugama i dolinama nižeg reda. Takav topografski smještaj klizišta znatno otežava identifikaciju i kartiranje granica klizišta na LiDAR DTM-u zbog vrlo izražene morfološke sličnosti klizišta s pojavama nastalim kao posljedica procesa erozije. Iz tog razloga su za izradu potpunog inventara klizišta s iscrtnim granicama klizišta na ovom pilot području potrebna detaljnija istraživanja usmjerena na uzajamnu vezu između geomorfoloških procesa klizanja i procesa erozije. Proizlazi da je za kartiranje pojava klizišta u flišu nužno prethodno razraditi konceptualne modele tipova klizišta karakterističnih za različite specifične okoliše njihovog pojavljivanja, na osnovi kojih će biti moguće uspostaviti jednoznačne kriterije za identifikaciju i kartiranje klizišta u flišnim okolišima s izraženim utjecajem procesa erozije. Prema mehanizmu gibanja, identificirane i kartirane pojave nestabilnosti na padinama nastale su procesima klizanja te klizanja i tečenja. Većina klizišta su nastala klizanjem, prevladavaju plitka translacijska klizanja, a mali broj pojava su duboka rotacijska klizišta. S obzirom na geološku građu pilot područja u kojoj dominiraju siliciklastične sedimentne stijene, tj. flišne naslage izrazito podložne procesima trošenja, klizišta su pretežno klizanja i tečenja tla (prema klasifikaciji Crudena i Varnesa, 1996). S obzirom na stil aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993a), koji ukazuje na tip ili kombinaciju tipova gibanja prema njihovom mehanizmu, identificirana su pojedinačna te sukcesivna klizišta. Srednja gustoća klizišta na pilot području iznosi 89 klizišta/km². Procijenjena prosječna veličina klizišta je oko 200 m².

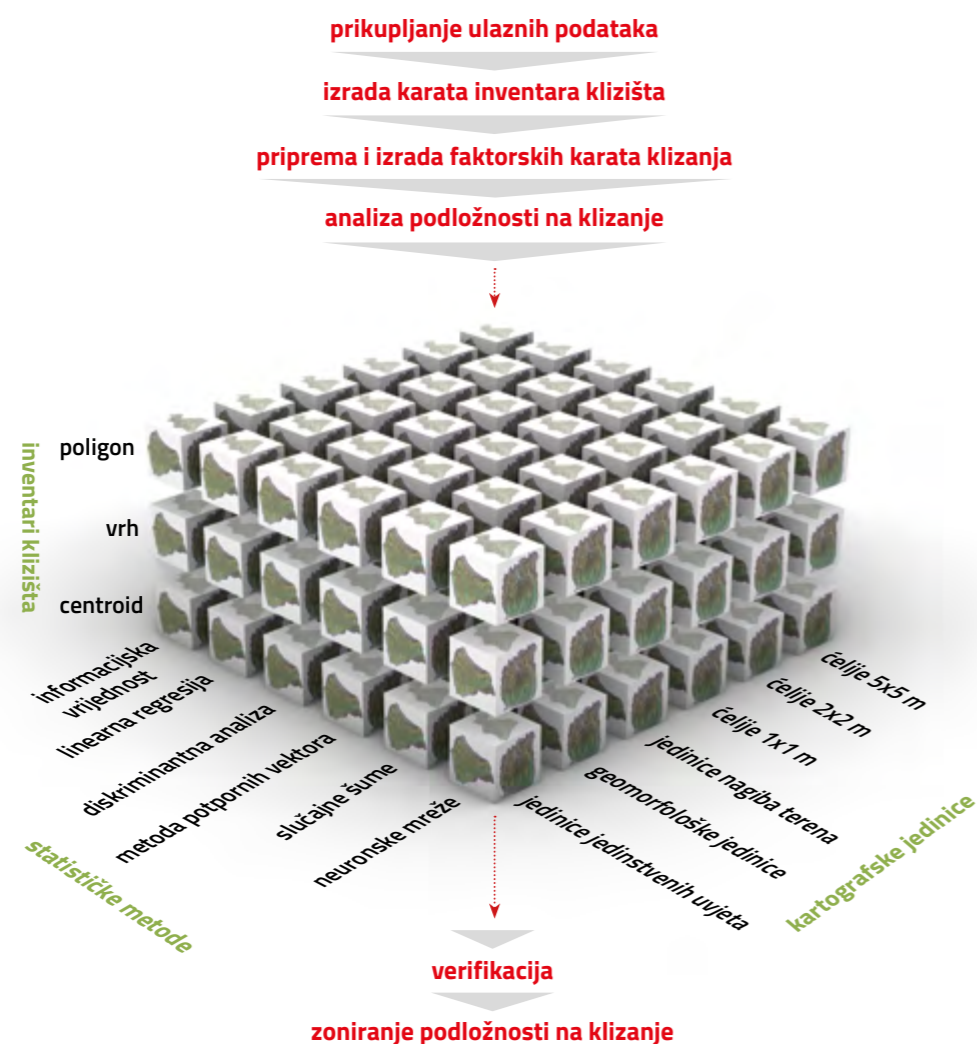
5.2 Karte zoniranja podložnosti na klizanje M 1:5.000

Analiza podložnosti na klizanje uključivala je izradu velikog broja modela podložnosti primjenom različitih statističkih metoda, kartografskih jedinica i ulaznih podataka (geometrijskih oblika inventara klizišta (slika 5.6) te preko 20 faktorskih karata klizanja) za svako od tri pilot područja. Statističke metode primijenjene za izradu modela podložnosti na klizanje uključuju bivarijantne statističke metode (metodu informacijske vrijednosti i WoE), multivarijantne statističke metode (linearna i kvadratna diskriminantna analiza) te metode strojnog učenja (linearna regresija, metoda potpornih vektora, slučajnih šuma i neuronske mreže). Modeli podložnosti na klizanje izrađeni su primjenom šest kartografskih jedinica, a to su pravilne ćelije rezolucije 1, 2 i 5 m, zatim dvije razine detaljnosti jedinica nagiba terena (Alvioli et al., 2016) i jedinice jedinstvenih uvjeta koje predstavljaju presjek određenih faktorskih karata klizanja (Carrara et al., 1995). Također, analiza je provedena s obzirom za različite detaljnosti inventara klizišta te su za treniranje modela korišteni poligoni kartiranih pojava klizišta, točke na čelu klizišta i točke u centroidu identificiranog klizišta. Analiza podložnosti na klizanje provedena je na temelju 50 % klizišta iz inventara određenih slučajnim odabirom (treniranje modela), a verificirana je na temelju preostalih 50 % klizišta.

Za procjenu točnosti i predikcije (validacije) modela primijenjeni su različiti kvantitativni parametri, kao što su: AUC vrijednosti određene iz krivulja operativnih karakteristika (ROC krivulja), AUC vrijednosti definirane na temelju osjetljivosti i specifičnosti, Cohen kappa koeficijent, i distribucija klizišta u zonama podložnosti na klizanje. Pouzdanosti, odnosno nepouzdanosti modela procijenjene su primjenom karata standardne devijacije vjerojatnosti podložnosti kako bi se procijenile zone u kojima se modeli najviše razlikuju te provedbom vizualne procjene prostorne točnosti na uvećanim prikazima modela podložnosti preklapljenim s kartama osjenčanosti terena izvedenih iz LiDAR DMT-a visoke rezolucije.

Zoniranje podložnosti na klizanje provedeno je primjenom ROC krivulje konstruirane s obzirom na kumulativnu površinu svih klizišta u inventaru u pojedinim klasama podložnosti na klizanje. Pri tome su granični udjeli klizišta u zonama podložnosti definirani na sljedeći način: (i) niska zona podložnosti na klizanje definirana je kao područje na kojem se nalazi samo 1 % kumulativne površine klizišta iz potpunog inventara; (ii) zona srednje podložnosti na

klizanje kao područje s maksimalno 14 % kumulativne površine klizišta; i (iii) zona visoke podložnosti na klizanje u kojoj se nalazi preostalih 85 % kumulativne površine klizišta.

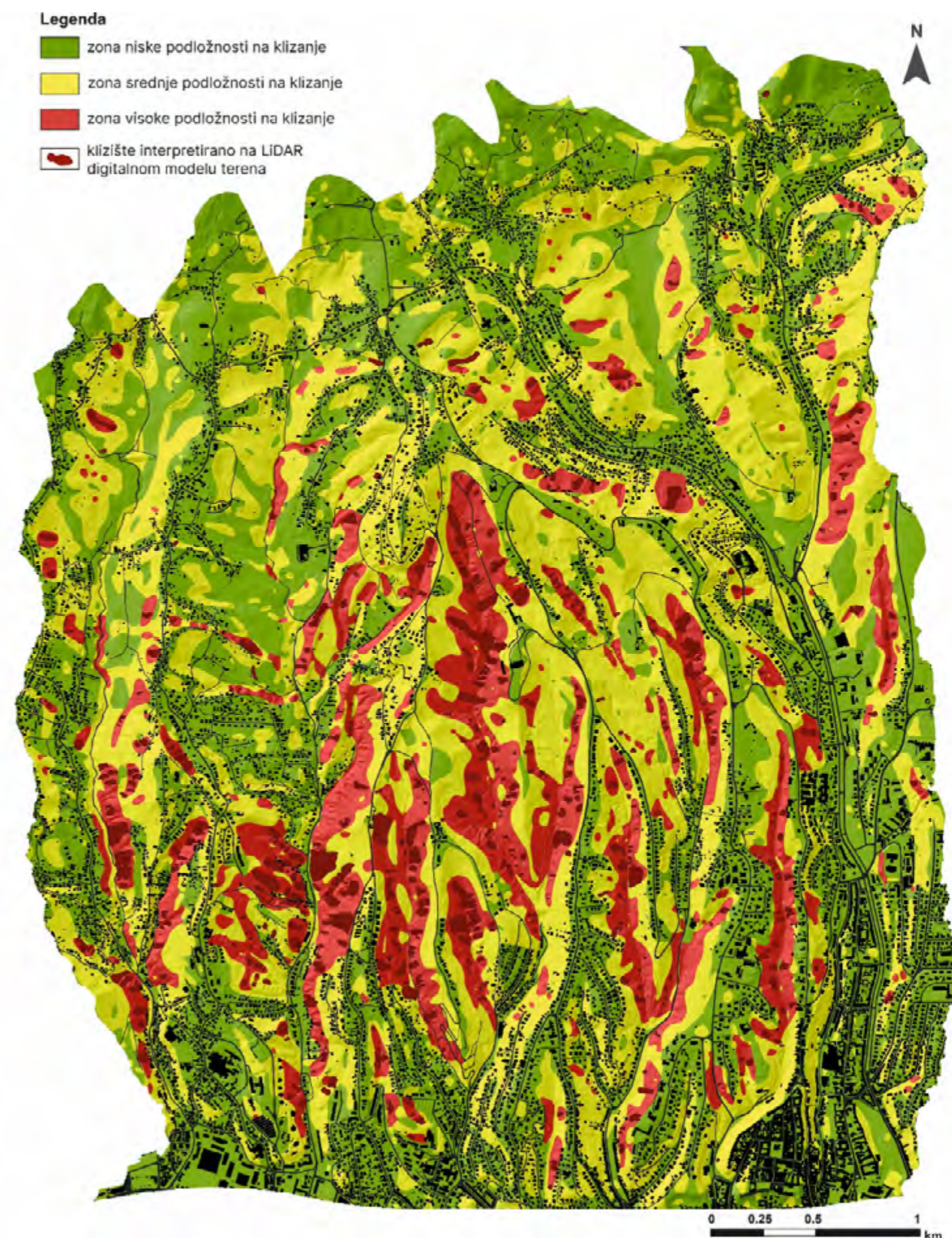


Slika 5.6 Prikaz metodologije procjene podložnosti na klizanje u krupnom mjerilu u okviru projekta LandSlidePlan na tri pilot područja.

5.2.1 Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela podsljemenske zone Grada Zagreba M 1:5.000

Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela podsljemenske zone Grada Zagreba M 1:5.000 (slika 5.7) izrađena je za cijelo pilot područje površine 21 km², a obuhvaća dijelove gradskih četvrti Črnomerec, Gornji Grad – Medveščak i Podsljeme.

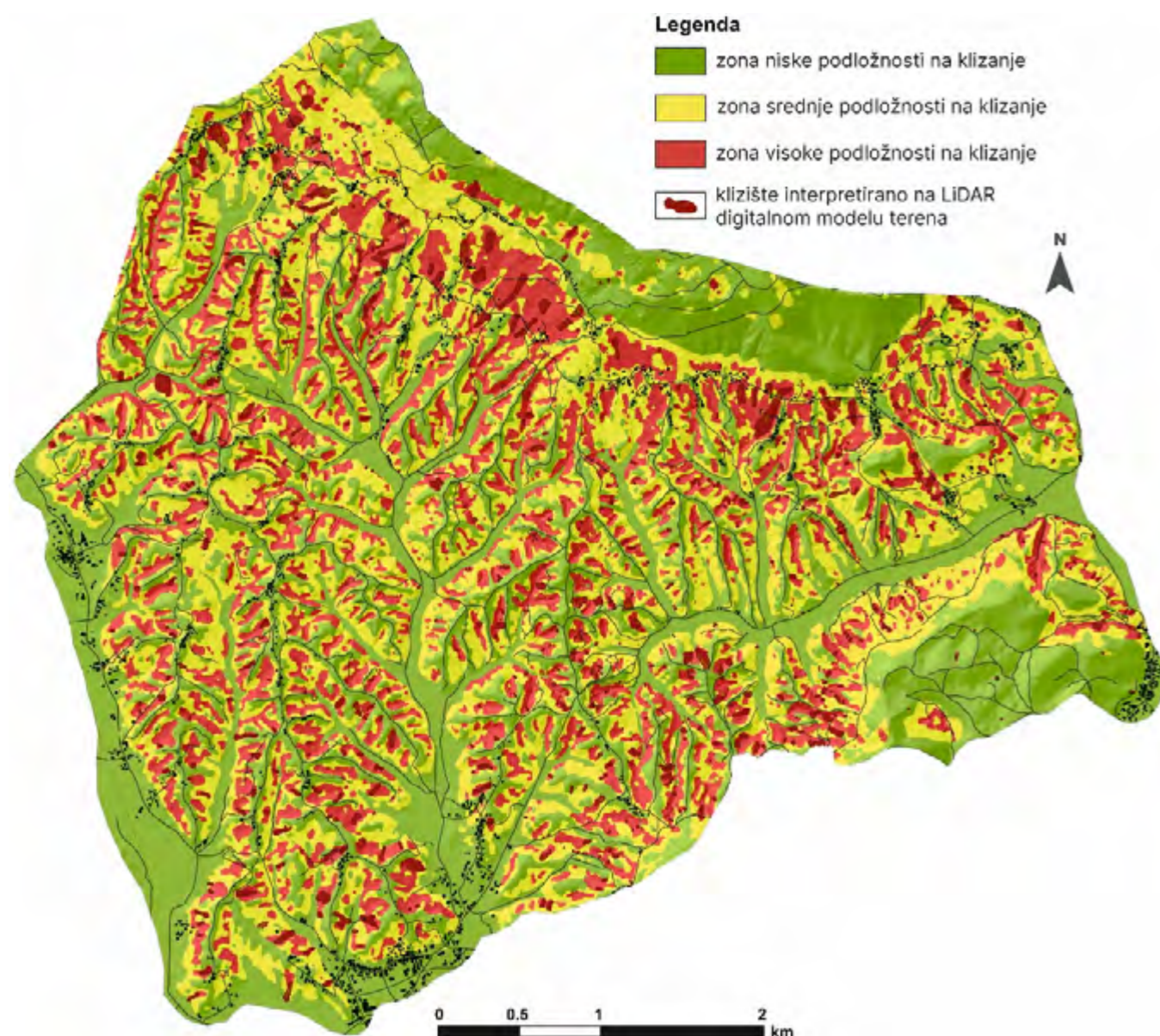
Procjena podložnosti na klizanje provedena je primjenom statističke metode slučajnih šuma na ukupno deset faktorskih karata klizanja koje su tijekom analize ocijenjene kao relevantne i međusobno nezavisne, a to su: nadmorska visina, nagib terena, orijentacija padine, vrsta stijene, udaljenost od geoloških granica, vlažnost terena, udaljenost od drenažne mreže i stvarno korištenje zemljišta. Korištena kartografska jedinica su pravilne ćelije veličine 5x5 m. Analiza podložnosti na klizanje provedena je na temelju 50 % poligona klizišta iz inventara definiranih slučajnim odabirom, a verificirana je s preostalim 50 % poligona klizišta. Točnost modela podložnosti na klizanje, odnosno AUC vrijednost iznosi 100 %, a AUC predikcije iznosi 87 %. Prema izrađenoj karti, zona niske podložnosti obuhvaća 9,7 km² ili 45,9 % površine pilot područja, zona srednje podložnosti 8,3 km² ili 39,3 % površine pilot područja i zona visoke podložnosti na klizanje 3,1 km² ili 14,7 % površine pilot područja.



Slika 5.7 Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela podsljemenske zone Grada Zagreba (21 km²) originalnog mjerila 1:5.000

5.2.2 Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja M 1:5.000

Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja mjerila 1:5.000 (slika 5.8) izrađena je za cijelo pilot područje površine 20 km², a obuhvaća dijelove Grada Lepoglave i Općine Bednja. Procjena podložnosti na klizanje provedena je primjenom statističke metode slučajnih šuma na ukupno 12 faktorskih karata klizanja koje su tijekom analize ocijenjene kao relevantne i međusobno nezavisne, a to su: nadmorska visina, nagib terena, orijentacija padine, zakrivljenost terena, hrapavost terena, raščlanjenost terena, gustoća izohipsi, inženjerskogeološke jedinice, vlažnost terena, udaljenost od drenažne mreže, stvarno korištenje zemljišta, i udaljenost od prometne infrastrukture i zgrada. Korištena kartografska jedinica su pravilne ćelije veličine 5x5 m. Analiza podložnosti na klizanje provedena je na temelju 50 % poligona klizišta iz inventara definiranih slučajnim odabirom, a verificirana je s preostalih 50 % poligona klizišta. Točnost modela podložnosti na klizanje, odnosno AUC vrijednost iznosi 99 %, a AUC predikcije iznosi 81 %. Prema izrađenoj karti zona niske podložnosti obuhvaća 12,3 km² ili 61,2 % površine pilot područja, zona srednje podložnosti 2,8 km² ili 13,9 % površine pilot područja i zona visoke podložnosti na klizanje 5,0 km² ili 24,9 % površine pilot područja.



Slika 5.8 Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja (20 km²) originalnog mjerila 1:5.000.

5.2.3 Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Buzeta M 1:5.000

Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Buzeta M 1:5.000 (slika 5.9) izrađena je za cijelo pilot područje površine 20 km², a obuhvaća područje i okolicu ukupno deset manjih naselja. Procjena podložnosti na klizanje provedena je primjenom statističke metode potpornih vektora na ukupno 15 faktorskih karata klizanja koje su tijekom analize ocijenjene kao relevantne i međusobno nezavisne, a to su: nadmorska visina, nagib terena, orijentacija padine, zakrivljenost terena, raščlanjenost terena, vrsta stijene, udaljenost od rasjeda, vlažnost terena, udaljenost od drenažne mreže, udaljenost od potoka, udaljenost od izvora, stvarno korištenje zemljišta, udaljenost od prometne infrastrukture, udaljenost od zgrada i udaljenost od granica stvarnog korištenog zemljišta. Korištena kartografska jedinica su pravilne ćelije veličine 5x5 m. Analiza podložnosti na klizanje provedena je na temelju 50 % centroida klizišta iz inventara definiranih slučajnim odabirom, a verificirana je s preostalih 50 % centroida klizišta. Točnost modela podložnosti na klizanje, odnosno AUC vrijednost iznosi 87 %, a AUC predikcije iznosi 86 %. Prema izrađenoj karti, zona niske podložnosti obuhvaća 8,0 km² ili 40,0 % površine pilot područja, zona srednje podložnosti 6,8 km² ili 34,2 % površine pilot područja i zona visoke podložnosti na klizanje 5,1 km² ili 25,8 % površine pilot područja.



Slika 5.9 Karta zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Buzeta (20 km²) originalnog mjerila 1:5.000.

6. PRIMJENA KARATA KLIZIŠTA U PROSTORNOM PLANIRANJU

Zbog značajnih materijalnih, socioekonomskih i ekoloških šteta, kao i drugih gubitaka koji su posljedica klizišta, primjenjuju se različite tehnike i prakse kako bi se ublažile potencijalne štete i gubici. Pristup izbjegavanja područja na kojima mogu nastati klizišta vrlo rijetko je prihvatljiv, a također nema potrebe, niti je moguće u potpunosti zabraniti izgradnju u područjima podložnim klizanju. Izuzetak su područja s velikim aktivnim klizištima. Ključni zadatak je odabrati najučinkovitiji pristup ublažavanju opasnosti i rizika od klizišta, te financirati i primijeniti najbolja rješenja. Za to je potrebno raspolagati podacima o tome gdje se nalaze klizišta, odnosno u kojim zonama mogu nastati nova klizišta. Za ostvarivanje ovog ključnog zadatka koriste se karte klizišta.

Prijedlog USGS-a (engl. U.S. Geological Survey) za državnu strategiju ublažavanja opasnosti od klizišta (National Research Council, 2004) razlikuje sljedeće pristupe ublažavanja: (i) ograničavanje razvoja u područjima podložnim klizanjima; (ii) primjenu pravila struke i dobre prakse za iskope, izgradnju i ocjenjivanje stabilnosti zemljišta; (iii) inženjerske mjere koje osiguravaju stabilnost padina; (iv) uspostavljanje sustava za praćenje i upozoravanje na klizišta; i (v) pružanje osiguranja od klizišta. Isti prijedlog također navodi da su "karta inventara klizišta i karte podložnosti na klizanje nužno potrebne u područjima države podložnima klizištima". Ove karte moraju biti dovoljno detaljne da omoguće provedbu mjera ublažavanja opasnosti i rizika na lokalnoj razini.

USGS je identificirao tri aktivnosti koje su potrebne za izradu karata inventara klizišta i procjene podložnosti, odnosno za dobivanje podataka i informacija o klizištima koje su potrebne službenicima uprava i prostornim planerima za smanjenje rizika i gubitaka od klizišta: (i) izraditi plan za izradu karata i procjenu opasnosti, te ga provoditi na području cijele države; (ii) izraditi inventar klizišta za cijelu državu; (iii) razviti i poticati korištenje normi i smjernica za izradu karata, kao i smjernica za procjenu podložnosti na klizanje.

Korisnici podataka i informacija o klizištima značajno se razlikuju ovisno o vrsti informacija koje su im potrebne i po njihovoj sposobnosti korištenja tih informacija. Postoje četiri glavne skupine potencijalnih korisnika informacija o klizištima: (i) znanstvenici i inženjeri koji izravno koriste podatke i informacije; (ii) prostorni planeri i donositelji odluka, koji uz ostale kriterije korištenja zemljišta i razvoja razmatraju opasnosti od klizišta; (iii) investitori, graditelji te financijske i osiguravateljeve organizacije; i (iv) zainteresirani građani, edukatori i ostali s malo ili bez tehničkog iskustva.

6.1 Mogućnosti primjene ovisno o mjerilu karte klizišta

U ovom poglavlju prikazuju se spoznaje objavljene u Smjernicama za primjenu karata klizišta u Republici Hrvatskoj (Mihalić Arbanas et al., 2023), a koje se također odnose i na prototipove karata inventara klizišta i karata zoniranja podložnosti na klizanje izrađenim u okviru HRZZ projekta LandSlidePlan (2020.-2023. godine). Predložene mogućnosti primjene karata rezultat su rasprava i razgovora s prostornim planerima i donositeljima odluka koji podatke i informacije o klizištima razmatraju zajedno s drugim pokazateljima tijekom definiranja namjene zemljišta, a također i sa pripadnicima sustava civilne zaštite koji koriste podatke i informacije o klizištima, kako za procjene rizika od nesreća, tako i za planiranje i provođenje aktivnosti i mjera civilne zaštite.

Općenito, karta zoniranja podložnosti na klizanje Republike Hrvatske (RH) u sitnom mjerilu (1:100.000) može se koristiti jedino kao informativni pokazatelj rasprostranjenosti područja podložnih na klizanje u Republici Hrvatskoj. Ova karta pokazuje da u svim županijama u RH postoje područja podložna klizanju, a za koja je nužna detaljnija razrada u svrhu dobivanja preciznijih podataka.

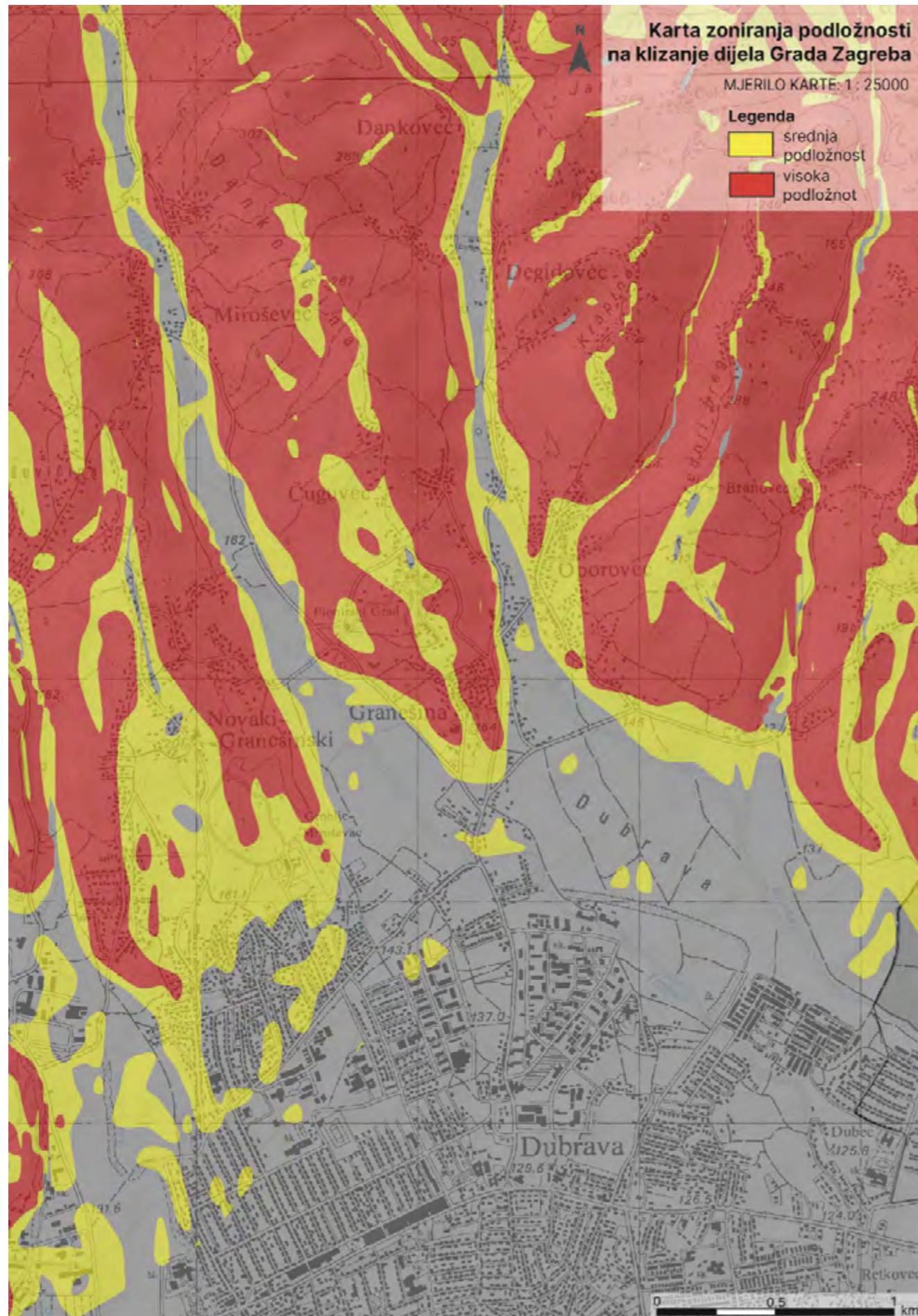
Karte zoniranja podložnosti na klizanje srednjeg mjerila izrađene za područja županija (1:25.000) prikazuju zone za koje je potrebna detaljnija procjena podložnosti na klizanje. Zone definiraju granice obuhvata područja za koje je potrebno propisati navedeno u županijskim prostornim planovima kao obavezu prije izrade prostornih planova lokalne razine. Karte zoniranja podložnosti na klizanje krupnog mjerila, izrađene za gradove i općine i (1:5.000) prikazuju zone za koje se kroz odredbe za provedbu prostornog plana mogu propisati uvjeti korištenja te uvjeti gradnje (za projektiranje, za građenje i nakon građenja). Njih se preporučuje koristiti kod izrade ili izmjene/dopune prostornog plana uređenja grada ili općine te urbanističkog plana uređenja za donošenje odluka o korištenju i namjeni površina, kao i o posebnim uvjetima/režimima za gradnju i druge zahvate u prostoru. Osim prostornim planerima i suradnicima u izradi prostornih planova, informacije i podaci o klizištima, kada su ugrađeni u prostorne i urbanističke planove, namijenjeni su i projektantima i drugim inženjerima uključenim u gradnju (inženjerskim geolozima ili geotehničkim inženjerima) kao preliminarne informacije o geohazardima koje su neophodne za definiranje obima istraživanja za određene planirane zahvate, bilo da se radi o preliminarnim ili detaljnim istraživanjima prije ili u fazi projektiranja.

U vezi s primjenom karata klizišta, važno je naglasiti da područne (regionalne) uprave imaju različite potrebe za podacima i informacijama o klizištima od lokalnih uprava. Korištenje karata zoniranja podložnosti na klizanje mjerila 1:25.000 omogućit će županijama sveobuhvatan uvid u rasprostranjenost područja podložnih klizanju čime će dobiti potrebne informacije temeljem kojih mogu preuzeti inicijativu propisivanjem obaveza za nižu razinu, odnosno za jedinice lokalne samouprave koje upravljaju područjima podložnim na klizanje. Treba istaknuti da zone na ovim kartama srednjeg mjerila sužavaju obaveze za detaljnija zoniranja podložnosti u krupnim mjerilima, što je višestruko korisno jer sužava i područja s obavezama za izradu evidencija postojećih klizišta (tzv. karata inventara klizišta). Sustavna izrada i primjena karata zoniranja podložnosti za sve županije u Republici Hrvatskoj također će osigurati sveobuhvatne informacije o opasnosti od klizišta za državnu razinu, za upravljanje prostorom, prostorno planiranje, upravljanje rizicima i druge primjene.

6.2 Primjena karata zoniranja podložnosti na klizanje M1:25.000 u prostornom planiranju

Karte zoniranja podložnosti na klizanje mjerila 1:25.000 namijenjene su za određivanje širih zona u kojima je potrebno provoditi mjere ublažavanja opasnosti od klizišta, kako za evidentirana klizišta, tako i za zone u kojima postoji potencijalna opasnost za nastanak novih klizišta u slučaju intenzivnih oborina. Budući da urbanizacija i građenje velikih infrastrukturnih i drugih građevina značajno doprinose nastanku klizišta, te dovode do neprihvatljivih troškova ako se provode na području postojećih klizišta, od iznimne je važnosti preventivno ublažavanje opasnosti reguliranjem namjene zemljišta. Međutim, to iziskuje detaljnije podatke i informacije o klizištima, odnosno zoniranje podložnosti u mjerilu 1:5.000 i izradu potpunih inventara klizišta u mjerilu 1:2.000.

Slika 6.1 prikazuje primjer dijela Karte zoniranja podložnosti na klizanje Grada Zagreba M1:25.000 na kojoj su vidljive zone visoke i srednje podložnosti na klizanje označene crvenom i žutom bojom. Zone niske podložnosti na klizanje su bez boje, budući da se ne smatraju opasnim. Na ovoj karti, crvena zona je područje za koje je u županijskom prostornom planu potrebno za prostorne planove niže razine propisati obavezu izrade karte zoniranja podložnosti na klizanje M1:5.000 i karte inventara klizišta M1:2.000. Žuta zona označava područje za koje je potrebno samo mjestimično propisati istu obavezu, a detaljnije granice će se utvrditi naknadno i to prospekcijom od strane inženjerskog geologa koji će provoditi daljnju procjenu i zoniranje podložnosti na klizanje. Na osnovi ove karte zoniranja, moguće je za svaki pojedini grad/općinu utvrditi opseg obaveze za izradu detaljnijih karata klizišta, te time procijeniti vrijeme i troškove za njihovu izradu.



Slika 6.1 Isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje Grada Zagreba mjerila 1:25.000.

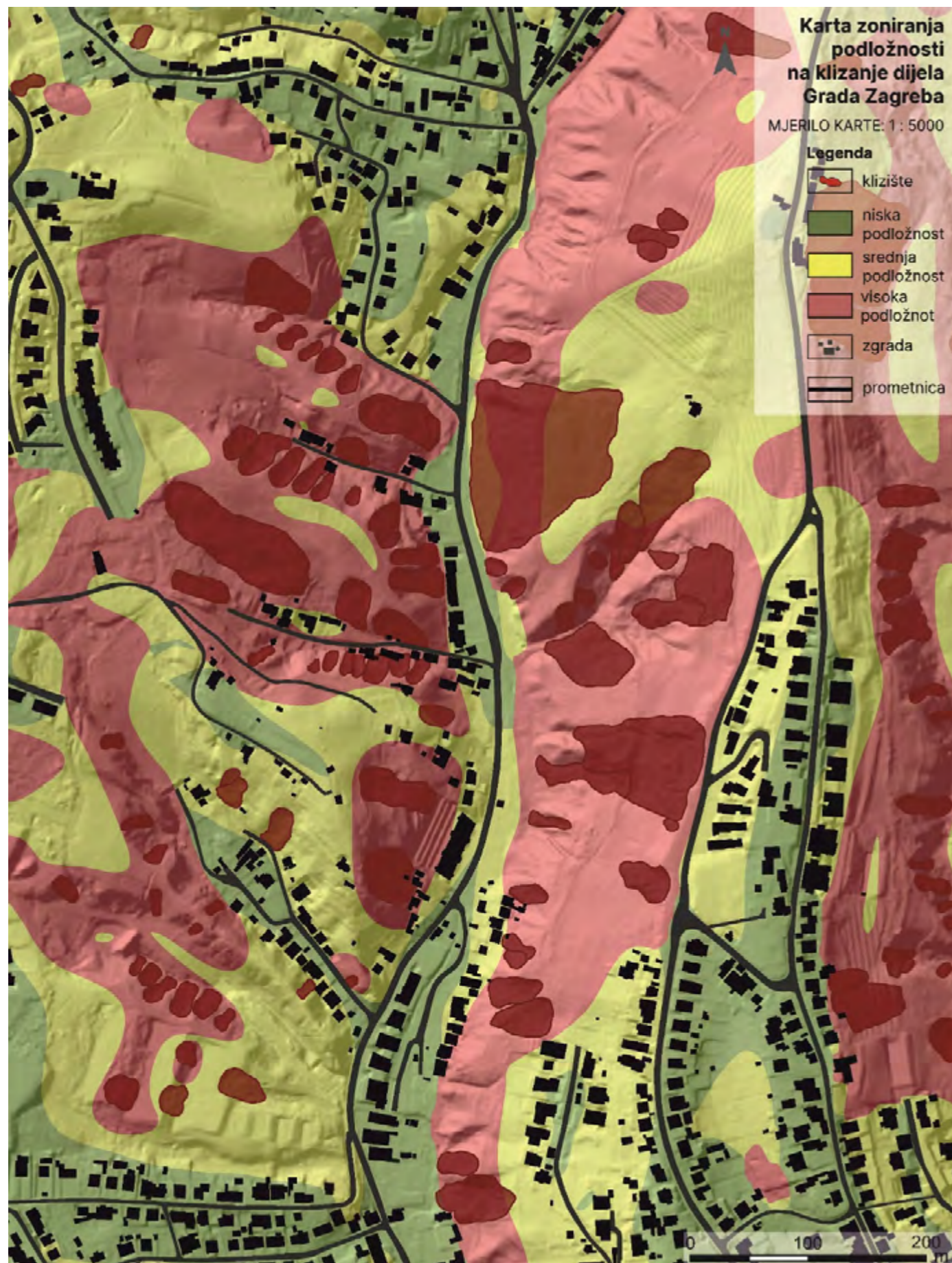
6.3 Primjena karata zoniranja podložnosti na klizanje M1:5.000 u prostornom planiranju

Karte zoniranja podložnosti na klizanje mjerila 1:5.000 također su namijenjene za određivanje zona u kojima je potrebno provoditi mjere ublažavanja opasnosti od klizišta, kako od postojećih, odnosno evidentiranih klizišta, tako i potencijalno novih klizišta. U odnosu na karte podložnosti srednjeg mjerila, ove karte prikazuju detaljnije zoniranje provedeno na temelju podataka iz karata inventara klizišta kako bi osigurale informacije za ublažavanje opasnosti reguliranjem korištenja i namjene prostora. Budući da se informacije o podložnosti s ovih karata moraju upotpuniti s podacima o postojećim klizištima, potrebno ih je koristiti u kombinaciji s kartama inventara klizišta mjerila 1:2.000.

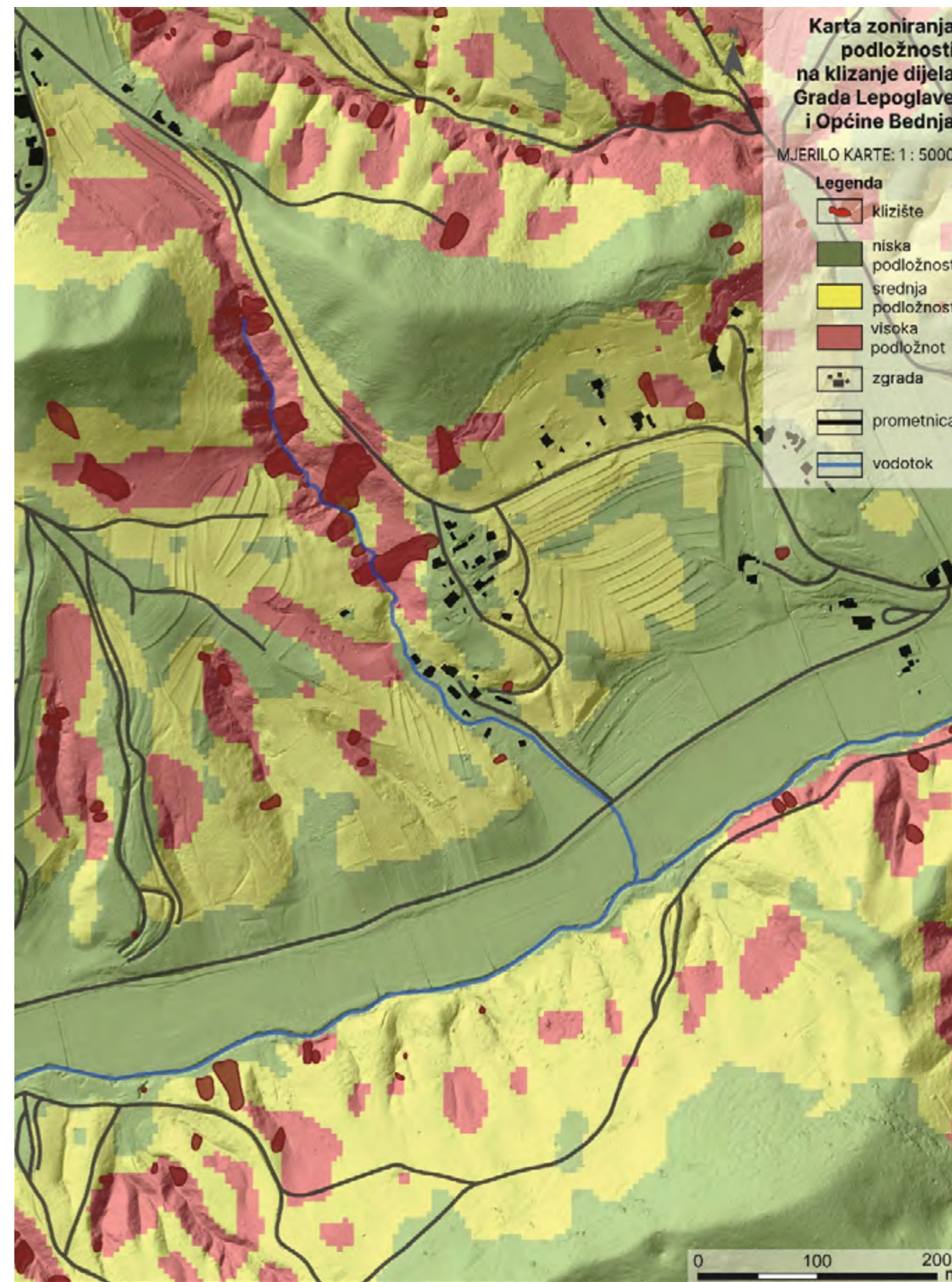
Slika 6.2 prikazuje isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Zagreba M1:5.000 na kojoj su vidljive zone visoke i srednje podložnosti na klizanje u gradskoj četvrti Črnomerec, označene crvenom i žutom bojom. Zone niske podložnosti na klizanje su bez boje, budući da se ne smatraju opasnim. Za crvene i žute zone s ove karte potrebno je kroz prostorni plan lokalne razine (npr. Generalni urbanistički plan grada Zagreba, GUP) propisati posebne režime korištenja, odnosno uvjete gradnje. Informacije o podložnosti na klizanje s ove karte, u kombinaciji s podacima o evidentiranim klizištima s karte inventara klizišta, nužne su za donošenje odluka o tome gdje je optimalno trasirati infrastrukturne linijske građevine u odnosu na postojeću i potencijalnu opasnost od klizišta, gdje planirati građevinska područja i pojedinačne zahvate izvan građevinskih područja, a također i kakve građevine planirati unutar pojedinog građevinskog područja.

Na slici 6.3 prikazan je isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja M1:5.000. S obzirom da se radi o istoj vrsti karte s prikazom zona visoke i srednje podložnosti na klizanje (crvena i žuta boja), iz karte su također vidljiva područja koja se ne smatraju opasnim u odnosu na klizišta (zone niske podložnosti na klizanje bez boje). Slično kao i za GUP grada Zagreba, ova karta u kombinaciji s kartom inventara klizišta daje sve potrebne podatke i informacije za prostorne planove lokalne razine za istu namjenu kako je naprijed opisano.

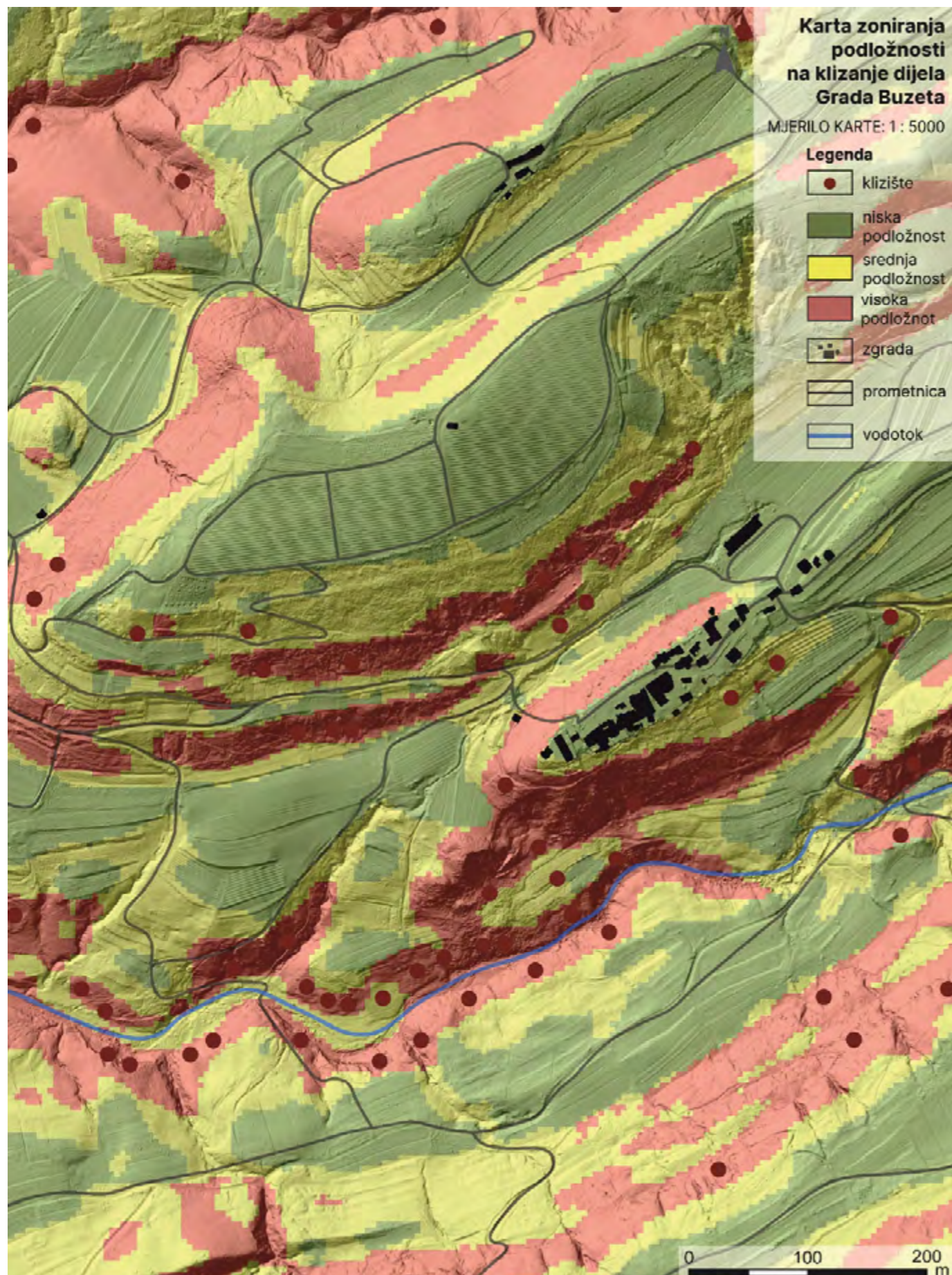
Na slici 6.4 prikazan je isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Buzeta M1:5.000. Iako su zone podložnosti na klizanje (crvene, žute i bez boje) kreirane modeliranjem iz točkastih podataka o klizištima, moguće ih je koristiti za istu namjenu, kroz prostorne planove lokalne razine, kao što je opisano u prethodnim primjerima. Međutim, karta inventara klizišta s prikazom samo točke u centroidu identificiranog klizišta omogućava samo načelne preporuke za donošenje odluka u odnosu na postojeća klizišta i obavezuje na iscrtavanje granica klizišta u fazi projektiranja.



Slika 6.2 Isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Zagreba mjerila 1:5.000 s prikazom klizišta s karte inventara.



Slika 6.3 Isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Lepoglave i Općine Bednja mjerila 1:5.000 s prikazom klizišta s karte inventara.



Slika 6.4 Isječak iz Karte zoniranja podložnosti na klizanje dijela Grada Buzeta mjerila 1:5.000 s prikazom klizišta s karte inventara.

6.4 Ostale primjene karata klizišta krupnog mjerila

Karte inventara klizišta mjerila 1:2.000 namijenjene su za evidenciju svih postojećih klizišta u odnosu na koja je potrebno provoditi mjere ublažavanja opasnosti, bilo sprječavanjem ponovnog klizanja (reaktivacije klizišta) ili sanacijom klizišta. Kroz prostorno planiranje na razini jedinice lokalne samouprave, važno je spriječiti prostorni razvoj na području velike gustoće klizišta ili na području velikih klizišta na kojima sanacija klizišta nije isplativa. Karta s evidencijom svih postojećih klizišta također je namijenjena za provođenje mjera ublažavanja rizika, jer omogućava identifikaciju elemenata pod rizikom (stambenih, javnih, poslovnih i drugih zgrada u kojima su ljudi izloženi riziku, kao i linijskih infrastrukturnih građevina i drugog), a time i detaljnu procjenu rizika za pojedinačna klizišta. U kombinaciji s kartom podložnosti na klizanje mjerila 1:5.000, moguće je procjenu rizika proširiti i na rizik od klizišta koja bi se tek mogla dogoditi. Ova karta također daje podatke za planiranje i provođenje mjera i aktivnosti civilne zaštite koje se odnose na pripravnost i uzbuđivanje vezano za odabrana visoko rizična klizišta.

Karte inventara klizišta u krupnom mjerilu uzimaju u obzir specifičnosti pojedinačnih klizišta prilikom donošenja odluka o tome gdje je optimalno trasirati linijske infrastrukturne građevine, u kojem smjeru širiti postojeća građevinska područja te gdje planirati nova građevinska područja i pojedinačne zahvate izvan građevinskih područja, a također i kakve građevine planirati unutar građevinskog područja. Za definiranje posebnih režima korištenja, odnosno uvjeta gradnje u prostornim planovima više razine (županijska razina i Grad Zagreb) i prostornim planovima lokalne razine od osobite je važnosti raspolagati kartom evidentiranih klizišta jer se kroz odredbe za provedbu prostornog plana za postojeća klizišta nameću obaveze sanacija klizišta prije građenja ili druge građevinske mjere, kojima je potrebno potpuno eliminirati opasnost od klizišta.

Ista karta omogućava da se uzmu u obzir specifičnosti pojedinačnih klizišta pri procjeni rizika od nesreća koju provode jedinice lokalne samouprave. Sva klizišta koja su uz postojeće zgrade ili u njihovoj neposrednoj blizini (npr. unutar 10 m udaljenosti), treba tretirati kao visoko rizična, jer u slučaju reaktiviranja mogu prouzročiti oštećenja na zgradama i time ugroziti ljude. Za najrizičnija klizišta potrebno je provoditi aktivnosti i mjere ublažavanja rizika koje uključuju kontinuirana praćenja klizišta, kako bi se omogućila pripravnost i uzbuđivanje u izvanrednim situacijama. Karta s potpunim inventarom klizišta također omogućava donošenje odluka o iseljavanju najugroženijih stanovnika i drugih korisnika prostora. Veličina i položaj klizišta u prostoru, prikazani na karti inventara klizišta, namijenjeni su i kao stručni podaci za izvide na terenu i hitno odlučivanje o daljnjim mjerama (zabrana pristupa, evakuacija, hitne mjere sanacije, sanacija i dr.), a također omogućavaju utvrđivanje nastanka novog klizišta.

Slike 6.5 predstavlja isječak prethodno opisanih detaljnih karata klizišta u mjerilu 1:2.000 koje su preklapljene s podacima o zgradama, prometnicama i vodotocima u urbanom području u gradu Zagrebu. Primjer prikazuje da se radi o kartama dovoljno krupnog mjerila za analize ugroženosti od klizišta. Korist od procjene ugroženosti na temelju podataka s karata klizišta su informacije o prostornoj distribuciji rizičnih klizišta koja su relevantna za krajnjeg korisnika specifičnih interesa. Korisnici informacija o ugroženosti od klizišta mogu pripadati nekoj od sljedećih skupina: službe civilne zaštite, inženjeri koji izravno koriste podatke i informacije o klizištima za određene lokacije projekta; donositelji odluka i investitori koji upravljaju prometnicama i drugim građevinama kritične infrastrukture; donositelji odluka i investitori koji upravljaju vodama, šumama i drugim prirodnim resursima; zainteresirani građani i privatni investitori s malo ili bez tehničkog iskustva; osiguravajuća društva. Karte klizišta detaljnog mjerila pomažu u prepoznavanju problematičnih područja, kao i područja koja nisu problematična niti to mogu postati s obzirom na opasnosti ili rizik od klizišta.

Ovi vrijedni podaci o klizištima, preklapljeni s korištenjem zemljišta i drugim tematskim kartama koje prikazuju prirodne i druge resurse, osnova su za planiranje cijelog niza daljnjih aktivnosti i mjera ublažavanja opasnosti i rizika. Korištenjem podataka o klizištima u analizama ugroženosti mogu se razviti konkretne mjere na državnoj, regionalnoj i lokalnoj razini upravljanja prometnicama, vodotocima, šumama, kako bi se održale postojeće

građevine ili osiguralo održivo korištenje šuma ili voda, kao i održivo upravljanje okolišem. Analize ugroženosti od klizišta također su korisne i u svrhu zaštite okoliša, budući da klizišta uzrokuju degradaciju okoliša uništavanjem vegetacijskog pokrova i onemogućavanjem održavanja površina unutar klizišta. Dodatni primjeri karata inventara klizišta objavljeni su u Atlasu karata klizišta projekta PRI-MJER (Bernat Gazibara et al., 2023) na kojima su vidljivi izrazito ugroženi dijelovi okoliša zbog vrlo gustog rasporeda klizišta uzrokovanih erozijom. Stoga je jedan od krajnjih rezultata upravljanja opasnostima od klizišta i zaštita krajolika iz perspektive očuvanja prirode i okoliša, a također i osiguravanje mnogih funkcija krajolika od kojih ljudi imaju koristi ili o kojima ovise. Budući da se radi o prirodnoj pojavi, izrada karata klizišta nužna je za prikupljanje i kreiranje podataka za informacijske sustave zaštite okoliša i prirode, osobito u dijelu praćenja stanja okoliša. Zbog toga izrada karata klizišta mora biti početni korak u uspostavi programa koji promoviraju dugoročno smanjenje gubitaka od klizišta.



Slika 6.5 Isječak iz Karte inventara klizišta dijela Grada Zagreba mjerila 1:2.000 s prikazom elemenata pod rizikom (zgrade, prometnice, vodotok).

REFERENCE

- Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21–44.
- Alvioli, M., Marchesini, I., Reichenbach, P., Rossi, M., Ardizzone, F., Fiorucci, F., and Guzzetti, F. (2016): Automatic delineation of geomorphological slope units with r.slopeunits v1.0 and their optimization for landslide susceptibility modeling. *Geoscientific Model Development*, 9, 3975–3991
- Amundsen, J., Johnson, S., Rouse, K., Wang, H. (2010): Using LiDAR derived DEM's to delineate and characterize landslides in Northern Kentucky and Hamilton County, Ohio. URL: http://www.trishock.com/academic/pdf/lidar_landslides.pdf (zadnji pristup: 20. travnja 2019.)
- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2002): Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 3–14.
- Ardizzone F., Cardinali M., Galli M., Guzzetti F., Reichenbach P. (2007): Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne LiDAR. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(6), 637–650.
- Bell, R., Petschko, H., Röhrs, M., Dix, A. (2012): Assessment of landslide age, landslide persistence and human impact using airborne laser scanning digital terrain models. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 94, 135–156.
- Bernat Gazibara, S. (2019): Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnoga modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Doktorski rad, 257 str.
- Bernat Gazibara, S., Sinčić, M., Krkač, M., Lukačić, H., Mihalić Arbanas, S. (2023): Landslide susceptibility assessment on a large scale in the Podsljeme area, City of Zagreb (Croatia). *Journal of Maps*, 1–11.
- Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S. (2019a): Verification of historical landslide inventory maps for the Podsljeme area in the City of Zagreb using LiDAR-based landslide inventory. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 34, 45–58.
- Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S. (2019b): Landslide inventory mapping using LiDAR data in the City of Zagreb (Croatia). *Journal of Maps*, 15, 773–779.
- Bernat Gazibara i dr. (2023): Atlas PRI-MJER
- Booth, A.M., Roering, J.J., Perron J.T. (2009): Automated landslide mapping using spectral analysis and high-resolution topographic data: Puget Sound lowlands, Washington, and Portland Hills, Oregon. *Geomorphology*, 109, 132–147.
- Borkowski, A., Perski, Z., Wojciechowski, T., Jóźków, G., Wójcik, A. (2011): Landslides mapping in Roznow Lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8 (3), 325–333.
- Cardinali, M., Guzzetti, F., Brabb, E.E. (1990): Preliminary map showing landslide deposits and related features in New Mexico, U.S. Geological Survey Open File Report 90/293, 4 sheets, scale 1:500,000.
- Cardinali, M., Antonini, G., Reichenbach, P., Guzzetti, F. (2001): Photo geological and landslide inventory map for the Upper Tiber River basin. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Publication n. 2116, scale 1:100,000.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (1995): GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. U: Carrara, A. and Guzzetti, F. (ur.): *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Engleska, 135–176.
- Chigira, M., Duan, F., Yagi, H., Furuya, T. (2004): Using an airborne laser scanner for the identification of shallow landslides and susceptibility assessment in an area of ignimbrite overlain by permeable pyroclastics. *Landslides*, 1, 203–209.
- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M.G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., Smith, J.T. (2013): Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 73, Issue 2, 209–263.
- Cruden, D.M. (1991): A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996): Landslide types and processes. U: Turner, A.K., Schuster, R.L. (ur.): *Landslides, Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, Washington D.C., USA, 36–75.
- Duman, T.Y., Çan T., Emre Ö., Keçer M., Doğan A., Şerafetti, A., Serap D. (2005): Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. *Engineering Geology*, 77 (1–2), 99–114.
- Đomlija, P. (2018): Identifikacija i klasifikacija klizišta i erzoije vizualnom interpretacijom digitalnoga modela reljefa Vinodolske udoline. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Doktorski rad, 475 str.
- Đomlija, P., Bernat Gazibara, S., Arbanas, Ž., Mihalić Arbanas, S. (2019): Identification and Mapping of Soil Erosion Processes Using the Visual Interpretation of LiDAR Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 438.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. (on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes) (2008a): Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, 85–98.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. (on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes) (2008b): Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 99–111.
- Fiorucci, F., Cardinali, M., Carlà, R., Rossi, M., Mondini, A.C., Santurri, L., Ardizzone, F., Guzzetti, F. (2011): Seasonal landslides mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images. *Geomorphology*, 129 (1–2), 59–70.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2008) Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268–289.
- Glenn, N.F., Streuker, D.R., Chadwick, D.J., Thackray, G.D., Dorsch, S.J. (2006): Analysis of Lidar derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, 73, 131–148.
- González de Vallejo, L.I. and Ferrer, M. (2011) *Geological Engineering*. CRC Press/Balkema, Leiden, 678
- Gorsevski, P.V., Brown, M.K., Panter, K., Onasch, C.M., Simic, A., Snyder, J. (2016): Landslide detection and susceptibility mapping using LiDAR and an artificial neural network approach: a case study in the Cuyahoga Valley National Park, Ohio. *Landslides*, 13(3), 467–484.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A. (2000): Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25 (3), 247–363.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M. (2006): Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1–2), 166–184.
- Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. (2005): Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. *Natural hazards and earth system sciences*, 6, 115–131.
- 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. *Geomorphology*, 31(1–4), 181–216.
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.T. (2012): Landslide inventory maps:

new tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42–66.

Haugerud, R.A., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., Weaver, C.S., Sherrod, B.L. (2003): High-resolution LiDAR topography of the Puget Lowland, Washington - a bonanza for earth science. *GSA Today*, 13, 4–10.

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

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J., Hutchison, N.J. (2001): A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience* 7, 3, 221–238.

Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. (2014): The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167–194.

Hutchinson, N.J. (1995): Keynote speaker: Landslide hazard assessment. U: Bell, R. (ur.): *International Symposium on Landslides*, A.A. Balkema, Rotterdam, Nizozemska, 1805–1841.

IPL, International Program on Landslides (2013): *World report on landslides* URL:<http://iplhq.org/category/iplhq/world-report-on-landslides/> (zadnji pristup: 20. travnja 2019.).

Jagodnik, P., Jagodnik, V., Arbanas, Ž., Mihalić Arbanas, S. (2020a): Landslide types in the Slani Potok gully, Croatia. *Geologia Croatica*, 73/1, 13–28.

Jagodnik, P., Bernat Gazibara, S., Arbanas, Ž., Mihalić Arbanas, S. (2020b): Engineering geological mapping using airborne LiDAR datasets – an example from the Vinodol Valley, Croatia. *Journal of Maps*, 16:2, 856–867.

Krkač, M., Bernat Gazibara, S., Sinčić, M., Lukačić, H., Šarić, G., Mihalić Arbanas, S. (2023): Impact of input data on the quality of the landslide susceptibility large-scale maps: A case study from NW Croatia. U: Alcántara-Ayala I, Arbanas Ž, Cuomo S, Huntley D., Konagai K, Mihalić Arbanas S, Mikoš M, Sassa K, Tang H, Tiwari B (ur.): *Progress in Landslide Research and Technology*, Volume 2 Issue 1 (in press)

Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2004): Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 687–711.

Mihalić Arbanas i dr. (2023): *Smjernice*

Mihalić i dr. (2011): *2nd WLF*

Mihalić Arbanas i dr. (2019): *Procjena rizika i management u Hr*

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

Miner, A., Flentje, P., Mazengarb, C., Windle, C.J. (2010): Landslide Recognition using LiDAR derived Digital Elevation Models-Lessons learnt from selected Australian examples. URL:<http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1590&context=engpapers> (zadnji pristup: 20. travnja 2019.).

National Research Council. 2004. *Partnerships for Reducing Landslide Risk: Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10946>.

Passalacqua, P., P. Tarolli, and E. Fofoula-Georgiou (2010): Testing space-scale methodologies for automatic geomorphic feature extraction from LiDAR in a complex mountainous landscape. *Water Resources Research*, 46, 1–17.

Petschko, H., Bell, R., Leopold, P. (2013): Landslide inventories for reliable susceptibility maps in Lower Austria. U: Margottini C, Canuti P, Sassa K (ur.): *Landslide Science and Practice*, Springer, 281–286.

Petschko, H., Bell, R., Glade, T. (2015): Effectiveness of visually analyzing LiDAR DMT derivatives for earth and debris slide inventory mapping for statistical susceptibility modeling. *Landslides*, 13(5), 857–872.

Pike, R.J. (1998): The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical Geology*, 20, 491–505.

Razak, K.A., Straatsma, M.W., van Westen, C.J., Malet, J.-P., de Jong, S.M. (2011): Airborne laser scanning of forested landslides characterization: terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, 126, 186–200.

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

Rossi, M., Bornaetxea, T., Reichenbach, P. (2022): LAND-SUITE V1.0: a suite of tools for statistically based landslide susceptibility zonation. *Geoscientific Model Development*, 15, 5651–5666.

Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Mondini, A.C., Peruccacci, S. (2010): Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts. *Geomorphology*, 114, 129–142.

Salvati, P., Balducci, V., Bianchi, C., Guzzetti, F., Tonelli, G. (2009): A WebGIS for the dissemination of information on historical landslides and floods in Umbria, Italy. *Geoinformatica*, 13, 305–322.

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

Schulz, W.H. (2007): Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology*, 89, 67–87.

Schulz, W.H. (2004): Landslides mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington. *US Geol. Surv. Open-File Rep.* 1396:11.

Simon, N., De Roiste, M., Crozier, M., Rafek, A.G. (2017): Representing Landslides as Polygon (Areal) or Points? How Different Data Types Influence the Accuracy of Landslide Susceptibility Maps. *Sains Malaysiana*, 46(1), 27–34.

Sinčić, M., Bernat Gazibara, S., Rossi, M., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S. (2024): Comparison of conditioning factors classification criteria in large-scale statistically-based landslide susceptibility models. *Landslides*, (in press).

Soeters, R., van Westen, C.J. (1996): Slope instability recognition, analysis and zonation. U: Turner, A.K., Schuster, R.L. (ur.): *Landslides investigation and mitigation*. TRB Special Report 247. National Academy Press, Washington, DC, 129–177.

Tarolli, P. and Tabroton, G.D. (2006): A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 663–677.

Tarolli, P., Sofia, G., Fontana, G.D. (2012): Geomorphic features extraction from high-resolution topography: landslide crowns and bank erosion. *Natural Hazards*, 61, 65–83.

Toševski, A. (2018): *Podložnost porječja rijeke Dubračine površinskim geodinamičkim procesima*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Doktorski rad, 251 str.

Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Moeyersons, J., Nyssen, J. & van Beek, L.P.H. (2005): The effectiveness of hillshade maps and expert knowledge in mapping old deep – seated landslides. *Geomorphology*, 67, 351–363.

Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Moeyersons, J., Nyssen, J., van Beek, L.P.H., Vandekerckhove L. (2007): Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 754–769.

van Schalkwyk, A., Thomas, M.A. (1991): Slope failures associated with the floods of September 1987 and February 1988 in Natal and Kwa-Zulu, Republic of South Africa. U: Blight et al. (ur.): *Geotechnics in the African Environment*, 57–63.

van Westen, C.J., van Duren, I., Kruse, H.M.G., Terlien, M.T.J. (1993): Training Package for Geographic Information Systems in Slope Stability Zonation, Part 1: Theory. ITC Publication, Eschede, Nizozemska. 245 str.

van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R. (2005): Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult? Bulletin of Engineering geology and the Environment 65 (2), 167–184.

van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L. (2008): Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Engineering geology 102 (3-4), 112–131.

Varnes, D.J. (1978): Slope movements, type and processes. U: Schuster R.L., Krizek R.J. (ur.): Landslide Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington, 11–33.

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

WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1990): A suggested method for reporting a landslide. Bull Inter Assoc Eng Geol, 41, 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, 101–110.

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, 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, 75–78.

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, 53–57.

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

Bilješke



skenirajte QR kod i
posjetite našu web
stranicu

www.landslideplan.eu

