

Uticaj ekstremnih procesa na rizike površinske eksploatacije

Natalija Pavlović, Tomislav Šubaranović, Dragan Ignjatović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

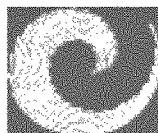
[ДР РГФ]

Uticaj ekstremnih procesa na rizike površinske eksploatacije | Natalija Pavlović, Tomislav Šubaranović, Dragan Ignjatović | 15. međunarodna konferencija o površinskoj eksploataciji OMC 2022, Zlatibor, 12.-15.10.2022. | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007236>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs



UTICAJ EKSTREMNIH PRIRODNIH PROCESA NA RIZIKE POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE

IMPACT OF EXTREME NATURAL PROCESSES ON OPENCAST MINING RISKS

Pavlović N.¹, Šubaranović T.², Ignjatović D.³

Apstrakt

Nepredvidivi ekološki-negativni slučajni procesi mogu uticati na geo-tehnički sistem pri površinskoj eksploataciji ležišta mineralnih sirovina, što u velikoj meri uvećava rizike i ugrožava realizaciju proizvodnje. Kvantitativna analiza sa proračunom verovatnoća pojava ovakvih ekstremnih događaja i procenom odgovarajućih ekonomskih posledica, posebno u uslovima globalnih klimatskih promena, omogućava definisanje rizika i optimizaciju parametara sistema površinske eksploatacije.

Ključne reči: površinska eksploatacija, proizvodnja, ekologija, sistem, proces, rizik

Abstract

Unpredictable ecologically negative random processes can affect the geo-technical system of opencast mining of mineral deposits, which greatly increases the risks and endangers the realization of production. A quantitative analysis with calculation of probabilities of occurrence for such extreme events and assessment of corresponding economic consequences, especially in the conditions of global climate change, enables definition of risk and optimization of opencast mining system parameters.

Key words: opencast mining, production, ecology, system, process, risk

1. Uvod

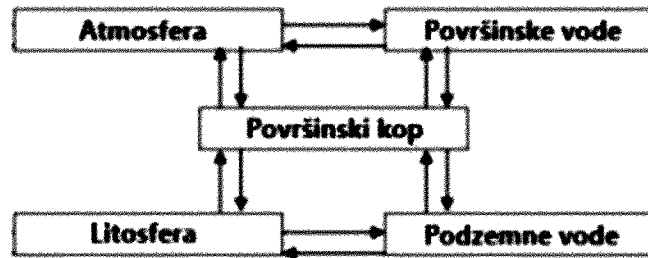
Površinski kop se može predstaviti kao geo-tehnički sistem sa vezom i međusobnim uticajem *prirodnog podsistema* i *tehničkog/rudarskog podsistema*, koji obuhvata, pored kopa u užem smislu, i infrastrukturu, objekte i upravljanje uključujući potrebe za mineralnom sirovinom. Koncept i principi analize ovako postavljenog složenog sistema u oblasti održive površinske eksploatacije obuhvataju analizu uzajamnih uticaja negativnih ekoloških procesa prirodnog i tehničkog podsistema, uz utvrđivanje verovatnoća pojave negativnih stanja kao i ekoloških i proizvodnih ekonomskih posledica [8, 9].

Ekološki uticaj tehničkog rudarskog podsistema je uveliko sagledan u svetskoj praksi i odnosi se na narušavanje litosfere, izmenu stanja i karakteristika podzemnih i površinskih voda kao i atmosfere (Slika 1). Obrnuto, sa aspekta ekstremnih negativnih uticaja prirodnog podsistema na površinsku eksploataciju se, preko atmosfere i nepredviđenih ekstremnih uvećavanja nivoa površinskih i podzemnih voda, ozbiljno pa i dugoročnije ugrožava planirana proizvodnja [7]. Izmene u litosferi, uključujući i seizmiku, koje obuhvataju nepredviđene promene geomehaničkih karakteristika radne sredine, bilo da je reč o otkriveni ili mineralnoj sirovini, varijacije količina i kvaliteta mineralne sirovine u ležištu.

¹ Pavlović Natalija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

² Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Prof. dr Ignjatović Dragan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu



Slika 1. Struktura povezanosti prirodno-tehničkog sistema površinske eksploatacije

za slučajnih procesa

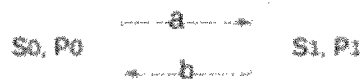
i rizika zbog nastanka
procena verovatnoća pojava takvih

10,

Postavljeni matematički model procene rizika uticaja prirodnog okruženja zasniva se na teoriji verovatnoće i omogućava predviđanje stanja sistema, mera zaštite i kontrolu u svim fazama razvoja površinskog kopa.

2. Rizici i posledice prirodnih procesa na površinsku eksploataciju

Stanja normalnog funkcionisanja (S_0) i otkaza (S_1) površinskog kopa kao tehničkog podsistema u vremenu (T) u odnosu na negativni uticaj prirodnog podsistema u vremenu (t) kao stacionarni proces, može se pojednostavljeno analizirati na bazi postavljenog grafa sa dva stanja (Slika 2).



Slika 2. Graf stanja uticaja prirodnog podsistema na rad površinskog kopa

Stanje otkaza eksploatacije (S_1) se javlja zbog ekstremnog negativnog prirodnog događaja u vremenu (t) sa troškovima sanacije i gubicima u proizvodnji koji premašuju projektovane dopuštene granične vrednosti. Većim ulaganjima u zaštitu od negativnih prirodnih procesa smanjuje se njihov uticaj i vreme otkaza tehničkog podsistema, kao i realizacija planirane proizvodnje.

Prihvatljivo uprošćeno dobijanje verovatnoća stanja podsistema podrazumeva korišćenje pravila totalne verovatnoće po kome je verovatnoća svakog datog stanja pomnožena sa sumom svih intenziteta prelaza u druga stanja jednaka sumi svih drugih verovatnoća pomnoženih sa odgovarajućim

intenzitetima prelaza u dato stanje u datom vremenu [1, 4]. Tako se prema grafu sa dva stanja (Slika 2), dobijaju sledeće verovatnoće Kolmogorova za stanja funkcionisanja (S_0) i otkaza (P_1) površinskog kopa:

$$\frac{dP_0}{dt} = -aP_0 + bP_1; \quad \frac{dP_1}{dt} = aP_0 - bP_1, \text{ odnosno}$$

$$a \cdot P_0 = b \cdot P_1; P_0 + P_1 = 1,$$

odakle je:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} = \frac{b}{a + b}; P_1 = \frac{a}{a + b} \quad (1)$$

Tu su a i b intenziteti prelaza iz stanja S_0 u stanje S_1 i iz stanja S_1 u stanje S_0 , i predstavljaju recipročne vrednosti srednjih vremena rada do otkaza proizvodnje površinskog kopa zbog prirodnih ekstremnih događaja ($T = 1/a$) i vremena u stanju otkaza ($t = 1/b$).

Jasno je da planske preventivne aktivnosti i kontrolisanje vremena rada i otkaza u održivoj površinskoj eksploataciji, omogućava i optimizaciju funkcionisanja i troškova posledica otkaza [2, 3, 6]. Složeni ekonomski parametri zavisnosti površinskog kopa od negativnih posledica prirodnih procesa obuhvataju i informacije o planiranoj jediničnoj proizvodnji u datom vremenu (Q), sanacionim radovima i ukupnim troškovima. Odgovarajućim promenama parametara dolazi se do optimizacije održivog rada površinskog kopa u odnosu na uticaj prirodnih procesa.

U opštem slučaju, indikator uspešnosti rada površinskog kopa (D) u odnosu na negativni uticaj prirodnih procesa je [7]:

$$D = D_0 + D_1 \quad (2)$$

gde je: D - dohodak pri planiranom radu površinskog kopa bez otkaza u vremenu $\sum T_i$ ($i = 1, \dots, n$) sa jediničnom proizvodnjom Q uz jediničnu cenu C u stanju D_0 i D_1 - suma troškova obnavljanja/sanacije posledica i gubitaka u proizvodnji izraženih u $G \cdot C$ jedinicama u vremenu $\sum t_i$ ($i = 1, \dots, m$).

$$\text{Tako je: } D = Q \cdot C \sum T_i - Q \cdot C \sum t_i$$

$$\text{Kako je: } \frac{D_1}{D_0} = \frac{D_0 - D}{D_0} = \frac{D_0 - (D_0 - D_1)}{D_0}$$

$$\text{Sledi: } \frac{D_1}{D_0} = \frac{Q \cdot C (\sum T_i - (\sum T_i - \sum t_i))}{Q \cdot C \sum T_i}$$

$$\text{Konačno je: } \frac{D_1}{D_0} = \frac{\sum t_i}{\sum T_i} = \frac{a}{b} \quad (3)$$

Na osnovu prethodnih jednačina (2) i (3) dobija se zavisnost stacionarne slučajne verovatnoće rada površinskog kopa (P_0) od ukupnog dohotka (D_0) i ukupnih troškova posledica (D_1) odnosno, intenziteta prelaza iz stanja u stanje (a i b):

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{D_1}{D_0}} = \frac{D_0}{D_0 + D_1} = \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \quad (4)$$

Na procenu posledica katastrofalnih prirodnih procesa vezanih za sanaciju i gubitke proizvodnje najveći značaj ima vrsta procesa i vreme sanacije posledica [3, 5, 8]. Optimizacija investiranja u povećanje pouzdanosti, odnosno, vremena rada površinskog kopa u uslovima globalnih klimatskih promena, obuhvata detaljnu tehno-ekonomsku analizu, koja može biti odlučujuća pri donošenju odluka za otvaranja i izgradnju novih površinskih kopova u zonama sa izraženim predispozicijama pojave negativnih prirodnih procesa.

Potreba za stalnom kontrolom prognoznih parametara stanja prirodnih procesa proizilazi iz zahteva za maksimalno skraćanje vremena saniranja i troškova zbog mogućih otkaza rada površinskog kopa [5, 8]. Konačno, tehno-ekonomska analiza obuhvata utvrđivanje i procenu rizika (R) i posledica

(D_1) izraženim u novčanim jedinicama ($Q \cdot C$):

$$R = P_1 \cdot D_1 = P_1 \cdot Q \cdot C \cdot \sum t_i = \frac{a}{a+b} \cdot Q \cdot C \cdot \sum t_i \quad (5)$$

Postavljeni postupak optimizacije održivog funkcionisanja površinskog kopa, u odnosu na negativne i katastrofalne prirodne procese, sa otvara mogućnost fleksibilnog prilaza i senzitivne analize rizika sa jasnom utvrđenom vezom parametara pouzdanosti i troškova otkaza uz jednostavnu praktičnu primenu.

3. Zaključak

Uzroci otkaza površinskog kopa zbog negativnih prirodnih slučajnih procesa mogu biti veoma različiti i obuhvataju litološke faktore, uključujući kvalitativne i kvantitativne ležišne uslove, radnu sredinu sa geomehničkim karakteristikama i seizmikom, kao i hidrološke promene sa uticajem na režime površinskih i podzemnih voda. Za sagledavanje uticaja tih procesa, neophodno je stalno praćenje i preračunavanje ulaznih parametara u vremenu i prostoru razvoja površinske eksploatacije. Sa druge strane, obavezna je kontrola optimizovanih mera preventivnih aktivnosti za skraćanje vremena otkaza rada površinskog kopa zbog ekstremnih prirodnih procesa, smanjenja troškova i rizika površinske eksploatacije.

Literatura

- [1] Cox D. R. & Miller H. D. (1998): *The Theory of Stochastic Processes*. Chapman and Hall, London
- [2] Masaru M.: *Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas*. Water 2014
- [3] Ozga-Zielinski B., Adamowski J. and Ciupak M. (2018): *Applying the Theory of Reliability to the Assessment of Hazard, Risk and Safety in Hydrologic System: A Case Study in the Upper Sola River Catchment*. Water 2018, 10 (723)
- [4] Pavlović V. (1998): *Continuous Mining Reliability*. Ellis Horwood Limited, Chichester
- [5] Pavlović N., Ignjatović D., Pavlović V. (2019): *Assessment of social and environmental risks on opencast coal mines*. *Int. J. Mining and Mineral Engineering, Vol. 10, Nos. 2/3/4, 2019* 271, Inderscience Enterprises Ltd.
- [6] Pavlović N., Petrović B., Subaranović T., Jakovljević I. (2022): *Internal dump slope stability risk assessment on opencast coal mine Tamnava-West*. X International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria
- [7] Pavlović V., Pavlović V., Jovičić V. (2006): *Managing of Ecological Processes in Surface Mining*. ISCSM 2006, Aachen, Germany
- [8] Pavlović V., Ignjatović D., Subaranović T. (2016): *Implementation of the rehabilitation operational strategy for the flooded opencast coal mine Tamnava-West Field*. IMWA2016, Leipzig
- [9] Pavlović V., Ignjatović D., Šubaranović T. (2017): *Reliability and risks of mining projects realization*. 8th International Conference COAL2017, Zlatibor
- [10] Pavlović V., Subaranović T.: *Pouzdanost, optimizacija i upravljanje sistemima odvodnjavanja površinskih kopova*. Monografija, ISBN: 978-86-7352-240-1, COBISS.SR-ID 192077836, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2012
- [11] Todinov M. T. (2006): *Risk-Based Reliability Analysis and Generic Principles for Risk Reduction*. Elsevier Science & Technology Books