

Originalan naučni rad
Original scientific paper
UDC: 624.131.04:69.035.4.04

IZRAČUNAVANJE OPTIMALNIH TEHNIČKIH PARAMETARA METODE KRATKIH MEHANIZOVANIH OTKOPA U PODZEMNIM RUDNICIMA UGLJA

Mirko Ivković¹

¹JP PEU – Resavica, e-mail:mirko.ivkovic@jppeu.rs

REZIME

Osnovni pravac razvoja sistema otkopavanja ležišta uglja podzemnim sistemom usmeren je ka uvođenju i unapređenju metoda širokih čela sa kompleksnom mehanizacijom. Međutim, u pojedinim ležištima prirodno-geološki uslovi eksploatacije ne omogućavaju primenu ove metode, te se iznalaze druga specifična rešenja otkopavanja. Jedna od fleksibilnih i prilagodivih složenim uslovima eksploatacije je i metoda kratkih mehanizovanih otkopa. Na osnovu svestrane analize u ovom radu je matematičkim modeliranjem izvršeno određivanje optimalnih tehničkih parametara ove metode otkopavanja ugljenih slojeva.

Ključne reči: *rudnik, uglj, metoda otkopavanja*

CALCULATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF TECHNICAL METHODS OF SHORT MECHANIZED DUG IN UNDERGROUND MINES COAL

ABSTRACT

The basic direction of the development of underground coal mining system is aimed at introducing and improving the method of wide forehead with a complex machinery. However, in some reservoirs of natural geological conditions of exploitation does not allow the application of this method, you can seek out other specific solution mining. One of the flexible and customizable complex working conditions and methods of short mechanized stope (excavated). On the basis of the comprehensive analysis in this study was carried out mathematical modeling is performed to determine the optimum technical parameters of this method of mining coal (beds) layers.

Key words: *mine, coal, mining method*

UVOD

Otkopavanje je osnovna faza procesa eksploatacije uglja koja najvećim delom utiče i na ostale faze procesa. Također, u najvećoj meri od načina otkopavanja zavisi sigurnosna, tehnička i ekonomska efikasnost čitavog procesa eksploatacije uglja podzemnim sistemom.

Na izbor racionalnih sistema otkopavanja ugljenih slojeva velike debljine odlučujući uticaj imaju prirodno-geološki uslovi prisutni u ležištima. Pitanje ranga uticaja pojedinih faktora predstavlja značajno pitanje u oblasti podzemne eksploatacije ležišta uglja, a poseban značaj ima metodološki postupak kvantifikacije.

Posebno, za donošenje odluke o primeni određene metode i tehnologije otkopavanja pored ocene prilagođenosti konkretnim prirodno-geološkim uslovima je i postupak optimizacije glavnih parametara. U poslednje vreme je sve šira primena i razvoj matematičko-analitičkih metoda za modeliranje tehnološkog procesa kao najpovoljnijih metoda za optimizaciju tehničkih rešenja i ekonomskih efekata. Na ovaj način vrši se ispitivanje istovremenog uticaja velikog broja prirodno-geoloških i tehničko-tehnoloških faktora koji deluju u sistemu proizvodnje otkopa. Da bi se mogle uspešno primeniti matematičko-analitičke metode u optimizaciji parametara sistema otkopavanja neophodno je predhodno primeniti metodu varijantnih tehničkih rešenja radi predhodne selekcije i sužavanja zadatka. Ovo praktično znači da je predhodno potrebno definisati i opisati metodu i tehnologiju otkopavanja, a nakon toga ići u dalji postupak izračunavanja parametara.

Otkopne radove karakteriše zajedničko optimiziranje izbora sistema otkopavanja, načina mehanizovanja, upravljanja krovinom, odnosno određivanje osnovnih parametara otkopa: proizvodnosti, produktivnosti i proizvodne cene. Postupak optimizacije zasniva se na korišćenju više prikladnih matematičkih metoda: računom varijanti i ekonomsko-matematičkim modeliranjem, dobijanjem složenih rešenja, ispitivanjem ekstreme funkcija, linearnim programiranjem, dinamičkim modeliranjem i metodom grafa, statičkom analizom i prognoziranjem i dr.

U ovome radu u okviru sprovedenih istraživanja korišćene su metode matematičkog modeliranja, eksperimentalne metode analize i sinteze.

OPIS METODE KRATKOG MEHANIZOVANOG OTKOPA (ČELA)

Kratko mehanizovano čelo za razliku od širokog čela dimenzioniše se sa dužinom radne fronte od 30-50m, i obično se sa jednom transportno-ventilacionom prostorijom veže za ostale rudarske prostorije u jami. Ovakav model čela bitno se razlikuje od klasičnog modela širokog čela, dok su razlike u tehnologiji rada praktično neznatne.

Model kratkog mehanizovanog čela pogodan je zbog svoje dužine za ležišta nepravilnog oblika sa kratkim radnim frontom. Prednosti primene ove metode i tehnologije otkopavanja ogledaju se u sledećem:

- otkopavanju delova ležišta uglja nepravilnog oblika i kraćih dimenzija otkopnih polja,
- u zavisnosti od prirodno-geoloških uslova prilagodiva je brzina napredovanja čime se postiže odgovarajući obim proizvodnje,
- malom učešću radne snage i većim učincima u odnosu na stubne otkope,
- većoj fleksibilnosti promenljivim radnim uslovima i lakšim intervencijama u otežanim uslovima otkopavanja.

Otkopna priprema za kratki mehanizovani otkop svodi se na izradu osnovne transportno-ventilacione prostorije i otkopnog uskopa (hodnika) koji se pod pravim uglom oslanja na nju. Rad na kratkom mehanizovanom čelu sa natkopnim dobivanjem uglja sastoji se iz dve osnovne faze:

- dobivanje uglja iz potkopnog dela, i
- dobivanje uglja iz natkopnog dela

Sam proizvodni ciklus rada na čelu sastoji se iz sledećih radnih operacija:

- izrada gornjeg reza i pomeranja sekcija SHP,

- izrada donjeg reza,
- pomeranje prednjeg čeonog transportera,
- točenje uglja iz natkopnog dela,
- pomeranje zadnjeg čeonog transportera, koje se ciklično ponavljaju

Dužina čela određuje se na osnovu prirodno-geoloških uslova ležišta mrkog uglja, dužine separatnog provetravanja i iskustvenih podataka. Sistem vertikalne koncentracije primenjuje se zbog uslova promenljivosti debljine ugljenih slojeva koji se otkopavaju u ležištima uglja.

Dobivanje uglja iz natkopnog dela vrši se samoobrušavanjem i točenjem uglja u zadnji (natkopni) čelni transporter putem specijalne konstrukcije zadnje grede SHP sa teleskopskim produžetkom. Dosadašnja iskustva kod primene mehanizovanog otkopavanja širokim čelima sa vertikalnom koncentracijom za otkopavanje slojeva mrkog uglja su pokazala da se mrki ugalj iz natkopnog dela u najvećem obimu samoobrušava, i da je veoma retko potrebno vršiti iniciranje obrušavanja miniranjem.

KAPACITET KRATKOG MEHANIZOVANOG ČELA

Kapacitet kratkog mehanizovanog čela određuje se definisanjem proizvodnog ciklusa čela, izračunavanjem njegovog trajanja i raspoloživog vremena za rad u toku smene (dana). Ove veličine treba da sintetizuju uticaj konkretnih prirodno-geoloških uslova, karakteristika primenjene mehanizacije i tehničko-tehnoloških uslova vezanih za čelo.

Opšti oblik izraza za kapacitet čela je:

$$q_{\varepsilon} = \ell \times v_d \times d \times \gamma \times \xi \quad (\text{t/dan}),$$

gde je:

ℓ - dužina čela (m)

v_d - brzina napredovanja radne fronte čela (m/dan),

d – debljina sloja (m)

γ - zapreminska masa uglja (t/m)

ξ - koeficijent iskorišćenja uglja (%)

Kako je u ovoj analizi izabran sistem vertikalne koncentracije otkopavanja to dnevni kapacitet čela čine mase uglja dobivene radom u potkopnom delu i mase uglja dobivene iz natkopnog dela u toku dana, tj.:

$$q_{\varepsilon} = q_{\varepsilon p} + q_{\varepsilon n} \quad (\text{t/dan})$$

gde je:

$q_{\varepsilon p}$ - masa uglja iz potkopnog dela (t/dan)

$q_{\varepsilon n}$ - masa uglja iz natkopnog dela (t/dan)

$$q_{\varepsilon p} = 1 \times v_d \times \gamma \times \xi_p$$

$$q_{\varepsilon n} = 1 \times v_{dx} \times \gamma \times \xi_n$$

d_p - visina potkopnog dela (2,8m)

d_n - visina natkopnog dela (0-9,2m),

ξ_p - koeficijent iskorišćenja potkopnog dela (1),

ξ_n - koeficijent natkopnog dela (0,70)

U osnovi određivanje kapaciteta čela svodi na određivanje brzine dnevnog napredovanja čela preko trajanja proizvodnog ciklusa za različite debljine ugljenog sloja. Određivanje raspoloživog vremena za proizvodni rad čela vrši se preko sledećih elemenata:

- merenog i statički određenog vremena dolaska i odlaska radnika sa radnog mesta,
- određenog vremena za remontne i preventivne radove održavanja kompleksne mehanizacije,
- planiranog vremena izvršenja radnih operacija koje se ne poklapaju sa osnovnim radnim operacijama,
- planiranog fonda radnih dana u godini.

Analitički izraz za određivanje raspoloživog vremena za proizvodni rad čela je:

$$T_r = T_d - t_{rm} - n_{sm} \times (t_{pz} + t_{rp}) \text{ (min)}$$

gde je:

T_r - ukupno trajanje radnog dana (min)

t_{rem} - vreme remontnih i preventivnih radova u toku dana (min)

t_{rp} - ukupno vreme za izvršenje radnih operacija koje se ne poklapaju sa osnovnim tehnološkim operacijama (min)

n_{sm} - broj proizvodnih smena u toku dana,

t_{pz} - vreme pripremno-završnih operacija (min).

Za definisanu metodu i tehnologiju rada u čelu trajanje proizvodnog ciklusa se izražava u opštem obliku:

$$T_c = T_p + T_n \text{ (min)}$$

gde je:

T_p - vreme trajanja osnovnih tehnoloških operacija u potkopnom delu čela (min)

T_n - vreme trajanja osnovnih tehnoloških operacija u natkopnom delu čela (min)

$$T_p = (t_r + t_p) \times k_o \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times t_m \text{ (min)}$$

gde je:

t_r - vreme rezanja u toku jednog proizvodnog ciklusa (min)

t_p - vreme izvršenja radnih operacija koje prate proces rezanja (min)

k_o - koeficijent reza mašine za otkopavanje koji uzima u obzir pripremno- završne operacije koje se izvode nakon izrade jednog reza i pre početka narednog reza ($k_o = 1,03-1,08$),

k_1 - koeficijent hipsometrije krovine i podine ($k_1 = 1,0-1,1$)

k_2 - koeficijent stabilnosti krovine ($k_2 = 1,0 - 1,2$)

k_3 - koeficijent odvodnjenosti čela ($k_3 = 1,0 - 1,10$)

k_4 - koeficijent ugla pada sloja ($k_4 = 1,0 - 1,20$)

k_5 - koeficijent gasno-ventilacionog stanja ($k_5 = 1,0 - 1,20$)

t_m - vreme izvršenja svih radnih operacija vezanih za rezanje narednog reza nezavisnih od dužine čela ($t_m = 5 - 15$ min),

t_{bm} - vreme izvršenja bušačko-minerskih radova u natkopnom delu (min)

t_{pn} - vreme točenja natkopnog uglja (min)

Čisto vreme rezanja određuje se preko radne brzine mašine za otkopavanje po izrazu:

$$t_r = \frac{l}{v_k} \text{ (min)}$$

Za određivanje radne brzine mašine za otkopavanje razrađeno je više metodologija, a u ovoj analizi koristi se sledeći opšti izraz:

$$v_k = \frac{N \times f_k}{60 \times r \times d_o \times e \times \gamma}$$

gde je:

N- instalisana snaga mašine za otkopavanje (kW)

f_k – koeficijent korisnog dejstva elektromotora (0,7- 0,9)

e – normativ potrošnje električne energije za rezanje (kWh/t),

S obzirom na izabranu dvofaznu dezintegraciju potkopnog dela proizilazi da je:

$$v_{kg} = \frac{N \times f_{kg}}{60 \times r \times D \times e \times \gamma}$$

gde je:

v_{kg} - brzina mašine za otkopavanje pri rezanju gornjeg reza

$$v_{kd} = \frac{N \times f_k}{60 \times r \times (d - D) \times e \times \gamma}$$

gde je:

v_{kd} - brzina mašine za otkopavanje pri rezanju donjeg reza

Premeštanje sekcija SHP prati tok rezanja gornjeg reza na izvesnom rastojanju, a što zavisi od korespondentnosti SHP radnoj sredini, fizičko-mehaničkim svojstvima neposredne krovine, dejstva procesa dezintergracije uglja na stanje krovine i koraka točenja natkopnog dela.

Teoretski, brzina premeštanja sekcija računa se iz obrasca:

$$v_{pp} = \frac{h_s}{\Sigma t}$$

gde je:

h_s - rastojanje među podužnim sekcijama SHP koje kasni za procesom rezanja (m),

Σt - sumarno vreme premeštanja sekcija SHP (min).

U praksi je dobiveno da brzina podgrađivanja iznosi 1,0 m/min, ali se najčešće koristi relacija da je

$$v_k = v_{pp}$$

Vreme trajanja radnih operacija koje prate proces rezanja izračunava se jednačinama:

$$t_p = n_r \times (6 + 0,25 \times 1) \text{ (min)}$$

gde je:

n_r – broj otkopnih transportera

Kao što je napred istaknuto ova analiza je rađena za uslove mrkih ugljeva u kojima je zanemarivo učešće bušačko-minerskih radova, te se ne obrađuje vreme tbm. Vreme pražnjenja natkopnog dela izračunava se vezivanjem za kapacitet transporta i organizaciju rada i izračunava se putem izraza:

$$t_{pn} = \frac{l \times d_n \times \xi_n \times r \times \xi}{q_m} \text{ (min)}$$

gde je:

ξ_n - koeficijent iskorištenja natkopnog dela (%)

Na osnovu iznesenog, ukupno vreme trajanja proizvodnog ciklusa iznosi:

$$T_c = \left(\frac{l}{v_{kg}} + \frac{l}{v_{kd}} + 12 + 0,5 \times l \right) \times c_1 + c_2 + c_3$$

gde je:

$$c_1 = k_o \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5$$

$$c_2 = t_m$$

$$c_3 = \frac{0,91 \times l \times d_n}{1,45}$$

$$N_c = \frac{T_r}{t_c}$$

Brzina dnevnog napredovanja čela iznosi:

$$v_d = N_c \times r$$

Na osnovu određenog vremena trajanja proizvodnog ciklusa na čelu i brzine dnevnog napredovanja vrši se izračunavanje dnevnog kapaciteta čela po izrazu:

$$q_{d\check{c}} = \frac{T_r}{T_c} \times q_c \text{ (t/dan)}$$

$$q_{d\check{c}} = N_c \times q_c = N_c \times l \times r \times \gamma \times (d_p \times \xi_p + d_n \times \xi_n)$$

$$q_{d\check{c}} = l \times v_d \times \gamma \times (d_p \times \xi_p + d_n \times \xi_n)$$

Dužina otkopnog polja neposredno utiče na tehnološku fazu broja montaža-demontaža opreme mehanizovanog kompleksa u toku određenog vremenskog perioda i tako utiče na godišnji proizvodni kapacitet čela. Iz tog razloga godišnji kapacitet čela se koriguje u odnosu na broj montaža i demontaža, i to:

$$Q_{g\check{c}} = q_{d\check{c}} \times (N_{RD} - n_m \times \tau_m)$$

Vreme montaže – demontaže opreme za kratko mehanizovano čelo zavisi od vrste opreme, dužine čela i organizacionih uslova.

Na osnovu praktičnih iskustava i za definisane elemente čela, vreme ovih radova određuje se iz izraza:

$$\tau_m = 8 + 3,5l$$

gdje je:

N_{RD} – broj radnih dana u godini

n_m – broj montaža – demontaža u toku godine.

Prosečan godišnji kapacitet čela izračunava se izrazom:

$$Q_{g\check{c}} = K_E \times N_{RD} \times q_d$$

gde je:

K_E – koeficijent efektivnog rada čela u toku godine

$$K_E = \frac{T_E^{(\check{c})}}{T_E^{(0)}}$$

$T_E^{(\check{c})}$ - čisto vreme eksploatacije dela ležišta

$T_E^{(0)}$ - ukupno vreme eksploatacije

$$T_E^{(\check{c})} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i(l_i)}{v_d(l_i) \times N_{RD}}$$

$$T_E^{(0)} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i(l_i)}{v_d} + n \times (8 + 0,35 \times l_i) \right) \times \frac{l}{N_{RD}}$$

Ulazni podaci programa za proračun dati su na više praktičnih primjera vezanih za otkopavanje ugljenih slojeva.

ZAKLJUČAK

Proračunom dobijene vrednosti parametara pokazuju da kapacitet kratkog mehanizovanog otkopa direktno zavisi od debljine sloja koji se otkopava, dužine otkopa i dužine otkopnog polja. Optimizacija parametara kratkog mehanizovanog otkopa iskazanog putem matematičkog modela obuhvata faktore radne sredine, dužinu radne fronte otkopa, dužinu otkopnog polja, funkcionalne karakteristike opreme otkopa i faktore organizacije rada.

U ovom radu računati su osnovni tehnički parametri metode kratkih mehanizovanih otkopa a njegov logičan nastavak je izračunavanje ekonomskih parametara, a što je predmet posebnih istraživanja.

LITERATURA

1. Bukumirović M.; Sirovinska baza i perspektive razvoja rudnika uglja „Štavalj“ Sjenica, Časopis Rudarski radovi br.1/2001, Bor, 2001.

2. Čosić S., Okanović H.; Modeling of Stress-Deformation State Using The Numerical Methods in The Wide face Mining, Časopis Rudarski radovi br. 2/2010, Bor, 2010.
3. Dragosavljević Z., Denić M., Ivković M., :Strategija razvoja podzemnih rudnika uglja u Srbiji u okviru razvoja ugljenih basena sa površinskom eksploatacijom, Časopis rudarski radovi br. 1/2009, Bor, 2009.
4. Đukanović D., Đukanović D.: Analiza zavisnosti ostvarenih troškova i brzine izrade podzemnih prostorija u rudnicima uglja u Srbiji, Časopis Rudarski radovi br. 1/2005, Bor, 2005.
5. Ivković M.: Racionalni sistemi podzemnog otkopavanja slojeva mrkog uglja velike debljine u složenim uslovima eksploatacije, Doktorska disertacija, RGF Beograd, Beograd, 1997.
6. Ivković M.: Pravci tehničkog, ekonomskog, tržišnog i društvenog razvoja i prestrukturiranja rudnika sa podzemnom eksploatacijom za period 2001-2006, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
7. Ivković M.: Strategija razvoja rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji u uslovima prestrukturiranja, Časopis Rudarski radovi br. 1/2002, Bor, 2002.
8. Ivković M.: Specifičnosti restrukturiranja rudarske industrije u Republici Srpskoj, Časopis Rudarski radovi br. 2/2004, Bor, 2004.
9. Ivković M., Ljubojev M., Perendić S.: Istraživanje uslova radne sredine u cilju uvođenja metode mehanizovanog otkopavanja I ugljenog sloja u jami Rudnika „Lubnica“, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
10. Ivković M., Mladenović A.: Osavremenjavanje podzemne eksploatacije uglja u cilju povećanja proizvodnje i zaštite zaposlenih, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
11. Ivković M., Ivković Lj., Mladenović A.: Uticaj podzemne eksploatacije uglja na ugrožavanje životne sredine, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
12. Ivković M., Miljanović J.: CALCULATION THE GAS CONCENTRATION IN THE UNDERGROUND COAL COMBUSTION, Časopis Rudarski radovi, br. 1/2010, Bor, 2010.
13. Ljubojev M., Popović R., Ivković M.: Deformisanje stenskog masiva i sleganje površine terena uzrokovani podzemnom eksploatacijom mineralnih sirovina, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
14. Ignjatović M.: Restrukturiranje podzemne eksploatacije uglja u Srbiji, Časopis Rudarski radovi br. 2/2007, Bor, 2001.
15. Ignjatović M., Ljubojev M., Štrbac D.: Izbor eksploziva u zavisnosti od karakteristika radne sredine pri izradi podzemnih objekata, Časopis Rudarski radovi br. 2/2002, Bor, 2002.
16. Ignjatović M., Stanojević Z., Mitić D., Maksimović M., Ignjatović D.: Način eksploatacije Aleksinačkog ležišta, Časopis Rudarski radovi br.2/2009, Bor, 2009.
17. Miljanović J.: Uticajni faktori pri realizaciji predviđene proizvodnje uglja u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom Republike Srbije, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
18. Milićević Ž., Milić V., Vušović N., Svrkota I.: Mogućnosti izmene metode otkopavanja u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji, Časopis Rudarski radovi br. 2002, Bor, 2002.
19. Milićević Z., Svrkota I.: Zarušavanje krovnog uglja – najznačajnija faza otkopavanja moćnih ugljenih slojeva, Časopis Rudarski radovi br. 1-2/2003, Bor, 2003.
20. Magdalinović N., Jovanović R., Stanujkić D., Magdalinović-Kalinović M.: Optimizacija rudarskih projekata i proizvodnje, Časopis Rudarski radovi br. 2/2009, Bor, 2009.
21. Popović D.: Mogućnosti povećanja nivoa proizvodnje uglja u rudniku „Rembas“ Resavica, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
22. Petković S., Ivković M.: Ocena perspektivnosti otvaranja rudnika sa podzemnom eksploatacijom u Despotovačkom i Mlavsko-Petrovačkom basenu, Časopis rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
23. Stjepanović M.: Stanje sigurnosti i tehnička zaštita u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Bor, 2001.
24. Stjepanović M.: Strateški pristup planiranju razvoja i proizvodnje mineralnih sirovina u oblasti rudarstva Srbije, Časopis Rudarski radovi br.1/2002, Bor, 2002.
25. Sokolović D.: Risk identification in The Mine Design Exploitation and Combustion of Oil Shale, Časopis Rudarski radovi br. 1/2010, Bor, 2010.
26. Sokolović D., Erdeljan D., Popović P.: Detailed Terms and Method of Sampling for Tehnological Sample in Geological Prospecting Works, Časopis Rudarski radovi br. 1/2010, Bor, 2010.
27. Sokolović D., Beljić Č., Gagić D.: Investigation of Possibilities for Simultaneous Exploitation of Coal and Oil Shale in The Aleksinac Basin, Časopis Rudarski radovi br. 1/2010, Bor, 2010.