



**UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET**

Đušina 7, Beograd, Republika Srbija

TEHNIČKO REŠENJE - M81

**KOMBINOVANA METODA MINIRANJA ZA IZRADU
PODZEMNIH PROSTORIJA U RUDNICIMA UGLJA**

Naziv projekta:

**„Izučavanje mogućnosti valorizacije preostalih rezervi uglja u cilju
obežbeđenja stabilnosti energetskeg sektora Republike Srbije”**

TR 33029

B e o g r a d, februar 2016. god.



Tehničko rešenje prijavljuje: Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet Beograd

Adresa: Beograd, Đušina br. 7

Telefon: 011-3219-101

E-pošta: nebojsa.vidanovic@rgf.bg.ac.rs

Naziv tehničkog rešenja: KOMBINOVANA METODA MINIRANJA ZA
IZRADU PODZEMNIH PROSTORIJA U
RUDNICIMA UGLJA

Korisnik: JP za PEU – Rudnik mrkog uglja “Jasenovac”
Krepoljin, participant projekta TR 33029 “Izučavanje
mogućnosti valorizacije preostalih rezervi uglja u cilju
obezbeđenja stabilnosti energetskog sektora Republike
Srbije”

Autori tehničkog rešenja: Prof. dr Nebojša Vidanović
Prof. dr Rade Tokalić
Prof. dr Aleksandar Ganić
Mr Saša Mitić
Mr Saša Ognjanović

Recenzenti: Prof. dr Nebojša Gojković
Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet Beograd
Prof. dr Kemal Gutić
Univerzitet u Tuzli - BIH,
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla



1. OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI

Predloženo tehničko rešenje je iz naučne oblasti Rudarstvo – uža naučna oblast rudarski radovi i izrada podzemnih prostorija. Primena tehničkog rešenja moguća je pre svega u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom pri izradi podzemnih prostorija, a moguća je i u rudnicima u kojima se eksploatišu metalne i nemetalne mineralne sirovine gde to fizičko-mehaničke karakteristike radne sredine dozvoljavaju.

2. OPIS PROBLEMA KOJI SE REŠAVA

U dosadašnjoj rudarskoj praksi uglavnom su se koristile različite varijante izrade rudarskih prostorija primenom konvencionalnih metoda, tj. primenom eksplozivne tehnike bušačko-minerskog rada. Ovakve metode imaju svoje slabosti, pa se kroz ovo tehničko rešenje pronalazi mogućnost primene kombinovanih, nekonvencionalnih metoda miniranja pri izradi jamskih prostorija kroz ugalj, a sa ciljem da se postignu sledeći efekti:

- Povećanje dinamike izrade rudarskih prostorija;
- Smanjenje uticaja izrade rudarskih prostorija na okolni stenski masiv;
- Smanjenje obima radova vezanih za vankonturni iskop;
- Povećanje trajnosti izrađenih rudarskih prostorija;
- Uvećanje krupnih (komercijalnih) frakcija uglja pri izradi;
- Povećanje stepena sigurnosti na radu, pri izradi rudarskih prostorija.

3. SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA

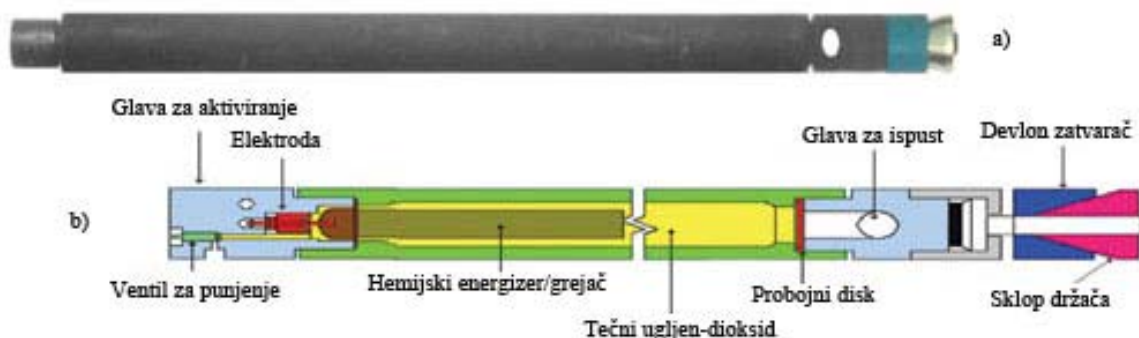
U uslovima metanskog režima, miniranje hemijskim eksplozivima skopčano je sa čitavim nizom preventivnih mera koje se moraju zadovoljiti da ne dođe do neželjenih posledica vezanih za eksploziju ili požar. Sve ovo još više je potencirano činjenicom da savremena sredstva za miniranje i mere zaštite, kod primene hemijskih eksploziva nisu još dovoljno usavršene i ne garantuju apsolutnu bezbednost. Stoga se u izuzetno opasnim sredinama za razaranje stenskog masiva, uglavnom uglja, koriste postupci bezplamenog miniranja. Suština kod ovih postupaka je u tome što potencijalna energija prelazi u koristan rad bez pojave plamena. U ovom slučaju, za obavljanje korisnog rada koriste se inertni gasovi, razne hemijske mešavine i sabijeni vazduh. Kod specijalnih metoda miniranja moguće su i razne kombinacije kako bezplamenih sredstava, tako i ovih sredstava sa klasičnim eksplozivima, odnosno primena konturnog iniciranja u cilju dobijanja što približnije konture podzemne prostorije, a što je suština ovog tehničkog rešenja.

4. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

4.1. CARDOX (KARDOKS) POSTUPAK

Cardox postupak je zasnovan na principu razaranja stenskog masiva dejstvom komprimiranog fluida. Osnovni princip ovog načina miniranja sastoji se u promeni fizičkog stanja materije (u ovom slučaju CO_2) stvarajući pri tom visok pritisak koji vrši razaranje masiva. Princip dejstva Cardox postupka je u načelu veoma jednostavan, a bazira se na velikom povećanju zapremine tečnog ugljen-dioksida pri prelasku iz tečnog u gasovito stanje.

Primena Cardox sistema razaranja operativno je veoma jednostavna. U minske bušotine odgovarajućeg prečnika postavljaju se Cardox čaure koje se iniciraju klasičnom mašinom za paljenje mina. Proces reakcije u Cardox čauri se svodi na povećanje zapremine tečnog ugljen-dioksida kada on pređe u gasovito stanje, što se postiže zagrevanjem termoelementa (10% naftalina i 90% kalijum-hlorata) do temperature od 1170°C . Zagrevanjem tečnog ugljen-dioksida do kritične temperature, on menja agregatno stanje pri čemu povećava zapreminu do 700 puta (dostiže pritisak u čauri od 250 MPa). Usled dejstva pritiska, dolazi do probijanja čeličnog diska u glavi za ispuštanje, a u kontaktu gasa pod pritiskom i okolnog masiva vrši se mehanički rad i razaranje. Intenzitet dejstva Cardox čaure reguliše se debljinom čeličnog diska (od 2,4 mm do 5,2 mm) čime se potisni pritisak dozira u granicama od 126 MPa do 276 MPa i oblikom glave za ispuštanje gasa (dvosmerna, četvorosmerna, sa duplim otvorima i dr.).



Slika 1: Izgled a) i poprečni presek Cardox čaure b)

U primeni je više tipova Cardox čaura, koje se koriste u zavisnosti od radnih uslova, tj. od čvrstoće masiva ili materijala i željene radne sposobnosti čaure. U kombinaciji određene Cardox čaure i debljine sigurnosnog diska, moguće je odabrati najpovoljniji tip čaure za postizanje predviđenog efekta dejstva.

U konsultaciji sa proizvođačem, za industrijsku probu u RMU „Jasenovac“-Krepoljin korišćene su Cardox čaure tipa F57 i F57-L.

U sledećoj tabeli dati su tipovi Cardox čaura sa njihovim karakteristikama i radnim sposobnostima (izlazni pritisak), kao i radnim sredinama u kojima imaju najbolji efekat.



Tabela 1: Tipovi cardox čaura

| TIP ČAURE | B20 | B37 | F57 | F57 L | C74 |
|--------------------------|---------------------------------------|---|---|------------------------------|---|
| Prečnik (mm) | 45 | 34 | 51 | 51 | 64 |
| Dužina (mm) | 686 | 1.118 | 1.246 | 1.753 | 1,093 |
| Masa (kg) | 5,45 | 8,18 | 12,73 | 20 | 16,82 |
| Punjenje (kg) | 0,29 | 0,6 | 0,88 | 1,25 | 1,25 |
| Debljina diska (mm) | 2,8 3,6 | 2,8 3,6 | 2,4 3,6 | 3,6 4,4 5,2 | 3,2 4,8 |
| Pritisak lomljenja (MPa) | 190 236 | 190 236 | 126 190 | 190 236 276 | 126 190 |
| Tip energizera | D45 D62,5 | D62,5 D77,5 | D50 D77,5 | D115 | D120 D145 |
| Prečnik buš. (mm) | 51 | 51 | 57 | 57 | 76 |
| Primena | Sekundarno lomljenje stena ili betona | Eksploatacija uglja ili rude, masivni beton | Eksploatacija rude, uglja i kamena, armirani beton, izrada tunela | Eksploatacija uglja i kamena | Silos, pogoni rudnika nemetala, masivni beton |

4.1.1. Proračun parametara mehanizma dejstva Cardox čaure

Pri proračunu dejstva Cardox čaure razdvojene su tri zone koje se razlikuju po svojim bitnim karakteristikama, a koje su podeljene na:

- Zona A (unutrašnjost Cardox čaure napunjene CO₂)
- Zona B (zona odmah iza lomljivog diska)
- Zona C (zona kontakta gasa i masiva).

Prilikom aktiviranja Cardox čaure dolazi do pojave dve sile, jedne koja deluje upravno na postavljenu čauru ka okolnom masivu i druga koja deluje paralelno sa postavljenom čaurom i koja ima težnju da čauru izbaci iz bušotine, zbog čega je ista opremljena konusnim prstenastim ankerom za zaglavljivanje.

Pritisak na okolnu stenu:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Dobijena vrednost za pritisak od 4,7 MPa pokazuje da ne postoji značajan učinak udara na okolni masiv. Energija detonacije:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$$

Dobijena vrednost energije detonacije od 448 kJ pokazuje da jedna Cardox čaura ima identičan rad kao 0,5 kg sigurnosnog metanskog eksploziva.

Izlazna temperatura CO₂:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Ako se uzme u obzir da je pritisak okruženja $P_t = 0,1 \text{ MPa}$, izlazna temperatura iznosi $194,5^\circ\text{K}$ ($-78,7^\circ\text{C}$) što objašnjava pojavu hlađenja prilikom detonacije.

Brzina rasprostiranja udarnih talasa:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{2}{M_2^2} + (k+1)}{k+1}$$

Dobijena brzina rasprostiranja udarnih talasa od 225 m/sec i Mahov broj $Mc = 0,44$ dokazuju da je glavna odlika dejstva gasa pod pritiskom u potiskivanju okolnog masiva i da nije potrebno vršiti proračune seizmičkih uticaja.

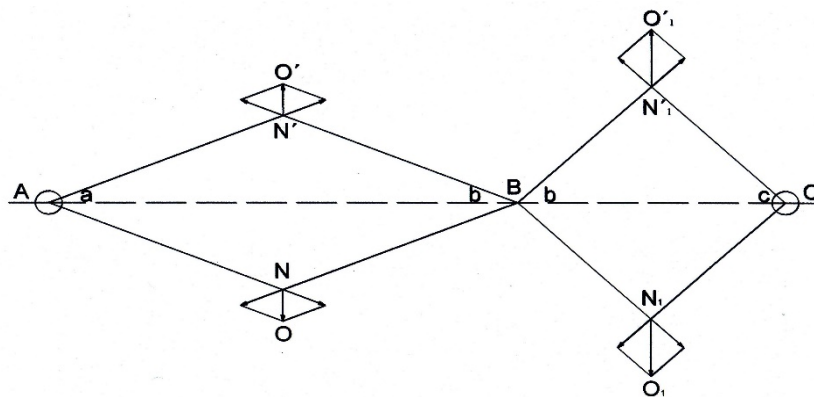
Uzevši u obzir dobijene vrednosti parametara pritiska, temperature, energije detonacije i brzine prostiranja udarnih talasa, dolazi se do zaključka da se potiskujuće dejstvo ostvaruje duž najkraćih diskontinualnih linija u masivu, a ne prema najbližoj slobodnoj površini.

4.2 TEORIJSKE OSNOVE KONTURNOG MINIRANJA

Najpovoljniji rezultati konturnog miniranja postižu se kod homogenih stenskih masa sa minimalnim brojem ravni slojevitosti, dok u prirodno raspucalim stenskim masama dolazi do smicanja i ispadanja pojedinih komada stenske mase, pa time i do slabljenja efekta konturnog miniranja. Pri iniciranju eksploziva u minskoj bušotini stvara se eksplozivni talas koji se, šireći se kroz stensku masu, razlaže na longitudinalne i transverzalne talase. Longitudinalni talas se kreće kroz radnu sredinu po pravcu, transverzalni talas omogućava poprečno kretanje čestice stenske mase, pa je njihov uticaj na stenski masiv slabiji.

Pri istovremenom iniciranju dva ili više minskih punjenja, dolazi do stvaranja cilindričnog fronta napona eksplozivnih talasa koji se kružno šire oko svakog punjenja. Uticaj radijalnih napreznja u stenskoj masi kao posledica trenutnog iniciranja dva punjenja prikazan je grafički na slici 2.

Ako se izvrši istovremeno iniciranje u tačkama A i B, koje predstavljaju minske bušotine, u tačkama N i N' pojavljuju se naponi na istezanje NO i N'O' koji predstavljaju rezultante radijalnih napreznja oko svake bušotine, a pravac delovanja tih rezultanti je upravan na ravan AB, pri čemu se radijalne pukotine šire u produženu pukotinu a-b, po kojoj se vrši cepanje stenske mase, odnosno stvaraju pukotine pri konturnom miniranju.



Slika 2. Uzajamno dejstvo cilindričnih minskih punjenja



Smanjenje rastojanja između minskih bušotina pri istovetnim uslovima dejstva eksploziva dovodi do veće vrednosti naprežanja, što se pozitivno odražava na cepanje stenskog masiva, odnosno stvaranje pukotine pri konturnom miniranju.

Na rezultate pri izradi podzemnih prostorija konturnim miniranjem utiče niz faktora i to: vrsta eksploziva, gustina punjenja, brzina širenja talasa, rastojanje između minskih bušotina, prečnik minskih bušotina, prečnik patrone eksploziva, konstrukcija i oblik minskih punjenja kao i redosled paljenja mina.

Da bi se obezbedila ravna kontura novoobrazovane slobodne površine, analizira se jednačina opadanja pritiska P_t u vremenu, koja je data u obliku:

$$P_t = P_0 \cdot e^{-dt}$$

gde su:

- P_0 – početni pritisak produkata detonacije;
- d – koeficijent prigušenja pritiska;
- t – vreme od početka razlaganja do momenta posmatranja.

Očigledno je da se smanjenje početnog pritiska jedino može postići povećanjem koeficijenta prigušenja, što je praktično izvodljivo na više načina: primenom malog prečnika patrone, vazдушnim međučepovima ili posebnim konstrukcijama eksplozivnog punjenja.

Gustina eksploziva i pritisak detonacije po jedinici površine minske bušotine su u direktnoj zavisnosti, jer se smanjenjem gustine eksploziva smanjuje i pritisak detonacije. Sa smanjenjem pritiska detonacije smanjuje se i sila razaranja stenskog masiva, smanjujući se do vrednosti naprežanja na pritisak za stenski masiv u kome se izvode radovi, čime se učinak pritiska detonacije svodi na minimalno oštećenje masiva, a jedino naprežanje na istezanje, kao rezultat radialnog napona, stvara pukotine između konturnih minskih bušotina. Prazne minske bušotine oslabljuju stenski masiv baš po pravcu otvaranja pukotina, odnosno po površini na koju deluju naponi istezanja.

Gustina punjenja eksploziva po dužnom metru bušotine može se regulisati na više načina, ali se najčešće koristi ostavljanje vazдушnih čepova između pojedinih patrona eksploziva u bušotini.

Količina eksploziva po minskoj bušotini za konturno miniranje može se izračunati po formuli:

$$Q_m = k \cdot w^2 - q_0$$

gde su:

- Q_m – količina eksploziva;
- k - koeficijent punjenja bušotine;
- w - linija najmanjeg otpora (m);
- q_0 - specifična potrošnja eksploziva (kg/m^3)

Uticao prečnika minske bušotine i prečnika patrone eksploziva međusobno su povezani, a što je rezultat manjeg pritiska detonacije po jedinici površine minske bušotine. Poznato je da veći prečnik minske bušotine u odnosu na prečnik punjenja smanjuje pritisak detonacije.

Rastojanje između konturnih minskih bušotina pri izradi podzemnih prostorija zavisi od veličine poprečnog preseka prostorije i koeficijenta čvrstoće stenskog masiva. U tabeli 2. date su orijentacione vrednosti rastojanja između konturnih bušotina (a) u zavisnosti od koeficijenta čvrstoće (f) i koeficijenta raspucalosti (k_r).

Rastojanje između konturnih bušotina analitički se određuje pomoću obrazaca:



$$a = (12 - 15) d_m$$

gde je: d_m – prečnik bušotine

$$a = 0,95\sqrt{W} \quad (\text{cm})$$

gde je:

W – linija najmanjeg otpora.

Tabela 2: Rastojanje između konturnih bušotina

| Koeficijent čvrstoće (f) | Stepen raspucalosti (k_r) | | |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | Monolitne $k_r = 1$ | Slabo raspucale $k_r = 0,5$ | Jako raspucale $k_r = 0$ |
| 6 - 8 | 0,45 - 0,35 | 0,55 - 0,45 | 0,65 - 0,55 |
| 8 - 10 | 0,35 - 0,30 | 0,45 - 0,40 | 0,55 - 0,50 |
| 10 - 12 | 0,30 - 0,25 | 0,40 - 0,35 | 0,50 - 0,45 |

Linija najmanjeg otpora se izračunava obrascem:

$$W = \frac{a}{m}$$

gde je: a – rastojanje između konturnih mina;

m – koeficijent zbližavanja mina (za čvrste stene iznosi 1,1 – 1,3 a kod mekših stena 0,8 – 0,9).

Rastojanje između konturnih mina i prvog reda odbojnih mina zavisi od čvrstoće stenskog masiva i primenjene vrste eksploziva. Ovo rastojanje se određuje orijentaciono obrascem:

- Kod čvrstih stena

$$V_p = W + (0,2 - 0,3) \quad (\text{m})$$

- Kod slabih stena

$$V_p = W + (0,4 - 0,5) \quad (\text{m})$$

Potreban broj konturnih mina zavisi od linije najmanjeg otpora (W) i obima prostorije bez podine (P_0) i računa se po obrascu:

$$N_k = 1,05 \frac{P_0}{\sqrt{W}}$$

Pored ovog obrasca, za orijentaciono određivanje potrebnog broja konturnih minskih bušotina koristi se i sledeći obrazac:

$$N_k = 0,34 \cdot N$$

gde je: N – broj odbojnih minskih bušotina.

Ukupan broj minskih bušotina pri konturnom miniranju određuje se obrascem:

$$N_u = \frac{27 \cdot \sqrt{S - W(P - v \cdot W)}}{\sqrt{1,5 \cdot V_{\max} + 2,5}} + 1,05 \frac{P_0}{\sqrt{W}}$$



- gde su : S - iskopna površina;
W - linija najmanjeg otpora;
P₀ - obim prostorije bez poda;
V_{max} – pokazatelj drobljivosti.
V_{max} = 67/f – 1,7 (cm³)
v - koeficijent oblika poprečnog preseka prostorije čija je vrednost data u tabeli 3.

Tabela 3: Vrednost koeficijenta oblika poprečnog preseka

| Oblik poprečnog preseka | Koeficijent v za prostorije | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------|
| | vertikalne | horizontalne |
| kružni | 3,14 | - |
| pravougaoni | 4,00 | 2,00 |
| trapezni | - | 2,00 |
| zasvođeni | - | 1,80 |

Veličina optimalnog specifičnog punjenja konturnih minskih bušotina (q₀) u zavisnosti je od koeficijenta raspucalosti (k_r) i iznosi:

- za k_r = 1 q₀ = 0,98 · W – 0,032 · W · V_{max}
- za k_r = 0,5 q₀ = 0,69 · W – 0,016 · W · V_{max}
- za k_r = 0 q₀ = 0,4 · W

U slučaju opterećenja masiva ranije otpucalim materijalom neophodno je uvećati dobijenu vrednost specifičnog punjenja za 25%. Na osnovu dobijenog specifičnog punjenja bira se jačina eksploziva.

Količina eksploziva konturne minske bušotine računa se na osnovu koeficijenta raspucalosti (k_r) i iznosi:

- za k_r = 1 Q_b = 0,98 · W³ · l_b – 0,032 · V_{max} · W · l_b (kg)
- za k_r = 0,5 Q_b = 0,69 · W³ · l_b – 0,016 · V_{max} · W · l_b (kg)
- za k_r = 0 Q_b = 0,4 · W · l_b (kg)

Ukoliko se pri konturnom miniranju koristi ostavljanje međuprostora između patrona eksploziva, njihov broj se određuje iz obrasca:

$$N_{\varepsilon} = \frac{l_b \cdot q_0}{q_1} - 1$$

Dužina međuprostora između patrona eksploziva računa se po obrascu:

$$l_1 = \frac{l_b}{N_{\varepsilon}} \left(1 - \frac{l_3 \cdot q}{q_1} \right) \quad (\text{m})$$

gde su: q₁ – težina patrone ili dela patrone

l₃ - dužina raspoređenog dela ili cele patrone duž bušotine.



5. PROVERA TEHNIČKOG REŠENJA IZRADE RUDARSKIH PROSTORIJA KOMBINOVANOM METODOM MINIRANJA

Cardox postupak i konturno miniranje testirani su u jami Rudnika mrkog uglja „Jasenovac“ – Krepoljin. Za ovu metodu planiran je otkopni revir postojećeg dela jame sa nivoa Ventilacionog niskopa VN-5 (Otkopno polje OP-4) i sa nivoa Etažnog hodnika EH-1 (Otkopno polje OP-5).

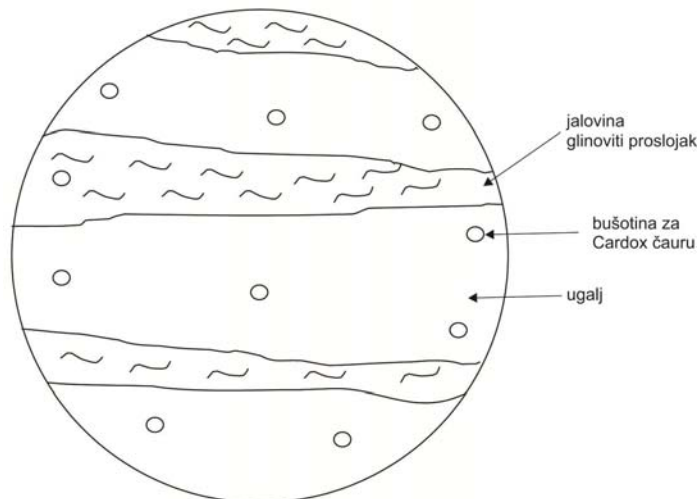
U sklopu priprema za primenu Cardox postupka urađen je Uprošćeni rudarski projekat primene „CARDOX“ postupka za miniranje u skladu sa DRP „Stubne etažno-prečne „V“ metode otkopavanja u jami Rudnika mrkog uglja Jasenovac, Krepoljin“. Pored urađenog Uprošćenog rudarskog projekta, izvršeno je reatestiranje opreme za „CARDOX“ postupak od strane Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Centra za protiveksplozivnu zaštitu – CENEX.

Od strane RMU „Jasenovac“-Krepoljin izvršena je nabavka sledeće opreme:

- Sistem za punjenje (postolje, CO₂ pumpa, isparivač, digitalna vaga i ključevi za servisiranje) 1 kom.
- Cardox čaura tipa F57 25 kom.
- Rotaciona bušilica na komprimovani vazduh tipa „Viktor“ 5 kom.
- Bušaća spiralna šipka Ø54 mm, l=2,00 m 10 kom.
- Dvopera kruna za bušenje uglja Ø58 mm 20 kom.
- Komplet potrošnog materijala za opremanje Cardox čaura 1.500 kom.

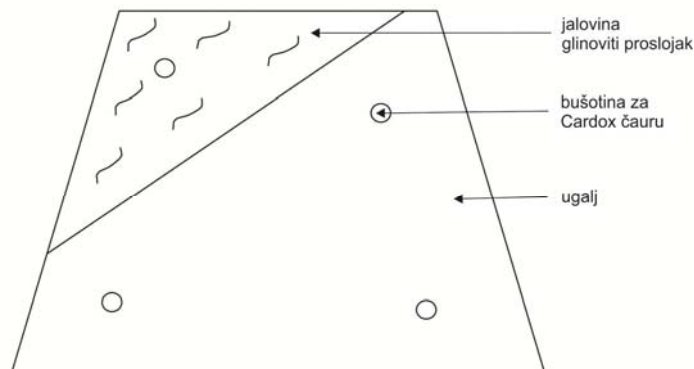
Kod primene samo Cardox sistema za izradu rudarskih prostorija, uočeni su nedostaci primene ovog sistema kao jedinog za izradu rudarskih prostorija. Proban je različiti broj cardox čaura na čelu radilišta i uočeno je da samo relativno mali broj čaura daje pun efekat (tri do pet) dok ostale moraju biti aktivirane radi izbivanja poprečnog profila u punom obimu. Karakteristični rezultati miniranja ovim postupkom prikazani su na slici 3 (kružni oblik poprečnog preseka) i slici 4 (trapezni oblik poprečnog preseka).

| | |
|------------------------------------|---|
| NAZIV PROSTORIJE: | ETAŽNI HODNIK EH-1 |
| STACIONAŽA: | 0 + 52,4 |
| PRETHODNO MINIRANJE: | EKSPLOZIV |
| POPREČNI PROFIL: | Ø 3500 mm |
| BROJ UPOTREBLJENIH ČAURA: | 10 |
| BROJ OTPUCALIH ČAURA: | 10 |
| MERENJE IZBOJNOG PROFILA u %: | 80 |
| PROCENA GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA: | Preko 60 % krupnoće iznad 30 mm |
| PRIMEDBE I NAPOMENE: | U krovinskom delu ostao neotpucan deo jalovine. |



Slika 3. Kružni oblik poprečnog preseka (Cardox)

BROJ OTPUCALIH ČAURA: 4
MERENJE IZBOJNOG PROFILA u %: 75
PROCENA GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA: Oko 70 % krupnoće iznad 30 mm
PRIMEDBE I NAPOMENE: Čaure su aktivirane. Loše je efekte imala čaura u jalovom delu profila. Svuda vršena dorada profila.

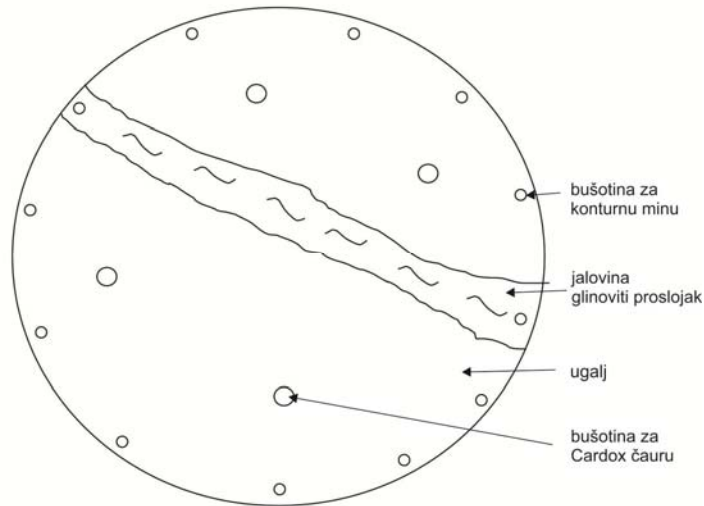


Slika 4. Trapezni oblik poprečnog preseka (Cardox)

Pošto je cena koštanja, opremanja i aktiviranja Cardox čaura mnogo veća od klasičnog eksploziva predloženo je da se pređe na kombinovano miniranje primenom Cardox postupka i konturnim miniranjem.

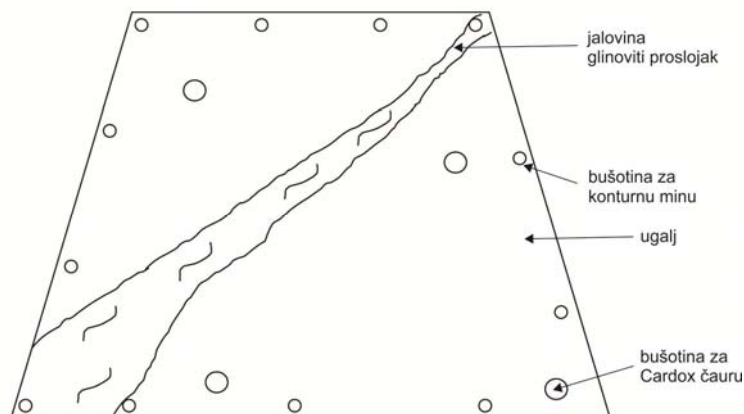
Pri izboru načina konturnog miniranja, uzeto je u obzir da je svrha konturnog miniranja uglavnom završna obrada profila, pošto se Cardox postupkom izvrši oko 80% neophodnog mehaničkog rada. Da bi se projektovani profil izradio uz što manje vankonturnog izboja, odlučeno je da se primene konturna razdvojena minska punjenja sa vazдушnim međučepom. Ovakav način je odabran zbog jednostavnosti primene i same potrebe za malim mehaničkim radom koje treba da ostvare konturne mine. Karakteristični rezultati miniranja ovim postupkom prikazani su na slici 5 (kružni oblik poprečnog preseka) i slici 6 (trapezni oblik poprečnog preseka).

| | |
|------------------------------------|---|
| BROJ PROFILNIH BUŠOTINA: | 12 |
| KOLIČINA EKSPLOZIVA PO BUŠOTINI: | |
| U KROVINI | 100 g |
| U BOKOVIMA | 100 g |
| PO PODINI | 200 g |
| MERENJE IZBOJNOG PROFILA u %: | 100 |
| PROCENA GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA: | Oko 70 % krupnoće iznad 30 mm |
| PRIMEDBE I NAPOMENE: | Skoro potpuni iskop poprečnog profila. Uz manje dorade ugrađen okvir. |



Slika 5. Kružni oblik poprečnog preseka (Cardox i konturno miniranje)

| | |
|------------------------------------|--|
| BROJ OTPUCALIH ČAURA: | 4 |
| BROJ PROFILNIH BUŠOTINA: | 12 |
| KOLIČINA EKSPLOZIVA PO BUŠOTINI: | |
| U KROVINI | 100 g |
| U BOKOVIMA | 100 g |
| PO PODINI | 200 g |
| MERENJE IZBOJNOG PROFILA u %: | 100 |
| PROCENA GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA: | Oko 60 % krupnoće iznad 30 mm |
| PRIMEDBE I NAPOMENE: | Dobijen pun izbojni profil. Istovremeno vršeno iniciranje Cardox čaura i profilnih mina. Ugrađena dva trapezna okvira. |



Slika 6. Trapezni oblik poprečnog preseka (Cardox i konturno miniranje)

Primenom nekonvencionalnih metoda u izradi rudarskih prostorija kroz ugaj ostvareni su rezultati koji su potvrdili opravdanost uvođenja ovakvog načina izrade rudarskih prostorija.

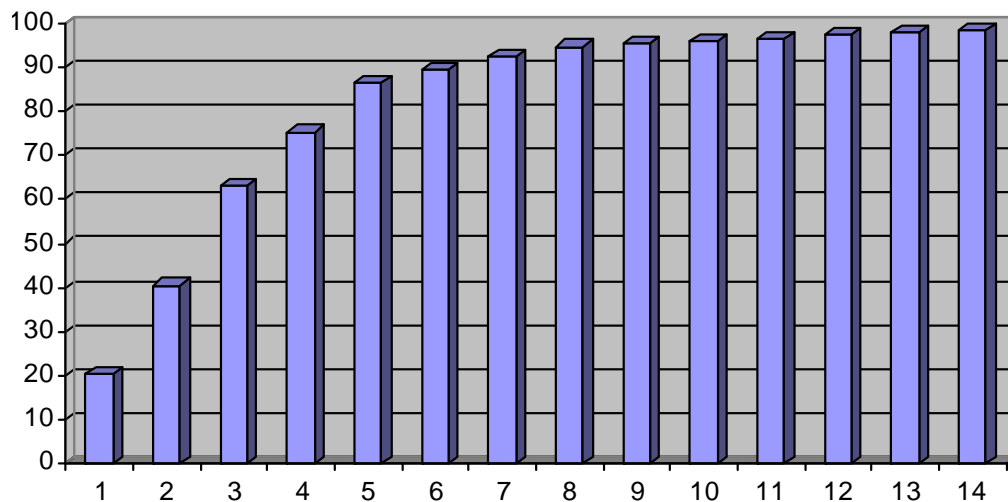
Kombinacijom primene Cardox postupka i konturnog miniranja, ostvareni rezultati su povoljniji nego kod klasičnog načina izrade primenom bušačko-minerskog rada i ogledaju se u sledećem:

- Vreme potrebno za izradu (bušenje) minskih bušotina je smanjeno za 30%, jer je potrebno izbušiti prosečno 6 bušotina manje bez obzira na oblik poprečnog profila rudarske prostorije;
- Upotrebom 1,30 kg do 1,80 kg eksploziva po ciklusu smanjeno je vreme potrebno za provetravanje radilišta za više od 50%;
- Smanjeno je vreme potrebno za opremanje bušotina i povezivanje punjenja srazmerno broju punjenja (za 30%);
- Konturno miniranje omogućava veoma preciznu izradu kontura prostorije, pa je potreba za naknadnim doradama svedena na minimum. Pored ovoga, vankonturni iskop je zanemarljiv, pa nisu potrebni dodatni radovi na podgrađivanju.

Uzimajući u obzir navedene ostvarene rezultate, realno je ostvarivo povećanje dinamike izrade rudarskih prostorija za 40%. Primenom nekonvencionalnih metoda izrade rudarskih prostorija, realno je ostvarena dinamika izrade prostorija od 70,00 m/mes, za razliku od predhodnih 50,00 m/mes.

Pored ovih pozitivnih efekata primene nekonvencionalnih metoda pri izradi rudarskih prostorija, na primeru Etažnog hodnika EH-1 evidentna je i bolja nosivost ugrađene podgrade, a samim tim i veća trajnost izrađene prostorije. Pošto je nakon 3 godine od vremena izrade prostorije ona još bila u funkcionalnom stanju, sa vidno manjim deformacijama ugrađene podgrade nego na deonicama izrađenim na klasični način.

Na slici 7 dat je grafikon koji pokazuje odnos broja upotrebljenih Cardox čaura i procentualno ostvaren izboj željenog poprečnog preseka rudarske prostorije.



Slika 7. Procentualno ostvarenje izboja poprečnog profila



5.1. ANALIZA GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA

Primenom nekonvencionalnih metoda pri izradi rudarskih prostorija ostvareno je drastično uvećanje komercijalnih frakcija uglja u odnosu na isti asortiman pri izradi primenom bušačko-minerskog rada.

Procentualno učešće klase krupnoće iznad 30 mm se kreće u granicama od 55% do 65%, najviše u zavisnosti od potrebnog broja konturnih minskih punjenja.

U toku vršenja eksperimentalne probe primene Cardox postupka za izradu rudarskih prostorija, ostvareno je učešće sledećih asortimana (tabela 4).

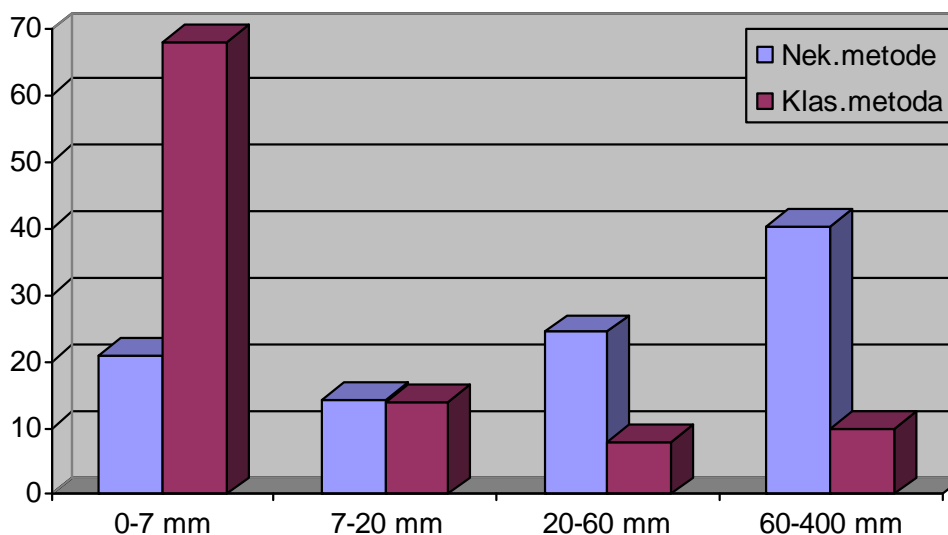
Tabela 4: Procentualno učešće asortimana

| Asortiman | Krupnoća u mm | Učešće u % |
|-----------|---------------|------------|
| Komad | -400+60 | 40,27 |
| Kocka | -60+20 | 24,56 |
| Grah | -20+7 | 14,26 |
| Sitan | -7+0 | 20,91 |
| UKUPNO | | 100 |

Procentualno učešće krupnijih frakcija od 30 mm kod upotrebe Cardox postupka nije direktno u vezi sa brojem upotrebljenih čaura, dok je kod primene eksploziva u direktnoj vezi sa količinom eksploziva koji se upotrebi prilikom izrade rudarske prostorije.

Uzevši u obzir dobijene rezultate, primena kombinovane metode miniranja pri izradi rudarskih prostorija omogućava dobijanje tri puta veće količine frakcija krupnoće iznad 30 mm, što je i bio jedan od ciljeva njihove primene.

Na slici 8 dat je dijagram na kome se vidi poređenje dobijenih frakcija primenom klasičnog eksploziva i primenom nekonvencionalnih metoda izrade jamskih rudarskih prostorija.



Slika 8. Uporedni dijagram frakcija uglja pri izradi prostorija



5.2. ANALIZA EKONOMSKIH EFEKATA

Primena Cardox postupka iziskuje povećane troškove izrade rudarskih prostorija. Do kombinacije ove dve metode je i došlo iz razloga smanjenja troškova izrade rudarskih prostorija, uz maksimalno poštovanje tehničko-tehnoloških parametara izrade prostorija.

Pored uvećanih troškova izrade, svi ostali parametri, kao što su učešće komercijalnih asortimana uglja, povećana trajnost rudarskih prostorija, minimalan vangabaritni iskop, minimalni dodatni radovi na podgrađivanju su povoljniji, što se na kraju vidi i kroz povoljnije finansijske parametre pri izradi rudarskih prostorija kroz ugalj primenom nekonvencionalnih metoda izrade.

U tabeli 5 dati su troškovi izrade rudarske prostorije kroz ugalj, podgrađene čeličnom kružnom popustljivom podgradom na osnovu rastojanju od 1,00 m sa potpunim zalogom primenom klasičnog bušačko-minerskog rada.

Tabela 5: Cena izrade 1m prostorije klasičnom metodom

| Red.br. | Naziv troška | Jedinica mere | Količina | Cena po jedinici mere [€] | Ukupno [€] |
|---------|-----------------------|----------------------|----------|---------------------------|---------------|
| 1 | Radna snaga | nad | 5,50 | 54,4 | 299,20 |
| 2 | Podgrada | kg | 270,00 | 1,10 | 297,00 |
| 3 | Vezni elementi | kom | 8,00 | 7,80 | 62,40 |
| 4 | Rezana građa | m ³ | 0,50 | 95,0 | 47,50 |
| 5 | Eksplziv | kg | 6,50 | 1,50 | 9,75 |
| 6 | Električni detonatori | kom | 25 | 1,20 | 30,00 |
| 7 | Ostali troškovi | 20 % na troškove 1-6 | | | 149,17 |
| 8 | UKUPNO | | | | 895,02 |

U tabeli 6 dati su troškovi izrade rudarske prostorije kroz ugalj, podgrađene čeličnom kružnom popustljivom podgradom na osnovu rastojanju od 1,00 m sa potpunim zalogom, primenom Cardox postupka i profilnim miniranjem

Tabela 6: Cena izrade 1m prostorije nekonvencionalnom metodom

| Redni broj | Naziv troška | Jedinica mere | Količina | Cena po jedinici mere [€] | Ukupno [€] |
|------------|-----------------------|----------------------|----------|---------------------------|---------------|
| 1 | Radna snaga | nad | 5,50 | 54,40 | 299,20 |
| 2 | Podgrada | kg | 270,00 | 1,10 | 297,00 |
| 3 | Vezni elementi | kom | 8,00 | 7,80 | 62,40 |
| 4 | Rezana građa | m ³ | 0,50 | 95,00 | 47,50 |
| 5 | Eksplziv | kg | 1,60 | 1,50 | 2,40 |
| 6 | Električni detonatori | kom | 12 | 1,20 | 14,40 |
| 7 | Komplet za Cardox | kom | 4 | 12,00 | 48,00 |
| 8 | Ostali troškovi | 20 % na troškove 1-7 | | | 154,18 |
| 9 | UKUPNO | | | | 925,08 |

Iz priloženih tabela se vidi da cena izrade rudarske prostorije primenom Cardox postupka i profilnim miniranjem ne utiče znatno na povećanje cene izrade dužnog metra jamske prostorije, tj. uvećanje je svega 3,4 %, što je zanemarljivo.

Jedan od glavnih razloga izvođenja eksperimenta je bio uvećanje granulometrijskog sastava odminiranog uglja, a samim tim i uvećano učešće komercijalnih asortimana čime se



postizu bolji finansijski efekti uzevši u obzir odnos cena industrijskih i komercijalnih frakcija. Iz dijagrama na slici 8 jasno se vidi odnos učešća asortimana pri različitim vrstama izrade podzemnih prostorija.

U tabeli 7 dat je prikaz prihoda od uglja kod izrade rudarskih prostorija klasičnim načinom izrade primenom bušačko-minerskog rada.

Tabela 7: Prihod od uglja kod klasične izrade

| Redni broj | Asortiman i dimenzije | Proc. učešće | Cena po jedinici | Količina | Prihod |
|------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|---------------|
| | [mm] | [%] | [€/t] | [t] | [€] |
| 1 | Komad -400+60 mm | 10 | 56,36 | 1,32 | 74,40 |
| 2 | Kocka -60 +20 mm | 8 | 39,23 | 1,06 | 41,58 |
| 3 | Grah -20 + 7 mm | 14 | 19,97 | 1,85 | 36,95 |
| 4 | Sitan -7 + 0 mm | 68 | 18,76 | 8,97 | 168,27 |
| 5 | UKUPNO | 100 | - | 13,20 | 321,20 |

Upoređujući tabele broj 5 i 6 može se videti da cena izrade 1m jamske prostorije podgrađene čeličnom kružnom popustljivom podgradom iznosi **895,02€**, a da je prihod od uglja dobijenog njenom izradom **321,20€** iz čega se jasno vidi da je pokrivenost troškova izrade jamske prostorije klasičnom izradom svega **35,89%**.

U tabeli 8 dat je prikaz prihoda od uglja kod izrade rudarskih prostorija primenom Cardox postupka i profilnim miniranjem.

Tabela 8: Prihod od uglja kod izrade primenom Cardox postupka i profilnim miniranjem

| Redni broj | Asortiman i dimenzije | Proc. učešće | Cena po jedinici | Količina | Prihod |
|------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|---------------|
| | [mm] | [%] | [€/t] | [t] | [€] |
| 1 | Komad -400+60 mm | 40,27 | 56,36 | 5,32 | 299,86 |
| 2 | Kocka -60 +20 mm | 24,56 | 39,23 | 3,24 | 127,10 |
| 3 | Grah -20 + 7 mm | 14,24 | 19,97 | 1,88 | 37,54 |
| 4 | Sitan -7 + 0 mm | 20,91 | 18,76 | 2,76 | 51,78 |
| 5 | UKUPNO | 100 | - | 13,20 | 516,30 |

Upoređujući tabele 7 i 8 može se konstatovati uvećanje prihoda od uglja za **195,06€** po dužnom metru izrađene rudarske prostorije, što je uvećanje od **60,7 %**.

Upoređujući tabele 6 i 8 može se videti da cena izrade 1m jamske prostorije podgrađene čeličnom kružnom popustljivom podgradom iznosi **925,08€**, a da je prihod od uglja dobijenog njenom izradom **516,30€** iz čega se jasno vidi da je pokrivenost troškova izrade jamske prostorije primenom Cardox postupka i profilnim miniranjem **55,80%**. I pored uvećane cene izrade rudarskih prostorija primenom nekonvencionalnih metoda, eksperimentom je dokazano da je isplativost izrade uvećana za oko **20%**.



6. ZAKLJUČAK

Primenom predloženog tehničkog rešenja izvršena je provera mogućnosti primene nekonvencionalnih metoda izrade podzemnih prostorija u našim rudnicima uglja. Kao eksperimentalni poligon za ova istraživanja izabran je rudnik uglja "Jasenovac" u Krepoljinu. Cardox sistem i konturno miniranje pri izradi podzemnih rudarskih prostorija kroz ugali primenjen je kao eksperimentalna industrijska proba u ovom rudniku. Radovi na primeni Cardox postupka izvođeni su kao pojedinačna pokazna miniranja, izrađene su kompletne rudarske prostorije kao i razne kombinacije Cardox sistema sa eksplozivnim sredstvima za konturno miniranje u cilju dobijanja što kvalitetnije podzemne prostorije. Tokom sprovođenja eksperimenta primene nekonvencionalnih metoda izrade podzemnih prostorija došlo se do sledećih zaključaka:

1. Primena Cardox sistema miniranja je usvojena od strane radnika RMU „Jasenovac“ u svim bitnim elementima od pripreme čaura, njihovog održavanja, reparacije kao i primene u realnim uslovima pri izradi rudarskih prostorija.
2. Samostalno korišćenje Cardox postupka pri izradi rudarskih prostorija je moguće, ali je potrebna upotreba velikog broja čaura na radilištu što drastično uvećava cenu izrade, a u slučaju upotrebe nedovoljnog broja čaura, neophodni su znatni dodatni radovi na obradi profila što usporava i poskupljuje izradu.
3. Najbolji rezultati postignuti su kombinacijom Cardox sistema i klasičnih eksplozivnih sredstava, korišćenih kao pomoćno sredstvo za obradu profila rudarskih prostorija. Za izradu rudarskih prostorija optimalno je konturno miniranje zbog male količine upotrebljenog eksploziva i zanemarljivog vangabaritnog iskopa. Vankonturni iskop se kretao, u zavisnosti od radne sredine, od 3% do 9%, dok kod klasičnog bušačko-minerskog rada on se može kretati i do 50%.
4. Smanjenjem vremenskog trajanja pojedinih tehnoloških operacija koje i iziskuju najviše vremena pri izradi (provetravanje i bušenje minskih bušotina, manji obim radova na utovaru) omogućeno je brže izvođenje radnih ciklusa, tako da je realno uvećanje dinamike izrade rudarskih prostorija za 40%, sa sadašnjih 50 na 70 metara mesečno.
5. Zbog karakteristika Cardox sistema (oslobađanje samo ugljen-dioksida) i male količine upotrebljenog eksploziva (1,3 kg do 1,8 kg), izvršena je humanizacija radnog mesta na čelu radilišta zbog malog učešća nitroznih gasova i male zaprašenosti pa je sam rad na izradi rudarskih prostorija lakši.
6. Primenom Cardox sistema i konturnog miniranja drastično je poboljšan granulometrijski sastav odminiranog uglja, odnosno dobijene su krupnije komercijalne frakcije, pa su finansijski efekti značajni.
7. Stabilnost rudarskih prostorija je osetno veća, što je dokazano na izradi Etažnog hodnika EH-1, gde je deonica izrađena nekonvencionalnim metodama imala ubedljivo najmanje deformacije podgradnih okvira, iako su deonice izrađene u vrlo teškim rudarsko-geološkim uslovima. To u znatnoj meri smanjuje troškove održavanja već izrađene prostorije, odnosno troškove permanizacije, koji su veoma prisutni u ovom rudniku.

Uzevši u obzir sve rezultate primene Cardox sistema i konturnog miniranja, dobijenih tokom eksperimentalnog rada u realnim uslovima, može se konstatovati da je primena nekonvencionalnih metoda u našim uslovima moguća. Tehno-ekonomski pokazatelji u potpunosti opravdavaju ovu tvrdnju.



LITERATURA

1. S. Ognjanović: NEKONVENCIONALNE METODE IZRADE PODZEMNIH PROSTORIJA, Magistarski rad, RGF Beograd, 2012.
2. G. Stančić: ISTRAŽIVANJE TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH PARAMETARA PRIMENE „CARDOX“ SISTEMA PRI PODZEMNOJ EKSPLOATACIJI LEŽIŠTA UGLJA, Magistarski rad, RGF Beograd, 2009.
3. D. Gagić: UPROŠĆENI RUDARSKI PROJEKAT PRIMENE „CARDOX“ POSTUPKA ZA MINIRANJE U SKLADU SA DRP „STUBNO ETAŽNO-ETAŽNO PREČNE „V“ METODE OTKOPAVANJA U JAMI RUDNIKA MRKOG UGLJA JASENOVAC, KREPOLJIN, RGF Beograd, 2006.
4. Cardox Ltd: TEHNIČKO UPUTSTVO ZA PRIMENU CARDOX POSTUPKA MINIRANJA, Engleska, 2002.
5. N. Vidanović i drugi: GODIŠNJI IZVEŠTAJI PO PROJEKTU TR 33029, RGF 2011-2015.
6. Razni autori: Tehnička dokumentacija RMU „Jasenovac“ Krepoljin.