BAKAR 50 (2025) 2 COPPER

UDK: 622.271.3(045)=163.41
DOI: 10.5937/bakar2502001M
NAUČNI RAD
Oblast: Geotehnika

Primljen: 01.12.2025.
Prerađen: 03.12.2025.
Prihvaćen: 12.12.2025.

INŽENJERSKOGEOLOŠKI USLOVI I ANALIZA STABILNOSTI JUŽNE KOSINE CENTRALNOG POLJA POVRŠINSKOG KOPA „GACKO“

ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS AND STABILITY ANALYSIS OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE CENTRAL FIELD OF THE "GACKO" OPEN-PIT MINE

Katarina Milivojević[1a], Mlađen Supić[1b], Dragan Ignjatović[1c], Dušan Tašić[1d]

[1]Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Alberta Ajnštajna 1, 19210 Bor, Srbija

[1a] E-mail: katarina.milivojevic@irmbor.co.rs, Orcid:https//orcid.org/0009-0000-1306-4044
[1b] E-mail: mladjen.supic@irmbor.co.rs, Orcid:https//orcid.org/0000-0003-0534-610X
[1c] E-mail: dragan.ignjatovic@irmbor.co.rs, Orcid:https//orcid.org/0000-0003-2333-6853
[1d] E-mail: dusan.tasic@irmbor.co.rs, Orcid:https//orcid.org/0000-0001-8005-9640

Izvod

Južna kosina površinskog kopa „Gacko“ pokazuje izraženu nestabilnost nakon zemljotresa i velikog prodora vode tokom 2022. godine, što je dovelo do deformacija terena i prekida eksploatacije. Cilj rada je da se, na osnovu inženjerskogeoloških, geofizičkih, hidrogeoloških i laboratorijskih istraživanja, sagleda građa i ponašanje kosine, identifikuju ključni mehanizmi nestabilnosti i definišu osnovne mere sanacije. Izdvojeno je jedanaest inženjerskogeoloških jedinica različitih svojstava, među kojima su posebno nepovoljne zone sa plastičnim glinama i degradiranim laporcima, kao i predisponirana klizna ravan na kontaktu jedinice ^{1}N i krečnjaka $^{2}K_{2}$. Geodetska merenja potvrđuju kontinuirana pomeranja. Rezultati omogućavaju pouzdano sagledavanje procesa nestabilnosti i definisanje sanacionih rešenja neophodnih za bezbedno vođenje eksploatacije.

Ključne reči: *stabilnost kosina, klizna ravan, gline, laporci, geodinamički procesi, sanacija*

Abstract

The southern slope of the Gacko open-pit mine shows pronounced instability after an earthquake and a large water intrusion during 2022, which led to terrain deformations and interruption of exploitation. The aim of the work is to, based on engineering geological, geophysical, hydrogeological and laboratory research, examine the structure and behavior of the slope, identify key instability mechanisms and define basic remediation measures. Eleven engineering geological units of different properties were identified, including particularly unfavorable zones with plastic clays and degraded marls, as well as a predisposed slip plane at the contact of unit ^{1}N and limestone $^{2}K_{2}$. Geodetic measurements confirm continuous movements. The results allow for a reliable understanding of the instability process and the definition of remediation solutions necessary for safe exploitation.

Keywords: *slope stability, slip plane, clays, marls, geodynamic processes, rehabilitation*

1. UVOD

Centralno polje rudnika uglja „Gacko“ predstavlja glavnu eksploatacionu zonu iz koje se termoelektrana „Gacko“ snabdeva ugljem. Tokom 2022. godine na području kopa dogodila su se dva ključna događaja koja su značajno uticala na stabilnost terena i kontinuitet eksploatacije: zemljotres u aprilu i veliki prodor vode u decembru iste godine. Kao posledica ovih procesa došlo je do pokretanja ukupne mase materijala iz unutrašnjeg odlagališta polja „C“ i formiranja akumulacije koja je prekrila etažu sa koje je izvođena eksploatacija. Od tada eksploatacija uglja nije obnovljena u punom kapacitetu. [1-4] Razmatrajući mogućnost nastavka proizvodnje neophodno je definisati uslove pod kojima bi eksploatacija mogla da se izvodi na održiv i bezbedan način. I nakon saniranja posledica događaja iz 2022. godine, kao dominantan geotehnički problem u Centralnom polju ostaje stabilnost Južne kosine [5-7].

Južna kosina se sastoji od više radnih rudarskih etaža formiranih u neogenim sedimentima, prvenstveno ugljevima, laporcima i glinama složene i promenljive prostorne distribucije (slika 1). Ona predstavlja južnu granicu Centralnog polja. U toku njenog formiranja nisu u potpunosti ispoštovani projektovani nagibi, visine i uglovi, što je nepovoljno uticalo na stabilnost. Dodatno, na kosinu se neposredno naslanja spoljašnje odlagalište, čija masa dovodi do istiskivanja slabonosivih sedimenata i daljeg pogoršanja stabilnosti.

Sl. 1. *Južna kosina Centralnog polja površinskog kopa „Gacko“*

Složena geološka i inženjerskogeološka građa, česte glinovite serije, prisustvo potencijalnih kliznih ravni i nestabilnih blokova, u kombinaciji sa nepravilnim zasecanjem terena i nedovoljnim održavanjem etaža, rezultirali su

značajnim pomeranjima masa i gubitkom stabilnosti radnog prostora. Geodetska služba Rudnika i Termoelektrane „Gacko“ u periodu mart–april 2024. godine registrovala je pomeranja površinskih repera i veća od 3 metra. Pomeranja se odvijaju kontinuirano i promenljivom dinamikom kroz duži period, a pravac kretanja je jug–sever, odnosno od južnog oboda kosine prema Centralnom polju.Ovi podaci jasno ukazuju da su geodinamički procesi i dalje aktivni i da trenutno stanje kosine ne obezbeđuje potrebnu stabilnost za bezbedno vođenje eksploatacije. Zbog toga je neophodno detaljno analizirati inženjerskogeološke uslove Južne kosine i proceniti mogućnosti i mere njenog stabilisanja.

2. INŽENJERSKOGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Na osnovu terenskog inženjerskogeološkog kartiranja, kartiranja jezgra četiri istražne bušotine i laboratorijskih ispitivanja, definisane su inženjerskogeološke jedinice koje grade Južnu kosinu. U pogledu stabilnosti, najvažniji su njihovi litološki sastav, prostorni položaj, debljina i ponašanje u kontaktima. Iako u profilu Južne kosine postoji više jedinica, stabilnost određuju pre svega one koje sadrže glinu, degradirane laporce ili nepovoljne dubinske kontakte. U nastavku su predstavljene samo ključne jedinice, organizovane tako da bude jasno kakvu ulogu svaka ima u stabilnosti [5-7].

2.1. Površinske jedinice koje neposredno utiču na formiranje klizne ravni

Tt - Tehnogeni material - Ovu jedinicu čini humus i laporovita jalovina deponovana tokom prethodne eksploatacije. Materijal je porozan, slabo konsolidovan i vodozasićen, a u njemu se odvija aktivan proces tečenja. Zbog znatne količine i blizine kosini, Tt menja naponska stanja podloške i predstavlja nepovoljnu zonu koja dodatno utiče na deformisanje slabijih sedimenata ispod nje.

^{8}N-peskoviti laporci i gline (najrasprostranjenija jedinica)- Ova jedinica čini glavni radni prostor kosine. Sastoji se od peskovitih laporaca i glina različite konzistencije i moćnosti.

Ključne osobine:

- Smenjivanje laporaca i glina je nepravilno, horizontalno do subhorizontalno,
- Gline imaju plastičnu konzistenciju i slaba mehanička svojstva,
- Formira se sistem vertikalnih pukotina zatezanja i subhorizontalnih pukotina uslojavanja.

Zbog toga se jedinica ^{8}N ponaša kao površinska zona u kojoj nastaju pukotine, odvajanje blokova i lokalna pomeranja, što je najčešći vid nestabilnosti na etažama.

^{7}N - tufitični laporci i visokoplastične gline - Jedinica ^{7}N se odlikuje nepravilnim smenjivanjem degradiranih laporaca i vrlo mekanih, visokoplastičnih glina. Ove gline:

- Imaju izrazito slaba nosiva svojstva,
- Lako se rasipaju kada su vlažne,
- Na kontaktima sa laporcima nastaju uglačane površine i lokalne klizne ravni.

Jedinica ^{7}N je jedna od ključnih površinskih slabosti, jer omogućava razvoj plitkih, ali vrlo aktivnih procesa klizanja, posebno gde se voda zadržava na etažama.

2.2 Srednje duboke jedinice koje mogu lokalno doprineti klizanju

^{6}N - ugalj sa laporcima i glinama - Ovaj kompleks čini glavni ugljeni sloj. Ugalj je često ispucao, a pukotine su zapunjene glinovitim materijalom. Na kontaktima različitih litoloških članova javljaju se subhorizontalne i strme pukotine, što lokalno može predstavljati ravni smicanja. Međutim, generalni pravac pada slojeva ka jugoistoku – od kosine – daje ovoj jedinici u proseku povoljniji uticaj na globalnu stabilnost. Lokalno, tamo gde je jedinica blizu površine, moguća su manja pomeranja.

^{4}N, ^{5}N - kompaktni laporci - Ove jedinice su male moćnosti, povoljnijih mehaničkih osobina i nemaju presudan uticaj na stabilnost. Njihov značaj je sekundaran i svodi se na povremenu pojavu pukotina ili lokalnu degradaciju.

2.3 Dubinske jedinice koje kontrolišu globalnu stabilnost

^{3}N - visokoplastične gline i glinoviti laporci

Iako se jedinica ^{3}N nalazi ispod podinskog ugljenog sloja, njen značaj za stabilnost ogleda se u tome što na pojedinim lokacijama formira kontakt sa krečnjakom, koji predstavlja zonu prelaza između stabilne podloge i kretanja iznad nje. Na tim mestima je zabeleženo blokovsko pomeranje, što ukazuje da jedinica ^{3}N može imati ulogu u prenosu klizanja sa viših nivoa.

^{1}N - sivozelene i zelene gline sa laporcima (ključna jedinica za stabilnost) - ovo je najkritičnija jedinica Južne kosine. Uočene karakteristike:

- Tvrde gline sa karbonatnim konkrecijama,
- Uklopci krečnjaka (tragovi otkidanja podloge),
- Laporci koji su mestimično polomljeni ili zdrobljeni,
- Gotovo u svim bušotinama zabeležene su pukotine sa jasnim tragovima smicanja.

Na kontaktu između jedinice ^{1}N i krečnjačke podloge ($^{2}K_2$) nalazi se glavna predisponirana klizna ravan Južne kosine. U toj zoni su registrovane uglačane površine strmog (~70°) padnog ugla, deformacije, tragovi kretanja i

prisustvo komada krečnjaka koji potiču iz podloge. Ovaj kontakt predstavlja dubinsku kontrolu stabilnosti i ključni element u svim analizama klizanja.

$^{2}K_2$ - *krečnjak*- Krečnjak je čvrst, kompaktan i povoljan materijal, ali je na kontaktu sa jedinicom ^{1}N tektonski oslabljen pukotinama i smičnim površinama. On je donja granica globalnog klizanja, odnosno podloga duž koje se prenose pomeranja svih nadležnih jedinica.

Posmatrano u celini, stabilnost Južne kosine određena je međudejstvom površinskih, srednje dubokih i dubinskih inženjerskogeoloških jedinica, pri čemu svaka ima specifičnu ulogu u formiranju kliznih ravni i zonama deformacija. Površinske jedinice Tt, ^{8}N i ^{7}N predstavljaju najaktivnije nestabilne zone u kojima se, usled smenjivanja laporaca i glina, zadržavanja vode, pojave pukotina i degradiranog materijala, razvijaju plitka klizanja i odvajanje blokova. Srednje duboke jedinice, pre svega kompleks ^{6}N i delovi ^{3}N, lokalno doprinose nestabilnosti tamo gde se približavaju površini terena, ali ne kontrolišu globalno ponašanje kosine. Ključnu ulogu u dubinskoj stabilnosti ima jedinica ^{1}N, u kojoj su registrovani jasni tragovi smicanja i tektonski oslabljen kontakt sa krečnjakom $^{2}K_2$. Upravo na tom kontaktu formirana je glavna predisponirana klizna ravan duž koje se odvija sporo, ali kontinuirano kretanje blokovskih masa ka Centralnom polju. Ovakva inženjerskogeološka građa ukazuje da je Južna kosina složen geodinamički sistem u kome se istovremeno razvijaju plitke i dubinske forme nestabilnosti, a ukupna stabilnost u najvećoj meri zavisi od ponašanja jedinice ^{1}N i njenog kontakta sa krečnjačkom podlogom.

3. UTICAJ HIDROGEOLOŠKIH USLOVA NA STABILNOST

Hidrogeološki uslovi imaju presudan značaj za stabilnost Južne kosine, jer prisustvo vode direktno utiče na smičuću čvrstoću neogenih laporaca, glina i ugljeva. U površinskim jedinicama (^{7}N i ^{8}N) lako dolazi do zasićenja glinovitih članova, povećanja pornog pritiska i gubitka čvrstoće, što pogoduje formiranju plitkih klizanja i odvajanja blokova. Poseban rizik predstavljaju litološki kontakti materijala različite propustljivosti, naročito na prelazima laporci–gline, gde voda najbrže destabilizuje teren.

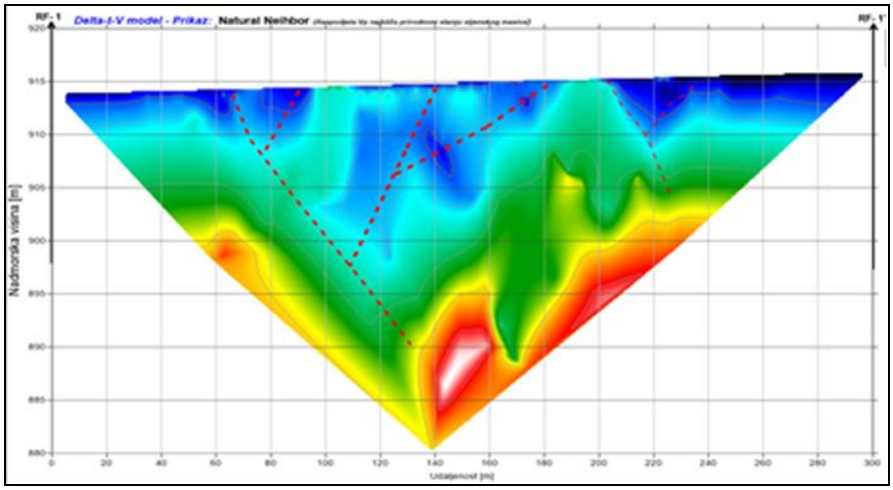
Ključni dubinski destabilizacioni faktor je kontakt jedinice ^{1}N (gline i laporci) sa krečnjačkom podlogom $^{2}K_2$, koji predstavlja glavni klizni nivo Južne kosine. Akumulacija vode u ovoj zoni smanjuje efektivni napon, ubrzava spor pokret blokova i utiče na globalnu stabilnost kosine, naročito kada se voda dovodi pukotinama u krečnjaku ili glinovitim ispunama.

Neadekvatna drenaža površinskih voda dodatno povećava rizik, jer infiltracija kroz površinske slojeve doprinosi porastu pornih pritisaka na kritičnim dubinama. Kako na lokalitetu ne postoji aktivna pijezometarska mreža, promene režima podzemnih voda nisu praćene, što otežava blagovremeno prepoznavanje

nepovoljnih procesa. Efikasno upravljanje površinskim i podzemnim vodama, uključujući drenažu i osmatranje nivoa podzemnih voda, predstavlja osnovnu meru za dugoročno očuvanje stabilnosti Južne kosine.

4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

Radi procene stanja stenskog masiva i identifikovanja potencijalnih nestabilnih zona, tokom jula 2024. urađen je refrakciono-seizmički profil RF-1. Analiza interpretacije (slika 2) jasno ukazuje na zone značajne degradacije u kojima su brzine P-talasa izrazito snižene, što odgovara slabo vezanim, glinovito-prašinastim i laporovitim materijalima. Posebno je kritična duboka anomalija u centralnom delu profila, koja se proteže do približno kote 900 m n.v. i ukazuje na dubinski poremećen masiv koji može imati presudan uticaj na globalnu stabilnost kosine.



Sl. 2. *Interpretacija profila RF-1*

Pored toga, seizmika je potvrdila postojanje bliskopovršinskih zona vrlo niskih brzina, koje predstavljaju mesta intenzivne degradacije i potencijalne ravni odvajanja blokova na radnim etažama. U kombinaciji sa terenskim uvidima o blokovskim pomeranjima i geodetskim podacima, pokazuje se da identifikovane anomalije direktno kontrolišu aktivne klizne procese i smer kretanja materijala prema Centralnom polju [1,2].

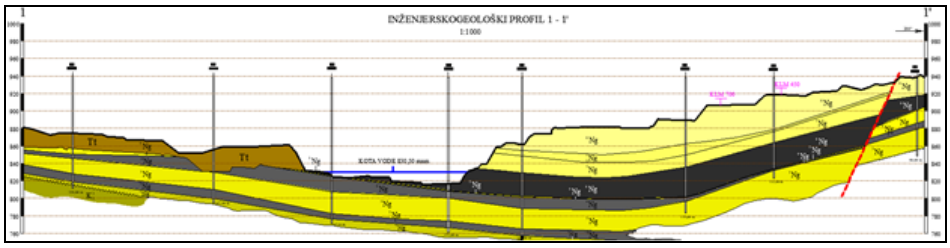
5. ANALIZA STABILNOSTI KARAKTERISTIČNIH PROFILA

U okviru periodičnih šestomesečnih elaborata o stanju stabilnosti radnih i završnih kosina površinskog kopa „Gacko“ redovno se vrši provera stabilnosti Južne kosine. Za potrebe analize izrađena su dva inženjerskogeološka profila, 1-

1’ i 77-77’, koji predstavljaju karakteristične preseke kosine. Proračun stabilnosti je izvršen pomoću softverskog paketa *Rocscience*, odnosno njegovim alatom *Slide* koji se bazira na uslovima granične ravnoteže [8-10]. Proračuni su sprovedeni metodama *Bishop*, *Janbu* i *Morgenstern–Price* za proizvoljne klizne površine. Uticaj podzemene vode modeliran je koeficijentom pornog pritiska za vrednosti r_u=0,0, r_u=0,2, i r_u=0,4. Program omogućava automatsko traženje kritične klizne ravni sa minimalnim faktorom sigurnosti.

5.1 Inženjerskogeološki profil 1-1’

Za potrebe izrade Elaborata o stabilnosti kosina (2024. godine) na trasi inženjerskogeološkog profila 1-1’ uzeta su tri uzorka na kojima su sprovedena geomehanička ispitivanja. Inženjerskogeološki profil koji je korišćen kao osnova za analizu koeficijenta sigurnosti prikazan je na slici 3.



Sl. 3. *Inženjerskogeološki profil na kojem je vršena analiza stabilnosti radnih i završne kosine 1*

Na osnovu inženjerskogeološkog profila 1-1’ u polju „C“ izvršena je analiza stabilnosti radnih i završnih kosina primenom prethodno navedenih numeričkih metoda. Dobijeni koeficijenti sigurnosti prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. *Vrednosti koeficijenta sigurnosti za profil 1-1’*

Profil	Numeričke metode	Koeficijent sigurnosti F_s		
		Koeficijent pornog pritiska		
		r_u = 0,0	r_u = 0,2	r_u = 0,4
1-1’	Bishop	1,528	1,291	1,103
	Janbu	1,474	1,249	1,048
	Morgenstern-Price	1,756	1,458	1,138

U skladu sa Pravilnikom o izvođenju rudarskih površinskih radova (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 7/2014), koeficijent stabilnosti radnih kosina mora biti **Fs ≥ 1,20** [4].

Analiza stabilnosti kosina na profilu 1-1' pokazuje da svi proračuni izvedeni metodama Bishop, Janbu i Morgenstern-Price zadovoljavaju propisani uslov stabilnosti pri koeficijentima pornog pritiska **ru = 0,0** i **ru = 0,2**. Međutim, pri povećanom vrednovanju ovodnjenosti (**ru = 0,4**) nijedna od korišćenih numeričkih metoda ne ispunjava zakonski zahtev, što ukazuje da kosina ulazi u zonu nedovoljne stabilnosti pri višim nivoima zasićenja i povećanom pornom pritisku.

Na terenu su lokalno uočena odvajanja blokova laporovitog materijala, što predstavlja neposredan rizik za rad mehanizacije, posebno rotorne bagere, zbog mogućnosti oštećenja rotirajućeg radnog organa. Pored toga, prisustvo nekontrolisanih voda koje izviru i zadržavaju se na etažama dodatno utiče na degradaciju radnih površina i smanjenje njihove nosivosti.

Ovi nalazi ukazuju da je, uz zadovoljavajuće vrednosti faktora sigurnosti u uslovima niske i umerene ovodnjenosti, potrebno posvetiti posebnu pažnju kontroli i odvođenju površinskih i podzemnih voda, kao i uklanjanju nestabilnih blokova, kako bi se sprečilo narušavanje stabilnosti kosine pri promeni hidrogeoloških uslova (slika 4).

Sl. 4. *Pojava voda - koje teku ili se zadržavaju nekontrolisano, samim tim oštećuju etaže i smanjuju stabilnost istih (2024. godine)*

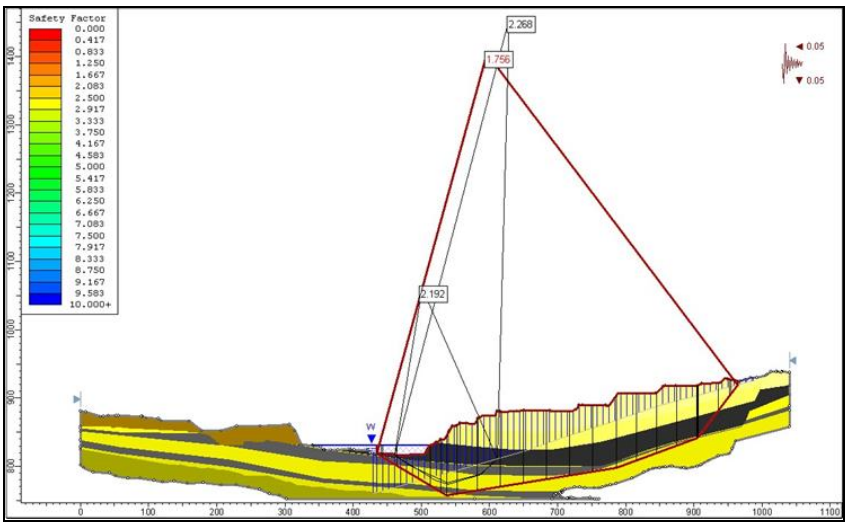
S obzirom na složenu inženjerskogeološku građu, nepovoljne geotehničke uslove i nepoštovanje projektovane geometrije kosine, na području polja „C" razvili su se brojni geodinamički procesi, uključujući formiranje klizišta, rasednih zona, pukotina smicanja, zona kidanja i obrušavanja blokova. Ove pojave direktno ugrožavaju kontinuitet proizvodnje i zahtevaju detaljnu analizu i planiranje adekvatnih sanacionih postupaka.

Sl. 5. *Pukotine na etaži - potencijalne klizne ravni (2024. godine)*

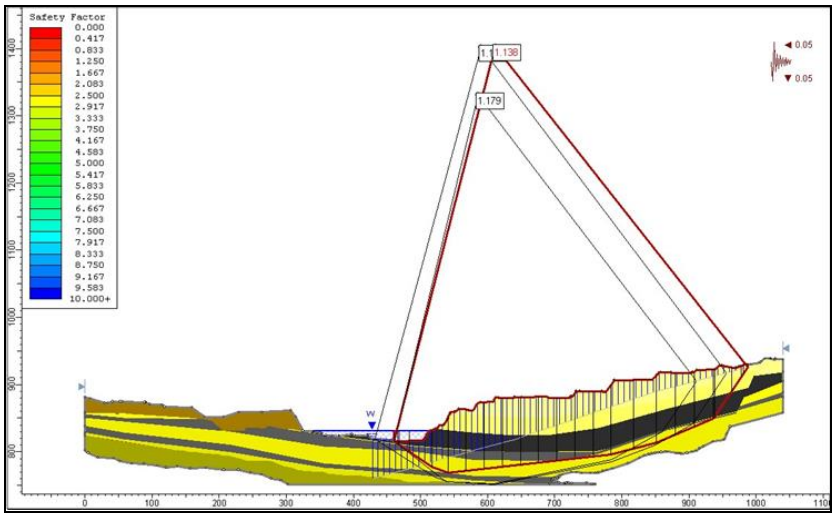
Na slici 5 prikazan je razvijen pukotinski sistem duž radne etaže. Ovakvi sistemi pukotina predstavljaju predisponirane ravni klizanja po kojima se odvijaju blokovska pomeranja, a njihov razvoj povezan je sa razlikama u čvrstoći i deformabilnosti laporovitih i glinovitih članova.

Sanacija bi trebalo da se zasniva na smanjenju nagiba etažanih kosina u zonama povećanog rizika, formiranju obodnih kanala i obezbeđivanju usmerenog odvođenja površinskih i podzemnih voda ka odgovarajućim drenaznim sistemima. Posebnu pažnju neophodno je posvetiti održavanju prohodnosti etažnih puteva kako bi se obezbedilo bezbedno kretanje mehanizacije i radnog osoblja.

U okviru numeričke analize stabilnosti profila 1-1’ sprovedeni su proračuni prema metodama Bishop, Janbu i Morgenstern–Price, kao i za više nivoa pornog pritiska (ru = 0,0, ru = 0,2 i ru = 0,4). Međutim, za potrebe grafičkog prikaza u radu odabrani su rezultati **samo po metodi Morgenstern–Price** i **samo za koeficijente ovodnjenosti ru = 0,0 i ru = 0,4**, slike 6 i 7.



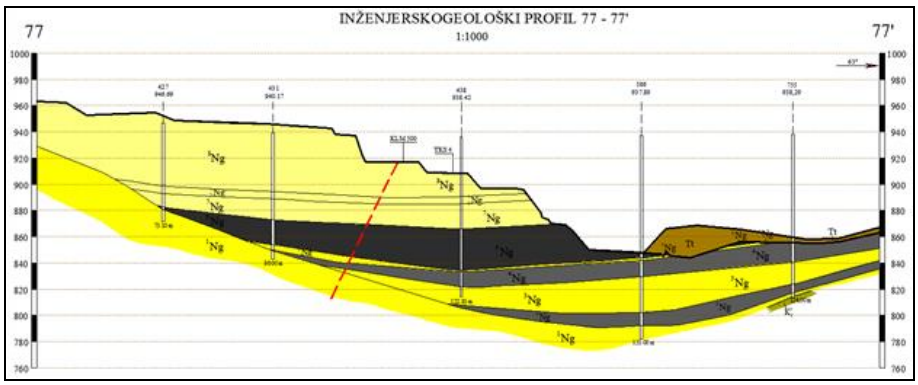
Sl. 6. *Analiza stabilnosti kosina profila 1-1' po numeričkoj metodi Morgenstern-Price*



Sl. 7. *Analiza stabilnosti kosina profila 1-1' po numeričkoj metodi Morgenstern-Price*

5.2 Inženjerskogeološki profil 77-77'

Na trasi inženjerskogeološkog profila 77-77' uzeta su tri uzorka na kojima su sprovedena geomehanička ispitivanja. Inženjerskogeološki profil korišćen za analizu koeficijenta sigurnosti prikazan je na slici 8.



Sl. 8. *Inženjerskogeološki profil na kojem je vršena analiza stabilnosti radnih kosina i završne kosine*

Na osnovu inženjerskogeološkog profila 77-77’ u polju „C“ izvršena je analiza stabilnosti radnih i završnih kosina primenom ranije navedenih numeričkih metoda. Dobijeni koeficijenti sigurnosti predstavljeni su u tabeli 2.

Tabela 2. *Vrednosti koeficijenta sigurnosti za profil 77-77’*

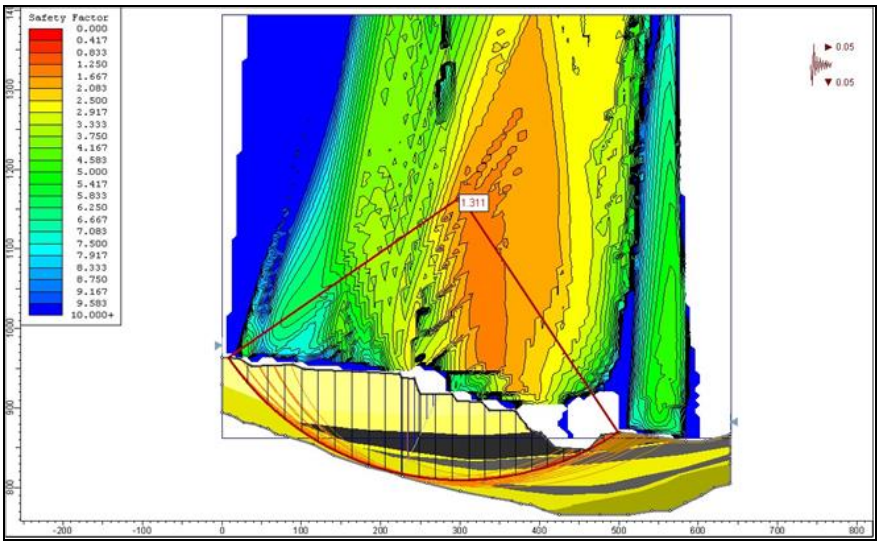
Profil	**Numeričke metode**	**Koeficijent sigurnosti F_s**		
		Koeficijent pornog pritiska		
		r_u = 0,0	**r_u = 0,2**	**r_u = 0,4**
77-77’	Bishop	1,294	1,074	0,857
	Janbu	1,188	0,988	0,791
	Morgenstern-Price	1,311	1,092	0,878

Rezultati analize stabilnosti profila 77-77’ pokazuju da zahtevani faktor sigurnosti zadovoljavaju samo proračuni pri suvim uslovima (ru = 0,0) i to za metode Bishop i Morgenstern–Price. Pri povećanim vrednostima pornog pritiska (ru = 0,2 i ru = 0,4) nijedna od primenjenih numeričkih metoda ne ispunjava zakonski uslov stabilnosti. Ovakvi rezultati ukazuju da bi, u slučaju srednje ili potpune ovodnjenosti, sistem kosina i radnih etaža bio zahvaćen procesom klizanja, što bi direktno ugrozilo stabilnost i funkcionalnost Centralnog polja.

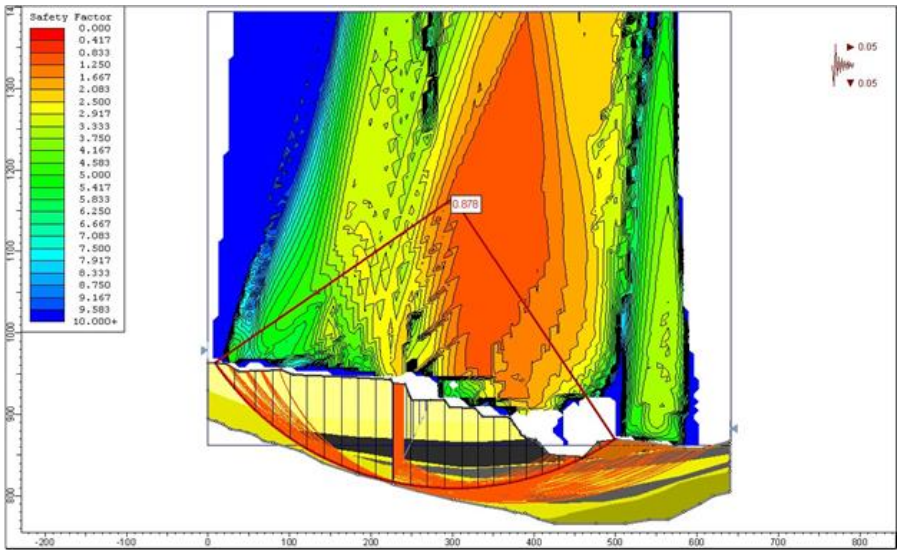
Kao i za profil 1-1’ i na osnovu rezultata proračuna stabilnosti na profilu 77-77’ kompletna Južna kosina se može smatrati nestabilnom, te se u postojećim uslovima ne preporučuje obavljanje rudarskih aktivnosti [7].

Analize stabilnosti kosina profila 77–77’ izvedene su za sve vrednosti pornog pritiska i primenom sve tri numeričke metode korišćene u radu (Bishop, Janbu i Morgenstern-Price). Međutim, zbog velikog broja grafičkih rezultata i njihove međusobne sličnosti, u radu su prikazane samo one analize koje jasno

ukazuju na nepovoljna stanja stabilnosti, odnosno analize koje daju faktore sigurnosti ispod propisanog minimuma, slike 9 i 10.



Sl. 9. *Analiza stabilnosti kosina profila 77-77' po numeričkoj metodi Morgenstern-Price pri pornom pritisku ru=0,0. Fs=1,311*



Sl. 10. *Analiza stabilnosti kosina profila 77-77' po numeričkoj metodi Morgenstern-Price pri pornom pritisku ru=0,4. Fs=0,878*

6. PREDLOZI MERA SANACIJE

U cilju procene stabilnosti Južne kosine Centralnog polja identifikovane su ključne pojave i procesi koji direktno ugrožavaju bezbednost i kontinuitet eksploatacije. Na terenu su registrovani strukturni, geodinamički i hidrološki faktori nestabilnosti, među kojima se izdvajaju rasedne zone, razvijeni pukotinski sistemi, blokovska pomeranja, klizišta i zadržavanje vode na etažama.

Rasedne i pukotinske zone predstavljaju predisponirane ravni klizanja po kojima dolazi do odvajanja blokova i njihovog obrušavanja. Ove zone ukazuju na izraženu strukturnu degradaciju terena i zahtevaju blagovremeno uklanjanje nestabilnih blokova i zapunjavanje pukotina.

Od geodinamičkih procesa najizraženiji su kidanje blokova, rotaciono i translaciono klizanje, kao i aktiviranje lokalnih klizišta. Klizišta se najčešće razvijaju na kontaktima neogenih sedimenata i odlaganog materijala, pri čemu se pokreće veća količina materijala koja može ugroziti radnu sredinu i opremu.

Hidrogeološke pojave takođe imaju značajan uticaj na stabilnost. Proceđivanje i zadržavanje vode na etažama dovode do smanjenja čvrstoće materijala, gubitka nosivosti podloge i ubrzanog razvoja kliznih procesa. Nefunkcionalna kanalizaciona mreža dodatno pogoršava stanje, posebno na mestima gde je koncentrisana radna mehanizacija.

Na osnovu identifikovanih pojava procenjuje se da je Južna kosina u postojećim uslovima nestabilna i da bi nastavak eksploatacije mogao dovesti do pokretanja većih masa i ozbiljnog ugrožavanja bezbednosti radnika i opreme.

U cilju stabilizacije terena preporučuju se sledeće mere sanacije [7]:

- Ublažavanje nagiba kosina i rasterećenje vršnih zona,
- Uspostavljanje funkcionalne mreže obodnih i etažnih kanala za usmeravanje i odvođenje voda,
- Uklanjanje nestabilnih blokova i zapunjavanje rasednih i pukotinskih zona,
- Redovno održavanje etaža sa obaveznim padom ka vodosabirniku,
- Proširenje mreže geodetskih repera za praćenje površinskih pomeranja,
- Uvođenje pijezometara i inklinometara za praćenje režima podzemnih voda i dubinskih pomeranja.

Sve navedene aktivnosti trebalo bi da budu obuhvaćene jedinstvenim projektom sanacije Južne kosine, kojim bi se definisali uslovi za eventualni nastavak bezbedne i održive eksploatacije.

7. ZAKLJUČAK

Istraživanja sprovedena na Južnoj kosini Centralnog polja obuhvatila su geološku i geomehaničku karakterizaciju terena, refrakciono-seizmička ispitivanja i numeričke analize stabilnosti za različite uslove ovodnjenosti. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da složena inženjerskogeološka građa, prisutni strukturni kontakti, degradirane zone u masivu i nepovoljni hidrološki uslovi imaju dominantan uticaj na stabilnost kosine.

Analize stabilnosti na profilima 1-1' i 77-77' pokazale su da su kosine stabilne samo u uslovima minimalne ovodnjenosti (ru = 0,0), dok pri povećanom pornom pritisku dolazi do značajnog smanjenja faktora sigurnosti, a u više slučajeva i do njegovog pada ispod propisanih graničnih vrednosti. Ovakvi rezultati ukazuju da prisustvo podzemnih i površinskih voda predstavlja jedan od ključnih faktora rizika koji može aktivirati klizišta, blokovska pomeranja i druge geodinamičke procese.

Teren Južne kosine odlikuje se razvijenim pukotinskim i rasednim sistemima, lokalnim i dubinskim kliznim ravnima, kao i čestim pojavama kidanja i obrušavanja blokova. Ove pojave, zajedno sa uočenim hidrogeološkim problemima i neuređenom drenažom, potvrđuju da je kosina u postojećem stanju nestabilna i da bi nastavak eksploatacije mogao dovesti do ozbiljnog ugrožavanja ljudstva i opreme.

Na osnovu svega sprovedenog, zaključuje se da je neophodno izraditi jedinstven projekat sanacije Južne kosine, koji bi obuhvatio izmene geometrije kosina, regulaciju površinskih i podzemnih voda, sanaciju strukturnih i geodinamičkih zona, kao i uspostavljanje sveobuhvatnog sistema monitoringa. Tek nakon primene adekvatnih sanacionih mera i održivog praćenja stanja moći će da se razmatra nastavak bezbedne eksploatacije na ovom području.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2025. godini za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, br. 451-03-136/2025-03/200052.

LITERATURA

[1] Arsenović, S. (2023). Izvještaj geofizičkih seizmičko-seizmoloških istraživanja u zoni eksploatacionog polja površinskog kopa „Gacko“. CTU-IPKIN d.o.o. Bijeljina, MH „ERS“ MP a.d. Trebinje, ZP „RiTE Gacko“ a.d. Gacko.

[2] Arsenović, S. (2024). Izvještaj rezultata geofizičkih ispitivanja primjenom refrakcione seizmike za potrebe analize stabilnosti radnih i završnih kosina na površinskom kopu „Gacko“ – Južna kosina. CTU-IPKIN d.o.o. Bijeljina.

[3] Pavlović, M. (2023). Elaborat o ispitivanju stabilnosti radnih i završnih kosina i odlagališta na površinskom kopu „Gacko“ i površinskom kopu krečnjaka „Ponikve“. MH „ERS“ MP a.d. Trebinje, ZP „RiTE Gacko“ a.d. Gacko, IRM Bor d.o.o. Zvornik.

[4] Pravilnik o izvođenju rudarskih površinskih radova. Službeni glasnik Republike Srpske, broj 7/2014.

[5] Supić, M. (2024). Elaborat o ispitivanju stabilnosti radnih i završnih kosina i odlagališta na površinskom kopu „Gacko“ i površinskom kopu krečnjaka „Ponikve“. MH „ERS“ MP a.d. Trebinje, ZP „RiTE Gacko“ a.d. Gacko, IRM Bor d.o.o. Zvornik.

[6] Vasilić, M. (2020). Elaborat o izvedenim geomehaničkim istraživanjima južnog i jugoistočnog oboda centralne eksploatacione zone površinskog kopa „Gacko“. IRM Bor d.o.o. Zvornik.

[7] Supić, M. (2024). Izvještaj o stabilnosti Južne kosine Centralnog polja površinskog kopa „Gacko“ sa prijedlogom sanacije. IRM Bor d.o.o. Zvornik.

[8] Rajković, R., Gomilanović, M., Kržanović, D., Stepanović, S., Mikić, M., & Jovanović, M. (2024). Determination of safety distances due to the seismic earthquakes during blasting at the open pit North mining district of the Majdanpek copper mine. Mining and Metallurgy Engineering Bor, 2, 21-34. DOI: 10.5937/mmeb2402021R

[9] Rajković, R., Kržanović, D., Mikić, M., Jovanović, M., & Milutinović, S. (2023). Stability analysis of the integrated waste dumps of the open pits Žuta Prla and Brskovo near Mojkovac. Mining and Metallurgy Engineering Bor, 2, 9-16. DOI: 10.5937/mmeb2302009R

[10] Rajković, R., Obradović, Lj., Kržanović, D., & Mikić, M. (2019). Stability of the Dam ”Prevoj Šaška“ of the Flotation Tailing Dump ‘Valja Fundata“ in Majdanpek. Mining and Metallurgy Engineering Bor, 1-2, 9-18. DOI 10.5937/mmeb1902009R