ISSN 2303-5145 (print)
ISSN 2303-5161 (online)

GLASNIK

RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

JOURNAL OF FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND CIVIL ENGINEERING

2024. GODINA / YEAR
Broj 12/ Vol. 12
2024/12

Naučno-stručni časopis za istraživanje u naučnim poljima 1, 5, 2.1 i 2.7 (Frascati)
Scientific-Professional Journal for Research in Fields of Science 1, 5, 2.1 and 2.7 (Frascati)

GLASNIK RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

ISSN 2303-5145 (Print)
ISSN 2303-5145 (Online)

DOI 10.51558/2303-5161

Izdavač
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

Za izdavača
Prof.dr.sc. Kemal Gutić

Glavni i odgovorni urednik
Prof.dr.sc. Sunčica Mašić
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
Univerzitetska 2, 75000 Tuzla, BiH
Tel. +387 35 320 582
e-mail: suncica.masic @untz.ba, suncica.masic@gmail.com

Tehnički urednik online izdanja
Prof.dr.sc. Tihomir Knežiček
Tel. +387 35 320 571
e-mail: tihomir.knezicek@untz.ba

UREĐIVAČKI ODBOR
Rejhana Dervišević
Tihomir Knežiček
Kemal Gutić
Nedim Suljić
Sejfudin Vrabac
Jelena Marković
Sunčica Mašić
Senaid Salihović
Izet Žigić
Dinka Pašić-Škripić
Izudin Bajrektarević
Omer Musić
Nedžad Alić
Kenan Mandžić
Zvjezdan Karadžin
Adnan Hodžić
Ismet Gušić
Damir Zenunović
Adila Nurić
Eldar Husejnagić

MEĐUNARODNI SAVJETODAVNI ODBOR
Stjepan Ćorić, Austrija
Radomir Folić, Srbija
Hazim Hrvatović, Bosna i Hercegovina
Ivan Vrkljan, Hrvatska
Dubravka Bjegović, Hrvatska
Biljana Kovačević-Zelić, Hrvatska
Dunja Aljinović, Hrvatska
Tarik Kupusović, Bosna i Hercegovina
Azra Kurtović, Bosna i Hercegovina
Stjepan Lakušić, Hrvatska
Oleg Mandić, Austrija
Vladimir Simić, Srbija
Rade Jelenković, Srbija
Enver Mandžić, Bosna i Hercegovina
Damir Markulak, Hrvatska
Esad Mešić, Bosna i Hercegovina
Violeta Mirčevska, Makedonija
Krzysztof Kotwic, Poljska
Esad Prohić, Hrvatska
Ahmed El Sayed, Bosna i Hercegovina
Predrag Miščević, Hrvatska
Mirza Ponjavić, Bosna i Hercegovina
Vlastimir Radonjanin, Srbija
Danilo Ristić, Makedonija
Ljupko Rundić, Srbija
Phalguni Sen, Indija
Rade Tokalić, Srbija

DTP
Rešad Grbović

Print
Oxygen d.o.o.

Tiraž
50

GLASNIK RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

Tuzla, 2024.

UNIVERZITET U TUZLI
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
Urfeta Vejzagića 2, 75000 TUZLA
tel. +3987 35 320 550 Fax. +387 35 320 570
www.rgf.untz.ba

Poštovani, čast i zadovoljstvo mi je pozvati Vas da učestvujete na Simpozijumu „Potencijali mineralnih sirovina u životnoj funkciji čistog zraka, vode i zemlje, sa aspekta ekološko-energetskih trendova, Tuzla 2024."

L O W E²

Life Oxygen Water Earth

Teme:
- Strateški mineralne sirovine EU/BiH
- Eksploatacija metaličnih mineralnih sirovina
- Eksploatacija nemetaličnih mineralnih sirovina
- Aktuelni međunarodni projekti, nanotehnologije

Prilog: program/agenda/protokol

Simpozij će se održati 18.04.2024. godine sa početkom od 08,00 sati do 17,00 sati, u amfiteatru Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta

DEKAN

Dr.sc. Kemal Gušić, red.prof.

SIMPOZIJ

„Potencijali mineralnih sirovina u životnoj funkciji čistog zraka, vode i zemlje, sa aspekta ekološko-energetskih trendova, Tuzla 18. april 2024."

L O W E²

Life Oxygen Water Earth

Potencijali mineralnih sirovina u životnoj funkciji čistog zraka, vode i zemlje, s aspekta ekološko energetskih trendova, naziv je simpozija koji je u Tuzli organizirao Rudarsko-geološko-građevinski fakultet. Cilj je bio ukazati na stateške mineralne sirovine u Bosni i Hercegovini, te kako da se naša zemlja pozicionira u odnosu na istraživanja i eksploataciju, uz istovremeno projektovanje i izradu kvalitetnih ekoloških rješenja. Također, cilj je bio potaknuti interes javnosti za ovu oblast, posebno kod mladih ljudi.

U sklopu Simpozija promovisana je izdavačke djelatnost Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta, te potpisani sporazumi o saradnji sa IBH-HEROLD & PARTNER INGENIEURE Part mbB Njemačka i Fakultetom inženjerstva i prirodnih nauka Univerziteta u Zenici.

Na otvaranju Simpozija prigodnim govorom se obratila Ms Antonella Di Sandri, Head of Operations Section for Economic Development, Natural Resources and Infrastructures, Delegation of the European Union to Bosnia and Herzegovina:

„Dame i gospodo,

Veliko mi je zadovoljstvo da vam danas poželim dobrodošlicu na ovaj važan događaj o kritičnim mineralnim sirovinama (CRM) u Bosni i Hercegovini.

Želim se zahvaliti Univerzitetu u Tuzli što je okupio vlasti BiH, međunarodne partnere, stručnjake, akademsku zajednicu, poslovni sektor i OCD. Svi oni imaju važnu ulogu u definiranju mogućnosti za BiH u oblasti CRM-a.

Željela bih da otvorim događaj sadržaju Okvira EU za kritične mineralne sirovine.

Ambicija EU da postigne klimatsku neutralnost do 2050. putem zelene i digitalne tranzicije zavisi (između ostalog) od pouzdanog, sigurnog i uspješnog pristupa kritičnim sirovinama (CRM).

Njihova definicija kao „kritičnih“ zasniva se na njihovoj ekonomskoj važnosti i riziku nabavke, koji se može ublažiti recikliranjem i sekundarnom proizvodnjom (tj. više od polovine željeza, cinka i platine u EU se reciklira).

Međutim, lanci nabavke CRM-a su složeni, krhki i ranjivi u širokom spektru rizika, od kojih smo neke svjedočili u posljednje 4 godine (npr. pandemija covida i rat u Ukrajini).

U međuvremenu, Evropska unija je poduzela niz mjera za poboljšanje sigurnosti snabdijevanja CRM-om u industriji, istraživanju i trgovini.

Počevši od Akcionog plana za CRM za 2020. i nastavljajući sa Zakonom o kritičnim sirovinama, EU se obavezuje da će razviti strateška međunarodna partnerstva i obezbijediti finansijska sredstva za osiguravanje raznolike i održive ponude CRM-ova, koji su također ključni za zelenu i digitalnu tranziciju.

Naime, 18. marta ove godine Vijeće je usvojilo Zakon o kritičnim sirovinama (CRMA), koji ima za cilj povećanje domaće eksploatacije, prerade i recikliranja u EU, te osigurati diverzifikaciju isporuka iz trećih zemalja. Kao rezultat toga, ne više od 65% godišnje potrošnje EU svake strateške sirovine ne bi trebalo dolaziti iz samo jedne države.

Ovo je prvi zakon EU koji posebno reguliše CRM, a očekuje se da će stupiti na snagu u maju 2024. godine.

Između glavnih karakteristika, CRM obuhvata:

- jasni rokovi za procedure izdavanja dozvola za projekte eksploatacije CRM u EU;
- omogućava Komisiji i državama članicama da prepoznaju strateške projekte i izvrše procjenu rizika duž lanca snabdijevanja;
- zahtijeva od država članica da imaju nacionalne planove istraživanja;
- postavlja standarde za eksploataciju, preradu, recikliranje i diversifikaciju izvora (tj. 10% godišnje potrošnje dolazi od lokalne ekstrakcije sirovina, 40% mora biti prerađeno u EU, a 25% dolazi od recikliranih materijala).

Osim toga, Evropska unija prepoznaje značaj održivih lanaca vrijednosti sirovina, ne samo za vlastiti razvoj, već i za podsticanje uzajamno korisnih partnerstava sa zemljama koje nisu članice EU.

Do sada je EU potpisala 11 strateških partnerstava o lancima vrijednosti za mineralne sirovine širom svijeta.

Ova partnerstva također potiću stvaranje dodane vrijednosti lokalnoj proizvodnji i napredovanje sukladno lancu vrijednosti, poboljšanjem prerađivačkih kapaciteta primjenom inovacija i novih tehnologija.

EU takođe želi da podrži relevantne projekte koji bi mogli doprineti diverzifikaciji snabdevanja sirovinama.

Međutim, bitan korak u tom pravcu je identifikacija konkretnih mogućnosti ulaganja koje bi mogle opskrbiti evropsko tržište.

U svjetlu ovoga mogu reći da postoji nekoliko mogućnosti za Bosnu i Hercegovinu u potencijalnom strateškom partnerstvu EU o održivim mineralnim sirovinama.

U ovim partnerstvima, EU i BiH trebale bi zajedno nastojati promovirati ekonomski razvoj, modernizirati i dekarbonizirati ekstraktivnu i prerađivačku industriju, potaknuti sticanje znanja i transfer tehnologija, potaknuti inovacije i otvoriti nova radna mjesta inicijativama za obuku i usavršavanje.

Za postizanje ovih ciljeva, potičemo BiH da identificira potencijalne održive projekte, utirući put za zajedničke poduhvate sa zemljama EU. U tom smislu, Evropska komisija je spremna da aktivno podstiče dijalog i saradnju o ovim pitanjima.
U zaključku, Bosna i Hercegovina ima značajan potencijal u oblasti kritičnih sirovina.
Međutim, prepoznajemo izazove koje predstavlja dominacija državnih preduzeća u rudarskom sektoru i potrebu za povoljnim i otvorenim pravnim i institucionalnim okvirom.
Stoga su reforme upravljanja imperativ da bi se iskoristile ove mogućnosti.
Nadam se da će današnji simpozijum donijeti nove ideje i inicijative, kako bi se pokrenuo put ka održivom razvoju, ekonomskom prosperitetu i brizi o okolišu."

Zaključci Simpozijuma

1. EU podržava i finansira održive projekte eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina u BiH, što ukazuje na potrebu da BiH intenzivnije razvija oblasti istražnih radova i otvaranja rudnika kritičnih mineralnih sirovina.
2. Gdje su prilike, usmjeravati proizvodnju kritičnih mineralnih sirovina prema EU smjernicama i strategijama kojima se nastoji umanjiti zavisnost snabdijevanja kritičnih mineralnih sirovina iz Kine, a više se usmjeravati na lance vrijednosti za mineralne sirovine u okviru zemalja EU, pa time i BiH
3. Iako su nastavni silabusi na RGGF Tuzla u znatnoj mjeri sinhronizovani sa odlukama EU u vezi potreba i tretmana kritičnih mineralnih sirovina, potrebno je kreirati silabuse koji bi u potpunosti odgovarali strategijama eksploatacije i prerade kritičnih i energetskih mineralnih sirovina u svjetlu nove strategije EU zasnovanoj na korištenju mineralnih resursa unutar zemalja EU i zemljama kandidatima.
4. Rudarstvo u BiH treba razvijati shodno mogućnosti eksploatacije ležišta mineralnih sirovina, shodno raspoloživim tehničkim mogućnostima i uslovima tržišta mineralnih sirovina, otvaranjem novih rudarskih kapaciteta i proširenjem postojećih rudarskih objekata, posebno na ležištima metaličnih i nemetaličnih mineralnih sirovina.
5. U procesima investiranja u istražne radove i otvaranje rudnika omogućiti ravnopravan tretman lokalnih i stranih investitora, uz apsolutno poštivanje domaćeg zakonodavstva i informisanje javnosti o statusu investicionih radova.
6. Potrebno je primjenjivati tradicionalne metode eksploatacije površinskom, podzemnom, kombinovanom i bušotinskom eksploatacijom sa znatnim udjelom automatizacije proizvodnih procesa, korištenja IT i autonomne rudarske mehanizacije i poštivanja ekoloških normi i standarda.
7. U procesima istraživanja i eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina potrebno je primjenjivati preporuke BAT (Best available techniques – Najbolje raspoložive tehnike) kojima se obezbjeđuje visok stepen efikasnosti rudarskih operacija i visok stepen poštivanja ekoloških standarda kojima se rizik od ekoloških incidenata smanjuje na najmanju moguću mjeru.
8. U javnosti je potrebno promovisati potrebu istražnih radova na ležištima mineralnih sirovina, posebno kritičnih mineralnih sirovina, i dobrobiti od otvaranja rudnika tj. eksploatacije mineralnih sirovina, korištenjem pozitivnih primjera kao što je otvaranje rudnika olova, barica i cinka u Varešu.
9. Intenzivirati javne nastupe geoloških, rudarskih i stručnjaka u srodnim oblastima, sa ciljem ukazivanja na stvarni uticaj eksploatacije mineralnih sirovina na okoliš, sa stručnog i naučnog aspekta, koristeći primjere dobrih praksi rudarstva u svijetu.
10. Aktiviste ekološkog pokreta javno upozoriti i permanentno upozoravati da u svojim istupima koriste podatke i informacije bazirane na naučno-stručnim postulatima geologije i rudarstva, a u slučaju iznošenja netačnih informacija koje izazivaju zabrinutost stanovništva, pokretati procese sankcionisanja grupa, organizacija i pojedinaca na način odgovarajući situaciji.
11. Potrebno je češće organizovati skupove stručnjaka geološke, rudarske i srodnih struka radi razmjene iskustva, posebno u primjeni novih tehnologija, mogućnosti otvaranja novih tržišta, obrazovanja kadrova, praćenja strateških orjentacija EU u pogledu tretmana energetskih resursa i kritičnih mineralnih sirovina.
12. Unapređenje zakonske legislative iz oblasti rudarstva.

13. Eksploatacija metaličnih i nemetaličnih sirovina sukladno međunarodnim standardima i normama.
14. Intenzivno učešće na međunarodnim projektima.
15. Primjena vještačke inteligencije Al (Chat GPT).

18. SKOK PREKO KOŽE

Rudarski posao je postao područje djelovanja eksperata koji su svoje umijeće sticali kako vlastitim dugogodišnjim radom tako i naslijeđem od svojih prethodnika. U red ostalih zanata ušao je tako i rudarski zanat. Da bi čovjek u njemu postao majstor, trebalo je, kao i u drugim zanatima, proći period šegrtovanja nakon čega se polagao ispit. Ukoliko je stručni dio ispita bio uspješno položen, novi kandidati su se svečano primali u rudarski stalež. Kulminacija te svečanosti bio je skok preko rudarskog okna i time bi kandidat pokazao i svoju spretnost i odvažnost, dvije osobine bez kojih se u rudarskom pozivu ne može opstati.

Međutim, kako su okna s razvitkom rudarske tehnike postajala sve šira nije se više moglo skakati preko njih, pa se umjesto toga uveo “skok preko kože”. Ta je koža bila neophodni dio radnog odijela rudara u jami. Ona ima oblik pregače, samo se ne pripasuje sprijeda već straga kako bi se rudar, sjedeći na njoj, mogao spuštati niz niskope (kose hodnike) do svog radnog mjesta.

Skok preko kože je tradicionalni običaj kojim studenti Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta ulaze u rudarsku profesiju. Manifestacija počinje tako što studenti, obučeni u svečane rudarske uniforme, kreću u potragu za „Brucmajorom“ (osobom koja je već primljena u rudarsku porodicu, ugledna ličnost među studentima, njihov lider). Traže ga po raznim restoranima, kafanama i radnjama, dok pjevaju tradicionalne rudarske pjesme ("Gdje je naš Brucmajor", "Sretno da žive svi rudari", "Sa smjene na smjenu", "Sa tornja", "Jamari" itd.). Kada studenti pronađu Brucmajora, mole ga da ih povede na ceremoniju Skoka, što on u početku negira (jer ne može svako biti rudar), ali ipak pristaje nakon što mu mladi studenti tačno odgovore na pitanja i pjevaju rudarske pjesme.

Centralni dio manifestacije – ceremonija Skoka, održava se u sali. Tu su „stare i mlade bajte“ – stariji studenti koji su već primljeni u porodicu rudara i geologa, kao i inženjeri i profesori. Svi oni pjesmom "Hoćemo Prezidijum" traže da slavni, časni, visoki i nepogrešivi Prezidijum preuzme kontrolu nad ceremonijom. Nakon što Prezidijum preuzme kontrolu nad ceremonijom, imenuje svoje pomoćnike i druge funkcije svečanosti, predstavnici starih i mladih bajti podnose izvještaje za period od prethodnog Skoka. Poslije izvještaja, pojavljuje se Brucmajor i traži dozvolu da uvede mlade studente koji žele da budu primljeni u slavnu časnu rudarsku porodicu. Slijedi Rudarska himna, a zatim stare i mlade bajte postavljaju pitanja studentima, kako bi provjerili njihovu zrelost, znanje i sposobnosti, što su kvalitete koje trebaju posjedovati da postanu pravi rudari i geolozi. Nakon toga, slavni časni Prezidijum najavljuje skok i naređuje Brucmajoru da povede mlade studente na Skok preko kože.

Mladi studenti skaču sa drvene pivske bačve preko komada goveđe kože koju drže dvoje inženjera/profesora najstarijih učesnika ceremonije. Prije skakanja svaki student se treba predstaviti i reći svoju lozinku, obično duhovitu šalu koja će ga pratiti tokom studija i kasnijeg rada. Tada mladi student preskače komad goveđe kože i simbolično biva primljen u rudarsku porodicu.

Za centralni dio svečanosti piše se scenarij, koji sadrži ozbiljnost i poštovanje tradicije, ali i humor za koji su zaduženi studenti, kako bi gledaoci uživali u ceremoniji.

Nakon centralne svečanosti, slijedi Rudarsko veče, uz muziku i večeru za učesnike, sponzore i goste.

XVIII Skok preko kože održan je 18. aprila 2024. godine u Univerzitetskoj sportskoj dvorani Univerziteta u Tuzli sa početkom u 18 sati, a Rudarsko veče u 20 sati u restoranu Hotela Minero.

Učesnici XVIII Skoka preko kože

Prezidijum: Tihomir Knežiček
Adlatus Dekster: Sunčica Mašić
Adlatus Sinister: Jelena Marković
Časne tablice: Amir Sušić, Izudin Bajrektarević, Zvonimir Bošković, Zijad Požegić, Kemal Gutić, Željko Knežiček, Sanel Nuhanović
Držači kože: Željko Knežiček i Izudin Bajrektarević
Kantor: Lejla Mulaosmanović i hor Srednje muzičke škole „Čestmir Mirko Dušek“ Tuzla
Kontrapik dekster: Imer Mehić
Stare bajte: Amila Subašić, Benjamin Brašnjić, Edin Lapandić, Hamza Hasanspahić, Armin Hasić, Nihad Husić
Kontrapik sinister: Albin Salkanović
Mlade bajte: Amira Demirović, Nedžida Pašić, Almir Brigić, Seid Beširević, Nadir Imamović
Brucmajor: Noris Sakić
Noblbruc primus: Omer Fazlić
Noblbruc sekundus: Esmir Jusić
Ophodari/brucoši: Anesa Hadžić, Adnan Bajić, Ajla Mehić, Bruno Šuvalić, Amina Hrustić, Muhamed Mehmedović, Sanina Hatkić, Muhamed Jahić, Samra Mešić, Denis Nukić

29. LJETNI UNIVERZITET TUZLA RADIONICA "OTPAD ILI BLAGO"

29. po redu Ljetni Univerzitet Tuzla ove godine započeo je interaktivnom radionicom koja je 04.06.2024. godine upriličena za studente i učenike srednjih škola u prostorijama Kancelarije za klimatske promjene i održivost Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta. Radionicu je otvorila Prorektorica za međunarodnu i međuuniverzitetsku saradnju Univerziteta u Tuzli prof.dr. Vesna Bratovčić. Ovom prilikom svečano je obilježen i početak rada Kancelarije za klimatske promjene i održivost koja je uspostavljena na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu u okviru Erasmus+ 1FUTURE projekta.

Bila je ovo ujedno prva aktivnost novouspostavljene kancelarije koja je imala za cilj edukaciju kroz praktičan rad i kreativnost. Ideja vodilja za organizovanje ove radonice bila je da mladi kreativci iskažu svoj talenat i na inventivan način daju doprinos očuvanju planete.

U obrazovnom dijelu đacima i studentima je prezentovan i apostrofiran značaj reciklaže kroz poster prezentacije a u prvom dijelu radionice učesnici su sticali spoznaje o uzrocima i reperkusijama klimatskih promjena kroz interaktivnu edukativnu igru "Klimatski kolaž".

U drugom dijelu radionice učenici JU Mješovite srednje građevinsko-geodetske škole Tuzla, uz podršku profesorice-mentorice, od otpada su stvarali umjetnost iskazavši svoj talenat transformišući naizgled beskorisne materijale u korisne i lijepe predmete.

Svim učesnicima su uručeni certifikati o učešću i skromni pokloni, a najbolje kreacije će biti izložene u prostorima Univerziteta u Tuzli.

Vrijeme	Izlagač/predavač	Intitucija	Tema
10:00 – 10:15	Dr. sc. Sanel Nuhanović	RGGF Tuzla	Uvodne riječi i otvaranje prezentacija i diskusija
10:15 – 10:35	Dr. sc. Zvonimir Bošković	Prof. Univerziteta u Banjoj Luci u penziji	Specifičnosti izrade GT bušotina
10:40 – 11:00	Mario Jukić	RGNF Zagreb	Geothermal well workover and hydrodynamic testing
11:05 – 11:25	Istvan Gyerman	NRG Vitae Plus Kft	
11:30 – 11:50	Dr. sc. Domagoj Vulin	RGNF Zagreb	Geothermal reservoir appraisal and development: what's different from hydrocarbons?
11:50 – 12:15	Kafe pauza		

29. LJETNI UNIVERZITET TUZLA GEOTERMALNA ENERGIJA – RESURSI I ISKORIŠTENOST

Shodno programu 29. Ljetnog univerziteta u Tuzli – LJUT 2024 Geothermal energy Tuzla Summer University, na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu održana su stručna predavanja i panel-diskusija „Geotermalna energija – resursi i iskorištenost“, u vremenu od 10 do 14 sati.

Stručno savjetovanje je rezultiralo kvalitetnim zaključcima i sugestijama u funkciji neiskorištenih novih izvora eneregije. Takođe je ukazano na potencijale ove energije u širem regionu tuzlanskog kantona.

Pored studenata, nastavnika i saradnika, učešće su uzeli i kolege iz inostranstva.

Jedan od fokusa panel-diskusije je intenzivnija saradnja u prekograničnim istraživanjima, sa partnerima iz Evrope.

Ukazano je na mogućnost primjene novih nanotehnologija, vještačke inteligencije, te savremenih rješenja u funkciji okolinskog inženjeringa za eksploataciju ovog resursa.

Ova manifestacija je posvećena svjetskom Danu zaštite okoliša, te su učesnici iste bezrezervno opredijeljeni održivom razvoju, svjesni klimatskih promjena sa akceptiranjem ekoloških poruka.

Posvećenost Fakulteta edukaciji budućih inženjera svih studijskih programa na Rudarsko-geološko-građevinskom fakulteta je u funkciji zaštite okoliša.

SADRŽAJ

Rusmir Razić, Nedzad Alić
MODELIRANJE KOMPOZITNOG BRIKETA NA BAZI UGLJA U CILJU SMANJENJA EMISIJE SUMPORA U ATMOSFERU..... 1

Ekrem Bektašević, Hrvoje Antičević, Kemal Gutić, Denijel Sikira
RECIKLAŽA MATERIJALA OD ISKOPA TUNELA „POČITELJ“ TE UGRADNJA DOBIVENIH PROIZVODA U NAVEDENI TUNEL KROZ BETON I TAMPON..... 12

Mujo Valjevac, Ekrem Bektašević, Kemal Gutić, Noris Sakić, Denijel Sikira
EKSPLOATACIJA I PRERADA TEHNIČKOG KAMENA SA KAMENOLOMA PLJEŠEVAC KOD KISELJAKA..... 23

Tihomir Knežiček
VISINA I UGAO NAGIBA ETAŽE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA RUDA LITIJUMA..... 30

Dinka Pašić-Škripić, Izet Žigić, Đana Zimić
HIDROGEOLOŠKE OSOBINE I GENEZA MINERALNE VODE „TEŠANJSKI KISELJAK“..... 38

Dinka Pašić-Škripić, Adnan Terzić, Amir Jahić, Meris Hajdarević
HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA I KARAKTERIZACIJA TERENA NA DIONICI TRASE PUTA 2B SARAJEVO-FOČA, PODRUČJA FBiH..... 45

Jelena Marković, Refik Kurbašić, Zvjezdan Karadžin, Edisa Nukić
ANALIZA I SANACIJA ENDOGENOG POŽARA KOD ŠIROKOČELNOG OTKOPAVANJA UKUPNE DEBLJINE GLAVNOG UGLJENOG SLOJA U JAMI RASPOTOČJE RMU ZENICA. 52

Šefik Sarajlić, Omer Musić
MEHANIZOVANO OTKOPAVANJE UGLJA U JAMI “BREZJE” RMU „ĐURĐEVIK“..... 65

Jasmin Jamaković, Sunčica Mašić
POTROŠNJA GORIVA DAMPERA BELAZ I EMISIJA UGLJEN DIOKSIDA NA PRIMJERU PK „TURIJA“ RMU BANOVIĆI..... 77

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.1 Naučni rad

MODELIRANJE KOMPOZITNOG BRIKETA NA BAZI UGLJA U CILJU SMANJENJA EMISIJE SUMPORA U ATMOSFERU

Rusmir Razić[1], Nedžad Alić[2]

ABSTRACT

Težnja ukidanja, dobivanja toplote iz uglja u cilju smanjenja onečišćenja atmosfere, vodi ka zatvaranju ležišta uglja. Alternativa za dobivanje toplote, posebno u kategoriji zagrijavanja manjih stambenih objekata, drvenim peletima, iako s ekološkog aspekta prihvatljiva, ima i svojih nedostataka, ukoliko se u obzir uzme razmjera potrebne količine energije i uloga šume u prečišćavanju vazduha. Drvna masa i ugalj kao osnovne nosioce energije ima ugljovodonične spojeve. Dakle u oba slučaja kao plinoviti produkti se pojavljuju COx i NOx plinovi. Razlika je u njihovim razmjerama. Kod uglja za razliku od drvne mase pojavljuju se i sumporni spojevi što ga čini ekološki neprihvatljivim gorivom. Dodatkom ugljenoj masi određene količine drvene mase i aditiva u ovom radu, pirofilitnog škriljca, istraživan je uticaj na energetske i ekološke aspekte oslobađanja toplote ovako složene gorive mješavine. Ekološki aspekt je akcentiran putem oslobađanja sumpora iz uglja. Mješavina je podvrgnuta procesu briketiranja, a dobiveni uzorci su ispitani sa mjerodavnim parametrima prije svega dobivene donje toplotne vrijednosti i sadržaja sumpora (SOx) u ovim produktima. Dobiveni rezultati su itekako optimistični s oba naprijed navedena parametra i mogu biti putokaz za dalja istraživanja za ovako postavljenu ideju.

Ključne riječi: ugalj, drvena piljevina, briket, toplotna vrijednost, sumpor, ekologija

1.0 UVOD

Osnova problema istraživanja se ogleda kroz pitanje: da li se prestankom (zabranom) upotrebe uglja u specifičnoj grupi potrošača u potpunosti rješava problem zagađenosti vazduha na lokalnoj i globalnoj razini. Ugalj, kao energent, se koristi višekratno, a između ostalog, u manje razvijenim zemljama, značajna količina se koristi u zagrijavanju manjih stambenih jedinica. S druge strane izražena je težnja ukidanja, dobivanja toplote iz uglja u cilju smanjenja onečišćenja atmosfere, koja pak, vodi ka zatvaranju ležišta uglja. Alternativa za dobivanje toplote, posebno u kategoriji zagrijavanja manjih stambenih objekata, drvenim peletima, iako s ekološkog aspekta prihvatljiva, ima i svojih nedostataka, ukoliko se u obzir uzme razmjera potrebne količine energije i uloga šume u prečišćavanju vazduha. Najčešće rješenje koje se nudi kao zamjena uglju u naprijed navedenoj kategoriji jeste bio masa, ponajprije drvo ili njegov pelet kao dorađeni energetski proizvod. Iako ova masa pri sagorijevanju ima značajnije smanjenje emisije primarnih plinova koji utiču na smanjenje zagađenosti zraka, treba voditi računa o činjenici da se primarno poboljšanje posljedično i dugoročno može imati sasvim drugi rezultat. Naime, pretjerana eksploatacija drvne mase smanjuje ukupnu količinu šumskog bogastva koje pak predstavlja prirodni „filter“ zraka, pa se za šumu kaže da je pluća Zemlje. Dakle ovako postavljena hipoteza zamjene vrste energenta, ne daje sigurnost u dobivanju dobrog rezultata smanjenja zagađenosti i uticaja na opšte klimatske prilike.

Aktuelnost problema istraživanja je sagledavanje jedne od mogućnosti korištenja uglja kao energenta sa smanjenim ekološkim rizikom (uticajem na okoliš). Cilj istraživanja je:

- Dobiti kompozitni pelet od uglja sa smanjenom emisijom polutanata u atmosferu,
- Smanjiti potrošnju drvne mase za potrebe zagrijavanja manjih potrošača,
- Obezbijediti nastavak eksploatacije uglja uz prihvatljive ekološke standarde.

Moduliranjem sadržaja i vrste dodataka uglju pri spravljanju briketa može značajno uticati, pri izgaranju, na smanjenje emisijskih plinova u atmosferu.

[1] MA inž.rudarstva, RMU Gračanica, Bosna i Hercegovina
[2] Vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli nedzad.alic@untz.ba

2.0 OSNOVE, METODE I MATERIJALI

Osnovni postulati postavljene hipoteze se odnose na dva procesa i to: sagorijevanje čvrstih goriva i priprema odnosno fizički oblik sagorive mase.

Korištena oprema za sve radnje u toku istraživanja i primijenjeni standard su sljedeći :

- Priprema ulaznih komponenti i spravljanje briketa: usitnjavanje materijala: čeljusna i čekićna laboratorijska drobilica, vaga tačnosti 0,01 gram, sušilica tipa, laboratorijska treskalica sa serijom sita kvadratnog otvora: mm, laboratorijski homogenizator i laboratorijska ekstruder presa za spravljanje briketa.
- Mjeračke procedure i uređaji za ustanovljenje parametara dobivenih eksperimentalnih briketa:

Elementarna analiza ulaznih komponenti i eksperimentalni briketa rađena je elementarnim analizatorom EA3000, a toplotna vrijednost je utvrđena kalorimetarskim sistemom C 5000 (tabele 2., 3., 4. i 5).

Uzorak uglja: uzorak je uzet iz ležište uglja "Kotezi" u sjeverozapadnom dijelu Bugojanskog ugljenog basena, u ukupnoj količini od 60 kg, na terenu, iz sloja na površini, ovog ležišta, te je podvrgnut usitnjavnju uz istovremeno utvrđivanje parametara smanjenja krupnoće na pojedinim laboratorijskim aparatima, do veličine zrna od 1 mm. Uzorak piljevine: uzorak borove piljevina mase 20 kg uzet je u pilani "Bunta" Bugojno. Uzorak pirofilita: Za ispitivanja je korišten usitnjeni uzorak ljubičastog varijiteta pirofilitnog škriljca iz Parsovića u količini od 5000 g. Suspenzije veziva korištena za spravljanje svih eksperimentalnih) vrsta briketa u ovom istraživanju je predstavljala 10 % rastvor škroba, tip H, proizvođača Helios Domžale, R. Slovenija, u vodi.

2.1 Metode istraživanja

Model istraživanja postavljen je na sljedećem principu:

- određivanje karakterističnih ili reprezentativnih (ključnih) pokazatelja u istraživanju;
- određivanje metoda procesuiranja uzoraka i to:
  a. način pripreme uzoraka za opite,
  b. odabir metoda laboratorijskih ispitivanja,
- interpretacija i obrada rezultata istraživanja
- zaključak istraživanja.

2.1.1 Reprezentativni pokazatelji istraživanja

Reprezentativni pokazatelji istraživanja su donja toplotna vrijednost briketa bez vlage, sadržaj ukupnog, gorivog i sumora u pepelu.

2.1.2 Procedura ispitivanja

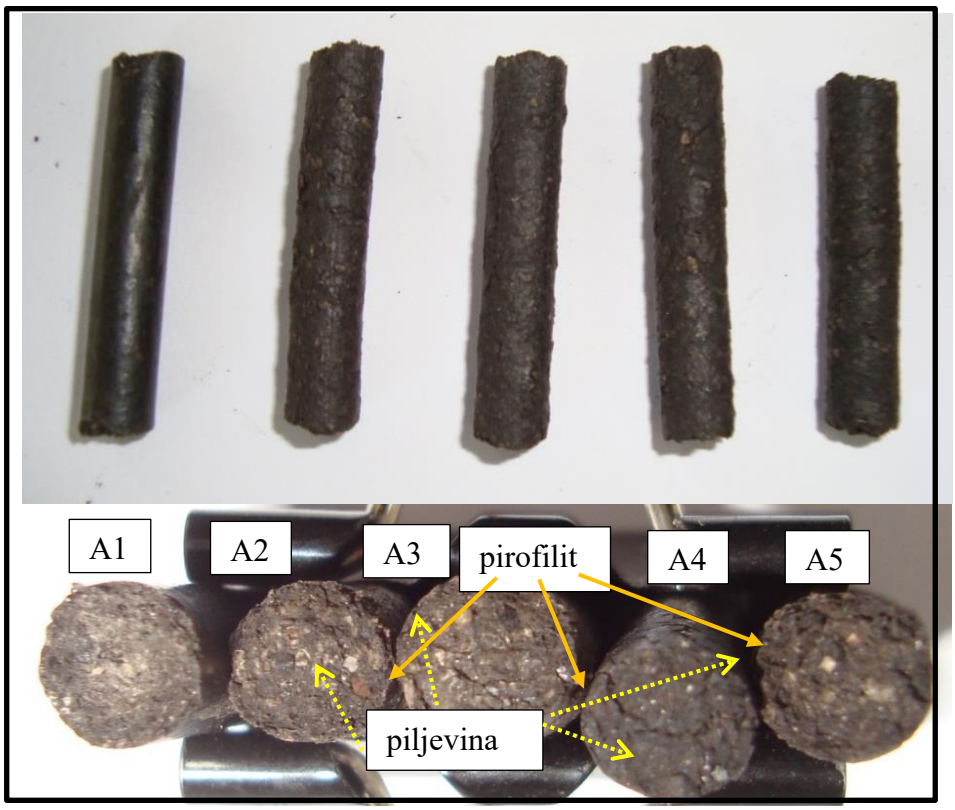
Za prethodno opisane materijale, postavljeni su elementi sastava pojedinih briketa i procedura njihovog dobivanja u laboratorijskim uslovima. U skladu sa ciljem istraživanja odlučeno je da se proizvedu pet po sadržaju različitih briketa, u kojima se akcenat daje na promjenjivi sadržaj aditiva, a zadržavaju iste količine gorivih konstituenata. S tim u vezi formirani su slijedeći odnosi, sa pripadajućim oznakama: Briket A1: čiji je sadržaj 100 % ugalj, mase 2000 g, briket A2: čiji je sadržaj ugalj u masi od 1400 g i drvena piljevina mase 600g, briket A3: čiji je sadržaj ugalj u masi od 1400 g i drvena piljevina mase 600g i pirofilit mase 40 g, briket A4: čiji je sadržaj ugalj u masi od 1400 g i drvena piljevina mase 600g i pirofilit mase 120 g, briket A5: čiji je sadržaj ugalj u masi od 1400 g i drvena piljevina mase 600g i pirofilit mase 200 g, a uzorak uglja korištenog u spravljanju ovih briketa obilježen je šifrom A0.U proceduri spravljanja pojedinih briketa ukupan maseni sadržaj sastavnih dijelova je dat u tabeli 1.

Tabela 1. Maseni sadržaj pojedinih komponenata u ukupnom uzorku pojedinačnih briketa

R/b	Vrsta ulazne komponente	Masa, g				
		A1	A2	A3	A4	A5
1.	piljevina	0	600	600	600	600
2.	ugalj	2000	1400	1400	1400	1400
3.	pirofilit	0	0	40	120	200
4.	škrob	1,89	1,28	1,49	1,57	1,65
Ukupno		2001,89	2001,28	2201,65	2121,57	2201,65

Dodana količina suspenzije je omogućila i slijedeću fazu, briketiranje u ekstruderskoj presi pojedinačnog promjera otvora na matrici od 6 mm. Dobiveni zeleni briketi su sušeni na vazduhu čime je laboratorijska procedura dobivanja briketa bila okončana.

Sam izgled u vanjskom plaštu, ali i u presjeku peleta odražava karekteristiku komponenti iz kojih je izgrađen. Briketi dobiveni od uglja daju finiju, glađu srukturu na vanjskom plaštu cilindra briketa, homogeniji su, kao što se to u opštem fizičkom smislu može vidjeti i na slici 1. Posmatrajući, poprečni presjek pojedinih mješavina briketa, što je također prikazano na slici 1. jasno se u strukturnoj karakterizaciji mogu uočiti pojedini sastavni dijelovi različitih komponenti koje grade ovaj kompozit.



Slika 1. Strukturali izgled briketa i njegovog presjeka

U opštem fizičkom smislu dobiveni briketi imaju zadovoljavajuću čvrstoću, koja može zadovoljiti sve uslove manipulativnih operacija u njihovom korištenju. Jasno je i to da su briketi vrlo hidroskopni, te da gube, značajno, svoje mehaničke karakteristike pri povećanju vlage, sve do potpune njihove destrukcije.

3.0 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U tabeli 2, dati su sumarni rezultati elementarne i tehničke analize uglja, te borove piljevine, korištene kao suplement uglju, u ovom istraživanju korištenih za spravljanje briketa.

Tabela 2. Rezultati tehničke i hemijske analize uglja (uzorkaA0) i piljevine bora, korštenih u spravljanju briketa i ispitivanih u RGH Kakanj, bez vlage

Vrsta analize	Jedinice	Metod	Bez vlage	
			UGALJ, A0	PILJEVINA
Pepeo	%m/m	BAS ISO 1171:2012	29,56	8,04
Sagorive materije	%m/m	INS 80625200:2019	70,44	91,96
Isparljive materije	%m/m	BAS ISO 5071-1:2014 ; BAS ISO 562:2012	44,87	78,99
Koks	%m/m	INS 80625201:2019	55,13	21,01
Cfl_x	%m/m	INS 80625201:2019	25,56	12,95
Ukupni ugljik	%m/m	BAS ASTM D 5373:2016	46,17	48,96
Vodonik	%m/m	BAS ASTM D 5373:2016	2,92	7,2
Azot	%m/m	BAS ASTM D 5373:2016	0,8	0,15
Kiseonik	%m/m	ASTM D 3176:2015	18,91	35,62
GTV	kJ/kg	BAS ISO 1928:2010	17402	18588
DTV	kJ/kg	BAS ISO 1928:2010	16800	17473
Sumpor ukupni	%m/m	BAS ISO 334:2015	3,06	0,02
Sumpor u pepelu	%m/m	ASTM D 1757:1996	1,42	0
Sumpor gorivi	%m/m	INS 80625211:2019	1,64	0,02

Vrijednost karakteristčnih parametara čvrstog ostatka (pepela) sagorijevanja uglja i drvene piljevine ispitane u laboratoriji RGH Kakanj te silikatna analiza pirofilitnog škriljca date su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati hemijske analize pirofilitnog škriljca te pepela uglja i drvene piljevine

Vrsta analize	Metod	Jedinica	Ugalj A0	Piljevina	Pirofofiltni škriljac
Sadržaj SiO_2	BAS 1009:2003	%m/m	36,58	55,88	65,10
Sadržaj Fe_2O_3	BAS 1011:2003	%m/m	16,5	2,69	1,65
Sadržaj Al_2O_3	BAS 1013:2003	%m/m	11,64	8,61	18,38
Sadržaj CaO	BAS 1014:2003	%m/m	12,54	13,89	2,70
Sadržaj MgO	BAS 1015:2003	%m/m	5,34	8,44	1,49
Sadržaj SO_3	BAS 1018:2003	%m/m	15,60	1,14	0,58
Sadržaj TiO_2	BAS 1012:2003	%m/m	0,22	0,16	0,08
Sadržaj Na_2O	ASTM D 6349:2013	%m/m	0,29	5,11	0,23
Sadržaj K_2O	ASTM D 6349:2013	%m/m	1,29	4,09	1,77
Sadržaj MnO	-	-	-	-	0,02
Sadržaj P_2O_5	-	-	-	-	0,06
Sadržaj CO_2	-	-	-	-	4,04
Sadržaj KH_2O	-	-	-	-	3,90
		Suma	100,0	100,0	100,0

Tabela 4. Rezultati tehničke i hemijske analize briketa iz eksperimenata, bez valge

Vrsta analize	Jedinice	Metod	Uzorci briketa bez vlage												
			A1	A2-1	A2-2	A2-3	A3-1	A3-2	A3-3	A4-1	A4-2	A4-3	A5-1	A5-2	A5-3
Pepeo	%m/m	BAS ISO 1171:2012	25,36	20,73	20,63	20,77	21,25	21,24	20,94	24,89	24,62	24,95	25,92	25,58	25,86
Sagorive materije	%m/m	INS 80625200:2019	74,64	79,27	79,37	79,23	78,75	78,76	79,06	75,11	75,38	75,05	74,08	74,42	74,14
Isparljive materije	%m/m	BAS ISO 5071-1:2014 ; BAS ISO 562:2012	45,28	54,3	54,17	54,42	54,39	54,41	54,23	53,1	53,1	53,12	51,37	51,94	51,74
Koks	%m/m	INS 80625201:2019	54,72	45,7	45,83	45,58	45,61	45,59	45,77	46,9	46,9	46,88	48,63	48,06	48,26
Cfl_x	%m/m	INS 80625201:2019	29,36	24,96	25,21	24,81	24,36	24,35	24,83	22,01	22,28	21,93	22,7	22,48	22,4
Ukupni ugljik	%m/m	BAS ASTM D 5373:2016	49,1	50,89	50,93	50,79	50,31	50,31	50,48	47,99	48,14	47,95	49,76	49,95	49,61
Vodonik	%m/m	BAS ASTM D 5373:2016	3,13	3,31	3,32	3,32	3,29	3,3	3,31	3,13	3,16	3,13	3,11	3,12	3,1
Azot	%m/m	BAS ASTM D 5373:2016	0,87	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,87	0,88	0,87	0,87	0,87	0,88
Kiseonik	%m/m	ASTM D 3176:2015	19,73	22,61	22,66	22,57	22,53	22,55	22,61	21,54	21,59	21,55	19,22	19,34	19,38
GTV	kJ/kg	BAS ISO 1928:2010	18605	18958	18978	18945	18769	18776	18851	17884	17967	17861	18803	18868	18704
DTV	kJ/kg	BAS ISO 1928:2010	17961	18276	18295	18261	18091	18097	18169	17239	17316	17216	18163	18226	18065
Sumpor ukupni	%m/m	BAS ISO 334:2015	3,29	2,2	2,21	2,29	2,49	2,48	2,53	2,71	2,77	2,69	2,53	2,55	2,57
Sumpor u pepelu	%m/m	ASTM D 1757:1996	1,47	0,66	0,67	0,67	0,81	0,8	0,8	1,14	1,15	1,14	1,41	1,4	1,4
Sumpor gorivi	%m/m	INS 80625211:2019	1,82	1,54	1,54	1,62	1,68	1,68	1,73	1,57	1,62	1,55	1,12	1,15	1,17

Za sve dobivene brikete po opisanoj proceduri i recepturama, izvršena su mjerenja pokazatelja elementarne i imedijatne analize. Obje analize su urađene na po tri zasebno uzeta uzorka iz svake po recepturi urađene mješavine, odnosno vrste briketa i to za uzorke sa grubom vlagom, sa vlagom u analitičkom uzorku i bez vlage čiji su rezultati dati u tabeli 4. U tabeli 5., dati su rezultati ispitivanja silikatne analiza pepela briketa.

Tabela 5. Rezultati hemijske analize briketa

Vrsta analize	Metod	Jedinica	Hemijska analiza pepela uzoraka briketa												
			A1	A2-1	A2-2	A2-3	A3-1	A3-2	A3-3	A4-1	A4-2	A4-3	A5-1	A5-2	A5-3
Sadržaj SiO_2	BAS 1009:2003	% m/m	37,64	49,43	49,59	49,37	41,85	41,51	41,65	47,07	47,16	46,88	38,59	38,22	38,47
Sadržaj Fe_2O_3	BAS 1011:2003	% m/m	13,57	16,37	15,97	15,97	15,57	15,78	15,57	13,17	13,38	13,13	15,77	15,58	15,57
Sadržaj $A1_2O_3$	BAS 1013:2003	% m/m	14,34	10,84	11,16	10,84	11,48	11,79	11,79	9,56	9,88	9,88	14,03	13,38	13,7
Sadržaj CaO	BAS 1014:2003	% m/m	13,4	10,25	10,2	10,3	12,1	12,05	12,05	11,6	11,4	11,65	12,2	12,55	12,4
Sadržaj MgO	BAS 1015:2003	% m/m	4,3	2,95	2,9	3	6,8	6,9	6,7	3,6	3,7	3,6	3,05	3,25	3,1
Sadržaj SO_3	BAS 1018:2003	% m/m	14,72	8,22	8,31	8,18	9,68	9,79	9,74	11,73	11,66	11,7	13,94	14,03	13,86
Sadržaj TiO_2	BAS 1012:2003	% m/m	0,25	0,3	0,27	0,28	0,21	0,23	0,21	0,25	0,23	0,25	0,21	0,24	0,22
Sadržaj Na_2O	ASTM D 6349:2013	% m/m	0,331	0,281	0,266	0,271	0,255	0,261	0,249	0,364	0,333	0,341	0,247	0,259	0,239
Sadržaj K_2O	ASTM D 6349:2013	% m/m	1,291	1,279	1,265	1,277	1,207	1,211	1,205	1,305	1,297	1,242	1,202	1,218	1,199

4.0 DISKUSIJA DOBIVENIH REZULTATA

Analiza dobivenih rezultata ispitivanja u ovom radu mora uzeti u obzir navode očekivanih odstupanja u proračunima dobivenih i eksperimentalno mjerenih vrijednosti mjerodavnih pokazatelja istraživanja. Pri tome se treba navesti i sljedeća dva procesa koja imju značajan uticaj na proces dobivanja uzorka u konačnoj formi (briketa) pri različitim varijantama predviđenim u ovom istraživanjau

- prvi se odnosi na normirane metode utvrđivanja parametara reprezentativnih količina materijala koji ulaze u sastav ciljnog kompozita, na primjer od ukupne količine homogenizacijom dobivenog uzorka materijala, toplotna vrijednost u kalorimetru (kao i svi ostali pokazatelji) se utvrđuje na količini od 1 grama, znajući da su korištene materije izuzetno nehomogene,
- drugi, iako se u proces unose tačno izmjerene količine konstituenata u konačnoj formi briketa (uglja, drvene piljevine i pirofilita) skoro pa je nemoguće raspodijeliti ove komponente, bez obzira na njihov način doziranja i miješanja, ravnomjerno, na način da su prisutne u svakom dijelu dobivenog briketa i u svim dobivenim briketima.

Problem nastaje kada se želi definisati vrijednosti parametara u mjernim uređajima, koji uglavnom uzimaju minimalnu količinu mase u analizi. Ova minimalna količina ustvari se dobiva putem laoratorijske procedure utvrđivanja reprezentativnog uzorka. S obzirom na fizičke karakteristike briketa (oblik, stanje dimenzije i sl) jako je teško dobiti relevantan reprezentativni uzorak. Upravo navedeni problemi navode nas da izvršimo prvo teorijsku analizu pokazatelja dobivenih produkata procesa aglomeriranja, s tim da smo u analizu uključili eksperimentalno utvrđene vrijednosti parametara ulaznih komponenti.

4.1 Analiza sadžaja uzorka uzetih u mjernim postupcima

Prethodno navedenu konstataciju o pojedinim količinama primijenjenih materija u uzetom uzorku za instrumentalnu analizu je nemoguće u apsolutom iznosu ustanoviti, niti analitičkim niti instrumentalnim metodama. Iz tog razloga u ovom istraživanju je primijenjen model koji ima nesumljivo prihvatljivu tačnost određivanja učešća pojedinih materija u mjeračkom uzorku (1 gram). Odstupanja od apsulutno tačnih omjera koju ima ovaj, u narednom tekstu dat model, neće biti uopšte relevantna da bi se značajnije promijenio stav o uticaju na mjerodavne pokazatelje u istraživanju. Model proračuna ima sljedeće uslove: da su (a jesu) uzorci uzeti iz pojedinačnih eksperimenata u kojima je održavana masa uglja i piljevine, a mijenjana masa pirofilita, te u konačnici ti uzorci pripadaju skupu tačno definisanog briketa. Iz ovog razloga provedena je analiza sadržaj uzoraka podvrgnutih ispitivanjima.

Za početak je izračunat elementarni sastav dobivenih briketa prema recepturama i karakteristikama ulaznih komponenti u briketima. Na isti način izračunati su i svi ostali parametri briketa u ukupnoj masi dodatih komponenti.

Model računa je isti za sve pokazatelje, a u narednom tekstu dat je opši princip modela računanja vrijednost ovih parametara briketa na primjeru sadržaja pepela:

$$P_B = \frac{(P_u \cdot m_u) + (P_D \cdot m_D) + (P_p \cdot m_p)}{m_u + m_D + m_p}; \quad (\%)$$

Gdje je:

- P_p- pepeo pirofilita (%)
- m_p – masa pirofilita u mješavini (g)

- P_u – pepeo uglju za briket (%)
- P_D – pepeo drvene piljevine (%)
- m_u – ukupna masa uglja u mješavini A2 (g)
- m_D – ukupna masa drvne piljevine u mješavini A2 (g)

Jasno da ukupnu gorivu masu u briketu čine sagorive komponenete uglja i drveta, jer pirofilit nema gorivih elemenata u svom sastavu. Iz te činjenice od ukupne mase unijete u smjesu, učešće sagorivih materija iz uglja piljevine u briketu se može računati iz sljedećeg odnosa:

$$S_{mb} = \frac{m_{Smu} + m_{Smd}}{m_{Smb}};\ (\%) \text{ odnosno}, S_{mb} = \frac{m_{Smu}}{m_{Smb}} + \frac{m_{Smd}}{m_{Smd}};\ (\%)$$

Dakle u briketu ukupnu količinu sagorivih materija, u relativnim iznosima, čine sagorive materije iz uglja i piljevine čiji zbir daje 100 %, kako je to dato u slijedećem obrascu.

$$S'_{mu} + S'_{md} = 100\%$$

Prema tome, uzimajući prethodne odnose tj. relativne udjele uglja i piljevine u sagorivim masama, te utvrđenu vrijednost sagorive materije briketa možemo izračunati učešče pojedinih komponenti u sagorivim materijama, iz slijedećeg odnosa:

$$S'_{mu} = \left(\frac{m_{Smu}}{m_{Smb}}\right) \cdot 100;\ (\%) \text{ i } S'_{md} = \left(\frac{m_{Smd}}{m_{Smb}}\right) \cdot 100;\ (\%)$$

Apsolutno učešće pojedinih komponenata se tada može dobiti umnoškom ovog relativnog učešća sa vrijednossću sagorivih materijala u svakom od uzoraka briketa.

$$S_{mu} = S'_{mu} \cdot \left(\frac{S_{mb}}{100}\right);\ \text{odnosno},\ S_{md} = S'_{md} \cdot \left(\frac{S_{mb}}{100}\right);\ (\%)$$

Gdje je:

- m_{Smu}- masa sagorivih materija iz uglja u briketu (g)
- m_{Smd}- masa sagorivih materija iz piljevine u briketu (g)
- m_{Smb}- masa sagorivih materija u briketu (g)
- Sm_b- udio sagorive mase u briketu (%)
- Sm_u- udio sagorive mase uglja u briketu (%)
- Sm_{ud}- udio sagorive mase drveta u briketu (%)
- $S'm_u$- relativni udio sagorive mase uglja u briketu (%)
- $S'm_{ud}$- relativni udio sagorive mase drveta u briketu (%)

Uz ovaj uslov moguće je odrediti sadržaj sagorive mase iz uglja u svakom mjerenom uzorku briketa po sljedećem obrascu:

$$SM_U = \left(\frac{S_{UKB}}{S_{UKU}}\right) \cdot SM_B,\ (\%)$$

Gdje je:

- SM_U - sagoriva masa uglja u brikteu za i-ti uzorak (%)
- SM_B – sagoriva masa i-tog briketa (%)
- $S_{UK\,B}$- ukupni sumpor i-tog briketa (%)
- $S_{UK\,U}$ - ukupni sumpor iz uglja i-tog briketa (%)

Dobivanjem vrijednosti sagorive mase uglja, lako je izračunati sagorivu masu piljevine kao razliku ove navedene i ukupne vrijednosti za pojedini uzorak. Ovaj model na primjeru računanja sadržaja sagorive mase uglja i piljevine, te na osnovu toga određivanja učešća ova dva materijala putem kompilacije terorijski i eksperimentalno dobivenih parametara dat je u primjeru briketa A4 (tj. A4-1, A4-2 i A4-3) u tabeli 6.

Tabela 6. Analiza sadržaja briketa prema sagorivim materijama

Briket		SM	Suku	Spu	Sgu	Ugalj	Piljevina
Analitički	A4	75,65	2,18	0,97	1,21	49,51	26,14
Eksperimentalno	A4-3	75,05	2,69	1,14	1,55	61,00	14,05
Eksperimentalno	A4-1	75,11	2,71	1,14	1,57	61,46	13,65
Eksperimentalno	A4-2	75,38	2,77	1,15	1,62	62,82	12,56

Dalju analizu sadržaja ovih uzorak uzetih iz briketa po ovom modelu kojeg prezentujemo je urađeno putem pepela, ponovno aproksimirajući sa dobivenim rezultatima iz analitičkom modela, a rezultati ove analitze za uzorak A4 dati su u tabeli 7..

Pojedinačne količine pepela smo dobili po slijedećim obrascima :

$$P_U = \left(\frac{P_{Bt}}{P_{Be}}\right) \cdot P_{Ut}, \; P_D = \left(\frac{P_{Bt}}{P_{Be}}\right) \cdot P_{Dt}, \; P_p = \left(\frac{P_{Bt}}{P_{Be}}\right) \cdot P_{pt}, \; (\%)$$

Gdje je:

- P_U - pepeo iz uglja u i-tom briketu (%)
- P_{Bt} - količina pepela u analitičkom uzorku i-tog peleta (%)
- P_{Be} - količina pepela u mjeračkom uzorku i-tog peleta (%)
- P_{Ut} - količina pepela u teorijskom (analitičkom) uzorku uglja u i-tom peletu (%)
- P_U - pepeo iz uglja u i-tom briketu (%)

Na isti način su određeni i preostali uzorci iz pojedenih eksperimenta, a zbrajajući sagorivu masu i pepeo iz uglja, drvene piljevine i pirofilitnog škriljca dobili smo suštinske omjere ovih materija koje su unijete u analizu tj. mjerenje u instrument (npr. za toplotnu vrijednost u kalorimetar 1 g.). Na isti način je izvršena analiza za sumpor a rezultati su dati u tabeli 8.

Tabela 7. Analiza sadržaja briketa prema pepelu u uzorku za mjerenja

Briket	P	Ugalj	Piljevina	Pirofilit
A4	24,35	16,82	2,29	5,25
A4-3	24,95	17,23	2,34	5,38
A4-1	24,89	17,19	2,34	5,36
A4-2	24,62	17,01	2,31	5,30

4.2 Uticaj pirofilita na smanjenje emisije sumpornih plinova u kompozitnom briketu

Jasno je da se unosom materijala koji imaju zanačajno manju količinu sumpora u svom sastavu kakvi su drvena piljevina i pirofilit umanjuje ukupna količina sumpora u briketu. Prema ispitivanjima osnovnih komponenata, a u ranijem tekstu je to naglašeno, da ugalj sadrži oba oblika sumpora, a piljevina i pirofilit samo jedan oblik sumpora. Prema ovom navodu smanjenje sumpora u briketu proizilazi iz masene raspodjele izgrađivača briketa. Pri tome masena raspodjela, mora biti proporcionalna ukupnim unijetim vrijednostima izgrađivača briketa i ustanovljene vrijednosti mjerenjem u instrumentu, i to za sve vrste sumpora (ukupni, gorivi i u pepelu).

Drugi oblik ili mehanizam koji može imati uticaj na ponašanje pomenutog oblika sumpora se ogleda u sadržaju pirofilitnog škriljca. Karbonati prisutni u ovom škriljcu pri gorenju uglja prelaze u Ca i Mg okside koji imaju značajnu reaktivnu moć prema sumporu. Na taj način se u suštini odvija i proces desumporizacije negašenim krečom u termoelektranama na ugalj. Pri ovome usljed hemijske reakcije nastaje mineral gips koji se obara u pepeo. Prisustvo veće količine sumpora u pepelu od one koja se dobiva iz masene raspodjele govori u prilog činjenici prevođenja gorivog sumpora u sumpor u pepelu. Ovaj navod se uočava i u analizi TG, gdje se može uvidjeti gubitak mase na temperaturama od 850 ^{0}C, što bi odgovaralo gubitku CO_2 iz prisutnih karbonata (Ca i Mg).

Ova pak činjenica ukazuje na dio odgovora mehanizma dejstva pirofilita u briketu pri izgaranju uticaja na ponašanje sumpora iz uglja. Oslobođeni sumpor iz uglja te kalcijev i magnezijev oksid iz karbonat su

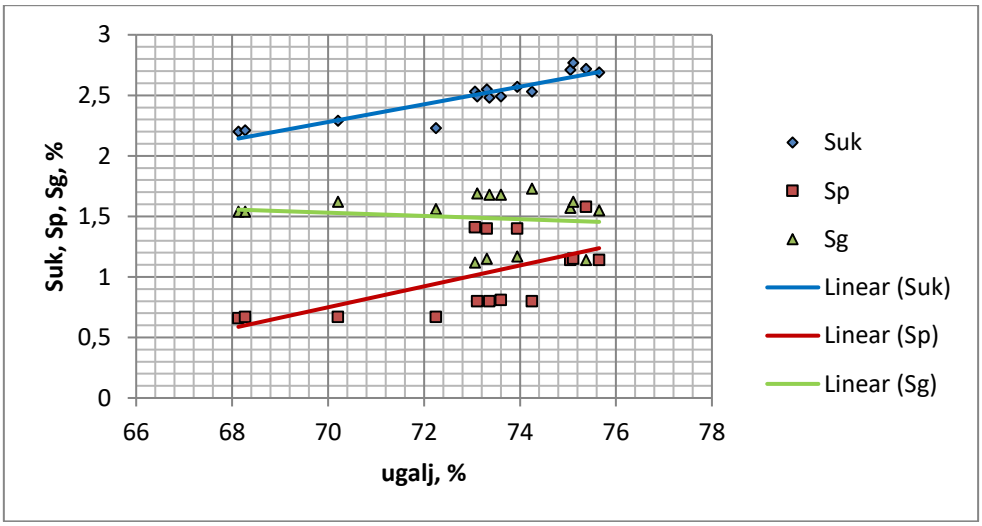
reaktivni, te kao rezultat njihove rakcije nastaje gips. Na ovaj način se osim sumpora u pepelu briketa koji potiče iz ne gorivih jedinjenja uglja, nađe i sumpor koji se oslobađa gorenjem. Ovaj mehanizam se u rezultatima istraživanja može vidjeti kroz povećanu količinu sumpora u pepelu i smanjenu količinu gorivog sumpora, tj. sumpora koji se pri izgaranju oslobodi u atmosferu. Ne treba svesti s uma niti činjenicu oslobađanja kristalne vode iz minerala pirofilitnog škriljca i mogućih reakcija na molekularnoj razini ovih događanja. Uz sve navedeno u smislu navođenja mogućnosti smanjenja količine sumpornih plinova pri izgaranju ovih i sličnih materija, treba naglasiti i strukturu minerala pirofilita koja ima moć zbog fine, otvorene poroznosi adsorbovat određene vrijednosti u sebe.

Dakle indikator uticaja, na atmosferu, sa aspekta ovakve smejese u briketu su maseno smanjenje količine sumpora u gorivu i međusobni relativni odnos oslobođenog sumpora nakon izgaranja briketa.
Na osnovu rezultata ispitivanja iz tabele, u slijedećoj tabeli su izračunato ukupno smanjenje sumpora u odnosu na briket spravljen od uglja.

Tabela 8. Ukupno smanjenje sumpora u odnosu na briket od uglja

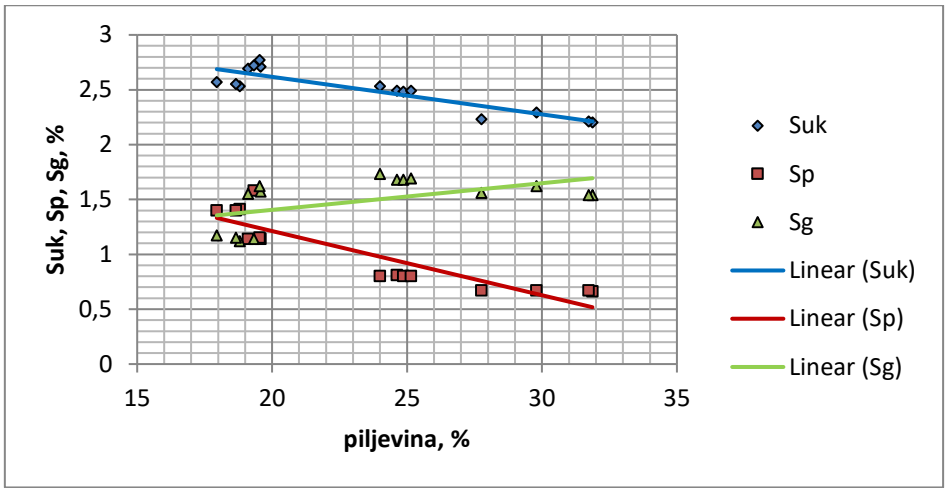
Briket	Ugalj	Piljevina	Pirofilit	DTV , kJ/kg	Suk %	Sp %	Sg %	Smanjenje Suk, %
A1	*100*	*0*	*0*	*17961*	*3,29*	*1,747*	*1,82*	-
A2-3	73,06	18,8	8,14	18163	2,53	1,41	1,12	30,04
A2-2	73,94	17,95	8,12	17065	2,57	1,4	1,17	28,02
A2-1	73,31	18,66	8,03	18226	2,55	1,4	1,15	29,02
A4-3	75,05	19,57	5,38	17239	2,71	1,14	1,57	21,40
A4-2	75,11	19,53	5,36	17316	2,77	1,15	1,62	18,77
A4-1	75,38	19,32	5,3	16271	2,72	1,58	1,14	20,96
A3-3	73,6	24,62	1,78	18091	2,49	0,81	1,68	32,13
A3-1	73,36	24,86	1,78	18097	2,48	0,8	1,68	32,66
A3-2	74,25	23,99	1,76	18169	2,53	0,8	1,73	30,04
A5-3	68,27	31,73	0	18295	2,21	0,67	1,54	48,87
A5-2	70,21	29,79	0	18261	2,29	0,67	1,62	43,67
A5-1	72,25	27,75	0	16448	2,23	0,67	1,56	47,53

Posmatrajmo uticaje pojedinih izgrađivača briketa na ukupni, gorivi i sumpor u pepelu. Na slici 2, prikazana je ova zavisnost za ugalj, na slici 3. za piljevinu i na slici 4. za pirofilit.



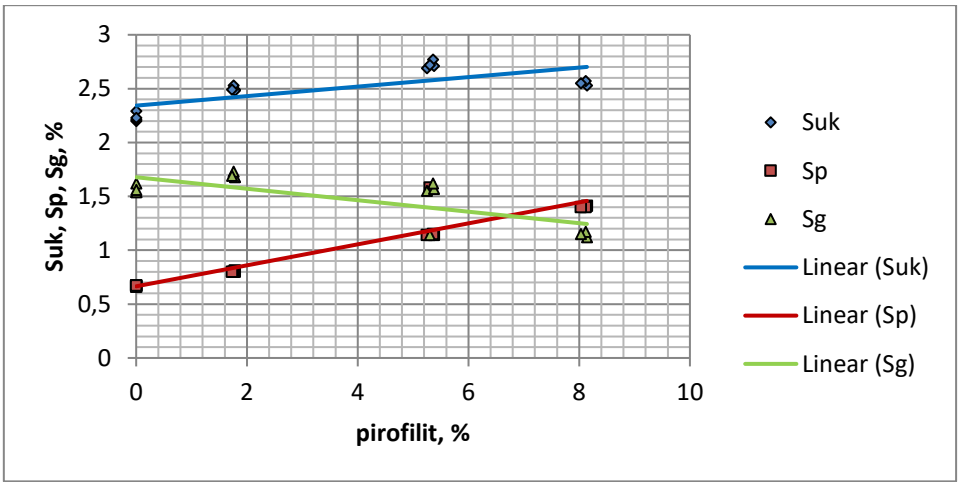
Slika 2. Uticaj uglja iz briketa na sumpor

Prema ovoj slici ugalj na ukupan sumpor utiče na način da se njegovim povećanim učešćem u miksanom briketu rastu ukupni sumpor i sumpor u pepelu a vrlo malo opada gorivi sumpor.



Slika 3. Uticaj piljevine iz briketa na sumpor

Iz ovog odnosa vidljivo je da sa rastom učešća piljevine u briketu smanjuje se ukupna količina sumpora, kao i količina sumpora u pepelu, a raste količina gorivog sumpora.



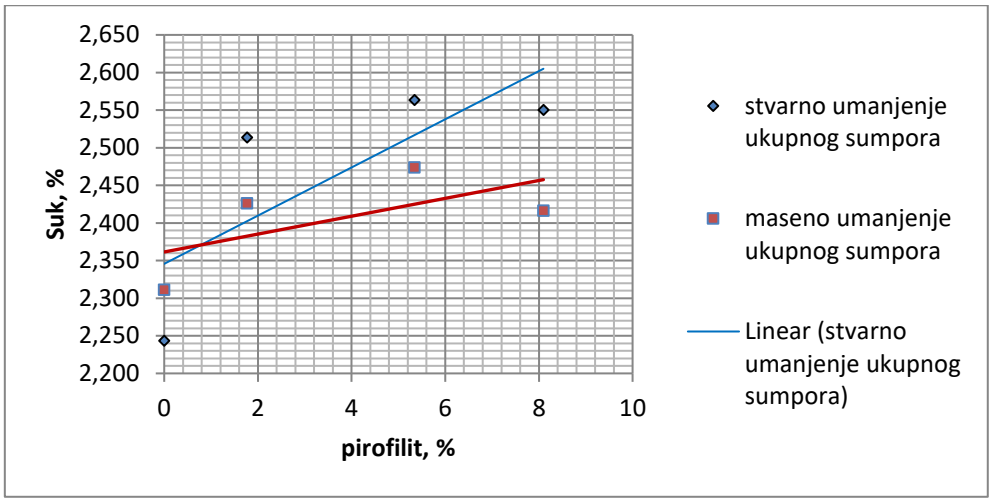
Slika 4. Uticaj pirofilita iz briketa na sumpor

Povećanjem sadržaja pirofilitnog škriljca u briketu nosi blago povećanje ukupnog sumpora, ali značajan trend u promjeni sumpora u pepelu koji naglo raste i značajno smanjenje gorivog sumpora. Umanjenjenje ukupne i pojedinih količina gorivog i sumpora u pepelu su vezane i za „razblaženje“ istih u uglju kroz dodatak drvene piljevine i pirofilita koji sadrže značajno manje količine sumpora. ovo maseno razblaženje sumpora je izračunato i dato u tabeli 9. s tim da su uporedno dati i rezultati mjerenih vrijednosti istih pokazatelja dobivenih iz eksperimentaknih uzoraka.

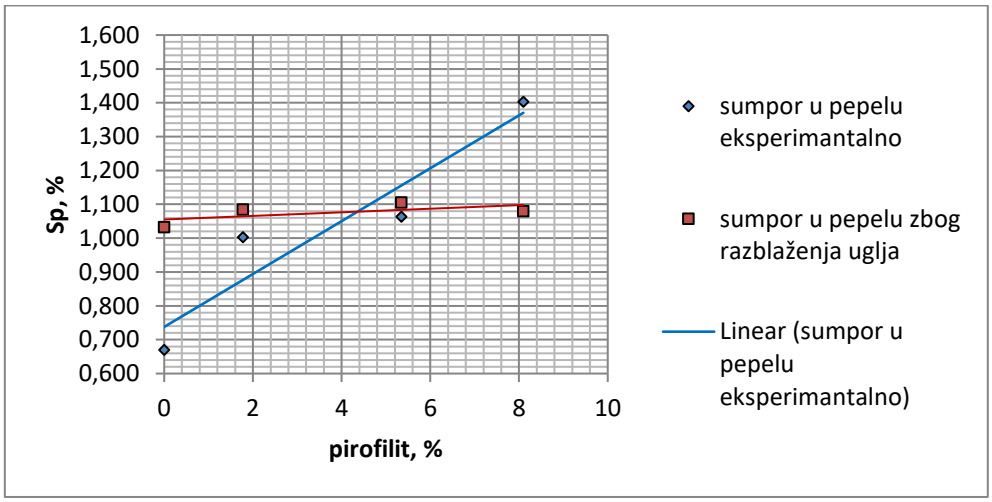
Tabela 9.

			usljed razblaženja			eksperimentalno		
Briket	**Ugalj u briketu prosječno %**	**Pirofilitni škriljac**	**Sukt**	**Sp**	**Sg**	***Suk***	***Sp***	***Sg***
A1	100,00	0,00	3,29	1,470	1,820	*3,290*	*1,470*	*1,820*
A2	70,24	0,00	2,31	1,033	1,278	*2,243*	*0,670*	*1,573*
A3	73,74	1,77	2,43	1,084	1,342	*2,513*	*1,003*	*1,510*
A4	75,18	5,35	2,47	1,105	1,368	*2,563*	*1,063*	*1,500*
A5	73,44	8,10	2,42	1,080	1,337	*2,550*	*1,403*	*1,147*

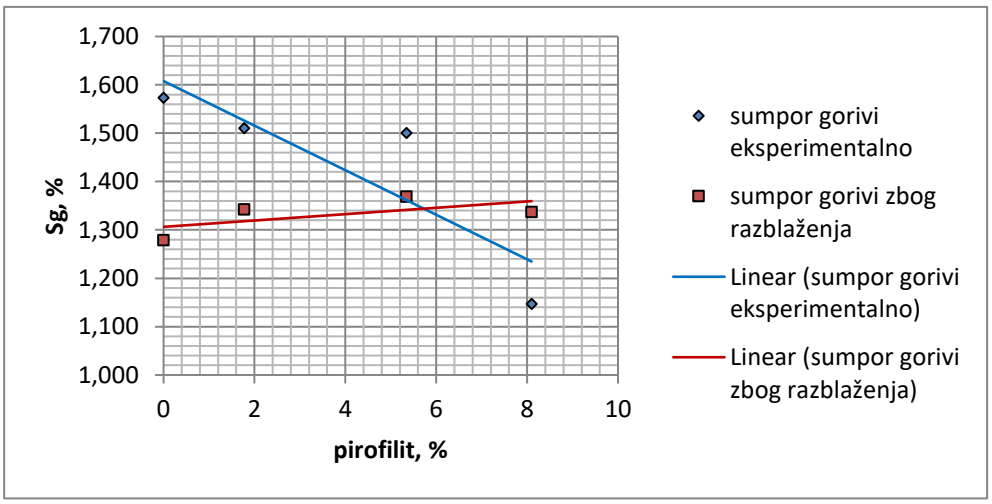
Odnos smanjenja svih oblika sumpora u briketu prema masenom razblaženju dodatkom drvene piljevine i pirofilita su dati na dijagramu slika 5. za ukupni, slika 6. za gorivi i slika 7. za sumpor u pepelu.



Slika 5. Odnos masenog i eksperimentalno utvrđenog ukupnog sumpora prema količini pirofilitnog škriljca u briketu



Slika 6. Odnos masenog i eksperimentalno utvrđenog ukupnog sumpora prema količini pirofilitnog škriljca u briketu



Slika 7. Odnos masenog i eksperimentalno utvrđenog ukupnog sumpora prema količini pirofilitnog škriljca u briketu

ZAKLJUČAK

U osnovi same hipoteze je ekološki uticaj sagorijevanja uglja, prvenstveno na atmosferu. Iz tog razloga je većinski dio istraživanja posvećen emisiji oslobađanja plinova pri ovom procesu. U fokus je postavljen sumpor kao primarni ekološki problem pri sagorijevanju uglja i detaljno istražen.

Postavljena je receptura eksperimentalnih uzoraka briketa na način da su gorive materije ugalj i drvena, borova piljevina, odražavale uvijek isti meseni dio, a pirofilit je dodavan u različite briketa sa promjenjivom masom. Izrađeno je ukupno pet raličitih kombinacija ove mješavine u pojedinačnim količinama od cca 2,00 kg. Za početni eksperimentalni uzorak urađen je briket sa 100 % sadržajem uglja, a ostalih četri su konstantno imali 1400 grama uglja, 600 grama drvene piljevine te 40, 120 i 200 grama pirofilitnog škriljca. Briketi su spravljani u laboratorijskim uslovima

Dakle analiza je zahtijevala dva međusobno zavisna koraka. U prvom koraku, analiza dobivenih pokazatelja je imala dvojak zadatak i to: analitički proračun mjerodavnih pokazatelja istraživanja na bazi zadate recepture i ispitanih pokazatelja ulaznih komponenti, te analitički proračun sadržaja uzoraka podvrgnutih mjerenjima.

Ključni pokazatelj istraživanja i odgovor na postavljenu hipotezu rada se ogleda kroz analizu sumpornih plinova u procesu izgaranja eksperimentalnih briketa. I u ovom slučaju se mogu primijetiti prisutne nehomogenosti, naglašene kao i u prethodno opisanom zaključku. ove nehomogenosti se mogu aproksimirati kroz posmatranje trenda postavljenih zavisnosti u analitičkom i instrumentalnom mjerenju eksperimentalnih briketa. Naime, logično je što i sam analitički nalaz pokazuje smanjenje svih oblika sumpora u zavisnosti od svojevrsnog „razblaženja“ ugljene materije (osnovnog nosioca sumpora) sa piljevinom i pirofilitnim škriljcem. Sa ovog aspekta dobiveni rezultati daju određena odstupanja, ali je trend ovih pokazatelja posmatran za analitički dobivene i rezultate dobivene u instrumentalnim metodama mjeranja za ukupni sumpor sličan.Međutim raspodjela ukupnog sumpora na gorivi i u pepelu u kontekstu posmatranja dobivenih rezultata usljed masenog umanjenja uglja u briketu za anlitički model i eksperimentalne rezultate značajno drugačija.

Na dijagramu slika broj 6. je vidljiv trend blagog rasta sa promjenom sadržaja pirofilitnog škriljca u briketu kod analitičkog i naglog rasta sumpora u pepelu. Suprotno tome, a vidljivo na dijagramu slika broj 7. da je trend sličan kod analitičkog, a potpuno suprotan kod eksperimentalnog modela.

Upravo ovi dijagrami su pokazatelji kojima se može potvrditi radna hipoteza, dodatak pirofilitnog škriljca ugljenoj masi umanjuje uticaj sumpornih plinova dobivenih izgaranjem ove mješavine na atmosferu.

LITERATURA

1. A. M. Goden, (1950.): Principi pripreme mineralnih sirovina za dalju preradu, Beograd
2. Alić N., (2020):“Istraživanje mogućnosti koncentracije pirofilita, iz ljubičastog varijiteta škriljca, ležišta Parsovići“, Studija, RGGF Tuzla
3. Alić N., (2020): Usitnjavanje u pripremi mineralnih sirovina, Univerzitetski udžbenik RGGF Tuzla
4. Alić N., (2022): Klasiranje mineralnih sirovina, Univerzitetski udžbenik RGGF Tuzla
5. Alić N., (2020): Mogućnost alternativne primjene ugljeva krekanskog bazena, Glasnik RGGF Tuzla
6. Razić R., (2024): Modeliranje kompozitnog briketa na bazi uglja u cilju smanjenja emisije produkata sagorijevanja u atmosferu, Doktorski rad, RGGF Tuzla
7. Petrović M. (2008.): Priprema mineralnih sirovina - Osnovi aglomeriranja, Printcom, Tuzla
8. Toročešnikov N. S. i dr. (1981.): Tehnika zaštite okružujuće sredine. Moskva,
9. Tomanec R., A. (2000): Metode ispitivanja mineralnih sirovina u pripremi mineralnih sirovina, Rudarsko Geološki fakultet u Beogradu,
10. Prospektna, operativna, projektna i tehnička dokumentacija AD Harbi d.o.o Sarajevo, 1963 do danas

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.12 Naučni rad

RECIKLAŽA MATERIJALA OD ISKOPA TUNELA „POČITELJ“ TE UGRADNJA DOBIVENIH PROIZVODA U NAVEDENI TUNEL KROZ BETON I TAMPON

Ekrem Bektašević[1], Hrvoje Antičević[2], Kemal Gutić[3], Denijel Sikira[4]

ABSTRACT

U niskogradnji odnosno cestogradnji, posebno kod izrade tunela nastaju velike količine materijala iz iskopa. U mnogim slučajevima taj se materijal, ako se na odgovarajući način tretira i obradi, može reciklirati i ponovno upotrijebiti na gradilištu. Ako se za taj materijal od početka projekta planski ne tretira nego odvozi na deponiju i miješa s lošim materijalom ili građevinskim otpadom, poslije kad se ukaže potreba za njim, teško ga je izdvojiti i vratiti u proces izgradnje. U najjednostavnijem slučaju materijal se može koristiti kao nasip u koliko udovoljava zahtjevima u pogledu kvalitete nasipnog materijala. Materijal boljeg kvaliteta često se može reciklirati u izradi frakcija za razne vrste betona, agregata za tampon ili zidova od ukrasnog kamena (arhitektonski kamen). U trenutnom primjeru tunela „Počitelj“ kroz provedena ispitivanja frakcija, definisanja receptura, reciklirani materijal iz iskopa tunela uspiješno je primjenjen kao agregat za mlazni beton, beton sekundarne obloge i konstrukcije, tampon, posteljice za polaganja cijevi i izradi čeonih kosina od lomljenog kamena. Time je kupovina i transport agregata iz lokalnih kamenoloma svedena na najmanju moguću mjeru, a time i ušteda resursa, uz financijsku korist. Ukratko, kroz ovaj primjer, može se primijetiti da će ponovna upotreba tunelske iskopine igrati važnu ulogu za buduće projekte tunela zbog ekoloških i ekonomskih razloga.

Ključne riječi: tunel, iskop, krečnjak, beton, tampon, reciklaža

UVOD

Strategija opsežnog recikliranja materijala već je uspješno implementirana u izgradnji nekih od najdužih tunela na svijetu: švicarskih baznih tunela Lötschberg i Gotthard Base Tunnel [1]. Tamo je provedena vlastita proizvodnja gradilišta recikliranim agregatom koji je uglavnom proizveden in situ na gradilištu [2]. U drugim istraživačkim projektima moglo bi se pokazati da je, uz ispunjavanje određenih uslova, vršeno korištenje iskopa kao agregatnog resursa za izgradnju cesta [3].
Naučni pristup korištenju materijala za iskop seže od procesa planiranja i odlučivanja rukovanjem materijalom za iskop do tehnološke implementacije, fokusirajući se na tehnički razvoj u odnosu na analizu materijala i realizaciju sirovina [4]. Stoga su veliki međunarodni istraživački projekti provedeni u okviru održive proizvodnje sirovina i recikliranja. Ne manje važno, potrebno je uzeti u obzir konstrukcijsko inženjerstvo u pogledu dizajna tunela kada se koristi reciklirani agregat za građevinski beton kako bi se ispunio projektovani radni vijek konstrukcije tunela [5]. Posebno u pogledu uštede resursa i zaštite okoliša – cilj mora biti maksimalan udio recikliranja materijala i njegova ponovna ugradnja a ne njegovo odlaganje kao „jalovine“ na odlagalište.

[1]Dr.sci. dipl.inž.rudarstva, “PPG” d.o.o. Sarajevo, bektasevic.ekrem@gmail.com;
[2]Dr.sci. dipl.inž.rudarstva, Krešo Geo d.o.o. Zagreb, anticevic.zagreb@gmail.com
[3]Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzla, kemal.gutic@untz.ba
[4] “FM INŽENJERING” d.o.o. Sarajevo, denijal.sikira@gmail.com

Kao rezultat toga, postignut je visok nivo recikliranja materijala od iskopa tunela „Počitelj“ koji je izgrađen na autocesti Zenica-Sarajevo-Mostar, dionica Počitelj-Bijača, poddionica Počitelj-Zvirovići. Tamo je upotrebljena većina iskopanog stijenskog materijala tokom kontinuiranog iskopa tunela s posebnom važnošću u pogledu upravljanja kvalitetom zbog njegove upotrebe za visokokvalitetne betonske proizvode kao što su obloge, konstrukcijski beton i tamponski nasip.

Geološke karakteristike terena u zoni izgradnje tunela „Počitelj“

Generalno posmatrano, prostor spada u planinski reljef, sa nadmorskim visinama u rasponu od 134.0 do 261.0m. Maksimana kota površine terena iznad nevelete tunela je 261 m.n.v. odnosno, maksimalna visina nadsloja iznosi oko 110m.

Na osnovu inženjersko-geološkog kartiranja terena i nabušenog jezgra iz istražnih bušotina, u inženjeskogeološkom smislu, izdvojene su sljedeće kategorije:

- Eluvijalno-deluvijalne tvorevine,
- Degradirani geološki supstrat i
- Geološki supstrat.

Eluvijalno-deluvijalne tvorevine izdvojene su pri površinskom dijelu terena. Nastao je usljed erozionodenudacinih procesa na okolnim padinama. Prema rezultatima istražnog bušenja, izdvojen je litološki član humusne gline, crveno smeđe boje. Humusne gline su zastupljene u površinskim dijelovima terena, pozicionirane direktno preko kore trošenja geološkog supstrata. Debljine deluvijalnog pokrivača je promjenjiva i kreće se u intervalu od 0,50 do 1,20m.

Degradirani geološki supstrat predstavljen je kao dezintegrirani i dekompozirani krečnjak. Debljina nabušenih tvorevina degradiranog geološkog supstrata se kreće od do 3,0m. Sa inženjerskogeološkog aspekta ove zone grade uslovno stabilne do stabilne terene.

Geološki supstrat predstavlja krečnjak. Krešnjak je masivne teksture a rijeđe debeloslojne. Na pojedinim mjestima ove stijene su jače ispucale uz prisustvo sistema pukotina usljed procesa karstifikacije. Krešnjaci imaju uslojenu, bankovitu do djelimično masivnu teksturu a kristalastu do kriprokristalastu strukturu. To su stijenske mase pukotinsko-kavernozne poroznosti. Položaj slojevitosti u odnosu na dispoziciju trase tunela je generalno povoljan, ako se uzme u obzir izrada tunela iz smijera izlaznog portala. Grade stabilne terene sa povoljnim mehaničkim svojstvima.

Reciklaža iskopanog materijala tokom izgradnje tunela „Počitelj“

Dužina desne tunelske cijevi tunela „Počitelj“, uključujući i portalnu građevinu iznosila je 1163,0m', dok je dužina lijeve tunelske cijevi iznosila 1192,0m'. Cijevi su povezane sa tri pješačke poprečne veze i jednim prolazom za interventna vozila. Iskopna površina u prosjeku iznosila je cca 73m^{3}č.m./m' tunela. Ako od ukupne dužine umanjimo portalnu konstrukciju, te cca 5m' degradiranog čeološkog supstrata uključujući i eluvijalno-deluvijalne tvorevine dobijamo ukupnu dužinu obiju cijevi od 2300m' čiji je materijal recikliran. Ukupna količina materijala koju je bilo neophodno reciklirati od iskopa može se izračunati pomoću sljedećeg obrazca:

$$U = L \cdot P \cdot \gamma$$

Gdje je:

U - ukupna količina recikliranog materijala iz iskopa (t)

L - ukupna dužina obiju cijevi čiji je materijal recikliran, u našem slučaju iznosi 2.300 (m),

P - prosječna iskopna površina, u našem slučaju iznosi 73(m^2),

ɣ - zapreminska masa s porama i šupljinama, u našem slučaju iznossi 2,67 (t/m^3).

Tako da možemo izračunati ukupnu količinu materijala koji je bilo neophodno reciklirati iz iskopa tunela Počitelj:

$$U = L \cdot P \cdot \gamma = 2300 \cdot 73 \cdot 2{,}67 = 448.293\ (t)$$

Prilikom definisanja prostora za odlaganje iskopanog materijala iz tunela te prostora za recikliranje vodilo se računa da isto bude u neposrednoj blizini same lokacije tunela kako bi se troškovi transporta sveli na najmanju moguću mjeru te ostvarili značani benefiti. Prostorni položaj deponovanja iskopanog materijala iz tunela Počitelj prikazat je na slici 1.

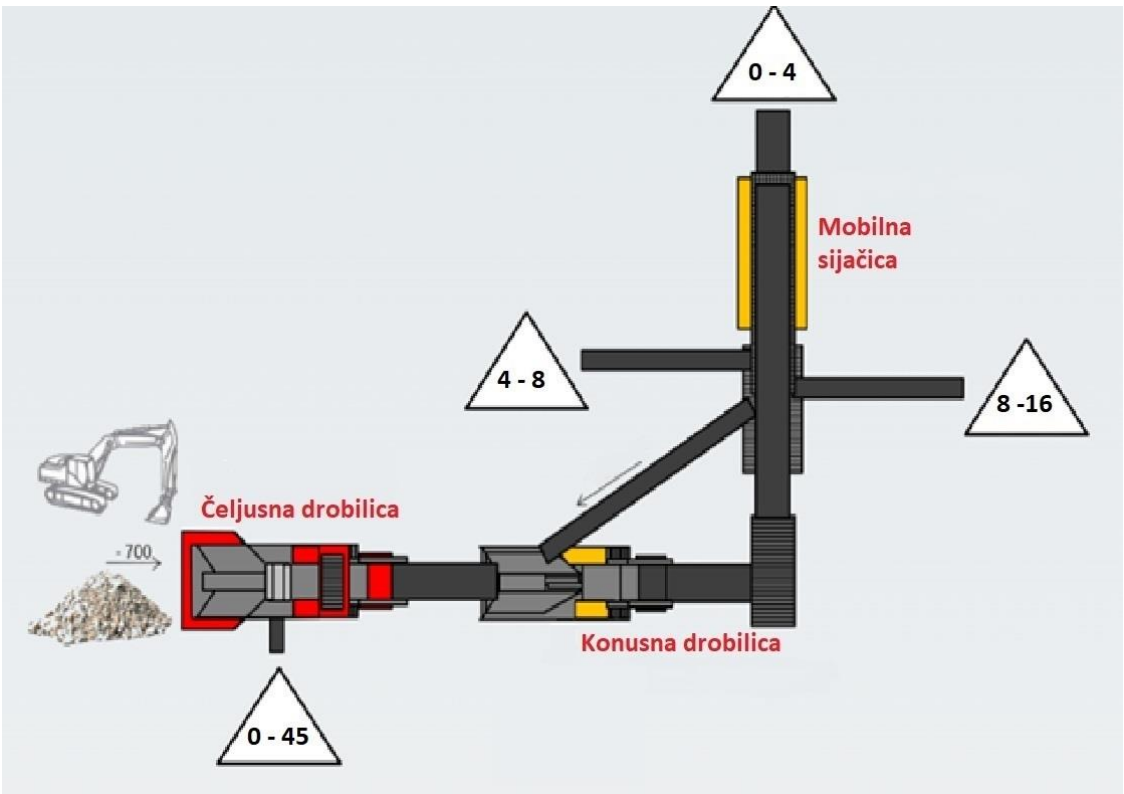
Slika 1. Prostorni položaj deponije iskopatog materijala i njegovog recikliranja u odnosu na ulaz u tunel [6]

Na samom početku iskopa tunela, a prije početka recikliranja iskopatog materijala izvršeno je ispitivanje fizičko mehaničkih karakteristika kamenog materijala iz iskopa. U tabeli 1. dat prikaz fizičko mehaničkih karakteristika kamena iz iskopa tunela Počitelj.

Tabela 1. Fizičko mehanička svojstva kamena iz iskopa tunela Počitelj [7]

Ispitana svojstva	***Metoda ispitivanja***	***Rezultati ispitivanja***	***Uslovi kvaliteta***	
			Beton JUS B.B2.009	*Asfalt beton JUS U.E4.014*
Pritisna čvrstoća u suhom stanju (MPa)	JUS B.B8.012	max. 207,0 min. 154,0 **sred. 185,0**	min.80 MPa min.160 MPa*	Auto-put; vrlo teško i teško min.160 MPa** srednje; min.140 MPa** lako i vrlo lako; min.120 MPa**
Pritisna čvrstoća vodozasićenom stanju (MPa)		max. 190,0 min. 150,0 **sred. 165,0**		
Pad pritisne čvrstoće (%)	JUS B.B2.009	10,37	max 20 %	-
Otpornost na dejstvo mraza (Na_2SO_4) (%)	JUS B.B8.002	0,06	max.5 %	max.5 %
Upijanje vode (%)	JUS B.B8.010	0,30	max.1 %	Auto-put; vrlo teško i teško max. 0,75% srednje; max. 0,75% lako i vrlo lako; max. 1%
Zapreminska masa s porama i šupljinama (g/cm^3)	JUS B.B8.032	2,67	2-3 g/cm^3	-
Zapreminska masa bez pora i šupljina (g/cm^3)		2,70	2-3 g/cm^3	-
Koeficijent zapreminske mase		0,987	-	-
Poroznost (%)		1,303	-	-

Na osnovu provedenih analiza iskopnog kamena potvrđena je mogućnost primjene recikliranih proizvoda od navedenog kamena u sve vrste betona kao i kolovoznu konstrukciju za izradu tampona. Izvršeno je uređenje odabrane površine na kojoj će se vršiti recikliranje kamenog materijala iz iskopa te je izvršena mobilizacija i instaliranje neophodne opreme za recikliranje kamenog materijala iz iskopa tunela, slika 2.



Slika 2. Šematski prikaz instalirane opreme za recikliranje kamenog materijala iz iskopa tunela

Odminirani materijal od iskopa tunela kamionima je dopreman do platoa nedaleko od ulaza u tunel (Slika 1.) gdje je instalirano postrojenje za recikliranje materijala kao na slici 2. Dopremljeni materijal bagerom ili utovarivačem je doziran na čeljusnu drobilicu na kojoj je odvajan materijal krupnoće od 0-45mm (koji je korišten kao tampon) dok nadrešetni proizvod vibro rešetke granulacije 150 - 45mm trakastim transporterom otpreman je do konusne drobilice. U konusnoj drobilici vršeno je dodatno usitnjavanje kamenog materijala na granulaciju 0-20mm. Nakon konusne drobilice, materijal je gumenim transporterom transportovan na mobilnu sijačicu gdje je vršeno klasiranje dopremljenog materijala iz konusne drobilice na finalne frakcije i to: 0-4, 4-8 i 8-16mm. Frakcija koja je krupnija od 16mm se ponovno vraća trakastim transporterom u konusnu drobilicu na dodatno usitnjavanje. Kompletna količina iskopanog materijala tokom iskopa tunela Počitelj je reciklirana. Manja količina koja je otkopana na ulaznom i izlaznom portalu a pripada eluvijalno-deluvijalnim tvorevinama i degradiranom supstratu je iskorišten na pristupnim trasama uz oplemenjivanje sa granulatom krečnjaka.

Ugradnja dobivenih proizvoda recikliranjem u tunel i pristupnu trasu

Prije same upotrebe reciklažnog agregata bilo je neophodno dokazati njegovu upotrebljivost usljed čega su provedene kontrole agregata u skladu sa važećim tehničkim propisima i zahtjevima standarda EN 206-1, kao i odredbama specifikacije cementnog betona [8]. Rezultati provedenih ispitivanja agregata prikazati su u narednim tabelama (Tabela 2.).

Tabela 2. Fizičke i geometrijske osobine agregata [7]

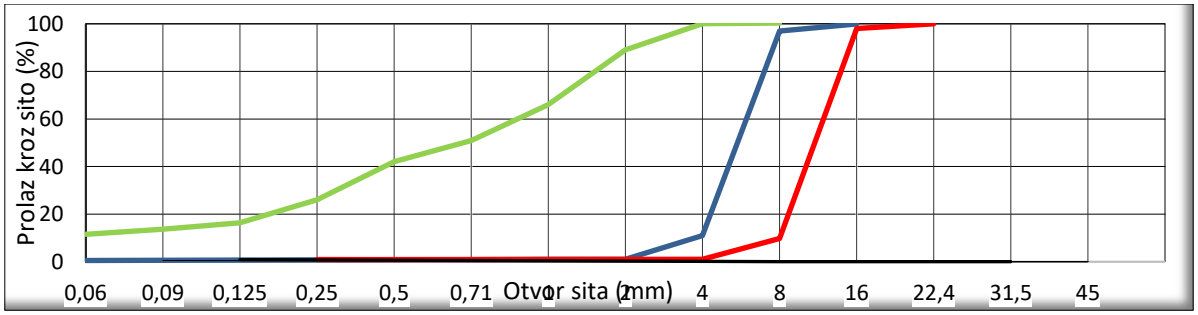
Ispitane osobine (Prema smjernicama za projektovanje, građenje, održavanje i i nadzor na putevima Knjiga II: Građenje, Dio 2: Posebni tehnički uslovi i Pravilnik za beton)	**Metoda ispitivanja**	**Rezultati ispitivanja**		
		Nazivna frakcija (mm)		
		0/4	4/8	8/16
Udio zrna veličine do 0,063 mm (%)	BAS EN 933-1:2012	**11,5**	**0,5**	**1,0**
Ekvivalent pijeska, SE (%)	*BAS EN 933-8+A1:2016	**66**	**-**	**-**
Nasipna gustoća, ρ_b (Mg/m^3)	*BAS EN 1097-3:2007	**1,546**	**1,300**	**1,374**
Otpornost na drobljenje, LA (%)	*BAS EN 1097-2:2011	**-**	**-**	**24**
Gustoća zrna, ρ_a (Mg/m^3)	*BAS EN 1097-6:2014	**2,726**	**2,721**	**2,742**
Upijanje vode, WA_{24} (%)		**0,31**	**0,53**	**0,46**
Otpornost na mraz, MS (%)	*BAS EN 1367-2:2011	**-**	**-**	**1,0**
Otpornost na mraz, $N_{a2}SO_4$ (%)	*JUS B.B8.044	**0,47****	**0,48**	**0,50**
Oblik zrna krupnog agregata, SI (%)	*BAS EN 933-4:2011	**-**	**13**	**13**
(**) – ispitano na frakciji 2/4mm				

Tabela 3. Granulometrijska analiza sitnih agregata (BAS EN 933-1:2012) [7]

Oznaka frakcija d/D (mm)	Prolaz kroz sito (%)										
	0,063	0,09	0,125	0,25	0,5	0,71	1	2	D	1,4D	2D
0/4	**11,5**	**13,6**	**16**	**26**	**42**	**51**	**66**	**89**	**100**	**100**	**100**

Tabela 4. Granulometrijska analiza krupni agregat (BAS EN 933-1:2012) [7]

Oznaka frakcija d/D (mm)	Prolaz kroz sito (%)											
	0,063	0,09	0,125	0,25	0,5	1	2	d/2	d	D	1,4D	2D
4/8	**0,5**	**0,5**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**11**	**97**	**100**	**100**
8/16	**1,0**	**1,0**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**10**	**98**	**100**	**100**



Slika 3. Grafički prikaz granulometrijskog sastava – (BAS EN 933-1:2012) [7]

Mineralno-petrografska i hemijska analiza frakcionisanog kamenog agregata iz iskopa tunela „Počitelj“ izvršena je od strane Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta, Univerziteta u Tuzli prema standardnim normama. U tabeli 5. dat je mineralno-petrografski sastav agregata [9].

Tabela 5. Mineralno-petrografski sastav agregata

Genetski tip	Naziv stijene ili minerala	Krupan agregat		Sitan agregat
		Sadržaj mineralno-petrografske vrste u % mase		
		8 - 16	4 - 8	0 - 4
Sedimentne stijene	Kristalasti krečnjaci sive do smeđe boje. Neki od fragmenata su presvučeni limonitnom skramom. Lom je nepravilan, sa nepravilnim do školjkastim prelomnim površinama. Pojedini fragmenti su prošarani pukotinama (ispunjeni sekundarnim, prozirnim kalcitom) nepravilne orjentacije i različitog promjera. Reakcija na razblaženu HCl kiselinu je burna i trenutna. Netopivi ostatak je zanemariv.	95	95	96
Minerali	Kalcit/sekundarni, proziran do bijele boje	3	3	1
	Limonit (skrama)	2	2	4
UKUPNO:		***100***	***100***	***100***

U tabeli 6. dat je pregled sastojaka koji bi mogli biti štetni na mješavinu betona u koliko bi se sadržavali u frakcijama.

Tabela 6. Pregled prisustva sastojaka koji mogu biti štetni u betonskoj mješavini [9]

Naziv utvrđenih potencijalno štetnih komponenata u agregatu	Krupan agregat		Sitan agregat
	Sadržaj mineralno-petrografske vrste u % mase		
	8 - 16	4 - 8	0 - 4
SASTOJCI KOJI MOGU BITI ŠTETNI ZA FIZIČKO – MEHANIČKA SVOJSVA			
Izmjenjena zrna (trošna i slaba zrna)	0	0	0
Glinoviti pješčari	0	0	0
Laporci i laporoviti karbonati	0	0	0
Argilošisti, mikašisti, filiti i dr.	0	0	0
Zrna sa skramama limonita, gline i opala	2	2	1
Gips (sadra) i anhidrit	0	0	0
Glina i glinci	0	0	0
Serpentin, liskuni i alevrolit	0	0	0
Ugalj	0	0	0
UKUPNO:	***2***	***2***	***1***
SASTOJCI KOJI MOGU REAKTIVNI			
Opal (Amorfni S_iO_2)	0	0	0
Tridimit, kristobalit, zeolit	0	0	0
Rožnaci sa opalom	0	0	0
Kisela silikatna stakla	0	0	0
Dolomitizirani krečnjaci sa mineralima gline	0	0	0
Hidroliskuni (ilit i sericit)	0	0	0
UKUPNO:	***0***	***0***	***0***
SASTOJCI KOJI MOGU PROUZROKOVATI KOROZIJU ARMATURE U BETONU			
Halit	0	0	0
Silvin	0	0	0
Pirit oksidiran	0	0	0
Markazit	0	0	0
Pirhotin	0	0	0
Anhidrit	0	0	0
Sedra	0	0	0
UKUPNO:	***0***	***0***	***0***

U tabeli 7. prikazati su rezultati hemijskih ispitivanja frakcija koje su dobivene recikliranjem kamenog materijala iz iskopa tunela „Počitelj“.

Tabela 7. Rezultati hemijskih ispitivanja frakcija [9]

Parametri	Jedinica	Metodologija	Rezultati	MDK
Frakcija rastvorljiva u vodi				
Hloridi	%	JUS.B.B8.042	0,002	0,1 % AB 0,02% PB
Frakcija rastvorljiva u kiselini				
Sulfati kao SO_3	%	JUS.B.B8.042	0,005	-
Ukupni sumpor	%	JUS.B.B8.042	0,15	-
Sadržaj ukupnih karbonata	%	JUS.U.B1.026	94,86	-

Na osnovu mineralno-petrografskih ispitivanja da se zaključiti da analizirani frakcionisani agregati u najvećem dijelu pripadaju sedimentnim, karbonatnim stijenama: krečnjacima, kristalaste strukture i homogene teksture. Agregat sadrži malo (zanemarivo) limonitnih skrama. Nisu konstatovani sastojci koji mogu da prouzrokuju razaranje betona, kao ni sastojci koji u određenim uslovima, mogu da budu reaktivni. Sastojci koji mogu biti štetni za fizičko-mehanička svojstva se kreću u jako niskim granicama. Rezultati hemijskih ispitivanja ukazuju na niske vrijednosti hlorida i ukupnog sumpora u pogledu upotrebe frakcija za proizvodnju svih vrsta betona. Visok procenat sadržaja ukupnih karbonata (94,86%) ukazuje na čistoću agregata.

Probna proizvodnja betona i ugrađivanje

Prije početka masovne proizvodnje betona, neophodno je provjeriti i dokazati recepture mješavine cementnog betona u proizvodnji na odgovarajućoj proizvodnoj bazi [5].
Nedaleko od platoa na kojem je vršeno recikliranje iskopatog materijala pri iskopu tunela, izvođač radova je instalirao betonaru za proizvodnju svih cementnih betona od frakcija koje su dobivene reciklažom, slika 4.

Slika 4. Izgled instalirane betonare za proizvodnju betona [6]

Prije probne proizvodnje i ugrađivanja bilo koje klase cementnog betona vršeno je usvajanje sastava navedene recepture betona na betonari izvođača radova. Pored usvajanje sastava receptura betona, bilo je neophodno ustanoviti pravilnost deponija i proizvodnog pogona za mješavine svježeg cementnog betona, pravilnost izabranog načina prevoza i opreme za ugrađivanje, te na mjestu ugrađivanja uzeti uzorke mješavine za ispitivanje karakteristika svježeg i očvrslog cementnog betona. U nastavku rada, dat je prikaz jedne od usvojene recepture, a koja se odnosi na mlazni beton C25/30, XC2, Dmax8, C10.2, S4, te rezultati provedene kontrole i ispitivanja na navedenom mlaznom betonu [10].

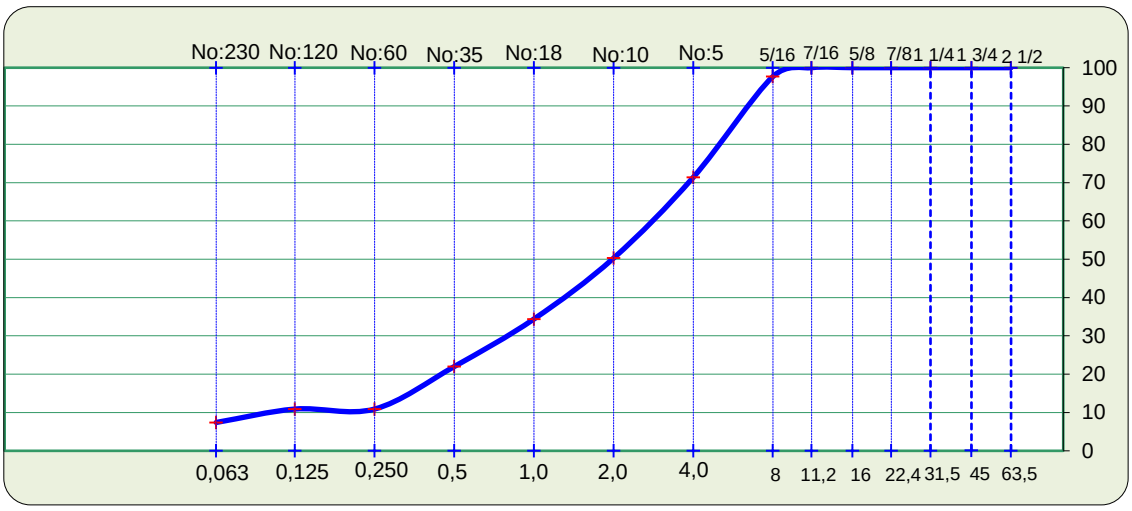
Tabela 8. Usvojena receptura mlaznog betona C25/30, XC2, Dmax8, C10.2, S4 [10]

Vrsta betona		***MLAZNI BETON C25/30***			
Klasa čvrstoće betona		C25/30			
v/c faktor		0,47			
Sastav betona za 1000 litara svježeg betona					
		kg/dm³	dm³		kg
Cement:	CEM II/B-W 42,5N, TC Kakanj	3,00	145,20		**450**
Voda:	Lokalni vodovod	1,00	211,00		**211**
Aditiv:	Dynamon LZF 4710, MAPEI	1,05	2,83		**3**
Agregat:		2712	610,60		**1656**
Zaostale zračne pore:		0	30,00		**0**
Ukupno			1000		**2320**
Raspodjela agregata po frakcijama (kg)					
1	0/4 mm	drobljeni	70	%	**1158**
2	4/8 mm	drobljeni	30	%	**498**

Tabela 9. Učešće pojedinih frakcija u mješavini mlaznog betona [10]

Frakcija	učešće (%)	(%) prolaza kroz sito otvora # (mm)										
		0,063	0,09	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5
0/4 mm	70	7,2	8,7	10,6	14,6	21,7	34,1	50,0	69,6	70,0	70,0	70,0
4/8 mm	30	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,8	27,4	30,0	30,0
UKUPNO:	100	7,4	8,9	10,9	14,9	22,0	34,4	50,3	71,4	97,4	100,0	100,0

Na slici 5. dat je prikaz granulometrijske krive betonske mješavine mlaznog betona sa Dmax 8mm.



Slika 5. Granulometrijska kriva betonske mješavine sa Dmax 8mm [10]

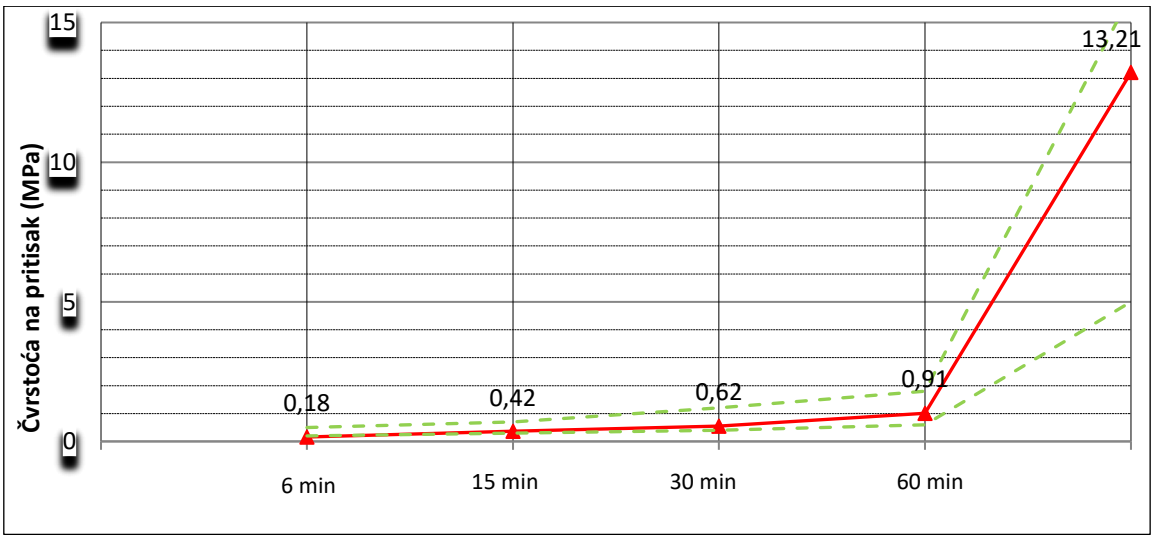
U tabeli 10. dat je prikaz rezultata dobivenih o ispitivanju rane pritisne čvrstoće na mlaznom betonu nakon 60 minuta, dok su u tabeli 11. prikazati rezultati razvoj čvrstoće mlaznog betona na 24 sata.

Tabela 10. Rana pritisna čvrstoća mlaznog betona prema BAS EN 14488-2:2008 [10]

No/ minuta	Ispitivanje penetrometrom (MEYCO)										prosječna vrijednost	čvrstoća na pritisak (MPa)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
6	12	10	14	11	12	12	16	9	10	11	11,7	0,18
15	24	26	26	30	28	29	24	30	30	28	27,5	0,42
30	38	38	42	40	42	44	46	36	42	42	41,0	0,62
60	61	57	60	62	55	57	60	62	62	60	59,6	0,91

Tabela 11. Ispitivanje svježeg mlaznog betona pobijanjem zavrtanja [10]

vrijeme [sati]	dužina zavrtnja [mm]	Ispitivanje pobijanjem zavrtanja										prosječna vrijednost
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
24	**80**	38	48	48	46	50	42	39	45	41	47	44,4
penetracija (mm)		42	32	32	34	30	38	41	35	39	33	35,6
sila izvlačenja(N)		4600	3600	3500	4700	2800	4000	3700	4000	2900	3100	3690,0
izrač. sila (N)		4370	3420	3325	4465	2660	3800	3513	3800	2755	2945	3505,3
čvrstoća na pritisak (MPa)		13,9	14,3	13,9	17,4	11,9	13,4	11,5	14,5	9,5	12,0	**13,2**



Slika 6. Dijagram prirasta čvrstoće mlaznog betona [10]

Ispitivanje pritisne čvrstoće mlaznog betona prema normi BAS EN 12504-1:2020/Cor1:2022, starost uzoraka od 7 dana prikazat je u tabeli 12.

Tabela 12. Ispitivanje pritisne čvrstoće mlaznog betona, starosti 7 dana [10]

oznaka ugleda	*starost (dana)*	*prečnik (mm)*	*visina (mm)*	*težina ugleda (g)*	*zapreminska masa (kg/m³)*	*sila loma (kN)*	*čvrstoća na pritisak (MPa)*
25-TPC-20	7	99,8	100,2	1821	2324	308,8	39,5
25-TPC-20	7	99,8	100,6	1810	2301	263,2	33,7
25-TPC-20	7	99,8	100,8	1807	2293	245,4	31,4
Srednja vrijednost:							***34,8***

Ispitivanje pritisne čvrstoće mlaznog betona prema normi BAS EN 12504-1:2020/Cor1:2022, starost uzoraka od 28 dana prikazat je u tabeli 13.

Tabela 13. Ispitivanje pritisne čvrstoće mlaznog betona, starosti 28 dana [10]

oznaka ugleda	*starost (dana)*	*prečnik (mm)*	*visina (mm)*	*težina ugleda (g)*	*zapreminska masa (kg/m³)*	*sila loma (kN)*	*čvrstoća na pritisak (MPa)*
25-TPC-20	28	99,8	100,4	1804	2298	356,0	45,5
25-TPC-20	28	99,8	100,0	1811	2316	407,7	52,1
25-TPC-20	28	99,8	100,2	1819	2322	374,5	47,9
Srednja vrijednost:							***48,5***

Na osnovu analiza i rezultata ispitivanja projektovanog sastava mlaznog betona (C25/30, XC2, Dmax8, Cl0.2, S4, oznake sastava C25/30 MB/III), da se zaključiti da mlazni beton zadovoljava sve kriterije definisane relevantnim tehničkim uslovima i standardima.

ZAKLJUČAK

Recikliranje materijala tokom iskopavanja tunela postaje sve važnije u svijetu, pa tako i u BiH. To nije samo zbog velikih količina iskopane stijenske mase koja se inače mora zbrinuti u prostoru, nego zbog ekoloških i ekonomskih razloga pri gradnji navedenih tunela. U vremenima održivosti, učinkovitosti resursa i minimiziranja emisija logična je odluka reciklirati i ponovno upotrijebiti iskopani tunelski materijal u okviru mogućnosti ovisno o karakteristikama stijenskog materijala.

U ovom radu je pokazano da su za uspješnu realizaciju reciklaže potrebna prethodna istraživanja kvaliteta stijenske mase u zoni iskopa tunela, kao i adekvatne tehničke performanse postrojenja za preradu i miješanje betona. Nakon toga slijedi probna proizvodnja agregata iz iskopane sirovine uz prikupljanje podataka o postignutim karakteristikama agregata i procesu prerade. Ovdje je cilj testirati različite vrste drobilica i mlinova, pronaći optimalne mašine za drobljenje i prosijavanje kako bi se postigla optimalna geometrijska svojstva proizvedenih agregata. Implementacija učinkovitog i adekvatnog postrojenja za obradu igra ključnu ulogu u pogledu uspjeha implementacije recikliranja. U slučaju trenutnog primjera, primijenjen je dvostepeni sistem drobljenja koji koristi čeljusnu i konusnu drobilicu, kao i prosijavanje na vibracionom situ sa tri nivoa odsijavanja. Na kompletnom postrojenju prerade i prosijavanja instaliran je sistem prskalica s ciljem smanjenja emitovanja emisija prašine u atmosferu. Nakon optimizacije kvalitete agregata, potrebno je ispitivanje betona kako bi se pronašle izvedbe betonske mješavine za različite vrste betona i primjene koje osiguravaju visoku stabilnost i trajnost betonskih konstrukcija.

U trenutnom primjeru tunela „Počitelj“ kroz provedena ispitivanja frakcija, definisanja receptura, reciklirani agregat je uspiješno primjenjen kao agregat za mlazni beton, beton sekundarne obloge te beton za konstrukcije. Time je kupovina i transport agregata iz lokalnih kamenoloma svedena na najmanju moguću mjeru, a time i ušteda resursa, uz financijsku korist. Ukratko, kroz ovaj primjer, može se primijetiti da će ponovna upotreba tunelske iskopine igrati važnu ulogu za buduće projekte tunela zbog ekoloških i ekonomskih razloga.

LITERATURA

1. Lieb, R.H. Materials management at the Gotthard Base Tunnel—Experience from 15 years of construction. Geomech. Tunnelbau 2009, 2, 619–626. [CrossRef]
2. Thalmann, C. Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen für gebrochene Zuschlagstoffe–Erfahrungen beim AlpTransit Gotthard. Z. Schweiz. Ing. Archit. 1994, 24, 532–536. (In German)
3. Mlinar, C.; Sempelmann, F.; Koch, G.; Steiner, M.; Kubin, F. Tunnel spoil as a source of raw materials for an autobahn—Sustainable reuse of resources through the example of the S 10/Tunnelausbruch als Rohstoffquelle für eine Autobahn—Nachhaltige Ressourcenverwertung am Beispiel der S 10. Geomech. Tunnelbau 2014, 7, 428–436. [CrossRef]
4. Erben, H.; Galler, R. Tunnel spoil—New technologies on the way from waste to raw material/Tunnelausbruch—Neue Technologien für den Weg vom Abfall zum Rohstoff. Geomech. Tunnelbau 2014, 7, 402–410. [CrossRef]

5. Voit, K.; Kuschel, E. Rock Material Recycling in Tunnel Engineering. Appl. Sci. 2020, 10, 2722. https://doi.org/10.3390/app10082722
6. https://www.jpautoceste.ba/pocitelj-zvirovici/, datum preuzimanja: 24.02.2024.
7. Spahić E., Izvještaj o ispitivanju kamena br.286/20, SAC Testing & Consulting d.o.o. Društvo za projektovanje, kontrolu, kvaliteta i konsalting, 2020., Sarajevo, str. 3.
8. Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Knjiga II: Građenje, Dio 2: Posebni tehnički uslovi, Direkcija cesta FBiH, Sarajevo 2005, str.436-447.
9. Babajić E., Izvještaj o mineralno-petrografskoj i hemijskoj analizi frakcionisanog kamenog agregata iz iskopa tunela „Počitelj“, Počitelj, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, februar 2020.
10. Spahić E., Izvještaj o usvojenom sastavu mlaznog betona C25/30, XC2, Dmax8, C10.2, S4, br. 351/20, SAC Testing & Consulting d.o.o. Društvo za projektovanje, kontrolu, kvaliteta i konsalting, 2020., Sarajevo, str. 1-10.

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.23 Stručni rad

EKSPLOATACIJA I PRERADA TEHNIČKOG KAMENA SA KAMENOLOMA PLJEŠEVAC KOD KISELJAKA

Mujo Valjevac[1], Ekrem Bektašević[2], Kemal Gutić[3], Noris Sakić[4], Denijel Sikira[5]

ABSTRACT

Danas tehnički kamen predstavlja materijal koji se koristi u ogromnoj razmjeri, te se njegova godišnja potrošnja u svijetu izražava u hiljadama miliona tona. Potražnja za gradnjom, kao što su kuće, bolnice, hoteli, škole i tako dalje, se proširila, posebno u zemljama u razvoju. Jedan od ključnih elemenata koji povećava potražnju za takvim proizvodima su brojni vladini infrastrukturni projekti i programi održavanja. Svi nivoi vlasti u BiH nastoje implementirati dobru infrastrukturu jer na taj način omogućuju trgovinu, podupiru industriju, povezuju radnike s radnim mjestima te se na taj način donosi nada o prosperitetu na ovim prostorima. U radu je dat kratak pregled o proizvodnji i preradi dolomita sa kamenoloma "Plješevac" kod Kiseljaka kao pozitivnog primjera iz prakse „proizvodnja i prerada od sirovine do finalnog proizvoda“.

Ključne riječi: kamenolom, dolomit, agregat, tehnički kamen, eksploatacija, prerada

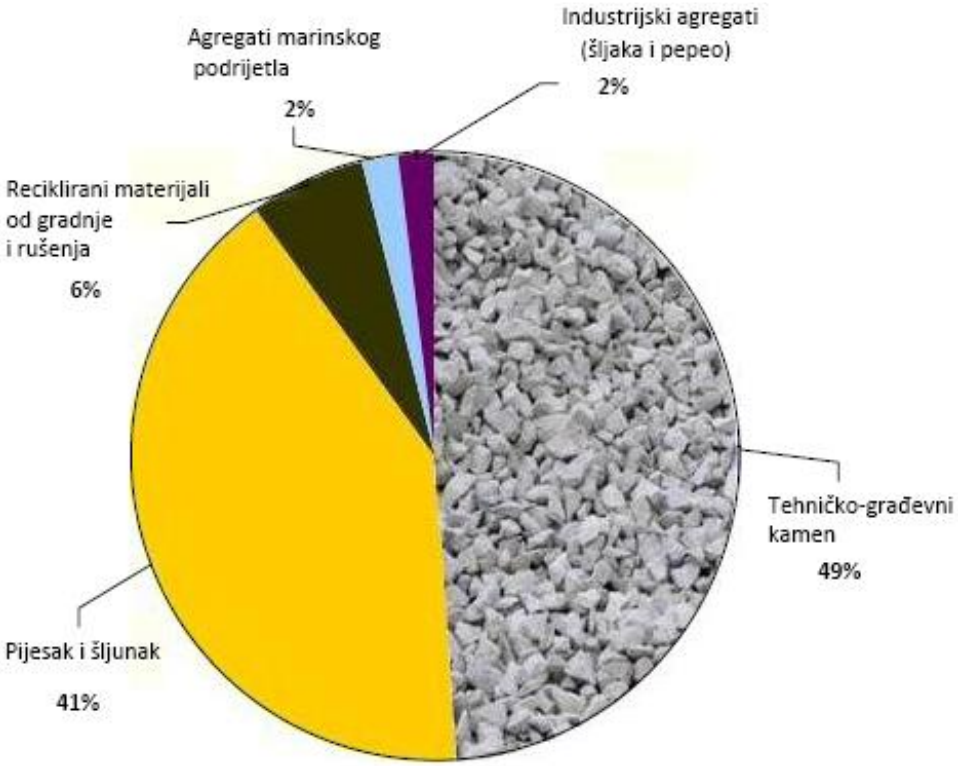
UVOD

Da nema proizvodnje i prerade tehničkog kamena ne bi bilo doslovno ničega oko nas. Ne bi bilo modernih cesta, luka, aerodroma, zgrada, škola, kuća, bolnica itd. Ako znamo da za izgradnju jedne prosječne kuće treba oko 400 tona agregata, za prosječnu školu oko 3000 tona, za kilometar autoceste oko 30 000 tona [1], onda nam je jasno koju važnu ulogu ima proizvodnja i prerada tehničkog kamena kako kod nas, tako i u svijetu.

Trenutno, oko 90% od ukupne proizvodnje kamenih agregata u Europi dolazi iz prirodnih izvora, iz kamenoloma i šljunčara. Preostalih 10% europske proizvodnje agregata dolazi iz morskih depozita, recikliranjem industrijskog otpada poput šljake i pepela, te recikliranjem građevnog otpada [2], (Slika 1).

Europska industrija agregata proizvodi tri milijarde tona godišnje, u vrijednosti većoj od 30 milijardi eura. Ti se agregati proizvode u 26.000 kamenoloma diljem Europe, koji pripadaju oko 15.000 preduzeća, tako da se proizvodnja i prerada agregata uglavnom sastoji od malih i srednjih poduzeća. Svaki europski građanin godišnje potroši oko šest tona agregata, a industrija proizvodnje i prerade tehničkog kamena zapošljava oko 187.000 ljudi tako da je ovaj sektor daleko najveća neenergetska ekstraktivna industrija u Europi [1].

[1]dipl.inž.rudarstva, “Baumit Kamen“ d.o.o. Sarajevo, Mujo.Valjevac@baumit.ba
[2] Dr.sci. dipl.inž.rudarstva, “PPG” d.o.o. Sarajevo, bektasevic.ekrem@gmail.com;
[3]Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzla, kemal.gutic@untz.ba
[4]Asistent, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzla, noris.sakić@untz.ba
[5] “FM INŽENJERING” d.o.o. Sarajevo, denijal.sikira@gmail.com

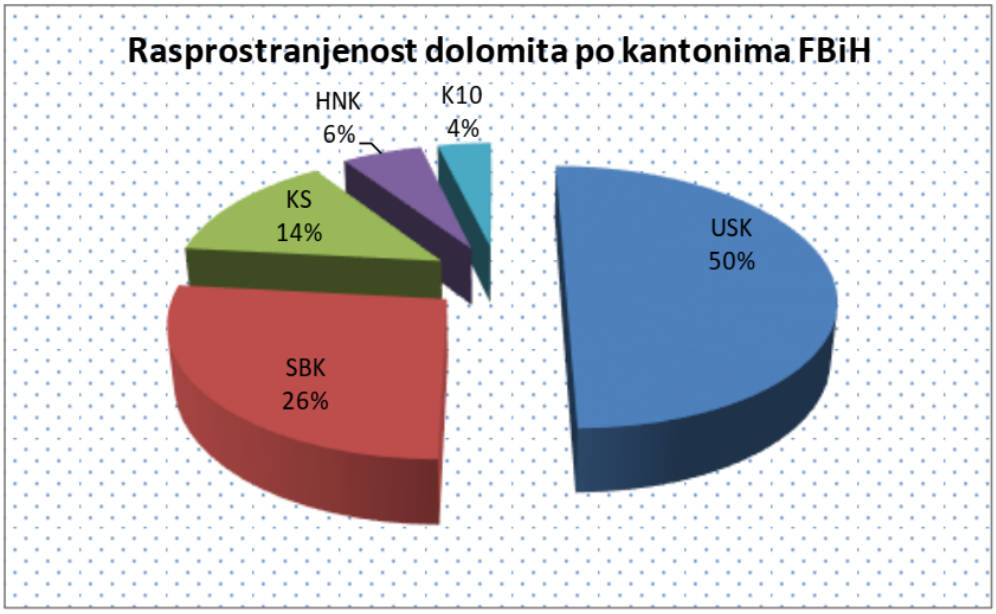


Slika 1. Proizvodnja i izvori kamenih agregata u Europi [2]

S obzirom da je Bosna i Hercegovina zemlja u razvoju, uloga građevinarstva treba da osigura racionalnu, ekonomičnu i brzu gradnju građevinskih objekata[3]. U Federaciji BiH ne postoje precizni podaci o broju kamenoloma koji su u radu [4]. Na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine trenutno se vrši eksploatacija 11 različitih mineralnih sirovina koje se koriste kao tehničko – građevinski kamen. To su: šljunak, kvarcdiorit, kvarckeratofir, dijabaz, peridotit (lerzolit), spilit, krečnjak, dolomit, karbonatne breče, amfibolit i mermer[3]. Krečnjaci i dolomiti pripadaju sedimentnim stjenama, dok su ostale magmatskog porijekla.

Dolomit je monomineralna karbonatska stijena sastavljena iz minerala dolomita. Hemijski čist dolomit sadrži 30,41% CaO, 21,86% MgO i 47,83% CO_2. U vidu primjesa u dolomitu mogu biti: kalcit, magnezit, siderit, opal, kalcedon, minerali glina, gips, kvarc i drugi minerali. Mada dolomiti imaju širok spektar primjene: industrija vatrostalnih materijala, kao topitelji u crnoj metalurgiji, u proizvodnji stakla, cementa, papira, boja i lakova, gume, u farmaceutskoj i keramičkoj industriji na prostoru Federacije eksploatira se u 33 ležišta i koristi kao tehničko-građevinski kamen za spravljanje betona i betonske galanterije. Odnos ukupnih bilansnih rezervi mineralne sirovine dolomita po pojedinim kantonima prikazan je na slici 2.

Kamenolom "Plješevac" kod Kiseljaka je kamenolom dolomita koji egzistira još od davne 1963. godine pa sve do danas u manjem ili većem proizvodnom kapacitetu. Trenutno kamenolom Plješevac po svojoj godišnjoj proizvodnji i preradi tehničkog kamena (dolomita) od cca 650.000 tona spada u jedan među najvećim kamenolomima u FBiH. Lokalitet površinskog kopa Plješevac nalazi se oko 15 km jugoistočno od Kiseljaka i na oko 25 km od Sarajeva, zapadno od naselja Rakovica na brdu Plješevac. Saobraćajne, odnosno transportne prilike su dosta povoljne obzirom da je ležište povezano sa regionalnim asfaltnim putem Sarajevo-Kiseljak. Veza sa regionalnim putem podrazumijeva dvije saobraćajnice dužine po 2,0 km pri čemu se svaka sastoji od dijela dobrog makadamskog puta u dužini od 0,5 km i dijela asfaltnog puta u dužini od 1,5 km. Uža lokacija ležišta dolomita Plješevac pripada selu Rudnik na rastojanju od cca 2,0 km. U širem području ležišta nalaze se sela Tulica, Stanjevac, Košelji i Zabrđe. Lokacija kamenoloma je izolirana od okolnih naselja. Prostor oko površinskog kopa pokriven je, u najvećem dijelu, crnogoričnom šumom, znatno manje livadama. Okolna brda sprečavaju disperziju čvrstih čestica prašine na šire prostore [5].



Slika 2. Rasprostranjenost dolomita po kantonima[3]

Najviša kota terena je 913,0 m, n.m. i nalazi se na lokalitetu planine Plješevac, a najniža 796,0 m n.m. i nalazi se na platou na kojem je smještena separacija i prateći objekti u sastavu proizvodnog kompleksa površinskog kopa Plješevac kod Kiseljaka. Na slici 3. prikazan je prostorni položaj kamenoloma Plješevac kod Kiseljaka.

Slika 3. Kamenolom dolomita Plješevac kod Kiseljaka

1. EKSPLOATACIJA I PRERADA TEHNIČKOG KAMENA SA KAMENOLOMA PLJEŠEVAC KOD KISELJAKA

Površinska eksploatacija tehničkog kamena dolomita na kamenolomu Plješevac bazira se na veoma pogodnim prirodnim i stvorenim tehničko – tehnološkim i drugim uslovima. Odlučujući uticaj na izbor strukture rudarske mehanizacije na kamenolomu Plješevac imaju prirodni i tehničko - tehnološki faktori.

U prirodne faktore spadaju:
- fizičko – mehaničke karakteristike dolomita,
- oblik i dimenzije okonturenja kamenoloma i
- topografija terena.

U tehničko – tehnološke karakteristike spadaju:
- kapacitet kamenoloma i maksimalna dimenzija ulaznog komada u drobilicu,
- intezitet i dinamika razvoja kamenoloma u planu i po visini, te lokacija prerađivačkih kapaciteta,
- primjenjena tehnologija za eksploataciju i preradu i
- snabdjevanje pogonskom energijom.

Projektnim rješenjem eksploatacije dolomita na površinskom kopu Plješevac usvojeni se sljedeći parametri:
- broj radnih mjeseci u godini.....N_{mj} = 12
- broj smjena na dan.....N_{smj} = 2
- broj radnih sati u smjeni.....$N_{h/smj}$ = 8
- efektivno korištenje radnog vremena .....k_v = 0,85
- broj radnih dana u mjesecu.....N_{rdmj} = 24

Iz navedenih uslova proizilazi da godišnji fond efektivnog radnog vremena iznosi:

$T_g = N_{mj} \times N_{smj} \times N_{h/smj} \times N_{rdmj} \times k_v = 12 \times 1 \times 16 \times 24 \times 0{,}85 = 3.916{,}00\ h_{ef}$ /god

Projektovani satni kapacitet od 300 t/h_{ef} instaliranog postrojenja je realan i potvrđen u probnom radu postrojenja, koji je iznosio 280-350 t/h_{ef}. Godišnji kapacitet proizvodnje za površinski kop dolomita Plješevac iznosi:

$Q_{godišnje}=T_g \times Q_{t/h}=2.448{,}0 \times 300{,}0=734.400{,}00$ (t/god)

Laboratorijskim ispitivanjem je utvrđeno da osnovnu masu kamenoloma Plješevac gradi dolomit dok su ostalo minerali zanemarljivo malog učešća. U tabeli 1. su dati podaci o hemijskom sastavu, dok u tabeli 2. dat je prikaz fizičko-mehaničkih osobina dolomita na kamenolomu Plješevac kod Kiseljaka.

Tabela 1. Hemijski sastav dolomita na kamenolomu Plješevac kod Kiseljaka

Gubitak žarenjem	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	SO_3	CO_2	Na_2O	K_2O	P_2O_5
46,84 %	32,64%	20,04%	0,24%	0,09%	0,05%	43,95%	0,022%	0,009%	0,003%

Tabela 2. Fizičko mehaničke osobine dolomita

Σ_S	Čvrstoća na pritisak u suvom stanju	25,54 N/Cm^2
σ_v	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	23,26 N/cm^2
g	Postojanost na mrazu	0,026 %
χ_d	Specifična masa	2,8 g/cm^3 (2,83-2,74)
h	Otpornost na habanje	20,99 cm^3/50cm^2
S	Sadržaj sulfata i sulfida	0,00 %
U	Upijanje vode	0,416 %
χ_z	Zapreminska masa	2,63-2,74 g/cm^3

Iz prethodnih rezultata proizlazi da je dolomit ležišta “Plješevac" dobrih kvalitativnih karakteristika, kako po hemijskom sadržaju, tako i fizičko-mehaničkim karakteristikama. Na osnovu ovih pokazatelja određen im je spektar primjene: građevinsko-tehnički kamen, kameni agregat za proizvodnju betona i maltera, za izradu donjh nosivih slojeva (tampon) u cestogradnji i kao punilo u drugim industrijskim granama.

Tehnologija izvođenja radova na proizvodnji dolomita

Uslovi eksploatacije obuhvataju cjelinu tehničkih i ekonomskih komponenti kroz sintezu količine i kvaliteta, položaja i oblika ležišta, te tehničke uslove iskorištenja korisnih komponenti [6]. Ležište dolomita prekriveno je tankim slojem humusa debljine do jedan metar. Skidanje humusnog pokrivača odvija se bagerom gusjeničarem ili buldozerom u kratkim stepenicama odozgo na dolje. Projektom su predviđene slijedeće tehnološke faze radova:

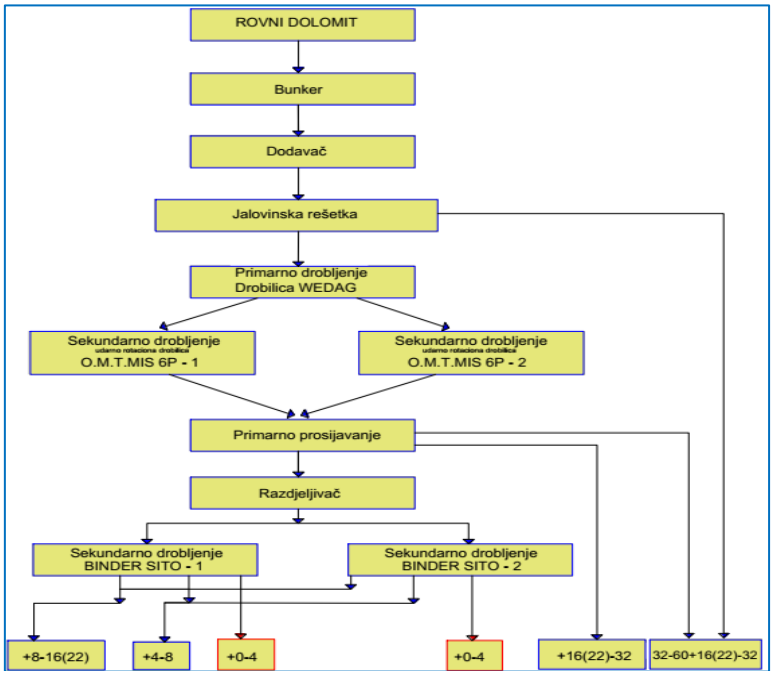
1. Bušenje i miniranje,
2. Utovar odminiranog materijala direkt u kamione i transport odminiranog materijala do postrojenja za preradu.

Opšta posebnost ovakve eksploatacije je diskontinuiranost, pri čemu se bušenje vremenski može poklapati s utovarom i transportom. Dinamika radova se prilagođava proizvodnom programu tako da se završetkom otkopavanja u jednom otkopnom pojasu može odmah pristupiti otkopavanju sljedećeg. Na slici 4. dat je prikaz utovara odminiranog materijala na etaži nakon provedenog bušenja i miniranja.

Slika 4. Utovar materijala nakon provedenog miniranja na etaži

Tehnologija izvođenja radova na preradi dolomita

Privredno društvo „Baumit Kamen“ d.o.o. koje vrši eksploataciju i preradu dolomita na kamenolomu „Plješevac“ kod Kiseljaka instaliralo je savremenu separaciju drobljenja i klasiranja u sklopu kamenoloma. Na slici 5. dat je prikaz tehnološke šeme po kojoj se vrši prerada (drobljenja i klasiranja) rovnog dolomita na separaciji “Plješevac”, dok je na slici 6. dat prikaz savremenog drobiličnog postrojenja instaliranog na kamenolomu.



Slika 5. Tehnološka šema prerade rovnog dolomita na separaciji “Plješevac”

Slika 6. Postrojenje za drobljenje i klasiranje dolomina na kamenolomu Plješevac

Na separaciji od rovnog dolomita nakon drobljenja i klasiranja proizvode se agregati slijedeće krupnoće: 0 - 4; 4 -8; 8 -16; 16-32; 32-60 i separisani tampon. U tabeli 3. dat je pregled učešća pojedinih proizvoda koji se dobivaju iz rovnog dolomita.

Tabela 3. Učešće pojedinih proizvoda nakon drobljenja i klasiranja

0 – 4 (mm)	4 – 16 (mm)	8 – 16 (mm)	4 – 8 (mm)	Separisani tampon	Ostali proizvodi	Ukupno (%)
35	12	14	11	16	12	100

Učešće agregata 4-8 (mm) u proizvodnji betonske mješavine je zanemarivo, te je bilo nužno iznaći rješenje za navedeni agregat kako se ne bi 'zatrpavali' sa istim. Privredno društvo „Baumit Kamen“ d.o.o. Sarajevo kao kćerka Austrijske firme za proizvodnju građevinskih materijala donosi odluku da 2006. godine izgradi proizvodne pogone za raznu vrstu punila te na taj način agregate koji se ne prodaju direktno na kamenolomu izvrše sekundarnu preradu u novom pogonu koji se nalazi u neposrednoj blizini kamenoloma.

Baumitova tvornica u Bosni i Hercegovini u pogonu je od 2008. godine koristeći svoje kapacitete za proizvodnju praškastih proizvoda. Danas, preko 90% svih praškastih materijala koje Baumit plasira na bh. tržište domaće je proizvodnje. Kada je riječ o samoj paleti proizvoda, Baumit proizvodnja u Rakovici trenutno proizvodi preko 20 različitih artikala u kategorijama unutrašnji i vanjski malteri; keramička i fasadna ljepila; estrih; mort za zidanje; suhe uvrećane betonske smjese. Novi proizvodi se kontinuirano uvode u proizvodnju, prateći sve savremene trendove i potrebe tržišta. S' ciljem dodatne modernizacije i sigurnog razvoja, Baumit iz godine u godinu ulaže u nove tehnologije u proizvodnji i proširenje infrastrukturnih kapaciteta. Da ništa ne bi bilo prepušteno slučaju, Baumit tvornica raspolaže sa dvije savremene laboratorije, za analizu sirovina i gotovih proizvoda. Stručan kadar i moderna oprema, omogućuju u svakom trenutku adekvatan odgovor na izazove i u pogledu analize kvaliteta i performansi materijala i sirovine. Na slici 7. dat je prikaz savremenog pogona za proizvodnju punila, koji je jedan od vodećih proizvođača fasada i građevinskih materijala kako kod nas, tako i u Europi.

Slika 7. Proizvodnji pogoni punila od Baumit d.o.o. [7]

ZAKLJUČAK

Kada govorimo o proizvodnji agregata sa kamenoloma u većini slučajeva pomislimo na degradaciju i devastaciju određene zone reljefa. Međutim, u koliko proizvodnja agregata ide „ruku pod ruku“ sa zaštitom životne sredine u tom slučaju imamo prosperitet i razvoj uz očuvanje svih sastavnica okoliša.
Planirana investiciona ulaganja u infrastrukturu trebala bi značajno doprinijeti jačanju kako građevinskog sektora tako i onih grana prerađivačke industrije koje su usko vezane uz građevinarstvo a što je u direktnoj korelaciji za većim potrebama agregata na tržištu. Najpovoljniji uslovi realizacije mineralnih sirovina su tamo gdje se lokaciono poklapaju mjesto eksploatacije i tržište, odnosno, tamo gdje se obavlja realizacija. Ležište dolomita ”Plješevac” ima veoma povoljan položaj, imajući u vidu da se nalazi u užoj zoni Sarajevskog područja što ga opravdava kao vodećeg lidera proizvodnje agregata i svih vrsta punila od dolomita u ovom području. Posebno treba napomenuti da privredno društvo Baumit Kamen d.o.o. u svojoj dugogodišnjoj praksi tretira kao dio tehnološkog procesa sve mjere i propise koje se odnose na zaštitu na radu i zaštitu životne sredine.

LITERATURA

[1] https://www.aggbusiness.com/feature/mapping-out-future-european-aggregates, preuzeto 31.3.2024. godine
[2] Chalkiopoulou, F., Hatzilazaridou, K.: Department of Mineral Resources and Petroleum Engineering, Planning poli-cies and permitting procedures to ensure the sustainable supply of aggregates in Europe, Commis-sioned by UEPG, University of Leoben, 2010.
[3] Strategija razvoja industrije građevinskog materijala Federacije Bosne i Hercegovine za period 2016.-2025. godina, Privredna/gospodarska komora FBiH Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije, juni, 2018. godine.
[4] https://www.nkp.ba/u-fbih-kamen-se-vadi-iz-200-ilegalnih-kemenoloma-prirodna-bogatstva-u-dzepovima-divljih-vlasnika/, preuzeto 01.04.2024. god.
[5] Dopunski rudarski projekat površinskog kopa dolomita "Plješevac", koji je urađen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Zenici, maj 2008. god.
[6] E. Bektašević, A. Baraković, J. Konta, Tehno – ekonomska analiza opravdanosti eksploatacije kamena krečnjaka u okonturenom površinskom kopu „Sokolica“ kod Zavidovića, Hrvatsko rudarsko geološko društvo Mostar - Rudarsko geološki glasnik, Mostar decembar 2010 godine, (strana 181 – 189), (ISSN 1840 0299), Glavni urednik Josip Marinčić, dipl.inž.rud.
[7] https://baumit.ba/kontakt/adresa, preuzeto 02.04.2024. godine.

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.30 Naučni rad

VISINA I UGAO NAGIBA ETAŽE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA RUDA LITIJUMA

Tihomir Knežiček[1]

ABSTRACT

Osnovu geometrije površinskog kopa, kako na metalični tako i nemetaličnim mineralnim sirovinama, čine etaže koje omogućavaju izvođenje rudarskih radova u konturi površinskog kopa. Na površinskim kopovima rude litijuma formiraju se etaže određene visine i nagiba koje moraju omogućiti fizičku stabilnost površinskog kopa i nesmetano odvijanje rudarskih radova na kopanju, utovaru i transportu otkrivke i mineralne sirovine iz konture površinskog kopa. Visina i nagib etaže zavise od niza faktora od kojih su najuticajniji geotehnički uslovi materijala u kojem se izvode rudarskih radovi, uticaj voda i uslovi operacija primijenjene rudarske mehanizacije na kopanju, utovaru i transportu otkrivke i mineralne sirovine.

Ključne riječi: litijum, površinski kop, visina etaže, nagib etaže

1. UVOD

Geometrija površinskog kopa zasnovana je na koncepciji stabilnosti prostora u kojem se odvijaju rudarski radovi, bez obzira o kojoj vrsti iskopine se radi. Površinski kopovi su rudarski objekti koji se razvijaju u svim pravcima – po horizontali i po vertikali, po određenoj zakonitosti. Osnovna zakonitost je da radovi na produbljavanju (po vertikali) mogu biti realizovani samo ako su ostvareni preduslovi proširenja radova na višim nivoima (po horizontali, bez obzira na pravac napredovanja). Razvojem površinskog kopa formira se krater površinskog kopa (obrnuta odsječena kupa) i njegova kontura. Proširenje radova podrazumijeva izgradnju radnih etaža na kojima se rudarskom mehanizacijom kopa otkrivka i mineralna sirovina, i tako iskopan materijal transportuje ili na odlagalište otkrivke ili na deponiju mineralne sirovine ili u postrojenja za pripremu mineralne sirovine. Zavisno od karakteristika stijenskog masiva u kojem je evidentirano prisustvo rude litijuma, utvrđuju se tehnološki procesi koji, između ostalog, utiču na proračun visine i nagiba etaža. U slučaju mekše radne sredine, materijal na etaži se kopa i utovara rudarskom mehanizacijom, a u slučaju čvrstih stijena primjenjuje se proces bušenja i miniranja stijenskog masiva, nakon čega slijedi utovar u transportno sredstvo. S obzirom na različitost geološke strukture ležišta mineralne sirovine koja sadrži rudu litijuma, očekivana je primjena površinske eksploatacije sa produbljavanjem površinskog kopa do granične dubine, tj. do ekonomski isplative dubine kopanja. Produbljavanje površinskog kopa projektuje se i realizuje po uslovima geometrijske analize, sa primarnim akcentom na karakteristike etaža, kao i karakteristike završnih kosina kopa, transportnih puteva, odvodnjavanja površinskog kopa i drugih elemenata u konturi površinskog kopa.

2. KARAKTERISTIKE ETAŽA NA POVRŠINSKOM KOPU RUDA LITIJUMA

Etaža na površinskom kopu predstavlja prostor na kojem se vrši bagerovanje otkrivke i rude litijuma. Karakteriše se zapreminom bloka koji se otkopava na nivou etaže, a blok (u m^3) se definiše visinom etaže, uglom nagiba etaže i širinom zahvata tj. radijusa kopanja bagera koji kopa materijal.

Raspored etaža u konturi površinskog kopa je određen geometrijskom analizom ili softverskim metodama koje za osnovu koriste Lerchs-Grossmannov, ili sličan, algoritam.

Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, tihomir.knezicek@untz.ba

Preduslov površinske eksploatacije je da su etaže stabilne i da ne dolazi do obrušavanja kosina etaža. Tri su globalna uticajna faktora na stabilnost kosina: geološki i inženjersko geološki, hidrogeološki i rudarsko-tehnički.

2.1 Geotehnička stabilnost kosine etaže

Geotehnička stabilnost kosine etaže primarno zavisi od litološkog sastava stijenske mase, čvrstoće stijene, raspucalosti i slojevitosti materijala. Poremećaj geotehničke stabilnosti rezultuje klizanjem materijala u kosini etaže, što može uzrokovati ljudske žrtve, povrede radnika, štete na rudarskoj mehanizaciji i zastoje proizvodnih procesa sve dok se ne sanira etaža / etaže i ukloni obrušeni materijal. Trajanje sanacije radova zavisi od broja destabiliziranih etaža i širine klizne površine. Za klizanja jedne etaže sanacije traje oko 7 dana, a u slučaju klizanja većeg broja etaža (što se dešava i pri eksploataciji ruda litijuma) sanacije traje nekoliko mjeseci.

Na površinskom kopu ruda bora i litijuma Rio Tinto (slika 1), udaljenom 145 km od Los Angelesa, SAD, godine 1998. kliznule su etaže kojom prilikom je obrušeno oko 39 miliona tona materijala, što je imalo znatne višegodišnje negativne uticaje na rudarske radove u površinskom kopu. Uzroci klizanja etaža su geološka struktura u etaži, uticaj podzemnih i površinskih voda i prestrma kosina etaže[3].

Slika 1. Klizanje etaža na površinskom kopu Rio Tinto u pustinji Mojava u regiji Kern kod Los Angelesa 1998. godine

U literaturi je prisutan niz klasifikacija grupa i podgrupa ležišta po stabilnosti kosina, a ležišta mineralne sirovine koja sadrži rudu litijuma (pogodna za površinsku eksploataciju) sastavljena su od čvrstih stijena[4] od 800 N/cm^2 do 8000 N/cm^2 i slabih stijena čija čvrstoća je manja od 800 N/cm^2. Podaci o čvrstoći se dobijaju laboratorijskim ispitivanjima fizičko-mehaničkih osobina stijena. Kao rezultat poremećaja stabilnosti kosine etaže javljaju se klizanja materijala kosine etaže, a klizanja se klasifikuju prema prostornom pomjeranju masa – klizne površine sa višeg nivoa etaže ka nižem, a sve do ravnog dijela etaže na kojoj se obavlja bagerovanje i transport. Da bi se preventivno djelovalo, rade se praćenja i analize stabilnosti kosina za različite tipove lomnih ploha i za projektovanu visinu i nagib etaže.

[3] Nutakor D., Asbury N., Zavodni Z., Back analysis of Rio Tinto Borates and Lithium Mine north wall failure, konferencija Slope Stability 2022, Tucson, SAD, 2022.

[4] Popović N. Naučne osnove projektovanja površinskih kopova, poglavlje 2, Sarajevo, 1984.

2.2 Rudarska mehanizacija

Na površinskom kopu određen je redoslijed tehnoloških procesa sa ciljem dobivanje ciljne mineralne sirovine ili bagerovanja otkrivke. Tehnološki procesi obuhvataju bušenje i miniranje (pri pojavi čvrstih stijena koje se ne mogu kopati rudarskom mehanizacijom), kopanje, utovar i transport. Kopanje se vrši bagerima kašikarima (hidraulični bageri kašikari ili užetni bageri kašikari), koji ujedno i vrše utovar otkopanog materijala u transportno sredstva (najčešće kamion).

Bageri kašikari proizvode se na električni pogon, a u rjeđim slučajevima imaju dizel pogon - ako se radi o manjim bagerima zapremine kašike 3 do 4 m^3. Mogu da kopaju u materijalu od rastresitih do vrlo čvrstih i abrazivnih stijena. Na površinskim kopovima rude litijuma očekivano je da će se ista rudarska mehanizacija (bageri kašikari i kamioni) koristiti i na kopanju i transportu otkrivke i na kopanju i transportu mineralne sirovine.

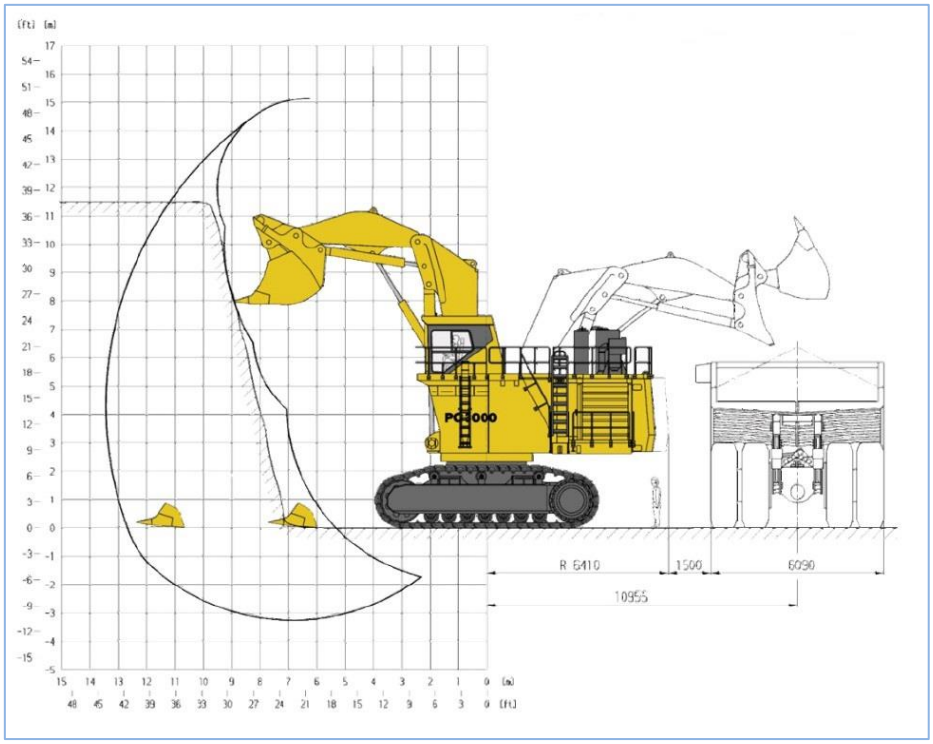
Kopanje se uobičajeno vrši sa nivoa stajanja bagera tj. na baznoj etaži, i u tim slučajevima koriste se hidraulični bageri kašikari sa prednjom kašikom – klasičnom ili rasklopnom – slika 2. Ako se kopanje vrši ispod nivoa stajanja bagera (tzv. donje kopanje), onda se koriste hidraulični bageri kašikari sa obrnutom kašikom, često nazivani rovokopači – slika 3. Hidraulični bageri mogu kopati po promjenjivoj trajektoriji kopanja, a dimenzija dosega kopanja zavise od proizvodnih tj. tehničko-tehnoloških karakteristika bagera.

Slika 2. Utovar materijala hidrauličnim bagerom sa rasklopnom kašikom u kamion

Slika 3. Utovar materijala hidrauličnim bagerom sa obrnutom kašikom u kamion – donje kopanje

Slika 4. prikazuje klasičnu kombinaciju hidrauličnog bagera sa rasklopnom kašikom u poziciji za kopanje etaže i utovar u kamion, kao i trajektoriju kopanja. Jedinične proporcije bagera, čija zapremina

kašike iznosi 16 m^3 i položaj pripadajućeg kamion, pokazuje performanse dubine i visine kopanja i doseg kopanja (ft, m). Primjer pokazuje efikasnost kopanja etaže čija visina iznosi 11,5 metara[5].



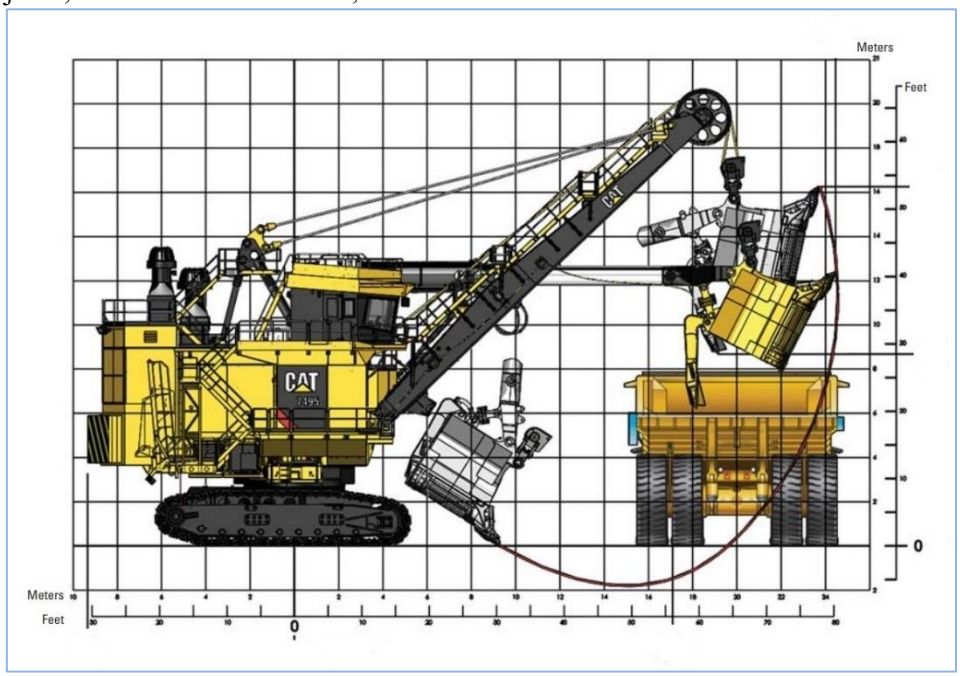
Slika 4. Performanse hidrauličnog bagera kašikara za visinu etaže od 11,5 m i pripadajući kamion nosivosti 165 t

Užetni bageri kopaju isključivo na nivou stajanja bagera, koriste kašiku sa otvaranjem dna. Šema kopanja je vrlo slična kopanju hidrauličnim bagerima kašikarima (rad u bloku, utovar u kamion), a imaju lučnu nepromjenjivu trajektoriju kopanja. Iako koriste čeličnu užad za upravljanje radnim organima, višedecenijsko iskustvo u radu užetnih bagera pokazalo je da je ovaj tip bagera izuzetno izdržljiv, pouzdan, sa malim brojem zastoja i troškova održavanja. Doseg kopanja visine etaže zavisi od tehničko-tehnoloških performansi bagera, a uobičajena je visina etaže do 16 m.

Slika 5. Utovar materijala užetnim bagerom kašikarom u kamion

[5] Katalog Komatsu hidraulični bager kašika PC3000 kapaciteta 16 m^3

Slika 6. prikazuje klasičnu kombinaciju užetnog bagera kašikara u poziciji kopanja i utovar materija u kamion, kao i lučnu trajektoriju kopanja. Jedinične proporcije bagera, čija zapremina kašike iznosi 16 m^3 i položaj pripadajućeg kamion, pokazuje performanse dubine kopanja (do 1 m) i visine kopanja (16,3 m), doseg kopanja 24,5 m i visinu etaže od 12,2 m.



Slika 6. Performanse užetnog bagera kašikara za maksimalnu visinu etaže od 12,2 m i pripadajući kamion

2.3 Parametri etaža bez miniranja

Parametri etaže bez miniranja su visina etaže, nagib etaže i dužina etaže. Na izbor visine etaže na površinskom kopu ruda litijuma utiču dvije grupe parametara – osnovni i sekundarni.

a. Osnovni parametri
- geomehaničke karakteristike stijenskog masiva gdje se kopa ruda litijuma,
- prisutnost vode u masivu i
- (maksimalna) visina kopanja bagera kašikara.

b. Sekundarni parametri
- način zalijeganja ležišta,
- pružanje sloja - ležišta rude litijuma,
- pravac napredovanja fronta rudarskih radova i
- napredovanje bagerskog bloka u odnosu na pružanje i pad sloja - ležišta.

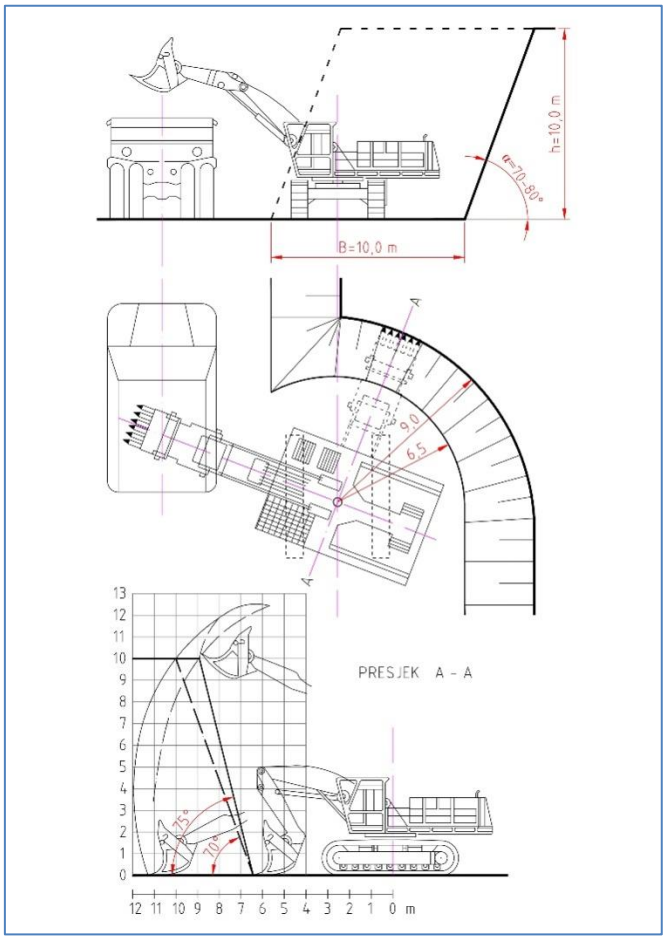
Uzimajući u obzir visinu kopanja bagera kašikara, može se razmatrati promjenjiva visina etaže, a u zavisnosti od tehničko-tehnoloških performansi bagera kašikara. Sa stanovišta raspoložive opreme i uslova transporta, potrebno je odabrati veću visinu etaže, jer u tom slučaju se smanjuje broj etaža, broj premještanja opreme i vrijeme premještanja opreme po etažama, skraćuje se dužina transporta (transport zauzima i do 60% troškova rada površinskog kopa[6]), što u svakom slučaju rezultuje smanjenju troškova tj. povećanju profitabilnosti eksploatacije ruda litijuma. S druge strane, u radnim sredinama gdje se primjenjuje selektivno kopanje, tj. gdje je nepravilan raspored prisutnosti minerala u ležištu, što je obično slučaj sa rudama litijuma, onda je prihvatljivija opcija sa manjim visinama etaža. Očekivano je da visina etaža na površinskim kopovima rude litijuma ne prelazi 12 m i da ugao nagiba etaže bude u dijapazonu 70

[6] https://www.linkedin.com/pulse/cost-calculations-mine-planning-shyamal-bag

– 80^0. Dužina etaže zavisi od dužine fronta rudarskih radova tj. horizontalne dužine radne površine površinskog kopa, a limitirana je horizontalnom dimenzijom konture kopa i položajem završnih kosina površinskog kopa.

U nastojanju da se radi sa povećanim visinama etaža, u obzir se moraju uzeti potencijalni rizici koji se javlja prilikom kopanja sa punom - maksimalnom visinom kopanja bagera. Prvi rizik je pojava obrušavanja komada stijenskog materijala pri vrhu etaže, a drugi rizik je naglo smanjena sila kopanja pri izlazu kašike bagera prema visinskom kraju etaže.

Optimalni parametri etaže na površinskom kopu rude litijuma šematski su prikazani na slici 7, što ne predstavlja pravilo jer parametri etaže zavise od više uticajnih faktora koji su prethodno navedeni. Primjer ilustruje visinu etaže od 10 m, ugao nagiba etaže 70^0 do 80^0 i širinu bloka od 10 m. Visina etaže, na primjeru, je usklađena sa tehničko-tehnološkim parametrima hidrauličnog bagera kašikara (npr. RH 75 - 7,6 m^3 do 10 m^3 zapremine kašike) koji kopa i utovara stijenski materijal, i kamiona npr. (FAUN 85.5 – nosivosti 77 t) koji nakon utovara transportuje bagerovani materijal. Usklađenost sistema bager-kamion odnosi se na kapacitete bagera i nosivost kamiona, fizičke veličine mašina i parametre operativnosti bagera kašikara, a to je poseban proračunski postupak. Prosječno, za kompleks navedenih performansi bager kašikar vrši utovar u 8 ciklusa, što ukupno traje oko 5 minuta. Na slici 7 na presjeku A-A prikazan je uticaj promjene ugla nagiba kosine etaže (opcija nagiba kosine 70^0 i 75^0) na položaj pripadajućih trajektorija kopanja bagera kašikara koji bageruje visinu etaže od 10 m na nivou stajanja.



Slika 7. Parametri etaže, položaj mehanizacije i trajektorije kopanja za različite uglove nagiba etaže

2.4 Parametri etaža sa miniranjem

Miniranje eksplozivnim sredstvima na etaži može se raditi radi rastresanja materijala koji će se naknadno kopati rudarskom mehanizacijom, ili proizvodnim ili sekundarnim miniranjem, kad se etaža iz čvrstog monolitnog stanja pretvara u nekoherentu masu koja se sastoji od različitih granulacija komada

stijenskog masiva. Parametri etaža koje se miniraju na rastresanje neznatno se razlikuju se od parametara etaža koje se bageruju rudarskom mehanizacijom.

Parametri etaža sa potpunim miniranjem stijenskog masiva su visina etaže, nagib etaže i dužina etaže, a nakon miniranja i širina obrušenja miniranog materijala. Na izbor visine etaže na površinskom kopu rude litijuma gdje se rade bušačko-minerski radovi, utiču tri grupe parametara.

a. Osnovni parametri
- geomehaničke karakteristike stijenskog masiva koji se minira.

b. Sekundarni parametri
- performanse bagera za utovar (kopanje) miniranog materijala i istresanje materijala u kamion,
- sigurnosna rastojanja odminiranog materijala od transportne komunikacije,
- način zalijeganja ležišta,
- pružanje sloja - ležišta rude litijuma,
- pravac napredovanja fronta rudarskih radova i
- napredovanje bagerskog bloka u odnosu na pad i pružanje sloja - ležišta.

c. Parametri bušačko-minerskih radova
- karakteristike mreže minskih bušotina (prostorno rastojanje između bušotina),
- dubina i nagib minske bušotine i
- vrsta eksplozivnog punjenja i način punjenja minske bušotine (sa čepom i međupunjenja bušotine).

Proračun bušačko-minerskih radova na etaži je poseban inženjerski proračunski postupak.

Nakon procesa miniranja, izvorna visina etaže se smanjuje zbog rasprostranjenosti (spuštanja) miniranog materijala prema slobodnoj površini kosine etaže, što direktno povećava širinu radne površine, pa time i bloka etaže. Minimalna visina etaže treba da zadovolji uslov da se kašika bagera može napuniti u toku jednog hoda – punjenja odozdo prema gore, što prvenstveno zavisi od performansi bagera kašikara i podloge na kojoj bager vrši utovar. Minirani materijal se utovara bagerima kašikarima (na nivou stanja) u kamione. U eksploataciji ruda litijuma koja se obavlja u čvrstim stijenama, gdje je nezaobilazan proces bušenja i miniranja, osnovu čine parametri etaže prije obavljanja minerskih radova.

ZAKLJUČAK

Površinska eksploatacija ruda litijuma zasnovana je na geometriji površinskog kopa, što je primarno definisano visinom etaže i uglom nagiba etaže u konturi površinskog kopa. Tri su grupe uticajnih faktora koji utiču na proračun visine etaže i ugla nagiba etaže. Geotehnički uslovi radne sredine, prisutnost podzemnih i površinskih voda i performanse utovarno-transportne mehanizacije. Uobičajena je kombinacija kopanja i utovara bagerima kašikarima u kamione, a čije tehničko-tehnološke performanse omogućavaju bagerovanje optimalne visine etaže od 10 m, ugla nagiba etaže 70^0 do 80^0 i pripadajuće širinu bloka od 10 m, uz uslov kopanja na nivou stajanja bagera. Dužina etaže limitirana je položajem fronta rudarskih radova od jedne završne kosine kopa do završne kosine na suprotnom kraju kopa. Inženjerskim proračunima za konkretne uslove rada i za konkretnu primijenjenu rudarsku mehanizaciju, dobija se precizna geometrija površinskog kopa na ležištima ruda litijuma tj. precizne vrijednosti visine etaže, nagiba etaže, širine bloka i dužine etaže.

LITERATURA

1. Ausenco Services Pty Ltd, Technical report on the feasibility study for the Sonora lithium project in Mexico, South Brisbane, Australija, 2018.
2. Balasubramanian A., Rock blasting for mining, Technical Report, Centre for Advanced Studies in Earth Science, University of Mysore, Karnataka, India, April 2017.
3. Gandhi R.K., Estimating bench design parameters for open-cut excavation, Masters thesis 5639, School of Mines and Metallurgy of the University of Missouri, Missouri, SAD, 1964.

4. Knežiček T., Computer aided opencast mine planning for steeply dipping bedded deposits, Master thesis, Indian School of Mines, Dhanbad, India, 1989.
5. Knežiček T., Nurić S., Osnove površinske eksploatacije mineralnih sirovina, Tuzla, 2015.
6. Kose H, C.O. Aksoy, A. Gönen, M. Kun, and T. Malli, Economic evaluation of optimum bench height in quarries, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, February, 2005.
7. Laurich R., Planning and Desiging of Surface Mines, Surface Mining 2nd Edition, SME, Kennedy B.A. editor, Baltimore, 1990.
8. Nutakor D., Asbury N., Zavodni Z., Back analysis of Rio Tinto Borates and Lithium Mine north wall failure, konferencija Slope Stability 2022, Tucson, SAD, 2022.
9. Popović N., Naučne osnove projektovanja površisnkih kopova, NIŠRO Oslobođenje, Sarajevo, 1984.
10. Simonović M., Bageri I, Beograd 1987.
11. Web https://bacanoralithium.com/sonora_lithium_project/default.aspx - najveći površinski kop litijuma u svijetu.
12. Web https://www.linkedin.com/pulse/cost-calculations-mine-planning-shyamal-bag - udio cijene transporta u ukupnoj cijeni eksploatacije

DOI 10.51558/2303-5161.24.12.12.38 Naučni rad

HIDROGEOLOŠKE OSOBINE I GENEZA MINERALNE VODE „TEŠANJSKI KISELJAK“

Dinka Pašić-Škripić[1], Izet Žigić[2], Đana Zimić[3]

ABSTRACT

Obezbjeđenje eksploatacije i korištenja mineralne vode „Tešanjski kiseljak“ podrazumijeva analizu i izvedbu kompleksnih geoloških, hidrogeoloških, hidroloških, kvantitativnih, kvalitativnih i genetskih istraživanja, kao i definisanje i uspostavljanje visokih ekoloških standarda na istraživanom području izvorišta „Tešanjski kiseljak“, uz primjernu terenskih, laboratorijskih i kabinetskih analiza i obrade podataka.
Osnovni kriterij za definiranje geneze i režima, hidrogeoloških odnosa i zaštite mineralnih voda su geološke i geomorfološke karakteristike terena, klimatske i hidrografske prilike, strukturno-tektonske i hidrogeološke karakteristike terena, kvantitativne i kvalitativne karakteristike izvorišta, postojeći i potencijalni zagađivači izvorišta, analiza genetskih i hidrodinamičkih parametara vodonosnika iz kojih proizilaze zaštitne zone i mjere zaštite izvorišta Ovisno od hidrogeoloških karakteristika terena, odnosa propusnih i nepropusnih stijena, položaja vodonosnika u odnosu na atmosferske i površinske vode, uslova prihranjivanja, propusnosti i hidrogeoloških parametara, zavisi egzistiranje vodnog tijela mineralnih voda, obnavljanja njegovih rezervi i stanje kvaliteta mineralnih voda.

Ključne riječi: mineralne vode, hidrogeološka kategorizacija, strukturno-tektonski odnosi, geneza voda

UVOD

Izvorište "Tešanjski kiseljak" je situirano u dolini Raduške rijeke, čija se dolina pruža pravcem jugozapad-sjeveroistok sve do niže Srednje Raduše, kada naglo mijenja pravac pružanja prema istoku, u pravcu Tešnja. Širina doline u području koje gravitira izvorištu je oko 100-150 metara i usječena je erozijom u relativno mekane tvorevine ofiolitskog melanža, dok je nizvodno od izvorišta dolina Raduše usječena u oligomiocenske sedimente. Ležište mineralne vode “Tešanjski kiseljak” pripada hidrogeohemijskoj oblasti mineralnih i termomineralnih voda sa CO_2 “ofiolitske zone”. Hidrogeološke karakteristike istražnog prostora izvorišta treba posmatrati kroz prizmu hidrogeološke kategorizacije, rejonizacije i funkcije stijenskih masa, filtracionih karakteristika, pukotinskih sistema i rasjeda, hidrogeoloških kolektora i izlolatora, te pravaca kretanja podzemnih voda, uz analizu složenih uslova geneze mineralne vode. Hidrogeološke karakteristike istražnog prostora su uslovljene vrlo složenim stratigrafsko-tektonskim i genetskim odnosima. Iz tog razloga podzemne vode se kreću i struje sa većih dubina kroz rasjedne zone i veće pukotine, i pojavljuju se na površini u ispucalim stijenskim masama.

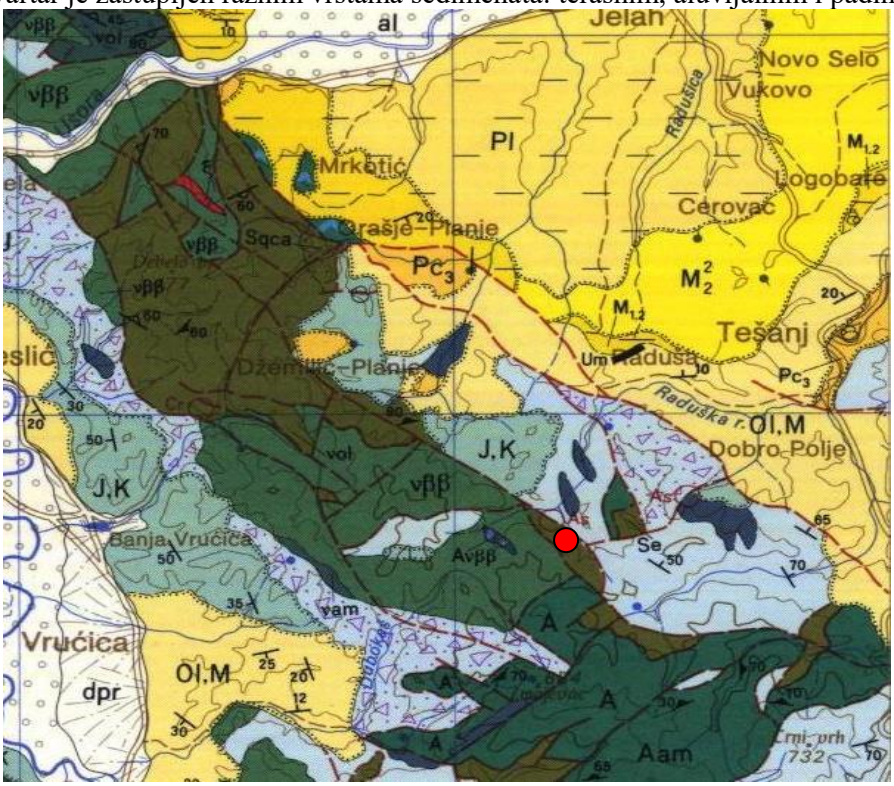
Primarni i stvarni kolektori su vjerovatno na velikim dubinama, a sve analize ukazuju na trijaske krečnjake. Sistem pukotina u dijabaz-rožnjačkoj formaciji je vezan za sekundarne rasjede okomit na pravac pružanja primarnih rasjednih zona a izvori se na površini pojavljuju kao prelivni izvori. Kretanje podzemnih voda u poroznoj sredini je vrlo složeno iz razloga što u ovakvim masivima podzemne vode se kreću linijom manjeg otpora, tj. privilegovanim pravcima ili rasjedima

[1]Redovni profesor, RGGF, Tuzla, Univerzitet u Tuzli, dinka.pasic@untz.ba
[2]Profesor emeritus, RGGF, Tuzla, Univerzitet u Tuzli, izet.zigic@untz.ba
[3]Ba.ing.geologije, GeoAvas d.o.o., dzana.zimic@hotmail.com

1. GEOLOŠKA GRAĐA I TEKTONSKE KARAKTERISTIKE

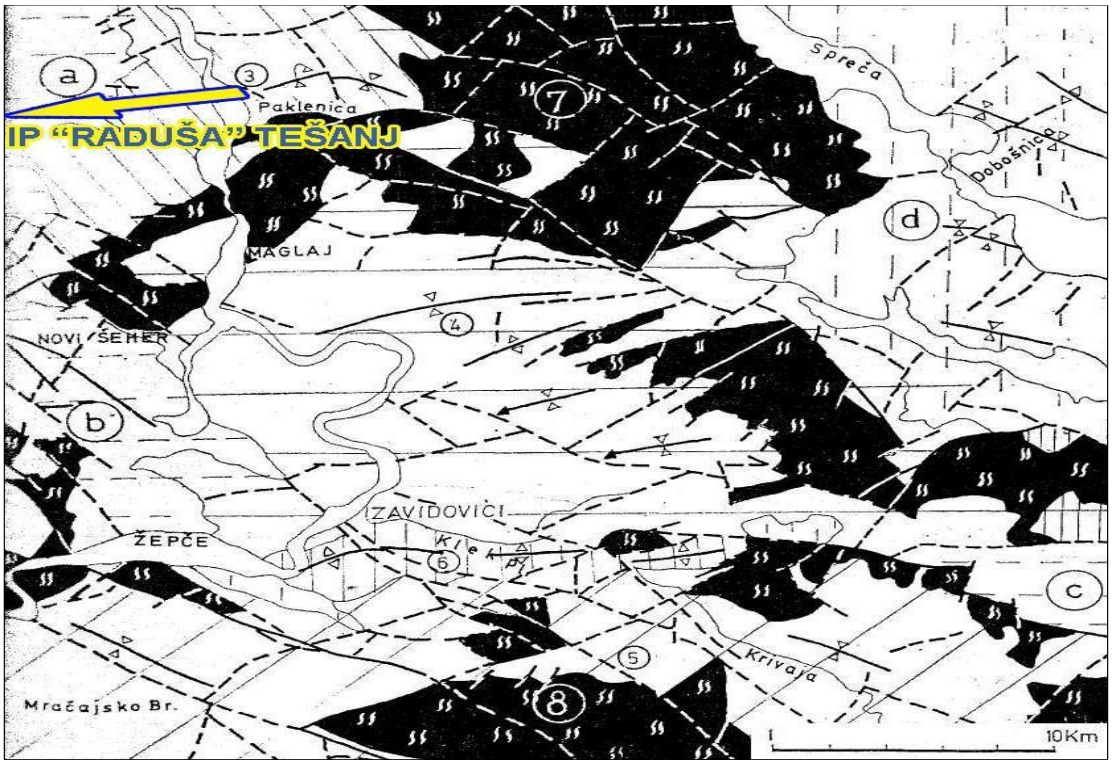
Geološka građa i tektonski odnosi područja istraživanja dati su prema podatcima OGK 1:100.000 list L 34-121 Zavidovići i Tumač, str. 1-47., Savezni geološki zavod, Beograd, autori Olujić, J., i koautori, 1973. U okviru šireg i užeg područja obuhvaćenog geološkom kartom, teren je pretežno izgrađen od jurskih, jursko-krednih, tercijarnih i kvartarnih tvorevina.

Mezozojske odnosno jurske naslage izgrađuju mase ofiolita i melanža, a predstavljene su prije svega velikim masama ultrabazičnih stijena peridotitima, serpentinitima, amfibolitima, doleritima, dijabazima, metadijabazima, kompleksima škriljaca i pješčara, tufovima, karbonatnim stijenama i konglomeratima. Jursko-kredne i kredne naslage predstavljene su klastičnim i karbonatnim sedimentima, kao što su konglomerati, brečasti krečnjaci, laporci, laporoviti krečnjaci i rjeđe krečnjaci sa konglomeratima. Kenozojske naslage su predstavljene paleogenim flišnim sedimentima i neogenim tortonskim krečnjacima i klastitima. Kvartar je zastupljen raznim vrstama sedimenata: terasnim, aluvijalnim i padinskim.



Slika 1. Isječak Geološke karte šireg područja Raduše 1:100.000 (OGK list Teslić)

U strukturno-tektonskom pogledu teren okoline Raduše, prema tumaču OGK listova Teslić i Doboj, pripada stukturno-facijalnoj jedinici Centralno-ofiolitski melanž, odnosno bloku Doboj. Najniži član u ovom bloku je ofiolitski melanž (J). Preko sedimentnih članova melanža diskordantno leže sedimenti jura-krede, paleogena i neogena. Šire područje Raduše odlikuju složeni i nedovoljno proučeni strukturno-tektonski odnosi. Od važnijih disjunktivnih strukturnih oblika, u ovim prostorima, pretpostavljen je rasjed koji se pruža od Oraš Planja preko Raduše do Dobrog Polja. Pored navedenog rasjeda u ovom prostoru pretpostavljeno je prisustvo još nekoliko manjih dijagonalnih i poprečnih rasjeda, među kojima je najznačajniji rasjed u dolini Raduške rijeke duž kojeg cirkuliraju mineralne vode i CO_2. U sastav melanža ulaze sedimenti okeanske kore, zatim ultrabazične stijene koje se javljaju kao olistoliti kao i različite bazične stijene: spiliti, gabro, dijabazi, gabrodijabazi, doleriti, peridotiti, serpentiniti i drugo. Interesantno je napomenuti da ovdje nemamo olistolita od krečnjačkih tvorevina mezozoika sa oboda melanžnog basena (troga). Odnosi sedimentnih tvorevina okeanske kore sa magmatskim stijenama su tektonizirani bez primarnih kontakata, te je karakter njihovih granica olistolitski. Od sedimentnih tvorevina zastupljeni su grauvakni pješčari, raznobojni glinci, konglomerati i rjeđe rožnaci. Odnosi ovih različitih litoloških članova su nepravilni - haotični, tako da se ne mogu rekonstruisati primarni odnosi odnosno strukture u njima.



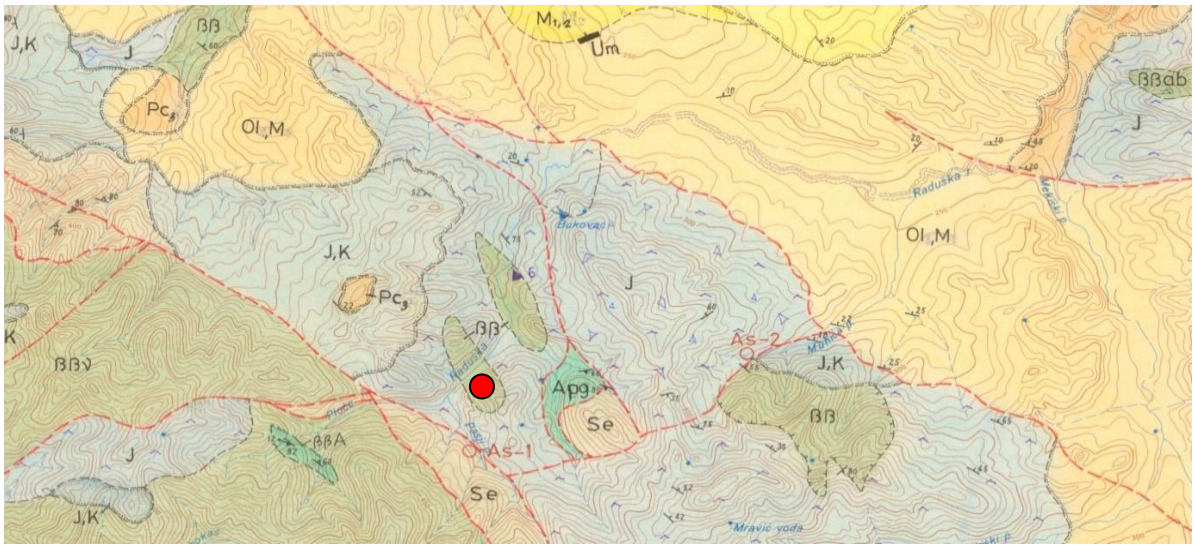
Slika 2. Isječak tektonske karte list Zavidovići OGK R 1 : 100000 (Olujić, J., i Koautori, 1973.)

2. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ŠIREG ISTRAŽNOG PROSTORA

Hidrogeološke karakteristike istražnog prostora treba posmatrati kroz prizmu hidrogeološke kategorizacije, rejonizacije i funkcije stijenskih masa, filtracionih karakteristika, pukotinskih sistema i rasjeda, hidrogeoloških kolektora i izlolatora, te pravaca kretanja podzemnih voda.

Hidrogeološke karakteristike istražnog prostora su uslovljene vrlo složenim stratigrafsko-tektonskim odnosima. Iz tog razloga podzemne vode se kreću i struje sa većih dubina kroz rasjedne zone i veće pukotine, i pojavljuju se na površini u ispucalim stijenskim masama. Primarni i stvarni kolektori su vjerovatno na velikim dubinama, a sve analize ukazuju na trijaske krečnjake. Sistem pukotina u dijabaz-rožnjačkoj formaciji je vezan za sekundarne rasjede okomit na pravac pružanja primarnih rasjednih zona a izvori se na površini pojavljuju kao prelivni izvori. Kretanje podzemnih voda u poroznoj sredini je vrlo složeno iz razloga što u ovakvim masivima podzemne vode imaju sloboda nivo a kreću se linijom manjeg otpora, tj. privilegovanim pravcima ili rasjedima (turbulentni režim) i kroz pukotinski kolektorski sistem (laminarni mikrorežim). Sagledavajući hidrogeološke karakteristike užeg istražnog prostora, uočava se da su potencijalni kolektori vode u manje-više raspucalim stijenama vulkanogeno-sedimentnog kompleksa. Prema dosadašnjim izvedenim bušaćim radovima, konstatovano je da se radi o sistemu mikropukotina sa komplikovanim hidrauličkim odnosima i vezama šireg područja. Mogu se posmatrati kao kolektori tranzitnog tipa, a u manjoj mjeri kao značajne akumulacijske prostore.

Hidrogeološka kategorizacija i funkcije stijena u području Raduše izvršena je na osnovu vodonosnosti, odnosno osobine stijene da propušta, akumulira ili otpušta podzemne vode. Na osnovu navedenih kriterija, u proučavanom terenu, izdvojene su dvije kategorije stijena: propusne stijene i nepropusne stijene.



Slika 3. Isječak hidrogeološke karte okoline Raduše (Savezni geološki zavod SFRJ)

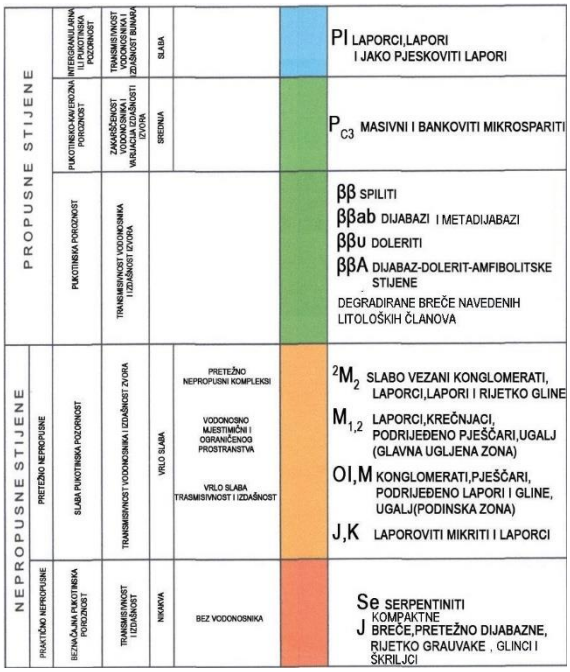
3. GENEZA MINERALNIH VODA

Hidrogeološko kartiranje terena šireg i užeg područja „Tešanjski kiseljak“ izvršeno je u fazi izrade Projekta detaljnih geoloških i hidrogeoloških istraživanja mineralnih voda područja Tešnja. Hidrogeološko kartiranje je izvršeno u mjerilu 1:25.000 i 1: 5.000. U toku kartiranja izvršena je hidrogeološka kategorizacija i rejonizacija stijenskih masa, evidentiranje geomorfoloških oblika, registrirane su sve vodne pojave i objekti, pretpostavljeni pravci toka podzemnih voda, te hidrogeološki uslovi prihranjivanja i pražnjenja akumulacija podzemnih voda.

Dosadašnjim hidrogeološkim istraživanjima, a posebno na bazi rezultata dobijenih istražnim bušenjem tokom posledenje četiri decenije izvedeni, su zaključci da su hidrogeološke karakteristike u okviru istražnog prostora izvorišta “Tešanjski kiseljak” u Gornjoj Raduši uslovljene vrlo složenim stratigrafsko – tektonskim odnosima. Iz tog razloga podzemne vode se kreću i tranzitno struje sa većih dubina kroz rasjedne zone i veće pukotine i pojavljuju se na površini u ispucalim stijenski masama. Primarni i stvarni hidrogeološki kolektori su vjerovatno na velikim dubinama, a sve analize ukazuju na trijaske krečnjake koji svoje površinsko rasprostranjenje imaju koncentrično u okruženju oko “Tešanjskog neogenog basena” na desetak kilometara udaljenosti.

Sistemi pukotina unutar dijabaz-rožne formacije odnosno ofiolitnog melanža vezan su za sekundarne rasjede okomito na pravce pružanja primarnih rasjednih pravaca i zona rasjedanja, kao i za pravce navlačnih struktura, a izvori podzemnih voda koristeći takve predinsponirane pravce pojavljuju se na površini terena kao prelivni izvori. Kretanje podzemnih voda u ovakvoj razbijenoj poroznoj sredini je vrlo složeno iz razloga što podzemne vode imaju slobodan nivo, a kreću se linijom manjeg otpora, odnosno privilegovanim pravcima ili rasjedima (turbulenti režim) i kroz pukotinski kolektorski sistem (laminarni režim).

Sagledavajući hidrogeološke karakteristike užeg istražnog prostora, uočava se da su potencijalni hidrogeološki kolektori vode pozicionirani u manje-više raspucalim stijenama ofiolitnog melanža odnosno najnovijim istraživanjima potvrđena je nešto značajnija vodoobilnost unutar degradiranog i kataklaziranog brečastog kompleksa mahom dijabazno-amfibolitnog petrografskog sastava.



Slika 4. Hidrogeološka kategorizacija istražnog područja Gornja Raduša kod Tešnja; (Grafički prilagodio: Vidačić, M. M., 2022.)

Analizom nabušenog jezgrenog materijala iz dosadašnjih izvedenih bušaćih radova starijeg i novijeg datuma može se konstatovati da se radi o sistemima mikropukotina sa složenim hidrauličkim odnosima i vezama, te se kao takve mogu posmatrati kao hidrogeološki kolektori tranzitnog tipa, a u nešto manjoj mjeri kao značajniji akumulacioni prostori. Ovakav zaključak na bazi dosadašnjih istražnih bušenja u neposrednoj okolini proizvodnih pogona Zema d.o.o. Tešanj u zoni proticanja Raduške rijeke posebno se odnosi na hidrogeološki profil istražnoeksploatacionog bunara IBR-1/2002, IBR-5/2017-18, dok se za vodonosnik u kome su locirane istražno-eksploatacioni bunari IBR-2/2003, IBR-3/2011, IBR-4/2017, IBR-6/2020, IBR-7/2020, IBR-8/2020 i IBR-9/2020 može reći da sa hidrogeološkog aspekta predstavlja nešto značajniji akumulacioni prostor za podzemne vode sa pukotinama milimetarsko-centimetarskih dimenzija unutar brečastog kompleksa stijena, a koji je vezan za glavnu dislokacijusku zonu "raduškog rasjeda" koja je ispresjecana poprečnim rasjedima te tako tvori blokovski strukturno-tektonski sklop duž proticanja Raduške rijeke. O intezitetu, okomitosti i subokomitosti rasjedanja unutar istražnog prostora izvorišta "Tešanjski kiseljak" u Gornjoj Raduši postoje brojni dokazi u geomorfologiji terena, na mjerenim trasama geofizičkih reflektivno seizimičkih profila, unutar nabušenih lokalnih geoloških stubova strukturno-istražnih bušotina, a posebno u jezgrenom materijalu koji je ispresjecan pukotinama divergentnog prostornog rasporeda kartiranog nagiba u jezgru od 30-90° zapunjenog ili nezapunjenog tipa. Nagibi ovih pukotina i pukotinskih sistema imaju i svoje površinsko rasprostranjenje i u marginama lijeve i desne obale Raduške rijeke unutar otvorenih profila lokalnog reljefa oko proizvodnih pogona, kao i unutar samog riječnog korita u dijabaznim i metadijabaznim stijenskim kompleksima.

Poseban dokaz cirkulacije prirodnog CO_2 gasa u ovom terenu je visok stepen milonitizacije i sekundarne kalcifikacije odnosno silifikacije (otvorene pukotine i prsline, mikrokavernozni kanali) na najvećem dijelu determinisanog izvađenog jezgra iz istražnih bušotina, kao i po prvi put njegova jasna identifikacija karotažnim ispitivanjima u stubu istražno-strukturne bušotine IBR-9/2020 . Nešto ranije gasne ekshalacije sa prirodnim CO_2 bile su registrovane na marginama rasjednih blokova gdje su se duž tektonski predinsponiranih pravaca probijale prema površini terena kada je režim podzemnih voda doživljavao svoje minimume tokom hidrološke godine odnosno vodnog ciklusa na ovom području. Na sadašnjem stepenu proučenosti smatra se da je porijeklo podzemnih mineralnih voda iz tektonisanih dijabaza ofiolitnog melanža koji imaju veće rasprostranjenje u rejonu Gornje Raduše, odnosno i Raduša rijeka sječe svojim tokom otkrivene mase ovih stijena. Prve pojave mineralnih voda upravo su kako je naglašeno registrovane u samom koritu Raduške rijeke na nekoliko mikrolokacija gdje su izbijali mjehurići CO_2 gasa, kao i "kisela voda" sjeverno i južno od proizvodnih pogona privrednog društva Zema d.o.o. Tešanj (zona duga oko 0,6 km). Porijeklo sirovog CO_2 gasa i kisele mineralne vode je različito. Primarni

kolektori CO_2 gasa su u skladu sa izloženim, na znatno većim dubinama u primarnom trijaskom krečnjačko-dolomitnom akviferu koji je tektonski predinsponiran dubokim razlomnim strukturama – regionalnim rasjedima (sprečko-kozaračka dislokacija). Sekundarnim rasjedima i sistemima pukotina unutar jursko ofiolitnog melanža koji sijeku primarne rasjedne strukture omogućeno je tranzitno i cirkulaciono kretanje podzemnih voda i gasa koji se na površini terena Gornje Raduše pojavljuju kao uzlazni izvori. Kretanje podzemnih voda u ovakvoj raspucaloj i relativno "poroznoj sredini" je vrlo složeno jer se radi o složenim hidrauličkim sistemima "voda-gas" u kojima su podzemne vode pod stalnim pritiskom, a u principu teku linijom manjeg otpora odnosno privilegovanim pravcima rasjedima ili kroz čitave pukotinske sisteme određenog dijela ovog geološkog terena.

Dakle vodonosnik mineralnih podzemnih voda vezan je za geološki starije stijene (dijabaze, serpentinite, amfibolite), koje su dubinski lokalizovane u okviru terena Gornje Raduše na vrlo različitim dubinama unutar do sada nabušenog geološkog stuba. U sklopu mlađih naslaga oligomiocenski, pliokvartarnih i kvartarnih (pješčari, šljunci, pijeskovi, razne vrste drobine i slične stijene međuzrnske poroznosti), a koji čine krovinu starijim pethodno opisanim stijenama formirane su plitke podpovršinske izdani podzemne vode koje nemaju značajne količine voda, ali mogu biti obogaćene sa emanacijama prirodnog ugljendioksida i tako i same "zakiseljene". Povlatni mlađi sedimenti posebno glinovitog sastava su interesantni sa aspekta izolacije prethodno opisanih hidrauličkih i hidrohemijskih procesa u samom terenu izvorišta. Međutim njihova strukturna pozicija u samoj lokalnoj geomorfologiji i tektonici nije uniformna, česta su isklinjavanja i oslanjanje na ogoljene dijelove magmatsko-metamorfnih kompleksa (dijabaza, amfibolita, serpentinita i sl.), a čime ne treba zanemariti ni bočnu vodnu komunikaciju iz tercijarnih, krednih i jurskih sedimenata.

Prihranjivanje vodonosnika (akvifera) prirodnih mineralnih voda koji je formiran u tektonisanim dijabazima i amfibolitima odnosno dosta rjeđe i ultrabazitima vrši se iz vodnog ciklusa padavina ovog klimatskog područja, a pražnjenje hidrogeoloških rezervoara je na lokalnim izvorima i putem dreniranja na bunarskim vodozahvatnim objektima u slivu Raduške rijeke obogaćenog sa CO_2 gasom koji podzemnu vodu ascedentno diže na površinu lokalnog terena.

Ovakvu specifičnu lokalnu hirodinamiku, hidrauliku i hidrohemiju površinskih i podzemnih voda istraživanog područja izvorišta "Tešanjskog kiseljaka" omogućila je prije svega postojeća geomorfologija i geologija terena u zoni raduškog rasjeda.

Kotlinasti tip uske aluvijalne ravni Raduške rijeke i heterogen litološki sastav stijenskih kompleksa na malom prostoru sa izrazitim kinematskim kretanjem u vertikalnom stubu mlađeg i starije hronostratigrafskog raspona doprinosi specifičnim hidrogeološkim uslovima koji vladaju u ovom terenu.

S druge strane visok arteški pritisak podzemnih mineralnih voda "Tešanjski kiseljak", u optimalnom režimu isticanja i eksploatacije sprečava mješanje mineralnih voda sa običnim vodama aluvijona Raduške rijeke i površinskim vodama na slivnom području okolnog terena Gornje Raduše (najnoviji dokazi u lokalnom hidrogeološkom stubu nabušenih i izvedenih bunara IEB IBR-8/2018 i IBR-9/2020).

Navedeni hidrogeološki uslovi i pored složenih faktora doprinose u dobroj mjeri ipak da kvalitet mineralnih voda istražnog područja "Tešanjski kiseljak" u Gornjoj Raduši pokazuje stalnost i stabilnost u dugom vremenskom periodu hidrogeološkog praćenja i osmatranja (vode se nisu mijenjale od prvih analiza iz devetenstog vijeka), a što je rezultat njihove geneze, geoloških, geotektonskih i hidrogeoloških karakteristika terena.

ZAKLJUČAK

Ležište mineralne vode „Tešanjski kiseljak" pripada hidrogeohemijskoj oblasti mineralnih i termomineralnih voda sa CO_2 „ofiolitske zone". Ispucale stijene ofiolitne zone imaju funkciju akvifera slabije vodoobilnosti sa izvorima izdašnosti manje od 0,1 l/s.Vodoprovodnost akviferskih naslaga je veća u rasjednim zonama, a mineralni izvori se pojavljuju u zoni poprečnog rasjeda duž Raduške rijeke, odnosno njegovog ukrštanja sa uzdužnim rasjedom pružanja sjeverozapad-jugoistok. Mineralna voda je najvjerovatnije atmosferskog porijekla, gdje infitracijom prodire u dublje dijelove terena i obogaćuje se sa CO_2, te razlaganjem stijena povećava mineralizaciju. Prema temperaturi vode izvora, može se zaključiti da se infiltracija atmosferskih voda i obogaćivanje mineralima, ne vrši na velikim dubinama.

Uslijed hidrauličkog pritiska i sadržaja CO_2 mineralna voda esdendentno, duž rasjeda Raduške rijeke, isiče na izvoru Kiseljak. CO_2 je najverovatnije termometamorfan, nastao djelovanjem SiO_2 na

karbonate u dubljim dijelovima zemljine kore, moguće u karbonatima srednje-gornjeg trijasa, koji u zoni „ofiolitske navlake“ zaliježu duboko ispod ofiolitske zone. Nije isključeno da postanak CO_2 uzrokuje intruzije mladog tercijarnog magmatizma u zoni dubokog rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok Maglaj-Crni vrh i vrh Raduša-Oraš Planje, a što bi trebalo dokazati izotopskim ispitivanjima.

LITERATURA

1. Čičić, S (2002): Geološki sastav i tektonika BiH. Monografija, str 1-350. Earth Science Institute Sarajevo.
2. Čičić, S. (2003.): Geološka karta Bosne i Hercegovine 1 300.000. Institut za geologiju Građevinskog fakulteta. Sarajevo.
3. Josipović (1971): Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji Bosne i Hercegovine, Geološki glasnik knj 15. p. 233-275. Sarajevo.
4. Miošić N. (1979): Hidrogeološka istraživanja mineralnih voda na području Crni Vrh i Raduša - Tešanj, godišnji izvještaj za 1978., Geoinženjering-Sarajevo, Institut za hidrogeologiju i hidrotehniku.
5. Pašić-Šktipić. D. (2023): Hidrogeologija, Univerzitetski udžbenik, In Scan d.o.o. Tuzla
6. Skopljak F. Miošić, N. (1998.): Izvještaj o rezultatima dosadašnjih istraživanja mineralnih voda u okolini Tešnja, zavod za geologiju Sarajevo.
7. Žigić I., Pašić-Škripić D. i drugi (2015): Elaborat zaštite izvorišta Tešanjski kiseljak Općina Tešanj Vodoprivredno preduzeće Spreča d.o.o. Tuzla
8. Elaborat o izvođenju istražno-eksploatacionih bunara IBR-1 i IBR-2 na Lokalitetu Gornja Raduša kod Tešnja, IBIS-Zavidovići.

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.45 Naučni rad

HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA I KARAKTERIZACIJA TERENA NA DIONICI TRASE PUTA 2B SARAJEVO-FOČA, PODRUČJA FBiH

Dinka Pašić-Škripić[1], Adnan Terzić[2], Amir Jahić[3], Meris Hajdarević[4]

ABSTRACT

Saobraćajnice su složeni građevinski (linijski) objekti koji imaju specifične karakteristike u pogledu planiranja, projektovanja i izvedbe trase. Zbog dužine saobraćajnica, mnoge karakteristike terena kao što su litološke, hidrogeološke, inženjerskogeološke i geomorfološke mijenjaju se uzduž trase, uslijed čega na pojedinim dionicama nastaju različiti uticaji endodinamičkih i egzodinamičkih procesa i pojava. To upućuje na neophodnost interdisciplinarnog pristupa pri izradi idejnog i izvedbenog projekta, kako bi se na osnovu svih uticajnih parametara, odabralo optimalno rješenje.
Trasa puta koja prolazi kroz Entitet Federacije BiH, se najvećim dijelom pruža dolinom rijeke Željeznice i Dobrinje. Dionica je smještena na stacionaži od 0+000.00 – 3+250.00, te se nastavlja na stacionaži 19+800.00 – 26+100.00, a ukupna dužina iznosi 9.550 m'. Područje proučavanog terena nalazi se u zoni unutrašnjih Dinarida Bosne i Hercegovine, gdje preovladava pretplaninska i umjereno-kontinentalna klima. Kote terena se kreću od 505 m.nv u dijelu trase u blizini Stupske petlje, te se povećava do kote 535 m.nv, na dijelu Aerodromskog naselja, dok je drugi dio dionice stac.19+800.00 – 26+100.00 definisan je kotama 778 m.nv – 830 m.nv.

Ključne riječi: hidrogeološke karakteristike vodonosnika, trasa puta Sarajevo-Foča, mjerenje nivoa podzemne vode, procjena rizika na zagađenje

1. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA NA PODRUČJU FEDERACIJE BiH

U građi terena učestvuju tvorevine kvartarnih naslaga (al,el-dl), miocenske tvorevine ($^1M_3$) kao i karbonatne stijene srednjeg trijasa (T_2^1,$^2T_1$). Hidrogeološka svojstva izdvojenih jedinica predisponirana su litološkim sastavom i strukturom poroznosti stijena koje učestvuju u njihovoj građi.
Na predmetnoj dionici izdvojene su sljedeće kategorije stijena s aspekta vodopropusnosti:

- vodopropusne stijene i
- vodonepropusne stijene.

Propusne stijene

Propusne stijene su na osnovu strukture poroznosti razvrstane na:

- propusne stijene međuzrnske poroznosti (dobrovodopropusne i slabovodopropusne) i
- propusne stijene kavernozno-pukotinske poroznosti.

Dobrovodopropusne stijene međuzrnske poroznosti su aluvijalne naslage (al) nastale kao produkt taloženja materijala prilikom proticanja rijeke Željeznice i Dobrinje. Izgrađene su dominantno od šljunka i pijeska, a podređeno i glinovitih čestica. Nivo podzemne vode je slobodan, a ovisno od vodostaja rijeke Željeznice i Dobrinje.

[1]Redovni profesor RGGF, Univerzitet u Tuzli
[2]Ba.ing.geol., Sensatec GmbH NL Koln, terzic.adnann@gmail.com
[3]Dr.sc., JU Direkcija regionalnih cesta Tuzlanskog kantona
[4]Mr.sc. „Geoservis“ d.o.o.Živinice, meris.hajdarevic11@gmail.com

U hidrogeološkom pogledu imaju funkciju pripovršinskog vodonosnika većeg rasprostarnjenja i manje dubine, te relativno brze i sezonski obnovljive vodozamjene. Nivo podzemnih voda u takvom vodonosniku je slobodan i direktno ovisi o vodostajima rijeka.

Nepropusne stijene

Vodonepropusne stijene su predstavljene na stacionaži km. 0+000.00 i stac. km. 26+040.00 Istražnim bušenjem konstatovane su vodonepropusne tvorevine predstavljene materijalima laporovite gline i lapora, te u nižim horizontima škriljcima, glincima i proslojcima pješčara, koji predstavljaju hidrogeološki izolator kroz koji površinske vode nemaju mogućnost da se infiltriraju u dublje dijelove. Bitno je napomenuti da škriljci iako čine vodonepropusne stijene mogu biti slabovodopropusni, jer je utvrđeno da mjestimično između ploha slojevitosti postoji vodopropusna ispuna koja omogućava protok vode, a također su često tektonizirani te imaju pukotinsku propusnost.

S obzirom da pozicijski leže neposredno ispod aluvijalnih i eluvijalno-deluvijalnih naslaga, predstavljaju podinsku hidrogeološku barijeru navedenim naslagama. U njima nema formiranih vodonosnika ali mogu procijeđivati vodu, pa se mjestimično pojavljuju izvori manje izdašnosti. Vodonepropusni članovi grade teren ispod slabopropusnih i dobropropusnih pokrivača. Pojedine istražne bušotine nisu ušle u ovaj kompleks zbog programom predviđenih dubina istražnih radova ili dubljeg zalijeganja lapora na ispitivanom području, ali se može smatrati da na definisanim stacionažama, ispod aluvijalnog pokrivača, zastupljen je vodoneporopusni sloj sa manjim ili većim oscilacijama po dubini.

2. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE VODONOSNIKA

Na dionici ceste Sarajevo – Foča (Brod na Drini), na sadašnjem stepenu istraženosti, utvrđeno je prisustvo vodonosnika u propusnim i slabopropusnim stijena međuzrnske propusnosti.

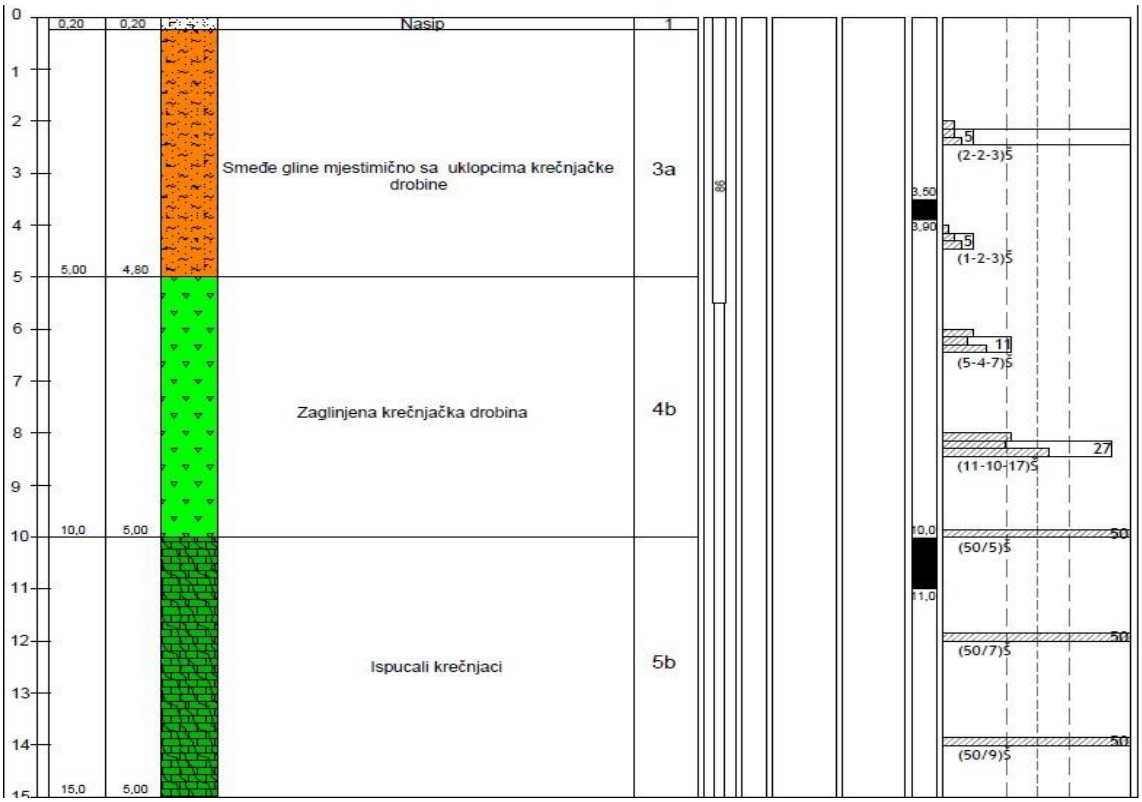
Aluvijalni vodonosnik

Formiran je u aluvijalnim sedimentima razvijenim uz dolinu rijeke Željeznice. Vodnonosnik je otkrivenog tipa, varijabilne debljine 1,0 - 11,0 metara. Nivo podzemnih voda je slobodan, relativno blizu površine terena i najčešće saglasan reljefu. Vodonosnici ovog tipa imaju osobinu lake sezonske promjenivosti izdašnosti, odnosno vodoobilnosti. Filtracione karakteristike aluvijalnih vodonosnika su veoma dobre.

Prihranjivanje ovih izvorišta je iz rijeke Željeznice i Dobrinje sa kojom uglavnom imaju dobru hidrauličku vezu, a tek sezonski, neznatnim dijelom iz zaleđa, aluvijalni aquifer prihranjuju povremene potočne pritoke. Prihranjivanje vodonosnika je od strane rijeke Željeznice sa kojom, mjestimično, ima dobru hidrauličku vezu. Povoljne filtracione karakteristike i uvjeti prihranjivanja vodonosnika omogućuju formiranje rezervi podzemnih voda. Važno je pomenuti da uslijed otkrivenosti, relativno male dubine do nivoa podzemnih voda i hidrauličke veze sa rijekom Željeznicom, vodonosnik međuzrnske poroznosti ima manje povoljne uvjete zaštite podzemnih voda od zagađenja.

Eluvijalno-deluvijalni vodonosnici

Pored navedenog aluvijalnog vodonosnika, utvrđeno je i prisustvo pripovršinskih vodonosnika većeg rasprotranjenja i manjih dubina u okviru eluvijalno-deluvijalnih tvorevina. Kao i prethodne, odlikuje ih međuzrnska poroznost, a duž trase su konstatovani na istražnoj bušotini B-12 i oni su otvorenog tipa, promjenljive debljine.



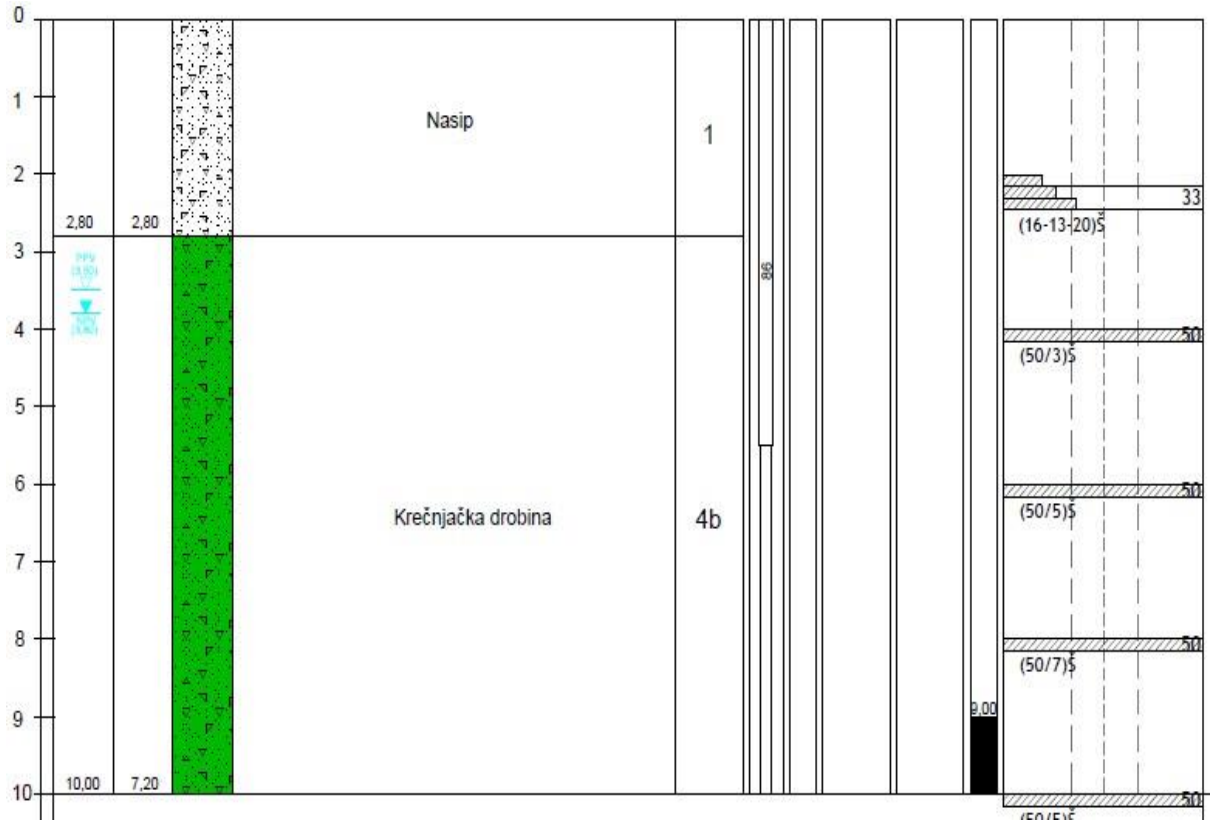
Slika 1. Litološki profil bušotine B - 12

Nivo podzemnih voda je također slobodan i relativno blizu površine. Prihranjivanje je uglavnom vezano za infiltraciju padavina i otapanje sniježnog pokrivača.

Pražnjenje je u širem prostoru preko većeg broja manjih povremenih izvora, ili difuznog isticanja u vidu pištevina ili duž riječnog toka Željeznice tj. aluvijalne tvorevine. Slabe filtracione karakteristike, mala moćnost i uvjeti prihranjivanja ovih vodonosnika međuzrnske poroznosti, ne omogućavaju formiranje značajnijeg obima rezervi podzemnih voda. Iz tih razloga podzemne vode se ne koriste za potrebe vodosnabdijevanja, te mjere zaštite nisu predviđene, niti se primjenjuju.

Vodonosnik pukotinsko-kavernozne poroznosti

Vodonosnik pukotinsko-kavernozne poroznosti u okviru aniziđkih krečnjaka ima malo rasprotranjenje, te predstavlja lokalni vodonosnik u okviru trijaskog vodonepropusnog kompleksa. Karstifikovani krečnjaci konstatovani su na istražnoj bušotini B-12 i BZ-16. Na stacionaži 19+800 – 24+750 utvrđen je veći broj manjih potoka koji se prihranjuju iz krečnjačkih lokalnih vodonosnika.



Slika 2. Litološki profil bušotine BZ - 16

3. UGRADNJA PIJEZOMETARSKE KONSTRUKCIJE

U dvije istražne bušotine duž trase ugrađene su pijezometarske konstrukcije od plastičnih 10 barskih cijevi Ø50, 8mm (2") koje su u zonama oscilacija nivoa podzmenih voda perforirane u potrebnim dužinama. Na svim pijezometrima izveden je betonski zaštitni blok i vidno napisana oznaka. Vrhovi ("usta") cijevi su zaštićeni odgovarajućim metalnim navojnim poklopcem i katancem.

Slika 3. Prikaz ugrađenog–zaštićenog pijezometra

Mjerenje nivoa podzemne vode

Tokom realizacije istražnih radova na terenu, praćena je pojava podzemne vode (PPV) koja je

konstatovana u 15 istražnih bušotina, kao i nivo podzemne vode izmjeren 24 sata nakon završetka svakog istražnog rada. Budući da se dionica Stup – Foča proteže kroz aluvijalne nanose rijeke Željeznice, u većem broju istražnih bušotina korištena je ugradnja kolone nakon čijeg vađenja je dolazilo do obrušavanja u šljunkovitim i pjeskovitim horizontima.
Pored tabele 1., u kojoj je prikazana pojava podzemne vode i nivo podzemne vode koja je konstatovana u toku istražnog bušenja, u dvije istražne bušotine ugrađeni su piezometri, koji su poslužili za mjerenje oscilacije nivo podzemne vode, u periodu poslije bušenja.

Tabela 1. Prikaz oznake bušotine i nivoa podzemne vode, u toku višemjesečnog mjerenja

Oznaka bušotine	**Dubina**	**Nivo podzemne vode**	**Pojava podzemne vode (PPV)**	**Oznaka bušotine**	**Dubina**	**Nivo podzemne vode**	**Pojava podzemne vode (PPV)**
B-1	10,00	-	-	BZ-4	8,00	-4,20	-3,10
B-2	10,00	-7,50	- 7,50	BZ-16	10,00	3,80	3,50
B-11	7,00	-	-	BP-1	15,00	-	-
B-12	15,00	-	-	BP-2	20,00	-	-
B-13	7,00	-2,10	-2,10	BM-1	10,00	zarušeno	-3,70
B-14	7,00	-	-	BM-2	15,00	-3,50	-3,00
B-15	7,00	-	-	BM-3	16,70	-4,10	-5,00
B-17	7,00	-	-	BM-4	10,00	zarušeno	-2,40
B-18	7,00	-	-	BM-6	15,00	zarušeno	-3,70
BZ-1	8,00	zarušeno	- 4,30	BM-8	10,00	zarušeno	-4,30
BZ-2	8,00	- 3,00	- 3,00	BM-30	20,00	1,90	1,90
BZ-3	8,00	-4,50	-4,00	BM-31	20,00	1,90	1,90

Bušotina/dubina (m)	**Datum i NPV (m)**				
	21.09.2022	**19.10.2020**	**26.11.2020**	**25.12.2020**	**25.01.2021**
BM-3 (16,70)	-4,10	-4,50	-4,60	-4,40	-3,80
BM-30 (20,00)	-	-	-1,90	-1,60	-1,50

3. PROCJENA RIZIKA NA ZAGAĐENJE PODZEMNIH I POVRŠINSKIH VODA

Uzimajući u obzir hidrogeološku kategorizaciju stijena i njihovu funkciju, mogu se izdvojiti dvije kategorije terena u odnosu na procjenu rizika zagađenja podzemnih i površinskih voda, i to:

- zona niskog rizika i
- zona visokog rizika.

Zona niskog rizika

Zona niskog rizika zagađenja podzemnih i površinskih voda izdvojena je u dijelovima gdje se trasa proteže duž terena izgrađenog od nepropusnih i slabopropusnih prašinasto - pjeskovitih glina eluvijalno-deluvijalnog pokrivača. Izdvojena je između stacionaža:

- stacionaža km 19+800 – 20+390,
- stacionaža km.21+850-22+200,
- stacionaža km 23+500-23+670,
- stacionaža km 25+290-25+550.

Procjenjuje se da u ovoj zoni treba primjeniti blaži režim zaštite, uz preporuku da se upojni uređaji za odvodnju voda sa kolovoza, mastolovi i slično, disponiraju na optimalnim pozicijama duž trase.

Zona visokog rizika

Zona visokog rizika zagađenja podzemnih i površinskih voda izdvojena je u terenu izgrađenom od vodopropusnih stijena međuzrnske poroznosti, odnosno u aluvijalnim naslagama, te od dobropropusnih stijena pukotinsko-kavernozne poroznosti. Izdvojena je između stacionaža:

- stacionaža km 0+000.00 – 3+250.00,
- stacionaža km 20+390.00 – 21+850.00,
- stacionaža km 22+200.00-23+500.00,
- stacionaža km 23+670.00-25+290.00,
- stacionaža km 25+550.00-26+100.00.

Stijene koje izgrađuju teren u ovoj zoni imaju hidrogeološku funkciju vodonosnika većeg rasprostranjenja, te su registrirani vodni objekti koji se koriste za vodosnabdijevanje.
Iz ovih razloga moraju se preporučiti zaštitne mjere primjerene visokom riziku zagađenja. U svakom slučaju, rješenja se moraju bazirati na uvjetima da se prihvate sve oborinske vode sa površine ceste i objekta priključne petlje, te procjedne–drenažne vode iz trupa saobraćajnice koje mogu biti zagađene naftnim derivatima, kao i za vrijeme incidentnih zagađenja, te moraju biti odvedene vodonepropusnom kanalizacijom izvan izvorišne zone i tretirane odgovarajućim uređajima za prečišćavanje prije upuštanja u recipijent. Takođe na ovoj dionici se moraju, pored hidrogeoloških karakteristika, predvidjeti i neželjeni efekti i rizici zagađenja podzemnih i površinskih voda koji mogu nastati uslijed incidentnih situacija, odnosno oštećenja putničkih vozila, ili vozila koja vrše transport tečnih i čvrstih materijala. Rizik zagađenja podzemnih i površinskih voda nije isti, te posebno treba voditi računa o osjetljivim i kritičnim potezima, bez obzira u kojoj zoni rizika se nalaze.

Unutar izdvojenih zona rizika zagađenja podzemnih i površinskih voda, generalno se mogu predložiti slijedeće zaštitne mjere:

- u zoni visokog rizika predlažu se inženjerskogeološke rigorozne mjere zaštite i uvjeti prečišćavanja voda sa kolovoza uz primjenu projektnih rješenja koja uključuju zatvoreni sistem odvodnje, uz prečišćavanje na nivo propisane kvalitete i uz potpuno dreniranje;
- u zoni niskog rizika predlažu se blaže mjere zaštite sa tzv. otvorenim sistemom odvodnje, pri čemu se ne isključuje mehaničko prečišćavanje voda. To ne implicira odvodnju sa autoceste bez kontrole, te je potrebno predvidjeti tehnička rješenja dodatnog prečišćavanja voda, posebno na kritičnim dionicama ili dionicama za koje se utvrdi da mogu biti mjesta potencijalno većeg rizika.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenih obimnih hidrogeoloških i drugih radova u zoni trase planiranog puta na području FBiH, posebno podataka mjerenja nivoa podzemnih voda u toku realizacije istražnog bušenja, počevši od marta do jula 2022. godine, izvršen je niz vrlo značajnih analiza na osnovu kojih su proistekli i konkretni zaključci.

U zoni tunela Bogatići - koji je situiran između stacionaža 0+797.00 – 0+896.50 u dužini od 99.50 metara, osnovni hidrogeološki uvjeti njegove izgradnje su analizirani na osnovu podataka hidrogeoloških karakteristika šireg područja. Ocijenjeno je da podzemne vode nisu značajan uticajni faktor na inženjerskogeološke uslove izgradnje. U iskopu tunela Bogatići, u krečnjaku, prognozno se očekuju maksimalni kratkotrajni dotoci vode u vlažnim periodima do oko 1l/s. Uslovi fundiranja mostova i nadvožnjaka, zavisno od usvojenog načina temeljenja stubova, su različiti. U slučaju temeljenja stubova iskopom u aluvijalnom nanosu, očekuje se doticaj vode iz rijeka. Maximalni dotok u temeljnu jamu može biti 10-20 l/s zavisno od vodostaja rijeka na dionici, dimenzija iskopa, udaljenosti od rijeke i drugo. Značajniji uticaj podzemne i površinske vode na uslove temeljenja stubova se ne očekuje, posebno u sušnom periodu.

Na otvorenom dijelu trase, uticaj podzemnih voda na iskope fundiranje nasipa praktično ne postoji, što je evidentno pri uvidu na hidrogeološki presjek terena. Samo na nekoliko bušotina je registrovana podzemna voda u toku bušenja. Otežani uslovi izgradnje očekuju se u zoni povremenih tokova koji poniru uz trasu sadašnje ceste, odnosno ako se iskopima uđe u karstne kanale u periodu velikih i dugotrajnih padavina.

Iz navedenog može se zaključiti da hidrogeološka problematika, odnosno uslovi izgradnje trase

puta nisu nepovoljni sa aspekta negativnog uticaja podzemnih voda.

LITERATURA

1.Balta,V., Hidrogeološke karakteristike područja kao faktor definiranja zona rizika na „koridoru Vc“ u smislu zaštite okoliša, doktorska disertacija, 2015.
2.Čičić, S., Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine, p. 1-350. Earth Science Institute. Sarajevo,2002.
3.Hrvatović,H.,Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina, Federalni zavod za geologiju, Sarajevo,2006.
4.Pašić-Škripić D.,Injektiranje i konsolidacija tla i stijena, Univerzitet u Tuzli, 2022.
5.Sijerčić, I., Inženjerska geodinamika, Univerzitet u Tuzli, In Scan, 2012.
6.Skopljak, F., Hidrogeologija, terenska istraživanja i ispitivanja, Sarajevo, 2022.
8.Škripić, N., Inženjerska geologija (odabrana poglavlja), Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici, 2014.
9. Terzić,A.,“Hidrogeološki uslovi u zoni trase puta na dionici 2B Sarajevo-Foča“, magistarski rad, RGGF, Univerzitet u Tuzli, 2023.
9.Žigić, I.,Hidrogeološka istraživanja, Univerzitet u Tuzli,2004.

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.52 Naučni rad

ANALIZA I SANACIJA ENDOGENOG POŽARA KOD ŠIROKOČELNOG OTKOPAVANJA UKUPNE DEBLJINE GLAVNOG UGLJENOG SLOJA U JAMI RASPOTOČJE RMU ZENICA

Jelena Marković[1], Refik Kurbašić[2], Zvjezdan Karadžin[3], Edisa Nukić[4]

ABSTRACT

Otkopavanjem debelih ugljenih slojeva sa zarušavanjem otkopanih prostora u starom radu ostaju manje ili veće količine uglja koje predstavljaju potencijalnu opasnost od spontane oksidacije, tinjanja i razvoja endogenih požara, te mogu ugroziti normalan radi i sigurnost u jami. Pojave endogenih požara u RMU Zenica direktno su povezane sa složenim prirodnim uslovima eksploatacije koji se ogledaju u kompleksnim geološkim uslovima, velikoj dubini otkopavanja, velikoj metanonosnosti ugljenih slojeva i izraženoj sklonosti uglja ka spontanoj oksidaciji.
Predmet rada je analiza i sanacija endogenog požara kod širokočelnog otkopavanja ukupne debljine glavnog ugljenog sloja u jami Raspotočje, koji je nakon sanacije ponovo reaktiviran. Za sanaciju požara primjenjene su: pasivne metode (izolacija požarnog prostora), aktivne metode (injektiranje elektrofilterskog pepela) i ventilacione metode. U cilju efikasnijeg iznalaženja rješenja za sanaciju požara na linearnim i kanonskim šemama prikazani su dodatni podaci (položaj izolacionih objekata i starog rada, regulatora protoka zraka, puteva moguće migracije zraka, moguća tehnička rješenja).

Ključne riječi: endogeni požari, širokočelno otkopavanje, nastupno otkopavanje, sanacija požara.

1. UVOD

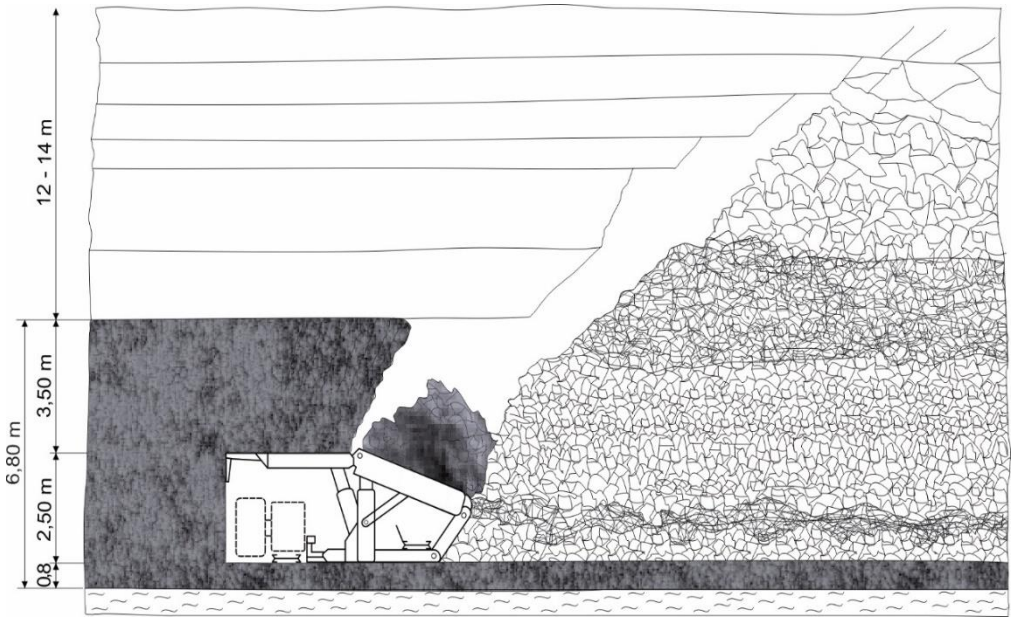
Korištene metode otkopavanja u RMU Zenica zasnovane su na zarušavanju otkopanih prostora, bez popunjavanja-zasipavanja otkopanog prostora. Posljedice ovakvog načina otkopavanja su izražena prostrujavanja (migracije) zraka kroz otkopani prostor (stari rad) širokog čela, koje su veoma opasne sa stanovišta požarne opasnosti [2] [4]. Ove migracije zraka odvijaju se uz rubne prostore otkopanog prostora prema stubovima i neotkopanim dijelovima (duž otkopnih prostorija i početne prostorije - startne linije širokog čela) , te prostore neposredno iza fronte širokog čela gdje je još u toku neka od faza za konačnu konsolidaciju terena (rušenje krovine, drobljenje krovine, pucanja krovine, elastične deformacije krovine) [1] [5]. Obim i količine zraka u migraciji u ovisnosti su od unutrašnje i vanjske razlike potencijala pritiska, otpora na dionicama migracije, površine otkopnih polja, visine zahvata otkopavanja, dubine radova, geomehaničkih osobina stijena u litostratigrafskom stubu i tektonike terena zahvaćene eksploatacijom. Kod otkopavanja otkopnih polja u krovnim pločama glavnog ugljenog sloja (GUS-a) ostvarivan je otvoreni kontakt i sa starim radom višeležećih prethodno otkopanih polja, te su se i ovdje dešavale migracije zraka, koje su isto tako, sa stanovišta požarne opasnosti, bile veoma opasne [2] [3].

[1]Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, jelena.markovic@untz.ba
[2]Dr. sci.Association-FUZIP-e, Sarajevo
[3]Vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, zvjezdan.karadžin@untz.ba
[4]Vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, edisa.nukic@untz.ba

Otkopavanje u dva otkopna polja u četvrtom tektonskom bloku Istočnog dijela VII-e terase jame Raspotočje provedeno je u periodu oktobar 1999. godine do maja 2005. godine [8]. U ovom periodu desila su se dva endogena požara u starom radu širokog čela (ŠČ) i to jedan u nastupnom, a jedan u odstupnom sistemu otkopavanja polja. U radu je analiziran endogeni požar u nastupnom sistemu otkopavanja.

2. USLOVI RADA U OTKOPNOM POLJU

Otkopavanje ukupne debljine GUS-a u dva otkopna polja u četvrtom tektonskom bloku Istočnog dijela VII-e terase jame, izvođeno je primjenom širokočelne-sublevel metode otkopavanja. Ugalj iz natkopa dobijan je točenjem, bez miniranja, zarušavanjem konzole uglja kod pomjeranja samohodne hidraulične podgrade (SHP-e). Primjenjena metoda otkopavanja ukupne debljine prikazana je na slici 1.



Slika 1. Otkopavanje ukupne debljine GUS-a u jami Raspotočje širokočelnom „Sublevel“ metodom uz upotrebu SHP-e Dowty 4000 [8]

Osnovni parametri geometrije otkopne metode [8] su:
-dužina otkopne fronte širokog čela.....75,0 m,
-ukupna visina zahvata.....5,5-6,0 m,
-potkop.....1,8-2,5 m,
-natkop.....3,5-4,2 m,
-zaštitna ugljena ploča prema neposrednoj podini.....0,5-1,0 m,
-proizvodnost....oko 8,0 t/m^2 ili 550,0 t/m′ napredovanja fronte.

Iskorištenje ukupne debljine GUS-a iznosilo je oko 80,0%. Gubitke ugljene supstance (oko 20,0%) predstavaljaju zaštitna ugljena ploča prema neposrednoj laporovito-glinovitoj podini te gubici uglja na otvoru za točenje uglja iz natkopa na zadnjoj gredi SHP-e, koji na oko 1,0 m od podne ugljene ploče, formiraju ravan izdrobljenog uglja u zarušenom materijalu (starom radu ŠČ). Ovi gubici, obzirom na veoma izraženu sklonost glavnog ugljenog sloja ka spontanoj oksidaciji, predstavljaju stalnu opasnost za pojavu endogenih požara u starom radu ŠČ. Naročitu opasnost za pojavu primarnih požarnih ognjišta, predstavlja izdrobljeni sitni ugalj koji ostaje po podnoj ploči, po prolasku fronte širokog čela. Čišćenje ovog uglja u prostoru između transportera, otežano je zbog zatvorene konstrukcije SHP-e.

Ventilacija

Sistem ventilacije aktivnog dijela jame (TB-IV, VII-e terase istočnog dijela jame), spada u veoma složene sisteme, sa starim radom otkopnog G-VII-i-4/1 smještenim unutar paralele, čije bočnice predstavljaju ventilacioni uskop VU-114 sa jedne i ukupan sistem ventilacije aktivnih radova, sa druge

strane. Ventilacioni hodnik za naredno polje VH-207/1 u izradi, predstavlja dijagonalu između bočnica i sa donje (južne strane) zatvara stari rad.

Zrak za ventilaciju aktivnih radova uvodi se iz glavne ventilacione mreže preko kratkog istočnog prekopa (KIP) na ulaz u TB-IV, gdje se formiraju bočnice paralelnog sistema, a jedan dio zraka se kratkim spojem, preko hodnika na k 4,0 m, odvoji u izlaznu zračnu struju jame. Prvim dijelom bočnice VU-114, ventilira se TS "F" a drugim dijelom bočnice, se preko ventilacionog hodnika za naredno polje VH-207/1 u izradi, izvodi istrošeni zrak sa radilišta za izradu novih dionoca VH-207/1. Drugom bočnicom ventiliraju se aktivni aktivni radovi u bloku TB-IV, komorni otkopi i pripremna radilišta za komorne otkope, široko čelo i radilišta na izradi dionoica ventilacionog hodnika VH-207/1. Na slici 2. prikazana je linearna šema ventilacije VII terase istočnog dijela jame (blok TB-IV) prije zatvaranja širokog čela u cilju sanacije endogenog požara.

Izolacija starog rada

Izolacija starog rada ŠČ urađena je muljnim čepovima (MČ) od finog elektrofilterskog pepela, dužine 4-12 m. Izlacioni objekti koji zatvaraju stari rad sa zapadne strane od prostorije ventilacionog uskopa VU-114 (MČ 69 i 70) urađeni su u dužinama od 10,0 m u podnom dijelu GUS-a, kako su i bile locirane otkopne prostorije (TH-207 i VH-20). Izolacija starog rada sa donje (južne) strane od prostorije VH-207/1, izvršena je sa dužinom muljnih čepova od 4-5 m, muljnim čepovima br: 208/1,208/2, 208/3 i 208/4.
Muljni čepovi br. 208/5 i 208/6, koji zatvaraju stari rad od prostorije transportnog hodnika TH-208, naknadno su ojačani pregradama koje su omalterisane cementnim malterom, urađenim pri dnu veznih uskopa VU-208/5 i VU-208/6, na udaljenosti 5-6 m od transportnog hodnika TH-208. Sa gornje (sjeverne) strane iz ventilacionog hodnika VH-205 izolacija je izvršena kosim muljnim čepovima dužine 5-12 m, koji su uglavnom urađeni u krovnim naslagama GUS-a (prostorije rađene kroz rasjednu zonu), sa internim oznakama MČ: 205/1, 205/2, 205/3, 205/4, 205/5, 205/6 i 205/7.

Dinamika širokog čela

SHP-e DAWTY 4L-4000 kN sa pripadajućom opremom, ugrađena je u otkopno polje G-VII-i-4/1 u oktobru 1999. god. Za dva mjeseca ŠČ je napredovalo prosječno 21 m/mjesec. U 2000-oj godini ŠČ je napredovalo prosječno 23,5 m/mjesec. Dinamika napredovanja je opala u 2001. godini kada je ukupno napredovanje fronte ŠČ iznosilo prosječno 18,75 m/mjesec. Izrazit pad desio se u drugom polugodištu, kada je fronta ŠČ premještena za 95 m, odnosno prosječno 15,8 m/mjesec. U prvih devet mjeseci 2002. godine široko čelo napredovalo prosječno 13,11 m/mjesec. Zadnja četiri mjeseca rada (jun-septembar) prosječna dinamika pala je na 11 m/mjesec.
Od pojave spontanog gorenja 08.10. 2002. godine do 31.12. 2002 godine, ukupno napredovanje ŠČ iznosilo je cca 12 m.

3. ENDOGENI POŽARI U NASTUPNOM SISTEMU OTKOPAVANJA UKUPNE DEBLJINE GUS-A

3.1. Analiza endogenog požara i postupaka sanacije - oktobar 2002. godine

Prve naznake spontanog gorenja pojavile su se 08.10. 2002, godine kada je u izlazu ŠČ izmjerena koncentracija ugljen monoksida (CO) od 40 ppm. Iako se narednih dana intenzivno radilo na sanaciji spontanog gorenja, on se i dalje progresivno razvijao, te je 13.10.2002 izmjerena koncentracija CO u izlazu ŠČ od 135 ppm. Obzirom da se ŠČ ventiliralo sa oko 4,0 m^3/s zraka, apsolutni dotok CO u izlazu ŠČ povećao se na preko 50,0 dm^3/min. Istog dana donesena je odluka o zatvaranju ŠČ u cilju sanacije endogenog požara. Nepotpuno zatvaranje pregradama u transportnom i ventilacionom hodniku završeno je 15.10.2002. godine. Pregrade su izrađene od betonskih elemenata sa ostavljenim otvorima na pregradama za istovremeno zatvaranje, dimenzija 0,80 x 0,60 m. Protok zraka kroz otvore iznosio je oko 1,3 m^3/s. Sa prvim naznakama spontanog gorenja i poslije po zatvaranju ŠČ pristupilo se redovnom snimanju stanja plinsko-ventilacionih parametara, kako bi se uradile analize za definisanje stanja u požarnom prostoru i preduzele adekvatne radnje i mjere za sanaciju požara.
Kontrolom objekata izolacije starog rada OP G-VII-i-4/1 utvrđeno je da radilište 207/1A (dionica između veznih uskopa VU-208/5 i VU 208/6) ostvaruje kontakt sa starim radom. Na radilištu su po privremenom zatvaranju ŠČ, izmjerene povećane koncentracije CH_4 i CO_2 te koncentracije CO do 40,0 ppm. Po

konstatovanju stanja, radovi na radilištu su obustavljeni, separatni ventilator za radilište isključen, a u veznom uskopu VU-208/5, na 5 m od transportnog hodnika TH-208, urađena je od betonskih elemanata ventilaciona pregrada.

Pregradom je u isto vrijeme zatvoren i vezni uskop VU-208/6, jer je procijenjeno da MČ 208/6, nije kvalitetno zamuljen. Radovi na ovim pregradama završeni su 15.10. 2002. Na slici 3. data je linearna šema ventilacije VII-e terase Istočnog dijela jame (Blok TB-IV) jame Raspotočje poslije zatvaranja veznih uskopa (208/5 i 208/6) i širokog čela.

U periodu izvođenja radova na izradi izolacionih objekata izvršeni su detaljni pregledi izolacionih objekata aktivnog dijela jame, a po završetku radova i detaljan pregled radnog prostora ŠČ, kada je konstatovano slijedeće:

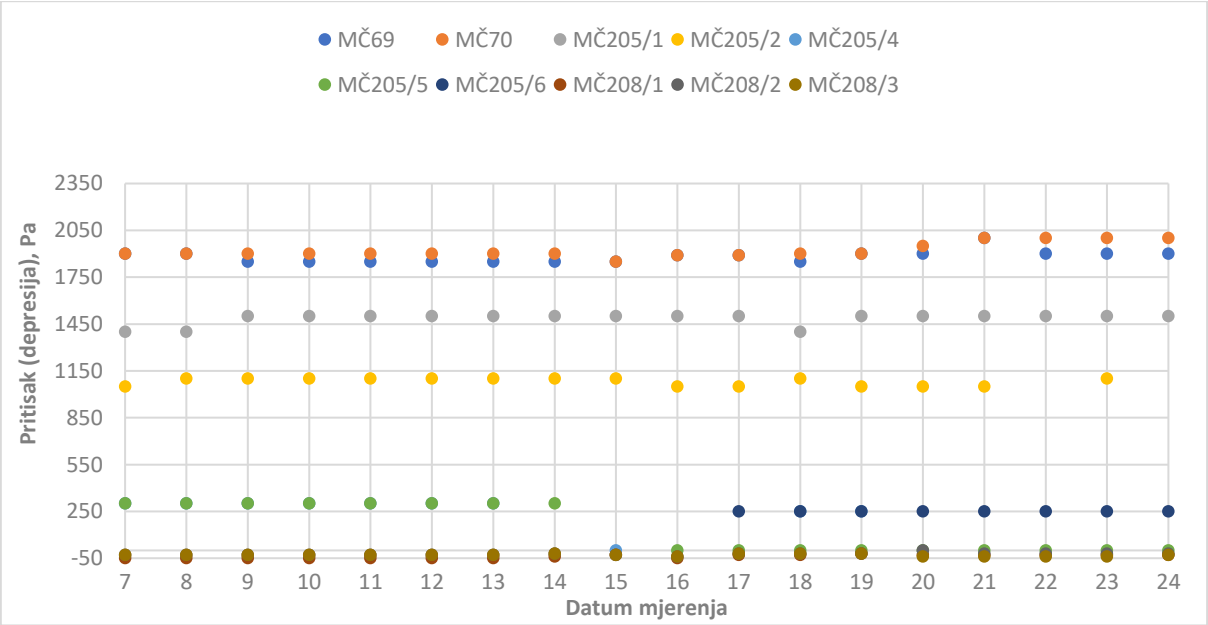
- muljni čepovi koji zatvaraju stari rad sa prostorije VU-114 (MČ 70 i MČ 69), VH-205 (MČ od 205/1 do 205/7) te sa ventilacionog hodnika VH-207/1 (MČ od 208/1 do 208/4) u ispravnom su stanju i preko istih se ne ostvaruje kontakt sa starim radom,
- požarni plinovi (karakterističan miris i izmjerene koncentracije CO do 60 ppm) pojavljuju se u gornjoj polovini ŠČ,
- temperatura u izlazu ŠČ smanjena je u odnosu na izmjerenu temperaturu prije zatvaranja za 2˚C (sa 28˚C na 26˚C)
- temperatura u vrhu ŠČ smanjena je 2˚C (sa 30 ˚C na 28˚C)
- apsolutni dotok ugljik monoksida (CO) pao je na 15 dm^3/min.

Izmjerene koncentracije plinova u vrhu ŠČ imale su slijedeće vrijednosti: CH_4 = 1,50 %, CO_2 = 1,0 % i CO = 65 ppm.

- izmjerene temperature u OP-GVII-i-IV/1 kretale su se od 19-20˚C na ulazu ŠČ, a od 25-26 ˚C na izlazu ŠČ.

Obzirom na brzu stabilizaciju stanja u ŠČ koja je uslijedila po izradi navedenih objekata izolacije nastavljeni su krajem oktobra radovi otkopavanja na ŠČ, uz protok zraka kroz ŠČ od oko 2,80 m^3/s, i isti su se bez pojava CO obavljali do početka decembra 2002. godine.

Na slici 4. dat je dijagram promjene pritiska na muljnim čepovima koji zatvaraju stari rad otkopnog polja OP G VII-i/1, a na slici 5. dijagram promjene temperature ispred muljnih čepova koji zatvaraju otkopno polje OP G VII-i/1 za period: 07.10.–24.10. 2002. godine.



Slika 4. Dijagrami promjene pritiska na muljnim čepovima koji zatvaraju stari rad otkopnog polja OP G VII-i/1 period: 07.10.-24.10. 2002 godine [1]

Izmjerene vrijednosti pritiska na izolacionim objektima ukazuju na slijedeće :

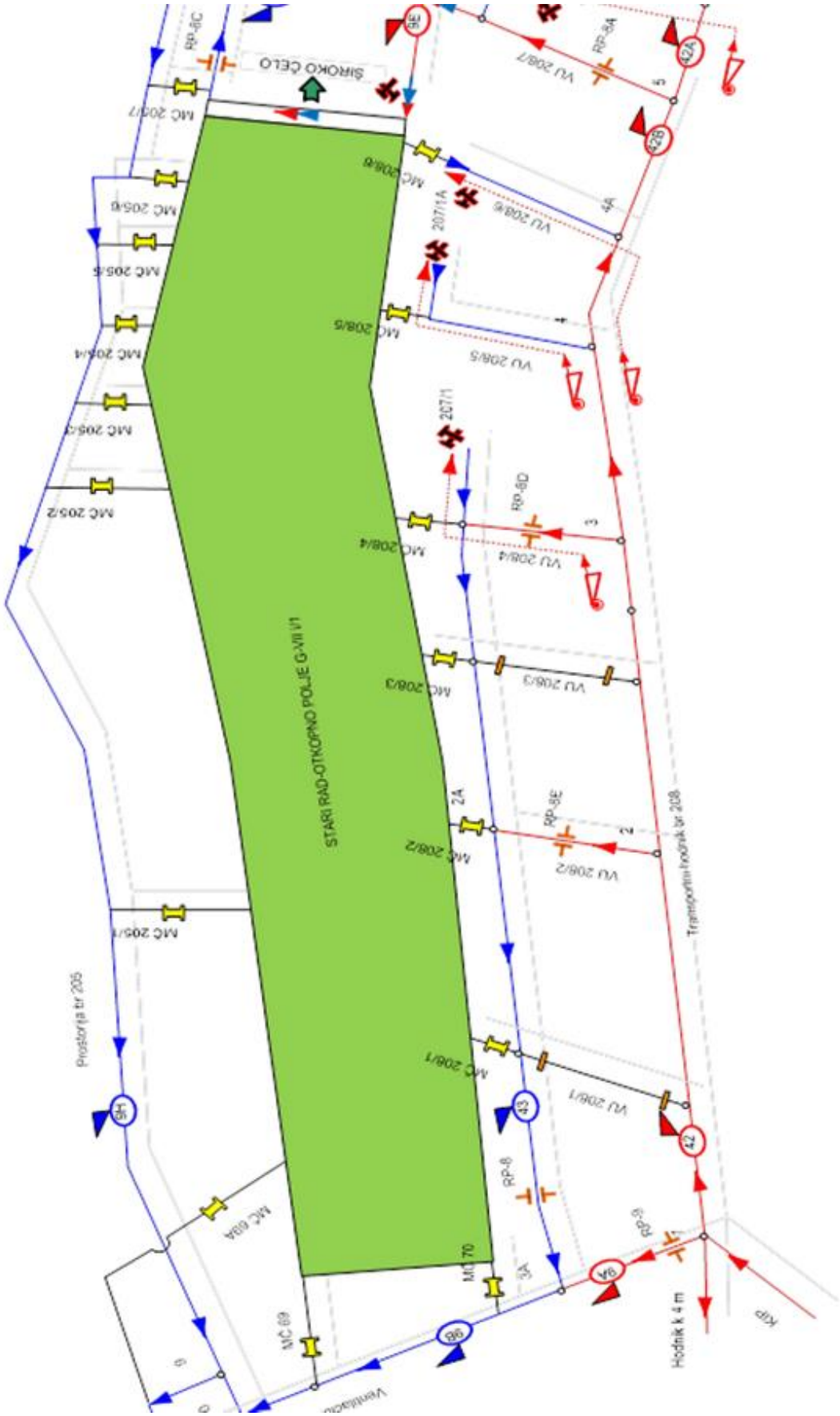
- Prostorijom VH-205 (bočnica paralele), kojom se izvodi revirna izlazna zračna struja, utrošak depresije ventilatora je izrazito veliki: od MČ205/1 gdje pritisak iznosi cca 1500 Pa do MČ 205/6, gdje iznosi 250 Pa (razlika 1250 Pa).
- U prostoriji 207/1 (dijagonala), zidovi su pod depresijom od –50 Pa na MČ 208/1 do –20 Pa na MČ 208/3. Utrošak depresije glavnog ventilatora po ovoj dionici je neznatan s obzirom da se radovi u ogranku provjetravaju pomoću cijevnog vetilatora.
- U prostoriji VU 114 (bočnica paralele) izmjerene vrijednosti pritiska na zidovima su izrazito velike: 1900 Pa na MČ 69 i 2000 Pa na MČ 70, što je poslijedica ugrađenih regulatora protoka, ispod lokacije MČ 69 i 70, prema ulaznoj zračnoj struji.
- Uslijed velikih razlika pritisaka između prostorija sa kojih je zatvoren stari rad ŠČ, te isto tako velike razlike pritisaka između ovih prostorija i zračne struje za provjetravanje ŠČ (otvoreni kontakt sa starim radom), kod slabljenja izolacije na MČ ili pucanja stubova između prostorija i starog rada,moguće su razne kombinacije prostrujavanja svježeg zraka kroz stari rad. Bilo kakvo prostrujavnje kroz stari rad neminovno bi dovodilo do spontane oksidacije i razvoja endogenog požara u starom radu (rubovima starog rada prema svježem zraku) [4] .

U toku spontanog gorenja dolazilo je do manjih oscilacija pritisaka, više pod uticajem zagrijavanja starog rada, a manje od promjena atmosferskog pritiska vani, koji je za pomatrani period bio dosta stabilan. Ove promjene najizraženije su na zidovima od prostorije 207/1, gdje je u periodu 17.-24.10. 2002. godine, došlo do smanjenja i izjednačavanja pritisaka po zidovima duž ukupne dionice.

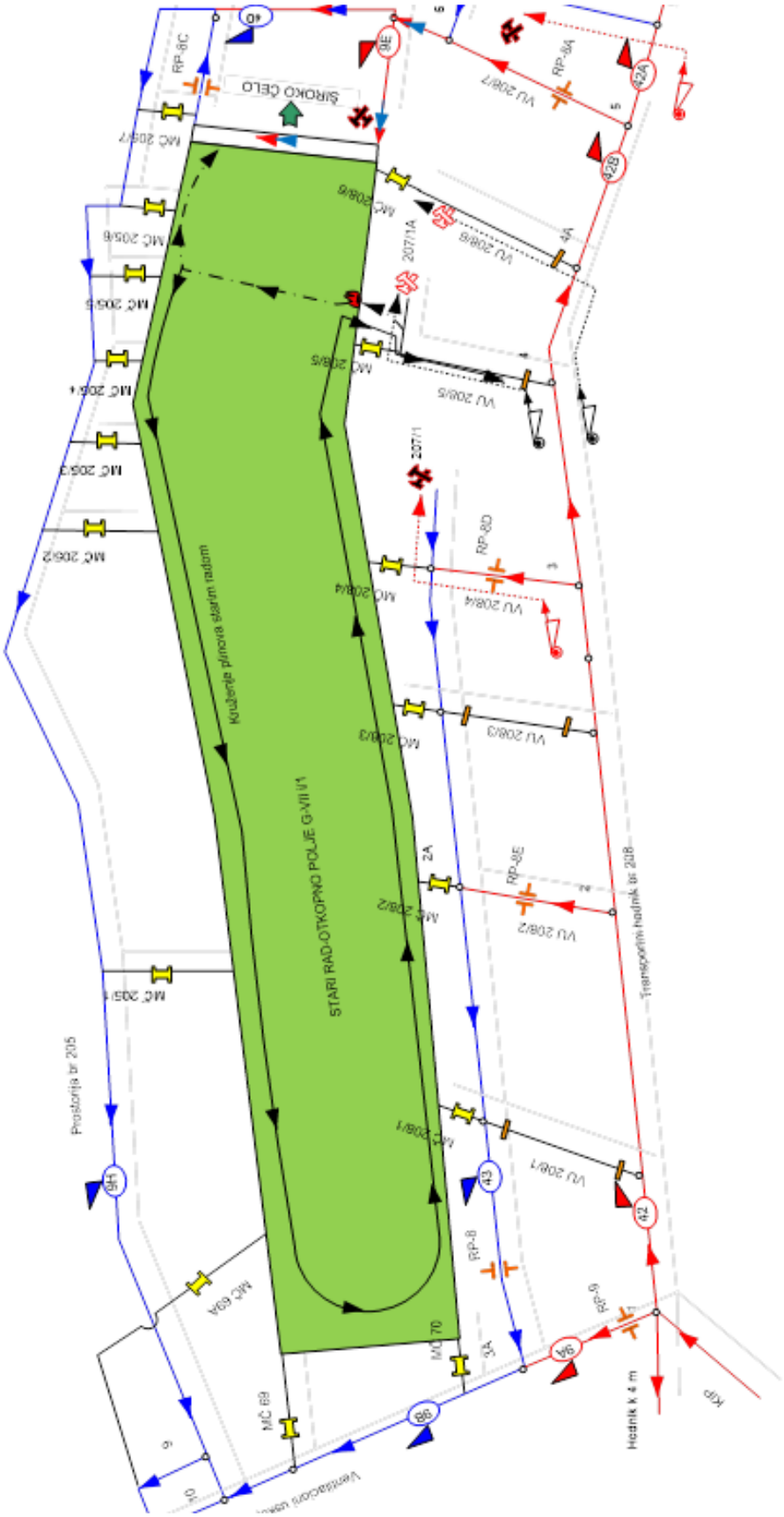
Promjene protoka zraka u ogranku za ventilaciju ŠČ, nisu rezultirale značajnijim izmjenama pritiska na izolacionim objektima što se objašnjava složenim sistemom ventilacije otkopnog bloka TB-IV. Utrošak pritiska po ogranku za ventilaciju ŠČ, obzirom na malu dužinu, dobar profil dionice i relativno mali protok zraka nije veliki, te se izmjenama režima ventilacije ŠČ nisu značajnije promijenili potencijalni odnosi. Međutim, ove izmjene potencijalnih odnosa, iako male, imale su veoma pozitivan uticaj u stvaranju povoljnih plinskih odnosa u starom radu i stvaranju uslova, da se uz druge primijenjene mjere, sanira endogeni požar.

Za promatrani period izmjerene temperature vani od minimalnlne 4° C do maksimalne od 15° C, nisu imale značajniji uticaj na izmjenu temperatura u prostorijama TB-IV. Temperatura se kretala od 19-20°C na ulazu, a od 22-23 $^{\circ}$C na izlazu ŠČ.

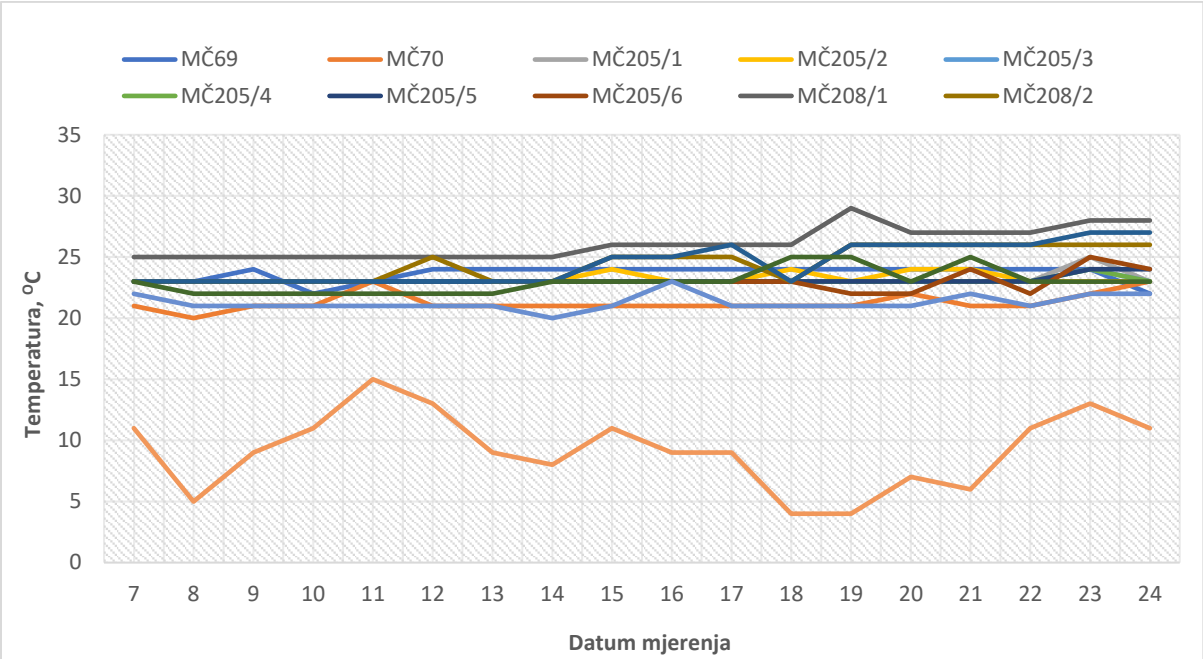
Temperature na izolacionim objektima koji zatvaraju stari rad od prostorije VH-205 (MČ 205/1, 205/2, 205/3, 205/4, 205/5 i 205/6), nisu se značajnije mijenjale te je ukupan porast temperature u posmatranom periodu, maksimalno 2 $^{\circ}$C. Ovo se može objasniti položajem izolacionih objekata, koji su od starog rada (VH ŠČ) niži za 8-10 m i izrađeni u pratećim stijenama (rasjedna zona između TB-III i TB-IV). Slične promjene temperature dešavale su se i na zidovima koji zatvaraju stari rad ŠČ iz prostorije VU-114 (MČ 69 i 70). Ovi zidovi su najudaljeniji od pretpostavljenog mjesta oksidacinog procesa, te se na taj način mogu objasniti male temperaturne promjene na ovim objektima.



Slika 2. Linearna šema ventilacije VII-e terase Istočnog dijela jame (Blok TB-IV) Raspotočje prije zatvaranja širokog čela, stanje: oktobar 2002. godine [1]



Slika 3. Linearna šema ventilacije VII-e terase Istočnog dijela jame (Blok TB-IV) Raspotočje poslije zatvaranja veznih uskopa (208/5 i 208/6) i širokog čela (Cirkulacija zagrijanih plinova starim radom OP G-VIII i/1, potiskivanje metana iz starog rada i akumuliranje u prostoriju VU 208/5) [1]



Slika 5. Dijagram promjene temperature ispred muljnih čepova koji zatvaraju otkopno polje OP G VII-i/1 period: 07.10.-24.10. 2002. godine

Na muljnim čepovima koji zatvaraju stari rad od prostorije VH-207/1, promjene temperature su za promatrani period najveće. Ukupan porast temperature po MČ (osim MČ 208/4) iznosi 4 ˚C. Ovo se može objasniti kruženjem požarnih plinova kroz stari rad koje je uvjetovano toplotnim uzgonom i oblikom otkopanog prostora starog rada ŠČ. Otkopno polje G VII-i-4/1 blago pada u pravcu napredovanja ŠČ, blago dijagonalno na pružanje GUS-a (pružanje GUS-a sjeverozapad-jugoistok, sa napredovanjem fronte ŠČ prema jugoistoku). Nagib po padu otkopnog polja iznosi 11-15˚,sa prosječnom razlikom visina između otkopnih hodnika od 16 m.

Presudnu ulogu za formiranje ovakvog kretanja plinova u starom radu ŠČ pored oblika otkopanog prostora imali su i drugi uticajni faktori od kojih su najznačajniji: pretpostavljeno mjesto spontane oksidacije, intezitet i razvoj endogenog požara, te uspostavljeni režim ventilacije ŠČ, sa malim uticajem pritiska glavnog ventilatora na ŠČ (stari rad ŠČ).

Temperature na objektima koji zatvaraju stari rad od prostorije TH-208, nisu se značajnije mijenjale,što je poslijedica mjerenja temperatura na pomoćnim pregradama, kojima su ojačani prethodno izrađeni MČ.

Kontrola plinskog stanja na izolacionim objektima (stanje starog rada iza izolacionih objekata) vršena je metodom hemijske analize. Utvrđeno je da su promjene plinskog stanja ispred izolacionih objekata neznatne (uobičajene).

Izmjerene vrijednosti plinskog stanja iza izolacionih objekata ukazuju na slijedeće:

a) Na zidovima koji zatvaraju stari rad od prostorije VU-114 (zidovi br. 69 i br. 70) stari rad je u fazi konsolidacije. Sadržaj kisika je ispod 12 % , sadržaj ugljik dioksida preko 6,5 %, a sadržaj metana cca 1,0 %. Urađenim hemijskim analizama nije registrovano prisustvo ugljik monoksida.

b) Na zidovima koji zatvaraju stari rad od prostorije VH-205 uočene su slijedeće promjene:

- na zidu 205/1, koji je najudaljeniji od pretpostavljenog mjesta spontane oksidacije nisu uočene značajnije promjene. Stari rad je konsolidovan, a nisu registrovane pojave CO.
- na zidu 205/3 , analizom od 09.10. 2002 godine, registrovano je povećano prisustvo kisika od preko 10,0 % i ugljik monoksida od 330 ppm.

- najveće promjene plinskog stanja na početku spontane oksidacije dešavale su se na zidovima broj: 205/4, 205/5 i 205/6, gdje se sadržaj CO kretao u granicama 100-3500 ppm, da bi se poslije 17.10.2002 godine, značajnije izmjene dešavale samo na zidu br 205/6.
- Izrazito nizak sadržaj metana na ovim zidovima (ispod 1.0 %) može se objasniti kretanjem metana uslijed toplotne depresije nagomilanih požarnih plinova, koji su se pomjerali u više dijelove starog rada i potiskivali hladniji metan u niže djelove starog rada (kruženje požarnih plinova po starom radu, potiskivanje metana iz starog rada i akumuliranje u prostoriju 208/5),
- na zidu br 205/6 sadržaj CO do 21.10. 2002 godine, konstantno je rastao, da bi poslije počeo postepeno opadati uz istovremeno povećanje sadržaja CO_2 i opadanje O_2. Ovako ponašanje sadržaja požarnih plinova iza zida u skladu je sa očekivanim i direktna je poslijedica mjera preduzetih na sanaciji endogenog požara. Slične promjene plinskog stanja registrovane su i u vrhu širokog čela (difuzno provjetravanom dijelu čela).

c) Zidovi koji zatvaraju stari rad od prostorije TH-208 su po inteziviranju endogenog požara, zbog pretpostavke da se preko ovih zidova ostvaruje kontakt sa starim radom ŠČ, dodatno ojačani pregradama od betonskih elemenata. Prostor iza pregrade 208/5 (vezni uskop VU-208/5 i izrađena dionica VH-207/1A), ukupne zapremine cca 1000 m^3,ubrzo po zatvaranju je zaplinjen, uz enormno visok sadržaj metana od preko 50,0 %. Hemijskim analizama, po zatvaranju uskopa, registrovane su pojave CO u tragovima do 5 ppm, a ručnim prenosnim instrumentom izmjerena je prije zatvaranja koncetracija CO od 40 ppm. Iza pregrade br 208/6, koja je urađena istovremeno sa pregradom br 208/5, a koja zatvara VU-208/6 ukupne zapremine cca 600 m^3,sadržaj metana dostigao je maksimalno 3.50 %.

Ovako drastična razlika u sadržaju metana iza dva susjedna zida može se objasniti slijedećim hipotezama:

- prostor iza pregrade popunjen je plinovima nastalim eshalacijom iz zdrobljenog ugljenog sloja uslijed drobljenja (pucanja) zaštitnog stuba ili puhača metana koji je svojim napredovanjem otvorila prostorija VH-207/1,
- između ova dva zida je područje u kojem je razvijen endogeni požar, a metan je uslijed opisanog kruženja požarnih plinova starim radom i pucanja zaštitnog stuba između starog rada i izrađene dionice prostorije VU-207/1, koja se nalazi u krovnoj ploči GUS-a, «akumuliran» u VU-208/5. Ovome je svakako doprinijelo stanje zida u ventilacionom sistemu, koje je uglavnom blizu ravnotežnom (pritisak na zidu 0 Pa).
- U svakom slučaju, na ovaj način, potvrđena je postavljena hipoteza o postojanju veze između prostorije VH-207/1A i starog rada OP G-VII-i-4/1, te hipoteza o kruženju plinova starim radom OP G-VII- i/1, potiskivanju metana iz starog rada i akumuliranje u prostoriju VU 208/5), što je prikazano na slici 3.

d) Rezultati analiza uzetih iza zidova koji zatvaraju stari rad sa prostorije 207/1 (zidovi br 208/1, 208/2 i 208/3) su u velikoj mjeri ovisni o načinu uzorkovanja (iskustvu uzorkovača) [7] , s obzirom da se kroz posmatrani period ovi zidovi nalaze pod blagom depresijom (uvlače).

Snimanjima pliskog stanja iza i plinsko-ventilacionih parametara ispred zidova mogu se odbaciti mogućnosti bilo kakvog prostrujavanja zraka kroz stari rad prema i od objekata, koji zatvaraju stari rad od prostorija VH-205 i VU-114, te zidova koji zatvaraju stari rad sa prostorije VH-207/1 (zidovi br; 208/1,208/2 i 203/3). Sumnjivi su samo zidovi br. 208/5 i 208/6.

e) Tačna lokacija spontane oksidacije nije sa sigurnošću utvrđena ali se analizom uticajnih faktora može pretpostaviti da je razvijena u zaštitnom stubu, na rubu starog rada prema VH -207/1A, između zidova br.208/5 i 208/6, slika 3.

3.2 Analiza razvoja reaktiviranog endogenog požara - decembar 2002. godine

Do reaktivacije endogenog požara početkom decembra dolazi zbog pogrešno donesene odluka o nastavku radova na izradi preostalih dionica VH-207/1, odnosno otvaranju i otplinjavanju VU-208/5 i VU-208/6 [1]. Po otplinjavanju veznih uskopa, započelo se sa izradom dionice prostorije VH-207/1A između uskopa 208/5 i 208/6 i montažnog uskopa (MU) iz prostorije TH-208.

Ubrzo po otvaranju prostorija veznih uskopa došlo je intezivnog endogenog požara sa koncentracijama CO, koje su za pet dana dostigle 1000 ppm, te je dana 05.12.2002. godine, ponovno obustavljeno

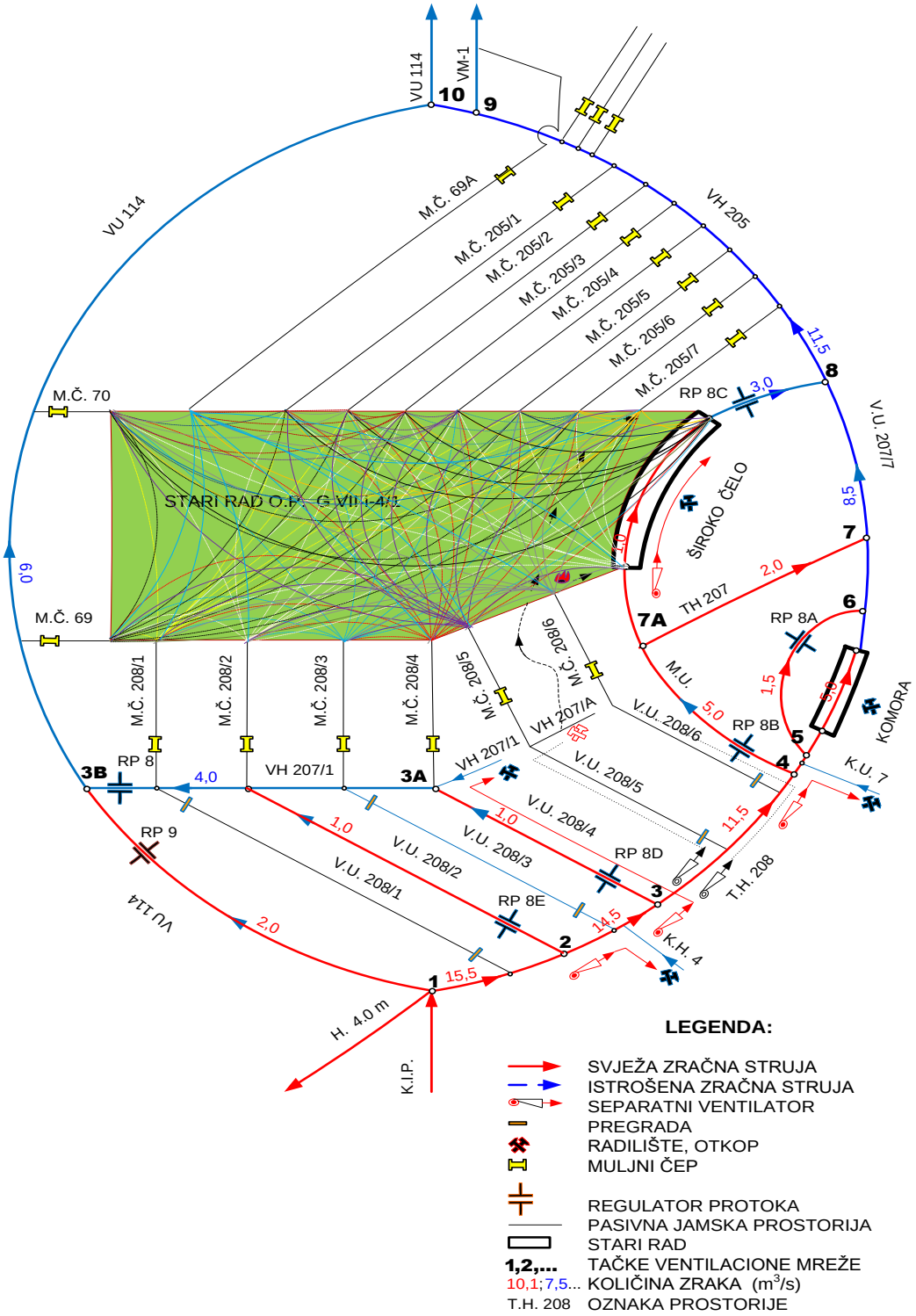
izvođenje radova na ŠČ i izvšeno njegovo zatvaranje. Svakodnevnim provođenjem aktivnih operativnih mjera (muljanjem, prskanjem i natapanjem starog rada) spriječeno je brzo intenziviranje endogenog požara, ali nije se mogla izvršiti njegova sanacija.

Analizom operativnih podataka (snimanjem plinskog stanja i temperature duž fronte širokog čela te „in situ“ podataka o pojavama kondezacije na SHP-i), utvrđeno je da se požar približavao donjoj komori ŠČ. Zbog navedenog izvršeno je bušenje lepeze bušotina iz montažnog uskopa (MU), tako da proboji bušotina izbijaju u najviše tačke svoda zarušavanja osnovne krovine, a u ravni ugljenog sloja formiraju hipotenuzu trougla: linija fronte širokog čela TH-207-linija proboja bušotina (u pretpostavljenu zonu spontane oksidacije).Namjera je bila, da se u ovom trouglu, zamuljivanjem iz bušotina i prskanjem iz prostora ŠČ, likvidira endogeni požar u čemu se u potpunosti uspjelo.
Iz istih razloga izrađena je filtraciona pregrada u transportnom hodniku TH-207, iza koje je formiran muljni čep u podu prostorije, dužine cca 40,0 m, koji je zamuljio i ugasio sitni ugalj duž transportog hodnika te spriječio prostrujavanja zraka u oksidaciono područje, a istovremeno je nastavljeno i sa prskanjem starog rada rastvorom eleltrofilterskog pepela iz radnog prostora širokog čela, pogotovo donjeg dijela ŠČ.

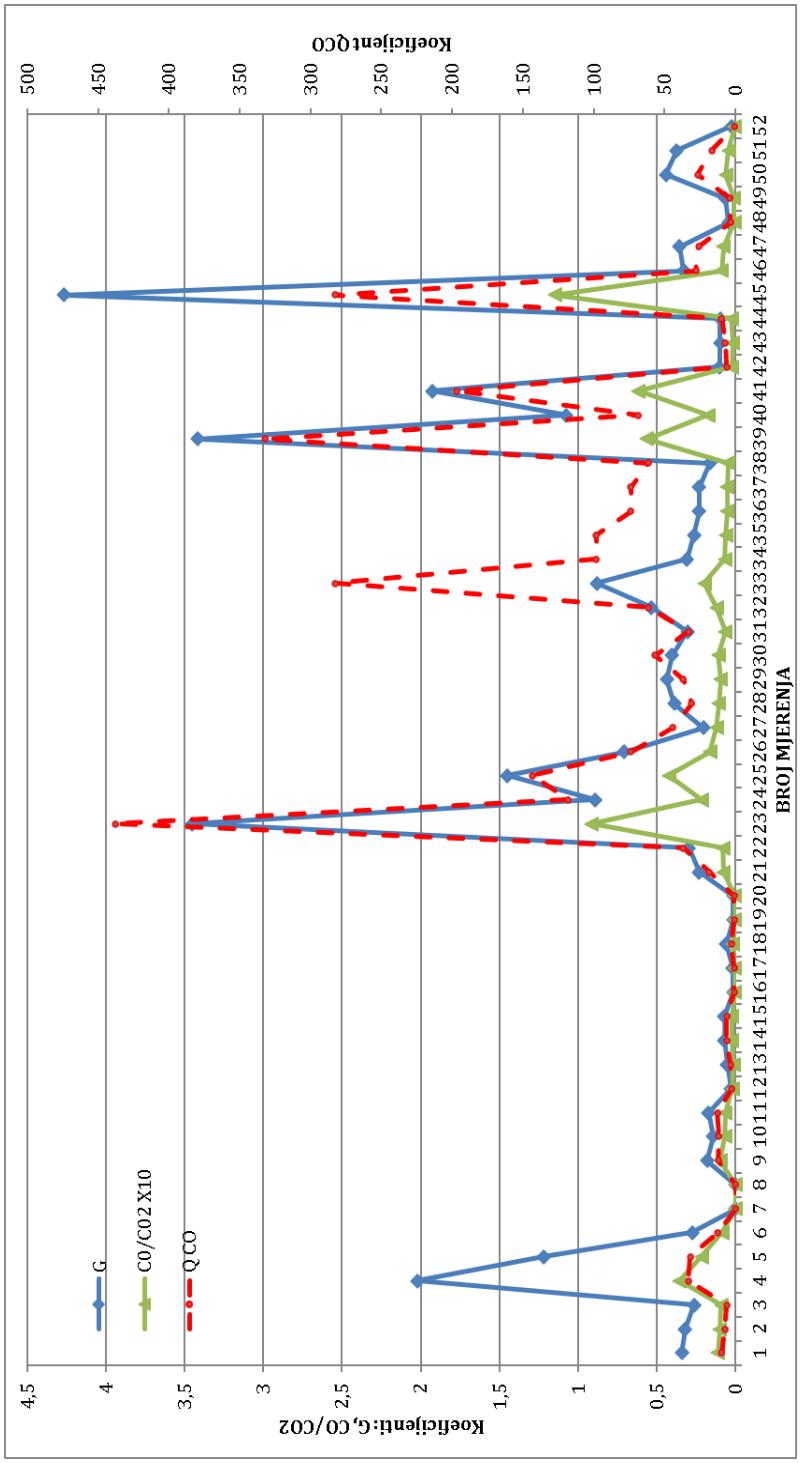
Uz aktivne mjere provođene su i ventilacione mjere. Probojem prostorije montažnog uskopa (dionica 4-7A), došlo je do značajnog smanjenja otpora u TB-IV, pogotovo u najužoj zoni aktivnih radova (komorni otkopi i široko čelo). Dionica 7A-7-8, iskorištena je kao gaseći ogranak. U cilju smanjenja otpora dionce (smanjenja razlike potencijala u dionici), prostorija je generalno počišćena od nagomilane iskopine a uklonjena je i oprema i nagomilani repromaterijali. Na ovaj način maksimalno su izjednačeni potencijali izlaza i ulaza širokog čela (utrošak depresije na dionici 7A-7-8 sveden je na minimum). Za regulaciju protoka zraka u MU ugrađen je regulator (RP-8B), a dionicom je propuštana količina zraka od 5,0 m^3/s. Istovremeno, kroz ŠČ uspostavljen je kombinovani način ventilacije, uz upotrebu separatnog ventilatora. Ukupan protok zraka za ventilaciju širokog čela od 3,0 m^3/s sastojao se od protoka vođenog separatnim ventilatorom od 2,3 m^3/s a oko 0,7 m^3/s vođeno je protočno, pored separatnog ventilatora. Separatni ventilator ugrađen je u transportni hodnik TH-207, na ulazu u široko čelo, sa krajem cjevovoda za separatno provjetravanje na 23 sekciji SHP-e (43 m fronte ŠČ). Regulacija potrebnog protoka zraka na ugrađenom ventilatoru izvršena je prigušenjem na kraju cjevovoda, a regulacija ukupnih količina zraka u ŠČ na regulatoru protoka 8C.

Opisanim načinom, smanjen je uticaj glavnog ventilatora na stari rad širokog čela. Ovo je za posljedicu imalo smanjenje prostrujavanja zraka kroz stari rad širokog čela, smanjenje cirkulacije požarnih plinova u radni prostor širokog čela, te približavanje linije konsolidovanog starog rada liniji fronte širokog čela, što je uz ostale poduzete mjere, dovelo do potpune sanacije endogenog požara, sredinom januara 2003. godine. Kanonska šema ventilacije Istočnog dijela jame Raspotočje (TB-IV) poslije ponovnog zatvaranja veznih uskopa VU-208/5 i VU 208/6 i izrade montažnog uskopa (MU) prikazana je na slici 6.

Na slici 7. prikazan je dijagram požarnih koeficijenata zasnovanih na pojavama CO, urađen na izlazu iz širokog čela, za vremenski period (period 8.10. do 31.12. 2002 godine). U ovom periodu došlo je do pojave endogenog požara, zatvaranja širokog čela, potom otvaranja širokog čela, procesa reoksidacije i ponovnog zatvaranja širokog čela. Sa uporednog dijagrama požarnih koeficijenata: G, QCO, CO/CO_2 vidljive su sve navedene promjene. Pokazatelji imaju očekivane veličine, pravovremeno ukazuju na sve navedene promjene kroz koje prolazi široko čelo, i veoma dobro se međusobno preklapaju. U procesu reoksidacije požara svi pokazatelji dobili su izrazito velike vrijednosti, što je dokaz inteziteta i siline požara poslije reaktivacije. Po zatvaranju požarnog prostora dolazi do opadanja i stabilizacije pokazatelja.



Slika 6. Kanonska šema ventilacije Istočnog dijela jame Raspotočje (TB-IV) poslije ponovnog zatvaranja veznih uskopa VU-208/5 i VU 208/6 i izrade montažnog uskopa (MU); stanje: decembar 2002. godina. [1]
(Grafička analiza mogućih linija prostrujavanja (migracija) zraka kroz stari rad ŠČ)



Slika 7. Uporedni dijagram požarnih koeficijenata: G, Q CO, CO/CO_2, na izlazu ŠČ

ZAKLJUČAK

Dosadašnje metode širokočelnog otkopavanja koje su se koristile u jamama RMU Zenica, zasnovane su na zarušavanju otkopanih prostora, bez popunjavanja-zasipavanja otkopanog prostora. Posljedice ovakvog načina otkopavanja su izraženo prostrujavanje (migracija) zraka kroz otkopani prostor (stari rad) širokog čela. Ostavljena mogućnost za navedene migracije zraka, često je prerastala u pojave spontane oksidacije i razvoj endogenih požara u starom radu širokog čela, pogotovo u situacijama loše vođene požarne profilaktike (nepotrebno usmjeravanje povećanih protoka zraka kroz ŠČ, loše upravljanje ventilacionim zavjesama za sprječavanje prostrujavanja zraka u donjoj i gornjoj komori širokog čela, neblagovremeno zatvaranje prostorija po završetku rada širokog čela, pucanje stubova između polja zbog nedovoljne širine i dr.) [1].

Osnovni nedostatak sistema nastupnog otkopavanja je uvećani utrošak depresije zbog dužine ventilacionih puteva (povećane dužine prostorija otvaranja polja), te formiranje velikog broja potencijalnih linija prostrujavanja (linija migracija zraka) kroz stari rad širokog čela, kako između izolacionih objekata tako i između izolacionih objekata i linije fronte širokog čela. Jedno od rješenja navedenog problema je priprema otkopnog polja sa što manjim brojem veza u polju, pogotovo veza koje sijeku zaštitne stubove prema susjednim poljima. Na ovaj način bi se značajno smanjio broj izolacionih objekata i mogućih linija migracija zraka kroz stari rad ŠČ.

Kompleksnost nastanka endogenih požara u jamama RMU Zenica zahtjeva intenzivnu prevenciju uz primjenu učinkovitih mjera i postupaka za njihovo suzbijanje.
Efikasnost mjera i tehnologija za kontrolu otvorenih požara su uglavnom zavisni od lokacije, statusa i trajanja požara. Intenzitet i trajanje su isto tako dominantni faktori za postizanje bolje efikasnosti poduzetih mjera. Učinkovite tehnologije zahtjevaju bolje shvatanje jačih strana i ograničenja svake poduzete mjere i ponašanja požara, kao i da se sačini realistični radni program baziran na razmjeri i brzini napredovanja požara [6].

Analizom požara koji su se dogodili u jamama RMU Zenica tokom otkopavanja glavnog ugljenog sloja metodom širokočelnog otkopavanja utvrđeno je da nije moguće spriječiti ili sanirati požare samo jednom metodom ili postupkom zaštite [1] [2]. Uspjeh se može očekivati samo ako se istovremeno primjenjuje kombinacija različitih metoda i postupaka zaštite, u protivnom provedene mjere neće dati željene rezultate.

LITERATURA

[1] Kurbašić R.: Grafoanalitička metoda analize kompleksa aktivnih i pasivnih mjera zaštiti od podzemnih rudničkih požara, doktorska disertacija, RGGF Tuzla, avgust 2019.
[2] Kurbašić R.: Položaj ventilacionog hodnika kod širokočelnog otkopavanja u funkciji gasne i požarne opasnosti, Magistarski rad, RGGF Tuzla 2004.
[3] Marković J., Kurbašić R., Karadžin Z., Velić A.: Influence of various longwall face ventilation regimes on spontaneous mine fire occurences and increased gas release in „Raspotočje“ mine of Zenica brown coal mines, Journal of Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering 2022/10, pp.41-48, DOI 10.51558/2303-5161.2022.10.10.41.

[4] Marković J., Mićević .S: Požari u rudnicima uglja, RGGF Tuzla, 2005.
[5] M. J. Mc Pherson: Subsurface fire and explosions, Subsurface ventilation and environmental engineering (Chapman &Hall Publication, London, 1993.
[6] N. Sahay, A. Sinha, B. Haribabu, P.K.Roychoudhary: Dealing with open fire in an underground coal mine by ventilation control techniques, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 114 (6), pp. 445-453, 2014.
[7] Ray S.K, Singh RP, Sahay N, Varma N.K: Assessing the status of fire in underfround coal mines, Journal of Scientific & Industrial Research 63 (7), pp 579-591, 2004 .
[8] Tehnička dokumentacija RMU Zenica.

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.65 Naučni rad

MEHANIZOVANO OTKOPAVANJE UGLJA U JAMI "BREZJE" RMU „ĐURĐEVIK"

Šefik Sarajlić[1], Omer Musić[2]

ABSTRACT

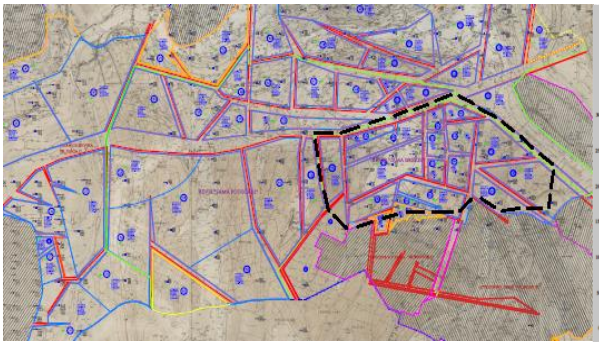
Za otvaranje novih podzemnih rudarskih objekata i modernizaciju postojećih metoda otkopavanja, pored tržišta uglja i struje i promjenljivih geopolitičkih prilika, postoje i drugi dovoljno racionalni razlozi. Značajni ograničavajući faktori i uticaji, u složenim rudarsko-geološkim uslovima, najznačajnije utiču na mogućnosti mehanizovanog načina otkopavanja mrkog uglja. Jama „Brezje" je dio ležišta gdje su rudarsko-geološki faktori kompleksni i određeni prirodnim uslovima geneze ležišta. Metode i tehnologije otkopavanja u složenim uslovima ležišta moraju se zasnivati na velikoj fleksibilnosti i prilagodljivosti. Složenost tektonske strukture u jami "Đurđevik" opravdavala je primjenu komornih metoda otkopavanja sa bušotinskim miniranjem, u raznim tehničkim modifikacijama i rješenjima. U svim prethodnim rješenjima stepen mehanizovanosti metode nije značajno unaprijeđen i sve modifikacije komorne metode bile su nemehanizovane ili polumehanizovane sa velikim učešćem manuelnog rada, tehnologijom zasnovanom na bušenju i miniranju, velikim rizikom od povreda, niskim stepenom iskorištenja ležišta, neopravdanim ekonomskim efektima rada. Cilj ovog rada je da se da adekvatan odgovor na hipotezu „u blokovskoj strukturi ležišta sa izraženom tektonikom moguće je izborom savremene mehanizacije za podzemnu eksploataciju umanjiti nepovoljan uticaj složenih rudarsko-geoloških faktora ležišta na metodu otkopavanja". Mehanizovana komorna metoda otkopavanja je koncepcijsko rješenje za moguću primjenu u složenim uslovima predložene fleksibilne mehanizacije za rad u jami „Brezje". Prednost savremenih multifunkcionalnih rudarskih mašina je visok stepen prilagodljivosti elementima ugljenog sloja uz primjenu različitih radnih mehanizama (alata) izmjenjivih u veoma kratkom vremenu ovisno od radne faze procesa.

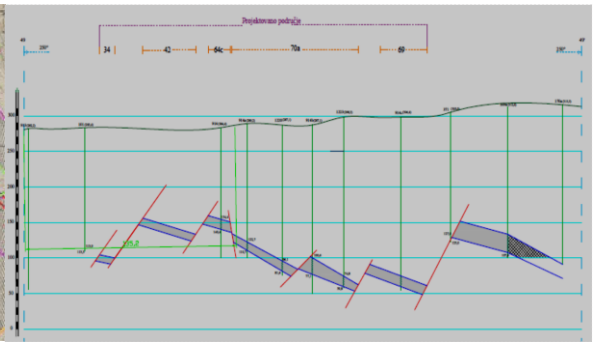
Ključne riječi: jama, složenost, faktori, komorna metoda, fleksibilna, multifunkcionalna mašina

1. SLOŽENOST RUDARSKO- GEOLOŠKIH USLOVA REVIRA „BREZJE"

Područje jame „Đurđevik" je manji dio opšteg tektonskog sklopa basena Đurđevik, gdje se tektonika intezivno odrazila. Poremećenost sloja je različita u pojedinim dijelovima ležišta tako da je kontinuitet ugljenog sloja isprekidan i prolaz iz jednog u drugi blok je moguć samo preko jalovih rasjednih zona. Rasjedi su promjenljivog intenziteta, prekidaju ugljeni sloj, zatvarajući jedan ugljeni blok sa količinama od 100.000 do 2,5 miliona tona. U području revira „Brezje" konstatovan je veliki broj rasjeda koji narušavaju kontinuitet ugljenog sloja, i opštu komplikovanost je teško pratiti. Složenost se ogleda naročito u malim dimenzijama otkopnih blokova mogućih otkopnih polja i zahvata, izraženoj tektonici i promjenljivim elementima ugljenog sloja. Raspored rasjeda se vidi na Strukturnoj karti basena „Đurđevik" i revira „Brezje" (slika 1) i karakterističnom geološkom profilu (slika 2).

[1]Magistar, dipl. ing. rudarstva, RMU „Đurđevik"d.o.o. - Đurđevik; sefik.sarajlic@rudnikdjurdjevik.ba
[2]Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet „Tuzla"; omer.music@untz.ba





Slika 1. Strukturna karta basena „Đurđevik“ i revira „Brezje“

Slika 2. Karakterističan geološki profil (49-49')

U tektonskom pogledu područje ugljenog basena „Đurđevik“ je u više navrata snažno tektonski oblikovano. Snažna tektonska aktivnost obavljana je u više faza kroz duže geološko vrijeme u području gdje se na relativno malom prostoru nalaze stijenske mase različitih fizičko-mehaničkih osobina, što je uslovilo formiranje specifičnih deformacija sa znatnim kretanjem stijenskih masa.

2. UTICAJNI FAKTORI NA OTKOPAVANJE UGLJA U SLOŽENIM RUDARSKO-GEOLOŠKIM USLOVIMA

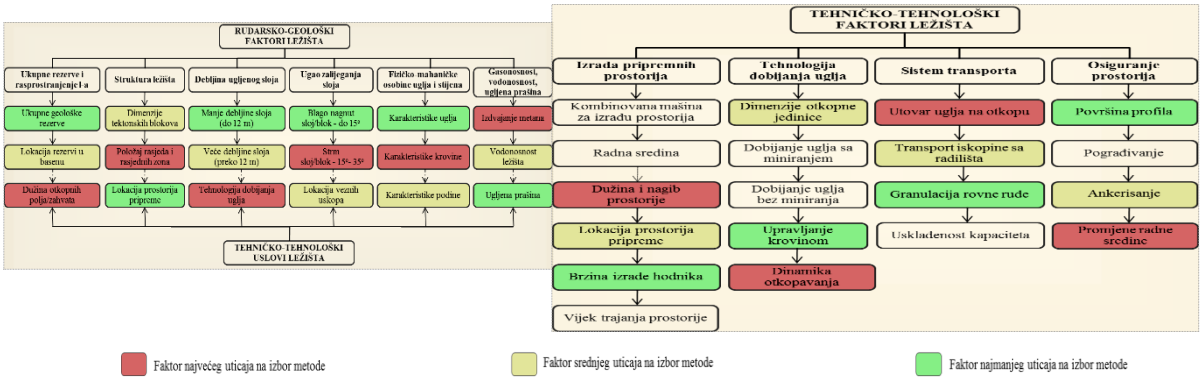
U istraživanju mogućnosti mehanizovanog načina pripreme i otkopavanja mrkog uglja u složenim rudarsko-geološkim uslovima jame „Brezje“ postoje značajni ograničavajući faktori i uticaji na koje treba dati adekvatan odgovor. Rudarsko-geološki faktori ležišta (*Slika 3.*) su preduslov svih istraživanja mogućih metoda i tehnologija otkopavanja u jami u cilju planiranja i projektovanja novih kapaciteta za eksploataciju dubokih rezervi koje neće biti otkopane površinskom eksploatacijom. Sve buduće metode i tehnologije otkopavanja moraju se zasnivati na velikoj fleksibilnosti kako bi se prilagodile uslovima ležišta, značajnom stepenu dinamičnosti procesa i manipulativnosti opreme, kako bi se u okviru malih kapaciteta (ugljenih blokova promjenljive debljine i nagiba sloja) postigla potrebna opravdanost eksploatacije, zadovoljavajući ekonomski pokazatelji uz poboljšanje stepena iskorištenja ležišta i osiguranje visokog stepena sigurnosti na radu. Rudarsko-geološki faktori određeni su prirodnim uslovima geneze ležišta, ali pravilnim izborom tehničko-tehnoloških faktora potrebno je minimizirati ili isključiti negativne uticaje na mogućnost primjene metode ili iste svesti na racionalnu mjeru. Zbog toga je odmah neophodno definisati najznačajnije uticajne faktore i granične uslove na mogućnosti primjene mehanizovane metode otkopavanja u jami „Brezje“.

2.1. Izbor rudarsko-geoloških i tehničko-tehnoloških uticajnih faktora

Geološke rezerve uglja u tektonskim blokovima jame „Brezje“ iznose 6,4 mil. tona. Eksploataciono polje jame je približnih dimenzija 1.000 x 400 m ili ukupne površine cca 400.000 m^2 produktivnog dijela ležišta. Ukupne eksploatacione rezerve, u reviru „Brezje“ iznose 4,5 mil. tona. Debljina sloja ima višestruki uticaj na izbor metode otkopavanja i ogleda se u prilagođavanju osnovnih dimenzija otkopa, načinu saniranja otkopnog prostora u procesu upravljanja krovinom i pravcu i smjeru otkopavaja. Debljina sloja uglja u jami „Brezje“ je veoma promjenljiva i kreće se u granicama od 4,05 m (blok 66 b) do 22.25 m (blok 62 b), kako je utvrđeno istražnim radovima. U reviru/jami „Brezje“ postoje blokovi velike debljine i promjenljivog ugla zalijeganja sloja, pa njihove dimenzije i nagib po pružanju i padu sloja zahtijevaju savremenu fleksibilnu opremu i mehanizaciju. Prirodne uslove eksploatacije u jami „Brezje“ karakterišu prirodna sklonost uglja samozapaljenju, vrlo rijetke pojave metana, zbog velike vlažnosti neznatno prisustvo opasne ugljene prašine.Ugalj pripada tvrdom mrkom uglju čije pojedine komponente odgovaraju komponentama kamenog uglja. Kompleksnost rudarsko-geoloških faktora uzrokuje odgovarajući izbor tehničko-tehnoloških koji utiču na primjenu mehanizacije u projektovanoj metodi u jami „Brezje“ (Slika 3.)

Hidrogeološke karakteristike ležišta pokazuju, na osnovu osobina krovinskih naslaga i rezultata

istražnog bušenja, da su u neporemećenom stanju krovinske naslage slabi kolektori podzemne vode. Međutim, površinske vode sistemom pukotina, kaverni i rasjeda, dopiru do rudarskih radova i kao podzemne vode infiltriraju se u jamske prostorije, a kada podzemni radovi dođu u rasjedne zone ulaze u rudarske radove.



Slika 3. Izbor rudarsko-geoloških i tehničko-tehnoloških faktora po stepenu uticaja na izbor metode

2.2. Izbor organizacionih, sigurnosnih i ekonomskih uticajnih faktora

Organizacioni faktori veoma usko su povezani sa tehnikom i tehnologijom i efikasnošću rada i obuhvataju organizaciju rada na pripremi i otkopavanju, sistema transporta i ventilacije, posade na multifunkcionalnoj mašini, usklađenost kapaciteta, usklađenost tehnoloških faza. Sigurnosni faktori odgovaraju rudarsko-geološkim uslovima ležišta adekvatnim mjerama za obezbjeđivanje sigurnosti i zaštite na radu. Definišu mjere u području obezbjeđivanja mjera kontrole gasnog stanja, odvodnjavanja, opasne ugljene prašine, osiguranja prostorija i radnog komfora, mjere u vezi sa geomehaničkim karakteristikama radne sredine. Ekonomski faktori otvaranja jame „Brezje“ su najviše geopolitički, određuju granice realnih mogućnosti za otvaranje i eksploataciju i isključuju tehnički, tehnološki i ekonomski pristup razmatranju i definisanju odluke o opravdanosti. Međutim, postoje i drugi, relativno brojniji faktori, koji su potpora opravdanosti otvaranja nove jame a ekonomska evaluacija pokazuje opravdanost otvaranja jame „Brezje“ sa značajnim pozitivnim učincima.

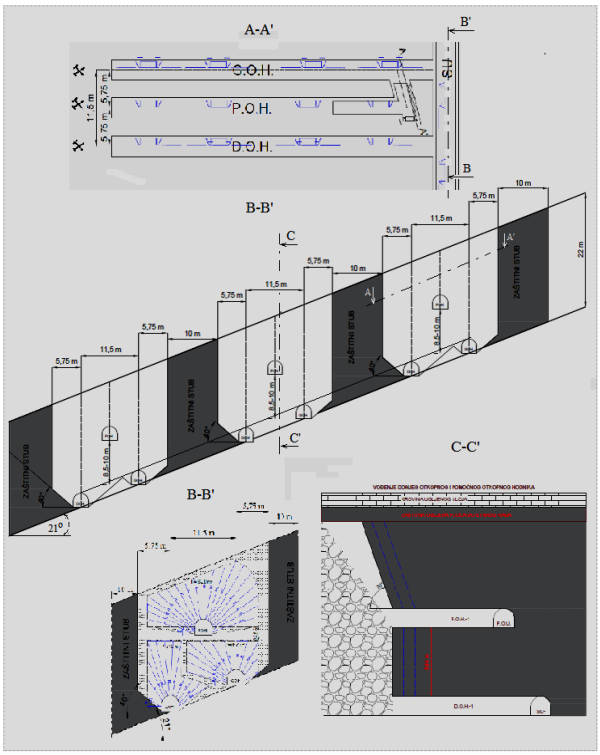
3. KOMORNA METODA OTKOPAVANJA SA DUBOKIM BUŠOTINAMA

U jami „Đurđevik“ je kroz periode rada i razvoja bilo izmjena metoda otkopavanja. U periodu kada je jama bila plitka a uslovi ležišta povoljniji (sa neznatnim uticajem tektonike) primjenjivane su varijante Š.Č. metode (do 1990 god.). Specifičnost rudarsko-geoloških faktora, a posebno tektonike ležišta, je u nekom period rada uslovilo primjenu komorne metode otkopavanja sa lepezom dubokih minskih bušotina (od 1991. god. do danas), kao metode koja je prilagodljiva prirodnim uslovima u ležištu. Cilj je uvijek bio kako odabrati racionalan sistem otkopavanja i da se kroz unapređenje i modernizaciju procesa postignu bolji rezultati rada, kako bi se ekonomski opravdalo egzistiranje jamske eksploatacije.

Tehničko rješenje nove metode otkopavanja zasnovano je na određenom praktičnom iskustvu i pozitivnom naslijeđu eksploatacije uglja u složenim rudarsko-geološkim uslovima u jami „Đurđevik“ u navedenom periodu razvoja, koji karakteriše primjena više varijanti komorne metode sa lepezom dubokih minskih bušotina. Komorna metoda je prošla razvojne modifikacije i bila je ograničena na otkopavanje ugljenog sloja debljine od 10 do13 m, sve do 2020. godine, kada je rudnik inovirao komornu otkopnu metodu u tektonskim blokovima revira „Živčići“, koja definiše način komornog otkopavanja u uslovima povećane debljine sloja (od 13m do 25m) duboko bušotinskim miniranjem.

3.1. Osnovni parametri komorne metode otkopavanja duboko-bušotinskim miniranjem

Zbog velike debljine ugljenog sloja, pored DOH-1 i GOH-1, neophodna je izrada pomoćnog otkopnog uskopa POU-1 i POH-1. POU-1 se izrađuje iz GOH-1, a namjena prostorije je da se ostvari dovoljna visinska razlika u odnosu na GOH-1 i DOH-1. POH-1 se izrađuje 8 do10 m od krovine ugljenog sloja i 6 do 10 m od kote GOH-1 u sredini, između DOH-1 i GOH-1. Otvaranje otkopa vrši se iz izrađene prosjeke DOH, GOH i POH dužine 4 do 5 metara, iz kojih se buše minske bušotine za otvaranje otkopa paralelnim miniranjem lepeze na otvaranju svakog OH. Nakon otvaranja otkopa, vrši se dobivanje uglja miniranjem lepeza minskih bušotina sa 2, 3 ili 4 parcijalna punjenja. Poslije miniranja svake lepeze, vrši se separatno provjetravanje radilišta, i transport uglja iz otkopne jedinice. OJ treba voditi tako da se hodnici zarušavaju na istoj udaljenosti od SU, bez da zarušavanje jednog OH prednjači u odnosi na druga dva OH.



Slika 4. Komorna metoda sa duboko-bušotinskim miniranjem

Tabela 1. Parametri komorne metode

Otkopna jedinica (OJ) DOH-1 (donji otkopni hodnik) GOH-1 (gornji otkopni hodnik) POU-1 (pomoćni otkopni uskop) POH-1 (pomoćni otkopni hodnik)		
Debljina ugljenog sloja	m	15-30
Dužina otkopnog zahvata	m	50
Širina otkopnog zahvata	m	25
Visina otkopnog zahvata	m	17
Širina otkopne jedinice (OJ)- max	m	23
Visina otkopne jedinice (OJ)- max	m	28
Širina zaštit. međukomornog stuba	m	7-10
Hor. rastojanje između DOH i GOH	m	11,5
Parametri bušenja miniranja- lepeze	I+II+III	
Površina - Σ(DOH, GOH, POH)	m^2	591,6
Broj i dužina bušotina ($N_{buš}/L_{buš}$)	/m	110/288
Količina eksploziva	kg	256,6
Broj upaljača	kom	329
Količina zraka na OH	m^3/s	2,37
Broj radn. na radilišt.- 3radil.x4 radn.	rad	12
Broj ciklusa na dan na otkopavanju	cik./d	0,66
Iskorištenje uglja u OJ	%	86
Iskorišt. uglja u otkopnom polju	%	55,53
Produktivnost (t.r.u./radn./mjec.)	t/rad	335

Transport uglja iz otkopne jedinice obavljat će se dvolančanim grabuljastim transporterima tipa DGT-440. Utovar odminiranog materijala se vrši samoutovarom, gravitacionim kotrljanjem i klizanjem odminiranog uglja iz komore na grabuljasti transporter, a u bočnim stranama nagrtanjem. Provjetravanje radilišta vrši se iz protočnog sistema provjetravanja jame, separatnim ventilatorima. Za organizaciju faze otkopavanju komornom metodom sa dubokobušotinskim miniranjem potrebne su tri radne grupe na OJ po smjeni.

4. NOVE TEHNOLOGIJE OTKOPAVANJA PRIMJENJIVE U USLOVIMA JAME „BREZJE“

Koliko god rudarska nauka, tehnika i tehnologije napredovali ponekad je teško iznaći tehnička rješenja koja će zadovoljiti sve uslove i zahtjeve racionalne (sigurne i tehno-ekonomski opravdane) eksploatacije uglja u jami. Modernizacija i mehanizacija tehnološkog procesa u fazi otkopavanja u jami

uvijek donosi unapređenje kroz viši nivo mehanizovanosti humanizaciju rada, povećanu dinamiku otkopavanja, viši stepen iskorištenja rezervi uglja, poboljšanje sigurnosti uz smanjenje rizika od povreda na radu, kao i značajnije poboljšanje ekonomskih efekata rada.

4.1. Ključni parametri postojećeg i predloženog rješenja komorne metode otkopavanja

Tabela 2. Uporedni koncepcijski parametri postojećeg i predloženog rješenja metode otkopavanja

Parametar - Pokazatelj	Modificirana komorna otkopna metoda sa duboko bušotinskim miniranjem	Mehanizovana komorna metoda otkopavanja multifunkcional. mašinama
Način izrade pripremnih prostorija	Način izrade nije postavljen kao uslov - na nivou nemehanizovane klasične izrade	Mehanizovan način izrade
Prilagođenost složenim rudarsko-geološkim uslovima	Visok stepen prilagođenosti	Visok stepen prilagođenosti
Postizanje maksimalno mogućeg stepena iskorištenja ugljenog sloja	Značajno poboljšanje stepena iskorištenja u odnosu na ranije varijante komornih metoda	Značajno poboljšanje stepena iskorištenja u odnosu na ranije varijante komornih metoda
Smanjenje utroška manuelnog rada u fazi dobivanja uglja i povećanje mehanizovanosti rada	Manuelni rad nije umanjen, posebno je povećan obim radova na bušenju i miniranju	Manuelni rad značajno umanjen, sve faze rada izvršavaju se mehanizovano upotrebom priključnih mehanizama na mašini
Povećanje radnih učinaka na OJ (komori)- proizvodnost jedinice i produktivnost rada,	Radni učinci povećani zahvaljujući proizvodnosti OJ ali je broj radnika veći zbog vođenja tri otkopna hodnika (komore)	Radni učinci povećani zbog geometrije otkopne jedinice, broj radnika u radu bitno smanjen (posada na mašini izvršava sve)
Poboljšanje sigurnosnih uslova rada na otkopnoj jedinici	Zbog značajnog učešća manuelnog rada i većeg broja radnika u operativi nije smanjen rizik od povređivanja	Zbog smanjenog učešća manuelnog rada i manjeg broja radnika u operativi bitno smanjen rizik od povređivanja
Poboljšanje ekonom. efekata rada	Poboljšani ekonomski efekti rada	Značajno poboljšani ekonomski efekti rada

4.2. Koncepcijsko rješenje mehanizovane komorne metode otkopavanja u jami „Brezje“

Mehanizovana komorna metoda otkopavanja korištenjem multifunkcionalnih rudarskih mašina predstavlja univerzalnu metodu otkopavanja neovisno od debljine ugljenog bloka/sloja. S obzirom da u reviru „Brezje“ veliki broj ugljenih blokova ima debljinu manju od 13 m težnja je da se definira metoda za cijeli revir, gdje Mehanizovana metoda ima značajne prednosti. Uporedni koncepcijski parametri postojećeg i predloženog rješenja metode otkopavanja dati su u Tabeli 2. Zbog složenosti rudarsko-geoloških uslova, veličine ležišta i ugljenih blokova, debljine i nagiba ugljenog sloja, nije moguća racionalna primjena široko-čelne mehanizovane metode. Uvođenjem mehanizovanog načina otkopavanja zadovoljit će se ključni zahtjevi racionalnog sistema a oprema koja će se koristiti biti u skladu sa uticajnim faktorima na izbor metode.

4.3. Osnovni parametri mehanizovane komorne metode otkopavanja

Na osnovu prethodnih istraživanja i analiza moguć je dati racionalan prijedlog opreme i mehanizacije za mehanizovanu komornu metodu otkopavanja, i koncepcijsko rješenje metode, te na temelju jasnih kriterija određene dimenzije otkopne jedinice i sigurnosnog stuba, predstavljena tehnologija rada na otkopnom radilištu, organizacija rada i neki proizvodno-ekonomski parametri.

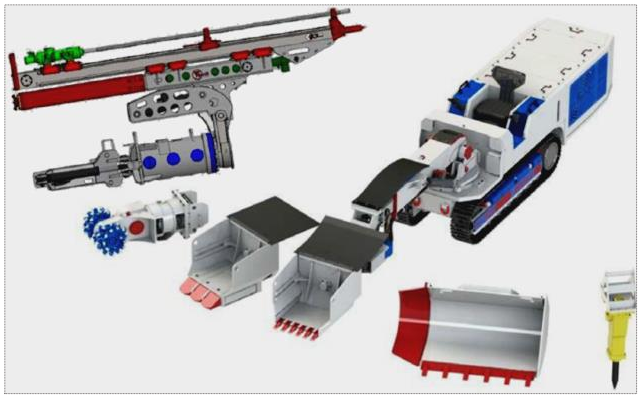
4.3.1. Multifunkcionalna rudarska mašina – karakteristike i mogućnosti

Mašina je dizajnirana na gusjenicama za sanaciju i rekonstrukciju jamskih prostorija i nivelisanje nabujalih podova prostorija u jami, u verziji sa kašikom za utovar i aktivnom kašikom koristi se za utovar iskopine. U verziji sa hidrauličnim čekićem koristi se za destrukciju radne sredine (razaranje uglja i pratećih stijena), a u varijanti sa hidrauličkom bušilicom za bušenje rupa za eksploziv i anker vijke, kao i sa reznom glavom za oblikovanje i dovođenje u projektovani profil prostorija. Mašina se može isporučiti za različite napone po želji kupca. Opremljena LCD ekranom za pregled radnih uslova i poruka upozorenja o greškama. Svi podaci se pohranjuju na SD karticu.

Kao otkopna mašina koje će se primijeniti za mehanizovano komorno otkopavanje uglja:

- mašina će služiti i za izradu jamskih prostorija (OH), površine svijetlog profila hodnika (Fs=10,5 m^2)
- otkopna mašina će otkopavati otkopne blokove, maksimalnog zahvata (8,634 x 8,065) m,
- dobijanje uglja vršit će se rezanjem u fazi otvaranja otkopa (sa reznom glavom kao radnim mehanizmom) i obradom otkopa hidrauličnim udarnim čekićem i bušenjem (radni organ hidraulični pribor za bušenje);
- otkopna mašina ima uređaj za obaranje ugljene prašine koja se stvara pri mehaničkom razaranju uglja;
- motor i svi električni uređaji otkopne mašine su u sigurnosnoj izvedbi (Ex);
- karakteristike otkopne mašine (opterećenje na podini, sila rezanja, ugao pod kojim mašina može raditi i dr.) odgovaraju karakteristikama radne sredine jame "Brezje";
- otkopni transporter koji će se primjeniti na mehanizovanoj komornoj metodi odgovara kapacitetu otkopne mašine, lako se montira, produžava, skraćuje, zauzimati malo prostora ispod mašine, a njegova dužina mora odgovarati dužini otkopnog bloka, tj. maksimalnoj dužini OH.
- po svom dizajnu mašina zadovoljava uslove grupe I kategorije M2 (EU Direktiva 2014/34/EU) i može se koristiti u rudnicima s opasnim atmosferskim uvjetima 2 prema ČSN EN 1127-2 (EN 1127-2) i u područjima s rizikom od eksplozija metana i ugljene prašine.

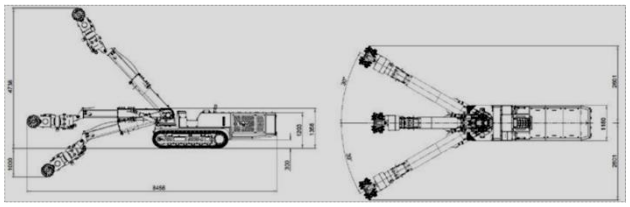
Na slici 5 prikazana je kombinovana mašina multipurpose dinting loader tip KL-PSU9000-II-EN



Slika 5. Mašina sa priključnim radnim mehanizmima

Tabela 3. Osnovni parametri mašine

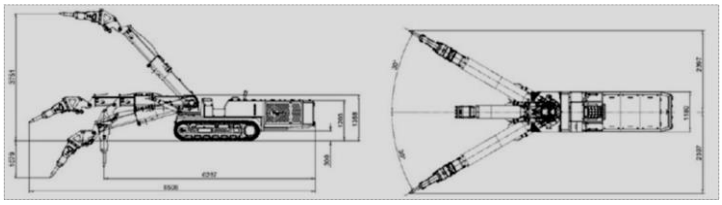
Parametar/Karakteristika	Veličina
Masa sa kašikom	9.680- 9.870 kg
Masa sa čekićem	9.230 kg
Masa sa reznom glavom	9.650 kg
Masa sa priborom za bušenje	11.450 kg
Dužina mašine sa mehaniz. (min-max)	6.287- 9.572 mm
Širina mašine	1.216 mm
Visina mašine	1.358 mm
Razmak šasije od tla	300 mm
Snaga elektromotora	55 kW
Specifičan podni pritisak	8,7 N/cm^2
Brzina vožnje	0,7 m/s
Poprečna sila	70 kN
Uzduž. nagib poda pri radu	-20°/+20°
Maksim.popreč. nagib poda	-10°/+10°
Hlađenje	ulje/zrak
Nominalni radni pritisak	19 MPa



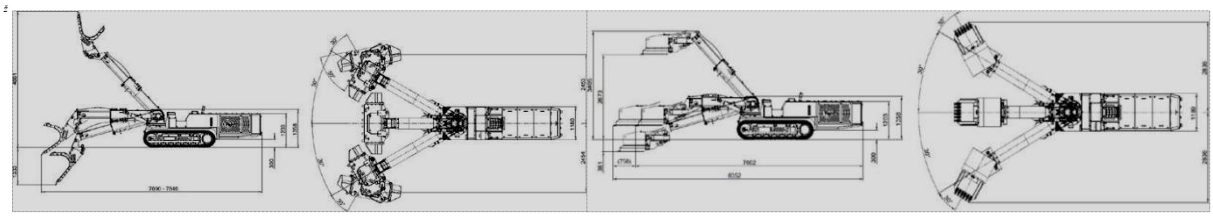
Slika 6. Mašina sa priključnim mehanizmom- reznom glavom

Tabela 4. Osnovni parametri mašine sa reznom glavom

Parametar/ Karakteristika	Veličina
Masa	9.650 kg
Glavne dimenzije (hxwxl)	1358x1180 x7706 (8.456)
Horizontal. ugao zakretanja	±30°
Rotacija rezne glave	2x180°
Max. visina dometa iznad poda	4.738 mm
Max. dubina dometa ispod poda	1.000 mm



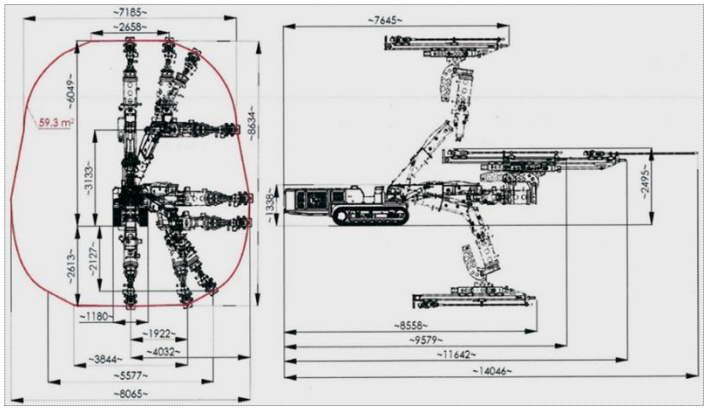
Slika 7. Mašina sa priključnim mehanizmom- udarnim čekićem



Slika 8. Mašina sa priključnim mehanizmom - bočnom i čeonom utovarnom kašikom

Tabela 5. Osnovni parametri mašine sa priključnim aktivnim mehanizmima- čekića i utovarne kašike

Parametar/ Karakteristika	Mehanizam sa udarnim čekićem	Mehanizam sa utovarnom kašikom	Mehanizam sa aktivnom kašikom
Donji rub hoda pri maksimalnom podizanju ruke	3.235 mm	3.235 mm	2.673 mm
Donji rub hoda pri maksimalnom podizanju ruke	3.751 mm	3.613 mm	3.405 mm
Maksimalna visina dosega hoda	-	4.861 mm	4.005 mm
Bočni doseg kašike/ čekića	2x2.397 mm	2x2.453 mm	2x2.836 mm
Maksimalni doseg ispod nivoa poda	1.079 mm	1.333 mm	600 mm
Maksimalni ugao rotacije ruke	30°	30°	30°
Maksimalni ugao rotacije kašike	-	-	30°
Produženje ruke	750 mm	750 mm	750 mm
Zapremina kašike	-	850 l	300 (350) l
Visina kašike	-	1.430 (2.170) mm	830 mm
Maks. visina gornjeg ruba kašike za prevrtanje	-	3.600 mm Max.	-
Maksimalni ugao prevrtanja kašike		50º	
Maksimalni ugao nagiba kašike		65º	
Sila prodiranja na zubu kašike			150 kN
Dužina mašine- vrh čekića u horiz. položaju ruke	7.758-8.508		



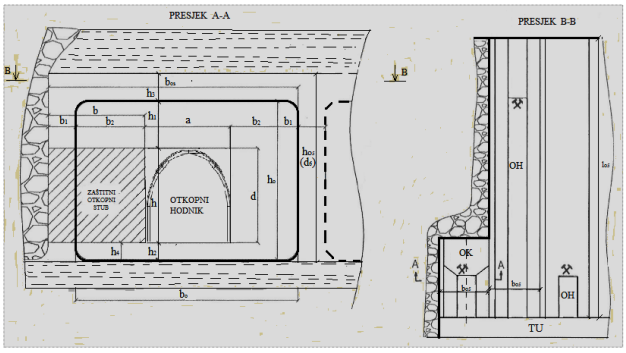
Slika 9. Mašina sa priključnim mehanizmom – hidrauličkom rukom za bušenje

Tabela 6. Karakteristike mašine sa hidrauličkom rukom za bušenje

Parametar/ Karakteristika	Veličina
Masa	11.450 kg
Glavne dimenzije (hxwxl) 1.216 x 1.180 x 9.579	11.642/14.046
Horizontalni ugao zakretanja	±30º
Horizont. rotacija udarnog čekića	0°+90º
Vertikalna rotacija udarnog čekića	±180º
Max. polje pokrivenosti/ profil	59,32 m²
Dužina bušenja	2.400 mm
Max. visinski doseg (horizontalno)	6.049 mm
Max. visinski doseg (vertikalno)	4.032 mm
Produženje teleskopa	750 mm

4.4. Geometrijski parametri mehanizovane komorne metode otkopavanja

Na osnovu istraživanja uslova i tehničkih mogućnosti mašina, određeni su konstruktivni parametri metode otkopavanja. Dostupna na tržištu savremena oprema i mehanizacija za podzemnu eksploataciju uglja će umanjiti uticaj prirodnih nepovoljnih uslova ležišta na primjenu efikasne metode i tehnologije otkopavanja.



l_o ; b_o; h_o - dužina, širina i visina otkopne komore
b;h – širina i visina zaštitnog stuba;
a- širina otkopnog stuba;
d- debljina sloja;
h_3- visina stropnog zahvata;
h_2- dubina podinskog zahvata;
h_3- debljina stropne zaštitne ploče;
b_1- debljina zaštitne pregrade;
b_2- dubina bočnog zahvata

Slika 10. Geometrija otkopne komore

Kod otkopne komore, potrebno je, za definisanu dubinu na kojoj se vrši otkopavanje i visinu OK, matematičko-analitičkim putem odrediti druge dvije dimenzije, dužinu "l" i širinu "b" otkopne komore.

Optimizacija visine otkopne komore

Visina otkopa -komore se ne određuje računski i usvaja se. Na visinu otkopne komore utiču debljina ugljenog sloja, etaže kod debljih i strmih slojeva i veličina vertikalnog zahvata otkopne mašine, tako da je kod debelih slojeva

$$h_s = \sum_{i=n}^{i=n} h_i + h_i^{'} + h_i^{''}$$

h' - debljina zaštitne ploče u stropu (m)
h" - debljina zaštitne ploče u podu (m)

Visina otkopne komore, određuje se na početku istraživanja i predstavlja jedan od glavnih ograničavajućih parametara u izboru otkopne mašine.

Optimizacija širine otkopne komore

Kod nagnutih slojeva i promjenjive konfiguracije terena, kao na primjeru jame “Brezje” dubina zalijeganja se mijenja po padu sloja. Granica dubine, za usvojenu širinu otkopne komore određuje se matematički

$$H = \frac{\sigma_o}{K_p \cdot K_s \cdot \gamma_k} \sqrt{\frac{b}{h}} \qquad H = \frac{233{,}2}{2{,}25 \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}38} \sqrt{\frac{16{,}2}{18{,}2}}$$

H (m) - dubina otkopavanja, H=220-320 (m); odgovarajuća granična dubina H=250 m

Određivanje dužine otkopnog hodnika iz uslova koeficijenta mašinskog vremena rada

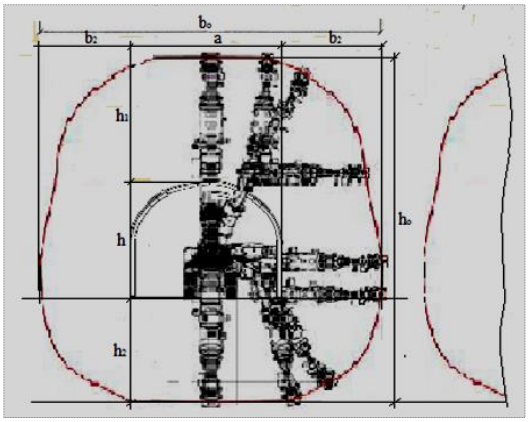
Za određivanje dužine otkopnog hodnika za otkopavanje- pomoću mašine koristićemo obrazac iz uslova ostvarenja dnevne proizvodnje iz otkopa po koeficijentu mašinskog vremena rada mašine.

Opšti izraz za dužinu otkopa: $$l = \frac{q_p \cdot n_{sm} \cdot T_{sm} \cdot 60 \cdot k_m}{n_c \cdot r \cdot m \cdot \gamma} + l_n \quad (m) \qquad (k_m=0{,}49\text{-}0{,}67)$$

Proizvodnost otkopne fronte

Proizvodnost otkopne fronte iskazuje se u tonama po metru otkopne fronte jame, horizonta otkopnog polja ili otkopa, a određuje se po matematičkom izrazu: $q_p = P_o / Nn \rightarrow max$;

Tehničko-tehnološki parametri otkopavanja



Slika 11. Geometrija otkopne komore

Tabela 7. Parametri mehanizovane metode

Parametar/ Karakteristika	Jed.	Veličina
Maksimalni poprečni presjek kopanja	m	8,6 x 8,1
Površina poprečnog presjeka otkopa-komore	m^2	cca 70
Širina otkopnog hodnika (a)	m	4,0
Visina otkopnog hodnika (h)	m	3,1
Visina zahvata mašine iznad OH (h_1)	m	3,0
Visina zahvata mašine ispod OH (h_2)	m	2,1
Bočna širina zahvata- desno i lijevo od OH (b_2)	m	2,0
Ukupna širina zahvata mašine b_o=a+2b_2	m	8,1
Max. uzduž. nagib prostorije pri radu mašine	o	-20°/+20°
Max. popreč. nagib prostorije pri radu mašine	o	-10°/+10°

Optimalna dužina mehanizovane komore

Dužina otkopne komore-hodnika odgovara uslovima kontinuiranog odvoza uglja sa DGT-440 (120 t/h) određuje se na osnovu kriterija za kapacitete transportnih sredstava- opreme.

Širina otkopne komore

Proračun minimalne širine otkopne jedinice urađen je po obrascu Slesareva: $l = k \cdot \sqrt{\frac{R_z \cdot h}{n \cdot \gamma}}$ (m)

$$l = k \cdot \sqrt{\frac{R_z \cdot h}{n \cdot \gamma}} \quad (m) \qquad l = 1{,}41 \cdot \sqrt{\frac{22{,}7 \cdot 34{,}4}{0{,}8 \cdot 24{,}8}} \qquad l = 1{,}41 \cdot \sqrt{\frac{780{,}88}{19{,}84}} \quad l = 8{,}84 \ (m)$$

Prema geomehaničkim osobinama radne sredine i mogućnostima mašine (KL-PSU9000-II-EN) usvaja se dvostruka maksimalna širina profila koju mogu dvije mašine obraditi u paralelnom radu (2x8,1) m=16,2 m, što je cca 75% od proračunate širine pri komornom otkopavanju (thnologijom bušenja i miniranja)- 23 m.

Širina međukomornog zaštitnog stuba

Za ovaj proračun primijenjena je sljedeća formula: $\sigma_p \geq 0{,}1 \cdot \gamma \cdot H \cdot (\frac{a+b}{a})$

Proračun je urađen za vrijednost dubine H= 250 m

Izračunato a ≥ 5,99 m ; usvojeno a=6,4 m

U slučaju mehanizovanog otkopavanja sa multifunkcionalnim kombinovanom mašinom (tip KL-PSU9000-II-EN) usvaja se širina međukomornog zaštitnog stuba od 6,4 m, što je cca 75% od moguće proračunate širine međukomornog stuba pri komornom otkopavanju sa dubokobušotinskim miniranjem (8,5 m).

Korak zarušavanja u komornom otkopu

Korak zarušavanja u komornom otkopu dobit ćemo po obrascu: $l_š = h_n \sqrt{\frac{R_s}{3 \cdot \gamma_s \cdot h_v}}$

gdje je: h_n = 2 (m) - debljina zaštitne ugljene ploče prema krovini,

h_v - visina zarušavanja krovine (m) ; m=17,2 (m) - debljina otkopavanja

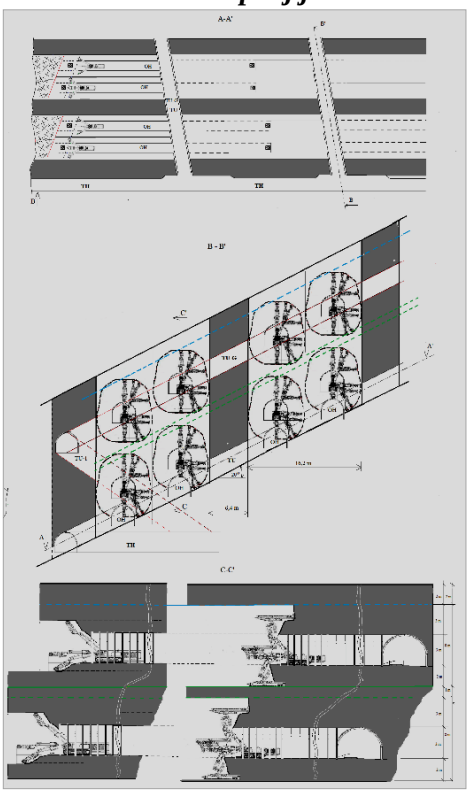
$$h_v = \frac{m}{k_r - 1} \ (m) \qquad h_v = \frac{17{,}2}{1{,}5 - 1} = 34{,}4 \ (m)$$

k_r - koeficijent rastresitosti neposredne krovine ugljenog sloja (k=1,5)

$$l_š = 2{,}0 \sqrt{\frac{7090}{3 \cdot 1{,}38 \cdot 34{,}4}} = \sqrt{\frac{7090}{142{,}42}} = \sqrt{49{,}789} = 7{,}06 \ (m)$$

Pri debljini zaštitne ugljene ploče prema krovini od 2,0 m korak zarušavanja u komornom otkopu je 7,06 m.

Sistem rada na otkopnoj jedinici



Slika 12. Mehanizovana komorna metoda

Geometrija otkopne komore (8,1 x 8,6) m, pokazuje da je multifunkcionalna mašina primjenjiva u blokovima (8-12) m, kada se primjenjuje u jednom zahvatu, a moguća je primjena dvije mašine u paralelnom radu. Otkopavanje otkopne komore vrši se kombinacijom priključnih mehanizama (alata) razaranjem stijene bez miniranja. Za tektonske blokove veće debljine (blok 62a i 62b) primjena ovih mašina moguća je u dva pojasa (donji i gornji) pri čemu mora da postoji velika usklađenost radnih operacija mašina u istovremenom radu u oba pojasa t.j. napredovanje fronta rudarskih radova u otkopnoj jedinici. Obrada otkopa sastoji se u formiranju komora proširenjem OH, razaranjem uglja u stropu, bokovima i podu i simetrično se širi od ose prema bokovima po 4,05 m, do ukupne širine otkopne komore od 8,2 m. Maksimalna visina razaranja uglja iznosi 6,05 m i dubina 2,61 m poda otkopnog hodnika. Obradom otkopa po visini otkopa ostavlja se zaštitna ploča prema krovini od 2 m. Zaštitna ploča prema krovini sloja prostor u otkopu u kome se razara ugalj u bokovima, stropu i podini, a da po odmicanju razaranja u otkopu na određenu udaljenost ista se lomi i dolazi do sukcesivnog zarušavanja krovine.

Proizvodnja uglja sa otkopa

Proizvodnja uglja po metru otkopne komore: $Q_{mo} = F_o \cdot \gamma = 60 \cdot 1{,}38 = 82{,}8$ t/m'
Efektivno vrijeme rada mašine za razaranje 1m‘ otkopne komore: $t_{ro} = 120$ min
Smjensko napredovanja otkopa: $L_{ns} = T_{smj./}t_{ro} = 450/120 = 3{,}75$ m/smj
Zbog operativnih zastoja usvajamo 70% od izračunatog smjenskog napredovanja otkopa: $L_{nso} = 2{,}63$ m/smj
Dnevno napredovanje otkopa: $L_{ndo} = 3\ L_{ns} = 3 \cdot 2{,}63 = 7{,}89$ m/dan
Proizvodnja uglja po metru otkopa komore: $Q_{mo} = F_o \cdot \gamma = 60 \cdot 1{,}38 = 82{,}8$ t/m'
Dnevna proizvodnja uglja sa otkopa: $Q_{mdo} = Q_{mo} \cdot L_{ndo} = 82{,}8$ t/m'$\cdot 7{,}89$ m/dan $= 653{,}3$ t/dan
Mjesečna proizvodnja uglja sa otkopa: $Q_{mmo} = 30 \cdot Q_{mdo} = 30$ dana$\cdot 653{,}3$ t/dan $= 19.600$ t/mjes.
Pokazatelji proizvodnje uglja odnosi se na 1 otkopnu mehanizovanu komoru. Za sloj velike debljine (20 m) računaju se 4 otkopne komore u istovremenom radu.

Iskorištenje ugljenog sloja

Koeficijent iskorištenja predstavlja odnos proizvedenog uglja iz otkopne jedinice po m‘ otkopne komore u odnosu na izračunate količine uglja na m‘ (prema geometriji otkopa).

$$I_u = \frac{Q_{mo} \cdot N_{ok}}{Qg_{mo}} = \frac{82{,}8 \text{ t/m'} \cdot 4}{16{,}2 \cdot 20} = \frac{331{,}2}{447{,}12} = 74{,}1 \ \%$$

Učinci

Mjesečna proizvodnja uglja sa pripreme: $Q_{mmp} = 30 \cdot Q_{mdp} = 30$ dana$\cdot 134{,}9$ t/dan $= 4.047$ t/mjesec
Mjesečna proizvodnja uglja sa otkopa: $Q_{mmo} = 30 \cdot Q_{mdo} = 30$ dana$\cdot 653{,}3$ t/dan $= 19.600$ t/mjesec
Ukupna mjesečna proizvodnja uglja sa pripreme i otkopa: $Q_{mmu} = Q_{mmp} + Q_{mmo} = 4.047+19.600= 20.647 \cong 20.650$ t/mjes.Mjesečni i godišnji učinak po radniku:

$$U_{mr} = \frac{Q_{mmu}}{N_{rad}} = \frac{20.650}{128} = 161{,}32 \text{ /rad/mj.} = 1.935{,}8 \text{ /rad/god.}$$

Tabela 8. Parametri metode sa bušotinskim miniranjem i mehanizovane metode

Parametar - Pokazatelj	**Modificirana komorna otkopna metoda sa duboko bušotinskim miniranjem**				**Mehanizovana komorna metoda sa multifunkcionalnim mašina**		
Način izrade pripremnih prostorija	Klasična metoda (bušačko-minerski radovi)				Mehanizovan način izrade (mašina)		
Dužina otopnog zahvata	L=52 m				L=120 m		
Širina otopnog zahvata	Š=90 m				Š= 52 m		
Poprečni profil otkopne jedinice (komore)- za h_z=17 m	F_o=(23x17)m; $F_o \cong 390$ m^2				F_o= (8,6 x 8,1)m; $F_o \cong 70$ m^2 za 2 pojasa (2x2)x70 m^2; $F_o \cong 280$ m^2		
Obrada i vođenje otkopa	Bušenjem i miniranjem u tri lepeze minskih bušotina (I, II i III)				Multifunkcionalnom mašinom kombinacijom priključnih mehanizama (alata)		
3 lepeze bušotina (1 cikl.- 1,6 m')	DOH	GOH	POH	Σ	Mehaničko razaranje uglja u stropu, bokovima i podu bez upotrebe eksploziva		
Površina [m^2] - 591,6; Bušotina $N_{buš}/L_{buš}$; [br/m] - 110/288 Exploziv [kg] - 256,6 ; El. Upaljači [kom] - 329							
Proizvodni parametri	(1 ciklus- 1,6 m')				(1 ciklus- 2,4 m')		
Vrijeme - 1 ciklusa na otkopu	t_c= 27 sati za 1,6 m' otkopavanja				t_c= 7,3 sati za 2,4 m' (po otkopu- mašini)		
Broj smjena u ciklusu	$B_{sm}= T_c/T_{ef}$= 27/6= 4,5 smj./cikl.				$B_{sm}= T_c/T_{ef}$= 7,3/7= 1,04 smj./cikl.		
Proizvodnja uglja po ciklusu	$Q_{ug/cik}= D_z \cdot P \cdot \gamma = 1{,}6 \cdot 313 \cdot 1{,}38 = 691$ t				$Q_{ug} = D_z \cdot P \cdot \gamma = 232$ t (po otkopu- mašini) -za jedan pojas- (2 mašine)- 464 t/cikl. -za dva pojasa- (4 mašine- 928 t/cikl.)		
Proizvodnja uglja po smjeni	$Q_{m'} = Q_{ug/cik}/B_{cik}$= 156,3 t.r.u./smj.				232	464	928
Proizvodnja uglja na mjesec	14.067 t.r.u./mjes.				20.880	41.760	83.520
Broj radnika na otkopavanju	14 radn./dan (po OH)x 3= 42 radn./dan				8 radn./dan (po OH)x 4= 32 radn./dan		
Produktivnost (t.r.u./radn./mjec.)	335				653	1.305	2.610

ZAKLJUČAK

U vrijeme izazova Evropske energetske tranzicije, dekarbonizacije energetskog sektora BiH, ali kada se gopolitičke prilike ubrzano mijenjaju i ne postoje strateške političke odluke, razmatranje otvaranja novih podzemnih rudarskih objekata i modernizacija metoda i tehnologija, ima dovoljno racionalnih razloga.

U složenim rudarsko-geološkim uslovima „blokovske strukture ležišta“ postoje značajni ograničavajući faktori i uticaji na koje treba dati adekvatan odgovor a ključni su na izbor metode i tehnologije eksploatacije složenog ležišta kakvo je u jame „Brezje“.

Primjena komornih metoda otkopavanja sa bušotinskim miniranjem, u raznim tehničkim rješenjima ove metode u prethodnom periodu, iako polumehanizovane metode prilagodljive uslovima ležišta bila je tehničko-tehnološki opravdana, ali ekonomski nije.

U svim primjenjenim rješenjima stepen mehanizovanosti metode nije značajno unaprijeđen i sve modifikacije komorne metode ostale su na nivou polumehanizovane metode.

Adekvatnim odabirom fleksibilne opreme i mehanizacije u jami „Brezje“ smanjit će se udio manuelnog rada, poboljšati stepen mehanizovanosti, stepen iskorištenja ležišta i ekonomski efekti rada i smanjiti rizik od povreda na radu, što su ključni zahtjevi savremenog poslovanja. Eksploatacija ugljenog sloja promjenljivih karakteristika moguća je samo primjenom opreme koja je u najvećem stepenu fleksibilna i prilagodljiva promjenljivim uslovima ležišta.

Mehanizovana komorna metoda koncepcijski predstavlja rješenje i moguću primjenu u komplikovanim uslovima korištenjem savremenih multifunkcionalnih kombinovanih mašina. Prednost ovih mašina je veoma veliki stepen prilagodljivosti elementima ugljenog sloja uz moguću primjenu različitih radnih mehanizama (alata) izmjenjivih u veoma kratkom vremenu ovisno od potrebe u postojećim/ konkretnim radnim uslovima.

Višenamjenska kombinovana multifunkcionalna rudarska mašina (multipurpose mining machine - multipurpose dinting loader tip KL-PSU9000-II-EN) sa brzo zamjenjivim radnim alatima i organima (mehanizmi sa utovarnom kašikom, reznom glavom, udarnim čekićem, hidrauličnim mehanizmom za

bušenje), doprinosi lakšem donošenju odluka o primjeni u fazama tahnološkog procesa u jami sa složenim rudarsko-geološkim uslovima.

Proizvodni i ekonomski pokazatelji koncepcije metode i tehnologije otkopavanja potvrđuju opravdanost investiranja u nabavku višenamjenske kombinovane multifunkcionalne rudarske mašine (jedne ili više njih) ovisno o planiranoom obimu proizvodnji i/ili vijeku eksploatacije u reviru/jami „Brezje“ u budućnosti.

LITERATURA

1. B. Genčić, Tehnološki procesi podzemne eksploatacije slojevitih ležišta-Metode otkopavanja, BIGZ Beograd, 1973.
2. M. Osmanagić, Savremene tehnologije u otkopavanju ugljenih slojeva u Bosni i Hercegovini, Tuzla, 1986.
3. M. Stjepanović, Naučne osnove optimalizacije glavnih parametara podzemne eksploatacije slojevitih ležišta; Tuzla, 1990.
4. O. Musić, Uskočelne metode otkopavanja slojevitih ležišta, Tuzla, 2010.
5. Š. Sarajlić, Optimalizacija tehnoloških faza komorne metode otkopavanja u jami "Đurđevik" RMU "Đurđevik", Magistarski ard, Tuzla, 2013.
6. Š. Sarajlić, Mehanizovana izrada jamskih prostorija kombajnom AM-50 u Rudniku mrkog uglja „Đurđevik“, Diplomski rad, 1989.
7. S. Okubo, J. Yamatomi, Underground mining methods and equipment, University of Tokyo,
8. M. Ivković, R. Lekovski, M. LJubojev, Definisanje sistema uticajnih uslova kod izbora metode otkopavanja kratkim mehanizovanim čelom u rudnicima uglja, Časopis Rudarski radovi, Bor, 2011.
9. Š. Sarajlić, J. Korski, O. Musić, K. Gutić, Pregled i analiza uskočelnih metoda otkopavanja za uslove nove jame „Višća“ RMU „Đurđevik“, „RUDARSTVO 2015“, Bor 2015.
10. Š. Sarajlić, O. Musić, M. Taletović; Unapređenje i modernizacija komornog otkopavanja u jami „Đurđevik“ RMU „Đurđevik“, „RUDARSTVO 2013“ Veliko Gradište 2013.;

DOI 10.51558/2303-5161.2024.12.12.77 Naučni rad

POTROŠNJA GORIVA DAMPERA BELAZ I EMISIJA UGLJEN DIOKSIDA NA PRIMJERU PK „TURIJA“ RMU BANOVIĆI

Jasmin Jamaković[1], Sunčica Mašić[2]

ABSTRACT

U radu su prikazane metode i rezultati proračuna potrošnje goriva i količine ispuštenog ugljen dioksida u atmosferu dampera BelAz na PK „Turija” RMU Banovići d.d., na osnovu podataka praćenja potrošnje goriva. Pravilno određena potrošnja goriva omogućava proračun količine emitovanog ugljen dioksida i preventivne mjere, kao i izbor strategije njegovog smanjenja. Prikupljanje podataka trajalo je šest mjeseci, zatim su podaci analizirani i dati su rezultati proračuna za sve dampere po mjesecima.

Ključne riječi: gorivo, površinski kop, damper BelAz, održavanje, Rudnik uglja Banovići, ugljen dioksid

1. UVOD

Osnovna djelatnost RMU "Banovići" d.d. Banovići je proizvodnja, prerada i promet mrkog uglja koja je zasnovana na bilansnim rezervama od oko 165 249 697 miliona tona mrkog uglja. Veći dio ovih rezervi je predviđen za otkopavanje jamskom eksploatacijom (oko 95 miliona tona), a ostatak (od oko 70 milion tona) površinskom eksploatacijom. Ugalj se proizvodi površinskom i podzemnom eksploatacijom u dva rudnika koji posluju u okviru ovog preduzeća i to: Rudnik „Površinska eksploatacija uglja“(sa dva površinska kopa) i Rudnik „Podzemna eksploatacija (sa jednom jamom "Omazići"). Na Površinskom kopu „Turija”, nakon perioda odložene eksploatacije, pristupilo se ponovnom aktiviranju, dok se na PK „Grivice” od dana otvaranja vrši kontinuirana eksploatacija počev od sjevernog izdanačkog dijela do najdubljih rezervi ugljenog sloja na južnoj strani.

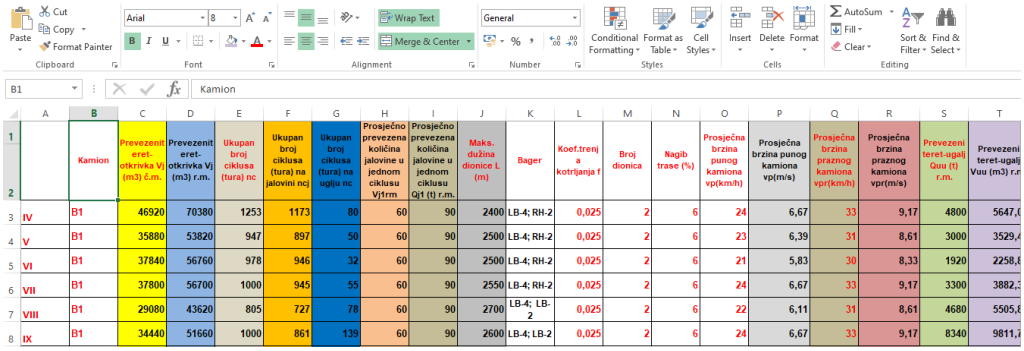
Za predmetno istraživanje odabran je površinski kop “Turija”. Na PK “Turija” za transport se primjenjuje ukupno 14 damper kamiona i to: 12 dizel-električnih kamiona BelAz 75131 nosivosti 136 t i 2 dizel-električnih kamiona BelAz 75137 nosivosti 136 t. Kamioni BelAz su sa dizel-električnom DC vučom. Sveobuhvatnim istraživanjem i prikupljanjem podataka o parametrima kamionskog transporta na konkretnom lokalitetu potrebno je bilo doći do zaključka koji parametri najviše utiču na potrošnju goriva pri konstantnom opterećenju pri vožnji korisne i nekorisne mineralne sirovine. Da bi se izvršila predmetna analiza neophodno je bilo da se za svaku razmatranu transportnu jedinicu (damper) odredi prosječna mjesečna potrošnja goriva. Za dampere u uslovima rada na površinskom kopu "Turija" RMU Banovići, uzimajući u obzir sve relevantne uticajne faktore, može se definisati prosječna potrošnja goriva kao i mjere za smanjenje iste.

[1]Ma, ing rudarstva, RMU „Banovići“ d.d.
[2]Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, suncica.masic@untz.ba

2. METODE PRIKUPLJANJA I OBRADE PODATAKA

2.1 Metode prikupljanja podataka

U dugogodišnjoj praksi rada RMU "Banovići" način prikupljanja podataka o radu i zastojima dampera je ustaljen. Režim rada u proizvodnim pogonima RMU Banovići je trosmjenski osmočasovni sistem. Podaci koji su korišteni pri izradi ovog rada uzeti su iz baze podataka odjela rudarske tehničko-operativne pripreme Rudnika „Površinska eksploatacija uglja". Podaci su obrađeni korištenjem Microsoft Excel-a čiju licencu posjeduje RMU „Banovići“.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1		Kamion	Prevezeni teret-otkrivka Vj (m3) č.m.	Prevezeni teret-otkrivka Vj (m3) r.m.	Ukupan broj ciklusa (tura) nc	Ukupan broj ciklusa (tura) na jalovini nc	Ukupan broj ciklusa (tura) na uglju nc	Prosječno prevezena količina jalovine u jednom ciklusu Vj/t=m	Prosječno prevezena količina jalovine u jednom ciklusu Qjt (t) r.m.	Maks. dužina dionice L (m)	Bager	Koef.trenja kotrljanja f	Broj dionica	Nagib trase (%)	Prosječna brzina punog kamiona vp(km/h)	Prosječna brzina punog kamiona vp(m/s)	Prosječna brzina praznog kamiona vpr(km/h)	Prosječna brzina praznog kamiona vpr(m/s)	Prevezeni teret-ugalj Quu (t) r.m.	Prevezeni teret-ugalj Vuu (m3) r.m
3	IV	B1	46920	70380	1253	1173	80	60	90	2400	LB-4; RH-2	0,025	2	6	24	6,67	33	9,17	4800	5647,0
4	V	B1	35880	53820	947	897	50	60	90	2500	LB-4; RH-2	0,025	2	6	23	6,39	31	8,61	3000	3529,4
5	VI	B1	37840	56760	978	946	32	60	90	2500	LB-4; RH-2	0,025	2	6	21	5,83	30	8,33	1920	2258,8
6	VII	B1	37800	56700	1000	945	55	60	90	2550	LB-4; RH-2	0,025	2	6	24	6,67	33	9,17	3300	3882,3
7	VIII	B1	29080	43620	805	727	78	60	90	2700	LB-4; LB-2	0,025	2	6	22	6,11	31	8,61	4680	5505,8
8	IX	B1	34440	51660	1000	861	139	60	90	2600	LB-4; LB-2	0,025	2	6	24	6,67	33	9,17	8340	9811,7

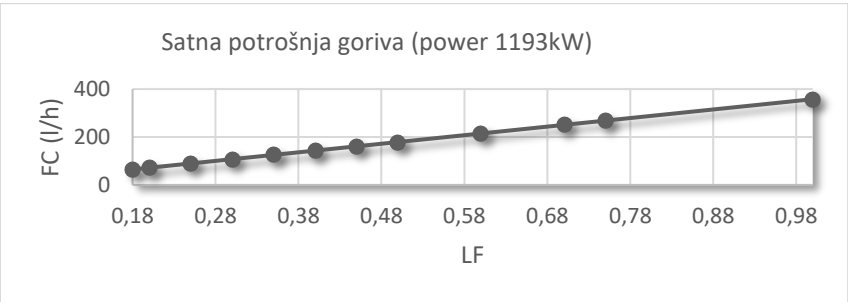
Slika 1. Izgled jednog Sheet-a Microsoft Excel-a u koji su ubačeni podaci za obradu

2.2 Metode obrade podataka

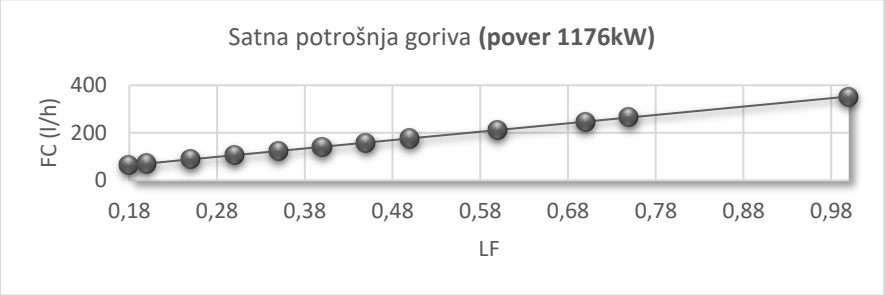
Najtačnija metoda za određivanje potrošnje goriva kamiona je dobijanje podataka iz stvarnih rudarskih operacija. Međutim, ako takva mogućnost ne postoji, razne jednačine i podaci koje je objavio proizvođač originalne opreme za kamione mogu se koristiti u svrhe procjene. Satna potrošnja goriva FC (l /h) može se odrediti iz sljedeće jednačine [1]: $FC = P \times 0.3 \times LF$

gdje je P snaga motora (kW), 0,3 je faktor konverzije jedinice (l/kW/h), a LF je faktor opterećenja motora (dio pune snage potreban kamionu). Vrijednosti za faktore opterećenja motora kamiona prema nekim autorima u relevantnoj literaturi kreću se od 0,18 do 0,50, dok drugi navode vrijednosti između 0,25 i 0,75, u zavisnosti od vrste opreme i nivoa upotrebe. [1]

Za različite faktore opterećenja motora LF satna potrošnja goriva FC (l /h) prikazana je na slici 2,3,.

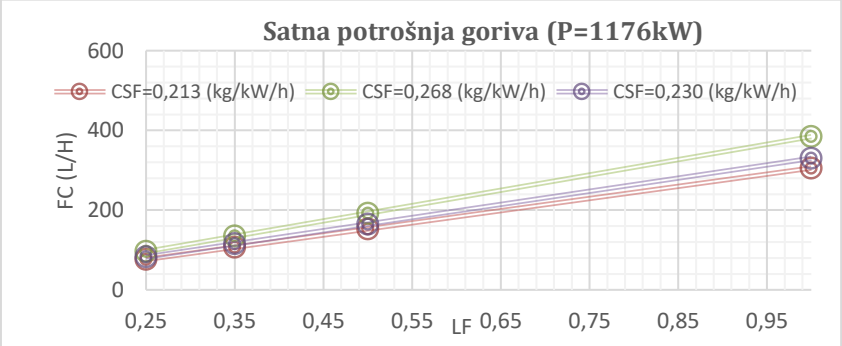


Slika 2. Potrošnja goriva FC (l/h) za vrijednosti faktor opterećenja motora (dio pune snage potreban kamionu) LF=0,18 do 1 za motor snage P=1193(kW)

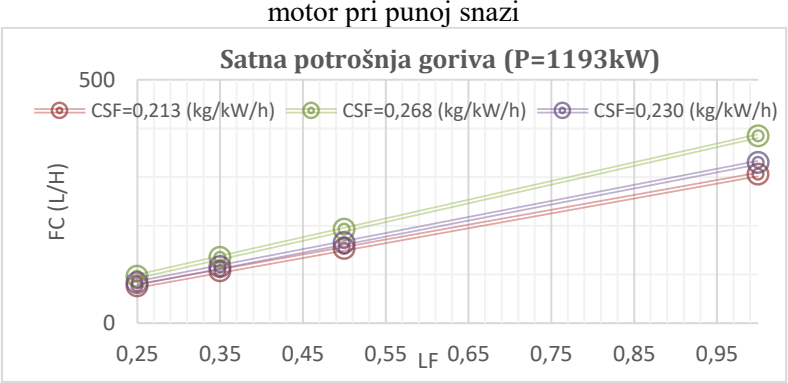


Slika 3. Potrošnja goriva FC (l/h) za vrijednosti faktor opterećenja motora (dio pune snage potreban kamionu) LF=0,18 do 1 za motor snage P=1176(kW)

Slična jednačina za potrošnju goriva predložena je u literature [1]: FC = (CSF × P × LF) / FD gdje je CSF specifična potrošnja goriva za motor pri punoj snazi (0,213 - 0,268 kg / kW / h) (0,35-0,44 lb / KS po satu), P je snaga (kW), LF je faktor opterećenja motora, a FD je gustoća goriva (0,8318 kg / l za dizel koji je kupio rudnik). U literature se preporučuju sljedeće vrijednosti za faktore opterećenja motora: 25% (laki uslovi rada), 35% (prosječni uslovi rada) i 50% (teški uslovi rada) [1].



Slika 4. Potrošnja goriva FC (l/h) za vrijednosti faktor opterećenja motora (dio pune snage potreban kamionu) LF=0,25, 1,35, 0,5 i 1 za motor snage P=1176(kW) i specifičnu potrošnja goriva CSF za motor pri punoj snazi



Slika 5. Potrošnja goriva FC (l/h) za vrijednosti faktor opterećenja motora (dio pune snage potreban kamionu) LF=0,25, 1,35, 0,5 i 1 za motor snage P=1193 (kW) i specifičnu potrošnja goriva CSF za motor pri punoj snazi

Na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka došlo se do saznanja da su damper na PK "Turija" radili u teškim uslovima rada, a faktor opterećenja motora LF imao vrijednost od 45 do 50%.

Liebherr je razvio metodu za određivanje potrošnje goriva u kamionu po satu. Prema njoj stopa potrošnje goriva direktno je proporcionalna isporučenoj snazi [1]. Ako se pretpostavi LF=100% dobivena potrošnje goriva bi bila 352,8 (l/h) za motor snage 1176 kW i *357,9* (l/h) za motore snage 1193 kW.

Emisija CO_2 iz sagorjelog goriva može se odrediti mjerenjem na licu mjesta. Međutim, mjerni uređaji (jedinice) na mjestu koje kontinuirano nadziru emisijsku opremu mogu biti skupe i zahtijevaju

trajno održavanje (Mining Environmental Management, 2008). Druga je mogućnost određivanje emisije CO_2 pomoću matematičkih jednačina. [1]

Emisija CO_2 iz dizelskih goriva u (t /h) može se zapisati kao [1]: $CO_2 = FC \times CF$

gdje je FC potrošnja dizelskog goriva (l/h), a CF faktor pretvorbe. Faktori pretvorbe emisije CO_2 za dizelsko gorivo mogu se izračunati kao: $CF = CC \times 10^{-6} \times 0{,}99 \times (44/12)$

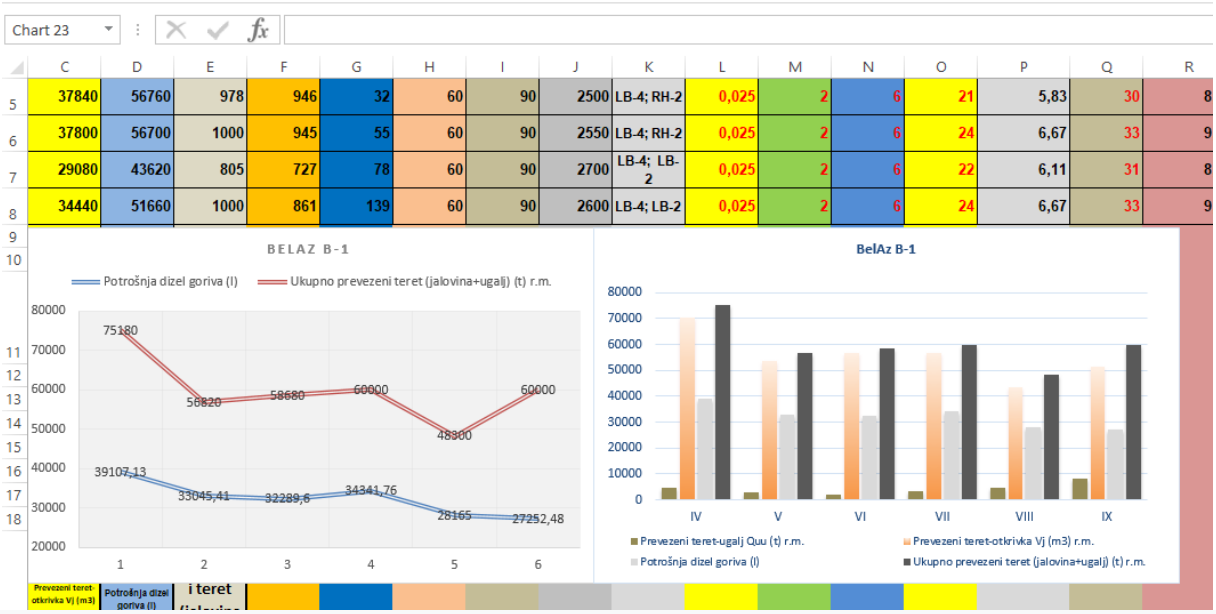
gdje je CC sadržaj ugljika u dizel gorivu (g /l), a 0,99 je faktor oksidacije.

Prema Agenciji za zaštitu okoliša (EPA, 2005), faktor pretvorbe za dizelsko gorivo CF iznosi 0,00268. Ovaj se faktor izračunava na temelju ostataka ugljika u jednoj litri dizela. Sadržaj ugljika u dizelu je CC = 733 g /l (EPA, 2005.). Faktor oksidacije za sva ulja i njegove proizvode iznosi 0,99. To praktički znači da 99% goriva izgori, dok 1% ostane neoksidirano. [1]

3. POTROŠNJA DIZEL GORIVA I KOLIČINA ISPUŠTENOG UGLJEN DIOKSIDA

Na osnovu podataka službe Operativno tehničke pripreme izračunati parametri rada dampera BelAz internih oznaka B-1; B-2; B-4; B-5; B-6; B-7; B-8; B-9; B-10; B-11; B-15; B-16; B-17 i B-21. Damperi BelAz na PK „Turija“ vrše prevoz i jalovine i uglja tokom svog rada. Prosječna zapreminska masa jalovine u čvrstom stanju je $\rho_{čmj}$=2,25 (t/ m^3), prosječna zapreminska masa jalovine u rastresitom stanju je ρ_{rmj}=1,5(t/m^3), te prosječni koeficijent rastresitosti za jalovinu k_{rj}=1,5

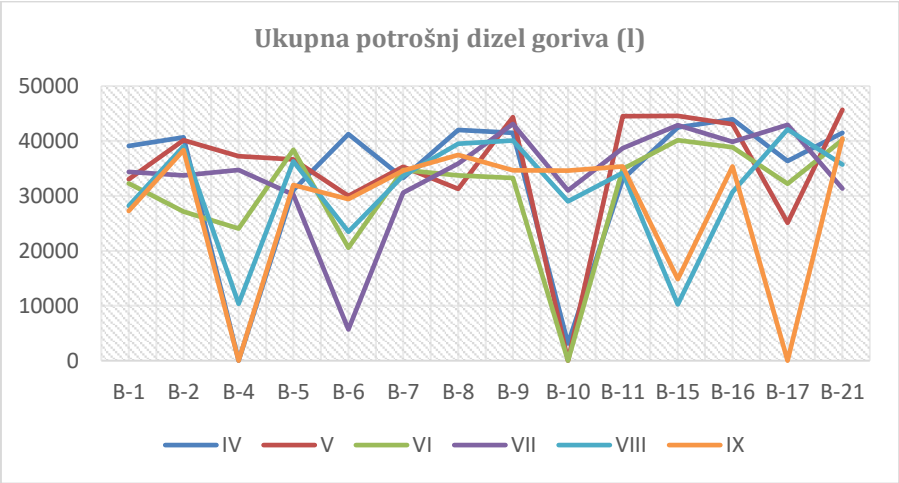
U tabeli 4. i na slici 6. prikazani su za ilustraciju podaci izračunatih parametara rada BelAz-a interne oznake B-1.



C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
37840	56760	978	946	32	60	90	2500	LB-4; RH-2	0,025	2	6	21	5,83	30	8
37800	56700	1000	945	55	60	90	2550	LB-4; RH-2	0,025	2	6	24	6,67	33	9
29080	43620	805	727	78	60	90	2700	LB-4; LB-2	0,025	2	6	22	6,11	31	8
34440	51660	1000	861	139	60	90	2600	LB-4; LB-2	0,025	2	6	24	6,67	33	9

Slika 6. Prevezeni teret-ugalj (t) r.m., jalovina (t) r.m., ukupno prevezeni teret (t) r.m. i potrošnja dizel goriva (l) u IV, V, VI, VII, VIII i X mjesecu BelAz-a interne oznake B-1

Na slici 7. prikazana je potrošnja dizel goriva (l) u IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesecu svih BelAz-a na PK „Turija“.



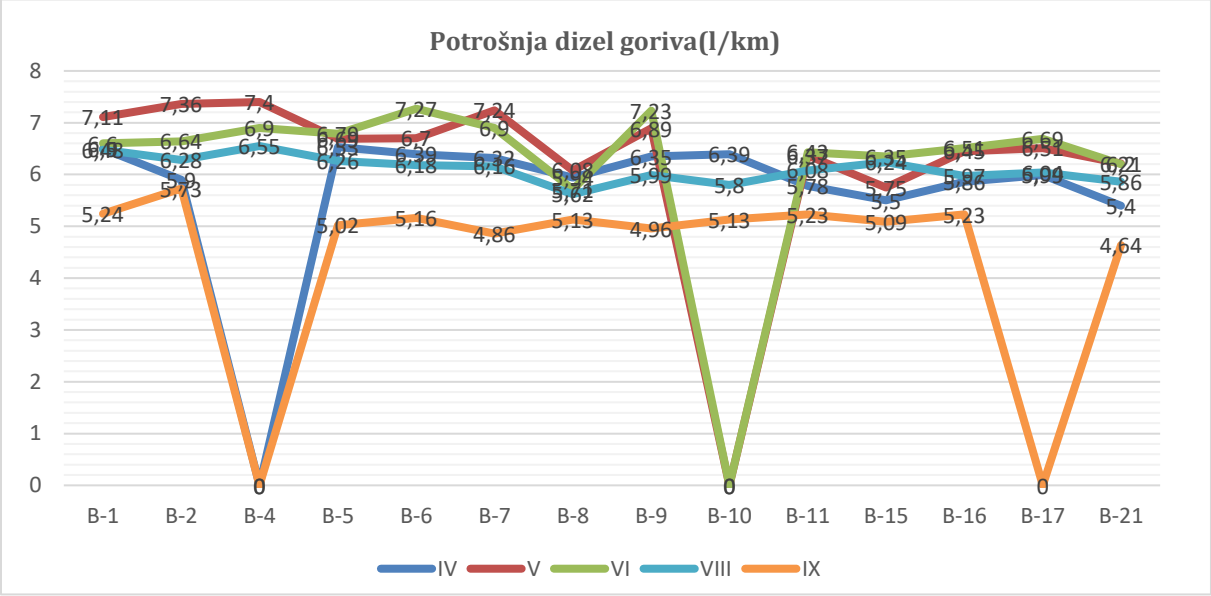
Slika 7. Ukupna potrošnja dizel goriva (l) u IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesecu

Tokom šest mjeseci praćenja, kamioni su prešli ukupno 443692 (km). Analizirajući odnos količine prevezenog tereta i potrošnje dizel goriva, utvrđeno je da u istim uslovima rada transport veće količine tereta zahtjeva veću potrošnju dizel goriva i obrnuto. Za istu količinu prevezenog tereta promjene uslova rada utiču na potrošnju goriva. Nedostatak pomoćne opreme i klimatski uslovi (padavine, nevreme) otežavaju proizvodnju, tako da i u slučaju povećanja efektivnih sati za prevoz iste količine tereta dolazi do veće potrošnje goriva, a dešava se da više goriva se koristi za transport manjih količina tereta. U nekim slučajevima, zbog lošeg vremena (jaka kiša), potrebno je premjestiti damper na druge lokacije. Na osnovu prikupljenih podataka izračunate su prosječne potrošnje dizel goriva po pređenom satu (l/h), po pređenom kilometru (l/km) i prevezenoj toni rastresitog teteta (l/t r.m.), te prikazane na slikama 8. i 9.

BelAz B-1							
month	Kilometers traveled	Diesel fuel consumption (l)	Total transported cargo (t) r.m.	Average monthly working hours Tm (h)	Diesel fuel consumption (l/km)	Diesel fuel consumption (l/t r.m.)	Diesel fuel consumption (l/h)
IV	6014,4	39107,13	75180	230,01	6,5	0,52	170,02
V	4645	33045,41	56820	178,245	7,11	0,58	185,39
VI	4890	32289,6	58680	188,7	6,6	0,55	171,12
VII	5100	34341,76	60000	192,78	6,73	0,57	178,14
VIII	4347	28165	48300	155,295	6,48	0,58	181,36
IX	5200	27252,48	60000	176,46	5,24	0,45	154,44
prosjek	5032,73	32366,9	59830	186,915	6,45	0,54	173,41

BelAz B-2							
month	Kilometers traveled	Diesel fuel consumption (l)	Total transported cargo (t) r.m.	Average monthly working hours Tm (h)	Diesel fuel consumption (l/km)	Diesel fuel consumption (l/t r.m.)	Diesel fuel consumption (l/h)
IV	6888	40666,03	86100	249,135	5,9	0,47	163,23
V	5457,6	40153,74	68220	212,16	7,36	0,59	189,26
VI	4085	27135,08	49020	157,335	6,64	0,55	172,47
VII	5457	33722,5	64200	182,58	6,18	0,53	184,7
VIII	6215,4	39029,41	69060	223,635	6,28	0,57	174,52
IX	6687,2	38324,9	77160	230,52	5,73	0,5	166,25

Slika 8. Potrošnja dizel goriva (l/h), (l/km), (l/t r.m.) u IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesecu



Slika 9. Potrošnja dizel goriva po kilometru (l/km) u IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesecu dampera BelAz na PK "Turija"

Tabela 1. Prosječne vrijednosti potrošnje dizel goriva po kilometru (l/km) za IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesec svih BelAz-a koji su bili u pogonu

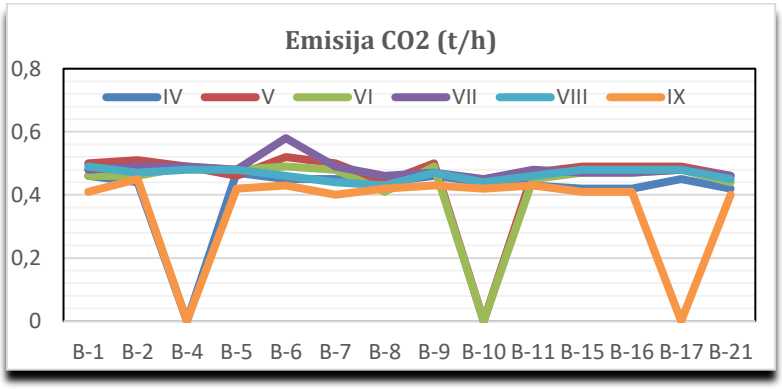
mjesec	Prosječna potrošnja dizel goriva po pređenom kilometru (l/km)
IV	6,065385
V	6,7125
VI	6,668333
VII	6,331538
VIII	6,126923
IX	5,118333

U VII i VIII mjesecu svi damperi su radili, a prosječna mjesečna potrošnja BelAz se kretala od 6,13 do 6,67 (l/km). Najveću potrošnju u transportu tereta imali su stariji kamioni BelAz, kojima su upravljali vozači sa manje iskustva, dok su relativno noviji kamioni BelAz trošili manje goriva. Kod BelAz B-8, zamjena motora je smanjenjila potrošnju dizel goriva, što je bilo i očekivano. Najveći uticaj na potrošnju goriva imaju kvalitet podloge puta, vremenski uslovi i rad pomoćne mehanizacije. Transport otkrivke se odvijao do unutrašnje zapadne deponije sa prosječnom dužinom trase od 2500 m. Ugalj se utovarivao povremeno, a prosječna dužina trase iznosila je 2500 m.

Da bi se odredila količina emisije ugljen dioksida u atmosferu, potrebno je uzeti u obzir potrošnju dizel goriva u litrima na sat. Za svaki pojedinačni BelAz izračunata je potrošnja dizel goriva i emisija CO_2 u atmosferu.

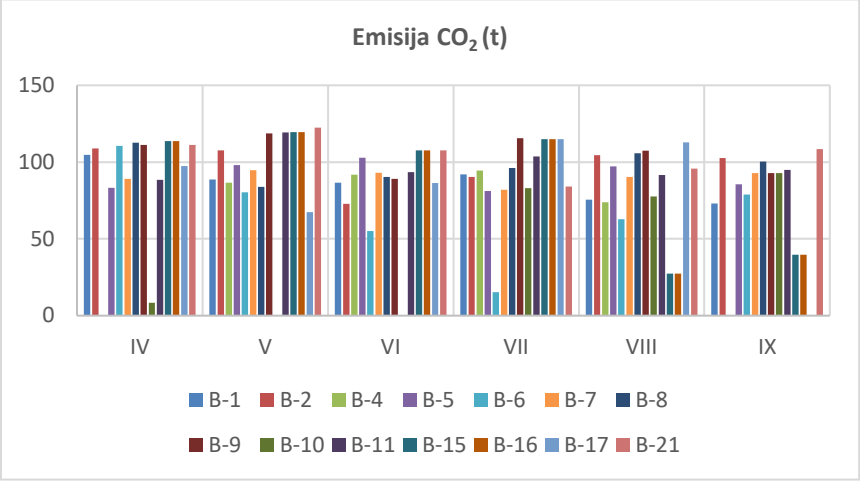
Tabela 2. Potrošnja dizel goriva (l/h), prosječni mjesečni radni sati (h) i emisija CO_2 u atmosferu dampera BelAz

month	*B-1*	*B-2*	*B-4*	*B-5*	*B-6*	*B-7*	*B-8*	*B-9*	*B-10*	*B-11*	*B-15*	*B-16*	*B-17*	*B-21*
Emisija CO2 (t/h)														
IV	*0,46*	*0,44*	*0*	*0,47*	*0,45*	*0,45*	*0,44*	*0,46*	*0,44*	*0,43*	*0,42*	*0,42*	*0,45*	*0,42*
V	*0,5*	*0,51*	*0,49*	*0,46*	*0,52*	*0,5*	*0,44*	*0,5*	*0*	*0,47*	*0,49*	*0,49*	*0,49*	*0,46*
VI	*0,46*	*0,46*	*0,49*	*0,48*	*0,49*	*0,48*	*0,41*	*0,49*	*0*	*0,45*	*0,47*	*0,47*	*0,48*	*0,44*
VII	*0,48*	*0,49*	*0,49*	*0,48*	*0,58*	*0,49*	*0,46*	*0,47*	*0,45*	*0,48*	*0,47*	*0,47*	*0,48*	*0,46*
VIII	*0,49*	*0,47*	*0,48*	*0,48*	*0,46*	*0,44*	*0,43*	*0,47*	*0,44*	*0,46*	*0,48*	*0,48*	*0,48*	*0,45*
IX	*0,41*	*0,45*	*0*	*0,42*	*0,43*	*0,4*	*0,42*	*0,43*	*0,42*	*0,43*	*0,41*	*0,41*	*0,00*	*0,4*
Dizel gorivo (l/h)														
IV	*170,02*	*163,23*	*0*	*174,73*	*169,08*	*168,39*	*164,31*	*173,48*	*165,75*	*161,32*	*158,05*	*158,05*	*167,52*	*156,15*
V	*185,39*	*189,26*	*181,43*	*172,57*	*193,1*	*185,68*	*165,09*	*188,08*	*0*	*177,09*	*181,54*	*181,54*	*183,45*	*171,04*
VI	*171,12*	*172,47*	*181,52*	*177,86*	*182,88*	*179,31*	*152,63*	*183,97*	*0*	*168,79*	*176,32*	*176,32*	*178,01*	*163,29*
VII	*178,14*	*184,7*	*183,03*	*180,28*	*214,58*	*181,29*	*171,55*	*177,11*	*168,87*	*178,29*	*176,68*	*176,68*	*179,45*	*170,55*
VIII	*181,36*	*174,52*	*177,54*	*179,03*	*172,24*	*163,06*	*162,19*	*173,66*	*164,25*	*171,54*	*177,74*	*177,74*	*180,49*	*167,94*
IX	*154,44*	*166,25*	*0*	*156,64*	*159,26*	*149,81*	*156,31*	*159,03*	*155,16*	*160,22*	*154,52*	*154,52*	*0*	*149,82*
Prosječno vrijeme rada (h)														
IV	*230,01*	*249,135*	*0*	*177,735*	*243,78*	*197,37*	*255,765*	*238,935*	*18,87*	*204,765*	*268,515*	*268,515*	*217,005*	*265,45*
V	*178,245*	*212,16*	*205,275*	*212,16*	*155,295*	*190,23*	*189,465*	*235,62*	*0*	*251,43*	*245,565*	*245,565*	*136,935*	*266,98*
VI	*188,7*	*157,335*	*132,6*	*215,73*	*112,455*	*193,545*	*221,085*	*180,795*	*0*	*206,55*	*227,715*	*227,715*	*181,05*	*246,07*
VII	*192,78*	*182,58*	*189,72*	*167,79*	*26,52*	*168,555*	*209,1*	*243,27*	*183,345*	*217,005*	*242,76*	*242,76*	*239,19*	*183,85*
VIII	*155,295*	*223,635*	*58,395*	*202,725*	*136,17*	*206,55*	*243,525*	*230,775*	*176,46*	*199,155*	*57,63*	*57,63*	*233,325*	*212,67*
IX	*176,46*	*230,52*	*0*	*204*	*184,62*	*231,03*	*239,7*	*218,025*	*223,125*	*220,83*	*95,88*	*95,88*	*0*	*270,04*
Ukupno CO_2 eemisija (t)														
IV	*104,80*	*108,98*	*0*	*83,22*	*110,46*	*89,07*	*112,62*	*111,08*	*8,38*	*88,52*	*113,73*	*113,73*	*97,42*	*111,08*
V	*88,56*	*107,61*	*86,66*	*98,12*	*80,36*	*94,66*	*83,82*	*118,76*	*0*	*119,32*	*119,47*	*119,47*	*67,32*	*122,38*
VI	*86,53*	*72,72*	*91,79*	*102,83*	*55,11*	*93,00*	*90,43*	*89,13*	*0*	*93,43*	*107,60*	*107,60*	*86,37*	*107,68*
VII	*92,04*	*90,37*	*94,56*	*81,06*	*15,25*	*81,89*	*96,13*	*115,46*	*82,97*	*103,68*	*114,9*	*114,94*	*115,03*	*84,03*
VIII	*75,48*	*104,59*	*73,890*	*97,26*	*62,85*	*90,26*	*105,85*	*107,40*	*77,67*	*91,55*	*27,45*	*27,45*	*112,86*	*95,71*
IX	*73,04*	*102,71*	*0*	*85,63*	*78,79*	*92,75*	*100,41*	*92,92*	*92,78*	*94,82*	*39,70*	*39,70*	*0*	*108,42*



Slika 10. Emisija CO_2 (t/h) u IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesecu

U IV mjesecu je izostavljen iz razmatranja kamion BelAz interne oznake B-4 jer nije bio u funkciji. Damper B-5 imao je najveću emisiju CO_2 (t/h) i najveću potrošnju goriva (l/h) u ovom mjesecu, a najmanju B-15. U V mjesecu najveću količinu CO_2 (t/h) ispustio je u atmosferu damper B-4, koji je imao najveću potrošnju goriva (l/h) u ovom mjesecu, a najmanje B-8. U VI mjesecu je izostavljen iz razmatranja kamion BelAz interne oznake B-10 jer nije bio u funkciji. Najveću količinu CO_2 (t/h) u atmosferu je ispustio damper B-9, koji je u ovom mjesecu imao najveću potrošnju goriva (l/h), a najmanju B-4. U VII mjesecu najveću količinu CO_2 (t/h) ispustio je u atmosferu damper B-6, koji je imao najveću potrošnju goriva (l/h) u ovom mjesecu, a najmanju B-10. U VIII mjesecu najveću količinu CO_2 (t/h) ispustio je u atmosferu damper B-1, koji je imao najveću potrošnju goriva (l/h) u ovom mjesecu, a najmanju B-8. U IX mjesecu najveću količinu CO_2 (t/h) ispustio je u atmosferu damper B-2, koji je imao najveću potrošnju goriva (l/h) u ovom mjesecu, a najmanju B-7.



Slika 11. Ukupna količina emitovanog CO_2 (t) u IV, V, VI, VII, VIII i IX mjesecu

Količina ugljen dioksida koja se emituje u atmosferu tokom određenog mjeseca ovisi o efektivnom radnom vremenu dampera u tom mjesecu. Prosječna maksimalna količina CO_2 (t) emitovanog tokom šest mjeseci kretala se u rasponu od 107,69 do 122,38 (t). Tokom dva mjeseca kada su svi damperi radili, u prosjeku je iznosila od 112,86 do 112,86 (t).

4. PREVENTIVNE MJERE I IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJA ZA SMANJENJE EMISIJE UGLJENOG DIOKSIDA

Na osnovu rezultata nakon istraživanja, mogu se dati prijedlozi za poboljšanje i smanjenje potrošnje goriva, što direktno utiče na količinu emisije ugljen dioksida koji se oslobađa u atmosferu. Na potrošnju goriva utiče adekvatno održavanje i servisiranje dampera BelAz , pa je to neophodno uraditi na vrijeme. Potrebno je pojednostaviti pristup tačkama za redovni servis, jer to pojednostavljuje servis i smanjuje količinu vremena utrošenog na procedure redovnog održavanja. Nastaviti redovno provjeravanje pritiska u gumama, jer prenizak pritisak u gumama otežava bočno vođenje pneumatika, produžava put kočenja i na taj način smanjuje bezbjednost vožnje. Takođe, nizak pritisak u gumama povećava otpor kotrljanja, čime se povećava potrošnja goriva. Provjera stanja guma i pritiska u njima veoma je važna za sigurnost i potrošnju. Guma je jedina kontaktna površina između vozila i tla, a ima zadatak da izdrži nošenje, kretanje, apsorpciju udara, kočenje i ubrzanje, dok otpor kotrljanja direktno utiče na potrošnju goriva. Održavanje i poboljšanje površine puta može značajno smanjiti potrošnju goriva. Prilikom projektovanja vodite računa o dužinama puteva namenjenih transportu i njihovim nagibima. Smanjenje dužine trase i njenog nagiba omogućava kraći ciklus dampera i transport većih količina tereta uz manju potrošnju goriva. Obezbijediti dovoljan broj pomoćnih mašina i opreme, te redovno održavanje trase. Ako je moguće, održavati konstantnu brzinu tokom transporta. Primijeniti adekvatnu organizaciju tehnološkog procesa, jer ima značajan uticaj na potrošnju goriva.

ZAKLJUČAK

Mnogi parametri, kao što su starost i održavanje vozila, opterećenje, brzina, vrijeme ciklusa, raspored rada, vrijeme mirovanja, istrošenost guma, otpor kotrljanja, radni parametri motora i obrasci promjene brzina mogu utjecati na potrošnju goriva u eksploataciji površinskog kopa. Na PK „Turija“ razmatrana je potrošnja goriva dampera BelAz internih oznaka B-1; B-2; B-4; B-5; B-6; B-7; B-8; B-9; B-10; B-11; B-15; B-16; B-17 i B-21 tokom šest mjeseci posmatranja. Količina ugljen dioksida koja se emituje u atmosferu tokom određenog mjeseca ovisi o efektivnom radnom vremenu dampera u tom mjesecu. Prosječna maksimalna količina CO_2 (t) emitovanog tokom šest mjeseci kretala se od 107,69 do 122,38 (t). Za dva mjeseca dok su svi damperi radili, u prosjeku je iznosila od 112,86 do 112,86 (t).

Prosečna količina CO_2 emitovanog po BelAzu u atmosferu tokom šest meseci kretala se od 0,17 do 0,29 (t/h). U mjesecima kada nisu radili svi kamioni, ukupna količina emisije CO_2 u prosjeku se kretala od 2,78 do 3,58 (t/h).

Za dva mjeseca dok su svi damperi radili, u prosjeku je iznosio 3,45 do 3,73 (t/h). Za otežane uslove rada, dužinu, te nagib trase, možemo očekivati dobijenu prosječnu emisiju CO_2 po mjesecima, osim u zimskom periodu kada se potrošnja dizel goriva povećava za 20%, a time i emisija CO_2. Takođe, na potrošnju i emisiju CO2 utiče adekvatno održavanje i servis BelAz kiper kamiona, tako da je to neophodno uraditi na vrijeme.

Analizirajući rezultate obrađenih podataka, utvrđeno je da je potrošnja goriva u pojedinim mjesecima direktno proporcionalna količini prevezenog tereta i količini emitovanog ugljen dioksida.

Za istu količinu prevezenog tereta promjene uslova rada utiču na potrošnju goriva. Nedostatak pomoćne opreme i klimatski uslovi (padavine, nevrijeme) otežavaju proizvodnju. U mjesecima kada je tehnološki proces bio otežan zbog nedostatka pomoćne mehanizacije i opreme, nepovoljnih vremenskih prilika (nevrijeme ili obilne padavine), povećana je potrošnja goriva u odnosu na potrošnju u stabilnim uslovima rada, kao i emisija ugljen dioksida. U takvim uslovima, a u slučaju povećanja broja efektivnih sati ostvarenih za prevoz iste količine tereta, potrošnja goriva je bila veća za prevoz manjeg tereta.

Promjene u dužini trase kao rezultat premještanja bagera na novu poziciju i promjene nagiba trase utjecale su na promjenu potrošnje goriva i emisiju CO_2. Zbog povećane dužine transportnog puta i neadekvatne organizacije tehnološkog procesa, loših uslova rada, pojedini damper su bilježili veću potrošnju goriva pri prevozu manjih količina tereta.

Na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka satne potrošnje goriva za motore od 1193 (kW) i 1176 (kW), može se zaključiti da su damperi na PK „Turija“ radili u otežanim uslovima rada. Najveće emisije CO_2 prilikom transporta bile su kod starijih BelAza, sa preko 70.000 radnih sati motora, koje opslužuju manje iskusni vozači, dok je relativno noviji BelAz emitovao manje CO_2. Kod BelAz B-8, zamjena motora je pokazala smanjenje potrošnje dizel goriva, što je i očekivano.

Prikazani način obrade, analize i izdvajanja važnih informacija o radnim parametrima i emisiji ugljen-dioksida na ovaj način urađen je po prvi put na našim prostorima i može se ponoviti na ostalim površinskim kopovima koji koriste dampere za transport tereta. Doprinos ovog rada stručnoj literaturi je da je po prvi put određena količina CO_2 koju BelAz emituje na površinskom kopu na osnovu prikupljenih podatke i korištene metode. Određivanjem potrošnje goriva se utvrđuju preventivne mjere i strategije održavanja transportnog sistema u cilju njegovog smanjenja, kao i emisije izduvnih gasova u atmosferu.

LITERATURA

1. V. Kecojević, D. Komljenović (2010) „Haul truck fuel consumption and CO2 emission under various engine load conditions“, https://www.researchgate.net/publication/261214668_Haul_truck_fuel_consumption_and_CO2_emission_under_various_engine_load_conditions, 19.10.2020.
2. Ali Soofastaei (2016) „Efficiency of Haul Trucks in Surface Mines“, PhD Project, DOI:10.13140/RG.2.2.18587.67365, https://www.researchgate.net/publication/309176186_Development_of_an_Advanced_Data_Analytics_Model_to_Improve_the_Energy_Efficiency_of_Haul_Trucks_in_Surface_Mines , preuzeto 10.12.2020.
3. S. Mašić (1999) “Zbirka riješenih zadataka iz transporta u rudarstvu”, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, udžbenik, Univerzitet u Tuzli,
4. S. Hodžić, Sunčica Mašić (2005) „Zbirka riješenih zadataka iz kontinuiranog transporta u rudarstvu“, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, udžbenik, Univerzitet u Tuzli,
5. S. Hodžić, S. Mašić (2008) „Ciklični transport“ Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, udžbenik, Univerzitet u Tuzli
6. J. Jamaković, S. Mašić (2022): “Carbon dioxide emission of a BelAz dump truck on an example of the open pit 'Turija' Brown Coal Mine Banovići”, Mining and Metallurgy Engineering Bor, UDC 622, ISSN 2334-8836 (Štampano izdanje) ISSN 2406-1395 (Online)

7. J. Jamaković, S. Mašić (2021): “Fuel consumption of the BelAz dump trucks on an example of the open pit "Turija" of the brown coal mine Banovići”, Mining and Metallurgy Engineering Bor, UDC 622, ISSN 2334-8836 (Štampano izdanje) ISSN 2406-1395 (Online)
8. Zakon o zaštiti okoliša, Sl. Novine FBiH, br .15/2021.
9. https://www.researchgate.net/publication/309176186_Development_of_an_Advanced_Data_Analytics_Model_to_Improve_the_Energy_Efficiency_of_Haul_Trucks_in_Surface_Mines , preuzeto 10.12.2020.god.
10. https://www.researchgate.net/publication/309176186_Development_of_an_Advanced_Data_Analytics_Model_to_Improve_the_Energy_Efficiency_of_Haul_Trucks_in_Surface_Mines , preuzeto 10.12.2020.god.