

Analiza geomehaničke stabilnosti kosina na odlagalištima i površinskom kopu Ćeramide

Tomislav Šubaranović, Vladimir Čebašek, Bojan Dimitrijević, Veljko Rupar



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Analiza geomehaničke stabilnosti kosina na odlagalištima i površinskom kopu Ćeramide | Tomislav Šubaranović, Vladimir Čebašek, Bojan Dimitrijević, Veljko Rupar | XV Međunarodna konferencija OMC 2022, Zlatibor, 12-15. oktobar 2022. | 2022
||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007149>



**ANALIZA GEOMEHANIČKE STABILNOSTI KOSINA NA ODLAGALIŠTIMA I
POVRŠINSKOM KOPU ČERAMIDE**

**ANALYSIS OF GEOMECHANICAL SLOPE STABILITY ON OPENCAST MINE CERAMIDE
AND ITS DUMPS**

Šubaranović T.¹, Čebašek V.², Dimitrijević B.³, Rupar V.⁴

Apstrakt

Kako bi se nastavila eksploatacija dacita na površinskom kopu Čeramide kod Rudnika, potrebno je izraditi novu projektnu dokumentaciju na osnovu novih overenih rezervi. Da bi se eksploatacija jalovine i dacita odvijala sigurno bez klizanja i obrušavanja stenskog materijala, neophodno je izvršiti proveru stabilnosti projektovanih kosina i na odlagalištima i na samom površinskom kopu. U ovom radu je upravo data analiza geomehantičke stabilnosti kosina na odlagalištima i površinskom kopu dacite Čeramide kod Rudnika.

Ključne reči: površinski kop, Čeramide, stabilnost kosina, dacit, Rudnik

Abstract

In order to continue dacite mining at the Ceramide opencast mine near Rudnik, it is necessary to create new project documentation based on new certified reserves. In order for the overburden removal and dacite mining to take place safely without sliding and collapsing of the rock material, it is necessary to check the stability of the projected slopes both at the dump sites and at the opencast mine itself. An analysis of the geomechanical slope stability at the dumps and the dacite opencast mine Ceramide near Rudnik is given in this paper.

Keywords: opencast mine, Ceramide, slope stability, dacite, Rudnik

1. Uvod

Eksploataciono polje Čeramide, a u okviru njega i ležište dacita, nalazi se u ataru sela Zagrade koje pripada teritoriji Opštine Gornji Milanovac (Moravički okrug). Ležište je udaljeno od Gornjeg Milanovca oko 17 km, a od varošice Rudnik 3 km. Ležište je ne kategorisanim putem u dužini od 2,5 km povezano sa putem prvog reda - Ibarskom magistralom, na deonici između Gornjeg Milanovca i Ljiga.

Ležište se prostire na površini od oko 18,6 ha, dok je do sada istraženo tek oko 7 ha. Sam proboj dacita ima prilično izometričan oblik. Morfološki, istražni prostor je na strmoj i krševitoj padini sa prosečnim topografskim nagibom oko 30°. Istraženi deo se pruža pravcem SI-JZ. U okviru ležišta se

¹ Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

² Prof. dr Čebašek Vladimir, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Prof. dr Dimitrijević Bojan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁴ Rupar Veljko, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

nalaze postrojenja za preradu i ona se koriste pri eksploataciji.

Na širem prostoru koje gravitira ka ležištu ne postoje stalni vodotokovi, niti izdani. Južnom granicom ležišta u zoni osnovne-manipulativne etaže kopa protiče potok Brezovica koji odvodi oborinske vode sa kopa. Potok je u zoni kopa regulisan. Sagledano u celini ležište Čeramide ima povoljne hidrogeološke uslove za eksploataciju i sem navedenih eventualnosti koje je moguće tehnički rešiti ne postoje druga ograničenja u ovom kontekstu.

U okviru ležišta izdvojene su tri kategorije dacitskih stena kao i sedimenti krednog fliša, te je sa geomehaničkog aspekta sredina anizotropna. Daciti prve faze izlivanja imaju visoka mehanička svojstva i predstavljaju kompleks čvrstih stena sa aspekta geomehaničkih karakteristika. Daciti druge faze izlivanja su nižih mehaničkih svojstava od dacita prve faze izlivanja. Površinski grusifikovani dacit, kao i sedimenti fliša predstavljaju kompleks mekih stena sa znatno nižim geomehaničkim svojstvima.

2. Konstruktivni parametri površinskog kopa i odlagališta

Površinski kop je konstruisan sa sledećim konstruktivnim parametrima:

- visina etaže: $h_1 = h_2 = 12$ m
- širina berme u završnoj kosini: $B_1 = B_2 = 6$ m
- ugao nagiba radne kosine u masivnom dacitu: $\beta_1 = 75^\circ$
- ugao nagiba završne kosine u masivnom dacitu: $\alpha_1 = 52^\circ$
- ugao nagiba radne kosine u alterisanom dacitu i jalovini: $\beta_2 = 40^\circ$
- ugao nagiba završne kosine u masivnom dacitu: $\alpha_2 = 31^\circ$

U završnoj konturi površinskog kopa Čeramide postojaće 5 odlagališta, od kojih su četiri spoljašnja. Konstruktivne karakteristike odlagališta date su u Tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Konstruktivni parametri odlagališta

Odlagalište	Ugao nagiba radne kosine (°)	Ugao nagiba završne kosine (°)	Visina etaže (m)	Širina berme u završnoj kosini (m)
Spoljašnje jugozapadno	40 i 44	26	7 i 6	6
Spoljašnje istočno	38 i 50	26	8 i 5	6
Spoljašnje južno	35 i 44	26	9,5 i 6	6
Unutrašnje	33	26	12	6
Spoljašnje zapadno	38	26	8	6

3. Analiza geomehaničke stabilnosti kosina

Analize stabilnosti kosina izrađenih u stenskom masivu dacita i alterisanog dacita sa lokaliteta površinskog kopa Čeramide su izvedene sa vrednostima faktora oštećenja stenskog masiva D za kosine koje su formirane masovnim miniranjem na površinskim kopovima, $D = 1$.

Svojstva stenskog materijala sa površinskog kopa Čeramide kod Rudnika dobijena su na osnovu podataka o fizičko-mehaničkim svojstvima stenskog materijala koji su prikupljeni iz raspoložive dokumentacije. Na osnovu rezultata statističke obrade rezultata laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzoraka GM-1 i GM-2 iz 2009. godine i rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava stenskog materijal odložene jalovine i alterisanog dacita iz 2020. godine, za stenski masiv dacita ležišta Čeramide usvojene su vrednosti GSI faktora u intervalu od 45 do 55, a za alterisani dacit usvojene su vrednosti GSI faktora u intervalu od 15 do 25. Takođe usvojeni računski parametri za stenski masiv dacita i alterisanog dacita su prikazani u Tabeli 3.1, a računski parametri za nasuti materijal (odloženu jalovinu) i jalovinski prekrivač prikazani su u Tabeli 3.2, dok su za peščar prikazani u Tabeli 3.3.

Tabela 3.1. Računski parametri stenskog materijala sa lokacije površinskog kopa Čeramide kod Rudnika za Hoek-Brown kriterijum

Parametri	Dacit	Alterisani dacit
Zapreminska težina, γ (kN/m ³)	25,08	24,04
Čvrstoća na pritisak, σ_{cm} (MPa)	144,432	17,756
GSI faktor	45 – 55 50	15 – 25 20
Koeficijent stenskog masiva, m_i	1,471	0,424
Materijalna konstanta, s	0,004	0,0001
Materijalna konstanta, a	0,506	0,544
Faktor oštećenja stenskog masiva, D	1,0	1,0

Tabela 3.2. Računski parametri nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača

Lokalitet	Zapreminska težina γ (kN/m ³)	Ugao unutrašnjeg trenja φ (°)	Kohezija c (kPa)
Nasut materijal (odložena jalovina)	17,80	30,75	1,50
Jalovinski pokrivač	20,00	30,75	20,00

Tabela 3.3. Računski parametri peščara

Parametri	Vrednosti
Zapreminska težina, γ (kN/m ³)	22,00
Čvrstoća na pritisak, σ_{cm} (MPa)	50,00
GSI faktor	45 – 55 50
Koeficijent stenskog masiva, m_i	0,366
Materijalna konstanta, s	0,00024
Materijalna konstanta, a	0,5057
Faktor oštećenja stenskog masiva, D	1,0

3.1. Analiza stabilnosti kosina

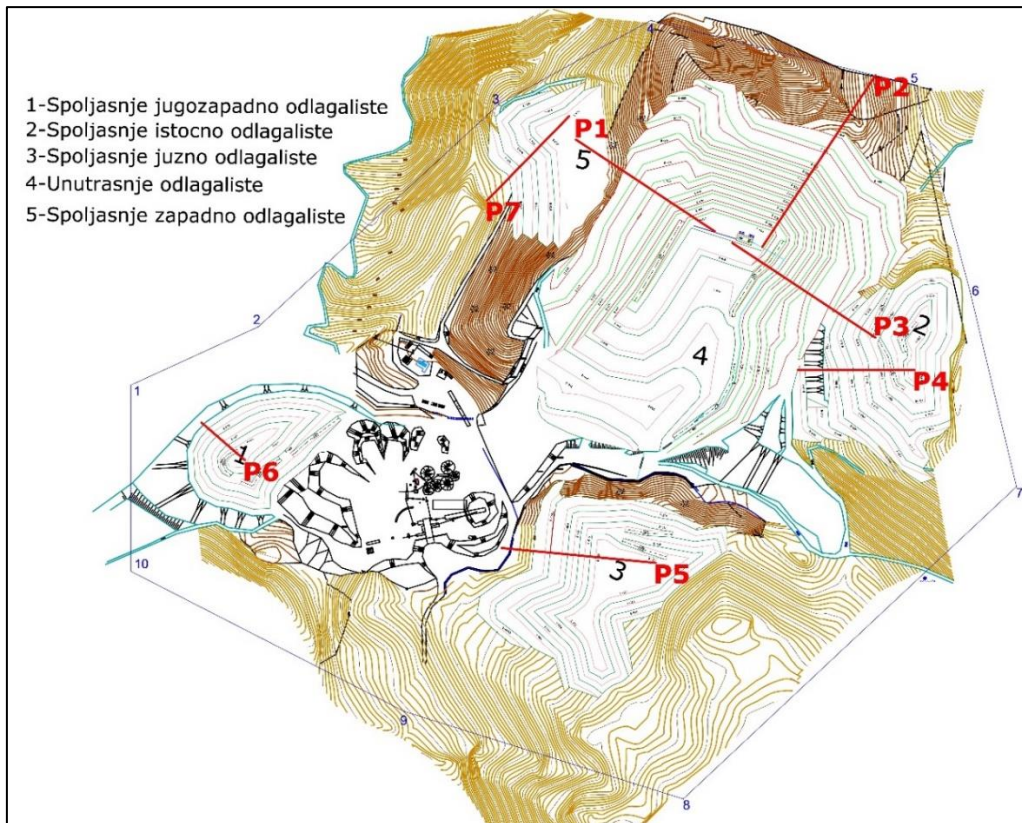
Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide je izvršena za završno stanje razvoja radova na površinskom koku na karakterističnim profilima koji su označeni sa P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 i P8. Položaj profila predviđenih za analizu stabilnosti kosina je izabran na osnovu geometrije kosina na ovim profilima, geološke građe stenskog masiva i potencijalnog uticaja površinskog kopa na okolne objekte. Položaj profila predviđenih za analizu stabilnosti kosina prikazan je na Slici 3.1.

Geometrija kosina na karakterističnim profilima je prikazana u Tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Geometrija kosine pristupnog puta na karakterističnim profilima

Profil	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Visina kosine (m)	71,87	132,00	102,00	34,53	37,00	18,80	32,00	48,00
Ugao nagiba kosine (°)	38	47	47	26	29	29	28	27

Karakteristični profili kosina površinskog kopa, koji su korišćeni za analize se u litološkom pogledu sastoje iz: jalovinskog pokrivača, alterisanog dacita, dacita i peščara. Profili kosina spoljašnjih i unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa, koji su korišćeni za analize se, u litološkom pogledu, sastoje iz: jalovinskog pokrivača, kao podloge, i nasutog materijala (odložene jalovine).

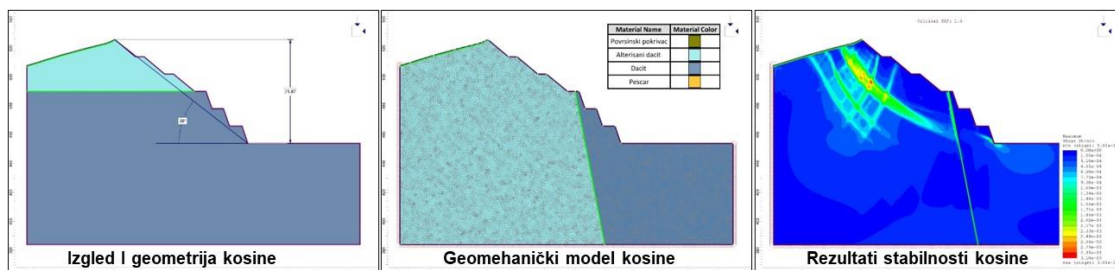


Slika 3.1. Položaj karakterističnih profila kosina površinskog kopa i spoljašnjih odlagališta Čeramide

Stabilnost kosina površinskog kopa Čeramide je analizirana u skladu sa važećim Pravilnikom o tehničkim normativima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina, gde faktor sigurnosti završne kosine površinskog kopa mora da zadovolji uslov $F_s \geq 1.30$.

Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide je izvršena metodom konačnih elemenata, dok je analiza stabilnosti kosina spoljašnjih odlagališta izvršena metodom Bishopa. Proračuni i analize stabilnosti kosina na karakterističnim profilima su izvršeni uz primenu savremenih specijalizovanih programskih paketa RS2 verzija 11.013 i Slide2 verzija 9.020, firme Rocscience Inc., koji su vlasništvo Katedre za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu.

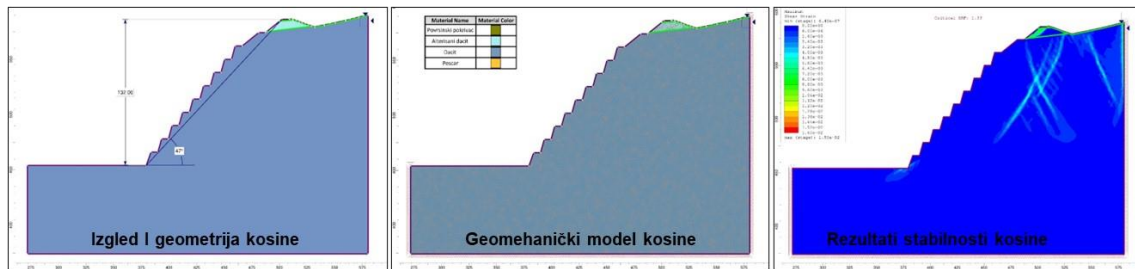
Položaj karakterističnog **profila P1** površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila dat na Slici 3.2. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz dacita (dacit I faze), alterisanog dacita (dacit II faze) i jalovinskog pokrivača. Analizom stabilnosti kosine na profilu P1 metodom konačnih elemenata, utvrđeno je da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,50 (Slika 3.2). Rezultat navedene analize ukazuje na činjenicu da je kosina u zoni profila P1 stabilna.



Slika 3.2. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P1

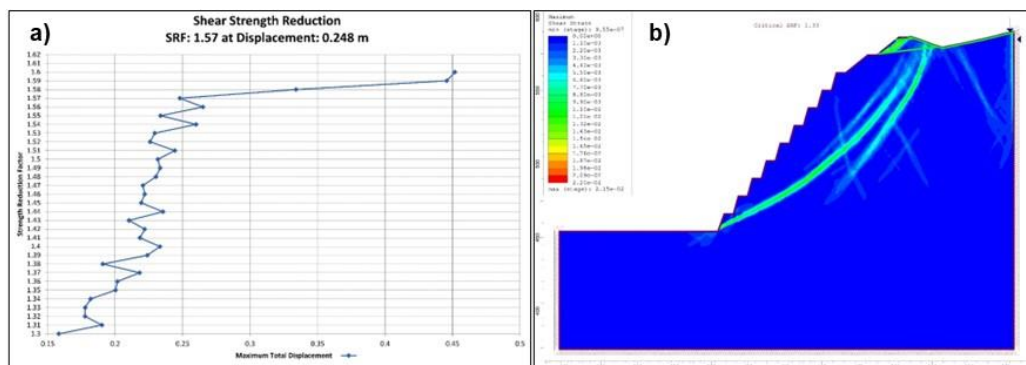
Položaj karakterističnog **profila P2** površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila dat na Slici 3.3. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz dacita (dacit

I faze), alterisanog dacita (dacit II faze) i površinskog sloja (humusa). Analiza stabilnosti kosine na profilu P2 je izvršena primenom metode konačnih elemenata, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti dela kosne formirane u alterisanom dacitu (dacit II faze) iznosi 1,33. (Slika 3.3).



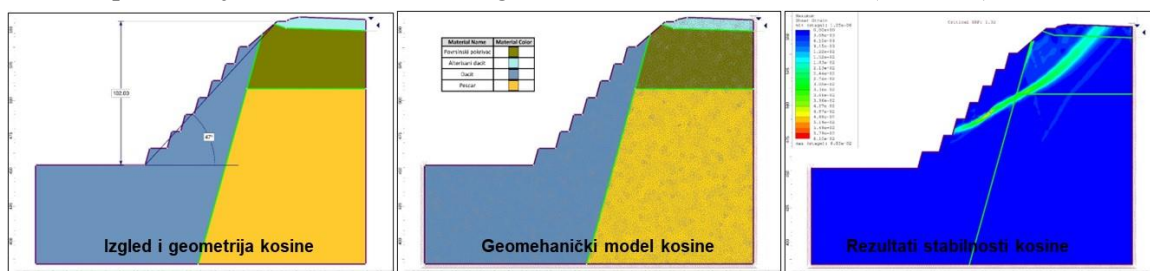
Slika 3.3. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P2

Uvidom u rezultate detaljne analize stabilnosti kosine na ovom profilu konstruisan je dijagram maksimalnih pomeranja za odgovarajuće vrednosti faktora redukcije čvrstoće na smicanje koji je prikazan na Slici 3.4 pod a). Na osnovu ovog dijagrama se jasno može uočiti da vrednost faktora sigurnosti celokupne kosine na profilu P2 iznosi 1,57, položaj zone klizanja je prikazan na Slici 3.4 pod b). Rezultati navedene analize ukazuju na činjenicu da je kosina u zoni profila P2 stabilna.



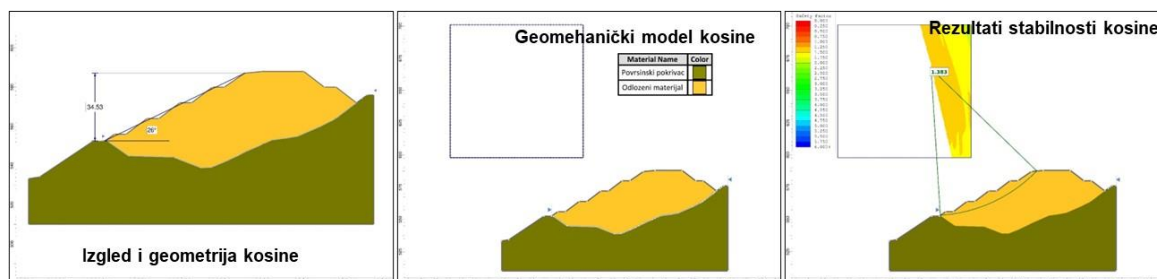
Slika 3.4. Dijagram maksimalnih pomeranja za odgovarajuće vrednosti faktora redukcije čvrstoće na smicanje; b) rezultati analize stabilnosti celokupne kosine na profilu P2

Položaj karakterističnog **profila P3** površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.5. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz dacita (dacit I faze), alterisanog dacita (dacit II faze), nasutog materijala (odložene jalovine) i površinskog sloja (humusa). Analiza stabilnosti kosine na profilu P3 je izvršena primenom metode konačnih elemenata, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,32 (Slika 3.4).



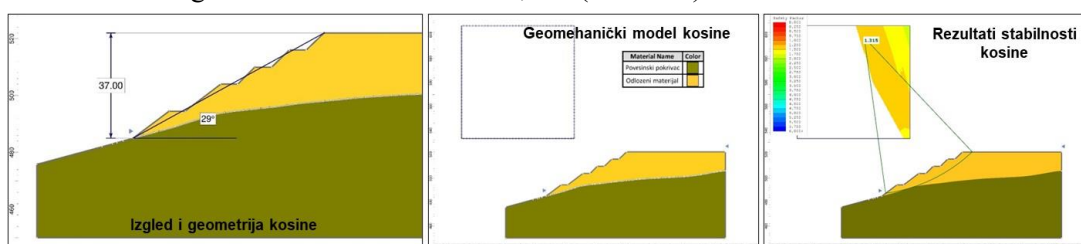
Slika 3.5. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P3

Položaj karakterističnog **profila P4** istočnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.6. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine istočnog spoljašnjeg odlagališta na profilu P4 je izvršena primenom metode Bishop, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,383 (Slika 3.6).



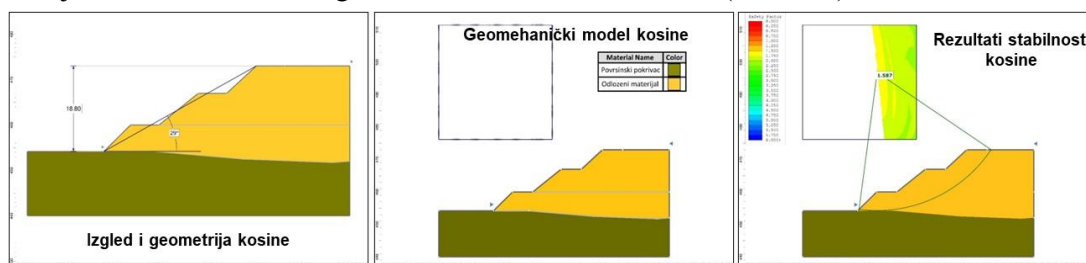
Slika 3.6. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P4

Položaj karakterističnog **profila P5** južnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.7. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine južnog spoljašnjeg odlagališta na profilu P5 je izvršena primenom metode Bishop-a, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,315 (Slika 3.7).



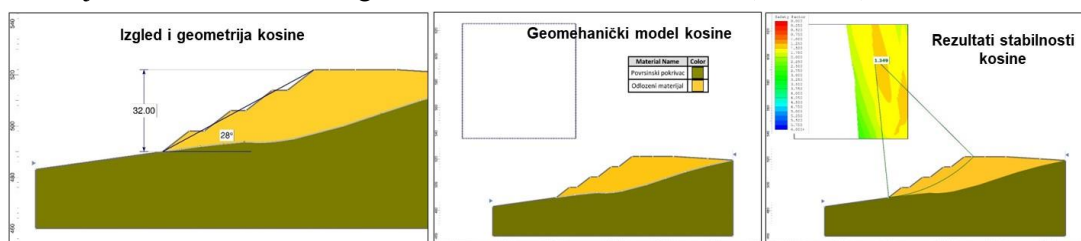
Slika 3.7. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P5

Položaj karakterističnog **profila P6** jugozapadnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.8. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine jugozapadnog spoljašnjeg odlagališta je izvršena primenom metode Bishop, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,578 (Slika 3.8).



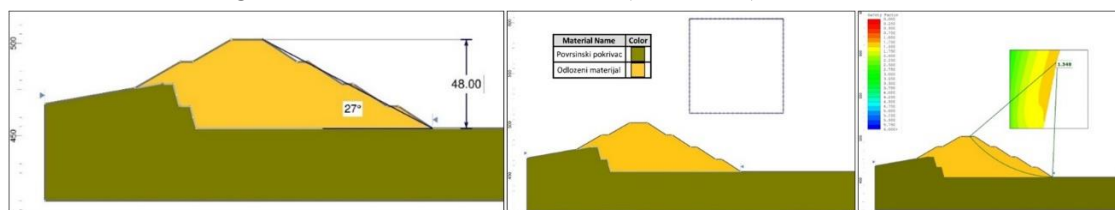
Slika 3.8. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P6

Položaj karakterističnog **profila P7** zapadnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.9. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine zapadnog spoljašnjeg odlagališta na profilu P7 je izvršena primenom metode Bishop-a, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,349 (Slika 3.9).



Slika 3.9. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P7

Položaj karakterističnog **profila P8** unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.10. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine unutrašnjeg odlagališta na profilu P8 je izvršena primenom metode Bishop, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,348 (Slika 3.10).



Slika 3.10. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P8

4. Zaključak

Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide je izvršena na karakterističnim profilima koji su označeni sa P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 i P8. Završnu kosinu površinskog kopa izgrađuju jalovinski pokrivač, alterisani dacit (dacit II faze), dacit (dacit I faze) i peščar, dok završne kosine spoljašnjih i unutrašnjeg odlagališta izgrađuju jalovinski pokrivač i nasuti materijal (odložena jalovina). Geometrija kosina na karakterističnim profilima je data u Tabeli 3.4.

Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide izvršena je metodom konačnih elemenata i za ove potrebe je korišćen programski paket RS2 verzija 11.013, dok je za analizu stabilnosti kosine odlagališta izvršena metodom Bishop uz korišćenje programskog paketa Slide2 verzija 9.020. Oba programska paketa su proizvodi firme Rocscience Inc. i isti su vlasništvo Katedre za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. U Tabeli 4.1, dat je prikaz rezultata analize stabilnosti kosine na karakterističnim profilima.

Tabela 4.1. Prikaz geometrije kosina sa rezultatima analize stabilnosti

Profil		Visina kosine H (m)	Ugao nagiba kosine α (°)	Metoda za analizu stabilnosti kosine	Faktor sigurnosti F_s
Oznaka	Kosina				
P1	Površinski kop	71,87	38	MKE	1,50
P2	Površinski kop	132,00	47	MKE	1,33 (1,57)
P3	Površinski kop	102,00	47	MKE	1,32
P4	Istočno spoljašnje odlagalište	34,53	26	Bishop	1,383
P5	Južno spoljašnje odlagalište	37,00	29	Bishop	1,315
P6	Jugozapadno spoljašnje odlagalište	18,80	29	Bishop	1,587
P7	Zapadno spoljašnje odlagalište	32,00	28	Bishop	1,349
P7	Unutrašnje odlagalište	48,00	27	Bishop	1,348

Prema rezultatima prikazanim u Tabeli 4.2, za analizirana stanja kosina površinskog kopa Čeramide na profilima P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 i P8 minimalni faktori sigurnosti iznose od 1,315 do 1,500 i zadovoljavaju kriterijum stabilnosti za završne kosine, $F_s \geq 1,3$, odnosno, na osnovu prethodne analize može se zaključiti da su analizirane kosine stabilne.

Literatura

- [1] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2009): Izveštaj o rezultatima ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava dacita sa lokacije Čeramide sa analizom stabilnosti kosina, Beograd

- [2] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2022): Glavni rudarski projekat eksploatacije dacita kao tehničkog-građevinskog kamena na površinskom kopu Čeramide kod Rudnika, Beograd
- [3] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2020): Izveštaj o laboratorijskim ispitivanjima geomehaničkih svojstava stenskog materijala i proveri stabilnosti kosina sa lokaliteta površinskog kopa i odlagališta Čeramide kod Rudnika, Beograd