

Field Zoning According to the Possibility of Applying Mechanized Excavation With a Longwall Below the Town of Gacko

Dragana Savić, Jelena Majstorović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

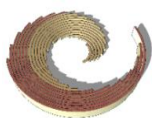
[ДР РГФ]

Field Zoning According to the Possibility of Applying Mechanized Excavation With a Longwall Below the Town of Gacko | Dragana Savić, Jelena Majstorović | 10 th International Conference Coal 2021 Zlatibor, 13-16 October 2021 | 2021 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0005999>

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



**ZONIRANJE TERENA PREMA MOGUĆNOSTI PRIMENE MEHANIZOVANOG
OTKOPAVANJA ŠIROKIM ČELOM ISPOD NASELJENOG MESTA GACKO**

**FIELD ZONING ACCORDING TO THE POSSIBILITY OF APPLYING MECHANIZED
EXCAVATION WITH A LONGWALL BELOW THE TOWN OF GACKO**

Savić D.¹, Majstorović J.²

Abstrakt

Mogućnost povećanja korišćenja resursa čvrstog energetske goriva u procesu rešavanja energetske krize koja je sve prisutnija u širem regionu, jeste pravi izazov rudarske nauke.

Podzemna eksploatacija uglja je složen proizvodni proces koji objedinjuje više tehnoloških postupaka u jedinstvenu celinu: izradu podzemnih prostorija, otkopavanje, transport i izvoz, ventilaciju proizvodnog sistema, odvodnjavanje, servisiranje objekata i sistema, zaštitu i sigurnost rada. Jedan od osnovnih problema koji prati podzemnu eksploataciju uglja jeste stabilnost podzemnih prostorija i deformacije na površini terena, jer su podzemne prostorije izložene intenzivnim pritiscima i deformacijama. Podzemna eksploatacija u svetu je usmerena ka modernizaciji i osavremenjavanju tehnoloških postupaka otkopavanja sa ciljem povećanja produktivnosti i ekonomičnosti, pa se izboru sistema (metode i tehnologije) otkopavanja mora posvetiti posebna pažnja.

U radu je razmatran problem interakcije rudarske mehanizacije i stenskog masiva, pri prelasku sa površinske na podzemnu eksploataciju u varijanti mehanizovanog otkopavanja širokim čelom (izradom jedinstvenog modela mehanizovanog otkopavanja preostalih rudnih rezervi Drugog podinskog ugljenog sloja ispod naseljenog mesta Gacko i infrastrukturnih objekata, kao i delova ležišta sa rudnim rezervama koji nisu obuhvaćeni površinskom eksploatacijom).

Ključne reči: mehanizovano otkopavanje, mehanizovano široko čelo, zoniranje terena, modeliranje, stabilnost, sleganje, stabilnost kosina

Abstract

The possibility of increasing the use of solid energy fuel resources in the process of resolving the energy crisis, which is increasingly present in the wider region, is a real challenge for mining science.

Underground coal mining is a complex production process that unites several technological procedures into a single unit: construction of underground rooms, excavation, transport and export, ventilation of the production system, drainage, servicing of facilities and systems, occupational safety and security. One of the basic problems that accompanies underground coal mining is the stability of underground rooms and deformations on the surface of the terrain, because the underground rooms are exposed to intense pressures and deformations. Underground mining around the world is aimed at modernizing and updating technological excavation procedures with the objective of increasing productivity and cost efficiency, therefore special attention should be paid to the selection of the mining system (methods and technologies).

The paper discusses the problem of interaction between mining machinery and rock mass in the transition from surface to underground mining in the variant of mechanized excavation with a wide

¹Dr Savić Dragana, Geoinf Group, Beograd

²Dr Majstorović Jelena, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

forehead (development of a unique model of mechanized excavation of remaining ore reserves of the Second floor coal seam below the town of Gacko and infrastructures, as well as parts of deposits whose ore reserves are not covered by surface mining).

Keywords: mechanized excavation, mechanized wide forehead, terrain zoning, modeling, stability, settlement, slope stability

1. Uvod

Mehanizovano širokočelno otkopavanje je rudarska tehnologija proizvodnje, karakteristična za podzemnu eksploataciju slojevitih ležišta mineralnih sirovina. Da bi tehnologija mehanizovanog širokočelnog otkopavanja bila uspešno primenjena potrebno je da budu ispunjeni sledeći uslovi [1, 2, 3]:

Debljina sloja: mogu se eksploatisati slojevi uglja različitih debljina (tanki i deblji slojevi), s tim da se kod slojeva veće debljine koristi širokočelna metoda otkopavanja sa zarušavanjem nadkopnog dela ugljenog sloja, ili TCC metoda (*Top Coal Caving* - širokočelno otkopavanje sa zarušavanjem natkopnog dela ugljenog sloja);

Čvrstoća krovinske stene: svod prostorije je potrebno da bude slab do umereno čvrst, sklon obrušavanju;

Čvrstoća podine: podina je potrebno da bude dovoljne čvrstoće da primi opterećenje od opreme i obrušenih slojeva krovine;

Pad slojeva: potrebno je da slojevi budu horizontalni ili sa manjim nagibima, do 10°. Retka je primena širokočelnih metoda u strmim slojevima, kada se, po pravilu, otkopavanje vrši po pružanju sloja;

Radna dubina: tehnologija je primenjiva na velikim dubinama;

Radialna tektonika: potrebno je da ne bude radialne tektonike. Tektonika je osnovni ograničavajući faktor. Primena tehnologije mehanizovanog otkopavanja i širokočelne metode uopšte, zahteva precizno definisane elemente radialne tektonike, njihovo prostorno i vremensko sadejstvo sa predloženim tehničko-tehnološkim rešenjima u funkcionalnom i tehničko-ekonomskom smislu [4].

Za uspešnu podzemnu eksploataciju uglja metodom širokog čela, kao imperativ se nameće izbor odgovarajuće opreme [5]. Osnovnu opremu mehanizovanog širokog čela čine mašine za otkopavanje (kombajn ili strug), otkopni i sabirni transporter i mehanizovana hidraulična podgrada.

2. Simulacija procesa otkopavanja širokim čelom

Da bismo odredili geometriju modela, sračunate su visine zone obrušavanja (h_{zw}) i izlomljene zone h_s . Njihova mehanička svojstva se razlikuju u zavisnosti od *in situ* stenske mase i imaju veliki uticaj na oblik površinske deformacije. Ovi parametri su definisani formulama [6]:

$$h_{zw} = \frac{100G}{C_1g+C_2} \quad h_s = \frac{100G}{C_2g+C_4}$$

gde je:

h_{zw} - visina obrušene zone, m;

h_s - visina izlomljene zone, m;

G - debljina ugljenog sloja, m;

C_1, C_2, C_3, C_4 - konstante koje zavise od čvrstoće na pritisak (Tabela 1).

Tabela 1. Koeficijenti za prosečnu visinu zone obrušavanja i izlomljene zone [6]

Krovina	Jednoaksijalna čvrstoća na pritisak (MPa)	Koeficijenti			
		C_1	C_2	C_3	C_4
Jaka i čvrsta	> 40	2,1	16	1,2	2
Srednje čvrsta	20 - 40	4,7	19	1,6	3,6
Meka i krta	< 20	6,2	32	3,1	5

Stenska masa u ležištu uglja Gacko klasifikovana je kao meka i krta, pa je na osnovu proračuna dobijeno da je visina zone obrušavanja oko 7,5 m a visina izlomljene zone oko 30 m (29,72 m), za eksploatabilnu visinu sloja uglja debljine 5 m.

Kako zoni obrušavanja i izlomljenoj zoni nema pristupa, ove zone su pretpostavljene kao jako ispucale i ispucale stenske mase. Deformacije i parametri čvrstoće odabrani su prema istraživanjima [7], koja su pretpostavila da su mehanički parametri zone obrušavanja 20 - 40 puta niži, a mehanički parametri izlomljene zone su 2 - 3 puta niži od parametara *in situ* stene u zoni povlate.

Na osnovu svega iznetog parametri zone obrušavanja i izlomljene zone u radu širokog čela prikazani su u Tabeli 2, nakon postupka kalibracije, primenom metode *back analysis*. U postupku kalibracije dobijena je vrednost sa zonu obrušavanja modula deformacije $E = 2 \text{ MPa}$.

Tabela 2. Parametri zone obrušavanja i izlomljene zone usvojeni za proračun [7]

Materijal	E (MPa)	ν	σ_z (MPa)	ϕ (°)	c (MPa)	γ (kN/m ³)
Zona obrušavanja	19,85	0,33	0	22	0,342	14,52
Izlomljena zona	300	0,33	0,25	26	0,251	20,11

Proračuni su izvedeni za nekoliko varijanti:

- Prvi panel se nalazi 300 m od dna završne kosine, na dubini 175 m ispod polovine završne kosine površinskog kopa. Nagib ugljenog sloja je 5°. Paneli širokog čela se u kontinuitetu pomeraju sa leva u desno. Profil je analiziran sa zaštitinim stubovima 20,75 m, 25 m i 30 m;
- Prvi panel se nalazi 415 m od dna kosine i 170 m ispred vrha kosine površinskog kopa. Prvi panel širokog čela se nalazi na dubini 200 m. Nagib ugljenog sloja je 5°. Otkopavanje se odvija prema gornjoj ivici kosine površinskog kopa. U kontinuitetu je analiziran uticaj izgradnje šest panela na stenski masiv. Profil je analiziran sa zaštitinim stubovima 20,75 m, 25 m i 30 m;
- Prvi panel se nalazi 35 m ispred vrha završne kosine, na dubini 240 m. Nagib ugljenog sloja je 5°. Modeliran je uticaj izrade pet panela na stensku masu. Profil je analiziran sa zaštitinim stubovima 20,75 m, 25 m i 30 m;
- Prvi panel se nalazi 80 m iza vrha kosine, na dubini 240 m. Nagib ugljenog sloja je 5°. Profil je analiziran sa zaštitinim stubovima 20,75 m, 25 m i 30 m;
- Ugljeni sloj se nalazi na 140 m dubine ispod vrha kosine. Otkopavanje narednih panela je sa leva u desno. Zaštitini stubovi 20,75 m, 25 m i 30 m. Za ovaj model pozicija panela širokog čela primenjena je za konstantnu dubinu duž horizontalne ose (140 m). Paneli su širine 100 m. Simulacija procesa otkopavanja izvedena je tako da se paneli udaljavaju od kosina površinskog kopa. Profil je postavljen u blizini gradske zone, preseca infrastrukturne objekte, strujne i vodovodne kablove višeg reda i trasu projektovane saobraćajnice.

3. Granice potencijalnog sleganja

Pomeranja (horizontalna, vertikalna i ukupna), plastičnost i vektori brzine analizirani su da bi se ocenilo delovanje podzemnog rudarenja na sleganje površine terena.

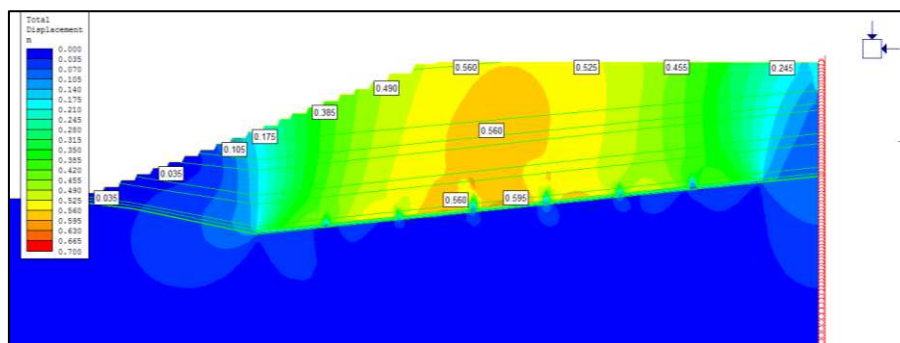
Varijanta a

Prvi panel širokog čela je postavljen sa leve strane prema gornjoj ivici kosine površinskog kopa. Na profilu je analiziran uticaj izrade sedam panela u kontinuitetu. Rezultati izračunati za ovaj slučaj ukazuju da gornja ivica kosine počinje da se kreće u velikoj meri kada široko čelo dostigne rastojanje 170 m od gornje ivice. Maksimalno sleganje gornje ivice i klizanje se dešavaju kada široko čelo zauzme poziciju 80 m iza gornje ivice. Dobijene vrednosti sleganja su u rasponu od 0,24 m do 0,60 m. Ukupnim pomeranjima je zahvaćena čitava kosina površinskog kopa, sa izražajnijim pokretima u gornjoj polovini.

Pregled ukupnih pomeranja stenske mase u zavisnosti od broja urađenih panela i veličine zaštitinih stubova dat je u Tabeli 3 i na Slici 1.

Tabela 3. Ukupna pomeranja stenske mase u funkciji izrade panela širokog čela - Varijanta a

	Paneli širokog čela - Varijanta a, (m)						
	1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 20,75 m	0,24	0,37	0,47	0,53	0,58	0,60	0,60
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 25 m	0,26	0,37	0,47	0,52	0,56	0,58	0,58
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 30 m	0,27	0,39	0,47	0,53	0,55	0,56	0,57



Slika 1. Ukupna pomeranja stenske mase u odabranim tačkama sa napredovanjem 5 panela širokog čela - Varijanta a, zaštitni stubovi 20,75 m

Varijanta b

Rezultati izračunati za ovaj slučaj ukazuju da gornja ivica kosine počinje da se kreće u velikoj meri kada široko čelo zauzme poziciju ispod vrha gornje ivice kosine. Maksimalno sleganje gornje ivice i klizanje se dešavaju kada široko čelo zauzme poziciju 100 m iza gornje ivice. Dobijene vrednosti ukupnih pomeranja stenske mase su u rasponu od 0,0 m do 0,59 m (Tabela 4). Ukupna horizontalna pomeranja nešto su manja u odnosu na prethodnu varijantu. U ovoj analizi dostižu vrednost u rasponu 0,0 m do 0,15 m.

I u ovoj varijanti pravac vektora dovodi do redukcije ugla kosine što predstavlja prednost sa tačke razmatranja stabilnosti kosine. Međutim, pomeranje može dovesti do takvih promena u karakteristikama stenske mase koje mogu prouzrokovati nestabilnost.

Tabela 4. Ukupna pomeranja stenske mase u funkciji izrade panela širokog čela - Varijanta b

	Paneli širokog čela - Varijanta b, (m)						
	1	2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 20,75 m	-	0,27	0,40	0,50	0,55	0,58	0,59
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 25 m	-	0,30	0,43	0,52	0,57	0,58	0,59
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 30 m	-	0,33	0,43	0,50	0,53	0,55	0,55

Varijanta c

Za ovu varijantu dobijene vrednosti ukupnih pomeranja u stenskom masivu su od minimalnih do raspona 0,29 m - 0,56 m, kao što se može videti u Tabeli 5. Ukupna pomeranja stenskog masiva su zahvatila gornju trećinu završne kosine.

Kod horizontalnih pomeranja dobijene su više centimetarske do decimetarske vrednosti. Najmanja koncentracija vektora horizontalnog pomeranja dobijena je za model sa zaštitnim stubovima između panela od 30 m. Takva pomeranja mogu biti inicijalna za lokalni gubitak stabilnosti kosine, ali ne utiču na ukupnu stabilnost završne kosine.

Tabela 5. Ukupna pomeranja stenske mase u funkciji izrade panela širokog čela - Varijanta c

	Paneli širokog čela - Varijanta c, (m)						
	1	1-2	3	3-4	3-5	3-6	3-7
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 20,75 m	-	-	0,29	0,42	0,49	0,53	0,55
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 25 m	-	-	0,34	0,46	0,51	0,55	0,56
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 30 m	-	-	0,36	0,40	0,52	0,54	0,55

Varijanta d

U ovoj varijanti analiziran je uticaj izrade četiri panela širokim čelom, udaljavajući se od vrha završne kosine površinskog kopa. Kao i u prethodnim varijantama analizirani su modeli sa zaštitnim stubovima 20,75 m, 25 m i 30 m. Dobijene vrednosti ukupnih pomeranja u stenskom masivu kretala su se u intervalu 0,29 m do 0,53 m (Tabela 6).

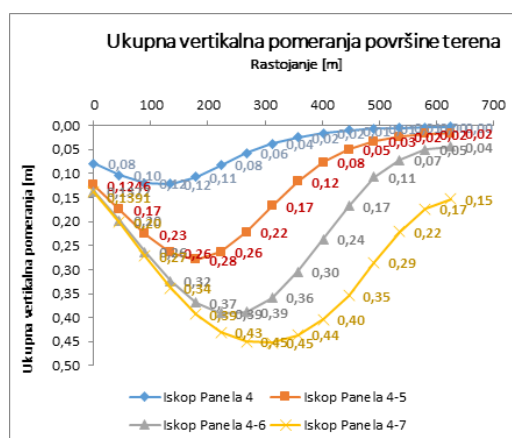
Maksimalno sleganje gornje ivice kosine iznosilo je od 15 cm za širinu zaštitnog stuba 30 m do 21 cm za širinu zaštitnog stuba 25 m. Pregled ukupnih pomeranja stenske mase u zavisnosti od broja urađenih panela i veličine zaštitnih stubova dat je u Tabeli 6.

Tabela 5. Ukupna pomeranja stenske mase u funkciji izrade panela širokog čela - Varijanta d

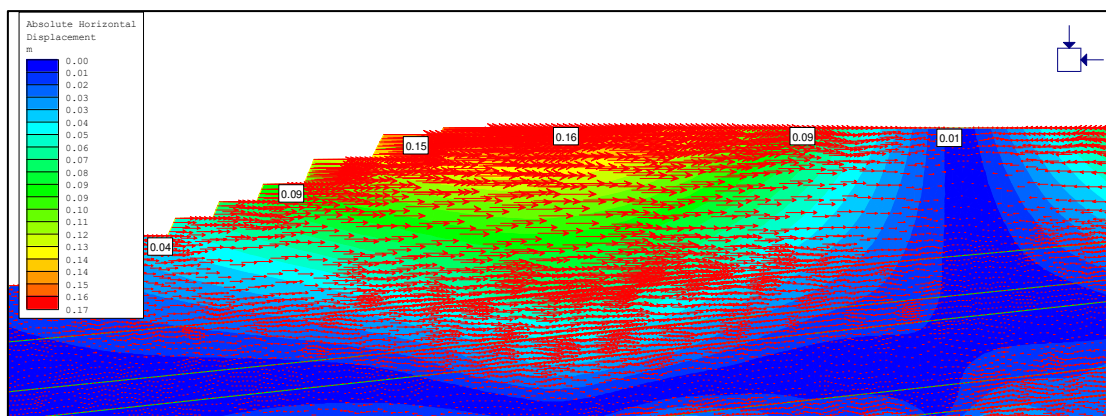
	Paneli širokog čela - Varijanta d, (m)						
	1	1-2	1-3	4	4-5	4-6	4-7
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 20,75 m	-	-	-	0,29	0,40	0,47	0,51
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 25 m	-	-	-	0,34	0,44	0,51	0,53
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 30 m	-	-	-	0,35	0,45	0,49	0,50

Razvoj ukupnih vertikalnih pomeranja površine terena postupnom izradom panela širokim čelom prikazan je na Slici 2. Jasno se uočava širenje uticajne zone i maksimalna sleganja sa povećavanjem broja izvedenih panela.

Horizontalna pomeranja za ovu varijantu dostižu vrednost u rasponu 0,01 m do 0,15 m (Slika 3). U ovom slučaju primećuje se ređa koncentracija vektora horizontalnih pomeranja. Karakter navedenih pomeranja ne može ugroziti stabilnost završne kosine, već izazvati manje lokalne i površinske deformacije stenske mase.



Slika 2. Dijagram sleganja površine terena sa napredovanjem 4 panela širokog čela, zaštitni stubovi 20,75 m



Slika.3. Horizontalna pomeranja stenske mase u odabranim tačkama - Varijanta d, zaštitni stubovi 20,75 m

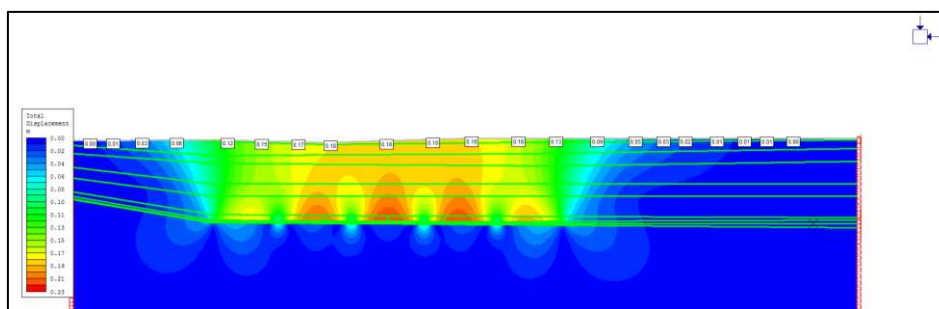
Varijanta e

Profil je postavljen u blizini gradske zone, preseca infrastrukturne objekte, strujne kablove i vodovodne cevi višeg reda, kao i trasu projektovane saobraćajnice. Za ovaj model pozicija panela širokog čela primenjena je za konstantnu dubinu duž horizontalne ose (140 m). Paneli su širine 100 m. Simulacija procesa otkopavanja širokim čelom projektovana je tako da se paneli udaljavaju od kosina površinskog kopa. Zbog blizine gradske zone, usvojena širina zaštitnih stubova između panela, iznosila je 25 m i 30 m.

Ukupna pomeranja stenske mase dobijena su opsegu 0,14 m do 0,34 m (Tabela 7), što su nedozvoljene vrednosti za objekte na površini terena. Na Slikama 4 i 5 prikazane su vrednosti ukupnih pomeranja na površini terena. Horizontalna pomeranja su takođe ukazala na moguće nestabilnosti, što isključuje mogućnost uvođenja mehanizacije širokim čelom u blizini stambene zone i infrastrukturnih objekata.

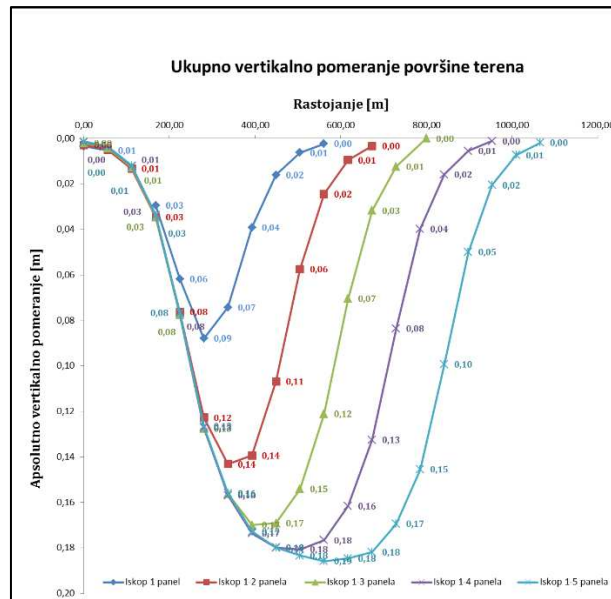
Tabela 7. Ukupna pomeranja stenske mase u funkciji izrade panela širokim čelom - Varijanta e

	Paneli širokog čela - Varijanta e, (m)				
	1	1-2	1-3	1-4	1-5
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 25 m	0,14	0,17	0,20	0,21	0,22
Ukupna pomeranja stenske mase, dimenzija zaštitnih stubova 30 m	0,18	0,21	0,25	0,26	0,34



Slika 4. Ukupna pomeranja stenske mase u odabranim tačkama - Varijanta e, zaštitni stubovi 25 m

Razvoj ukupnih vertikalnih pomeranja površine terena postupnom izradom panela širokim čelom prikazan je na Slici 5. Jasno se uočava širenje uticajne zone i maksimalna sleganja sa povećavanjem broja izvedenih panela. Prilikom izrade petog panela sa širinom zaštitnih stubova 25 m, ukupna deformacija zahvata površinu terena u dužini 1.065 m.



Slika 5. Dijagram sleganja površine terena sa napredovanjem 5 panela širokog čela, Varijanta e, zaštitini stubovi 25 m

4. Zoniranje terena prema mogućnosti primene mehanizovanog otkopavanja širokim čelom u gradskoj zoni

Prilikom analize mogućnosti primene mehanizovanog otkopavanja širokim čelom, neophodno je voditi računa o uticaju ovog načina eksploatacije mineralne sirovine na površinu terena, pa samim tim i primenljivosti ove metode.

Ova metoda otkopavanja funkcioniše tako što se proces zarušavanja razvija kroz stenski masiv u krovini ležišta, i zavisno od dubine ležišta i dubine otkopavanja, taj proces može da se razvije do površine terena. Proces podzemne eksploatacije može da ima uticaj na pojavu deformacija na površini terena, odnosno sleganja u zoni uticaja podzemnih rudarskih radova, što dovodi do manje ili veće ugroženosti građevinskih i infrastrukturnih objekata koji se nalaze u zoni uticaja, odnosno mogućnosti njihovog oštećenja.

Na osnovu analize izvedene korišćenjem numeričkog progama RS2 za analizirane Varijante a, b, c, d i e, mogu se izvući sledeći zaključci:

- Za Varijante a, b i c, u kojima se paneli nalaze na različitoj udaljenosti od kosine površinskog kopa i ispred vrha završne kosine, numeričkom analizom dokazano je da za ove varijante nije moguće primeniti mehanizovano otkopavanje širokim čelom zbog deformacija koje se razvijaju na kosinama površinskog kopa.
- Numeričkom analizom za Varijantu e, dobijene ukupne deformacije površine terena u neposrednoj gradskoj zoni, kretale su se od 0,14 cm do 0,34 m (Tabela 7). Grafik ukupnih vertikalnih deformacija površine terena pokazuje da je zona deformacije, prilikom izrade petog panela veća, od 1000 m (Slika 5), što potpuno isključuje otkopavanje širokim čelom u ovoj zoni;
- U Varijanti d, prvi radni panel se nalazi 80 m iza vrha završne kosine, na dubini 240 m. Ukupna pomeranja koja se javljaju na površini terena zahvataju samo u manjoj meri prvu kosinu površinskog kopa, ali analizirajući horizontalna pomeranja za ovu varijantu koja iznose 0,01 m do 0,15 m (Slika 3), primećuje se ređa koncentracija vektora horizontalnih pomeranja. Karakter navedenih pomeranja ne može ugroziti stabilnost završne kosine, već izazvati manje lokalne i površinske deformacije stenske mase.

5. Zaključak

Numeričkom analizom simulirano je napredovanje rudarskih radova i naponske promene i deformacije u okolini podzemnih rudarskih radova, kao i veličina sleganja na površini terena. Dobijene vrednosti sleganja na površini terena uticala su i na konačni prostorni odnos mehanizovanih tehnologija otkopavanja. Izvršena je provera stabilnosti kosina površinskog kopa u odnosu na odabranu metodu mahanizovanog otkopavanja [8].

Iz svega navedenog izvršeno je zoniranje terena prema mogućnosti primene mehanizovanog otkopavanja širokim čelom. Kao što se na Slici 6. može videti, okonturen poligon je plave boje, dimenzija 485 m*835 m. U severnom delu ovog poligona, Drugi podinski ugljeni sloj je na dubinama od 180 m do 220 m, a na južnoj granici oko 275 m. U ovom delu terena posmatran ugljeni sloj ima nagib od 10° po padu i 5° po pružanju, što ispunjava uslov za primenu mehanizovanog otkopavanja širokim čelom [1, 2, 3].



Slika 6. Zoniranje terena sa mogućnošću primene mehanizovanog širokočelnog otkopavanja uglja

Literatura

- [1] Stefanko R.: Theory and Practice, Coal Mining Technology: New York: SME-AIME, 1983.
- [2] S. S. Peng S. S.: Longwall Mining, 3rd ed. Morgantown, WV: West Virginia University, Department of Mining Engineering, 2006.
- [3] Hartman H. L.: Mutmansky J. M.: Introductory Mining Engineering, Hoboken, NY: Wiley-Interscience, 2002.
- [4] Gagić D.: Tekotnika kao ograničavajući faktor uvođenja metoda širokočelnog otkopavanja ležišta uglja, Podzemni radovi, 2012., str.17-22.
- [5] Bise J. C.: Methods and Applications, Modern American Coal Mining, 309, ISBN 978-0-87335-352-6, 2013.
- [6] Kendorski F.: Van D. Roosendaal, Chinese and North American high-extraction underground coal mining strata behavior and water protection experience and guidelines, Proceedings of the 14th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, 1995.
- [7] Nawrot W.: Właściwości mechaniczne utworów skalnych o strukturze blokowo-warstwowej, Doktorska: Praca, Kraków, 1972.
- [8] Savić D.: Razvoj modela mehanizovanog otkopavanja preostalih rezervi uglja ispod naseljenog mesta Gacko, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2020.