



ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПАРЦИЈАЛНЕ КОСИНЕ ОДЛАГАЛИШТА
ПОВРШИНСКОГ КОПА ПОЉЕ Е У ЗОНИ РАДА ОДЛАГАЧА О-6

DIMENSIONING OF THE PARTIAL SLOPE
OF THE LOCAL OPEN-PIT MINE LANDFILL
IN THE O-6 SPOIL-DISPOSAL MACHINE OPERATION ZONE

DOI: 10.5937/RG2502143P

Стручни рад
Expert paper

Бранко Петровић
ЕПС Београд, РБ Колубара, Лазаревац, Србија
branko.petrovic@eps.rs

Branko Petrović
EPS Belgrade, RB Kolubara, Lazarevac, Serbia
branko.petrovic@eps.rs

Примљен 29. 7. 2025; Рецензиран 25. 8. 2025; Прихваћен 3. 9. 2025.
Received 29 July 2025; Received in revised version 25 August 2025; Accepted 3 September 2025

Сажетак: Након завршетка експлоатације угља на простору ПК ПОЉЕ Д, угљ из источног дела РБ КОЛУБАРА ће се ископавати на новом копу, ПК ПОЉЕ Е. Веома сложена геолошка структура, посебно у јужном и северном делу овог поља, као и велика завођеност, основне су карактеристике овог простора. Током 2022. године и почетком 2023. године дошло је до зарушавања етажера у јужној косини копа. Одлуком руководства РБ КОЛУБАРА у ту зону која пребачен је одлагач О-6 како би одлагањем јаловинских маса формирао заштитни бегем и спречио даље клизање косине.

У овом раду приказани су резултати анализе стабилности новоформиране јаловинске етажера (заштитни бегем) настале радом одлагача О-6.

Кључне речи: ЕТАЖА, ОДЛАГАЛИШТЕ, ФАКТОР СИГУРНОСТИ

Abstract: After the exploitation of coal on the site of PK POLJE D has been completed, the coal from the eastern section of RB KOLUBARA will be excavated at the new mine, PK POLJE E. The area is characterized by a highly complex geological structure especially in its southern and northern parts and substantial water saturation. During 2022 and the beginning of 2023, some benches on the southern slope of the mine collapsed. Following a decision by the management of RB KOLUBARA, the spoil-disposal machine O6 was relocated to that zone of the mine to deposit waste rock masses and form a protective embankment to prevent further slope failure.

This paper presents the results of a stability analysis of the newly formed waste rock bench (protective berm) created by the operation of the machine O6.

Key words: SLOPES, LANDFILL, SAFETY FACTOR

УВОД

Колубарски лигнитски басен је лоциран на око 50 km југозападно од Београда и заузима делове територија општина Лазаревац, Лајковац и Уб, укупне површине од око 600 km² (Слика 1).

INTRODUCTION

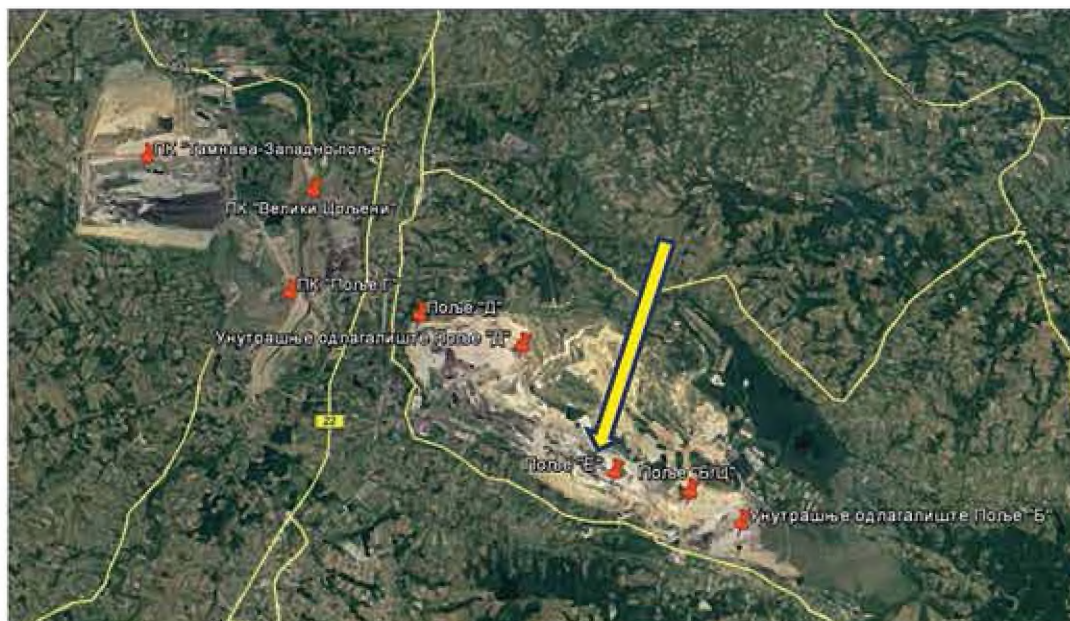
The Kolubara Lignite Basin is located approximately 50 km southwest of Belgrade and occupies parts of the municipalities of Lazarevac, Lajkovac and Ub, with a total area of approximately 600 km² (Figure 1).



Слика 1, Географска карта дела Србије са Колубарским уљоносним басеном
Figure 1, Geographical map of the part of Serbia with the Kolubara Coal Basin

Површински коп ПОЉЕ Е се налази у крајњем југоисточном делу басена, површине од око 12,9 km² (Слика 2). Са његове источне стране је откопно поље ПОЉЕ Ц, на северном делу граничи се са ПОЉЕМ Д док су на западној страни ПОЉЕ Г и ПОЉЕ Ф. Јужна страна је оконтурена границом природног исклињења угљеног слоја.

The POLJE E (FIELD E) open-pit mine is located in the extreme southeastern part of the basin, with an area of approximately 12.9 km² (Figure 2). On its eastern side, the excavated field FIELD C is located, on the northern side it borders FIELD D, while FIELD G and FIELD F are on the western side. The southern side is contoured by the boundary of the natural outcrop of the coal seam.



Слика 2, Претледна карта Колубарског уљоносног басена (ПОЉЕ Е у југоисточном делу)
Figure 2, Overview map of the Kolubara coal basin (FIELD E in the southeastern part)

На простору будућег површинског копа ПОЉЕ Е, на његовом крајњем истоку, налазе се инфраструктурни објекти Помоћне механизације (радионички и магацински простор), котларница, трафостаница, складиште горива, простор намењен за монтажни плац, а све у близини измештеног пута Вреоци – Аранђеловац и измештеног корита реке Пештан (Слика 3) [1].

On the site of the future open-pit mine FIELD E, at its easternmost point, there are infrastructural facilities of the Auxiliary Mechanization (workshop and warehouse space), a boiler room, a substation, a fuel storage facility, a space intended for an assembly site, all in the vicinity of the relocated road Vreoci – Arandjelovac and of the displaced bed of the Pestan river (Figure 3) [1].



Слика 3, Положај инфраструктурних објеката на јужној косини копа
Figure 3, Location of infrastructure facilities on the southern slope of the pit

Током 2022. године и почетком 2023. године дошло је до зарушавања јужне косине копа тако да су трафостаница и постројење за прераду воде, који су се налазили у непосредној близини обода копа, морали бити измештени како не би дошло до њиховог оштећења. Одлуком руководства РБ КОЛУБАРА у ту зону копа допремљен је одлагач (О-6) са намером да се одлагањем јаловине и формирањем блока спречи даље клизање косине и да се на тај начин овај део копа учини безбедним [2].

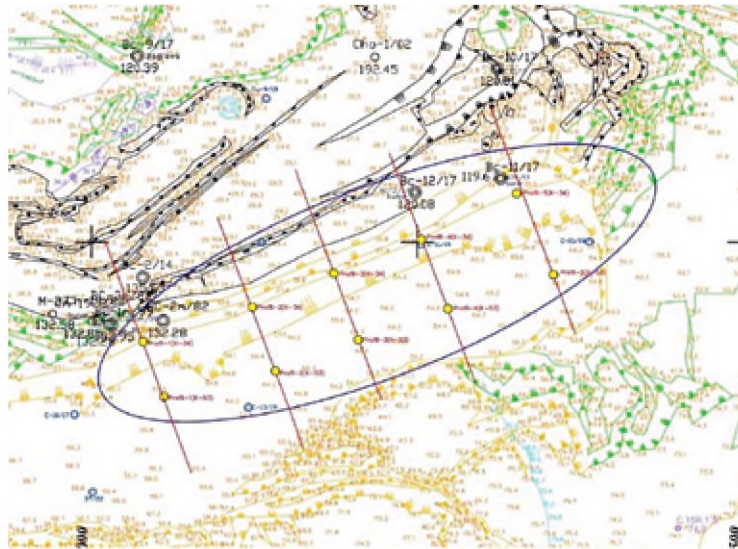
During 2022 and early 2023, the southern slope of the pit collapsed to the point that the substation and water treatment plant, which were located in the immediate vicinity of the pit perimeter, had to be relocated to avoid damage. By decision of the management of the RB KOLUBARA, a spoil-disposal machine (O-6) was relocated to that zone of the mine to deposit waste rock masses and form a protective embankment to prevent further slope failure and thus make this part of the pit safe [2].

Основ депонованог материјала чине сиво-плаве глине са променљивим садржајем песковите компоненте, фрагмената угља и дијатомита, сиво-жуте глине са облацима кварца, заглињени пескови, угљевита глина, комади дијатомита и угља.

The basis of the deposited material is made up of gray-blue clays with variable content of sandy components, fragmented coal and diatomite, gray-yellow clays with quartz pebbles, silty sands, carbonaceous clays, pieces of diatomite and coal.

У сврху одређивања физичко-механичких својстава тог материјала и димензионања геометрије косине новоформираног блока јаловине, неопходно је било узимање узорака материјала и њихово лабораторијско испитивање. На Слици 4 приказани су профили са назначеним местима узимања узорака.

In order to determine the physical and mechanical properties of this material and dimension the geometry of the slope of the newly formed waste rock block, it was necessary to take samples of the material and conduct their laboratory testing. Figure 4 shows the profiles with the sampling locations indicated.



Слика 4, Положај профила и места узимања узорака за лабораторијска испитивања
 Figure 4, Location of profiles and sampling points for laboratory testing

Резултати лабораториских испитивања одложеног материјала приказани су у Табели 1.

The results of laboratory testing of the deposited material are presented in Table 1.

Табела 1, Резултати лабораториских испитивања одложеног материјала
 Table 1, Results of laboratory testing of the deposited material

ЗОНА ОДЛАГАЧА (О-6) SPOIL-DISPOSAL MACHINE ZONE (O-6)			
Ознака Профила Profile Tag	ϕ (°)	C (kN/m ²)	γ (kN/m ³)
Профил - 1 (К-53) Profile - 1 (K-53)	41	9	17,16
Профил - 2 (К-53) Profile - 2 (K-53)	43	5	17,04
Профил - 3 (К-53) Profile - 3 (K-53)	39	3	17,72
Профил - 4 (К-53) Profile - 4 (K-53)	34	6	17,52
Профил - 5 (К-53) Profile - 5 (K-53)	41	3	17,63
Профил - 1 (К-34) Profile - 1 (K-34)	37	5	17,58

ЗОНА ОДЛАГАЧА (О-6) SPOIL-DISPOSAL MACHINE ZONE (O-6)			
Ознака Профила Profile Tag	ϕ ($^{\circ}$)	C (kN/m ²)	γ (kN/m ³)
Профил - 2 (К-34) Profile - 2 (K-34)	38	8	16,71
Профил - 3 (К-34) Profile - 3 (K-34)	37	5	17,31
Профил - 4 (К-34) Profile - 4 (K-34)	36	7	17,07
Профил - 5 (К-34) Profile - 5 (K-34)	41	6	16,86

АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ ПАРЦИЈАЛНЕ КОСИНЕ

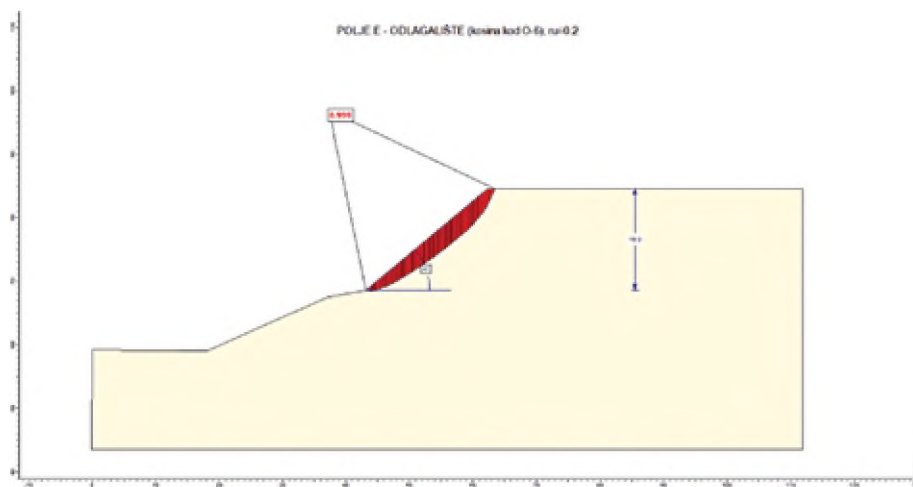
Прорачун фактора сигурности парцијалне косине (F_s) урађен је применом софтверског пакета SLIDE 6.0, Rocscience Inc, уз Mohr-Coulomb-ов критеријум лома. Резултати прорачуна приказани су графички и табеларно. Подаци за физичко-механичка својства одлагалишта који су коришћени у прорачуну, узети су из Табеле 1.

На слици 5 и слици 6 приказана је парцијална косина новоформираног одлагалишта и добијене вредности фактора сигурности (F_s) за тадашње стање косине, при коефицијенту порног притиска $r_u = 0,2$ и $r_u = 0,3$ [3].

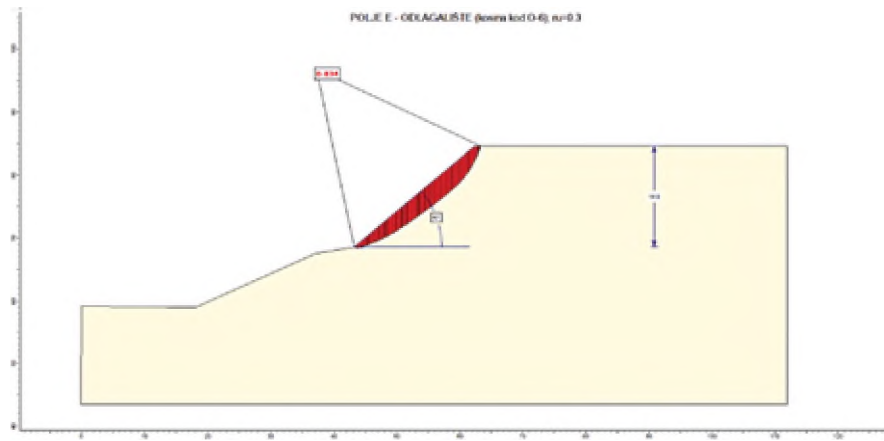
ANALYSIS OF STABILITY OF PARTIAL SLOPE

The calculation of the safety factor of a partial slope (F_s) was performed using the software package SLIDE 6.0, Rocscience Inc, with the Mohr-Coulomb failure criterion. The results of the calculation are presented graphically and in tables. The data for the physical-mechanical properties of the landfill used in the calculation were taken from Table 1.

Figure 5 and Figure 6 show the partial slope of the newly formed landfill and the obtained values of the safety factor (F_s) for the current state of the slope, at the pore pressure coefficient $r_u = 0.2$ and $r_u = 0.3$ [3].



Слика 5, Парцијална косина одлагалишта ПОЉЕ Е код одлагача (О-6) – фактор сигурности $F_s = 0,99$ (висина ећаже $H_e = 16$ m; нагиб ећаже $\alpha = 40^{\circ}$; $r_u = 0,2$)
 Figure 5, Partial slope of the landfill FIELD E near the spoil-disposal machine (O-6) – safety factor $F_s = 0.99$ (floor height $H_e = 16$ m; floor slope $\alpha = 40^{\circ}$; $r_u = 0.2$)



Слика 6, Парцијална косина одлазалишта ПОЉЕ Е код одлаача (О-6) – фактор сигурности $F_s = 0,83$ (висина етаже $H_e = 16$ m; нагиб етаже $\alpha = 40^\circ$; $r_u = 0,3$)
 Figure 6, Partial slope of the landfill FIELD E near the spoil-disposal machine (O-6) – safety factor $F_s = 0.83$ (floor height $H_e = 16$ m; floor slope $\alpha = 40^\circ$; $r_u = 0.3$)

Јасно је да при оваквој геометрији косина нема захтевану сигурност и да је неопходно кориговање њеног угла нагиба и висине. Из тог разлога, за различите висине и нагибе косине урађена је анализа стабилности [4].

It is clear that with this geometry the slope does not have the required safety and that it is necessary to correct its angle of inclination and height. For this reason, a stability analysis was performed for different heights and slopes of the slope [4].

У табели 2 и табели 3 приказане су вредности фактора сигурности (F_s) за косине висине од 10 m до 22 m, нагибе од 20° до 40° и коефицијенте порног притиска $r_u = 0,2$ и $r_u = 0,3$.

Table 2 and Table 3 show the values of the safety factor (F_s) for slopes with heights from 10 m to 22 m, inclinations from 20° to 40° and pore pressure coefficients $r_u = 0.2$ and $r_u = 0.3$.

Табела 2, Резултати анализе стабилности иарцијалне косине одлазалишта ПОЉЕ Е – зона рада код одлаача (О6), ($r_u = 0,2$)

Table 2, Results of the stability analysis of the partial slope of the landfill FIELD E – work zone of the spoil-disposal machine (O6), ($r_u = 0.2$)

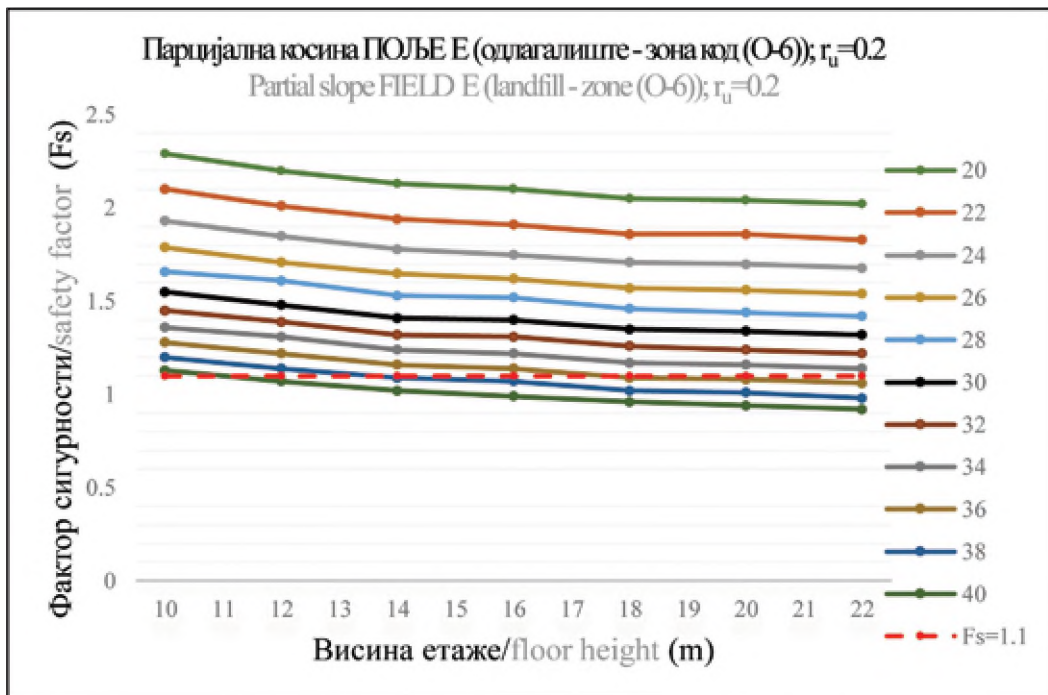
Нагиб етаже Floor slope α ($^\circ$)	Фактор сигурности F_s за висину етаже / Safety factor F_s for floor height						
	H = 10 m	H = 12 m	H = 14 m	H = 16 m	H = 18 m	H = 20 m	H = 22 m
20	2,29	2,25	2,13	2,14	2,05	2,04	2,02
22	2,10	2,05	1,94	1,95	1,86	1,86	1,83
24	1,93	1,89	1,78	1,78	1,71	1,70	1,68
26	1,79	1,74	1,65	1,64	1,57	1,56	1,54
28	1,66	1,61	1,53	1,52	1,46	1,44	1,42
30	1,55	1,50	1,41	1,41	1,35	1,34	1,32
32	1,45	1,40	1,32	1,31	1,26	1,24	1,22
34	1,36	1,31	1,24	1,22	1,17	1,16	1,14
36	1,28	1,23	1,16	1,14	1,09	1,08	1,06
38	1,20	1,16	1,09	1,07	1,02	1,01	0,98
40	1,13	1,09	1,02	0,99	0,96	0,94	0,92

Табела 3, Резултати анализе стабилности парцијалне косине одлагалишта ПОЉЕ Е – зона рада код одлагача (О6), ($r_u = 0,3$)
 Table 3, Results of the partial slope stability analysis of FIELD E landfill – spoil-disposal machine work zone (O6), ($r_u = 0,3$)

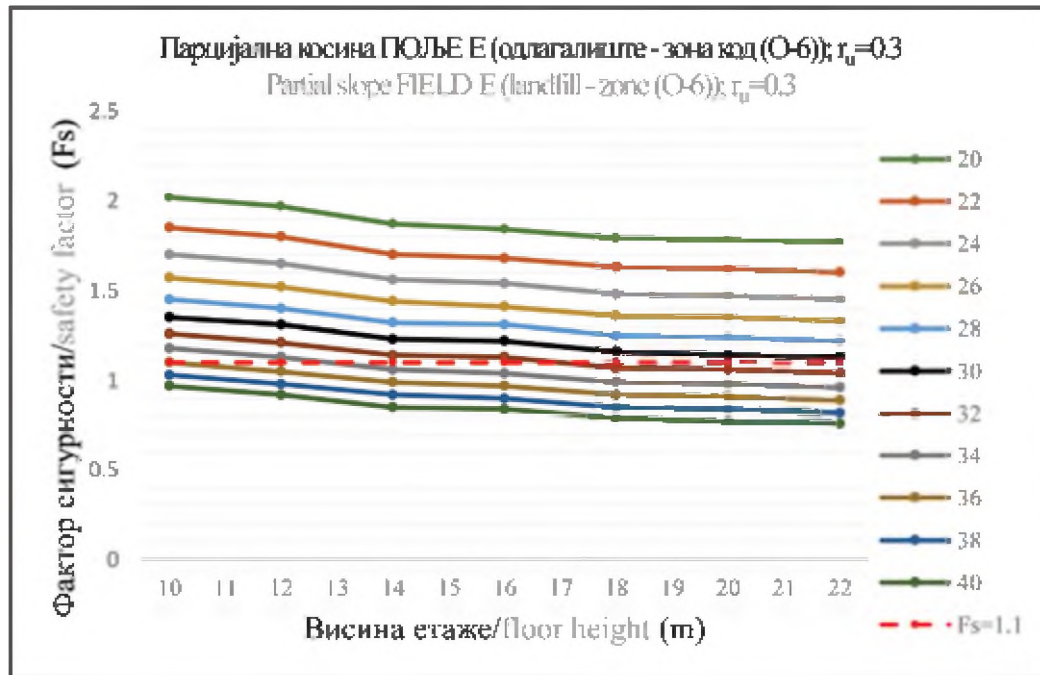
Нагиб етаже Floor slope α (°)	Фактор сигурности F_s за висину етаже / Safety factor F_s for floor height						
	H = 10 m	H = 12 m	H = 14 m	H = 16 m	H = 18 m	H = 20 m	H = 22 m
20	2,02	1,98	1,87	1,88	1,79	1,78	1,77
22	1,85	1,80	1,70	1,70	1,63	1,62	1,60
24	1,70	1,65	1,56	1,56	1,48	1,47	1,45
26	1,57	1,52	1,43	1,43	1,36	1,35	1,33
28	1,45	1,41	1,32	1,31	1,25	1,24	1,22
30	1,35	1,31	1,23	1,22	1,16	1,14	1,13
32	1,26	1,21	1,14	1,13	1,07	1,06	1,04
34	1,18	1,13	1,06	1,04	0,99	0,98	0,96
36	1,10	1,05	0,99	0,97	0,92	0,91	0,89
38	1,03	0,98	0,92	0,90	0,85	0,84	0,82
40	0,97	0,92	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76

Графичка интерпретација података из Табеле 2 и Табеле 3, дата је на слици 7 и слици 8.

Graphical interpretation of the data from Table 2 and Table 3 is given in Figure 7 and Figure 8.



Слика 7, Вредности фактора сигурности (F_s) у зависности од висине етаже (H_e) и нагиба етаже (α) при коефицијенту порног притиска $r_u = 0,2$
 Figure 7, Values of the safety factor (F_s) depending on the floor height (H_e) and the floor slope (α) at the pore pressure coefficient $r_u = 0.2$



Слика 8, Вредности фактора сигурности (F_s) у зависности од висине етаже (H_e) и нагиба етаже (α) при коефицијенту порног притиска $r_u=0,3$

Figure 8, Values of the safety factor (F_s) depending on the floor height (H_e) and the floor slope (α) at the pore pressure coefficient $r_u=0.3$

ЗАКЉУЧАК

Правилно димензионање етаже (одређивање њене висине и нагиба) веома је битно пре самог почетка процеса експлоатације из више разлога. Првенствено, правилно дефинисани параметри етаже директно утичу на њену стабилност и сигурност при раду што се позитивно одражава на динамику технолошког процеса и економске показатеље.

Парцијална косина одлагалишта ПК ПОЉЕ Е у зони рада одлагача О-6 може се димензионисати користећи дијаграме (слика 7 и слика 8), који су настали прорачуном фактора сигурности (F_s) за разне облике етаже (висина етаже од 10 до 22 m, нагиб од 20° до 40°) [5].

Сходно нагибу етаже, одређује се њена висина (на апсциси), тако да вредност фактора сигурности (F_s) буде изнад црвене испрекидане линије ($F_s \geq 1.1$). На пример, за етажу нагиба $\alpha = 30^\circ$, висина етаже може бити 20 m што се и препоручује у овом конкретном случају.

CONCLUSION

Proper dimensioning of a floor (determining its height and slope) is very important before the very beginning of the exploitation process for the above reasons. First of all, correctly defined floor parameters directly affect its stability and safety during operation, which has a positive effect on the dynamics of the technological process and economic indicators.

The partial slope of the PK POLJE E landfill in the O-6 spoil-disposal machine operation zone can be dimensioned using diagrams (Figure 7 and Figure 8), which resulted by calculating the safety factor (F_s) for various floor shapes (floor height from 10 to 22 m, slope from 20° to 40°) [5].

According to the slope of the floor, its height is determined (on the abscissa), so that the value of the safety factor (F_s) is above the red dashed line ($F_s \geq 1.1$). For example, for a floor with a slope of $\alpha = 30^\circ$, the height of the floor can be 20 m, which is recommended in this particular case.

ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Стручна и фондовска документација РБ Колубара.
- [2] Петровић Б.: Анализа стабилности јужне косине ПК Поља Е - РБ Колубара у зони инфраструктурних објеката, XI међународна конференција Угаљ и критични минерали (ССМ 2023), Златибор, Србија, 2023., стр. 160-167, Зборник радова, ISBN: 978-86-83497-30-0.
- [3] Pavlović N., Petrović B., Šubaranović T., Pavlović V.: Opencast mine internal dump sanation risks International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria, 2022., pp. 235-241, Proceedings, ISSN: 1314-6467.
- [4] Петровић Б., Вујић С., Чебашек В., Гајић Г., Игњатовић Д.: Прогнозни анализ устојчивости откосов внутрених отвалоов после затопления угольного карьера Тамнава Западно поле, Журнал, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, НОМЕР 1, Москва, Русија, 2016., pp. 110-115., ISSN 0015-3273, UDK 622.271: 624.131.
- [5] Петровић Б.: Анализа стабилности косина одлагалишта ПК. Тамнава-Западно поле у функцији испумпавања воде из копа, XI Међународна конференција о површинској експлоатацији, Златибор, Србија, 2014., стр. 311-319, Зборник радова, ISSN: 1314-8877.