

Utjecaj promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na klizište Kostanjek od kraja 19. st. do danas

Troskot, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:888306>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Nikola Troskot

**Utjecaj promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na klizište Kostanjek
od kraja 19. st. do danas**

Prvostupnički rad

Mentor: prof. dr. sc. Sanja Faivre

Ocjena: _____

Potpis: _____

Zagreb, 2021.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Utjecaj promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na klizište Kostanjek od kraja 19. st. do danas

Nikola Troskot

Izvadak: Klizišta predstavljaju značajnu prirodnu opasnost i svake godine rezultiraju brojnim ljudskim žrtvama, ekonomskim gubicima, i poremećajima u okolišu. Klizište Kostanjek je najveće klizište u Hrvatskoj koje predstavlja prijetnju urbanom području. O njegovoj potencijalnoj sanaciji se raspravlja već godinama. Cilj rada je prikaz i interpretacija utjecaja promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na području klizišta Kostanjek od kraja 19. st. do danas. Osnovu analize čine austro-ugarski katastarski plan iz 19. st. i satelitske snimke iz 2001. i 2016., na kojima su u sklopu rada označeni zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta. Potom se analizira odnos između udjela i prostornog rasporeda njihovih kategorija u periodu od kraja 19. st. do 2001. te u periodu od 2001. do 2016. u svrhu pružanja uvida u potencijalne promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta s obzirom na aktivaciju klizišta. Može se primjetiti kako su pojava industrije i rudokopa označili prekretnicu na istraživanom području. Uz aktivaciju samog klizišta, na područje su utjecali i promjenom lokacije naseljenih površina kao i porastom njihova udjela te smanjenjem udjela poljoprivrednih površina. Rudokop je danas napušten te najvećim dijelom prekriven šumom. Uz to, pojava klizišta je utjecala na gotovo potpuno zaustavljanje izgradnje na zahvaćenom području.

25 stranica, 17 grafičkih priloga, 0 tablica, 40 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: klizište, Kostanjek, zemljišni pokrov, način korištenja zemljišta

Voditelj: prof. dr. sc. Sanja Faivre

Tema prihvaćena: 11. 2. 2021.

Datum obrane: 23. 9. 2021.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Undergraduate Thesis

The impact of land use and land cover changes on the Kostanjek landslide from the end of 19th century until today

Nikola Troskot

Abstract: Landslides represent a significant natural hazard and every year they result in numerous human casualties, economic losses, and environmental disruptions. Kostanjek landslide is the largest landslide in Croatia and represents a threat to the urban area. Its potential remediation has been discussed for many years. The thesis' goal is an overview and interpretation of the impact of land use and land cover changes on the Kostanjek landslide from the end of the 19th century until today. The base for the analysis is the Austro-Hungarian Empire land registry document dating back to the 19th century and satellite images from 2001 and 2016, for which land use and land cover is determined as part of the research. Subsequently, the relationship between the shares and spatial distribution of their categories are analysed in the period from the end of the 19th century until 2001 as well as in the period between 2001 and 2016 with the goal to get insight into the potential change of land use and land cover related to the landslide activation. It can be observed how the occurrence of industry and mines signify a turning point for the study area. In addition to causing the landslide activation, they impacted the area also by changing the distribution of inhabited areas and increasing their share as well as reducing the number of agricultural areas. The mine is abandoned nowadays and for the most part is covered with forest. In addition to that, landslide occurrence almost completely stopped construction in the affected region.

25 pages, 17 figures, 0 tables, 40 references; original in Croatian

Keywords: landslide, Kostanjek, land use, land cover

Supervisor: Sanja Faivre, PhD, Full Professor

UndergraduateThesis title accepted: 11/02/2021

Undergraduate Thesis defense: 23/09/2021

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. ZEMLJIŠNI POKROV I NAČIN KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA.....	1
2. PROBLEMATIKA KLIZANJA I KLIZIŠTA.....	2
2.1. UZROCI I OKIDAČI KLIZANJA.....	3
2.2. PODLOŽNOST PADINA KLIZANJU.....	4
2.3. HAZARD I RIZIK.....	4
2.4. SANACIJA KLIZIŠTA.....	5
2.5. KLIZIŠTA U HRVATSKOJ.....	5
3. KLIZIŠTE KOSTANJEK.....	5
3.1. PRIMARNI OKIDAČ.....	7
3.2. GEOLOŠKA OBILJEŽJA.....	7
3.3. MJERENJE POMAKA KLIZIŠTA KOSTANJEK.....	8
3.3.1. POMACI 1963.-1988.....	8
3.3.2. POMACI 2009.-2012.....	8
3.3.3. POMACI 2013.-2019.....	9
3.4. NASTALA ŠTETA I PITANJE SANACIJE.....	12
3.5. MONITORING I SUSTAV RANOG UPOZORENJA.....	13
4. ANALIZA PROMJENE ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA.....	13
4.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I CILJEVI.....	13
4.2. METODE ANALIZE.....	14
4.3. PROMJENA UDJELA I PROSTORNOG RASPOREDA KATEGORIJA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA OD KRAJA 19. ST. DO 2001.....	15
4.4. PROMJENA UDJELA I PROSTORNOG RASPOREDA KATEGORIJA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA OD 2001. DO 2016.....	17
5. ZAKLJUČAK.....	19

POPIS LITERATURE.....	20
POPIS IZVORA.....	24
PRILOZI.....	IV
POPIS GRAFIČKIH PRILOGA.....	VII

1. UVOD

Klizište Kostanjek danas je veoma aktualno. Radi se o najvećem klizištu u Hrvatskoj, koje k tomu predstavlja prijetnju u urbanom području. O njegovoj potencijalnoj sanaciji se raspravlja već godinama. Aktualnosti teme dodatno pridonosi i nedavna učestala seizmička aktivnost za koju je poznato da može uzrokovati nastanak novih i aktivirati već postojeća klizišta.

Predmet istraživanja ovog rada je prikaz i interpretacija utjecaja promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na klizište Kostanjek od kraja 19. st. do danas. Rad je podijeljen na tri cjeline. Prva cjelina detaljno prezentira teorijsku podlogu procesa klizanja i klizišta što je od ključne važnosti za daljnji sadržaj rada. U drugoj cjelini se predstavlja klizište Kostanjek, s osobitim naglaskom na pregled dosadašnjih istraživanja njegovih pomaka. Treća, i završna cjelina obuhvaća analizu promjena u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta na području klizišta od kraja 19. st. do danas.

1.1. ZEMLJIŠNI POKROV I NAČIN KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta su rezultat interakcije društva i okoliša (Cvitanović, 2014). Razlika između ta dva pojma jest u tome što je zemljišni pokrov uvjetovan (bio)fizičkim obilježjima Zemljine površine, a način korištenja se ogleda u funkcionalnoj dimenziji zemljišta, tj. u kontekstu potreba čovjeka i njegovih gospodarskih aktivnosti. Načini korištenja zemljišta imaju snažan utjecaj na prirodne resurse te na biljni i životinjski svijet, kao i na stanje okoliša i procese u njemu. Iz toga se očituje potreba za poznavanjem podataka o načinu korištenja zemljišta, jer ukoliko dođe do promjene u njegovu korištenju može se narušiti osjetljiva ekološka ravnoteža (Kušan, 2010).

Da bi se pravilno usmjerila politika zaštite okoliša potrebno je uspostaviti sustav trajnog monitoringa načina korištenja zemljišta, iz čega se mogu dobiti podaci za daljnju procjenu postojećeg stanja, planiranje aktivnosti, praćenje promjena u okolišu, kao i analizu učinkovitosti provedenih mjera (Kušan, 2010).

2. PROBLEMATIKA KLIZANJA I KLIZIŠTA

Mnogi autori pod pojmom klizanja uključuju niz različitih padinskih procesa tako da se, ovisno o izvoru, klizanje može promatrati u užem i u širem smislu (Petley, 2010; Bălteanu i dr., 2010; prema Faivre i dr., 2013). U užem smislu klizanje se može definirati kao iznenadno i brzo kretanje površinskog sloja, tla ili stijenskog materijala niz padinu po kliznoj plohi pod utjecajem gravitacije (Nonveiller, 1987; Bognar, 1996; prema Faivre, 2020). To je veoma čest oblik pomicanja masa na padinama koji je tijekom cijele geološke prošlosti sudjelovao u oblikovanju Zemljine površine (Bertolini i dr., 2004; prema Roje-Bonacci, 2015). Od ostalih padinskih procesa se razlikuje većom brzinom kretanja materijala i postojanjem izraženih granica u odnosu na susjedni prostor (Glade i dr., 2005; prema Faivre, 2020). Klizištem se naziva dio padine na kojem je uslijed destabilizacije došlo do procesa klizanja. Gravitacija vrši konstantan utjecaj na padinu te klizanje nastaje kada se izazove poremećaj u ravnoteži materijala na rubu stabilnosti (sl. 1) (Roje-Bonacci, 2015). Klizišta su veoma osjetljiva na promjene u okolišu, bilo one prirodne ili antropogene (Gutiérrez i dr., 2010; prema Faivre, 2020).



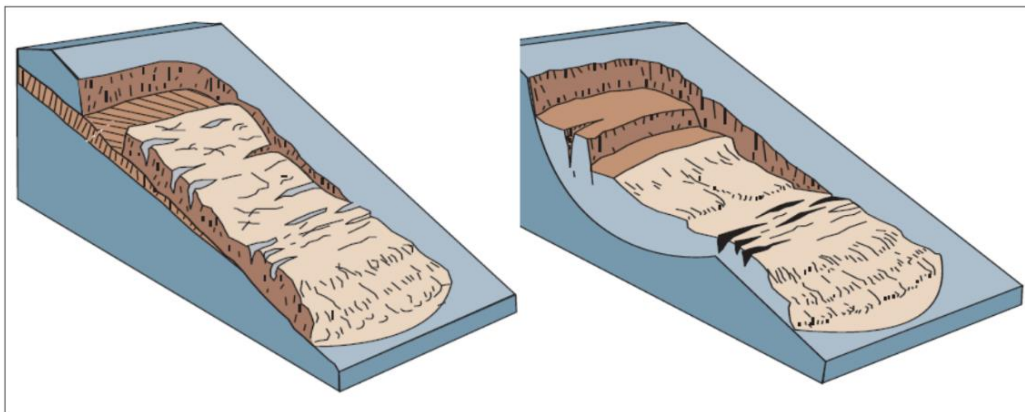
Slika 1. Faze pomicanja tla na padini na kojoj dolazi do nastanka klizišta

Izvor: Roje-Bonacci, 2015

Glavni reljefni elementi klizišta mogu se podijeliti na: front (mjesto gdje je došlo do odvajanja pokrenutog materijala), tijelo (masa pokrenutog materijala), i jezik ili glavu (krajnji dio) (Bognar, 1996; prema Faivre, 2020). U većini slučajeva klizišta su značajno duža u odnosu na

njihovu dubinu i širinu (Summerfield, 1991, Faivre, 2020). Klizna ili posmična ploha po kojoj se pokrenuta masa kreće može biti translacijska i rotacijska (sl. 2) (Shanmugam, 2015). Pokrenuta masa je obično izlomljena na više dijelova poprečnim pukotinama, iako se može kretati i kompaktno kao jedan blok (Faivre, 2020).

U litološkom sastavu područja na kojima se javljaju klizišta obično prevladavaju gline, fliš i naslage lesa (Faivre i dr., 2013). Minerali glina vezuju na sebe slobodnu vodu te bubre pri čemu im se višestruko povećava volumen što dovodi do rasta tlaka koji djeluje destabilizirajuće na vodopropusne slojeve koji se nalaze iznad (Faivre, 2020). Pri istraživanju klizišta često se vrši analiza razvoja pornog tlaka u zoni potencijalnog klizanja računalnim simulacijama. Primjeri programa koji se mogu koristiti za takve postupke su Geoslope i LS-Rapid (softver za simulaciju aktivacije i kretanja klizišta kojima su okidač potresi, intenzivne kiše, ili kombinacija potresa i intenzivnih kiša) (Sassa 2010; prema Gradiški i dr., 2014).



Slika 2. Shema translacijskog (lijevo) i rotacijskog (desno) tipa klizišta

Izvor: Modificirano prema Shanmugam, 2015

2.1. UZROCI I OKIDAČI KLIZANJA

Pri istraživanju klizišta od ključne je važnosti razlikovati uzroke njihovog nastanka od izravnih okidača pojedinih događaja: uzroci dovode padinu u stanje podložno klizanju, dok ga okidači iniciraju. Uzroci klizanja se mogu podijeliti na pasivne i aktivne. Primjeri pasivnih čimbenika su litološki sastav, nagib padine, nagib slojeva, ekspozicija padine. Aktivni čimbenici su oni koji djeluju izravno na destabilizaciju padine, npr. trošenje, promjene nagiba padine, uklanjanje vegetacije, promjena razine vode temeljnice te opterećenje padine dodatnim materijalom (Faivre, 2020).

Nasuprot tome, klizišta aktiviraju okidači samog procesa klizanja, od kojih su najčešći povećanje hidrostatskog tlaka u porama uslijed obilnih kiša ili otapanja snijega, antropogeno djelovanje (npr. zasijecanjem u padinu zbog gradnje ceste), a mogu nastati i kao posljedica neke druge prirodne katastrofe poput potresa (Smith i Petley, 2009; prema Faivre, 2020). Identifikacija uzroka i okidača od iznimne su važnosti za smanjivanje prirodne opasnosti od klizanja.

2.2. PODLOŽNOST PADINA KLIZANJU

Najvažniji elementi za procjenu podložnosti padina klizanju su morfometrijska obilježja padina (nagibi, nadmorska visina, ekspozicija), geološka obilježja (litološki sastav, struktura), i topografski indeks vlažnosti. Pojedini autori u analizama čimbenika vezanih uz nestabilnost padina upotrebljavaju i indeks snage toka, koji se primarno koristi u analizi podložnosti padina eroziji (Faivre i dr., 2011, 2013).

Većina poznatih aktivnih klizišta nastala je na istim mjestima gdje su ona postojala u geološkoj prošlosti, no uočavanje i prepoznavanje neaktivnih klizišta (u svrhu uspostavljanja njihovog monitoringa) je otežano time što ih je danas velik broj pokriven vegetacijom (Roje-Bonacci, 2015). Dobar pokazatelj skorašnje reaktivacije translacijskih i rotacijskih klizišta su širenje pukotina pri gornjem dijelu padine, dok se kod translacijskog klizišta javljaju još i deformacije tla pri dnu padine (Highland i Bobrowski, 2008).

2.3. HAZARD I RIZIK

Roje-Bonacci (2015) uvrštava klizišta u skupinu elementarnih nepogoda, po ozbiljnosti jednakim potresima, poplavama, sušama, šumskim požarima te erupcijama vulkana. Uslijed klizanja dolazi do pomaka i deformacije pokrenute mase što često nanosi veliku štetu naseljima, objektima komunalne infrastrukture te prirodi. Hazard je vjerojatnost pojave potencijalno štetnih prirodnih pojava određene jačine (Crozier, 1999; prema Faivre i dr., 2013). Na primjeru klizišta hazard predstavlja vjerojatnost da se dogodi klizanje određene jačine i tipa na određenoj lokaciji u određenom razdoblju. Ranjivost je očekivani stupanj gubitka jednog ili više ugroženih elemenata pri događaju određene jačine. Odnos hazarda i ranjivosti nekog područja pokazuje rizik. Ukupni rizik predstavlja očekivani gubitak na određenoj lokaciji u određenom razdoblju pri hazardu određene jačine (Varnes, 1984; Crozier, 1993, 1999; prema Faivre i dr., 2013).

2.4. SANACIJA KLIZIŠTA

Sanacija klizišta je pothvat pomoću kojeg se ponovno uspostavlja stabilnost nestabilnog dijela padine. To je opsežan, skup, dugotrajan i često neuspješan pothvat (Roje-Bonacci, 2015). U sklopu sanacije klizišta predviđeni su radovi u svrhu povećanja globalne stabilnosti padine sidrenjem nestabilnih dijelova terena, izvedbom pilotske stijene, sustavom drenaže, uklanjanjem nestabilnih dijelova padine, i izradom potpornih građevina (Faivre, 2020). Unatoč tome, troškovi sanacije su najčešće mnogo veći od vrijednosti objekata koje klizište ugrožava, a potpune sigurnosti u uspjeh projekta sanacije nema (Roje-Bonacci, 2015).

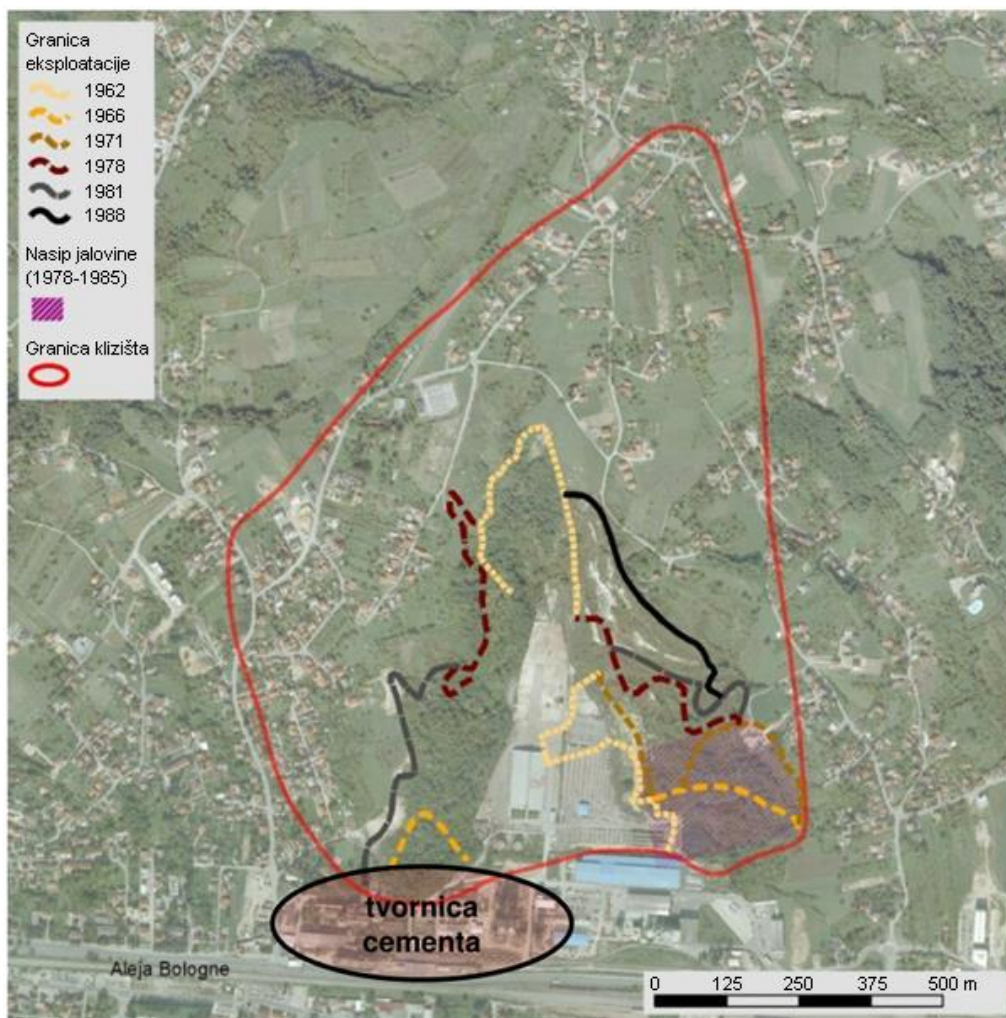
2.5. KLIZIŠTA U HRVATSKOJ

Klizišta se pojavljuju u svim dijelovima Hrvatske te su osobito česta u neogenskim sedimentima i u flišu (Faivre, 2020). Procjenjuje da je najveći broj klizišta na prostoru Hrvatske aktiviran antropogenim aktivnostima, primarno neadekvatnim građevinskim zahvatima i obradom zemljišta, i to na prostorima gdje postoje prirodne predispozicije za njihov nastanak (Bognar, 1996; prema Faivre i dr., 2013). Klizišta su u Hrvatskoj prepoznata kao druga najveća prirodna opasnost, te se smatra da je oko 20% državnog teritorija potencijalno podložno klizanju (Bernat Gazibara i dr., 2019). Iako su se intenzivne padaline tijekom vlažnih godišnjih razdoblja ranije smatrale primarnim okidačem klizišta u Hrvatskoj, valja istaknuti kako je njihov značajan broj bio aktiviran kao posljedica pojačane seizmičke aktivnosti koja je počela 2020. (Joint Reconnaissance Report, 2021).

3. KLIZIŠTE KOSTANJEK

Klizište Kostanjev je smješteno u zapadnom dijelu Zagreba, u naseljenom području (gradska četvrt Podsused-Vrapče) na jugozapadnim obroncima planine Medvednica. S površinom koju Ortolan i Pleško (1992) procjenjuju na 1.2 km² i ukupnim volumenom pokrenute mase 32.6 x 10⁶ m³ predstavlja najveće klizište u Hrvatskoj. Uzrokovano je antropogenim čimbenicima. Na ravničarskom terenu u podnožju padine 1908. je otvorena tvornica cementa „Sloboda“, čije aktivnosti su obuhvaćale eksploataciju lapora koji se koristio kao sirovina za proizvodnju cementa (sl. 3). Cementara je nekoć bila glavni izvor prihoda za obližnje stanovnike te ih je većina u njoj bila zaposlena (Bolitzar, 2018). Do destabilizacije padine je došlo uslijed

prekomjernog iskopavanja lapora, kao i tehnika masovnog miniranja koje su se pri tome koristile (Ortolan i Pleško, 1992). Tijekom rada tvornice s područja današnjeg klizišta iskopano je sveukupno $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ lapora (Stanić i Nonveiller, 1995; prema Krkač i dr., 2011). Smatra se da je klizište aktivirano 1963., a rad tvornice je obustavljen 1988. nakon što je ustanovljeno njegovo postojanje (Ortolan i dr. 1987; prema Ortolan i Pleško, 1992). Nakon zatvaranja tvornice godišnji pomaci pokrenute mase su se smanjili te se pretpostavlja da će proći do nekoliko desetljeća prije nego se prostor klizišta prirodno ne stabilizira (Stanić i Nonveiller, 1996). Marendić i dr. (2017) navode kako su se brzine pomaka klizišta od njegove aktivacije do danas mijenjale te da su po klasifikaciji Crudena i Varnesa (1996) uvijek spadale u raspon od ekstremno sporih do vrlo sporih.



Slika 3. Granica klizišta i granice eksploatacije lapora u razdoblju 1962.-1988.

Izvor: Modificirano prema Krkač i dr., 2013a

Klizište Kostanjek je translacijsko klizište (Mihalić Arbanas i dr., 2013). Nagibi na njegovoj površini su uglavnom blagi, osim u području napuštenog rudokopa u središnjem dijelu gdje prevladavaju strmiji (Krkač i dr., 2021). Simulacijom klizišta u softveru LS-Rapid ustanovljeno je da su istočni i središnji dijelovi klizišta nestabilniji od zapadnog dijela (Gradiški i dr., 2014). Krkač i dr. (2021) navode prema Krkač (2015) kako su pokreti mase klizišta više plastični nego kruti, što uz spore brzine kretanja dovodi do toga da ono nema jasno definirane granice i ostala obilježja tipična za klizišta. To otežava interpretaciju njegove geometrije i praćenje njegovog kretanja.

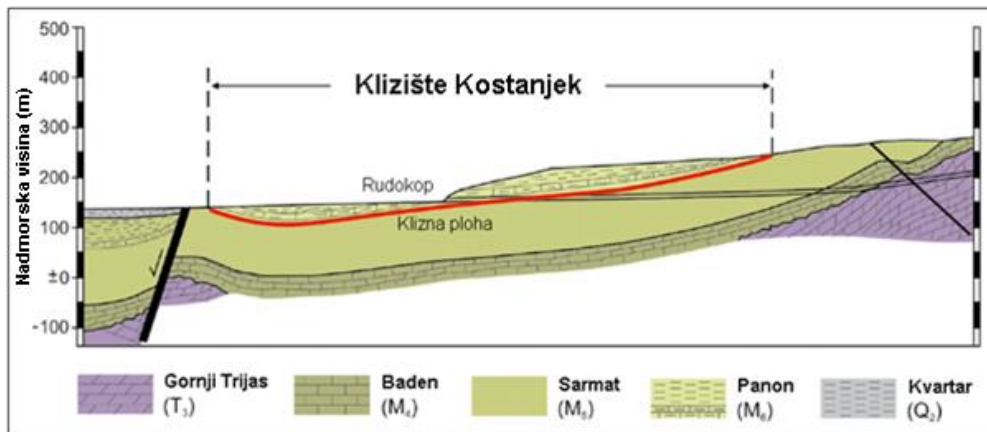
3.1. PRIMARNI OKIDAČ

Najvažniji okidač klizišta Kostanjek su povišene razine podzemnih voda. Do podizanja njihove razine najčešće je dolazilo nakon perioda intenzivnih padalina ili otapanja snijega (Krkač i dr., 2019). Prosječna godišnja količina padalina izmjerena na postaji Zagreb-Grič (oko 9 km istočno od klizišta, u sličnim geomorfološkim i hidrološkim uvjetima) u periodu 1862.-2012. iznosi 887 mm (Krkač i dr., 2019). Do najviše količine dnevnih i mjesečnih padalina na tom prostoru dolazi tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci (Gajić-Čapka i Zaninović, 2008; prema Krkač i dr., 2019).

Usporedbom podataka o razinama podzemnih voda i pokretima klizišta Krkač i dr., (2019) zaključuju kako se na dubini između 15 i 16 m nalazi granična razina podzemne vode koja inicira brže pokrete klizišta. Maksimalna zabilježena dubina podzemnih voda (19 m) u središnjem dijelu klizišta uočena je u travnju 2014., a minimalna (10.5 m) u studenom 2013. što predstavlja oscilaciju od 8.5 m (Krkač i dr., 2019). Nasuprot tomu, oscilacije razine podzemnih voda kraj rubova klizišta iznosile su samo do 4 m (Krkač, 2015; prema Krkač i dr., 2021).

3.2. GEOLOŠKA OBILJEŽJA

Klizište je formirano u sarmatskim i panonskim naslaga lapora (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Položaj klizne plohe je određen na temelju nepovoljno orijentirane slojevitosti u sedimentima i sedimentnim stijenama sarmatske i panonske starosti (sl. 4) (Ortolan i Pleško, 1992; prema Županović i dr., 2012). Pokrenuta masa se uglavnom sastoji od lapora (Krkač i dr., 2021).



Slika 4. Geološki presjek prostora klizišta Kostanjež

Izvor: Modificirano prema Krkač, 2021

Na području klizišta nalazi se sinklinala nagnuta u smjeru istoka. Njezina os je orijentirana u smjeru sjever sjeveroistok-jug jugozapad. Tri duboka rasjeda omeđuju prostor na kojem se formiralo klizište. Prvi se pruža u smjeru približno sjever-jug na istočnom rubu, drugi se pruža u smjeru sjeveroistok-jugozapad uz sjeverozapadni rub i treći je smjera istok sjeveroistok-zapad jugozapad na južnom rubu (Stanić i Nonveiller, 1996).

3.3. MJERENJE POMAKA KLIZIŠTA KOSTANJEŽ

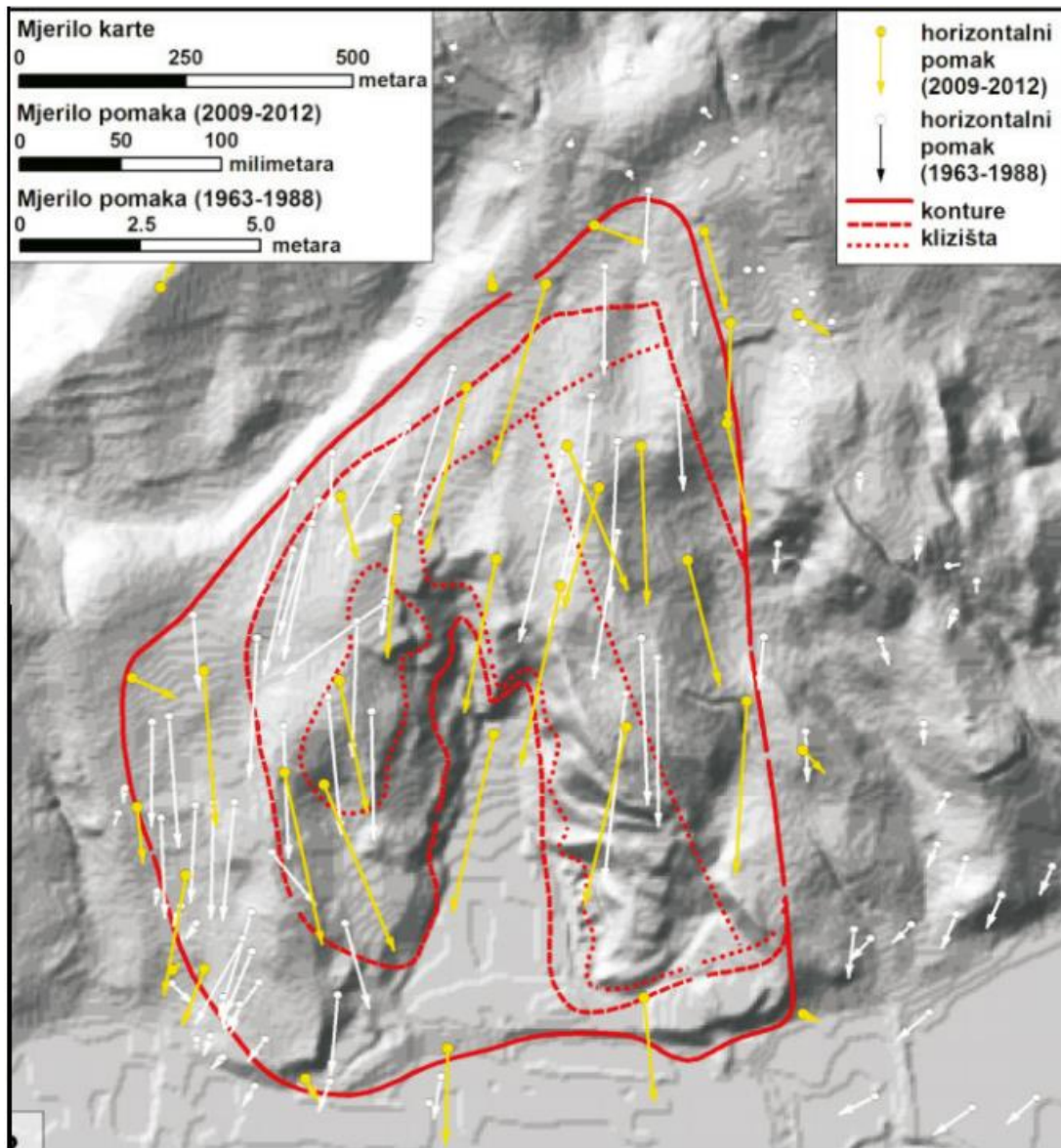
3.3.1. POMACI 1963.-1988.

Ortolan i Pleško (1992) interpretacijom zračnih snimaka određuju da u periodu od 1963. do 1988. horizontalni pomaci određenih točaka na klizištu iznose od 3 do 5 m. Na temelju velikih razlika u pomacima različitih dijelova površine klizišta Ortolan i Pleško (1992) određuju tri različite klizne plohe: na 90, 65, i 50 m dubine.

3.3.2. POMACI 2009.-2012.

Županović i dr. (2012) određuju pomake klizišta relativnom statičkom metodom. Izmjera pomoću stalnih geodetskih točaka je obavljena 2. veljače 2012. te su rezultati uspoređeni s rezultatima mjerenja iz listopada 2009. i ožujka 2010. Tijekom tog perioda od 2 godine i 4 mjeseca ukupni horizontalni pomaci točaka na klizištu iznose od 6 do 92 mm. Dobivene rezultate potom uspoređuju s pomacima tijekom razdoblja od 1963. do 1988. koje su Ortolan i Pleško (1992) prethodno odredili interpretacijom zračnih snimaka (sl. 5). Na temelju navedene

usporedbe Županović i dr. (2012) zaključuju kako je klizište još uvijek aktivno te kako se smjerovi pomaka izmjereni u razdoblju od 2009. do 2012. godine u velikoj mjeri podudaraju sa smjerovima određenim za razdoblje od 1963. do 1988.



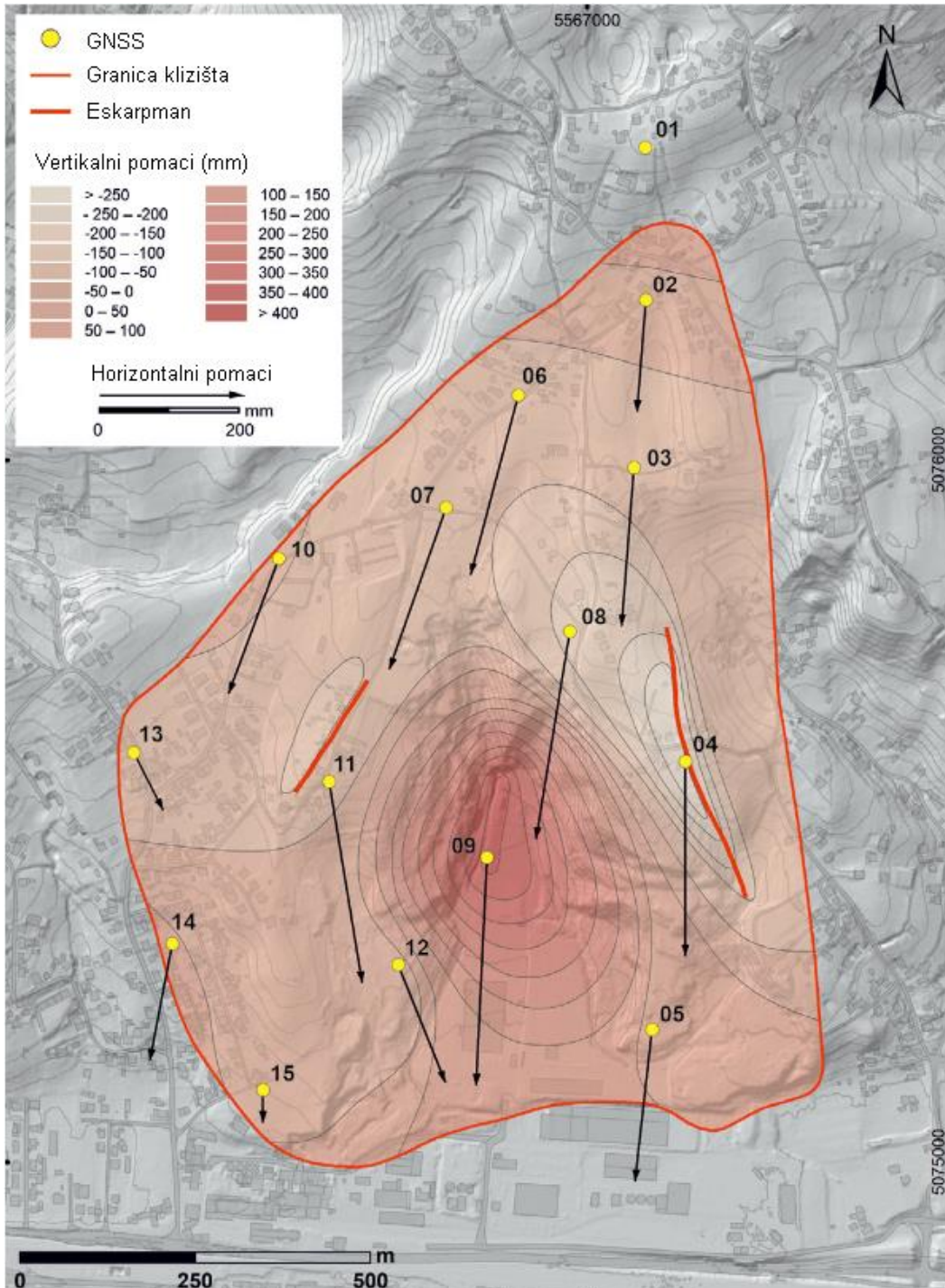
Slika 5. Horizontalni pomak klizišta Kostanjek u periodu 2009.-2012. (žuti vektori) i horizontalni pomak u periodu 1963.-1988. (bijeli vektori)

Izvor: Županović i dr., 2012

3.3.3. POMACI 2013.-2019.

Danas se klizište prati u realnom vremenu pomoću permanentne GNSS mreže koja se sastoji od 15 referentnih GNSS stanica (sl. 6) postavljenih na njegovoj površini te raznih drugih

senzora za mjerenje pomaka (Krkač i dr., 2013b). Tijekom perioda praćenja od 2013.do 2019. došlo je do aktivacije klizišta u više navrata, od kojih su svi bili uzrokovani podizanjem razine podzemnih voda uslijed intenzivnih padalina i otapanja snijega (Krkač i dr., 2019).

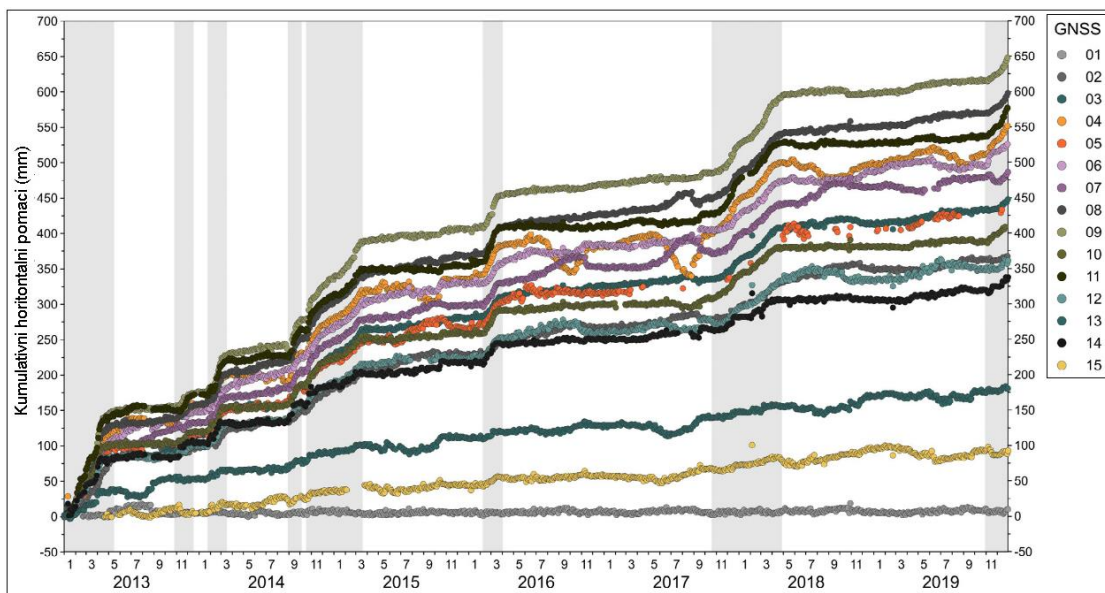


Slika 6. Horizontalni i vertikalni pomak klizišta Kostanjek 2013.-2019.

Izvor: Modificirano prema Krkač i dr. 2021

U periodu praćenja od 2013. do 2019. ukupni horizontalni pomaci u središnjem dijelu klizišta iznose između 555 i 650 mm. Najveći pomaci su zabilježeni u području napuštenog rudokopa, dok kraj rubova klizišta iznose znatno manje vrijednosti, tj. između 94 i 529 mm. Ukupne vertikalne deformacije u istom vremenskom periodu iznose od -266 mm u istočnom dijelu klizišta do 413 mm u središnjem dijelu napuštenog rudokopa. U ostalim dijelovima klizišta nisu zabilježene značajne vertikalne promjene, te se kreću od -108 mm u sjevernom dijelu do 50 mm u podnožju klizišta (Krkač i dr. 2021).

Tijekom praćenja u navedenom periodu uočeno je 8 perioda bržeg i 7 perioda sporijeg kretanja (sl. 7). Trajanja razdoblja bržeg kretanja klizišta variraju u rasponu od oko jedan mjesec do oko šest mjeseci. Najveća brzina (4.5 mm dnevno) je zabilježena u prvom tjednu travnja 2013., tijekom prvog perioda bržeg kretanja klizišta (Krkač i dr. 2021).



Slika 7. Kumulativni horizontalni pomaci klizišta Kostanjek mjereni GNSS senzorima u periodu 2013.-2019. (siva polja označavaju periode bržeg kretanja)

Izvor: Modificirano prema Krkač i dr., 2021

Najveći pomaci tijekom suvremenog praćenja su zabilježeni u središnjem dijelu klizišta, dok su pomaci u blizini rubova klizišta iznosili značajno manje vrijednosti. To se podudara sa rezultatima su dobili Ortolan i Pleško (1992) interpretacijom zračnih snimaka u periodu od 1963. do 1988. Krkač i dr. (2021) razlike u brzini kretanja smatraju rezultatom geomorfoloških karakteristika zahvaćenog područja i sila koje upravljaju pokretima klizišta, tj. do manjih brzina kretanja uz rubove dolazi zbog trenja između pokrenute mase i stabilnog okolnog materijala te

zbog rastezanja i istanjivanja pokrenute mase pri vrhu klizišta, kao i kompresije pri njegovom dnu.

3.4. NASTALA ŠTETA I PITANJE SANACIJE

Na području klizišta se nalazi oko 300 građevina, od kojih su većina stambeni objekti sa svojom pripadajućom infrastrukturom (Krkač i dr., 2019). Od svoje aktivacije klizište kontinuirano uzrokuje značajna oštećenja na zahvaćenom području, što uključuje brojne pukotine na građevinama i ostalim objektima (sl. 8, sl. 9) te njihovo naginjanje. Pomaci klizišta su doveli i do deformacije cesta (Došen, 2018). Krkač i dr. (2011) praćenjem nastale štete zaključuju da se kretanje klizišta općenito usporilo, no da se određeni dijelovi klizišta i dalje nastavljaju kretati.



Slika 8. Oštećenja nastala uslijed kretanja klizišta Kostanjek

Izvor: Krkač i dr., 2013a



Slika 9. Oštećenja nastala uslijed kretanja klizišta Kostanjek

Izvor: Krkač i dr., 2013a

Pojava klizišta i njegova aktivnost tijekom posljednjih nekoliko desetljeća u potpunosti su zaustavili razvoj ovog urbanog područja, što je posljedično uzrokovalo značajne socijalne i ekonomske gubitke. Lokalne su vlasti zabranile izgradnju novih stambenih objekata, dok postojeći objekti zahtijevaju veoma skupe i česte popravke (Krkač i dr., 2011; Mihalić Arbanas i dr., 2016). U aktivnoj zoni klizišta su u novije vrijeme prisutna i divlja odlagališta otpada za koje se smatra da svojim opterećenjem padine uzrokuju nove pomake (Boltižar, 2018).

Pošto je prostor gusto naseljen prisutan je velik rizik za stanovnike i imovinu. Projekt sanacije je bio osmišljen, no unatoč tomu građevinska dozvola nije ishođena te sanacija klizišta nikad nije izvršena (Boltižar, 2018). U novije vrijeme se govori i o namjeri da se klizište sanira, među ostalim, i odlaganjem građevinskog otpada što dovodi do otpora stanovnika koji smatraju da taj

otpad sadrži azbest i mnoge druge po zdravlje štetne tvari (Došen, 2018). Veći pomaci u središnjem dijelu klizišta u odnosu na pomake uz njegove rubove upućuju na potrebu da se na zahvaćenom području definiraju zone različitih razina hazarda i rizika (Mihalić Arbanas i dr., 2014).

3.5. MONITORING I SUSTAV RANOG UPOZORENJA

Iz poznavanja međusobnog odnosa pomaka klizišta i njegovih okidača može se predvidjeti njegova aktivnost, procjeniti hazard i rizik te uspostaviti sustav ranog upozorenja. Tako je u okviru hrvatsko-japanskog znanstvenog projekta „Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje posljedica klizanja i poplava u Hrvatskoj“ proveden niz istraživanja klizišta Kostanjek te razvijen integrirani sustav za kontinuirano praćenje njegovih pomaka, kao i hidroloških i seizmičkih uvjeta koji ga mogu pokrenuti (Krkač i dr., 2013b).

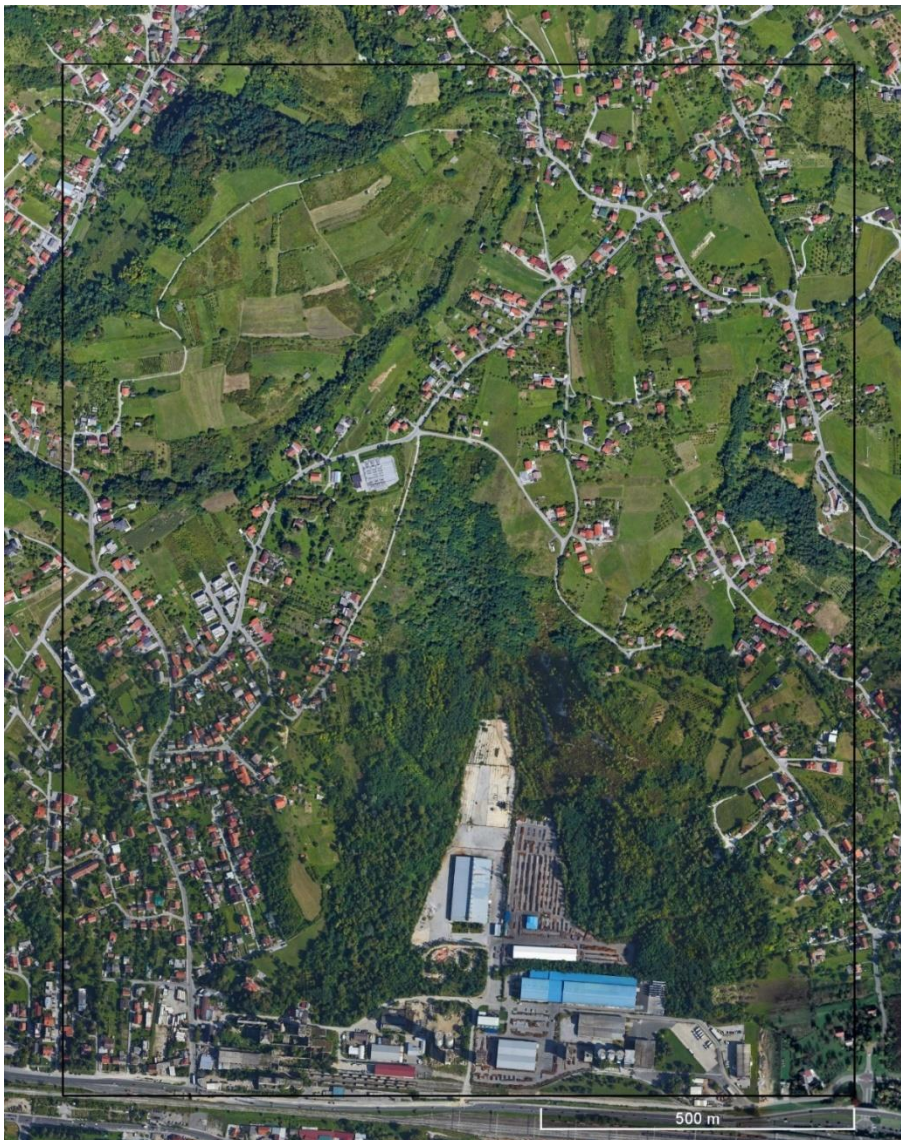
Svi mjerni uređaji povezani su u integrirani sustav te se podaci prenose na centralnu računalnu stanicu u realnom vremenu (Mihalić Arbanas i dr., 2013). Integracijom podataka u jedan sustav osigurava se njihova dosljednost i pouzdanost, a dugoročnim arhiviranjem se pruža mogućnost njihovog korištenja u budućim analizama (Baučić i dr., 2013). Osim toga, dobiveni podaci se mogu koristiti i za računalne simulacije različitih scenarija na zahvaćenom području (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Kontinuirano praćenje omogućava uspostavljanje sustava ranog upozorenja te poduzimanje odgovarajućih mjera za evakuaciju stanovništva i zaštitu imovine u slučaju da mjerene vrijednosti prijeđu određenu kritičnu razinu. Kada i ukoliko se u budućnosti provedu mjere sanacije i stabilizacija klizišta, podaci dobiveni praćenjem biti će korisni pri provjeri njihove učinkovitosti (Krkač i dr., 2013b).

4. ANALIZA PROMJENE ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

4.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I CILJEVI

Cilj rada je prikaz i interpretacija utjecaja promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostor klizišta Kostanjek od kraja 19. st. do danas.

Područje istraživanja obuhvaća prostor samog klizišta (prema Ortolan i Pleško, 1992), kao i njegovu užu okolicu. Promatrani prostor je omeđen sljedećim geografskim koordinatama: 45°48'53.84" N i 45°49'46.71" N te 15°50'49.90" E i 15°51'48" E te zauzima površinu 2 km².



Slika 10. Granice područja istraživanja

Izvor: Google Earth, 2021

4.2. METODE ANALIZE

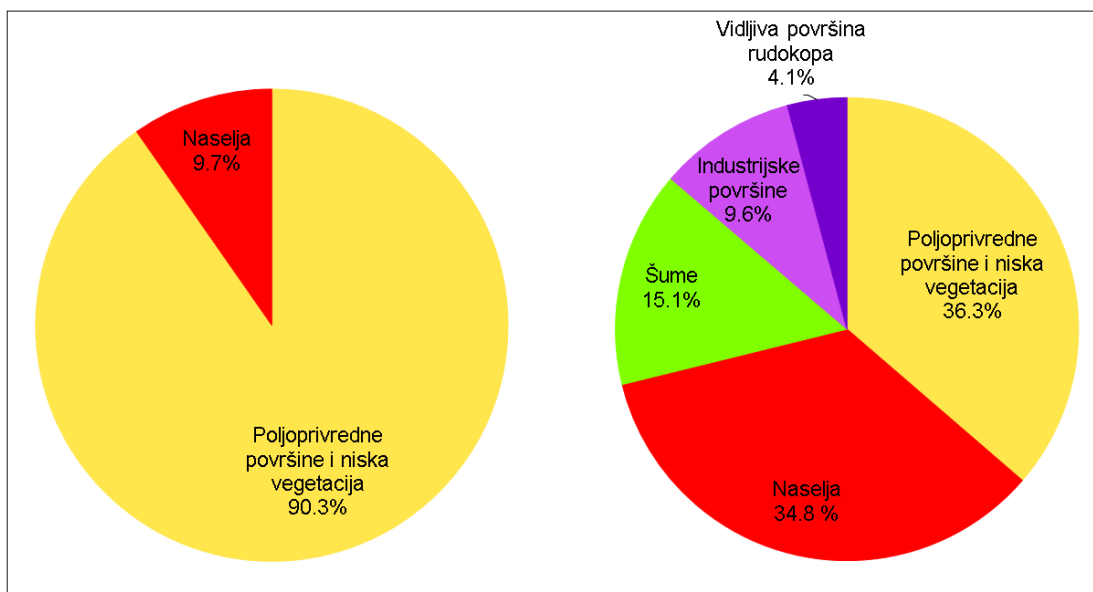
U okviru analize su izdvojeni tipovi zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na promatranom području. U svrhu redukcije potencijalno velikog broja individualnih kategorija one su generalizirane u skladu s važnosti koju predstavljaju u kontekstu ovog konkretnog slučaja i definirane na sljedeći način:

1. Naselja – kuće (i ostali građevinski objekti) s okućnicama i obradivim površinama koje su procijenjene kao sastavni dio naselja (izgrađene površine)

2. Poljoprivredne površine i niska vegetacija (prirodni i antropogeni travnjaci, grmolika vegetacija)
3. Industrijske površine
4. Vidljiva površina rudokopa – vidljivi dijelovi napuštenog rudokopa lapora
5. Šume

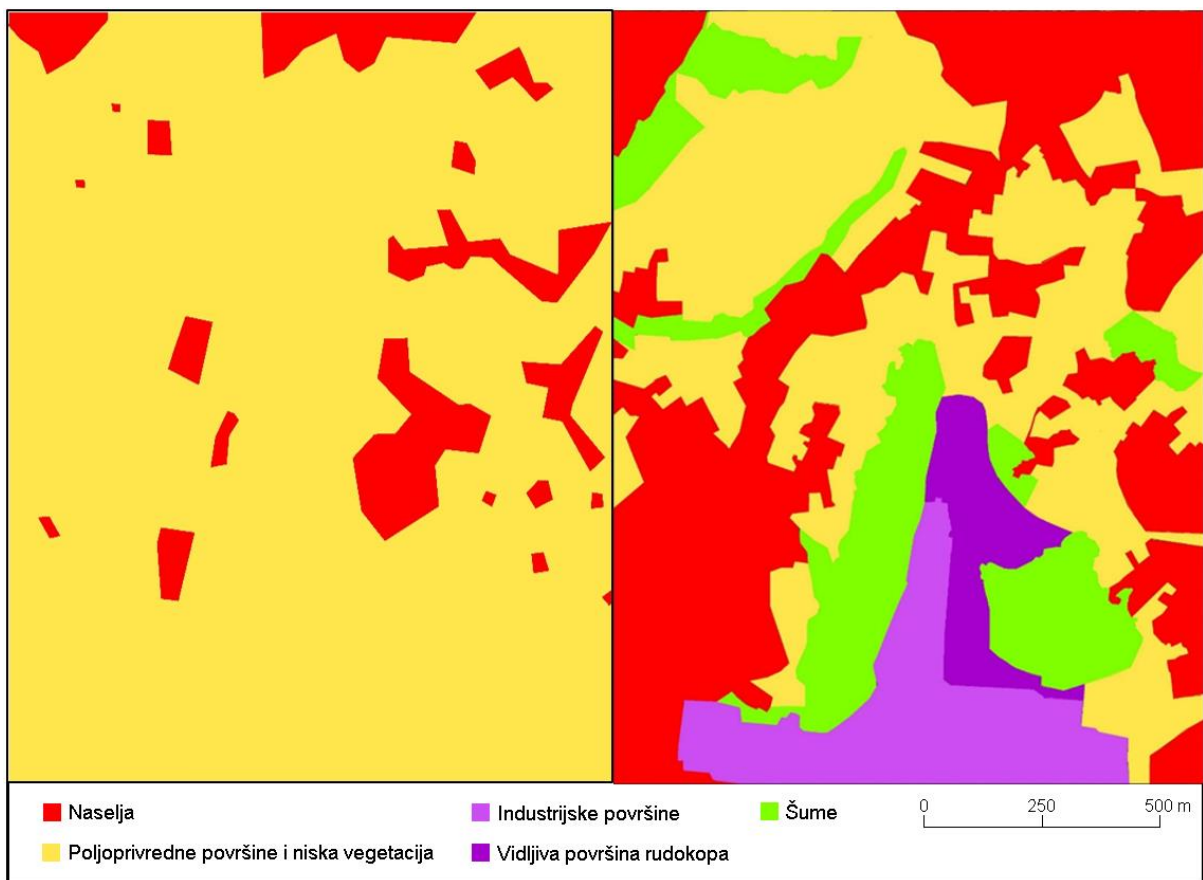
Osnovu za proučavanje promatranog područja čine satelitske snimke iz 2001. (prilog 1) i 2016. (prilog 2), dostupne u programu Google Earth Pro te isječak Franciskanskog katastra iz 19. st. (prilog 3). Na njima su u programima Google Earth Pro i ArcGIS Pro poligonima označene kategorije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta prema gore navedenoj tipologiji iz čega su dobivene karte njihovog prostornog rasporeda te podaci o površini u 19. st., 2001., i 2016. Podaci o njihovoj površini su potom uneseni u Microsoft Excel tablicu pomoću koje je izračunat udio svake kategorije u ukupnoj površini promatranog područja te su rezultati prikazani grafički u obliku strukturalnih krugova. Nakon toga se uspoređuju udjeli i prostorni raspored kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u periodu od kraja 19. st. do 2001. te u svrhu pregleda recentnih promjena i u periodu od 2001. do 2016. U sklopu rada provedeno je i terensko istraživanje koje je obuhvaćalo razgovor sa stanovništvom i obilazak istraživanog prostora u svrhu njegovog boljeg upoznavanja.

4.3. PROMJENA UDJELA I PROSTORNOG RASPOREDA KATEGORIJA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA OD KRAJA 19. st. DO 2001.



Slika 11. Udio kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjeck krajem 19. st. (lijevo) i 2001. (desno)

Iz dobivenih rezultata može se uočiti da krajem 19. st. većinu površine istraživanog područja zauzimaju poljoprivredne površine i niska vegetacija (90.3%), a ostatak naselja (9.7%). Industrijske površine i rudokop u 19. st. još nisu postojali, a nije zabilježena ni prisutnost šuma. Poljoprivredne površine i niska vegetacija 2001. i dalje predstavljaju prvu kategoriju po veličini, no zauzimaju daleko manji udio u ukupnoj površini (36.3%) nego krajem 19. st. Udio naselja je značajno porastao (34.8%) te su sad na drugom mjestu. Za razliku od kraja 19. st. bilježi se prisustvo tri nove kategorije, redom po zastupljenosti: šume (15.1%), industrijske površine (9.6%), i vidljiva površina rudokopa (4.1%).

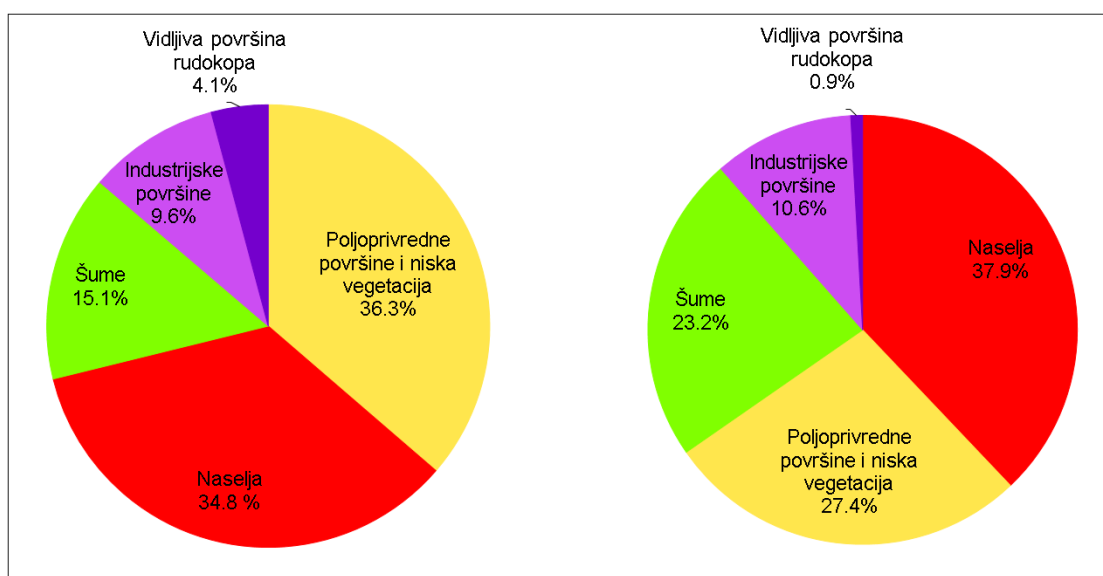


Slika 12. Prostorni raspored kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek krajem 19. st. (lijevo) i 2001. (desno)

Krajem 19. st. na promatranom prostoru je vladala poprilično jednolična slika – većinu površine su zauzimale poljoprivredne površine i niska vegetacija, dok su naseljene površine bile male, malobrojne te disperzno razmještene. Iz Franciskanskog katastra (prilog 3) može se primjetiti da su kuće bile uglavnom drvene a samo mjestimično izgrađene od kamena. Najvažnije promjene od 19. st. do 2001. su svakako pojava industrijske površine u južnom dijelu kojeg su nekoć zauzimale poljoprivredne površine te rudokopa u središnjem dijelu kojeg su zauzimale

naseljene i poljoprivredne površine. Lokacije naseljenih površina se 2001. uglavnom ne poklapaju s njihovim lokacijama sa kraja 19. st. Najveća naseljena površina se tada nalazila u središnjem dijelu istraživanog područja, ali je do 2001. nestala budući da se u međuvremenu taj dio počeo koristiti kao rudokop. Naseljene površine 2001. u najvećoj mjeri zauzimaju sjeveroistočni i jugozapadni dio, no mogu se primjetiti i u drugim djelovima istraživanog područja. Jedini prostori gdje uglavnom izostaju su prostor uz industrijsku površinu i rudokop kojeg zauzimaju površine prekrivene šumom te sjeverozapadni dio istraživanog područja gdje prevladavaju poljoprivredne površine i niska vegetacija s mjestimičnom pojavom šuma. Poznato da je većini stanovnika cementara nekoć bila glavni izvor prihoda. S obzirom na to da je okružena naseljenim površinama može se pretpostaviti da je uslijed industrijalizacije jako privlačila stanovništvo zbog mogućnosti zaposlenja. Pregledom Franciskanskog katastra (prilog 3) i satelitske snimke iz 2001. (prilog 1) se može primjetiti kako se većina prometnica iz 19. st. održala do danas, osim onih čiji prostor sada zauzima industrijska površina.

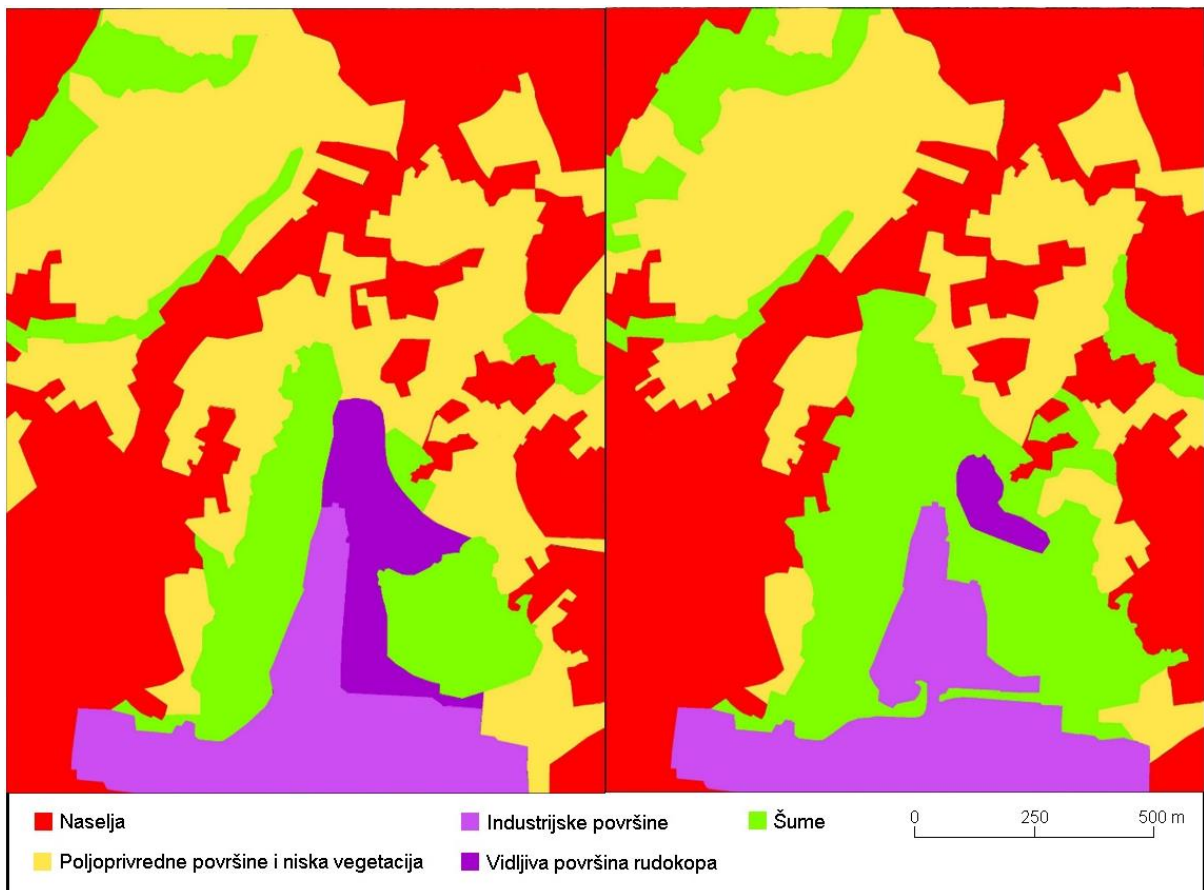
4.4. PROMJENA UDJELA I PROSTORNOG RASPOREDA KATEGORIJA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA OD 2001. DO 2016.



Slika 13. Udio kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek 2001. (lijevo) i 2016. (desno)

Od 2001. do 2016. udio poljoprivrednih površina i niske vegetacije značajno je pao (s 36.3% na 27.4%) te se nalaze na drugom mjestu po zastupljenosti. Naseljene površine sada predstavljaju najzastupljeniju kategoriju, no razlog tomu nije toliko rast njihovog udjela koliko značajan pad udjela poljoprivrednih površina i niske vegetacije. Naime, udio naseljenih

površina se tek neznatno povećao (s 34.8% na 37.9%) iz čega se može zaključiti kako su mjere zabrane izgradnje na području klizišta bile prilično uspješne. U obje promatrane godine šume zauzimaju treće mjesto po zastupljenosti, industrijske površine četvrto te vidljiva površina rudokopa peto, s tim da šume bilježe značajan porast udjela (s 15.1% na 23.2%), industrijske površine tek blagi porast (s 9.6% na 10.6%), dok vidljiva površina rudokopa bilježi pad (s 4.1% na 0.9%).



Slika 14. Prostorni raspored kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek 2001. (lijevo) i 2016. (desno)

Prostorni raspored kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta je 2016. poprilično sličan u odnosu na 2001. Najveće promjene primjećuju se u središnjem dijelu istraživanih prostora gdje se površina prekrivena šumom značajno širi na štetu površine napuštenog rudokopa, poljoprivrednih površina i niske vegetacije, te manjim dijelom i industrijske površine. Unatoč tome, vidljivo je blago širenje industrijske površine u njezinom sjeveroistočnom dijelu. U ostalim se dijelovima primjećuju gotovo neznatne promjene udjela kategorija poljoprivrednih površina i niske vegetacije, šuma, i naselja. Osim toga, tijekom

analize uočeno je i nekoliko građevina koje su izgrađene u periodu od 2001. do 2016., unatoč tome što je zbog aktivnosti klizišta gradnja zabranjena.

5. ZAKLJUČAK

Krajem 19. st. većinu površine istraživanog prostora su zauzimale poljoprivredne površine i niska vegetacija, dok im se do danas udio bitno smanjio te prevladavaju još jedino u sjeverozapadnom dijelu. Lokacije naseljenih površina danas se uglavnom ne poklapaju s njihovim lokacijama sa kraja 19. st. Tada su bile male, malobrojne, i disperzno razmještene te se najveća nalazila u središnjem dijelu. Danas najvećim dijelom zauzimaju sjeveroistočni i jugozapadni dio te se u manjoj mjeri mogu primjetiti i u drugim djelovima istraživanog područja. U periodu od 2001. do 2016. njihov udio bilježi tek neznatan rast, iz čega se može zaključiti kako su mjere zabrane izgradnje zbog aktivnosti klizišta bile poprilično uspješne. Osim toga, treba istaknuti kako je glavna prometnica iz 19. st. na istraživanom području opstala do danas, no uslijed aktivnosti klizišta velik broj ih je deformiran.

Izgradnja cementare i otvaranje rudokopa u 20. st. označili su prekretnicu za ovaj prostor. Osim što su njihove aktivnosti utjecale na pokretanje klizišta, svojim su širenjem potisnuli poljoprivredne i naseljene površine u južnom i središnjem dijelu. S obzirom na značajnu pokrivenost prostora naseljenim površinama danas, može se pretpostaviti da su tijekom industrijalizacije blizina cementare i rudokopa privlačili stanovništvo zbog mogućnosti zaposlenja. Rad cementare je obustavljen nakon što je dokazano postojanje klizišta te se danas glavna njezinog prostora može nazvati brownfieldom. Prostor nekadašnjeg rudokopa predstavlja najnestabilniji dio klizišta. Danas je zapušten te je uglavnom prekriven šumom koja u periodu od 2001. do 2016. pokazuje tendenciju širenja.

Kao posljednju napomenu, trebalo bi istaknuti kako je tijekom analize uočeno i nekoliko građevina koje su izgrađene u periodu od 2001. do 2016. unatoč tome što je zbog aktivnosti klizišta gradnja zabranjena. Osim toga, poznato je i da su se u novije vrijeme počeli koristiti dijelovi prostora u aktivnoj zoni klizišta kao divlja odlagališta otpada. Preporučuje se odgovorniji odnos prema zahvaćenom području te poduzimanje mjera u svrhu sprječavanja takvih pojava, s obzirom da opterećenje površine može dovesti do novih pomaka klizišta.

POPIS LITERATURE:

Bălteanu, D., Chendeş, V., Sima, M., Enciu, P., 2010: A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania, *Geomorphology* 124, 102-112, DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.03.005.

Baučić, M., Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., 2013: Geografski informacijski sustav klizišta Kostanjek: integracija podataka GNSS sustava praćenja pomaka u stvarnom vremenu s podacima drugih mjernih uređaja, u: Bašić, T., Marjanović, M. (ur.): *Zbornik radova 3. CROPOS konferencije*, Državna geodetska uprava, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 111-117.

Bernat Gazibara, S., Cindrić Kalin, K., Erak, M., Martin Krkač, M., Sečanj, M., Đomlija, P., Arbanas Ž., Mihalić Arbanas, S., 2019: Landslide hazard analysis in national-scale for landslide risk assessment in Croatia, u: Uljarević, M., Zekan, S., Salković, S., Ibrahimović, Dž. (ur.): *Proceedings of the 4th Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*, Geotechnical Society of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, 175-182, DOI:10.35123/ReSyLAB_2019_29.

Bertolini, G., Casagli, N., Ermini, L., Malaguti, C., 2004: Radiocarbon Data on Lateglacial and Holocene Landslides in the Northern Apennines, *Natural Hazards*, 31 (3), 645-662, DOI: 10.1023/B:NHAZ.0000024896.34933.63.

Bognar, A., 1996: Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini – geomorfološki i geokološki aspekti, *Acta Geographica Croatica* 31, 27-39.

Crozier, M. J., 1993: Management issues arising from landslides and related activity, *New Zealand Geographer* 49 (1), 35-37, DOI: 10.1111/j.1745-7939.1993.tb02023.x.

Crozier, M. J., 1999: Landslides, u: Pacione, M. (ur.): *Applied Geography: Principles and Practice*, Routledge, London i New York, 83-95.

Cruden, D. M., Varnes, D. J., 1996: Landslide Types and Processes, u: Turner, A. K., Schuster, R. L., (ur.): *Landslides: Investigation and Mitigation Special Report 247*, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Washington D.C., 36-75.

Cvitanović, M., 2014: Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011., *Hrvatski Geografski Glasnik* 76 (1), 41-59.

Faivre, S., Pahernik, M., Maradin, M., 2011: The Gully of Potovošća on the Island of Krk - The effects of a short-term event, *Geologia Croatica* 64 (1), 64-76.

Faivre, S., Radeljak, P., Grbac Živković, R., 2013: Formiranje i upotreba digitalnih baza podataka o klizištima u svijetu i Hrvatskoj – Primjer dostupnosti podataka na riječkom području, *Hrvatski geografski glasnik* 75 (1), 43-69, DOI: 10.21861/HGG.2013.75.01.03.

Faivre, S., 2020: *Opća geomorfologija*, Interna skripta

Gajić-Čapka, M., Zaninović, K., 2008: Klima Hrvatske, u: Zaninović, K. (ur.): *Klimatski atlas Hrvatske 1961-1990., 1971-2000.*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb

Glade, T., Anderson, M., Crozier, M. J., (ur.) 2005: *Landslide Hazard and Risk*, Glossary, JohnWiley & Sons, Ltd, Chichester, 775-793.

Gradiški, K., Sassa, K., He, B., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Kvasnička, P., Oštrić, M., 2014: Application of integrated landslide simulation model using LS-Rapid software to the Kostanjek Landslide, Zagreb, Croatia, u: Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž. (ur.): *Landslide and Flood Hazard Assessment, Proceedings of the 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*, Hrvatska grupa za klizišta, Zagreb, 11-16.

Gutiérrez, F., Soldati, M., Audemard, F., Bălteanu, D., 2010: Recent advances in landslide investigation: Issues and perspectives, *Geomorphology* 124, 95-101, DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.10.020.

Krkač, M., Mihalić, S., Ferić, P., Podolszki, L., Toševski, A., Arbanas, Ž., 2011: Japanese-Croatian Project: Preliminary Investigations of the Kostanjek Landslide, u: Margttini, C., Canuti, P., Sassa, K. (ur.): *Proceedings of the 2nd World Landslide Forum 'Landslide Science and Practice'*, Springer, Rome, 385-390, DOI: 10.1007/978-3-642-31319-6-52.

Krkač, M., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Smolčak, N., Špehar, K., Bernat, S., 2013b: Primjena rezultata praćenja permanentne GNSS mreže u modeliranju klizišta na primjeru klizišta Kostanjek u Zagrebu, u: Bašić, T., Marjanović, M. (ur.): *Zbornik radova 3. CROPOS konferencije*, Državna geodetska uprava, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 103-110.

Krkač, M., 2015: *Fenomenološki model gibanja klizišta Kostanjek na osnovi praćenja parametara klizanja*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Krkač, M., Bernat Gazibara, S., Sečanj, M., Arbanas, Ž., Mihalić Arbanas, S., 2019: Continuous monitoring of the Kostanjek landslide, u: Uljarević, M., Zekan, S., Salković, S., Ibrahimović, Dž. (ur.): *Proceedings of the 4th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*, Geotechnical Society of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, 43-48, DOI: 10.35123/ReSyLAB_2019_7.

Krkač, M., Bernat Gazibara, S., Sečanj, M., Sinčić, M., Mihalić Arbanas, S., 2021: Kinematic model of the slow-moving Kostanjek landslide in Zagreb, Croatia, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 36 (2), 2; 59-68, DOI:10.17794/rgn.2021.2.6.

Kušan, V. (autor), Crnojević, Ž., Kolačko, G., Ivić, T., Mihulja, A. (sur.), 2010: Uvod, u: Kučar Dragičević, S., Mesić, H. (ur.): *Corine Land Cover Pokrov i namjena korištenja zemljišta u Republici Hrvatskoj - stanje i trendovi*, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 10-12.

Marendić, A., Paar, R., Tomić, H., Roić, M., Krkač, M., 2017: Deformation monitoring of Kostanjek landslide in Croatia using multiple sensor networks and UAV, u: Kopáček, A., Kyrinović, P., Henriques, M. J. (ur.): *Proceedings of the 7th International Conference on Engineering Surveying - INGEO 2017*, Laboratório nacional de engenharia civil, Lisbon, 203-210.

Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Krkač, M., 2013: TXT-tool 2.385-1.2 Croatia Landslides Comprehensive Monitoring System Kostanjek Landslide, u: Sassa, K., He, B., McSaveney, M., Nagai, O. (ur.): *Landslide Teaching Tools*, International Consortium on Landslides, Kyoto, 158-168.

Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., Bernat, S., Arbanas, Ž., 2014: Landslide mapping and monitoring in the City of Zagreb (Croatia, Europe), u: Sassa, K., Dang, K. Q. (ur.): *Proceedings of the SATREPS Workshop on Landslide Risk Assessment Technology*, International Consortium on Landslides, Kyoto, 214-226.

Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., Bernat, S., 2016: Application of advanced technologies in landslide research in the area of the City of Zagreb (Croatia, Europe), *Geologia Croatica* 69 (2), 231-243, DOI:10.4154/gc.2016.18.

Nonveiller, E., 1987: *Klizanje i stabilizacija kosina*, Školska knjiga, Zagreb.

Ortolan, A., Stanić, B., Nonveiller, E., Pleško, J., 1987: Posljedice rudarenja u laporolomu „Kostanjek“-Podsused, u: *Zbornik simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji 2*, 117-128, Priština, Jugoslavija

Ortolan, Ž., Pleško, J., 1992: Repeated Photogrammetric Measurements at Shaping Geotechnical Models of Multi-Layer Landslides, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 4 (1), 51-58.

Petley, D., 2010: Landslide hazards, u: Alcántara-Ayala, I., Goudie, A. S. (ur.): *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*, Cambridge University Press, New York, 63-73, DOI: 10.1017/CBO9780511807527.006

Roje-Bonacci, T., 2015: Klizanje i klizišta, *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo* 88 (22), 157-165.

Sassa, K., 2010: *Integrated Landslide simulation model LS-RAPID Operation Manual*, ICL, Godai Kaihatsu Corporation.

Shanmugam, G., 2015: The landslide problem, *Journal of Paleogeography* 4 (2), 109-166, DOI:10.3724/SP.J.1261.2015.00071.

Smith, K., Petley, D. N., 2009: *Environmental Hazards, Assessing risk and reducing disaster*, Routledge, London i New York.

Stanić, B., Nonveiller, E., 1995: Large scale landslide in Kostanjek area, *Građevinar* 47 (4), 201–209.

Stanić, B., Nonveiller, E., 1996: The Kostanjek landslide in Zagreb, *Engineering Geology* 42 (4), 269-283. DOI:10.1016/0013-7952(95)00080-1.

Summerfield, M. A., 1991: *Global Geomorphology: An Introduction to The Study of Landforms*, Longman, Harlow

Varnes, D. J., 1984: *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*, UNESCO, Paris.

Županović, Lj., Opačić, K., Bernat, S., 2012: Određivanje pomaka klizišta Kostanjek relativnom statičkom metodom, *Ekscentar* 15, 46-53.

POPIS IZVORA:

Boltižar, M., 2018: Naši reporteri na jednom od najvećih svjetskih klizišta u urbanoj sredini, u zagrebačkom Podsusedu - Građani strepe od katastrofe: "Sve je deformirano", *Jutarnji.hr*, 24. ožujka, <https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/nasi-reporteri-na-jednom-od-najvecih-svjetskih-klizista-u-urbanoj-sredini-u-zagrebackom-podsusedu-gradani-strepe-od-katastrofe-sve-je-deformirano-7165299> (05.05.2021.)

Došen, K., 2018: Desetljećima su živjeli uz cementaru, a sad im u blizinu kuća stiže reciklažno dvorište: "Bojimo se za svoje živote", *Dnevnik.hr*, 23. travnja, <https://dnevnik.hr/vijesti/hrvatska/provjereno-nakon-desetljeća-provedenih-uz-cementaru-u-dvoriste-im-stize-reciklazno-dvoriste---514347.html> (05.05.2021.)

Google Earth, 2021. (01.08.2021.)

Highland, L. M., Bobrowsky, P., 2008: *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, DOI: 10.3133/cir1325 https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf (25.05.2021)

JOINT RECONNAISSANCE REPORT, 2021: Petrinja, Croatia December 29, 2020, Mw 6.4 Earthquake, (Team Leaders: Miranda, E., Brzev, S., Bijelić, N., Ur. VAST Robertson, I.) Volume PRJ-2959, Learning From Earthquakes (LFE) Program of the Earthquake Engineering Research Institute (EERI); Structural Extreme Events Reconnaissance (StEER) str. 206.

Krkač, M., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž, Smolčak, N., Špehar, K., Bernat, S., 2013a: Primjena rezultata praćenja permanentne GNSS mreže u modeliranju klizišta na primjeru klizišta Kostanjek u Zagrebu, PPT, <http://www.hkoig.hr/assets/SimpozijCROPOS2013Prezentacije/021KrkačIdrCropos2013.pdf> (20.01.2021.)

Mapire.eu,2021,<https://maps.arcanum.com/en/map/cadastral/?layers=3%2C4&bbox=1811304.3727026419%2C6137340.936140901%2C1829486.8308059783%2C6143656.545602963> (01.08.2021.)

PRILOZI:



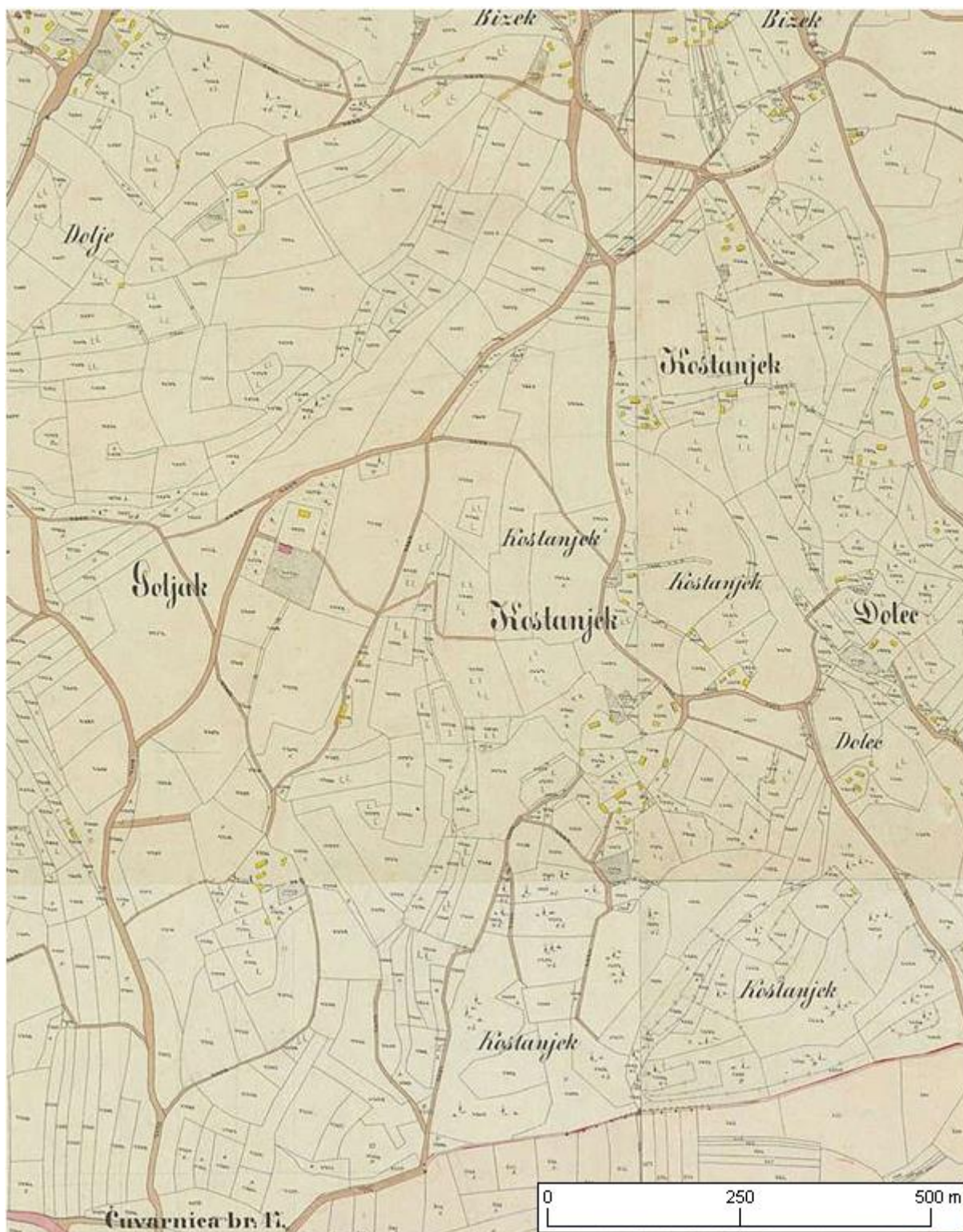
Prilog 1. Satelitska snimka područja istraživanja 2001.

Izvor: Google Earth, 2021



Prilog 2. Satelitska snimka područja istraživanja 2016.

Izvor: Google Earth, 2021



Prilog 3. Područje istraživanja u Franciskanskom katastru s kraja 19. st. (žuti kvadrati-drvene kuće, ljubičasti kvadrati-kamene kuće, svijetlozelene površine-polja)

Izvor: Mapire.eu, 2021

POPIS GRAFIČKIH PRILOGA:

POPIS SLIKA:

Slika 1. Faze pomicanja tla na padini na kojoj dolazi do nastanka klizišta.....	2
Slika 2. Shema translacijskog (lijevo) i rotacijskog (desno) tipa klizišta.....	3
Slika 3. Granica klizišta i granice eksploatacije lapora u razdoblju 1962.-1988.....	6
Slika 4. Geološki presjek prostora klizišta Kostanjek.....	8
Slika 5. Horizontalni pomak klizišta Kostanjek u periodu 2009.-2012. (žuti vektori) i horizontalni pomak u periodu 1963.-1988. (bijeli vektori).....	9
Slika 6. Horizontalni i vertikalni pomak klizišta Kostanjek 2013.-2019.....	10
Slika 7. Kumulativni horizontalni pomaci klizišta Kostanjek mjereni GNSS sensorima u periodu 2013.-2019. (siva polja označavaju periode bržeg kretanja).....	11
Slika 8. Oštećenja nastala uslijed kretanja klizišta Kostanjek.....	12
Slika 9. Oštećenja nastala uslijed kretanja klizišta Kostanjek.....	12
Slika 10. Granice područja istraživanja.....	14
Slika 11. Udio kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek krajem 19. st. (lijevo) i 2001. (desno).....	15
Slika 12. Prostorni raspored kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek krajem 19. st. (lijevo) i 2001. (desno).....	16

Slika 13. Udio kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek 2001. (lijevo) i 2016. (desno).....17

Slika 14. Prostorni raspored kategorija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na prostoru klizišta Kostanjek 2001. (lijevo) i 2016. (desno).....18

POPIS PRILOGA:

Prilog 1. Satelitska snimka područja istraživanja 2001.....VII

Prilog 2. Satelitska snimka područja istraživanja 2016.....VIII

Prilog 3. Područje istraživanja u Franciskanskom katastru s kraja 19. st. (žuti kvadrati-drvene kuće, ljubičasti kvadrati-kamene kuće, svijetlozelene površine-polja).....IX