

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.64

Naučni rad

INŽENJERSKOGEOLOŠKE I GEOTEHNIČKE KARAKTERISTIKE ODRONA NA LOKALITETU "CRVENE NJIVE" U TUZLI

*Jasenka Čomić, **Ajiša Bedić

**Dr. sci. Jasenka Čomić, Georad d.o.o. Tuzla, jasenkokomic@gmail.com*

***Ajiša Bedić, Georad d.o.o. Tuzla, georadtz@yahoo.com*

Rezime

U ranim jutarnjim satima 05.12. 2010. godine je aktiviran manji odron u naselju "Crvene Njive" u MZ Mosnik, u općini Tuzla. Aktivirani odron je kao posljedicu imao ljudske žrtve, veliku materijalnu štetu i rušenje individualnog stambenog objekta koji se nalazio u podnožju degradirane padine, u kojem su poginule 3 osobe. U čeonom dijelu odrona konstruktivno teže su oštećena dva individualna stambena objekta. U cilju prevencije i tendencije daljeg širenja nestabilnosti, na prijedlog stručnih lica tada je procijenjeno i privremeno iseljeno stanovništvo iz 12 ugroženih objekata. Prema postojećoj geološkoj i inženjerskogeološkoj dokumentaciji na mikrolokalitetu "Crvene Njive" prije aktiviranja odrona nije bilo registrovano klizište, niti labilna padina koja predstavlja potencijalnu sredinu za moguće aktiviranje klizišta ili odrona. Na lokaciji aktivnog odrona nalazi se više morfoloških oblika različitog hiposmetrijskog nivoa, na što je direktno uticala geološka građa terena i ljudska aktivnost.

Na osnovu provedenih geotehničkih istraživanja, utvrđenog inženjerskogeološkog i hidrogeološkog sastava i svojstava terena, izvršena je reonizacije terena prema stepenu stabilnosti, predstavljene su bitne preporuke i uslovi načina sanacije ugroženog područja.

Ključne riječi: klizište, geotehnička istraživanja, sanacija klizišta

UVOD

Zbog velikog uticaja na prostor, ljude i imovinu, upravljanje geohazardima jedino je moguće sistematskim pristupom proučavanju, katastarskoj obradi i preduzimanju odgovarajućih mjera [1]. Evidencija podataka o klizištima na području Tuzlanskog basena je vrlo oskudna, na niskom kako stručnom, tako i tehničkom nivou. Takođe je različit pristup i evidenciji klizišta u lokalnim zajednicama na području Tuzlanskog kantona. Dosadašnja iskustva ukazala su na pokušaje evidentiranja klizišta primjenom različitih obrazaca za popunjavanje podataka o klizištima u kojima je izostavljen znatan broj stručnih podataka ili su odgovori vrlo uopšteni, tako da mnogi nemaju značaja za dalje izučavanje, obradu niti integraciju u bazu podataka u digitalnoj formi. U cilju katastarske obrade podataka klizišta i zoniranja područja potrebno je raspolagati rezultatima koji su dobijeni detaljnim geološkim, geomorfološkim, inženjerskogeološkim, geomehaničkim, hidrološkim i hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima. Naime, inženjerskogeološke karte koje se koriste kao podloga prostornog plana lokalne zajednice obuhvataju veće prostore u Tuzlanskom basenu, izrađene su na osnovu rekognosciranja terena, direktnim i indirektnim kartiranjem. Ovakvi podaci su prilično

neprecizni i ne daju realnu sliku o ugroženosti terena klizištima. Zbog toga je za kategorizaciju terena nužno provesti detaljna istraživanja, jer kategorija terena uslovljava njegovo korištenje. Determinističkim pristupom je moguće pouzdano utvrditi stepen izloženosti riziku od oštećenja i ugroženosti života. Takođe je potrebno uraditi katastarski list za druge tipove pokretanja tla i stijenskog materijala, kao što je npr. odronjavanje koje je evidentirano na prostoru Tuzlanskog basena, a jedno takvo prezentovano je u ovom radu. Na osnovu rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti moguće je namjenu korištenja zemljišta prilagoditi geološkim uslovima.

METODE ISTRAŽIVANJA

Za potrebe definisanja geotehničkih parametara, sastava i svojstava terena izvedena su slijedeća istraživanja i ispitivanja:

- Geodetska snimanja,
- Istražno bušenje,
Standardno penetraciona tastiranja,
- Laboratorijska ispitivanja,
- Analiza stabilnosti padine,
- Inženjerskogeološko kartiranje,
- Geofizičko ispitivanja terena metodom plitke seizmičke refleksije,
- Reonizacija terena prema stepenu stabilnosti,
- Elaboracija.

U okviru geodetskog snimanja urađena je situacija u državnom koordinatnom sistemu u mjerilu 1: 500. Snimljene su lokacije istražnih bušotina izražene u apsolutnim koordinatama. Od istražnih radova izvršeno je sondažno mašinsko bušenje dvije bušotine dubine 15,00 m. Bušenje sondažne bušotine MB-1 rađeno je bez ubacivanja vode i isplake, a sondažna bušotina MB-2 bušena je sa isplakom. Jezgro je odlagano u odgovarajuće sanduke, kartirano, determinisano i fotografisano od strane geologa. Prečnik bušotina u materijalima pokrivača iznosi 101 mm, a u geološkom supstratu, minimalno 86 mm. Poremećeni i neporemećeni uzorci uzeti su iz potpuno svježeg izvađenog jezgra i propisno konzervirani. Uzorci uzeti in-situ tj mediju su u intervalima u bušotini, tako da budu zastupljeni svi varijeteti tla i stijene koji se javljaju prilikom istraživanja. Pored mašinskog bušenja vršena su i dodatna kontinuirana penetraciona ispitivanja da se konstatuje zbijenost površinskog sloja pijeska koji je nasut u čelo odrona pri prvoj fazi sanacije i izradi drenažnog sistema. U toku geomehaničkog ispitivanja vršeno je hidrogeološko osmatranje pojava podzemne vode koja djeluje u tlu. Izvršeno je mjerenje nivoa podzemne vode nakon 24, 48 sata od završetka ispitivanja. Laboratorijska ispitivanja obavljena su radi definisanja klasifikacionih i fizičko-mehaničkih karakteristika tla [2], prema važećim postupcima u akreditiranoj laboratoriji "GIT" Institut za građevinarstvo građevinske materijale i nemetale Tuzla: Akreditacija "BATA" registrovana je pod brojem LI-04-01. Prirodna vlažnost određena je postupkom: BAS ISO/TS 17892-1 Geotehnička istraživanja i testiranja - Laboratorijsko testiranje tla - Dio 1: Određivanje vlažnosti. Zapreminska masa tla, određena je postupkom: BAS ISO/TS 17892-2 Geotehnička istraživanja i testiranja - Laboratorijsko testiranje tla - Dio 2: Određivanje gustoće sitnozrnih materijala. Specifična masa, pri propisanoj temperaturi i vlažnosti

sredine: određena postupkom: BAS ISO/TS 17892-3. Atterbergove granice konsistencije predstavljaju granicu tečenja, plastičnosti i granicu skupljanja, a utvrđene su prema BAS ISO/TS 17892-12. Opit direktnog smicanja rađen je u aparatu sa kontrolisanom deformacijom smicanja, pri tri vertikalna opterećenja. Analiza služi za određivanje parametara čvrstoće smicanja, kohezije c (KNm^{-2}) i ugla unutrašnjeg trenja φ ($^{\circ}$). Opit je rađen prema odredbama BAS ISO/TS 17892-10 Geotehnička istraživanja i testiranja - Laboratorijsko testiranje tla - Dio 10: Opit direktnog smicanja. Parametri otpornosti na smicanje za tlo određeni su u aparatima za translatorno direktno sa kontrolisanom brzinom deformacije dimenzija $60 \times 60 \text{ mm}$ i visine 25 mm . Uzorci su urađeni u neporemećenom stanju i konsolidirani pod vertikalnim opterećenjem σ' : 50, 100, 150 KNm^{-2} , otpornost na smicanje ζ : 50, 100, 150 KNm^{-2} . Tangencijalni naponi su povećavani u stepenima $\Delta\sigma = \sigma'/40$ u vremenskim intervalima Δt_1 od 5 do 30 minuta. Brzina smicanja $0,3048 \text{ mm/min}$, konstanta dinamometra $0,034 \text{ mm/kp}$ ($0,33 \text{ mm/N}$). Dobivene vrijednosti čvrstoće na smicanje i parametri c i φ dobiveni na uzorcima tla za odgovarajuće intervale, kreću se od 38 do 67 KNm^{-2} za koheziju (c) i od 22 do 34° za ugao unutrašnjeg trenja (φ). Pravilnim uzorkovanjem date su reprezentativne vrijednosti svojstava materijala (za dati realističan slučaj). Za proračun stabilnosti kosine usvojeni su ulazni geomehanički parametri koji odražavaju najnepovoljnije uslove na padini. Analiza i proračuni stabilnosti vršeni sa snimljenim kotama terena, kompjuterskim zapisima, po licenciranom programu i metodi Morgensteem-Price.

Metoda je bazirana ne samo na uslovima ravnoteže sila po x osi, nego i momentnoj ravnoteži za svaku lamelu. Analiza omogućava i traženje kritične plohe odrona. Na osnovu provedenih istraživanja, ispitivanja i dobijenih rezultata izrađena je detaljna inženjerskogeološka karta u razmjeri 1:500. Inženjerskogeološka karta sadrži sve relevantne podatke za projektovanje i izvedena je prema Uputstvu za izradu inženjerskogeoloških karata (Uputstvo internacionalne asocijacije za inženjersku geologiju – IAEG) [3,4,5]. U okviru istražnog područja izvršena je reonizacija terena prema stepenu stabilnosti sa izdvojenim zonama: stabilnog, uslovno-stabilnog i nestabilnog terena i to prema površini zastupljenosti (m^2) i procentualno (%). Nakon završetka terenskih radova i laboratorijskih ispitivanja izvršena je kabinetska obrada, analiza i interpretacija prikupljenih podataka i dobivenih rezultata sa elaboracijom istih.

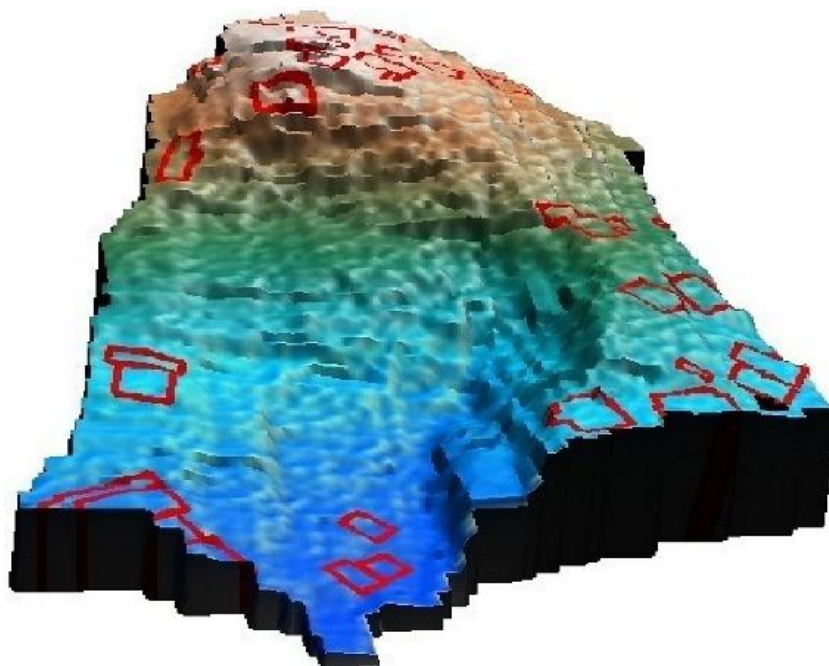
GEOLOŠKA GRAĐA I INŽENJERSKO-GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Dio terena u zoni aktiviranog odrona nalazi se u zapadnom dijelu Tuzle u naselju "Crvene Njive" [6]. Teren se nalazi na $44^{\circ}31'41.65''$ sjeverne širine i $18^{\circ}39'17.79''$ istočne dužine po Griniču. Na ovom dijelu terena nalazila se široka grebenasta forma koja je imala generalni pravac pružanja jugostok – sjeverozapad sa nagibom u smjeru sjeverozapada od 10° . Zbog činjenice da je pomenuti greben uglavnom izgrađen od kvarcnog slabovezanog pješčara i gline, ovdje je vršena eksploatacija pješčara za potrebe zatrpavanja rudnika Moluhe do 1963. godine. Zbog deficita mase ostala je veća depresija sa dvije markantne visoke (8-12 m) i subvertikalne kosine (zapadna i južna) nagiba 80 do 90° (slika 1).



Slika 1. Subvertikalna zapadna kosina. (Foto: J.Čomić, 2010).

Nakon završene eksploatacija kvarcnog pijeska, u depresiji je izvršeno ublažavanje nagiba terena. Vremenom je dio terena u zoni južne kosine zarastao niskom vegetacijom. U zaleđu južne kosine bespravno je izgrađen veliki broj objekata još prije 20ak godina. Gustina izgrađenosti u zaleđu južne kosine je veoma velika, tako da je dio objekata građen u bokovima grebena kao i u blizini visoke i strme južne kosine. Objekti su od kosine bili udaljeni 3 - 17 m. Objekti nisu imali regulisan odvod oborinskih i otpadnih voda, a u zoni južne kosine vršilo se odlaganje različitog materijala. Zbog visinskog položaja, više objekata spojeno je na sistem vodosnabdjevanja iz pravca Krojčice, dok su odvodi bili usmjereni prema formiranoj depresiji terena.



Slika 2. 3D model terena na lokalitetu "Crvene Njive"

Prosječna apsolutna kota terena u zaleđu južne kosine iznosila je oko 300,0 m.n.v, a u podnožju

gdje je uništen individualni stambeni objekat, 273,0 m.n.v. Na slikama 2 i 3 prikazani su modeli terena i objekata na području istraživanja.



Slika 3. 3D model objekata, digitalnog modela terena i digitalnog ortofoto plana (2021.).

Područje istraživanja se nalazi na sjeveroistočnom krilu Sjevernog krekanskog sinklinorija. Panonski sedimenti predstavljeni su laporcima, glinama, pijeskovima i pješćarima sa slojevima uglja [7].

Dosadašnjim istraživanjima ugljenih slojeva definisani su hidrogeološki odnosi područja, po prostornom rasporedu pojedinih litoloških članova, po njihovom međusobnom odnosu, po hidrogeološkoj funkciji i odnosu pojedinih kolektora prema površinskim vodama [8].

Na širem području se po dubini zalijeganja mogu izdvojiti izdani: I izdan (vodonosni sloj) pijesak u podini podinskog ugljenog sloja – u dubljem dijelovima, II izdan (vodonosni sloj) slabovezanog pješćara u podini glavnog ugljenog sloja gdje je aktiviran odron. Ova dva vodonosna sloja razdvojena su povlatnim glinama koje predstavljaju hidrogeološki izolator. Povećana zavodnjenost kvarcnih pijeskova i slabovezanih pješćara je utvrđena geofizičkim istraživanjima.

U cilju utvrđivanja inženjerskogeološkog sastava i svojstava terena u zoni pojave odrona izvršeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje terena i geofizička istraživanja na tri profila. Takođe je izvršeno kartiranje otvorenih izdanaka i visokih kosina. Na terenu su veoma visoki i otvoreni profili gdje su registrovani pješćari i gline, te je omogućeno da se izmjere elementi pada slojeva i pukotina (slika 4). Seizmičkom metodom indicirana je dubina zalijeganja litoloških članova i registrovani su prostorni razmještaji diskontinuiteta u pješćarima.



Slika 4. Mjerenje elemenata pada slojeva - zapadna kosina. (Foto A. Čomić, 2011)

U toku inženjerskogeološkog kartiranja terena na otvorenim izdancima pješčara i povlatnih glina utvrđeni su elementi pada $300/12^\circ$ i $312/14^\circ$. Pored mjerenja elemenata pada slojevitosti izvršeno je mjerenje elemenata pada većih markantnih pukotina u zoni ožiljka odrona (slika 5).



Slika 5. Mjerenje elemenata pada pukotina u zoni ožiljka odrona. (Foto A. Čomić, 2011).

Geofizičkim ispitivanjima (refrakciona seizmička ispitivanja uz korištenje više metoda intepretacije) kao i terenskim analizama definisani su diskontinuiteti sa elementima pada pukotina koje se nalaze dublje u pješčarima i glinama (na 3 geofizička profila). Pored pukotina registrovana su dva rasjeda (ili dublje i šire pukotine) koji se pružaju u pravcu istok – zapad pod nagibom od 85° . Jedan rasjed nalazio se u zoni ožiljka odrona. Lokacija na kojoj je formiran odron predstavlja greben koga čine podinski kvarcni pješčari glavnog ugljenog sloja Sjevernog krekanskog sinklinorijuma gdje slojevi padaju u smjeru sjeverozapada pod uglom od 12° do 14° [9]. Kvarcni pješčar prema geotehničkim svojstvima predstavlja uslovno stabilni teren. Međutim, stabilan teren neadekvatnim antropogenim radovima i aktivnostima mijenja naponsko stanje i postaje nestabilan, što se desilo na ovom lokalitetu. Nelegalno izgrađeni

objekti značajno su opteretili dio terena u zaleđu južne kosine što je dovelo do dodatne promjene naponskih stanja.



Slika 6. Blokovi odronjenog pješčara. (Foto J. Čomić, 2011)

Tek nakon provedenih geofizičkih istraživanja utvrđeno je da se u dijelu formiranog ožiljka odrona nalazio rasjed sa užom raslabljenom zonom slične orijentacije i nagiba kao i južna kosina, što je bio glavni uzrok nestabilnosti. Nakon perioda relaksacije napregnutog i prirodno zavodnjenog materijala došlo je do većeg odvajanja i otkidanja blokova (slika 6) pješčara duž nepovoljno orijentisanog rasjeda i neotektonskih pukotina, tako da je formiran klasični odron u pješčaru sa blokovskim otkidanjem. Usljed naglog odvajanja mase pješčara po rasjedu, otkinut je veći blok širine oko 55 m i dužine oko 17 m, koji je naknadno raspadnut na veći broj manjih blokova pješčara različitog oblika i zapremine (od 1 do više m³).

Geofizičkim ispitivanjima utvrđeno je da se dubina odrona kreće od 10 -12 m i vezana je za dubinu zalijeganja glinovitog sloja (povlatni sloj podinskog ugljenog sloja) koji se nalazi ispod pješčara. Blokovsko otkidanje i usitnjavanje obavljeno je po pukotinama nižeg reda u pješčaru. Kako se radi o poluvezanom i vezanom materijalu (trošni pješčari), usljed blokovskog odvajanja po predisponiranim diskontinuitetima došlo je do naglog pokretanja blokova pješčara prema podnožju padine gdje se nalazio individualni stambeni objekat usljed čega su smrtno stradale 3 osobe. [10]

U cilju sanacije južne kosine, izvršeno je sondažno mašinsko bušenje dvije bušotine dubine 15,00 m. Bušenje sondažne bušotine MB-1 rađeno je bez ubacivanja vode i isplake, a sondažna bušotina MB-2 bušena je sa isplakom. Pored mašinskog bušenja vršena su i dodatna kontinuirana penetraciona ispitivanja da se konstatuje zbijenost površinskog sloja pijeska koji je nasut u čelo odrona pri prvoj fazi sanacije i izradi drenažnog sistema. Za izradu inženjerskogeološke karte korištena je geodetska podloga razmjere R 1:500 koja je snimljena u državnom koordinatnom sistemu. Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja i ispitivanja, na ovom području su izdvojene 3 inženjerskogeološke jedinice od kojih jedna pripada geološkom supstratu, a dvije skupini pokrivača.

Geološki supstrat

Kao geološki supstrat izdvojen je jedan litološki tip i jedan litološki kompleks: kvarcni trošni pješčari (I), gline i kalcitične gline sa odlomcima goretine (II).

Kvarcni trošni pješčari (podina ugljenog sloja I)

Boja kvarcnih pješčara je primarno siva, a javljaju se i različite nijanse žute. Odlikuju se zadovoljavajućim geotehničkim svojstvima.

Na otvorenim profilima registrovana je slojevitost, negdje jasno izražena, a u pojedinim dijelovima slabije. U zoni zapadne kosine između dva sloja pješčara nalazi se tanji sloj gline (10 cm), što ukazuje na promjenu uslova sedimentacije. U hidrogeološkom smislu trošni pješčari (djelimično konsolidovani kvarcni pijeskovi) predstavljaju hidrogeološke kolektore i u njima je akumulirana značajna količina podzemne vode, naročito u dubljim dijelovima. Prema GN-200 trošni pješčari se mogu svrstati u IV kategoriju.

Gline i gline sa odlomcima goretina - (povlata ugljenog sloja) (II)

Na lokalitetu odrona "Crvene Njive" povlatne gline nalaze se ispod sloja trošnog pješčara sa vidljivim izdancima u bokovima formiranog odrona. Zapadno od odrona, sloj gline sa odlomcima goretine nalaze se preko sloja trošnog pješčara. Registrovane gline u istočnom boku odrona predstavljaju povlatu podinskog ugljenog sloja, a u zapadnom boku neposrednu povlatu glavnog ugljenog sloja. Na otvornim izdancima povlatne gline su sivo-smeđe, dobro konsolidovane, slabo izražene slojevitosti. U hidrogeološkom pogledu ovi materijali predstavljaju izolatore, a prema GN- 200 pripadaju IV kategoriji.

Pokrivači

U skupinu pokrivača na istražnom području izdvajaju se dvije različite genetske vrste i to: eluvijalno-deluvijalni (ed) i koluvijalni (ko) pokrivač.

Eluvijalno-deluvijalni pokrivač (ed)

Ova vrsta pokrivača pojavljuje se u zonama gdje markantni greben nije devastiran tehnogenom aktivnošću, odnosno nalazi se izvan kontura napuštene pjeskare. Litološki sastav ovog mješovitog padinskog pokrivača izgrađuju žuto-smeđe prašinsto-pjeskovite gline, promjenljive debljine od 0,5 do 1,5 m. U hidrogeološkom smislu ovaj pokrivač ima ulogu hidrogeološkog provodnika, a prema GN-200 pripadaju III kategoriji. Nekoliko objekata je temeljeno u ovom tipu pokrivača.

Koluvijalni pokrivač (ko)

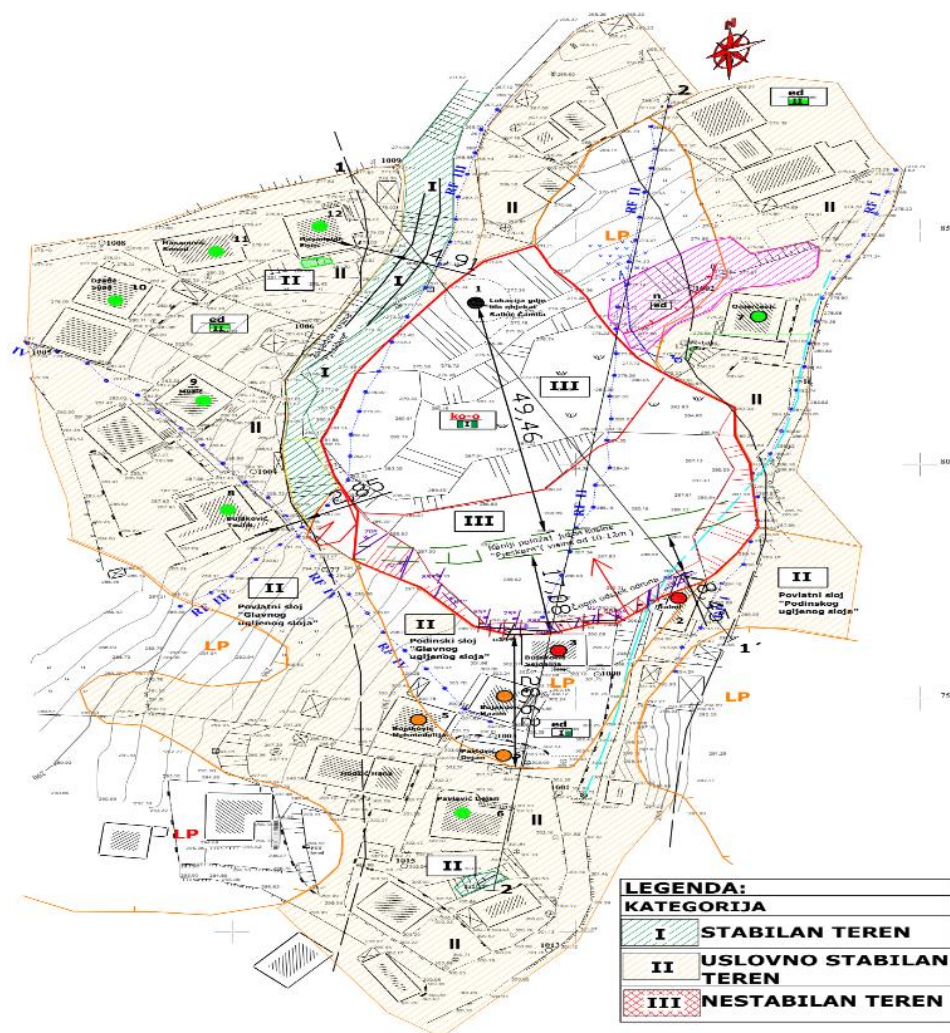
U inženjerskogeološkom smislu koluvijalni pokrivač – odrona čine materijali koji su pokrenuti gravitacionim kretanjem i koji su akumulirani u nižim dijelovima padine. Nakon aktiviranja odrona došlo je do otkidanja većih blokova pješčara u zoni ranije južne kosine pozajmišta pijeska, tako da je u donjem dijelu došlo do akumuliranja većih ili manjih blokova pješčara. Ovaj pokrivač predstavlja degradiranu, ispucalu i rastresitu sredinu promjenljivih geotehničkih karakteristika. U pojedinim zonama odrona gdje su odvojeni veliki blokovi pješčara, zadržana je primarna slojevitost. Debljina koluvijalnog pokrivača je promjenljiva i prikazana je na inženjerskogeološkim profilima 1-1', 2-2' (slike 7 i 8).



-

1. Koluvijum odrona, 2. Kvarcni mekani pješčari (podina ugljenog sloja I), 3. Gline i gline sa odlomcima goretina - (povlata ugljenog sloja) (II).

Detaljna inženjerskogeološka karta (R 1:500) izrađena je nakon izvršenih geomehaničkih istraživanja i ispitivanja terena, geofizičkim ispitivanjima terena metodom refrakcije i hidrogeoloških istraživanja. U okviru istražnog području izvršena je reonizacija terena [11] prema stepenu stabilnosti sa izdvojenim zonama: stabilnog, uslovno-stabilnog i nestabilnog terena i to prema površini zastupljenosti (m^2) i procentualno (%). (slika 9).



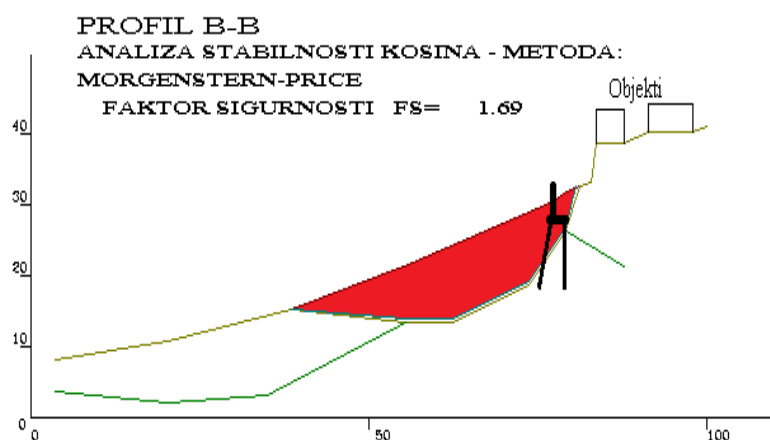
Slika 9. Rejonizacija terena prema stepenu stabilnosti.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na istražnom području je izražena interakcija prirodnih faktora (nepovoljna orijentacija pukotina sa aspekta stabilnosti, hidrogeološki uslovi) i antropogenih faktora (višedecenijska nekontrolisana eksploatacija pješčara, neplanska gradnja objekata, neregulisani odvod oborinskih i otpadnih voda, divlje deponije, te neadekvatno i nestručno provođenje sanacionih mjera pri prvim tragovima nestabilnosti. Na osnovu utvrđenih uzroka i ranjivosti područja s obzirom na (mogućnost širenja odrona i dalje ugrožavanje stanovnika i objekata), neophodno je izvršiti kompletnu sanaciju terena, podjeljenu u dvije faze. Početkom marta 2012. godine izvršena je prva faza sanacije terena izvođenjem drenažnog sistema.

Povećanje stabilnosti padine postignuto je izvođenjem drenažnog sistema sa ciljem dreniranja zavodnjenih masa tla u zoni zavodnjenog geološkog supstrata, kontrolisane odvodnje drenažnim kolektorima. U prvoj fazi sanacije u naselju je predviđena i rekultivacija terena. Za drugu fazu sanacije predviđena je izrada potporne konstrukcije (armirano betonski zid), temeljen na armirano betonskim šipovima dužine 10,00 m, raspoređenim u dvije osovine prema nacrtu potporne

konstrukcije, oslonjeni u sloju geološkog supstrata. Faktor sigurnosti sanirane kosine je $FS=1,69$ (slika 10).



Slika 10. Model za analizu stabilnosti (sanirano stanje), profil B-B'.

Nakon provedenih istraživanja i izvršene rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti, u zaleđu čeonog odsjeka definisana je potencijalna zona širenja odrona u dužini oko 28 m, gdje je registrovan veliki broj diskontinuiteta u masivu pješčara. Svi objekti i njihovi žitelji koji se nalaze u ovom dijelu gdje se može očekivati širenje odrona izloženi su riziku od oštećenja i ugroženosti života. Obezbjedenje sigurnosti objekata može se ostvariti jedino provođenjem cjelovite sanacije. Po završenoj sanaciji terena potrebno je vršiti geodetski monitoring [12]. Na inženjerskogeološkoj karti (slika 9) su prostorno definisane i označene sve tri kategorije terena prema stepenu stabilnosti:

Nestabilan teren

Ova kategorija terena predstavlja dio područja koji je zahvaćen procesom odrona. Nestabilni dio terena u okviru istražnog prostora zauzima površinu od $5.416,22 \text{ m}^2$ što predstavlja 32,37 % od ukupne površine istražnog prostora koja iznosi $16.734,49 \text{ m}^2$. U nestabilnoj kategoriji terena koja je prostorno jasno definisana, ne može se vršiti izgradnja novih niti legalizacija postojećih objekata zbog mogućeg reaktiviranja odrona. Legalizacija postojećih objekata ne može se izvršiti dok se u potpunosti ne izvede sanacija odrona, pod stručnim nadzorom i provedenim monitoringom uspješnosti provedenih sanacionih mjera. Na ovom dijelu terena ne smije se vršiti zasjecanje terena kao i formiranje većih nasipa.

Uslovno stabilan teren

Zauzima površinu od $10.780,71 \text{ m}^2$ što čini 64,42 % od ukupne površine istražnog prostora. Propisanim mjerama i izvedenom sanacijom, može se prevesti u stabilnu kategoriju terena. Legalizacija objekata može se izvršiti tek nakon izvršene sanacije nestabilnog terena. Ova kategorija terena se uz propisane mjere može prevesti u stabilnu kategoriju terena.

Stabilan teren

Ovoj zoni pripada stabilna kategorija terena koji se odlikuje povoljnim geotehničkim karakteristikama. U zoni zapadne kosine odnosno lijevog boka odrona površine od $537,56 \text{ m}^2$, ne očekuje se širenje odrona nego samo osipanje materijala, što treba spriječiti zaštitom kosine od uticaja erozije.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata provedenih inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja, utvrđenog inženjerskogeološkog i hidrogeološkog sastava i svojstava terena, stepena zastupljenosti egzogenih geoloških procesa, rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti date su preporuke i uslovi načina sanacije nestabilnog i uslovno stabilnog terena. Na osnovu rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti moguće je namjenu korištenja zemljišta prilagoditi geološkim uslovima, čime će se zasigurno minimizirati materijalne štete. Determinističkim pristupom je moguće pouzdano utvrditi stepen izloženosti riziku od oštećenja i ugroženosti života.

Na lokalitetu Crvene Njive prije aktiviranja odrona, ivica južne kosine je iznosila 17 m. Aktiviranjem odrona u decembru 2010. godine tri lica su izgubila život. Procjenjena vrijednost 12 stambenih objekata koji se nalaze u neposrednoj blizini odrona iznosi skoro milion konvertibilnih maraka.

Nakon izvršenih detaljnih istraživanja i ispitivanja na južnom dijelu kosine (gdje je registrovan veliki broj diskontinuiteta u masivu pješčara), očekuje se tendencija daljeg širenja odrona i destabilizacije južne kosine za novih 26,68 m. To bi ugrozilo još 4 individualna objekta i ljude koje žive u njima. Ovi objekti se nalaze u zoni visokog rizika, a njihova procjenjena materijalna šteta iznosi oko 320.000 KM. Utvrđena cijena sanacije I i II faze (dreniranje i zaštita južne kosine potpornom konstrukcijom) iznosi oko 470.000 KM.

Terenskim obilaskom i komparacijom geodetskih podloga u vektorskom i rasterskom obliku (za vrijeme istraživanja i novih) može se zaključiti da je prošlo više od jednog desetljeća, a da projektovane mjere sanacije (osim provođenja prve faze) na lokalitetu Crvene Njive, nisu realizovane iako su označene kao hitne.

LITERATURA

- [1] Čomić, J. Upravljanje geohazardima na području tuzlanskog basena. Univerzitet u Tuzli, Doktorska disertacija, 2022.
- [2] "GIT" Institut za građevinarstvo građevinske materijale i nemetale Tuzla, 2011.
- [3] Varnes, D.J. Slope movement types and processes. Landslide analysis and control. Transportation Research Board, Special report 176. (ur. Schuster, R.L., Krizek R.J.), National Academy Sciences, Washington, DC. 11–33, 1978.
- [4] Varnes DJ, IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. The UNESCO Press, Paris, 63, 1984.
- [5] Cruden, D.M., Varnes, D.J. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (eds): Landslides investigation and mitigation, Transportation Research Board, US National Research Council, Special Report 247, Washington, DC, Chapter 3. 36-75, 1996.
- [6] Čomić, J. Elaborat o inženjerskogeološkim i geomehaničkim ispitivanjima za Idejni projekat sanacije odrona u ulici R. Meškovića i B. Ajdžajlića u naselju "Crvene Njive" u Tuzli. Glavni projekat sanacije odrona u ulici R. Meškovića i B. Ajdžalića u naselju "Crvene Njive" MZ Mosnik – općina Tuzla, 2011.
- [7] Vrabac, S. Paleogeografija južnog oboda panonskog basena u badenu i sarmatu. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet Tuzla, 1989.
- [8] Čomić, J. Hidrogeološki i antropogeni uslovi formiranja i stabilizacije klizišta na

lokalitetima u Tuzli. Univerzitet u Tuzli, Magistarski rad, 2012.

[9] Soklić, I. Postanak i struktura tuzlanskog bazena. Geološki glasnik br.10, 1964.

[10] Kantonalna uprava civilne zaštite. Procjena ugroženosti od prirodnih i drugih nesreća područja Tuzlanskog kantona, 2016.

[11] Sijerčić, I. Inženjerska geodinamika, Univerzitet u Tuzli, 2012.

[12] Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Krkač, M. TXT-tool 2.385-1.2 A comprehensive landslide monitoring system: The Kostanjek landslide, Croatia, In: Sassa K. et al. (eds): ICL Landslide Teaching Tool, ICL, Kyoto, Japan, 2013.