

UDK: 622.261.2(045)=163.41

NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

Primljen: 28.05.2021.

Prerađen: 01.06.2021.

Prihvaćen: 02.06.2021.

**ANALIZA UTICAJA EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA
ČUKARU PEKI PODETAŽNOM METODOM OTKOPAVANJA
NA POVRŠINU TERENA**

**ANALYSIS THE IMPACT OF THE ČUKARA PEKI DEPOSIT MINING
USING THE SUBLEVEL MINING METHOD ON THE FIELD SURFACE**

Miloš Stojanović¹, Igor Svrkota¹, Dragan Šabaz¹, Pavle Stojković²

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor

²Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru,
Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor

E-mail: milos.stojanovic@irmbor.co.rs

Izvod

Pojave oštećenja objekata i pomeranja potkopanog terena zapažene su još u ranom rudarstvu. Pre izvođenja bilo kakvih rudarskih radova neophodno je obratiti pažnju na deformacije i oštećenja na objektima iznad eksploatacionog polja, kao i na mere prevencije i procenu štete ukoliko do oštećenja objekata na površini dođe. Ono što predstavlja najveći problem jeste to da se ležišta često nalaze u blizini i ispod naseljenih mesta, ili nekih drugih prirodnih i tehničkih objekata. Ležište Čukaru Peki, koje se nalazi u Srbiji, u neposrednoj blizini grada Bora, biće eksploatisano podzemnim rudarskim radovima. Cilj ovog rada je analiza uticaja eksploatacije ležišta Čukaru Peki metodom podetažnog zarušavanja, na površinu terena primenom numeričkih metoda na bazi geomehaničkih podataka. Aproksimacijom ležišta i kalkulacijom zapremine zahvaćene zone zarušavanja, definisana je dubina ulegnuća na površini terena prouzrokovana rudarskim radovima.

Ključne reči: jamska eksploatacija, Čukaru Peki, zona zarušavanja, stabilnost

Abstract

Damage of structures and displacement of undermined terrain have been observed in early mining. Before performing any kind of mining operations, it is necessary to pay attention to deformations and structure damages above the exploitation field, as well as the preventive processes and damage assessment in case of damage to the structures on the surface. The biggest problem is that the deposits are often located near and below populated areas or other natural and technical facilities. The Čukaru Peki deposit, located in Serbia, near the town of Bor, will be mined by the underground mining operations. The goal of this paper is to analyze the impact of mining by the sublevel mining method of the Čukaru Peki deposit on the surface using the numerical methods based on the geomechanical data. Depth of depression on surface caused by the mining works is defined by an approximation of deposit and volume calculation of the affected subsidence zone.

Keywords: underground mining, Čukaru Peki deposit, subsidence zone, stability

1. UVOD

U svim slučajevima podzemnog otkopavanja moćnih rudnih tela na velikim dubinama (kakvo je i ležište Čukaru Peki - gornja zona) dolazi do deformacije terena na površini iznad rudnog tela, izuzev u slučajevima kada se ležište otkopava zasipavanjem otkopanog prostora sa očvršćavajućim zasipom i u slučaju kada se pri otkopavanju ostavljaju sigurnosni stubovi i plafoni, a otkopni prostor se zapunjava klasičnim zasipom.

Prema Preliminarnom ekonomskom izveštaju SRK kompanije [1] predviđeno je da će se rudno telo Čukaru Peki otkopavati masovnim metodama sa zarušavanjem. U Tehničkom izveštaju iz 2017. godine, SRK kompanija prvi put pominje dimenzije zone zarušavanja, koje su, usled primene metode sa zarušavanjem, u funkcionalnoj zavisnosti sa uglovnim parametarima zarušavanja stenskog masiva. U uglovne parametre spadaju granični uglovi, uglovi sigurnosti, uglovi pukotina i ugao maksimalnih pomeranja [2]. Iste godine, SRK kompanija objavljuje i novi Preliminarni ekonomski izveštaj, dopunjen geotehničkim parametrima i detaljnijim opisom predviđene metode otkopavanja gornje zone ležišta [3].

Širina gornje zone u horizontalnom preseku veća je od 350 m, dok je širina donje zone sa porfirskom mineralizacijom bakra i zlata veća od 1500 m. Orudnjeni prostor je u vertikalnom preseku grubo izometričnog, „bubrežastog” oblika. Otkopavanjem ovako krupnog rudnog tela na velikoj dubini metodom sa zarušavanjem stvorice se prostrana zona zarušavanja. Svetska iskustva nalažu da se napredovanjem eksploatacionih radova prema dubini, povećava i zona zarušavanja [4]. Na osnovu ove činjenice može se zaključiti da su veličina zone zarušavanja i intenzitet podzemnog pritiska međusobno uslovljene veličine i imaju veliki uticaj na tehnologiju i ekonomiku eksploatacije. Prilikom izbora metode otkopavanja, na osnovu strukturno-geoloških, geomehaničkih i geometrijskih karakteristika ležišta, sadržaja korisne komponente i karakteristika stenske mase, kompanija SRK je za najpovoljniju metodu izabrala metodu podetažnog zarušavanja rude i pratećih stena [3]. Metoda podetažnog zarušavanja rude i pratećih stena, predstavlja jednu od najšire i najčešće primenjivanih metoda otkopavanja metalnih ležišta. Da bi metoda podetažnog zarušavanja rude i pratećih stena pravilno funkcionisala, potrebno je obezbediti da se nakon zarušavanja rude, koje se ostvaruje bušačko-minerskim radovima, ostvari i zarušavanje pratećih stena, odnosno krovine, koja bi u procesu otkopavanja trebala da se zarušava ravnomerno zajedno sa rudom [5]. Poslednji Tehnički izveštaj SRK kompanije, ujedno i Prethodna studija izvodljivosti otkopavanja ležišta objavljena avgusta 2018. godine, na sajtu kompanije NevSun [6]. Pomenuta Studija ukazuje na to da predviđena metoda podetažnog zarušavanja rude i pratećih stena podrazumeva otkopavanje ležišta odozgo naniže po celoj površini ležišta. Po vertikali, ležište je podeljeno na podetaže

koje se razvijaju na svakih 20 m. Navedeni način otkopavanja i kontrole istakanja bitno utiče na okolnu stensku masu, odnosno vrši njenu deformaciju i direktno utiče na promenu konfiguracije terena na površini. Na osnovu vrednosti određenih vrsta deformacija moguće je izdvojiti granice između različitog intenziteta oštećenja i definisati kriterijume zaštite. Prema svetskim iskustvima instruktivno se koriste sledeći kriterijumi [7]:

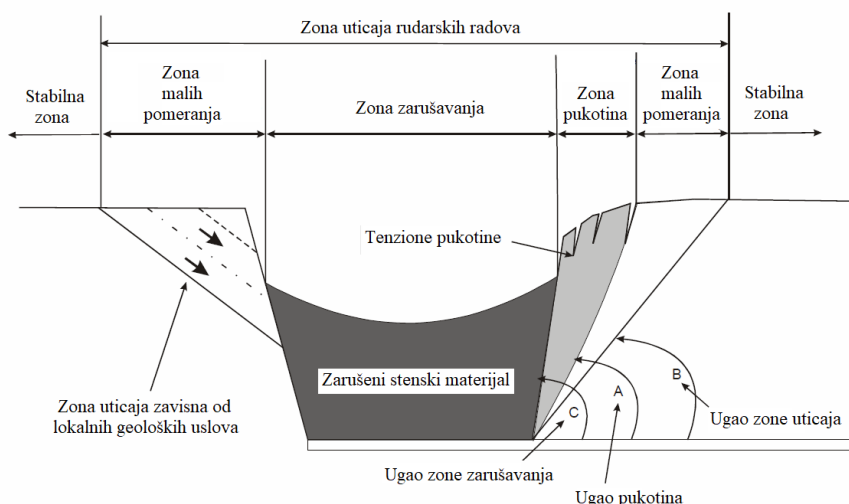
- kriterijum dozvoljenih deformacija, po kome se izdvajaju vrednosti deformacija koje izazivaju takva oštećenja koja se uz redovno održavanje objekta mogu sanirati, a da pritom objekat ne izgubi svoju funkcionalnost; i
- kriterijum kritičnih deformacija, po kome se izdvajaju vrednosti deformacija preko kojih nastaju havarije i potencijalna opasnost po život zaposlenih.

U skladu sa pomenutim kriterijumima neophodno je definisati ponašanje stenskog masiva koje nikada nije moguće u potpunosti predvideti pre početka eksploatacije. Iz tog razloga, razvijene su metode kojima je to moguće uraditi sa dovoljnom sigurnošću. U ovom, konkretnom slučaju, primenjena je metoda Laubšera [8], kojom se, na osnovu odnosa između karakteristika stenske mase i hidrauličkog radijusa otkopa definiše sklonost stenske mase ka zarušavanju.

Karakteristike stenske mase iskazane su kroz modifikovanu klasifikaciju Bijenavskog, odnosno parametar MRMR („Mining Rock Mass Rating“). Hidraulički radijus (HR) predstavlja odnos između površine i obima otkopa [9]. U praksi, primena rezultata ove metode pokazuje koliko je ispusnih otvora potrebno aktivirati, odnosno koliko „lepeza“ izminirati, kako bi se otvorila dovoljna površina da krovinske stene počnu da se zarušavaju. U ovom slučaju, vrednost parametra MRMR kreće se u rasponu od 27 do 37. Da bi došlo do zarušavanja, hidraulički radijus mora imati vrednost veću od 18 [10].

Na osnovu dobijenih vrednosti sledi da se dinamikom otkopavanja i istakanja mora obezbediti mogućnost formiranja potrebnog hidrauličkog radijusa. Dinamika otkopavanja obezbediće da se miniranjem potrebnog broja lepeza na podetaži otvori dovoljno velika površina otkopavanja.

Istakanje rude u prvoj fazi, do početka zarušavanja krovine, bilo bi svedeno na minimum. Na ovaj način obezbeđeno je da zarušavanje krovine prati zarušavanje rude. Proces zarušavanja se prema istom principu razvija sve do površine terena. U procesu pomeranja potkopanog terena, u zavisnosti od obima pomeranja, javljaju se različite zone sa različitim uticajima procesa pomeranja na površini terena. Tipične zone koje se javljaju na površini terena prikazane su na slici 1.



Sl. 1. Zone uticaja na površini potkopanog terena [3]

Oblik i razmere različitih zona najčešće se definišu preko uglova zarušavanja, koji u vertikalnom preseku predstavljaju ugao između horizontale i linije koja spaja konturu ležišta i tačku na površini terena koja definiše određenu zonu. Definisanjem uglova zarušavanja moguće je odrediti potreban broj tačaka na površini terena koje predstavljaju granicu određene zone. Spajanjem tih tačaka, grafički se može definisati zona uticaja podzemnih radova na površinu terena [6]. Ono što svakako treba napomenuti jeste to da je danas razvijen veliki broj teorija i metoda koje se bave određivanjem uglova zarušavanja.

Na osnovu ulaznih parametara izračunati su uglovi zone zarušavanja i zone uticaja u karakterističnim vertikalnim profilima, kao i horizontalna rastojanja od granica ležišta do granica zona. Uglovi su računati posebno za svaku geološku formaciju i dati su u tabeli 1. [3]

Tabela 1. Karakteristični uglovi i rastojanja – rezultati proračuna [3]

Smer	Uglovi zone zarušavanja	Uglovi zone uticaja	Rastojanje zone zarušavanja od konture	Rastojanje zone uticaja od konture ležišta
Sever	73°	63°	250	425
Jug	64°	54°	350	500
Zapad	72°	57°	225	475
Istok	71°	56°	225	450

Na osnovu svega navedenog, može se zaključiti da nijedan od prethodno pomenutih dokumenata ne sadrži geometrijske karakteristike udubljenja koje će

nastupiti na površini terena usled otkopavanja gornje zone ležišta Čukaru Peki primenom metode podetažnog zarušavanja. Ovde se prvenstveno misli na dubinu levka koji će se javiti na površini terena. Iz tog razloga, ovaj rad ima za cilj definisanje zapremine i definisanje visine (dubine) obrnute zarubljene kupe koja će se pojaviti na površini.

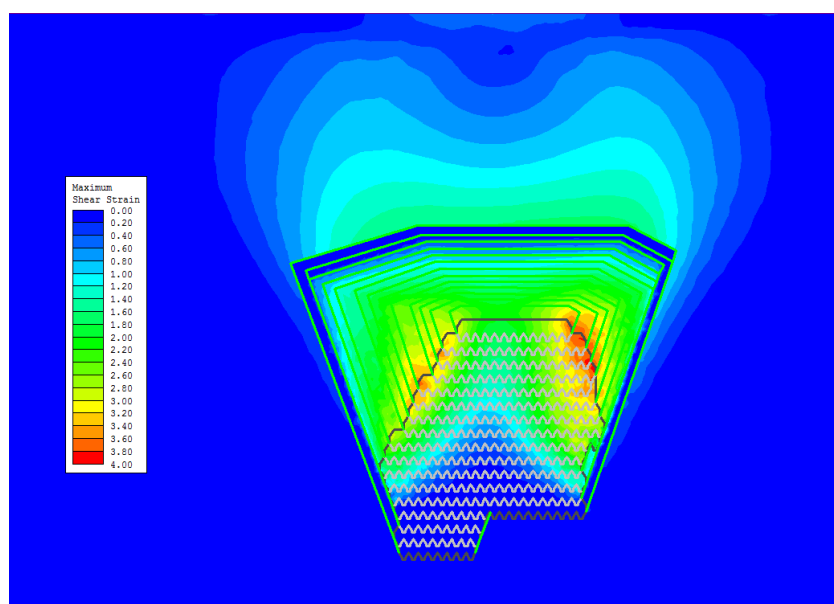
2. NUMERIČKA ANALIZA

Razvojem računarske tehnike sve više se razvijaju numeričke metode za rešavanje deformacije terena usled podzemne eksploatacije. Ovde se prvenstveno misli na metodu konačnih elemenata, sa kojom se može razmatrati model celokupnog naponsko-deformacionog procesa u uslovima složenog elastično-plastičnog ponašanja stenskog medija. Za potrebe određivanja zona zarušavanja u rudnom telu Čukaru Peki izvršena je numerička analiza stenskog masiva, primenom metode konačnih elemenata u softveru kompanije Rocscience „Phase“. Model ležišta je izrađen u karakterističnom vertikalnom preseku kako bi se dobila generalna slika stabilnosti stenskog masiva pri eksploataciji ovog rudnog tela. Prilikom izrade modela, posebna pažnja je posvećena geometrijskim karakteristikama otkopa za predviđenu metodu otkopavanja, geometriji površine terena, karakteristikama stenske mase, uključujući rudno telo i krovinu.

Definisanje ulaznih parametara za proračun izvršeno je na osnovu raspoloživih podataka o rudi i stenskom masivu, prikazanih u Studiji izvodljivosti SRK kompanije [6] i na osnovu svetskih iskustava za slične uslove [4]. Za svaki materijal definisani su parametri kao što su jednoaksijalna čvrstoća na pritisak, Jungov modul elastičnosti, Poasonov koeficijent, kao i kriterijum loma. U konkretnom slučaju za kriterijum loma odabran je „Hoek-Brownov“ kriterijum [11]. Za ovaj kriterijum loma neophodno je odrediti vrednosti parametara koji figuriraju kao konstantne u osnovnoj formuli „Hoek-Brownovog“ kriterijuma loma, a predstavljaju karakteristike materijala. Zbog toga što definišu stensku masu, za određivanje vrednosti ovih parametara koriste se formule koje u sebi sadrže karakteristiku stenskog masiva, kao na primer, geološki indeks čvrstoće (GSI) ili vrednost kvaliteta stenske mase po Bijenavskom (MRMR – „Mining Rock Mass Rating“) ili po Bartonu (Q) [10]. Zbog ograničene raspoloživosti potrebnih podataka, iskorišćena je veza između parametara MRMR i Q sa vrednostima „mb“ i „s“ i dobijene su sledeće vrednosti za najnepovoljniji slučaj: $mb = 1,087$ i $s = 0,00019$.

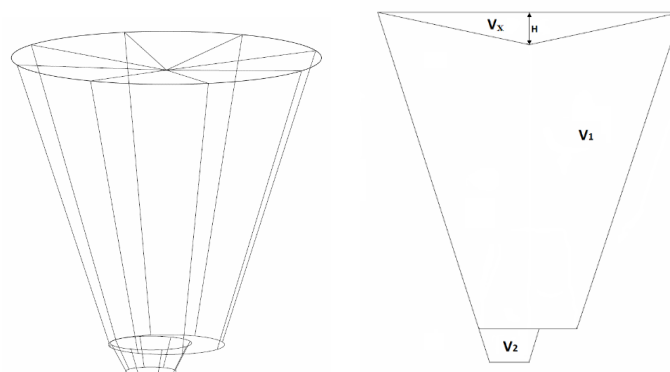
Numerička analiza, primenom metode konačnih elemenata u programu „Phase“, omogućava izračunavanje i grafički prikaz vrednosti brojnih parametara naponsko-deformacionog stanja stenskog masiva. Na ovaj način dobijaju se vrednosti glavnih napona, pomeranja u svim pravcima kao i ukupno

pomeranje, vektori pomeranja i faktor sigurnosti stenskog masiva u bilo kojoj tački stenskog masiva obuhvaćenog modelom. Takođe, u konkretnom slučaju, definisana je i zona zarušavanja nakon otkopavanja kompletne gornje zone ležišta, odnosno zona uticaja na površinu terena. Nakon otkopavanja gornje zone ležišta, maksimalna vrednost pomeranja, za najnepovoljnije uslove u ležištu, dostiže vrednost od 32,1 m, a naponsko stanje u stenskoj sredini je drastično promenjeno. Smičući naponi koji se javljaju zarušavanjem stenske sredine u krovini, imaju vrednosti koje su obrnuto proporcionalne faktoru sigurnosti (slika 2).



Sl. 2. Vrednosti maksimalnih smičućih napona

Na veličinu parametara otpornosti na smicanje duž pukotina, najveći uticaj imaju oblik zidova pukotina (morfologija zidova pukotina i hrapavost) i mehaničke karakteristike pukotinskih ispuna. S obzirom da je ispucalost stenske sredine trenutno nepoznata, treba prihvatiti dobijene rezultate na ovom modelu, jer se primenom „Hoek-Brownovog“ kriterijuma loma, koji za konkretne uslove daje bolju aproksimaciju otpora prema smicanju, dobijaju veće vrednosti faktora sigurnosti [11]. Kako bi se što bolje definisala zona zarušavanja i dubina maksimalnog uleganja terena, izvršena je analiza svih elemenata koji svojim zapreminama utiču na površinu terena. Na slici 3 prikazani su pravilni geometrijski oblici koji su definisani aproksimacijom gornje zone ležišta Čukaru Peki i kompletnom zonom zarušavanja.



Sl. 3. 3D model zone zarušavanja

Sve dimenzije datih modela definisane su na osnovu Studije SRK kompanije [2] i na osnovu rezultata dobijenih analizom modela u softveru „Phase“.

Na slici su definisani sledeći geometrijski elementi:

- Zbir zapremina zarubljenih kupa V_1 i V_2 predstavlja ukupnu zapreminu zone zarušavanja; i
- Zapremina kupe V_x predstavlja zonu uleganja terena (pri čemu bi visina H date kupe bila maksimalna dubina uleganja terena).

Proračunom zapremina ovih geometrijskih tela, dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati proračunatih zapremina

V_1	V_2	V_u
195 132 700 m ³	936 000 m ³	196 068 700 m ³

Nakon ovog proračuna neophodno je definisati kolika je zapremina materijala koji se zarušava. Da bi se došlo do tog podatka neophodno je izraziti zapreminu gornje zone ležišta Čukaru Peki do nivoa koji se eksploatiše. Prema Studiji SRK kompanije [3] eksploataciona zona u vertikalnom preseku se kreće od vrha ležišta (k-36 m.n.v.) do kote k-400 m.n.v. Ukupna zapremina gornje zone ležišta Čukaru Peki je 12 894 516 m³. Na osnovu ove vrednosti, može se izračunati količina materijala koji se zarušava, odnosno:

$$V_o = V_u - V_{cp} = 183\,174\,184\,m^3 \quad (1)$$

Ono o čemu svakako treba voditi računa je da upravo materijal koji se zarušava ispunjava otkopani prostor ležišta Čukaru Peki, pa i od ove vrednosti (V_o) treba oduzeti vrednost zapremine ležišta (V_{cp}) kako bi se dobila vrednost

zapremine ulegnuća (V_x) na površini terena. Ako bi se za vrednost koeficijenta rastresitosti (k) usvojila vrednost $k = 1$, materijal koji se zarušava bi se, u tom specifičnom slučaju, ponašao kao fluid, pa bi zapremina ispunjenog otkopanog prostora odgovarala zapremini ulegnuća na površini, odnosno:

$$V_x = V_{\zeta p} \quad (2)$$

Na osnovu ove činjenice, mogla bi da se izračuna maksimalna dubina ulegnuća na površini terena. Već je naglašeno da će oblik ulegnuća na površini terena biti najpribližniji obliku obrnute kupe. Visina te kupe, predstavljala bi, već pomenutu, najveću dubinu. Pošto je površina zone zarušavanja (B) na površini poznata, moguće je odrediti ovu visinu. Maksimalna dubina ulegnuća iznosi:

$$V_{\zeta p} = \frac{B \cdot H}{3} \rightarrow H = \frac{3 \cdot V_{\zeta p}}{B} = 77,15 \text{ m} \quad (3)$$

Izračunata visina zarubljene kupe zapravo predstavlja graničnu vrednost dubine ulegnuća na površini terena. Ako se uzme u obzir da je površina baze poznata ($B = 501,25 \text{ m}^2$) [6], može se zaključiti da ulegnuće na površini terena iznad ležišta Čukaru Peki zauzima veliku zapreminu, odnosno da je zapremina takvog oblika pogodna za veliku akumulaciju vode, odnosno da je pogodna za formiranje jezera, koje bi direktno ugrozilo širu okolinu grada Bora. S obzirom da su ovo maksimalne granične vrednosti, ovu činjenicu treba prihvatiti sa određenom rezervom. Podatak koji direktno utiče na dubinu ulegnuća je upravo koeficijent rastresitosti materijala. Ako se pretpostavi da je softver „Phase“, koji se zasniva na metodi konačnih elemenata, dao potpuno tačnu vrednost dubine ulegnuća na površini terena, koja iznosi 32,1 m, računski se može izraziti vrednost koeficijenta rastresitosti za konkretnu dubinu.

Na osnovu već poznatih podataka ($H = 32,1 \text{ m}$ i $B = 501,25 \text{ m}^2$) sledi:

$$V_x = \frac{B \cdot 32,1}{3} = 5\,346\,688 \text{ m}^3 \quad (4)$$

U ovom slučaju, koeficijent rastresitosti bi se računao kao:

$$k = \frac{V_o - V_x}{V_o - V_{\zeta p}} = 1,0443 = 4,43 \% \quad (5)$$

Ovaj rezultat ukazuje da će, ukoliko bi koeficijent rastresitosti materijala koji se zarušava bio 1,043, maksimalna dubina ulegnuća na površini terena biti 32,1 m kako je dobijeno u softveru „Phase“. Time je nedostatak pomenutog programa da prepozna koeficijent rastresitosti anuliran.

Ono što se takođe primećuje jeste to da je vrednost koeficijenta prilično manja u odnosu na vrednosti koje su očekivane. Da bi se definisala granična vrednost koeficijenta rastresitosti (k), postavljena je sledeća relacija:

$$V_{\zeta p} + V_y = k \cdot V_y + V_x \rightarrow V_x = V_y \cdot (k - 1) - V_{\zeta p} \quad (6)$$

Pošto su sve veličine poznate, primenom različitih vrednosti koeficijenta rastresitosti bila bi definisana njegova granična vrednost. Rezultati vrednosti zapremina i dubina ulegnuća predstavljani su u tabeli 3.

Tabela 3. Dubina ulegnuća terena u zavisnosti od koeficijenta rastresitosti („Datamine“)

k	V _x (m ³)	H (m)
1	12 894 516	77,17
1,01	11 191 719,32	66,98
1,02	9 488 922,64	56,79
1,03	7 786 125,96	46,60
1,04	6 083 329,28	36,41
1,05	4 380 532,6	26,22
1,06	2 677 735,92	16,03
1,07	974 939,24	5,84
1,0757255	0	0

Prethodno izrađen, aproksimativni račun, kompletno je proveren i softverski, konkretno u programu „Datamine“. Tom prilikom definisana je tačna površina na terenu koja nije pravilnog kružnog, već elipsastog oblika. Kao površina baze usvojena je projekcija zone zarušavanja na površini terena iz studije SRK kompanije [6]. Na osnovu ostalih parametara koji uključuju dubinu ležišta, uglove zone zarušavanja, zapremine svih komponenti, u softveru „Datamine“ kreiran je model zone zarušavanja sa realnom geometrijom ležišta Čukaru Peki. Sve veličine koje figuriraju u konkretnom modelu su aktivnije i preciznije i mogu se usvojiti sa većom dozom sigurnosti. Zona zarušavanja dobijena u programu „Datamine“ obuhvata veću količinu stenskog materijala koji je sklon zarušavanju.

Istim redosledom računskih operacija kao u prethodnom delu ovog rada, a na osnovu parametara (dubina ležišta, uglovi zone zarušavanja, projekcija zone zarušavanja na površini terena, zapremina svih komponenti), dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Vrednosti zapremina dobijenih u programu „Datamine“

V ₁	196 772 451 m ³
V ₂	993 832 m ³
V _u	197 766 283 m ³
V _{dp}	12 894 516 m ³
V _o	184 871 767 m ³
V _y	171 977 251 m ³
V _x (32,1)	5 346 688 m ³
k	1,0438 (4,38%)

Vrednost koeficijenta rastresitosti (k) je nešto niža u odnosu na aproksimativni proračun, ali se može usvojiti kao preciznija, s obzirom da je softver „Datamine“ uključio veću i detaljniju količinu materijala koji se zarušava u odnosu na aproksimativni proračun (tabela 5).

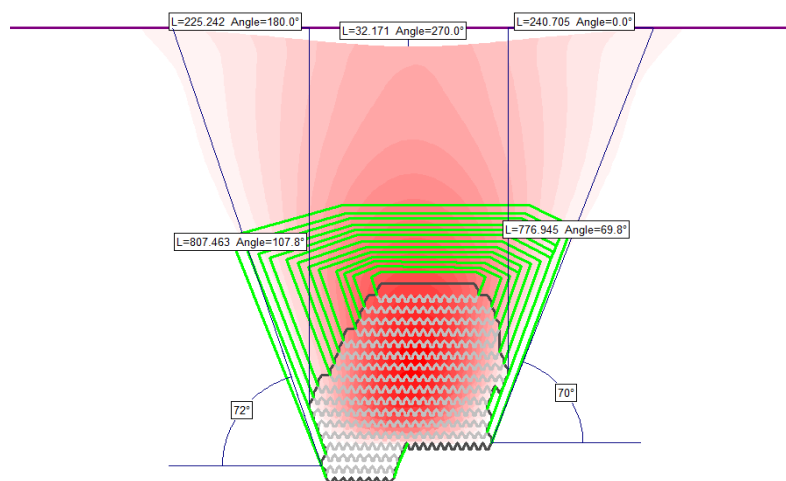
Tabela 5. Dubina ulegnuća terena u zavisnosti od koeficijenta rastresitosti („Datamine“)

k	$V_x \text{ (m}^3\text{)}$	$H \text{ (m)}$
1	12 894 516	77,17
1,01	11 174 743,49	66,88
1,02	9 454 970,98	56,59
1,03	7 735 198,47	46,30
1,04	6 015 425,96	36,00
1,05	4 295 653,45	25,71
1,06	2 575 880,94	15,42
1,07	856 108,43	5,12
1,074978	0	0

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Rezultati istraživanja prikazani u tabeli 3, ukazuju na to da rudarski radovi u gornjoj zoni ležišta Čukaru Peki ne bi imali uticaj na površinu terena ukoliko bi se materijal koji se zarušava zarušavao u otkopani prostor sa koeficijentom rastresitosti $k = 1,0757$ ($k = 7,57\%$). Na taj način, pomeranja na površini terena bila bi minimalna, odnosno zanemarljiva. Treba naglasiti da je vrednost ovog koeficijenta prognozirana na osnovu normalnih, predviđenih, odnosno očekivanih okolnosti.

Proces zarušavanja stenskog masiva razvija se postepeno i brzina ovog procesa zavisi od velikog broja faktora. U konkretnom slučaju, pažnja je usmerena na uticaj kvaliteta stenske sredine, gabarita ležišta i dubinu na kojoj se ležište nalazi ispod površine terena. Na osnovu raspoloživih podataka, analiziran je model čiji su rezultati predstavljeni grafički na slici 4. Detaljnom analizom rezultata dobijeno je da su uglovi zone uticaja na datom pravcu (zapad-istok) 72° sa zapadne, odnosno 70° sa istočne strane ležišta. Na osnovu dobijenih uglova, proračunate su horizontalne dužine zone zarušavanja (u metrima) projektovane na površini terena. Maksimalna vrednost koeficijenta rastresitosti prema ovom proračunu iznosi 7,49 %.



Sl. 4. Granice zone zarušavanja u odnosu na površinu terena („Phase 2D“)

Rastojanje zone zarušavanja od konture ležišta projektovano na površini terena sa zapadne strane iznosi 225 m, dok sa istočne strane ovo rastojanje ima vrednost 240 m. Nakon upoređivanja podataka sa podacima navedenim u tabeli 1, može se zaključiti da dobijene vrednosti odgovaraju vrednostima Studije izvodljivosti SRK kompanije (SRK Consulting 2018). Analiza rezultata u datoj radnoj sredini pokazuje da stenski masiv trpi velike deformacije i pomeranje. Ovo znači da bi se primenom podetažne metode otkopavanja monitoring morao vršiti svakodnevno. Maksimalna vrednost pomeranja, za najnepovoljnije uslove u ležištu, nakon eksploatacije kompletne gornje zone ležišta Čukaru Peki, dostiže vrednost od 32,1 m.

4. ZAKLJUČAK

Zaštita životne sredine, u oblasti rudarstva, bazira se na zaštiti objekata na eksploatacionom polju rudnika i ima dva oblika: prevenciju i reparaciju. Prevencija je ograničena naučno-tehničkim mogućnostima i iscrpljuje se tehničkim rešenjima projekta otkopavanja, koja se uslovljavaju vrednostima dozvoljenih deformacija.

Pojava deformacija većih od dozvoljenih i projektom uslovljenih, dovodi do takvih oštećenja objekata koja zahtevaju reparaciju. Na osnovu podataka raspoložive tehničke dokumentacije, izvršen je izbor geomehaničkih parametara neophodnih za analizu uticaja na površinu terena. Rezultati analize pokazali su da bi otkopavanje ležišta Čukaru Peki podetažnom metodom otkopavanja imalo bitan uticaj na površinu terena. Deformacije pratećih stena izazvale bi stvaranje levka na površini terena koje bi bilo pogodno za akumulaciju vode, koja bi

svakodnevno ugrožavala životnu sredinu. Svakako, primenom bilo koje druge metode, neophodno je predvideti geodetska opažanja površine terena (posebno u periodima velikih kiša i otapanja leda), pre i u toku eksploatacije ležišta. Jedino na taj način je moguće obezbediti bezbedan rad, kako bi ekonomski ishod eksploatacije ležišta bio pozitivan.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, na finansiranju naučnoistraživačkog rada u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, prema ugovoru br. 451-03-9/2021-14/200052.

LITERATURA

- [1] SRK Consulting, Preliminary Economic Assessment of the Cukaru Peki Upper Zone Deposit, Sweden, 2016, 117-153; 167-203; 231-239.
- [2] SRK Consulting, Technical Report for Preliminary Economic Assessment Update for the Timok Project, Sweden, 2017a, 115-133; 141-156; 198-205.
- [3] SRK Consulting, Timok PEA Report, Geotechnical Engineering and Mining Method Selection, Sweden, 2017b, 92-107; 109; 121-141; 157-163.
- [4] Obert L., Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock, John Wiley and Sons Inc, New York, 1967, 359-388.
- [5] Stacey T., Practical Handbook for Underground Rock Mechanics, Trans Tech Publications, Germany, 1986, 101-122.
- [6] SRK Consulting, Technical Report – Timok, Copper-Gold Project Serbia, Upper Zone Prefeasibility Study and Resource of Estimate for the Lower Zone, Sweden, 2018, 97-154; 211-218; 232-256.
- [7] Riahi A., Hammah, E.R., Limits of Applicability of the Finite Element Explicit Joint Model in the Analysis of Jointed Rock Problems, Rocscience Inc, Ohio, 2008, 336-345.
- [8] Laubscher D., IRMR/MRMR Rock Mass Classification System for Jointed Rock Masses, 2000, 413-421.
- [9] Bieniawski Z.T., Rock Mass Classification in Rock Engineering, Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering, Rotterdam, 1976, 97-106.
- [10] Barton N., The Shear Strength of Rock and Rock Joints, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, Oslo, 1976, 121-140.
- [11] Saiang D, Gwynn X., Hoek-Brown vs. Mohr-Coulomb Results from a Three Dimensional Open Pit/Underground Interaction Model, SRK Consulting, Sweden, 2014, 1-10.