

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



GLASNIK

RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

**JOURNAL OF FACULTY OF
MINING, GEOLOGY AND CIVIL
ENGINEERING**

**2023. GODINA / YEAR
Broj 11/ Vol. 11
2023/11**

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)



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
Zvezdan 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 Mišćević, Hrvatska
Mirza Ponjavić, Bosna i Hercegovina
Vlastimir Radonjanin, Srbija
Danilo Ristić, Makedonija
Ljupko Rundić, Srbija
Phalguni Sen, Indija
Rade Tokalić, Srbija

Print

Mit-Alex d.o.o.Tuzla

Tiraž
50

GLASNIK
RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG
FAKULTETA

Tuzla, 2023.

SADRŽAJ

Tihomir Knežiček, Dean Osmanović, Sabina Sinanović Čatibušić

KLASIFIKACIJA REPETITIVNIH DIVLJIH DEPONIJA OTPADNOG MATERIJALA LOKALNOG KARAKTERA.....1

Ekrem Bektašević, Reuf Kadrić, Kemo Gutić, Sead Kadrić

ODREĐIVANJE OPTIMALNE METODE ISKOPA TUNELA ZENICA U FUNKCIJI MINIMALNOG OŠTEĆENJA STIJENSKE MASE LOŠIJEG KVALITETA IZVAN PROFILA ISKOPA.....9

Rusmir Razić, Sunčica Mašić, Nedžad Alić

VREMENSKA SLIKA RADA I OTKAZA/ZASTOJA TRANSPORTNOG KOMPLEKSA NA SEPARACIJI ZD RUDNIKA UGLJA „GRAČANICA“ D.O.O. GORNJI VAKUF –USKOPLJE.....24

Zvezdan Karadžin, Haris Burek, Edisa Nukić

UNAPREĐENJE TEHNIČKIH MJERA ZA POSTUPANJE U AKCIDENIM SITUACIJAMA NA GASNOM SISTEMU.....33

Sanel Nuhanović, Amir Mesković, Samir Nurić, Božana Barušić

NOVA SAZNAJNA O GEOTERMALNOJ POTENCIJALNOSTI BUŠOTINE SI-1 U SLAVINOVIĆIMA.....43

Adnan Hodžić, Sanel Nuhanović, Samir Nurić, Dejan Danilović

ZNAČAJ HIDRODINAMIČKIH MJERENJA U RAZRADI NAFTNOG POLJA.....53

Amir Mešković, Sanel Nuhanović, Adnan Hodžić, Damir Baraković

HIDROTERMALNI PRODUKTI SPREČANSKE RASJEDNE ZONE.....62

Dinka Pašić-Škripić, Edin Šehić, Amir Jahić

PRIMJENA ADITIVA U SLOŽENIM USLOVIMA BUŠENJA.....72

Dinka Pašić-Škripić, Mirna Aščerić

RANJIVOST I ZAŠTITA VODNOG TIJELA „MODRAC“.....80

Ahmed Mušija

POUZDANOST RMR KLASIFIKACIJE PRILIKOM IZGRADNJE TUNELA ZENICA.....87

KLASIFIKACIJA REPETITIVNIH DIVLJIH DEPONIJ OTPADNOG MATERIJALA LOKALNOG KARAKTERA

Tihomir Knežiček¹, Dean Osmanović², Sabina Sinanović Čatibušić³

SAŽETAK

Divlje deponije otpadnog materijala su prisutne u skoro svim lokalnim zajednicama u Bosni i Hercegovini, pa tako i na prostorima gradskih i ruralnih lokalnih zajednica Grada Tuzla. Divlje deponije, kao ilegalne deponije, nastaju odlaganjem različitih vrsta otpadnog materijala na prostore koji nisu predviđeni za odlaganje otpadnog materijala. To su prostori koji su obično pored putnih komunikacija sa manje prometa, ili u neposrednoj blizini putnih komunikacija gdje je moguć pristup motornim vozilima manje nosivosti. Divlje deponije imaju direktan negativan uticaj na životni okoliš sa više aspekata. Primarno dolazi do zagađenja vodotoka, tla, narušava ambijentalni prostor i privlačeći životinje nastaje mogućnost zaraza opasnih po stanovništvo. Otpadni materijala na divljim deponijama često biva namjerno zapaljen što uzrokuje dodatne probleme zagađenja zraka dimom i gasovima koji nastaju sagorijevanje, ali i mogućnošću nastanka požarnih žarišta posebno u šumskim područjima. U dosadašnjoj praksi divlje deponije nisu imale naučno-stručni interes jer su često privremenog karaktera i nisu smatrane interesantnim sa aspekta naučnog pristupa definisanju deponija različitim klasifikacijama. Ovaj rad definiše klasifikaciju divljih deponija u sferama mogućnosti obrade podataka od interesa za tretman divljih deponija, a eksperimentalna definicija klasifikacije potvrđena je na primjeru snimanja i analize divljih deponija u mjesnoj zajednici Kiseljak, Grad Tuzla u fazi realizacije projekta „Inkluzivni razvoj zajednice Kiseljak, za unapređivanje socijalno ekonomskog aspekta života građana, posebno Roma“ finansiran od strane Fondacije tuzlanske zajednice, Tuzla. Osnovu klasifikacije čine repetitivne lokalne deponije, dok stalne regionalne divlje deponije nisu predmet istraživanja i klasifikacije jer su za stalne deponije već poznate klasifikacije.

Napomena: Saglasnost za publikovanje rada dala je Fondacija tuzlanske zajednice koja je finansirala predmetno istraživanje u okviru projekta „Inkluzivni razvoj zajednice Kiseljak, za unaprijeđenje socijalno ekonomskog aspekta života građana, posebno Roma“, koji provodi Fondacija tuzlanske zajednice u partnerstvu i uz finansijsku podršku Freudenberg fondacije i Njemačkog saveznog ministarstva za vanjski razvoj (BMZ).

1. UVOD

Analiza ambijenta i uslova nastanka divljih deponija u MZ Kiseljak rezultovala je, na naučnim osnovama, klasifikacijom divljim deponija po više kriterija. U dosadašnjoj praksi analiza divljih deponija nisu adekvatno definisani naučno-stručni aspekti divljih deponija, pa je predmetno istraživane i analiza od posebnog značaja ne samo za praktično sistemsko rješenje smanjenje ili uklanjanja divljih deponija, nego za

¹ Tihomir Knežiček, dr.sc, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitetska 2, Tuzla, Bosna i Hercegovina, knezicek@bih.net.ba

² Dean Osmanović, MA inž.rud, doktorant, Salonit Anhovo d.d., Anhovo 1, Deskle, Slovenija, dean.osmanovic@gmail.com

³ Sabina Sinanović Čatibušić, dipl.soc.rad., Fondacija tuzlanske zajednice, Pozorišna 13, Tuzla, Bosna i Hercegovina, sabina@fondacijatz.org

doprinos naučnom sagledavanju problematike lokalnih divljih deponija. Kategorizacija olakšava praćenje nastanka, razvoja i uklanjanja divljih deponija korištenjem baza podataka deponija i GISa. Sastav divljih deponija otpadnog materijala lokalnog karaktera uglavnom je baziran na:

- neselektirani otpad iz domaćinstva (miješani organski i neorganski otpad, kruti otpad),
- građevinski otpad i automobilske gume (građevinski materijal, staklo, automobilske gume),
- biološki otpad (biljni ostaci, granje, životinjski ostaci) i
- otpad ostataka materijala nakon reciklažne selekcije (materijal koji nastaje rastavljanjem uređaja, mašina i vozila i odvajanjem materijala koji nema tržišnu vrijednost).

S obzirom na različite aspekte formiranja i razvoja divljih ili legalnih deponija na lokalnom nivou, tj. odlaganjem različitih vrsta materija, i već uspostavljene metodologije i kategorizacije otpadnog deponovanog materijala, klasifikacija ne obuhvata slijedeće tipove deponija i vrsta otpadnog materijala:

- regionalne ili lokalne komunalne / sanitarne deponije;
- deponije industrijskog otpada (mulj, maziva, deponije šljake ili jalovinskog materijala, otpad koji nastaje proizvodnim procesima);
- deponije opasnog otpada (medicinski, klaonički, pesticidi, ulja, maziva);
- deponije koje sadrže otpad u tečnom stanju (voda i aditivi u tehnološkim procesima, hemijski reagensi, deterđenti).

Očekivano je da lokalne divlje deponije ne sadrže industrijski, opasni otpad i otpad u tečnom stanju, a i ako je prisutan njegova lokalizacija je izolovan slučaj i nema sistemskog negativnog uticaja na okoliš.

2. PODJELA DIVLJIH DEPONIJA

Divlje deponije komunalnog otpada, otpada iz domaćinstva i druge vrste lokalno generisanog otpada po osnovu geneze i zapremine dijele se na stalne regionalne deponije i repetitivne lokalne deponije.

i. Stalne regionalne divlje deponije

Stalne regionalne divlje deponije se koriste za neselektivno odlaganje svih vrsta otpada, u kojem je moguće da se nalaze i materijali koji su opasni za okoliš.

Dijele se na ravničarske (odlaganje na nivou istresanja materijala) i padinske (istresanje materijala ispod nivoa istresanja tj. niz padine, uglavnom u blizini saobraćajnica).

Padinske divlje deponije koje se generišu na strminama u čijem dnu su vodotoci ili vododjelnice direktni su izvor onečišćenja vode i tla.

Karakterišu se velikim zapreminama otpadnog materijala (pravilnog oblika sa više od 100 m³ otpadnog materijala), sa značajnim uticajem na vodotokove i tlo, i sa značajnim prisustvom životinjskih vrsta koje su potencijalni prenosioci zaraza (ptice, glodari, psi, lisice, divlje svinje i druge životinje koje hranu traže i nalaze na divljim deponijama). Njihovo zbrinjavanje zahtijeva značajna finansijska sredstva za uklanjanje i odvoz otpadnog materijala na drugu lokaciju koja mora biti legalna / sanitarna deponija otpada. Mogućnost regeneracije stalnih regionalnih deponija je velika i za eliminaciju procesa generisanja divlje deponije potrebno je ili primijeniti restriktivne mjere koje bi utjecale na smanjenje količine otpadnog materijala u divljim deponijama ili obezbijediti kontejnere u koje se može odlagati otpadni materijal koji bi inače bio odložen na deponiju.

Stalne regionalne deponije nisu predmet klasifikacije divljih deponija otpadnog materijala lokalnog karaktera.

ii. Repetitivne lokalne divlje deponije

Repetitivne lokalne deponije su deponije privremenog karaktera. To su deponije koje se generišu u jednom vremenu, i nakon određenog vremena deponije uklanjaju nadležne komunalne službe ili građani putem akcija čišćenja okoliša. U velikom broju slučajeva, na istim lokalitetima, ponovo se generišu divlje deponije i ciklus se ponavlja. Mogućnost regeneracije divljih deponija ima tendenciju opadanja sa ostvarivanjem preduslova za sistemsko zbrinjavanje otpada. Karakterišu se srednjim zapreminama otpadnog materijala (10 m^3 do 100 m^3) ili malim zapreminama otpadnog materijala ($0,5 \text{ m}^3$ do 10 m^3), bez značajnog utjecaja na vodotokove i tlo, osim ako su deponije u neposrednoj blizini izvorišta. Repetitivne lokalne deponije nemaju značajno prisustvo životinjskih vrsta koje su potencijalni prenosioci zaraza, a to su uglavnom psi i glodari. Njihovo zbrinjavanje ne zahtijeva značajna finansijska sredstva za uklanjanje i odvoz otpadnog materijala na drugu lokaciju koja mora biti legalna deponija otpada.

Važna karakteristika repetitivnih lokalnih deponija je negativan utjecaj na vizuelni ambijent lokalne zajednice, posebno ako lokalna zajednica svoje strategije zasniva na ponudi turističkih ili rekreativnih kapaciteta i infrastrukture, kao što je to primjer prigradske mjesne zajednice Kiseljak, Tuzla, koja ima kvalitetne preduslove za razvoj zajednice ponudom turističkih i rekreativnih sadržaja.

3. KLASIFIKACIJA REPETITIVNIH LOKALNIH DIVLJIH DEPONIJA

Na osnovu forme koju zauzima repetitivna lokalne deponija i sadržaja otpadnog materijala, deponije se klasificiraju u sedam grupa.

i. Kompaktne divlje deponije, zauzimaju jedan kompaktni prostor sa jasno određenim prostornim granicama u kojem se nalazi samo jedna deponija dimenzija do $50 \times 50 \text{ m}$. Prostor deponije je pravilnog ili nepravilnog oblika. Visina odloženog otpadnog materijala je u dijapazonu $0,5 \text{ m}$ do 1 m , formiran u gomile. Sastav otpadnog materijala je izuzetno različit i neselektivan. Otpadni materijal se odlaže kamionom, traktorskom prikolicom, motokultivatorskom prikolicom ili kombi vozilom. Ima adekvatan pristup sa zvanične putne komunikacije (asfaltirane ili neasfaltirane), udaljena od naselja najmanje 2 km .



Slika 1. Primjer kompaktne divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

ii. Linijski razučene divlje deponije, zauzimaju prostor uglavnom po dužini - liniji, sa mogućim manjim razmacima između odlaganog otpadnog materijala, dužine 2 m do 50 m , dubine odlaganja obično do 2 m , različitog otpadnog materijala uglavnom kućni ili građevinski otpad (crijep, cigla, malter, staklo). Visina odloženog materijala je do $0,5 \text{ m}$. Materijal se odlaže iz automobila, traktorskih prikolica ili iz kombi vozila.

Locirane su odmah pored zvanične putne komunikacije (asfaltirane ili neasfaltirane), udaljena od naselja najmanje 100 m, iako ima slučajeva da je locirana u samom naselju.



Slika 2. Primjer linijske divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

iii. Sočaste divlje deponije, zauzimaju nepravilnu formaciju često u obliku sočiva koja se karakterišu pojedinačnim gomilama otpadnog materijala. Visina odloženog materijala je do 0,5 m, zapremine do 0,5 m³, a udaljene su jedna od druge 5 do 10 m čineći obično jednu prostorno razučenu deponiju. Sastav otpadnog materijala je različit i dijelom selektivan, a čini ga otpad iz domaćinstva, građevinski otpad ili druga vrsta otpada. Uglavnom se nalaze u šumskom području a materijal se dovlači ručnim kolicima ili autima ako ima mogućnosti za kretanje automobila.



Slika 3. Primjer sočaste divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

iv. Infrastrukturne divlje deponije, zauzimaju uglavnom pravilan oblik koji blisko odgovara dimenzijama infrastrukturnog objekta koji je srušen, devastiran i nije u upotrebi. Sastav otpadnog materijala je u kategoriji građevinskog otpada (uglavnom betonski elementi, siporeks blokovi, opeka, crijep, salonit ploče). Deponija se ne generiše jer predstavlja ostatak nekadašnjeg infrastrukturnog objekta. Nalaze su izvan urbanih područja ili u blizini urbanog područja, često u samom naselju ili bližoj okolini.



Slika 4. Primjer infrastrukturne divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

Često se uz infrastrukturnu deponiju dodatno generišu sočaste deponije locirane uz srušeni objekat ili u samom objektu, a sastav otpadnog materijala je različit i dijelom selektivan, čini ga otpad iz domaćinstva, građevinski otpad, čvrsta plastika, tekstil, uginule životinje ili druga vrsta otpada. Materijal se dovlači ručnim kolicima.



Slika 5. Primjer padinske divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

v. Padinske divlje deponije, zauzimaju prilično pravilan oblik koji se formira generisanjem deponije. Oblik je trapeza gdje je u gornjem dijelu veća širina deponije (do 15 m), deponija se pruža niz padinu prema dolini i završava širinom do 3 m. Dužina padine je promjenjiva i kreće se od 3 m do 20 m, a visina odlaganog materijala je do 1 m, uključujući i kabasti otpad. Sadrži različit otpadni materijala uglavnom krupni otpad (čvrsta plastika, kućanski aparati, dijelovi namještaja) i građevinski otpad, vrlo rijetko kućni otpad. Materijal se odlaže iz kombi vozila, iz prikolice traktora, prikolice motokultivatora ili iz ručnih kolica. Locirane su pored zvaničnih putnih komunikacija (asfaltirane ili neasfaltirane), udaljene od naselja najmanje 100 m. Predstavljaju najrizičniju vrstu deponije s obzirom da se generiše u padinskim dijelovima koji čine vododjelnice ili vodene tokove, a koje se teško uklanjaju zbog padinskih karakteristika reljefa.

vi. Prekrivene divlje deponije, su deponije koje su generisane, nisu uklonjene, a prekrivene su zemljanim ili drugim materijalom radi sanacije ili su nastale zatrpavanjem tj. prekrivanjem zemljom, pijeskom ili šljunkom koji nema upotrebnu vrijednost. Sadrže uglavnom neselektirani kućanski otpad iz domaćinstva, biološki otpad ili drugu vrstu nekabastog otpadnog materijala.



Slika 6. Primjer prekrivene divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

vii. Privatne divlje deponije, su deponije koje su generisane i locirane na privatnim posjedima lokalnog stanovništva. Privatne deponije sadrže građevinski otpad ili otpad od prerade sekundarnih sirovina. Deponije nastaju deponovanjem vlastitog građevinskog otpada koji nastaje rušenjem ili preuređenjem privatne infrastrukture, locirane na prostoru privatnog vlasništva. Često se nakon određenog vremena deponovani materijal uklanja od strane vlasnika prostora. Druga vrsta privatnih divljih deponija nastaju kao rezultat aktivnosti prikupljanja sekundarnih sirovina, tako da obitelji koje se bave prikupljanjem i prodajom sekundarnih sirovina u vlastitom dvorištu generišu manje deponije materijala koji nema upotrebnu vrijednost. Tretman tih deponija zavisi isključivo od vlasnika posjeda, a otpadni materijal se uglavnom

sastoji od čvrste plastike, elektronskog ili građevinskog otpada. Privatne divlje deponije imaju negativan uticaj na vizuelni ambijent zajednice, s obzirom da se često nalaze u urbanim lokacijama lokalne zajednice.



Slika 7. Primjer privatne divlje deponije u MZ Kiseljak, Tuzla

4. ZAKLJUČAK

U kontekstu potrebe očuvanja okoliša neophodnost je uspostaviti tretman lokalnih divljih deponija koje nastaju deponovanjem otpadnog materijala, različitog sastava, na širem prostoru lokalnih zajednica. U naučno-stručnom pogledu analiziraju se divlje deponije regionalnog karaktera koje, uglavnom, sadrže više od 100 m³ različitog miješanog otpadnog materijala. Potreba za analizama zasnovana je na značajnom negativnom utjecaju na okoliš – na tlo, vodu i vazduh, kao i posljedice koje nastaju utjecajem divljih deponija. S druge strane, lokalno formirane divlje deponije nisu predmet naučno-stručnog istraživanja s obzirom da su repetitivnog karaktera, ne smatraju se prijetnjom za okoliš i mogu biti uklonjene u kratkom roku i bez velikih troškova. Lokalne deponija i sadržaja otpadnog materijala, kategorišu se u sedam grupa pojavljivanja: kompaktne divlje deponije, linijski razučene divlje deponije, sočaste divlje deponije, infrastrukturne divlje deponije, padinske divlje deponije, prekrivene divlje deponije i privatne divlje deponije. Klasifikacija repetitivnih divljih deponija otpadnog materijala lokalnog karaktera istražena je i potvrđena na primjeru divljih deponija na prostoru mjesne zajednice Kiseljak, Tuzla. Klasifikacija lokalnih deponija omogućava sistemsko praćenje nastajanja, razvoja i uklanjanja divljih deponija koristeći informacione tehnologije i internet alate.

Dodatak 1. Primjer formirane baze podataka repetitivnih divljih deponija u MZ Kiseljak

DOI 10.51558/2303-5161.2023.11.11.9

Naučni rad

ODREĐIVANJE OPTIMALNE METODE ISKOPA TUNELA ZENICA U FUNKCIJI MINIMALNOG OŠTEĆENJA STIJENSKE MASE LOŠIJEG KVALITETA IZVAN PROFILA ISKOPA

Ekrem Bektašević¹, Reuf Kadrić², Kemal Gutić³, Sead Kadrić⁴

SAŽETAK

Koridor Vc unapređuje povezanost Bosne i Hercegovine sa susjednim zemljama i unapređuje potencijale za ekonomski razvoj. Autocesta Koridor Vc u Bosni i Hercegovini proteže se od sjeverne granice s Republikom Hrvatskom od Svilaja do Čapljine na južnoj granici s Republikom Hrvatskom, u Bijači. Tunel Zenica je dio autoceste na koridoru Vc na području općine Zenica i trenutno je najduži iskopani tunel ukupne dužine 3.330 metara. Radovi iskopa izvedeni su kombinacijom miniranja i strojnog iskopa. Iskop tunela je obavljen u sedimentnim tvorevinama (flišna serija Gornji Vranduk² JK). Iskopom tunela miniranjem s prilagođenim parametrima bušenja i miniranja u stijenskoj masi lošije kvalitete postižu se bolji rezultati u odnosu na strojni iskop.

Ključne riječi: tunel, stijenska masa, strojni iskop, bušenje, miniranje, proboj

1. UVOD

Tunel Zenica je dio autoceste na Koridoru Vc, dionica Općina Zenica, sjeverna administrativna granica (Nemila) - Zenica sjever, poddionica Ponirak - južni izlaz iz tunela Zenica. Tunel je projektiran s dvije tunelske cijevi od kojih svaka ima po dvije prometne trake širine 3,50 m i rubni pojas širine 0,35 m.

Početak iskopa lijeve tunelske cijevi je od stacionaže km 0+153,62, a kraj tunela, odnosno iskopa je na stacionaži km 3+435,614, a dužina lijeve tunelske cijevi je $L=3.281,994 \text{ m}$. Početak iskopa desne tunelske cijevi je na stacionaži km 0+155,76, a kraj tunela, odnosno iskopa je na stacionaži km 3+485,61, a dužina desne tunelske cijevi je $L=3.329,850 \text{ m}$.

Iskope lijeve tunelske cijevi u dužini od 2.395,36 m' i desne tunelske cijevi u dužini od 2.440,14 m' izveo je izvođač radova Euro-asfalt, dok je ostatak iskopa tunela izvela turska kompanija Cengiz. Maksimalna jalovina tunela Zenica je cca 470 m'.

Lijeva i desna tunelska cijev povezane su sa deset poprečnih prolaza za pješake i tri prolaza za vozila.

¹“PPG” d.o.o. Sarajevo, Ph.D, bektasevic.ekrem@gmail.com

²JP Autoceste FBiH Mostar, B.Sc (Mining), reuf.kadric@gmail.com

³ Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering - University of Tuzla, kemal.gutic@untz.ba

⁴“FM INŽENJERING” d.o.o. Sarajevo, B.Sc (Mining), sead.kadric@gmail.com



Slika 1. Geografski položaj tunela Zenica na trasi koridora Vc

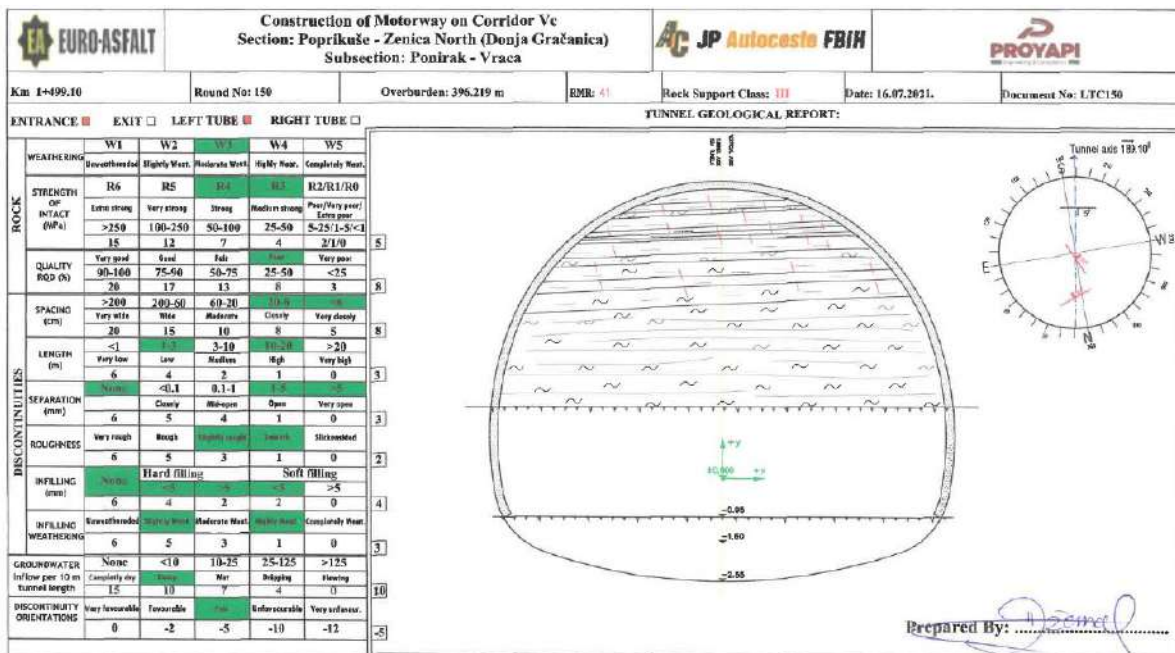
2. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE STIJENSKE MASE U ZONI ISKOPA TUNELA ZENICA

Litološki sastav terena predstavljen je mezozojskim tvorevinama (flišna serija Gornji Vranduk 2JK). Na temelju mineralno-petrografske analize stijena iz otkopa utvrđeno je da su u litološkom sastavu prisutni sljedeći litološki članovi: lapori, glinoviti lapori, tektonizirani hematitni glineneci i podređeno pješčenjaci. Na temelju geomehničke RMR klasifikacije za stijensku masu, geološkim kartiranjem definirani su sljedeći parametri od stacionaže 1+499,10 do 1+536,00 u lijevoj tunelskoj cijevi:

- Litološki sastav stijenske mase čine glineneci i laporci. Postotak glinenca je oko 60%, a lapora oko 40%. Glinenac karakterizira tanko slojevita tekstura i loša fizikalno-mehanička svojstva, dok lapor karakterizira slojevita tekstura i pelitno-klastična struktura.
- Na temelju dosadašnjih laboratorijskih i terenskih ispitivanja geološkim čekićem, jednoosna tlačna čvrstoća glinenca je u rasponu od 25 do 50 MPa, a lapora u rasponu od 50 do 100 MPa. Srednja vrijednost tlačne čvrstoće određena je na temelju postotnog udjela glinenca i lapora.
- Kvaliteta stijenske mase (RQD) izmjerena na čeonici iskopa je u rasponu od 25 do 50%, što odgovara izlomljenim stijenama loše kvalitete.
- Razmak diskontinuiteta je manji i kreće se od 6 do 20 cm, dok je duljina diskontinuiteta u granicama od 10 do 20 m.
- Otvor diskontinuiteta je zatvoren, a kreće se od 1 do 5 mm, dok se veći od 5 mm snimaju. Diskontinuiteti su glatki i blago hrapavi, ispunjeni tvrdim kalcitom i mekom glinovitom ispunom. Dominantan je diskontinuitet posteljine. Slojevi pogađaju okomito na os tunela s nagibom od 15° suprotno od smjera napredovanja iskopa tunela, što je dobra orijentacija sloja u odnosu na os tunela.
- Procjeđivanje podzemnih voda registrira se na kontaktu glinenca i lapora u obliku vlaženja (manje od 10 l/min).



Slika 2. Prikaz radne površine, stacionaža 1+499.10 - lijevi tunel



Slika 3. Geološki izvještaj, stacionaža 1+499.10 - lijeva tunelska cijev

U sljedećoj tablici prikazani su postotni udjeli projektiranih kategorija stijenskih masa i onih definiranih tijekom iskopa za obje tunelske cijevi.

Tablica 1. Prikaz postotaka kategorizacije stijenske mase (Projektirano-Pronađeno)

Rock mass categorization	Percentage of designed categories (%)	Percentage of actual categories defined by excavation (%)
Category III	96.43	45.72
Category IV	2.74	44.93
Category V	0.83	9.35
Total:	100.00	100.00

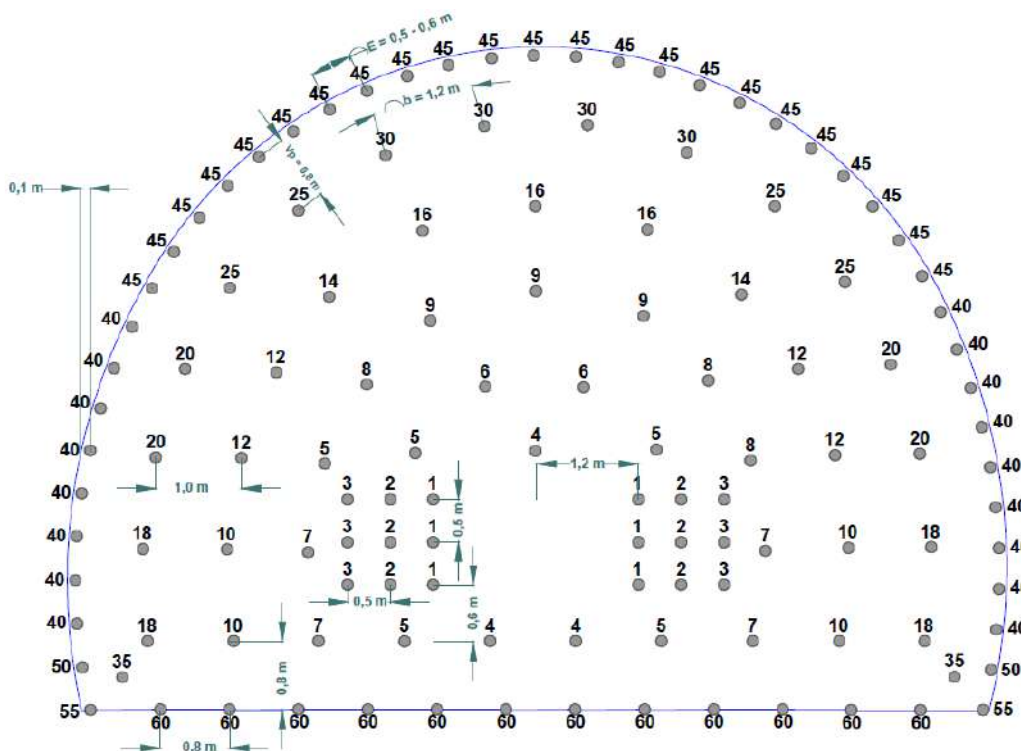
Iz prethodne tablice vidljivo je da postoje značajne razlike u postocima kategorizacije stijenske mase između projektiranih kategorija i stvarnih kategorija definiranih iskopom. Izvršena su geološka istraživanja kao podloga za izradu Glavnog projekta, ali ona nisu bila dovoljna za precizniju ocjenu geološke građe u zoni iskopa tunela Zenica, zbog čega su postojale značajne razlike između udjela projektiranih kategorija i stvarne kategorije definirane iskopavanjem.

3. ODREĐIVANJE OPTIMALNE METODE ISKOPA TUNELA ZENICA U STIJENSKOJ MASI NIŽE VRIJEDNOSTI RMR

Iskop tunela Zenica obavljen je novom austrijskom metodom tuneliranja (NATM). S obzirom na česte promjene inženjersko-geoloških svojstava stijenske mase u dijelu iskopa tunela, NATM je omogućio primjenu višefaznog iskopa, uz istovremeno osiguranje iskopa primarnom podgradom. Iskopi tunela su izvedeni strojno, miniranjem ili kombinacijom miniranja i strojnog iskopa, sve ovisno o geološkim karakteristikama stijenske mase u zoni iskopa tunela.

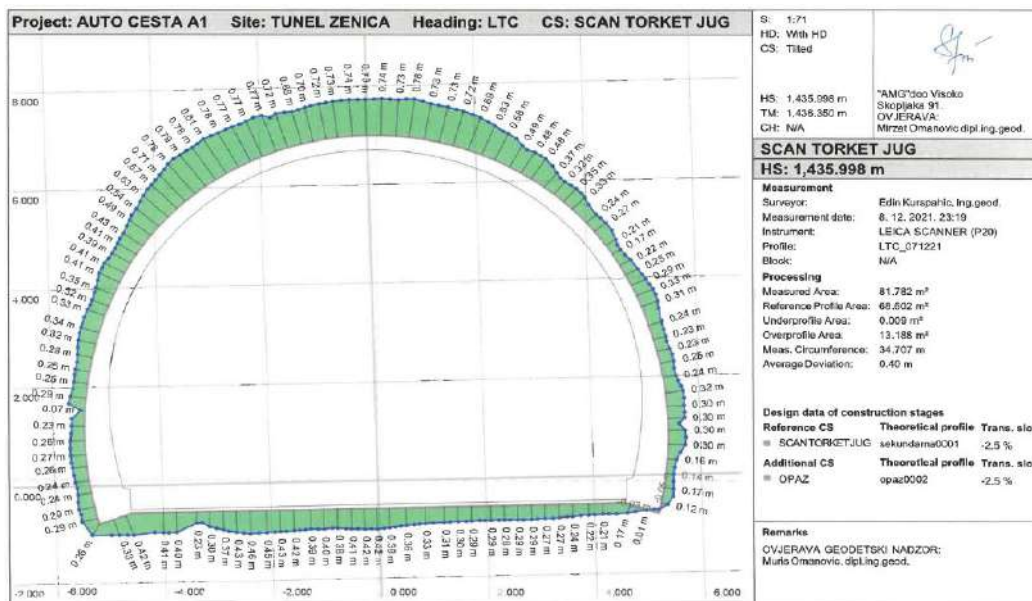
Na temelju izvedenih istražnih radova i raspoloživih geotehničkih podataka, glavnim geotehničkim projektom je procijenjeno da će se iskop tunela Zenica izvršiti u 96,43% stijenske mase kategorije III, a da će samo 3,57% biti IV i V kategorije. Na temelju procjene kategorija stijenske mase Dopunskim rudarskim projektom (SMP) obrađeni su svi tehničko-tehnološki parametri bušenja i miniranja za stijensku masu jednoosne tlačne čvrstoće 100 MPa, a na temelju usvojene čvrstoće, izračunati su svi tehnički parametri za bušenje i miniranje koji su navedeni u nastavku:

- q - specifični utrošak eksploziva $1,60(\text{kg}/\text{m}^3)$;
- Naux - broj pomoćnih miniranih rupa 69 (rupa);
- Nfloor - broj podnih bušotina 12 (rupa);
- Ncon - broj konturnih miniranih bušotina 44 (rupe);
- N - broj svih miniranih bušotina 125 (bušotina).



Slika 4. Shema rasporeda bušotina na poprečnom presjeku, kao i raspored detonatora po bušotinama, za korak napredovanja od 3,0 m'

Izvođač je za iskop tunela koristio metodu miniranja u obje tunnelske cijevi uz određene korekcije tehničkih parametara koje je približno odredio bez detaljne analize inženjerskogeoloških svojstava stijenske mase, te parametara bušenja i miniranja u slabijoj stijenskoj masi. RMR (32-43) i za posljedicu ima nepravilne oblike profila iskopa i značajne prelome koji su prelazili više od 13 m² po cijelom profilu tunela. Jedan takav tipičan profil iskopa tunela miniranjem prikazan je na geodetskoj snimci (Slika 5) čela tunela u LTT ispod, stacionaža 1+435.998.

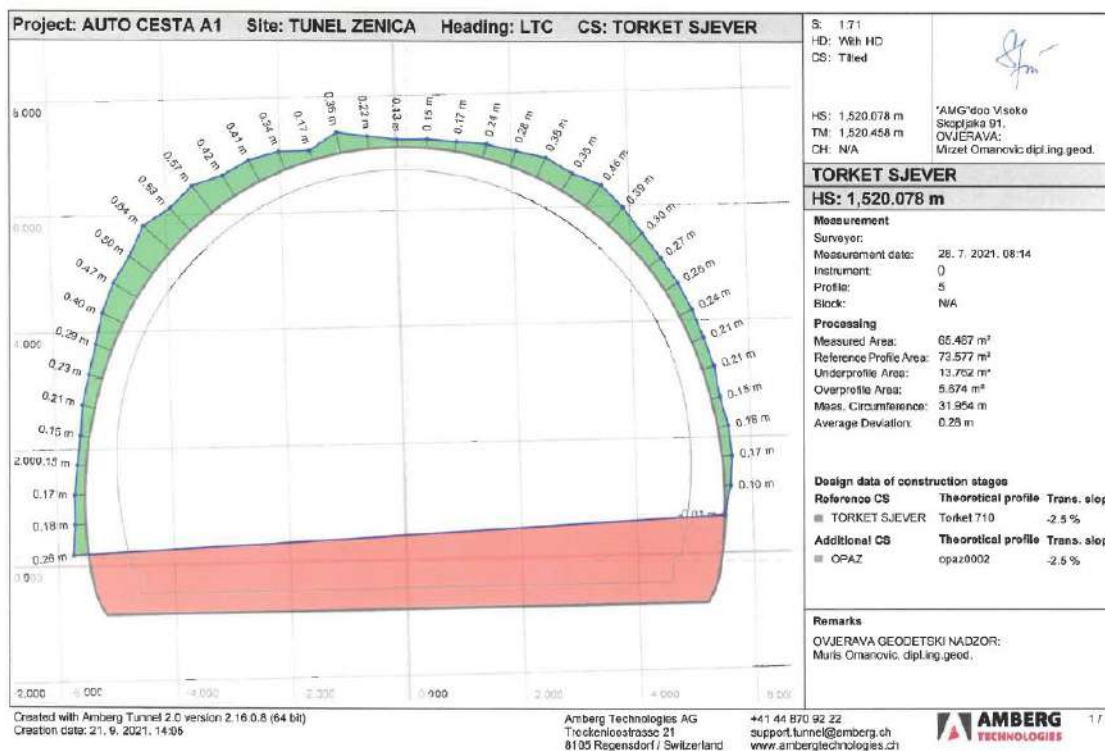


Slika 5. Geodetska izmjera nakon iskopa miniranjem u slabijoj stijenskoj masi

Nakon što su dobiveni vrlo loši rezultati iskopa tunela miniranjem, izvođač je odlučio da će iskope tunela u slabijim stijenskim masama (definirano RMR-om od 32 do 43) izvesti strojevima. Na sljedećoj slici (Slika 6) prikazan je puni poprečni presjek strojnog iskopa u LTT od stacionaže 1+518,00 do 1+520,00, dok je na slici (Slika 7) prikazan geodetski snimak začelja u LTT nakon strojnog iskopa iz stacionaže 1+518,00 u dužini od 2,0 metra.



Slika 6. Strojni iskop punog presjeka u LTT na stacionaži 1+518,00 do 1+520



Slika 7. Geodetska izmjera začelja u LTT nakon strojnog iskopa

Kao rezultat ove metode iskopa, izvođač je smanjio nadproboj sa 8-13 m² na nadproboj od 5-6 m², međutim, zbog strukturno-geoloških svojstava stijenske mase, iskop tunela čekićem i dalje je uzrokovao veliku prekinuti.

Svaki iskop tunela koji nije približno pravilnog oblika, kao i iskop veći od 3 m², ekonomski je neprihvatljiv, zbog čega su autori ovog rada poduzeli temeljitu analizu za utvrđivanje svih potrebnih bušenja, te parametri miniranja u slabijoj stijenskoj masi.

Određivanje koeficijenta čvrstoće stijenske mase (f)

Za izračunavanje okvirnih parametara bušenja i miniranja potrebno je odrediti koeficijent čvrstoće stijenske mase (f), koji je osnova za proračun broja bušotina miniranja na poprečnom presjeku tunela (kom), kao i specifični utrošak eksploziva (kg/m³). Koeficijent čvrstoće stijenske mase određen je Baronovom jednadžbom:

$$f = \frac{\sigma_p}{300} + \sqrt{\frac{\sigma_p}{30}}$$

Utvrđeni RMR od strane geologa i nadzora Izvođača [8] od stacionaže 1+499,10 do stacionaže 1+536,00 je 41, te je na temelju toga usvojena jednoosna tlačna čvrstoća, uzimajući u obzir sve ostale geomehaničke parametre za proračun od 40 MPa. kako bismo mogli izračunati koeficijent čvrstoće stijenske mase za navedeni dio tunela.

$$f = \frac{\sigma_p}{300} + \sqrt{\frac{\sigma_p}{30}} = \frac{400}{300} + \sqrt{\frac{400}{30}} = 4,98 \approx 5$$

Određivanje specifičnog utroška eksploziva u iskopima s jednom slobodnom površinom (q)

Kod izgradnje cestovnih, željezničkih i hidrotehničkih tunela (većih presjeka > 25,0 m²) specifični utrošak eksploziva određuje se na temelju površine presjeka prostorije, broja slobodnih površina iskopa, promjera bušenja eksplozijskih rupa, karakteristike eksploziva i karakteristike stijenske mase. Za izračun specifičnog utroška eksploziva može se koristiti jedna od najčešćih formula za određivanje ovog parametra miniranja, formula F. Laresa, koja uzima u obzir vrstu stijenske mase (njene fizikalne i mehaničke karakteristike), ali i vrstu upotrijebljenog eksploziva, a to je:

$$q = q_1 \cdot v \cdot s \cdot \frac{e}{g} \cdot d \cdot k \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Gdje je:

$$q_1 = \frac{\sigma_p}{2000}$$

σ_p - tlačna čvrstoća stijenske mase u kojoj se vrši miniranje, 40MPa=400bar;

v - koeficijent zadržavanja eksplozije (za jednu slobodnu površinu - čelo tunela) 2,5;

s - koeficijent kompleksa strukture stijenske mase za uvjete masivne homogene strukture 1,0;

g - koeficijent zbijenosti eksplozivnog punjenja (za plastične eksplozive) 1,0;

d - koeficijent bušenja (za rupe koje nisu dobro začepjene) 0,8;

k - korekcijski koeficijent (za odgovarajući omjer promjera rupe i promjera eksploziva) 1,0;

e - koeficijent relativne snage eksploziva i izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$e = \frac{A}{A_x}$$

Koeficijent čvrstoće stijene za date uvjete je:

$$q_1 = \frac{\sigma_p}{2000} = \frac{400}{2000} = 0,20$$

Koeficijent relativne snage eksploziva je:

$$e = \frac{A}{A_x} = \frac{480}{390} = 1,23 \approx 1,25$$

Koristeći Laresovu formulu i zamjenjujući izračunate vrijednosti koeficijenata u njoj, dobivamo specifičnu potrošnju eksploziva:

$$q = q_1 \cdot v \cdot s \cdot \frac{e}{g} \cdot d \cdot k = 0,20 \cdot 2,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{1,25}{1,0} \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,50 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Da bi se osigurao pozitivan učinak miniranja, specifični utrošak eksploziva dobiven proračunom treba povećati za cca 10%, tako da se za daljnji proračun usvoji specifični utrošak eksploziva od 0,55 (kg/m³).

Određivanje broja bušotina za iskop punog presjeka (Nb)

Postoji niz empirijskih formula i izraza pojedinih autora (Protođakonov, Sieberg, Š. I. Ibrajev) za približno određivanje broja bušotina. Ukupan potreban broj bušotina, uz postojanje jedne slobodne površine, ovisi o vrsti upotrijebljenog eksploziva, veličini poprečnog presjeka tunela i koeficijentu čvrstoće stijene, a dijeli se na dva različita izračuna:

$$N_b = N_p + N_k \text{ (buš.)}$$

Gdje:

N_p – je broj pomoćnih bušotina (bušotina);

N_k – broj konturnih miniranih bušotina (bušotina).

(Napomena: buš. = bušotina)

Određivanje broja pomoćnih bušotina (Np)

Broj pomoćnih bušotina može se odrediti na temelju nekoliko relacija, pri čemu je najbolje uzeti onu koja je u funkciji čvrstoće stijene koja se minira i površine poprečnog presjeka koji se kopa; jedna od takvih relacija je sljedeća:

$$N_p = 0,27 \cdot F_i \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot \sigma}{F_i}}$$

Gdje:

F_i - površina poprečnog profila koji se kopa (77 m² bez plitkih temelja);

σ - tlačna čvrstoća stijenskog masiva u kojem se vrši miniranje (40 MPa).

$$N_p = 0,27 \cdot F_i \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot \sigma}{F_i}} = 0,27 \cdot 77 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 40}{77}} = 47,39 \approx 48 \text{ (buš.)}$$

Određivanje broja konturnih miniranih rupa (N_k)

Da bismo odredili broj konturnih bušotina, prije svega moramo odrediti udaljenost između konturnih bušotina.

Udaljenost između konturnih naboja (u kruni tunela i zidovima) može se izraziti na temelju sljedeće relacije:

$$E = (12 \div 15) \cdot d(m')$$

Gdje:

d – je promjer bušotine 0,045 m'.

$$E = (12 \div 15) \cdot d = (12 \div 15) \cdot 0,045 = 0,55 \div 0,65(m')$$

S obzirom da se radi o slabijoj čvrstoći stijene, usvojena je srednja vrijednost: E=0,60 m'

Broj konturnih rupa ovisi o opsegu prostorije bez poda (P_o) i udaljenosti između konturnih bušotina i izračunava se prema formuli:

$$N_k = \frac{P_o}{E} (buš.)$$

Oba podatka su poznata, tako da:

$$N_k = \frac{P_o}{E} = \frac{21}{0,6} = 35(buš.)$$

Dakle, kod miniranja u punom presjeku, ukupan broj rupa od miniranja je:

$$N_b = N_p + N_k = 48 + 35 = 83(buš.)$$

Na temelju izračunatog razmaka između konturnih bušotina određujemo liniju najmanjeg otpora konturnih bušotina (W), prema sljedećem odnosu:

$$W = \frac{E}{m} (m')$$

Gdje:

E – je razmak između konturnih rupa 0,60 m';

m – koeficijent konvergencije bušotina, koji za slabije stijene u prosjeku iznosi 0,8.

$$W = \frac{E}{m} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75 \approx 0,80(m')$$

Određivanje geometrije polja eksplozije (a, b)

Poznata je udaljenost konturnih bušotina, kao i udaljenost podnih bušotina, dok se razmak između konturnih bušotina i prvog reda separacijsko-pomoćnih bušotina za tvrđe stijene određuje na temelju relacije:

$$V_p = W + (0,2 \div 0,3)(m')$$

W - je linija najmanjeg otpora u našem slučaju je 0,8 m', pa dobivamo:

$$V_p = W + (0,2 \div 0,3) = 0,8 + (0,2 \div 0,3) = 1,0 \div 1,1(m')$$

Udaljenost između pomoćnih minskih bušotina jednaka je liniji najmanjeg otpora pomoćnih minskih bušotina i izračunava se prema formuli:

$$b = k_z \cdot W$$

Gdje:

kz - je koeficijent konvergencije bušotine, za naš slučaj usvajamo 0,95;

W - linija najmanjeg otpora pomoćnih bušotina (m').

Linija najmanjeg otpora za pomoćne bušotine može se odrediti na temelju sljedeće formule:

$$W = d \cdot \sqrt{\frac{7,85 \cdot \rho \cdot k_p}{q \cdot k_z}} (m')$$

Gdje:

d - je promjer bušenja, u našem slučaju je 45 mm, tj. 0,45 dm;

ρ - nasipna gustoća eksploziva 1,45 kg/dm³;

q - specifični utrošak eksploziva 0,55 kg/m³;

kz - koeficijent konvergencije otvora je 1,0;

kp - koeficijent ispunjenosti poprečnog presjeka bušotine i izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$k_p = \frac{d_1^2}{d^2}$$

Gdje:

d₁ - je promjer eksplozivne patrone 38 mm;

d - je promjer rupe miniranja 45 mm.

$$k_p = \frac{d_1^2}{d^2} = \frac{38^2}{45^2} = 0,72$$

Dakle, možemo izračunati liniju najmanjeg otpora za pomoćne eksplozivne rupe:

$$W = d \cdot \sqrt{\frac{7,85 \cdot \rho \cdot k_p}{q \cdot k_z}} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{7,85 \cdot 1,45 \cdot 0,72}{0,55 \cdot 1,0}} = 0,45 \cdot \sqrt{14,9} \approx 1,74(m')$$

To znači da je udaljenost između pomoćnih bušotina jednaka:

$$b = k_z \cdot W = 0,95 \cdot 1,74 = 1,65(m')$$

Usvajamo razmak između pomoćnih bušotina od 1,60 do 1,70 (m). Količina eksploziva za jedno miniranje izračunava se prema formuli:

$$Q = q \cdot S \cdot l (kg)$$

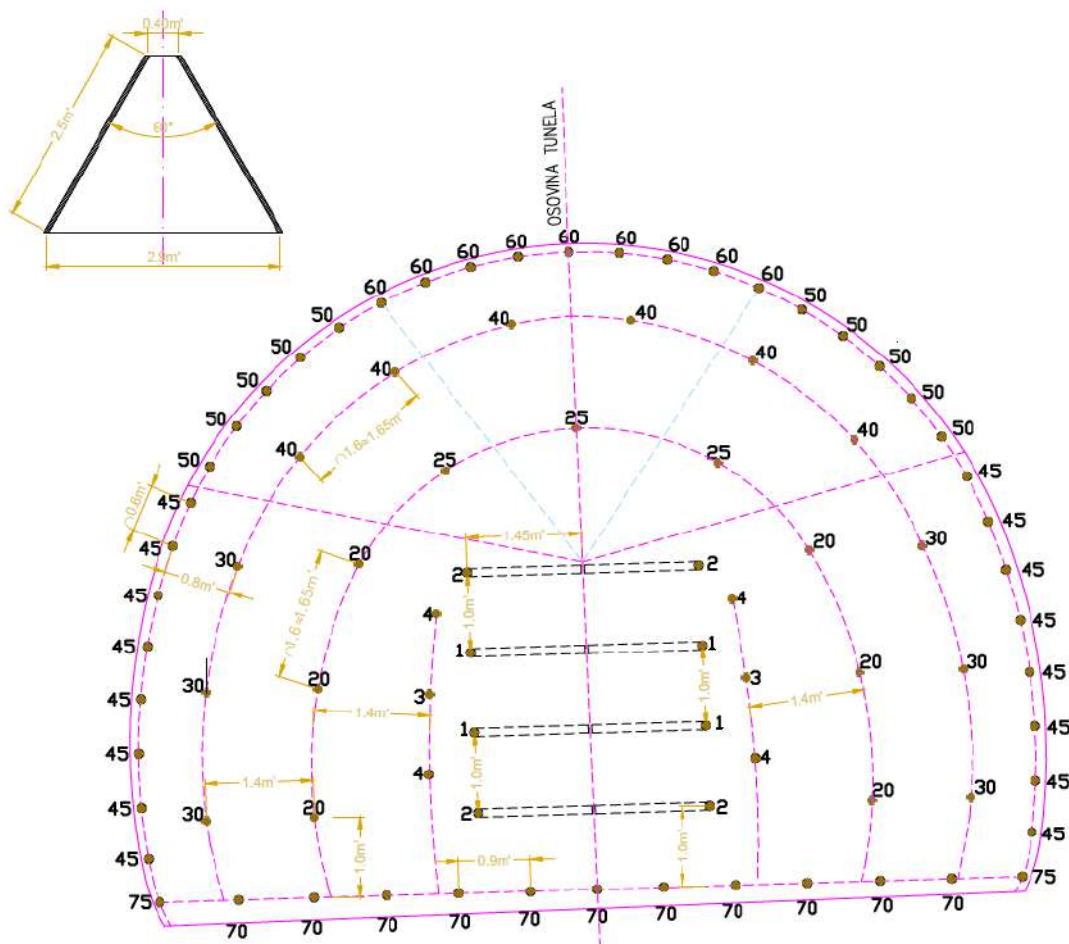
Gdje:

- q - je specifična potrošnja eksploziva $0,55 \text{ kg/m}^3$;
- S - površina poprečnog presjeka iskopa, u našem slučaju iznosi cca 77 m^2 ;
- l - duljina bušotine cca $2,0 \text{ m}$.

Tako dobivamo utrošak eksploziva po miniranju za korak napredovanja od $2,0 \text{ m}$ u iznosu od:

$$Q = q \cdot S \cdot l = 0,55 \cdot 77 \cdot 2,0 = 84,70 (kg)$$

Na temelju svih definiranih i proračunatih parametara izrađena je shema rasporeda rupa na pročelju tunela, kao i shema rasporeda nizova neelektričnih detonatora po bušotinama, koja je prikazana u nastavku.



Slika 8. Nova shema rasporeda rupa i detonatora na čeonj strani tunela

Raspored serije neelektričnih detonatora dat je na skici brojevima 1-75. Spajanje neelektričnih detonatora u mrežu provodi se pomoću detonatorskog štapina C-10 ili C-12 za svaki detonator posebno. Spajanje se izvodi tako da se detonirajući štapin C-10 (C-12) spoji na svaki vod neelektričnog detonatora pojedinačno i pričvrsti na vod detonatora posebnom plastičnom kopčom koja se proizvodi u tvornici i isporučuje na svaki provodnika detonatora.

Detonatorski štap se iznosi izvan polja eksplozije na kraću udaljenost od 2 do 3 m' od radne površine, gdje se izolir trakom pričvrsti za električni detonator, koji se dalje spaja na glavni vod rešetke polja eksplozije, koji vodi do stroja za pjeskarenje.

Tablica 2. Pregled količina, vrsta eksploziva i neelektričnih detonatora po pojedinim bušotinama za jedan korak napredovanja, s dubinom bušotina 2,0 m'

OVERVIEW OF THE QUANTITIES OF EXPLOSIVES BY BLAST HOLES													
Series of non-electric detonators used	1	2	3	4	20	25	30	40	45	50	60	70	75
Number of holes of the series	4	4	2	4	6	3	6	6	16	10	9	11	2
Total number of holes	83.00												
Σ expl. per hole (kg/hole)	1.61	1.60	1.60	1.60	1.60	1.44	1.60	1.43	0.256	0.256	0.256	1.60	1.80
Σ expl. for one blasting (kg)	84.70												

U nastavku su date osnovne tehničke karakteristike sredstava za iniciranje i eksploziva koji su korišteni prilikom iskopa lijeve tunelske cijevi tunela Zenica u dijelu koji se razmatra u ovom radu.

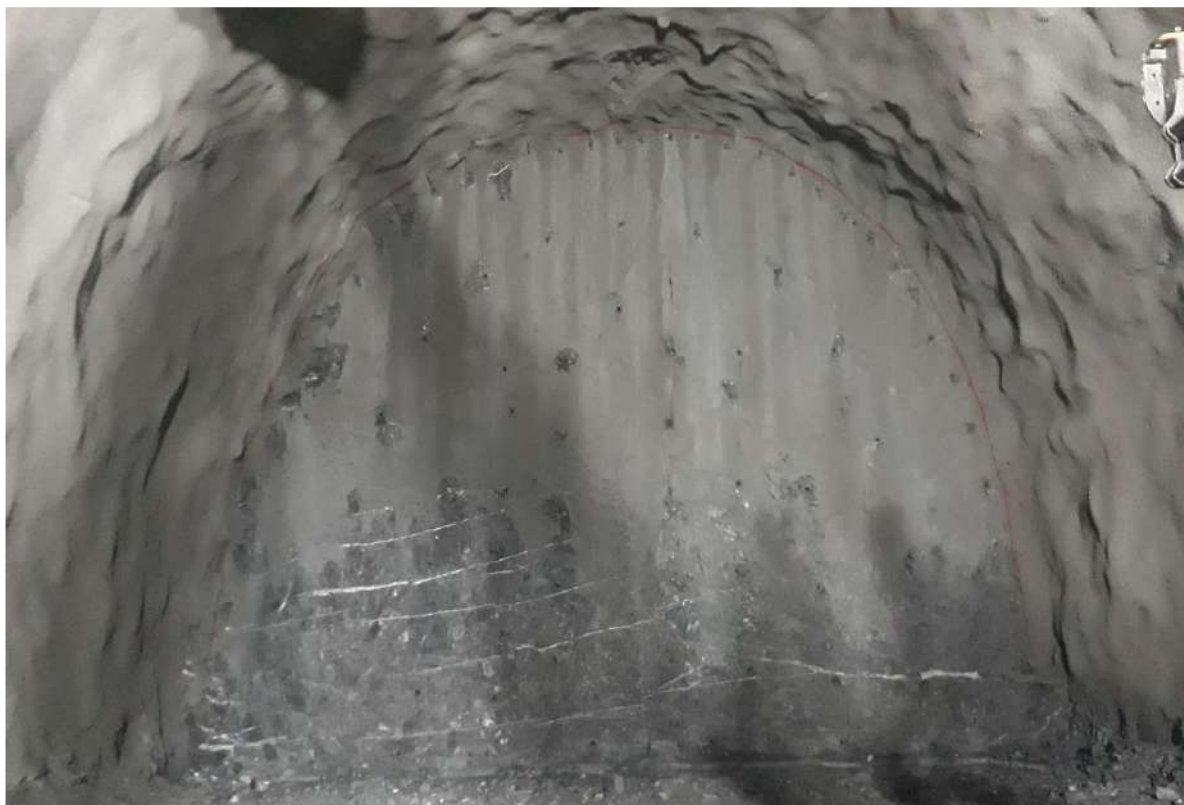
Tablica 3. Pregled korištenih neelektričnih detonatora

The serial non-electric detonators used marked on the layout scheme of blast holes	1	2	3	4	20	25	30	40	45	50	60	70	75
Delay (ms)	100	200	300	400	2000	2500	3000	4000	4500	5000	6000	7000	7500

Tablica 4. Pregled osnovnih karakteristika korištenih eksploziva

Characteristics of explosives used	Plastic explosive	Contour explosive
Density (kg/dm ³)	1.20	1.10
Explosion energy (KJ/kg)	4850.00	4850.00
Gas volume (l/kg)	921.00	921.00
Cartridge diameter (mm)	38.00	27.00
Cartridge length (mm)	400.00	230.00
Cartridge weight (kg)	0.475	0.128

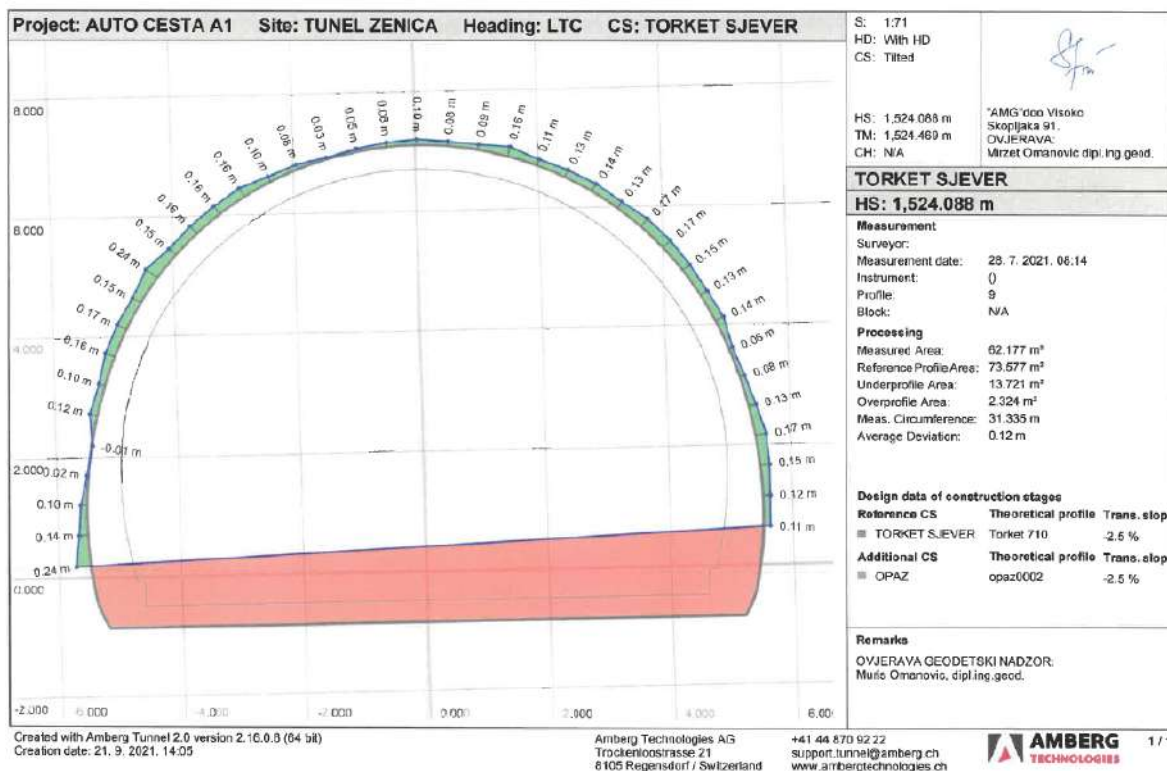
Definiranjem sheme bušotina (Slika 8) s rasporedom detonatora po bušotinama na presjeku za iskop tunela Zenica u slabijoj stijenskoj masi RMR (33+43), svi dobiveni parametri bušenja i miniranja na stacionaži 1. Primijenjeno je +522,08, što je prikazano na slikama ispod. Na fotografiji (Slika 9) prikazano je lice LTT-a na stacionaži 1+522,08 nakon bušenja svih bušotina prema definiranoj shemi (Slika 8). Nakon što su izbušene sve rupe za miniranje na navedenoj stacionaži, pristupilo se nasipavanju i miniranju uz pridržavanje svih definiranih tehničkih parametara (Slika 8. i Tablice 2. i 3.). Po završetku miniranja i provjetravanja radilišta, izvršen je utovar i odvoz miniranog materijala te obrada profila iskopa (Slika 10) i geodetska verifikacija linije iskopa u LTT na stacionaži 1+524.088 (Slika 11).



Slika 9. Poprečni presjek čela LTT na stacionaži 1+522,08 nakon završetka bušenja svih bušotina prema definiranoj shemi



Slika 10. LTT presjek čela na stacionaži 1+524.088 nakon miniranja i obrade poprečnog presjeka



Slika 11. Geodetski snimak čele u LTT na stacionaži 1+524.088 nakon završetka iskopa miniranjem prema definiranoj shemi

ZAKLJUČAK

Ponašanje konture podzemnog iskopa prvenstveno je kontrolirano strukturno geološkim karakteristikama stijenske mase. U karbonatnim stijenama opća stabilnost konture iskopa svodi se na pojavu lokalnih nestabilnosti u vidu ispadanja blokova zbog gubitka smične čvrstoće diskontinuiteta. Dubina oštećene zone miniranjem ima najveći utjecaj na iniciranje lokalne nestabilnosti. Ako je pretjerano, može dovesti do progresivnog lokalnog sloma, odnosno ugrožavanja stabilnosti cijelog podzemnog otvora. Kako bi se potvrdili ili korigirali parametri bušenja i miniranja definirani dopunskim rudarskim projektom, uobičajeno je da se u svakoj kategoriji izvode probna miniranja stijenske mase koja je projektom predviđena za miniranje.

Pažljivom analizom svih raspoloživih tehničko-tehnoloških parametara u tunelu Zenica odabrana je optimalna metoda iskopa tunela, koja je osigurala približno pravilan oblik iskopa, te manji proboj tunela. Prilikom strojnog iskopa pojedinih dionica tunela Zenica, oblik iskopnog profila kao i prelomne površine uvelike je ovisio o strukturno geološkim karakteristikama stijenske mase i osposobljenosti radnika koji je upravljao iskopnim strojem, što se direktno odražavalo na ekonomska isplativost iskopa tunela.

Također, iskop pojedinih dionica tunela metodom bušenja i miniranja u slabijoj stijenskoj masi zbog neprilagođenosti svih parametara bušenja i miniranja geološkim uvjetima u kojima je tunel iskopan rezultirao je negativnom ekonomskom isplativošću. u odnosu na iskop tunela u istim uvjetima metodom mehaničkog iskopa.

Odabirom optimalne metode iskopa minimizirana je zona oštećenja neizbježna pri iskopu miniranjem u smislu da je minimalno smanjena čvrstoća i krutost stijenske mase oko konture iskopa što je rezultiralo očuvanjem nosivosti. stijensku masu kao najvažniji nosivi element. Ovakvim pristupom smanjene su količine potpornih elemenata i troškovi izgradnje tunela Zenica.

REFERENCE

1. Dopunski rudarski projekt za izvođenje rudarskih radova pri otkopavanju Tunel Zenica na Koridoru Vc, poddionica Ponirak - Južni portal Zenica tunel, prosinac 2019.
2. Kovačević, J.: Savremeno građenje u podzemlju, AGM Knjiga, Beograd-Zemun, 2014.
3. Jovanović, P.: Izrada podzemnih prostora velikog profila, Građevinska knjiga, Beograd, 1984. godine.
4. Antičević, H., Dobrilović, M., Perković, H.: Zona oštećenja stijenske mase pri iskopu tunela miniranjem (zona oštećenja stijenske mase uzrokovana miniranjem tijekom iskapanja tunela), Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 2012. (monografija).
5. Karlovac, Z.: Miniranja pri iskopu tunela Čardak na rijeka – Zagreb, autocesta, FMGPE Zagreb, 2008.
6. Langefors, U., Kihlstrom, B.: Moderna tehnika miniranja stijena, Wiley, New York, 1978. Godine.
7. Bektašević, E., Antičević, H., Osmanović, F., Kadrić, S., Žutić, Đ., Konta, J.: Miniranje tehnologije za iskop evakuacionog tunela Vranduk II na magistralnoj cesti M-17, Elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, (str.49-60), (ISSN 2232-9080 (mrežno izdanje) i DOI: 10.47960/2232-9080), glavni urednik: Mirna Raič, dr. sc.
8. Inženjersko geološki izvještaj za Projekt tunel Zenica (Ponirak-Vraca), lijevi tunel cijev TZ-LTC-150, datum: 19. srpnja 2021.

VREMENSKA SLIKA RADA I OTKAZA/ZASTOJA TRANSPORTNOG KOMPLEKSA NA SEPARACIJI ZD RUDNIKA UGLJA „GRAČANICA“ D.O.O. GORNJI VAKUF –USKOPLJE

Rusmir Razić¹, Sunčica Mašić², Nedžad Alić³

REZIME

U radu je dat prikaz i analiza vremenske slike rada i otkaza/zastoja transportnog kompleksa na separaciji ZD Rudnika uglja „Gračanica“ D.O.O. Gornji Vakuf – Uskoplje. Rad tretira prikupljanje i metode obrade podataka. Prikupljanje podataka je trajalo godinu dana, podaci su analizirani i prikazani u radu. Ispravno utvrđeno stanje rada i otkaza/zastoja, omogućava preventivne mjere i izbor strategije za naredni period. Na osnovu provedenih istraživanja izvedeni su zaključci koji su otkazi/zastoji uticali na zastoje transportnog sistema i separacije u cjelini, te na osnovu zaključaka dati prijedlozi aktivnosti koji bi ove zastoje smanjili na neku prihvatljivu vrijednost.

Ključne riječi: rudnik, ugalj, efektivan rad, otkaz, zastoj, transportni kompleks, separacija, transporter sa trakom, grabuljar

UVOD

ZD Rudnik uglja „Gračanica“ D.O.O. Gornji Vakuf - Uskoplje nalazi se na desnoj obali rijeke Vrbas, sedam kilometara sjeverozapadno od Gornjeg Vakufa-Uskoplja i osam kilometara jugoistočno od Bugojna. Rudnik uglja se bavi proizvodnjom i pripremom uglja lignita. Trenutno rudnik vrši eksploataciju uglja na PK „Dimnjače“. Površinski kop "Dimnjače" kao i objekti separacije uglja, te prateći objekti mehaničarska radiona i upravna zgrada nalaze se na teritoriji opštine Gornji Vakuf-Uskoplje.

Eksploatacija na površinskom kopu "Dimnjače" počela je u 1986. godini, a separisanje uglja vršeno je sa separacijom čiji je kapacitet bio cca 50 t/h i uglavnom se dobijao ugalj frakcije (0-60 mm). Pošto je povećan plasman uglja, a i površinski kop "Gračanica" je bio u završnoj fazi eksploatacije, pristupilo se izgradnji nove separacije na površinskom kopu "Dimnjače". U vrlo kratkom periodu izgradnja objekata separacije je završena do 1987. Godine. Na slici 1. prikazana je tehnološka šema separacije ZD Rudnika uglja „Gračanica“ D.O.O. Gornji Vakuf – Uskoplje.

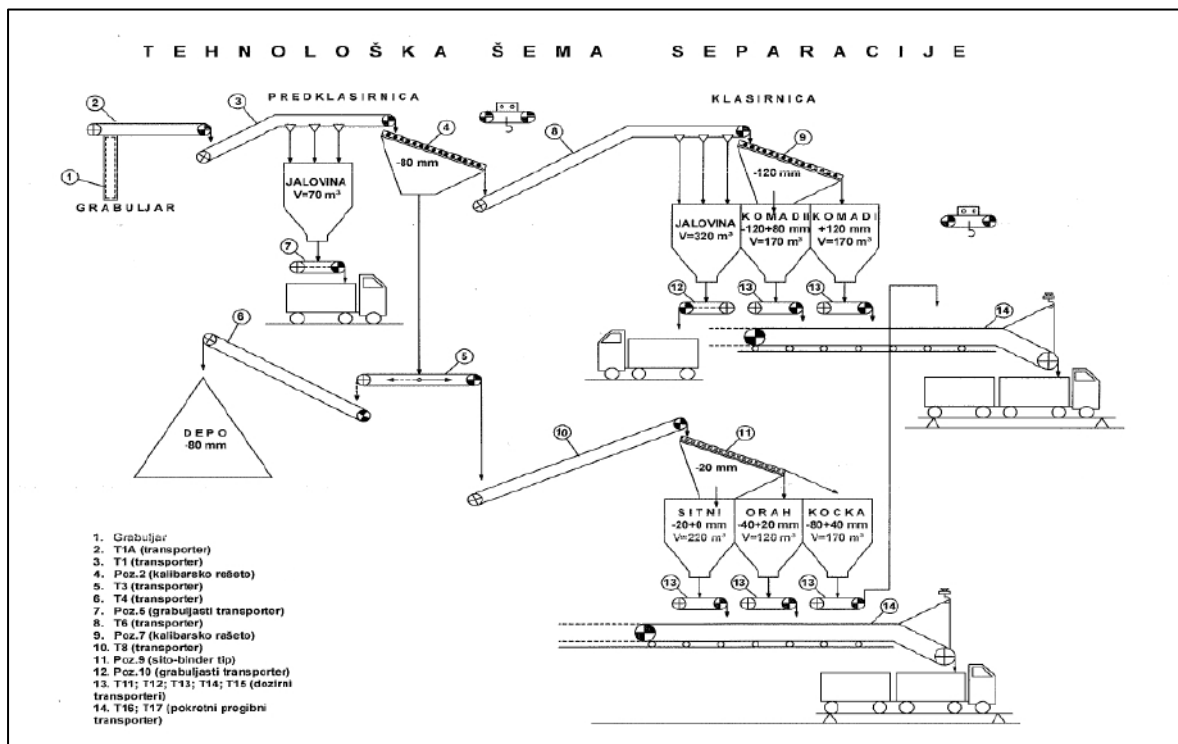
Kroz ovaj rad posmatrane su sve pojedinačne radne jedinice (elementi sistema: grabuljasti transporter i transporter sa gumenim trakama) kao i sistem u cjelini. Da bi se dobila potpuna informacija o ponašanju kontinuiranog transportnog sistema kao i pojedinih elemenata sistema, neophodno je raspolagati velikim brojem podataka o vremenima rada i zastoja/otkaza transportera (elemenata sistema) na separaciji uglja PK „Dimnjače“.

¹Magistar, Rudnik uglja „Gračanica“ D.O.O Gornji Vakuf – Uskoplje, rusmirr@live.com

²Redovni profesor, RGGF Tuzla, Univerzitet u Tuzli, Univerzitetska 2, BiH, suncica.masic@untz.ba

³Vanredni profesor, RGGF Tuzla, Univerzitet u Tuzli, Univerzitetska 2, BiH, suncica.masic@untz.ba

Transportni sistem na separaciji ima u sklopu trinaest transportera sa gumenom trakom (T1A, T1, T3, T4, T6, T8, T11, T12, T13, T14, T15 T16 i T17), tri grabuljara, kalibarsko rešetko 80x80 mm, kalibarsko rešetko 120x120 mm, jednoetažno sito i komandni pult.



Slika 1. Transportni sistem na separaciji


2. PRIKUPLJANJE PODATAKA O RADU I ZASTOJIMA SEGMENTATA TRANSPORTA NA SEPARACIJI

Razmjena informacija i komunikacija između nadzorno-tehničkog osoblja i rukovaoca radnih mašina, pomoćne i druge opreme, kao i komunikacija između samih rukovaoca strojeva ostvaruje se putem telefonske veze. Telefonske veze su instalisane kao stabilne u separaciji, upravi i radionicama za opravke.

Poslovođa ili nadzornik separacije uglja putem radio i telefonske veze komunicira i razmjenjuje informacije sa dispečerom komandnog pulta rukovaocem grabuljara te rukovaocima utovarnih mašina kao i transportnih mašina. Poslovođe smjene ili nadzornici na separaciji putem radio veze ili usmeno usmjeravaju kamione, pomoćnu opremu i drugu mehanizaciju prema situaciji u proizvodnom procesu i određuju prioritete usmjeravanjem na opsluživanje ka određenim segmentima separacije [11].

Na kraju smjene dežurni mehaničar odnosno bravar i električar upisuje u svesku nadzora sve opravke koji su se dogodile na separaciji tokom smjene opisujući kvar koji se dogodio, te vremenski interval koliko je trajala opravka.

Prikupljene podatke poslovođa smjene kontroliše i upisuje u knjigu smjenskog izvještaja, te iste predaje tehničkom rukovodiocu kopa i separacije, (slika 2.).



JP Elektroprivreda BiH d.d. - Sarajevo
Zavisno društvo Rudnik uglja »GRAČANICA« d.o.o.
Gornji Vakuf-Uskoplje

DNEVNI IZVJEŠTAJ RADA ASORTIMANSKE PROIZVODNJE UGLJA

DATUM:

SMJHNA:

Asortiman	IZVRŠENJE PLANA TONA								RADNA SNAGA															
	Smj. učinak				Kumulativ m:				Posl.		Ruk. utov.		Ruk. dr. i gr.		Ruk. T1 i 2A		Birači jal.		Disp. na K.P.		Vagaoc		Elek.	
	Pl.	Ostv.	Pl.	Ostv.	%	Depo	T4		br	h	br	h	br	h	br	h	br	h	br	h	br	h	br	h
Komad 1																								
Komad 2																								
Kocka																								
Orah																								
Sitni																								
Mješani																								
UKUPNO																								

Breviar	Banjar											UKUPNO	
br	h	br	h	br	h	br	h	br	h	br	h	br	h

Odsutno	Bo	Go	Vv	Pd	Nd	Oi	Ni	UKUPNO
	br	h	br	h	br	h	br	h

RAD UTOVARNE MEHANIZACIJE

UTOVARNA MAŠINA	UČINAK				EF. SATI	ZASTOJI h				OBRAZLOŽENJE ZASTOJA	UTROŠAK kg.							Rukovaoc mašine	
	Uglji		Jalov			Kvar	TZ	Serv	Gume		Nafta	Hip	Hid	M ulje	ATF	Uk2	T.M.		Ant.
	tura	iona	tura	m ³ ostv.															
UKUPNO																			

RAD TRANSPORTNE MEHANIZACIJE

TRANSP. MAŠINA	OSTVARENO TURA NA FUNKCIJI			EF. SATI	ZASTOJI h				OBRAZLOŽENJE ZASTOJA	UTROŠAK kg.							Rukovaoc mašine		
	U	J	O		Kvar	TZ	Serv	Gume		Nafta	Hip	Hid	M ulje	ATF	Uk2	T.M.		Ant.	
UKUPNO																			

RAD TR. SISTEMA I SEPERACIJE

VRSTA ZASTOJA h	Kom. dijel.	TS ZA DOVOZ UGLJA							PREDKLASIRNICA I KLASIRNICA								WCA	Ukupno							
		Drob	Grab	T2A	T1A	Mosl T1	T1	K.res. 80m	Grab T1	T3	T4	T6	T8	K.res. 120mm	Bind. sila	Grab 2.			T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17

PROBLEMATIKA

Poslovođa.....
Tehn. rukovodilac.....

Slika 2. Dnevni izvještaj rada asortimanske proizvodnje uglja

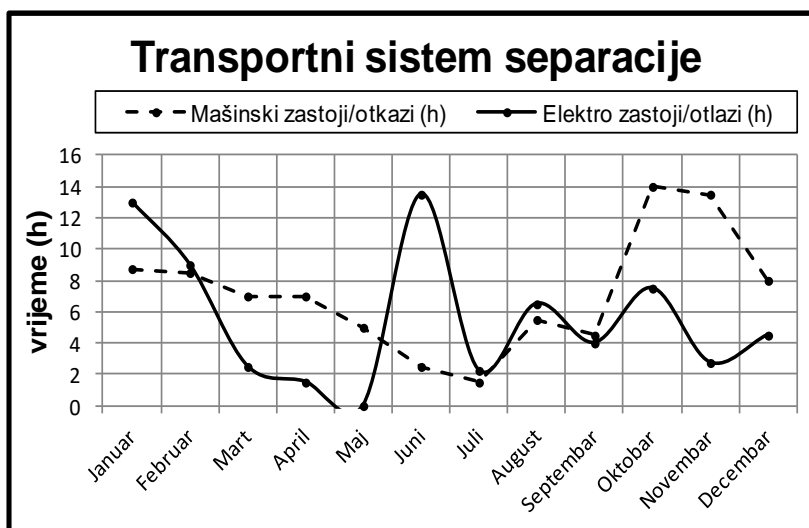
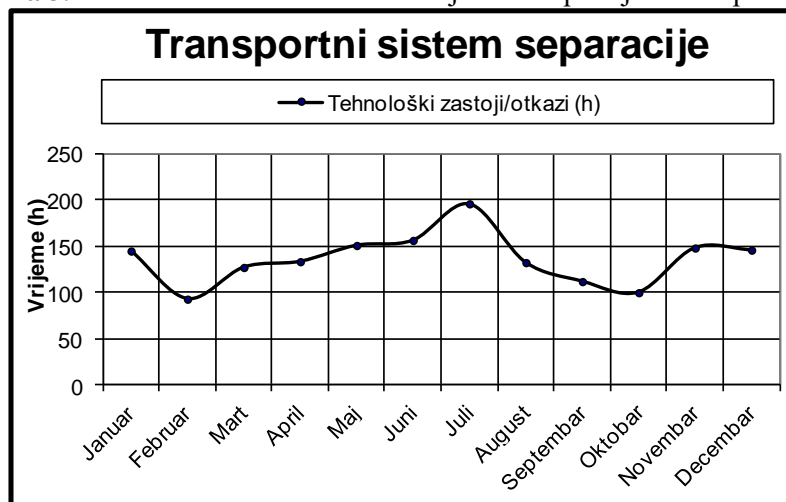
Za period od 12 mjeseci izvršena je sistematizacija podataka o vremenima rada i zastoja/otkaza svih članova transportnog sistema.

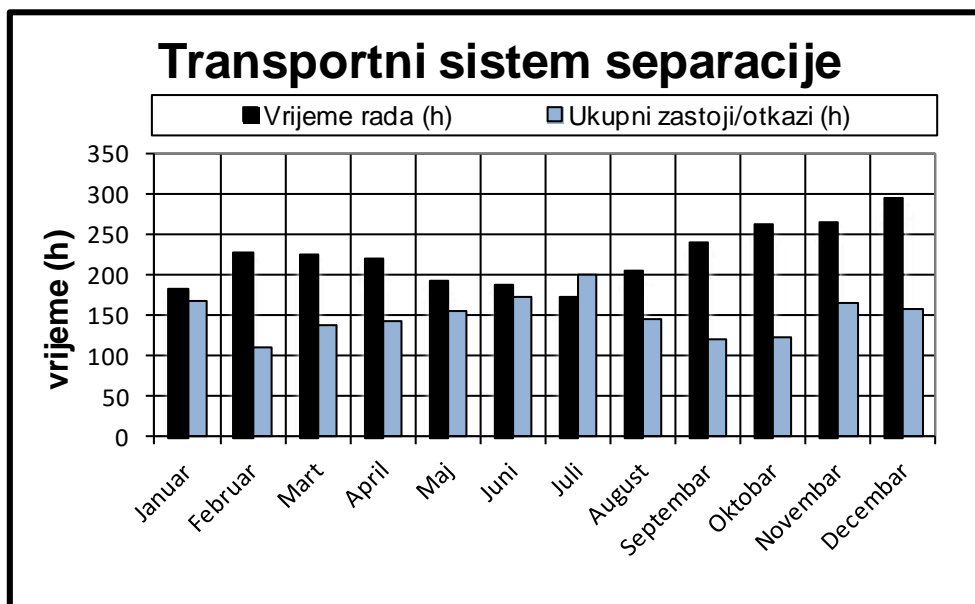
3. VREMENSKA SLIKA RADA I OTKAZA/ZASTOJA TRANSPORTNOG KOMPLEKSA NA SEPARACIJI

Da bi se dobili bazni parametri, moralo se izvršiti praćenje i prikupljanje vremenskih informacija o radu i zastojima/otkazima transportnih jedinica. Na osnovu prikupljenih informacija vezanih za osnovnu transportnu opremu na separaciji, istražena je vremenska slika rada i otkaza/zastoja. U tabeli 1. dat je prikaz registrovanih vremenskih podataka transportnog sistema na separaciji.

Tabela 1. Registrovani vremenski podaci o radu i zastoja/otkazima za transportni sistema

Transportni sistem separacije						
Mjesec/2013	Vrijeme rada (h)	Tehnološki zastoji/otkazi (h)	Kvar		Ukupni zastoji/otkazi (h)	Ukupno vrijeme u toku mjeseca (h)
			Elektro zastoji/otkazi (h)	Mašinski zastoji/otkazi (h)		
Januar	181,25	145,00	13,00	8,75	166,75	348
Februar	225,50	93,00	9,00	8,50	110,50	336
Mart	223,25	127,25	2,50	7,00	136,75	360
April	218,00	133,50	1,50	7,00	142,00	360
Maj	192,00	151,00	0,00	5,00	156,00	348
Juni	187,50	156,50	13,50	2,50	172,50	360
Juli	172,25	196,00	2,25	1,50	199,75	372
August	203,50	132,50	6,50	5,50	144,50	348
Septembar	239,50	112,00	4,00	4,50	120,50	360
Oktobar	262,50	100,00	7,50	14,00	121,50	384
Novembar	263,50	148,25	2,75	13,50	164,50	428
Decembar	293,50	146,00	4,50	8,00	158,50	452
UKUPNO	2662,25	1641,00	67,00	85,75	1793,75	4456

**Slika 3.** Prikaz mašinskih i elektro zastoja/otkaza po mjesecima praćenja**Slika 4.** Prikaz tehnoloških zastoja/otkaza po mjesecima praćenja

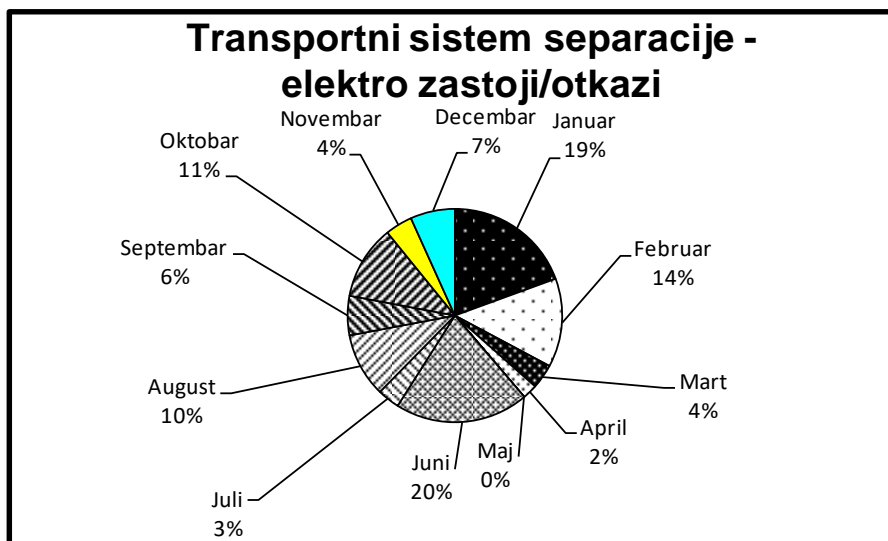


Slika 5. Prikaz efektivnog vremena rada i ukupnih zastoja/otkaza po mjesecima praćenja

Na osnovu podataka o vremenskom stanju rada i zastoja/otkaza, transportni sistem separacije do poz. 7 i poz. 9 u periodu praćenja (12 mjeseci) može se zaključiti da je:

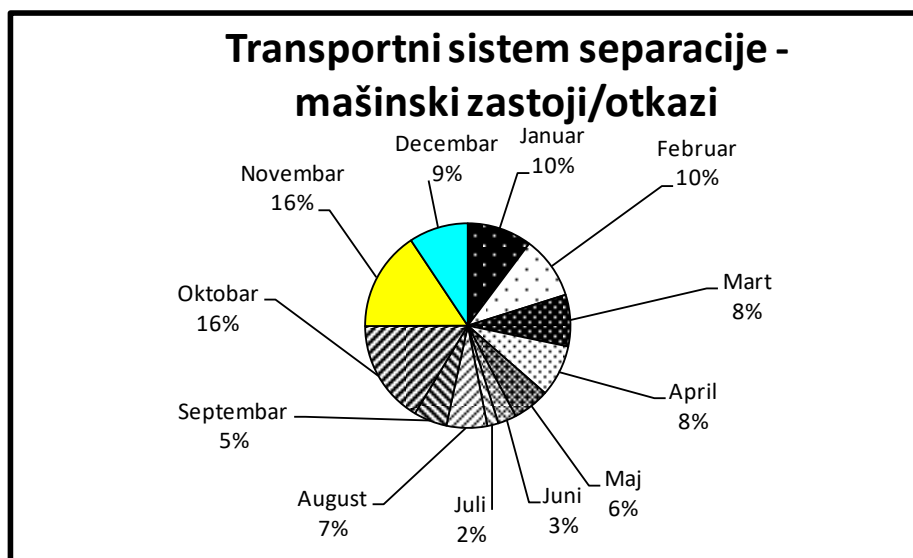
- ukupno vrijeme trajanja efektivnog rada za posmatrani period 2662,25 (h),
Prosječno vrijeme rada za jedan mjesec posmatranja 221,85 (h),
- ukupno vrijeme trajanja elektro zastoja/otkaza 67,00 (h),
Prosječno vrijeme trajanja elektro zastoja/otkaza za jedan mjesec posmatranja 5,58 (h),
- ukupno vrijeme trajanja mašinskih zastoja/otkaza 85,75 (h),
Prosječno vrijeme trajanja mašinskih zastoja/otkaza za jedan mjesec posmatranja 7,15 (h),
- ukupno vrijeme trajanja tehnoloških i organizacionih zastoja/otkaza 1641,00 (h),
Prosječno vrijeme trajanja tehnoloških i organizacionih zastoja/otkaza za jedan mjesec posmatranja 136,75 (h),
- ukupno vrijeme trajanja svih zastoja/otkaza 1793,75 (h),
Prosječno vrijeme trajanja svih zastoja/otkaza za jedan mjesec posmatranja 149,48 (h).

Na osnovu prethodnih podataka može se zaključiti da je transportni sistem separacije do pozicije 7 i pozicije 9; 59,75 % raspoloživog vremena proveo u radu, 1,5 % u elektro zastoju/otkazu, 1,9 % u mašinskom zastoju/otkazu, a 36,83 % u tehnološkom i organizacionom zastoju/otkazu.



Slika 6. Procentualno učešće elektro zastoja/otkaza po mjesecima praćenja

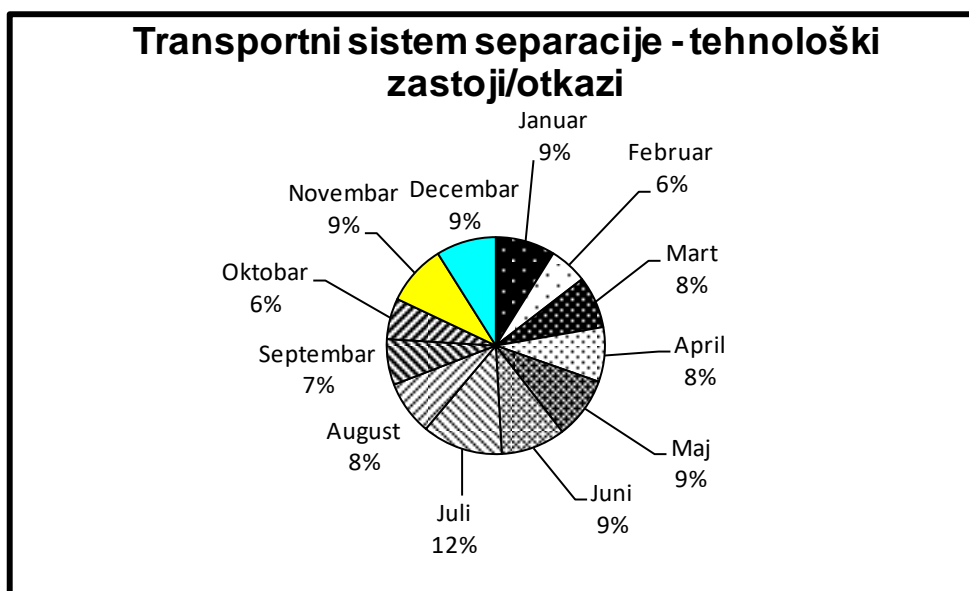
Elektro zastoji/otkazi su zabilježeni tokom 11 mjeseci, dok u maju mjesecu nisu zabilježeni elektro zastoji/otkazi, ostali mjeseci su se kretali od 2 do 20 %, (13,5 do 1,5 h), najčešći kvarovi su opravka utičnice, opravka prekidača, popravka razvodne kutije, zamjena bočnog prekidača, ubacivanje prekidača bočni sklop, zamjena zvučnog signala, nestanak el energije, deblokiranje prekidača poteznog užeta, opravka razvodnog ormara, opravka zvučne signalizacije, uključivanje poteznog užeta, zglavljena pečurka, opravka tastera, mjenjanje elektro motora, zamjena smjera kretanja, zamjena ležaja kod motora, opravka i štelovanje zvučnog signala.



Slika 7. Procentualno učešće mašinskih zastoja/otkaza po mjesecima praćenja

Registrovani mašinski zastoji/otkazi su se tokom 12 mjeseci kretali od 2 do 16 %, (1,5 do 14,00 h). Otkazi/zastoji koji prate ove transportere mašinskog tipa su centriranje trake, mjenjanje valjaka, mjenjanje grabulje, mjenjanje spojnika na lancu, varenje lanca, skraćivanje lanca, španovanje lanca, dosipanje ulja u reduktore, podmazivanje, u zimskom period odmrzavanje noževa, pomješani noževi, podmazivanje, kvar na noževima (ležajevi), podmazivanje, spajanje trake (ušivanje), podmazivanje valjaka, zamjena bočnih

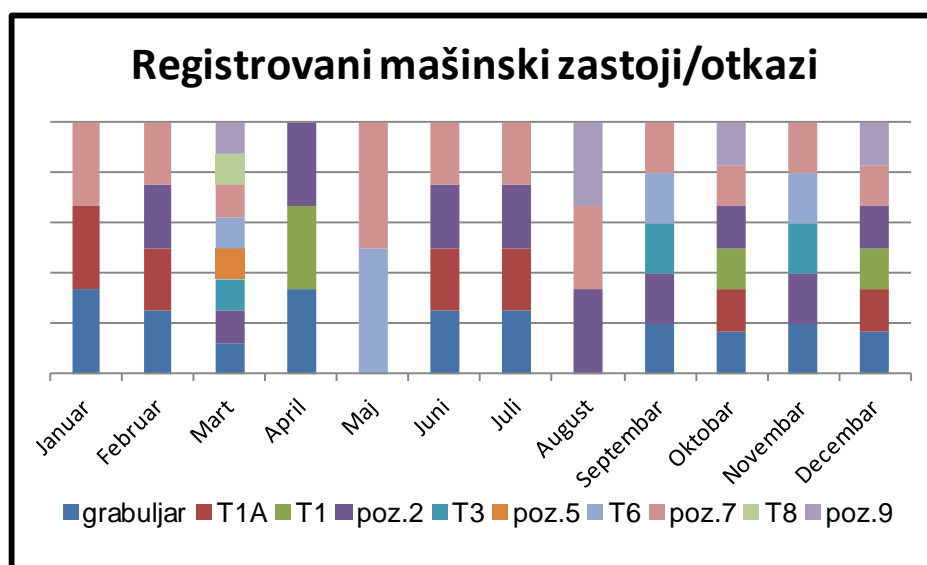
valjaka, iskakanje trake, zamjena ležaja, podmazivanje lanca, proklizala hidro spojnica, spajanje lanca i opravak noževa, varenje kućišta, varenje štitnika itd.



Slika 8. Slika Procentualno učešće tehnoloških zastoja/otkaza po mjesecima praćenja

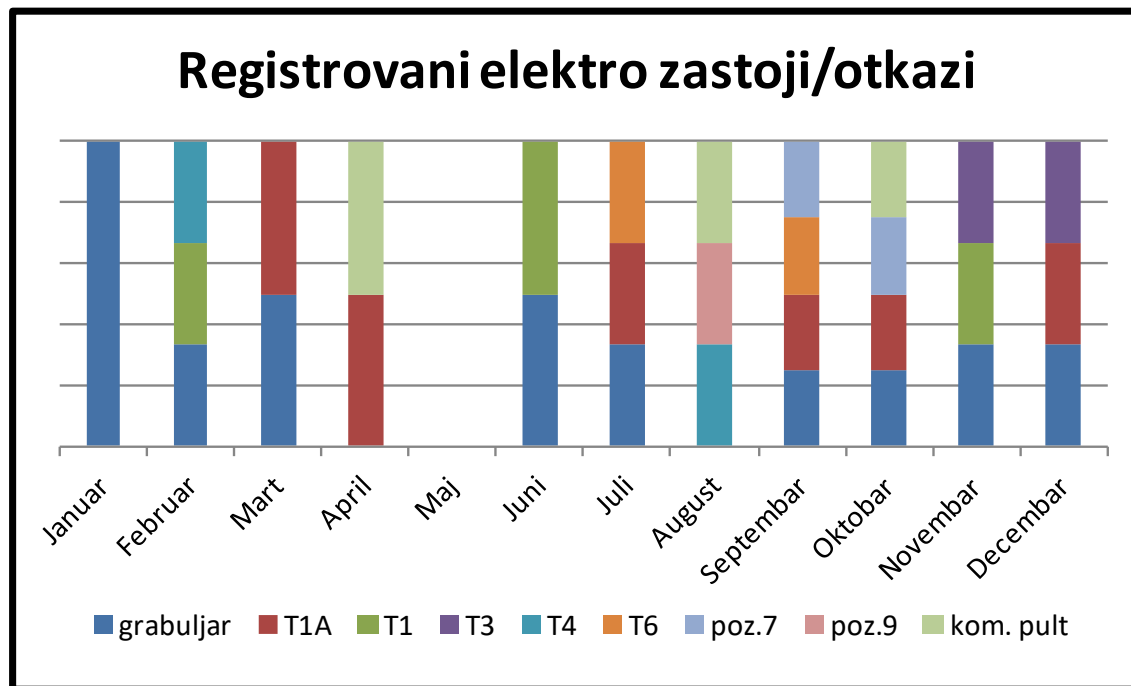
Transporteri u toku 12 mjeseci praćenja najviše tehnoloških zastoja/otkaza su imali u sedmom jeseću 12 % , dok su se u ostalim mjesecima zastoji/otkazi kretali između 6, 7, 8 i 9%. Tehnološki zastoji koji prate ove transportere najčešće su ljudski faktor, čekanje na utovarač ili separacija nije uključivana u rad kao i pojedini transporteri.

Svi elementu u sastavu transportnog kompleksa su imali u toku dvanaest mjeseci registrovane tehnološke zastoje/otkaze. Pojedini elementi u sastavu transportnog sistema na separaciji u toku praćenja imali su registrovane mašinske i elektro zastoje/otkaze, dok pojedini nisu.



Slika 9. Registrovani mašinski zastoji/otkazi po pojedinim mjesecima

Element pozicije 7 u toku 11 mjeseci imao je registrovanih mašinskih zastoja/otkaza, dok je grabuljar imao registrovane zastoje/otkaze u toku 10 mjeseci. Element pozicije 2 je u toku 10 mjeseci imao registrovanih mašinskih zastoja/otkaza, a pozicije 9 u toku 4 mjeseca, dok su transporter T1A u toku 6 mjeseci, T1 u toku 3 mjeseca, pozicija 5 i T8 transporter u toku jednog mjeseca i T6 u toku 4 mjeseca. Ostali transporteri i pozicije nisu imali registrovane zastoje.



Slika 10. Registrovani elektro zastoji/otkazi po pojedinim mjesecima

Element pozicije 7 u toku 2 mjeseca imao je registrovane elektro zastoje/otkaze, grabuljar u toku 9 mjeseci, transporter T1A u toku 6 mjeseci, T1 u toku 3 mjeseca, T3 u toku 2 mjeseca, komandni pult u toku 3 mjeseca, T6 i pozicija 7 u toku 2 mjeseca, transporter T4 u toku 2 mjeseca, a pozicija 9 u jednom mjesecu. Ostali transporteri/elementi nisu imali registrovane mašinske zastoje.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih istraživanja može se zaključiti da najviše vremena transportni sistem nije radio zbog sljedećih registrovanih tehnoloških zastoja:

- ljudski faktor,
- čekanje na utovarač,
- učestali zastoji na traki T6 zbog izdvajanja jalovine,
- prazni koševi,
- čišćenje i pranje dozera,
- separacija nije uključivana u rad.

Prijedlog aktivnosti da bi ovi zastoji bili smanjeni na neku prihvatljivu mjeru:

- zastoji vezani za ljudski faktor iznosili su 246 sati zbog kašnjenja na radno mjesto. Uz strogi nadzor tehničkog i nadzornog osoblja ovi zastoji se mogu smanjiti na podnošljivu mjeru.

- u proizvodnji neophodno je da ima najmanje 2 utovarivača, ali da bi se smanjio zastoje čekanja separacije zbog utovarivača postoji potreba i za trećim.
- transporter T6 je transporter sa kojeg se izdvaja jalovina. Sadržaj jalovine koji se ne izdvoji sa njega je ključan za kvalitet uglja u koševima. Zbog toga u periodukada se nalazi veliki sadržaj jalovine u materijalu koji nailazi na traku transportera T6 taj transporter se često zaustavlja, a to dovodi do zaustavljanja ostalih transportera. Za što manje zastoje transportera potrebno je obezbjediti što bolji kvalitet rovnog uglja i povećati broj radne snage na izdvajanju jalovine sa T6 transportera.
- prazni koševi su vezani za dozirne transportere i oni su u stanju čekanja. Da bi se poboljšao sistem proizvodnje i tok materijala na trakama neophodno je ravnomjerno rasporediti material na trakama, a to se postiže samo sa dva utovarivača koja material sa depoa prebacuju na grabuljar koji ga transportuje dalje u separaciju. Na taj način bi se koševi ravnomjernije i brže punili, a dozirni transporteri bi imali manji tehnološki zastoje.
- zbog potrebe da se separacija očisti i opere rad na separaciji mora biti obustavljen. Isključivanjem struje separacija ne radi, ali za to vrijeme radi stara separacija koja drobi material koji se transportuje na depo tako da proizvodnja nije ugrožena.

Prezentirane metode obrade, analize i izdvajanja bitnih informacija o parametrima rada i zastojima/otkazima transportnog sistema u separaciji na ovakav način i na našim prostorima je prvi puta urađena i može se ponoviti za kontinuirani transportni sistem na drugim separacijama. Doprinos ovoga rada stručnoj literaturi je, da po prvi put određena vremenska slika rada i otkaza/zastoja transportnog sistema na separaciji i na osnovu podataka dati prijedlog mjera koji vodi ka povećanju efektivnog vremena rada.

LITERATURA

1. Ivanović, G. (1978.) Alokacija pouzdanosti-optimizacije i izbor najboljeg cilja rešenja, Tehnika II, Beograd
2. Hodžić, S. (1998.) Transport u rudarstvu, Tuzla, RGGF Univerzitet u Tuzli
3. Sunčica Mašić, Sadudin Hodžić (2008.): CIKLIČNI TRANSPORT, Cyclical transport, University of Tuzla, Copygraf, Tuzla, ISBN 978-9958-9067-4-9, COBISS.BH-ID 17093638
4. Belak, S. (2005.) Terotehnologija, Šibenik (<https://dokumen.tips/documents/terotehnologija-56818221c9b73.html?page=1>, preuzeto 10.10.2022.god)
5. Glavni rudarski projekat PK „Dimnjače“ Gornji Vakuf (Knjiga I – tekst), 1986. god.
6. Dopunski rudarski projekat dobivanja otkrivke i uglja na PK „Dimnjače“ rudnika „Gračanica“ (Knjiga I – tekstualni dio), 1996. god.
7. Glavni rudarski projekat (1986.) Tehnički projekat Klasirnice uglja za „Rudnik Gračanica“ PK „Dimnjače“ Gornji Vakuf Mašinsko – tehnološki dio Knjiga I (prilog sa sklopnim crtežima)
8. Glavni rudarski projekat (1986.) Tehnički projekat Klasirnice uglja za „Rudnik Gračanicu“ PK „Dimnjače“ Gornji Vakuf Mašinsko – tehnološki dio Knjiga II (prilog sa sklopnim crtežima)
9. Glavni rudarski projekat (1988.) Tehnički mašinsko – tehnološki projekat Transportnog sistema za dopremu uglja PK „Dimnjače“
10. Uputstvo za rukovanje (1988.) Transportnog sistema za dopremu uglja PK „Dimnjače“, „Rudnik Gračanica“ PK „Dimnjače“ Gornji Vakuf
11. Uputstvo za rukovanje i održavanje klasirnice uglja (1988.) „Rudnik Gračanica“ PK „Dimnjače“ Gornji Vakuf
12. Glavni mašinski projekat (1987.) Klasirnica i Predklasirnica lignita PK „Gračanica“ Gornji – Vakuf, „Rudnik Gračanica“ PK „Dimnjače“ Gornji Vakuf

DOI 10.51558/2303-5161.2023.11.11.33

Naučni rad

UNAPREĐENJE TEHNIČKIH MJERA ZA POSTUPANJE U AKCIDENTNIM SITUACIJAMA NA GASNOM SISTEMU

Zvezdan Karadžin¹ Haris Burek², Edisa Nukić³

SAŽETAK

Zbog svojstava kao što su zapaljivost, eksplozivnost, zagušljivost (smanjenje sadržaja kiseonika), otrovnost (nepravilno izgaranje), velikih dužina gasovoda, opasnosti od curenja i sl. prirodni gas spada u medije koji zahtijevaju posebnu brigu prilikom transporta i korištenja. Mnogo je primjera u svijetu gdje je nestručno i nesavjesno korištenje gasa dovelo do nesagledivih i tragičnih posljedica u kojima su stradali ljudi i nastale velike materijalne štete.

U radu je analizirano upravljanje akcidentnim situacijama na gasnom sistemu Kantona Sarajevo. Umjesto predstavljanja ideliziranih modela koji integrišu sve strukture koje su nadležne za postupanje u ovakvim akcidentnim situacijama, kroz dvije studije slučaja predstavice se problematični aspekti upravljanja. Metodološki pristup u ovom radu je odabir akcidenata na gasnoj mreži koji su imali značajan uticaj i zahtijevali koordiniran odgovor nadležnih službi. Cilj je da se razmotre mogućnosti unaprijeđenja tehničkih mjera ugradnjom ventila sa daljinskim upravljanjem, čime bi se sigurnost podigla na viši nivo. Ovim iskorakom u tehnološkom smislu bilo bi omogućeno zatvaranje ventila na gasnom sistemu u najkraćem periodu upravljanjem iz dispečerskog centra čime bi se zaustavilo nekontrolisano isticanje gasa.

U radu će se predložiti lokacije na koje bi bilo optimalno ugraditi ventile s daljinskim upravljanjem, kako bi se zatvorila neophodna dionica, a da pri tome što manji broj potrošača bude ugrožen prekidom snabdjevanja gasa.

Ključne riječi: gasni sistem, akcident, tehničke mjere

UVOD - GASNI SISTEM KANTONA SARAJEVO

Gasna mreža na području Kantona Sarajevo je koncipirana kao višestepeni distributivni sistem. Osnovna gradska gasna mreža izvedena je kao čelični gasovod pritiska 8 (14,5) [bar] i 3 (4) [bar], koja je zbog ravnomjernosti snabdjevanja kupaca gasom izvedena u obliku prstena, tako da osnovu za distribuciju gasa čini čelična gasna mreža pritiska 8 (14,5) [bar] sa tri glavne mjerno-regulacione stanice (GMRS-a): Butile, Hum i Ilijaš. Pri ulasku u najgušće naseljene dijelove grada taj pritisak se iz sigurnosnih razloga reducira u redukcionim stanicama sa 8 (14,5) [bar] na 3 (4) [bar]. Na ovu gasnu mrežu priključene su rejonske redukcionne stanice (RRS) za snabdjevanje određenog gradskog područja i prijemno redukcionne stanice (PRS) za snabdjevanje većih industrijskih i drugih kupaca. Izlazni pritisci iz ovih stanica su 0,1 (0,2) [bar], 0,5 [bar] ili 3 [bar] što zavisi o daljnjem načinu distribucije i korištenja gasa.

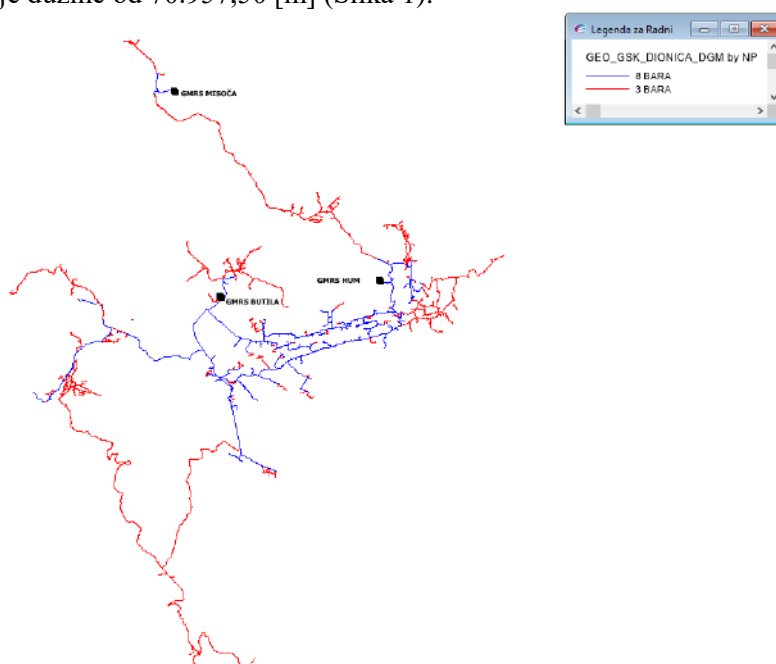
¹ Prof., Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološki fakultet Tuzla, BiH, zvezdan.karadzin@untz.ba

² Student, master studij Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološki fakultet Tuzla, BiH, burek.harish@gmail.com

³ Prof., Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološki fakultet Tuzla, BiH, edisa.nukic@untz.ba.

Gasna mreža pritiska 8 (14,5) [bar] je podijeljena na 24 dionice i sadrži 33 baterije ventila, interventne ventile za RRS-ove i PRS-ove, ventile odvojaka i sekcijske ventile za 53 RRS-a, 93 PRS-industrijskih potrošača i 27 PRS-ova za kotlovnice Toplana. Na ovoj mreži se nalazi ukupno 519 ventila raznih promjera. Baterije imaju funkciju zatvaranja dotoka gasa na određenim dionicama gasne mreže i eventualno ispuštanje gasa pomoću odzračnih ventila koji su sastavni dio baterija. Gasna mreža pritiska 8 (14,5) [bar] izgrađena je sa čeličnim cijevima i proteže se od GMRS I u Butilama i sa dva kraka (sjeverni i južni) zatvara u prsten, a završava se sa RRS-ovima 8/3 [bar] koji snabdjevaju gasom uži dio grada i sa GMRS II na Humu. Samostalnu cjelinu ove gasne mreže čini i dio mreže 8 (14,5) [bar] u Općini Ilijaš koja se napaja preko GMRS III. Ukupna dužina ove mreže iznosi 101.839 [m].

Opšta karakteristika gasne mreže 3(4) [bar] jeste da je izvedena kao podzemni cjevovod od čeličnih i polietilenskih cijevi različitih poprečnih presjeka. Ova mreža pokriva većinu gradskih općina. Gasna mreža pritiska 3(4) je dužine od 70.957,50 [m] (Slika 1).



Slika 1. Gasna mreža KS 8 [bar] i 3 [bar]⁴ [8]

Gasna mreža pritiska 0,1(0,2) bar i 0,5 [bar], izgrađena je sa polietilenskim cijevima i pokriva cijelu teritoriju Kantona Sarajevo. Prema brojčanim pokazateljima dužine položenih cjevovoda, radi se o najvećoj mreži sa ukupnom dužinom od 1.074.453,50 [m].

U nedavnoj prošlosti Sarajevogasa⁵ bilježi se niz ozbiljnijih oštećenja na gasovodima nazivnog pritiska 3 [bar] i 8 [bar] pri kojima nije bilo materijalnih posljedica, kao ni ljudskih žrtava. No, ovakve situacijama su ukazale da postoje elementi koji nisu u domenu odgovornosti kompanije a koji su mogli uticati na daljni tok same akcidentne situacije. Imajući u vidu da djelovanjem na terenu nije uvijek moguća adekvatna i odgovarajuća reakcija, neophodno je unapređenjem tehničkih mjera na gasnom sistemu omogućiti brže i djelotvornije postupanje u akcidentima, što kao rezultat donosi podizanje nivoa sigurnosti u navedenim situacijama. Ove mjere ne bi bile vezane za djelovanje ljudskog faktora na terenu, već za koordiniranje i aktivnosti dispečerskog centra.

U ovom radu su analizirane mogućnosti za unapređenje tehničkih mjera u vidu ugradnje ventila s daljinskim upravljanjem iz dispečerskog centra.

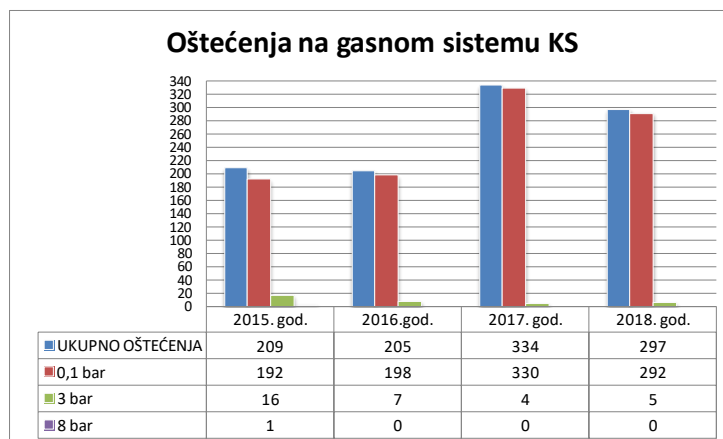
⁴ mreža od 100 mbar-a zbog svoje veličine tj. gustine nije prikazana kao ni gasna postrojenja, odnosno stanice

⁵ Sarajevogas“ d.o.o. Sarajevo je preduzeće za snabdijevanje prirodnim gasom Kantona Sarajevo

1. STUDIJE SLUČAJA

Rizik od curenja gasovoda u gradovima je veliki i dešava iz se višestrukih razloga. Glavni razlozi su oštećenja cijevi, korozija, problemi u samoj izvedbi cjevovoda, oštećenja od treće strane, oštećenja nastala zbog prirodnih (okolinskih) faktora kao što su npr. klizanja tla.

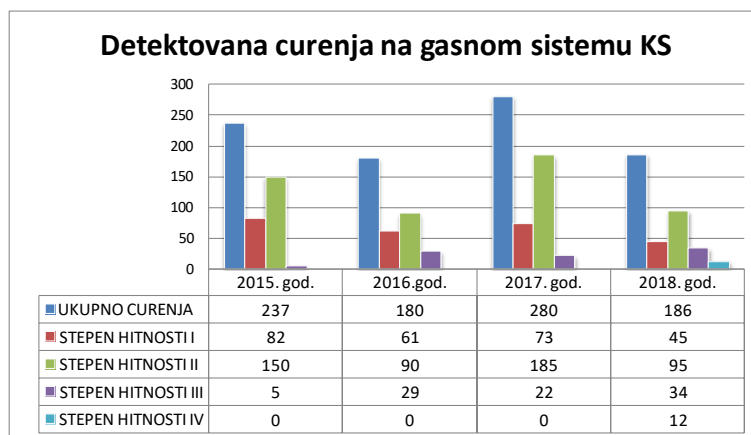
U periodu posmatranja 2015-2018 bilježe se oštećenje na gasnom sistemu KS pri čemu dominiraju ona na sistemu 0,1 [bar] (Dijagram 1).



Dijagram 1 - Statistika oštećenja po mreži (pritisk u cijevi) u periodu 2015-2018. godina (izvor: Sarajevogas)

U svrhu pružanja pomoći pri odlučivanju o preduzimanju mjera za sprečavanje moguće opasnosti, kao i pomoći pri odlučivanju o vrsti i redoslijedu otklanjanja šteta za podzemne gasovode definisana su 4 stepena hitnosti, pri čemu je stepen hitnosti 1 najvišeg nivoa ugroze (eksplozije, požari, isticanja gasa većih razmjera, oštećenje distributivne gasne mreže, i sl.) a 4 najniže (redovno održavanje gasnog sistema).

Na Dijagramu 2 dat je pregled detektovanih curenja gasa na gasnom sistemu KS u periodu 2015-2018 godina s obzirom na stepen hitnosti. Najveći udio u ukupno registrovanim curenjima u svakoj godini otpada na nivo hitnosti II : mjesto nalazišta ili granična linija se nalazi na udaljenosti manjoj od 1 metra od zgrade pri čemu se ne registruje prisustvo gasa u zgradi i objektima ili šupljim prostorima u blizini nalazišnog mjesta. U sigurnosne mjere za stepen hitnosti II, koje se neodložno provode, spadaju npr. otkopavanje (oslobađanje) voda s ciljem omogućavanja nesmetanog odvođenja gasa u atmosferu, kontrola susjednih objekata i šupljih prostora, nakon čega se vrše popravke.



Dijagram 2 - Statistika detektovanih curenja gasa u periodu 2015-2018. godina (izvor: Sarajevogas)

Detekcija je jedan od važnijih segmenata održavanja gasnog sistema, čiji je zadatak provođenje planskih mjera za provjeru distributivnog gasnog sistema na propusnost kao i vizuelna kontrola ispravnosti dijelova distributivnog gasnog sistema. Nakon detektovanja isticanja gasa poduzimaju se odgovarajuće mjere. Neophodno je, ako ima objekata u blizini, da se izvrši detekcija i u njima.

Više je mogućih pristupa i načina postupanja prilikom akcidenata sa zemnim gasom. Neophodno je da postoje procedure odnosno pisani dokumenti koji će definisati uloge i zadatke lica koja učestvuju u saniranju akcidenta kao i onih koji rukovode, bilo da je rukovođenje na samom licu mjesta ili posredno iz određenog centra putem sistema komunikacija.

Kroz studije slučaja u ovom radu istraženo je upravljanje kriznim situacijama pri nekontrolisanom curenju gasa u Kantonu Sarajevo. Prva studija slučaja odnosi se na nekontrolisano isticanje gasa ispod površine zemlje koje se dogodilo 2010. godine u centralnom dijelu grada u području vrlo prometne ulice u čijoj su neposrednoj blizini locirani poslovni prostori i stambeni objekti.

Druga studija slučaja predstavlja curenje gasa iz 2018. godine u naselju Bjelave prilikom kojeg su koncentracije gasa registrovane i u velikom broju stambenih objekata.

1.1 NEKONTROLISANO ISTICANJE GASA ISPOD POVRŠINE U CENTRU GRADA

Curenje gasa 2010. godine zabilježeno je u večernjim satima na osnovu dojave od građana da se u ul. M.M. Bašeskije osjeti prisustvo gasa. Mjerenjem i detekcijom ustanovljeno je prisustvo gasa sa različitim vrijednostima koncentracije zavisno od lokacije gdje je vršeno mjerenje. Najveća koncentracija gasa ustanovljena je u dva šahta koje koristi telekom operater za svoje instalacije u neposrednoj blizini raskrsnice ulica M.M. Bašeskije i Jelićeve, te u ulici M. M. Bašeskije kod broja 22 u području trotoara, te u dva kanalizaciona šahta u samoj saobraćajnici M. M. Bašeskije u blizini pomenute raskrsnice M. M. Bašeskije i Jelićeve i u blizini raskrsnice ulica M. M. Bašeskije i E. Mulabdića (Slika 2). Izmjerena koncentracija u navedenim šahtovima je dostizala vrijednost i do 95% volumena gasa, na mjesto događaja su pozvani i upućeni svi zaposlenici iz "Organizacije u pripravnosti" kao i dodatni zaposlenici koji obavljaju radne zadatke na poslovima detekcije.

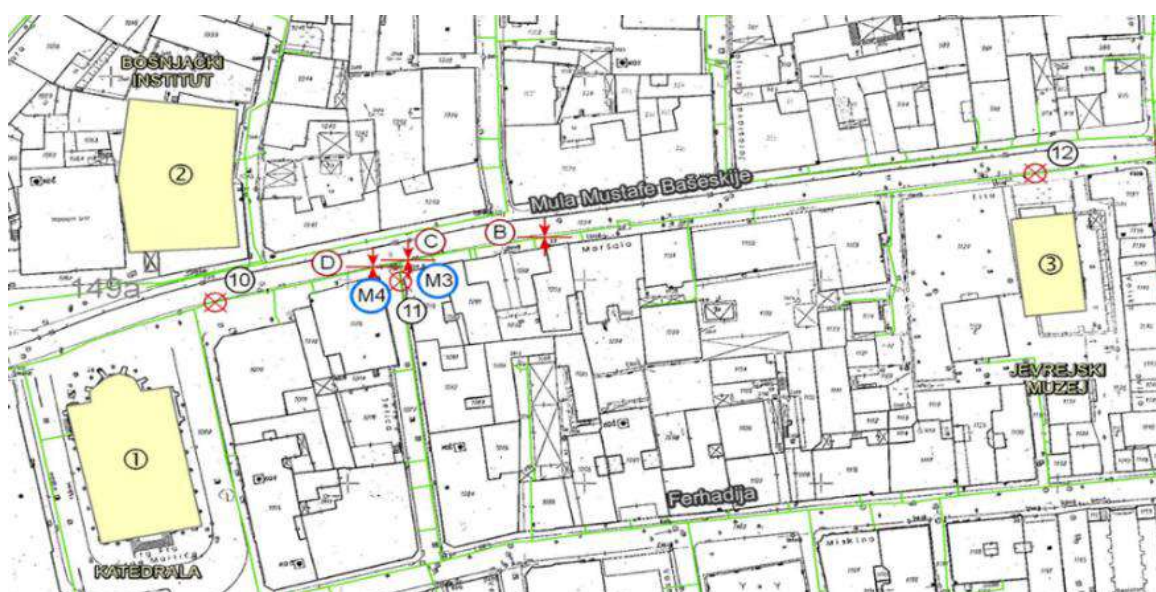
Obzirom da je navedena ulica centralna kojom se odvija saobraćaj za vozila i tramvaje, policija je iz preventivno - sigurnosnih razloga ovu ulicu zatvorila za saobraćaj, kao i za kretanje pješaka; prisutni su bili i pripadnici Profesionalne vatrogasne brigade Sarajevo kao i radnici Elektrodistribucije, koji su isključili električnu energiju za širi lokalitet oko mjesta akcidenta.

U samom objektu nije registrovano prisustvo gasa. Vršen je iskop na nekoliko lokacija ali nije otkriven uzrok nekontrolisanog prisustva gasa velikih koncentracija. U šahtovima telekom operatera varirala je koncentracija, vremenom bi rasla, a zatim opadala, te se isti morao konstantno provjetravati.



Slika 2. Lokacija mjesta nekontrolisanog isticanja gasa

S obzirom da tokom noći nije ustanovljena lokacija nekontrolisanog isticanja gasa, narednog dana se pristupilo pravljenju sekcija ugradnjom sekcijskih ventila. Električna energija je i dalje bila isključena za širi lokalitet akcidenta. Ugradnjom sekcijskih ventila metodom eliminacije dijela gasne mreže suzio se prostor na kome se nalazilo mjesto nekontrolisanog isticanja. Prvo su ugrađena dva ventila na krajevima cijevi gasne mreže gdje aparati nisu pokazivali koncentraciju gasa. Zatvaranjem ovih ventila, mjerenjem je konstatovano da je došlo do opadanja koncentracije gasa na dionici između ova dva sekcijška ventila, a zatim se pristupilo ugradnji još ukupno dva ventila. Kada bi se ugradio sekcijški ventil, isti bi se zatvorio određeni period i u tom periodu opadala bi koncentracija gasa, a zatim bi se otvaranjem istog ponovo vršilo mjerenje i provjeravanje koncentracije kako bi se bliže odredilo mjesto isticanja gasa. Na dionicu za koju se sa sigurnošću moglo konstatovati da ima oštećenje, postavljena su četiri mjerna mjesta. Ova mjerna mjesta su služila da se izvrši eliminacija dionica putem mjerenja pada pritiska i suzi prostor na kojem treba vršiti iskope za konačni pronalazak oštećenja (Slika 3).



Slika 3. Lokacije na kojima su postavljeni ventili i manometri radi sužavanja dionice pri pronalasku mjesta oštećenja

Kada je identifikovana dionica gasne mreže dužine oko šest metara gdje je konstantno bila prisutna koncentracija gasa, pristupilo se iskopavanju ove dionice. Nakon ovih radnji pronađeno je oštećenje na cijevi gasne mreže na kojem je gas isticao. Uzrok oštećenja bio je elektroenergetski kabal od 0,4 [kV] koji je bio potpuno naslonjen na cijev gasnog sistema, te je zagrijavanjem kabla došlo do topljenja plastične cijevi (Slika 4) i nastanka otvora iz kojeg je gas isticao u velikim količinama.



Slika 4. Oštećena cijev gasne mreže

Može se konstatovati da je u akcidentu u ul. M. M. Bašeskije, prilikom kojeg je došlo do isticanja velike koncentracije gasa, djelovanje bilo sistematski i organizovano; i uzrok ovog akcidenta je isključivo ljudski faktor.

1.2 OŠTEĆENJE CIJEVI DISTRIBUTIVNE GASNE MREŽE

U popodnevnim satima 2018. godine (petak) na adresi Bjelave kod br. 43 uslijed radova na rekonstrukciji vodovodne mreže došlo do oštećenja cijevi DGM-e (distributivne gasne mreže) PE Ø 160mm pritiska 3 [bar]. Dežurni dispečer je proglasio stanje ekscenčne situacije i uputio ekipu iz "Organizacije u pripravnosti" na mjesto događaja.

Na lokaciji su po pozivu bili prisutni službenici Ministarstva unutrašnjih poslova Kantona Sarajevo koji su obezbjeđivali mjesto događaja, pripadnici Profesionalne vatrogasne jedinice Kantonalne uprave civilne zaštite Sarajevo, kao i pripadnici Dobrovoljnog vatrogasnog društva Bjelave. Do oštećenja je došlo kada je bager KJKP "Vodovod i kanalizacija" d.o.o. Sarajevo koji je vršeci iskop radi sanacije vodovodne cijevi ošteti cijev DGM-e (Slika 5).



Slika 5. Oštećena cijev gasne mreže (Izvor: <https://www.faktor.ba>)

Obzirom da je oštećenje bilo u vrijeme najveće saobraćajne špice u gradu, ekipama koje su se uputile na lice mjesta trebalo je duže vremena za dolazak. Olašavajuća okolnost se ogledala u činjenici da je oštećena cijev bila jednostrano napojena, te je bilo dovoljno da se locira najbliži ventil i izvrši zatvaranje gasa. Dolaskom na lice mjesta locirana je baterija ventila B3-07, udaljena oko stotinu metara od mjesta isticanja gasa, te je izvršeno zatvaranje gasa na oštećenoj cijevi DGM-e. Kada se uzme u obzir da je interventnim ekipama zbog saobraćajne špice trebalo nešto više vremena da stignu na mjesto događaja, te vrijeme koje je bilo neophodno za lociranje i zatvaranje baterije ventila, od momenta oštećenja do momenta zatvaranja gasa proteklo je oko četrdeset minuta. Zbog pritiska gasa od 3 [bar] nije bilo moguće uraditi privremenu sanaciju, već se dotok gasa isključivo morao zatvoriti na ventilima.

Dugi vremenski period isticanja gasa, činjenice da je pritisak u oštećenoj cijevi bio 3 [bar] (koji je zbog zvuka koji je stvarao imao i psihološki efekat na građane), a obzirom da se radi o starogradskom naselju u kojem su saobraćajnice uske a objekti blizu jedni drugih (Slika 6), te da je došlo do ulaska određenih količina gasa u najbliže stambene objekte, uzročilo je strah i paniku kod građana.

Veliki broj poziva dežurnom u dispečerskom centru je upućen zbog straha građana od mogućnosti eksplozije gasa. Ovu akcidentnu situaciju obilježila je dobra koordinaciju između dežurnih dispečera Sarajevogasa i dežurnih dispečera eksternih subjekata kao što su Elektrodistribucija i Profesionalna vatrogasna brigada. Na mjesto događaja je odmah stigla ekipa Elektrodistribucije, čiji su djelatnici isključili napajanje električnom energijom ugrožene lokacije. Također, dežurni dispečer Profesionalne batrogasne brigade je na mjesto događaja uputio jedno vatrogasno vozilo Profesionalne vatrogasne brigade i jedno vozilo Dobrovoljnog vatrogasnog društva Bjelave.



Slika 6. Oštećena cijev gasne mreže u naselju Bjelave

Nakon zatvaranja gasa pristupilo se detekciji objekata na prisustvo zemnog gasa, a koji su se nalazili u neposrednoj blizini mjesta oštećenja. Nakon prve kontrole u individualnim stambenim objektima registrovano je prisustvo gasa u koncentracijama 600 [ppm], 800 [ppm], 200 [ppm] i 120 [ppm], dok je u objektima Domova za nezbrinutu djecu (koji su u neposrednoj blizini) registrovano prisustvo gasa do 50 [ppm]. U svim objektima u kojima je vršena detekcija, otvoreni su prozori, te je izvršeno njihovo provjetranje. Nakon pola sata ponovno se pristupilo detekciji istih objekata, nakon čega nije utvrđeno prisustvo gasa u objektima u kojima je bio registrovan nakon prvog mjerenja.

Pošto je završen uviđaj od strane ovlaštenih službenika Ministarstva unutrašnjih poslova, pristupilo se sanaciji oštećene cijevi. Po završetku sanacije, pušten je gas u DGM-u.

2. ANALIZA PRIORITETNOSTI UGRADNJE BLOKADNIH STANICA

Prilikom djelovanja u akcidentima, kada nije došlo do požara i eksplozije, neophodno je što prije obustaviti nekontrolisano isticanje gasa, kako bi se navedene pojave spriječile. Zaustavljanje nekontrolisanog isticanja gasa po nalogu dispečera vrše uglavnom dežurne ekipe za hitne intervencije, ili druge ekipe ukoliko se zateknu u blizini.

Veliki problem predstavlja pristupačnost ventila i mogućnost djelovanja, odnosno njihovog blagovremenog zatvaranja. Nerijetko se dešava da se ventilima ne može prići zbog parkiranih vozila ili drugih prepreka. Niz je događaja koji su se desili u praksi, a koji su pokazali da se zatvaranje ventila i obustava isticanja gasa mogla uraditi za kraće vrijeme.

Moguća rješenja koja bi dovela do bržeg djelovanja u ekscenim situacijama bila bi ugradnja sklopova na nekim ventilima (baterijama ventila) koji bi omogućili daljinsko upravljanje iz dispečerskog centra. Na taj način bi se ventili u slučaju ekscenih situacija zatvarali u kratkom vremenskom roku, te bi jedino isticanje gasa bilo ona količina koja bi ostala zarobljena u distributivnoj gasnoj mreži. Ovo bi nekada u praksi značilo zatvaranje više ventila, ali najčešće dva ventila ili dvije baterije ventila (obzirom da je mreža urađena u prstenu zatvaranje jednog ventila ne bi bilo učinkovito).

Sistemi ventila za daljinsko upravljanje nazivaju se i blokadni uređaji. Postoje tri načina aktivacije sistema i upravljanja blokadnim uređajima: ručno, automatsko i daljinsko upravljanje. Starija generacija ovih uređaja je radila na pneumatski pogon, dok je nova generacija sa elektroničkim upravljanjem. Sa uređajima koji se upravljaju na ovaj način bi se dobila veća pouzdanost, neosjetljivost na vremenske prilike i sl. Uloga blokadnih gasnih stanica je da izvrše sekcionisanje dionica transportnog gasovoda ili distributivne gasne mreže prilikom ekscesa, odnosno oštećenja. U gušće naseljenim mjestima trebalo bi se, u skladu sa mogućnostima, postavljati na manjim razmacima.

Oštećenje cijevi pritiska od 0,1 [bar] ne predstavlja značajnu akcidentnu situaciju, a njena privremena sanacija može se uraditi na nekoliko jednostavnih načina i zahvata. Međutim, oštećenje cijevi u kojoj je pritisak 3 [bar] ili 8 [bar], predstavlja izazivanje opće opasnosti koja kao posljedicu može u konačnici imati i ljudske žrtve. Zaustavljanje isticanja gasa prilikom oštećenja cijevi u kojima vladaju navedeni pritisci nije moguće izvesti na način kao kod oštećenja cijevi u kojoj je pritisak 0,1 [bar]. Naime, kod oštećenja cijevi manjeg promjera i pritiska 0,1 [bar], može se zaustaviti presavijanjem cijevi ili eventualno zabijanjem klina, čime se onemogućuje daljnje isticanje gasa, te se na taj način otklanja opasnost od požara ili eksplozije.

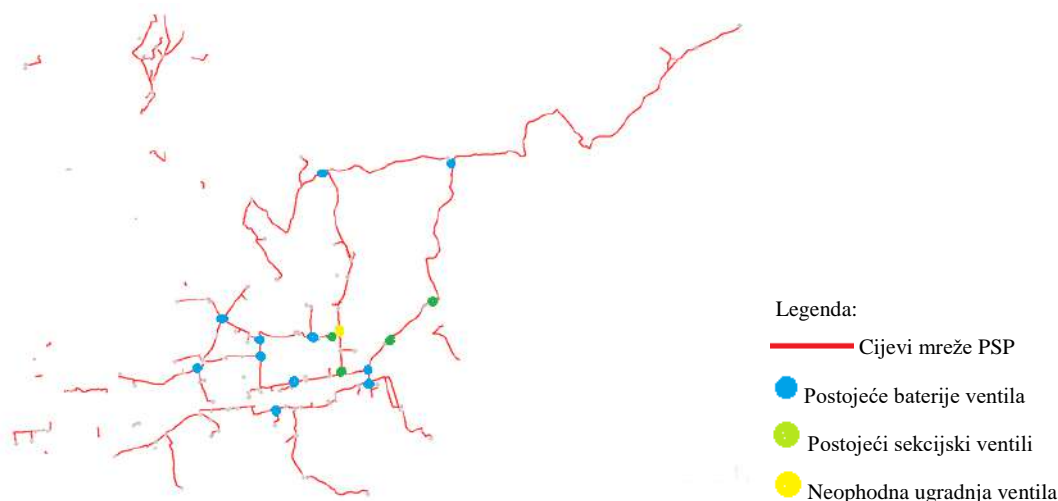
Kada dođe do oštećenja cijevi u kojima je pritisak 3 [bar] ili 8 [bar] jedini način zaustavljanja gasa je zatvaranjem ventila i prekidom dotoka gasa. Logično je da je najbolje zatvoriti gas na najbližim ventilima u odnosu na mjesto oštećenja. Međutim, problem je što to na terenu nekada u praksi nije moguće uraditi. Razlog ovoga je da često nisu pristupačni zbog parkiranih vozila, neobilježenosti ventila ili nekih drugih razloga. U takvim situacijama rješenje bi bilo ugradnja blokadnih stanica sa uređajima za automatsko ili daljinsko upravljanje.

Pri projektovanju gasnog sistema KS, iz sigurnosnih razloga, vodilo se računa o njegovom dimenzionisanju te je u samom centru grada projektovani gasni sistem pritiska 3 [bar]. Ovaj sistem počinje sa gasnim stanicama na završetku sistema 8 [bar], koje spuštaju pritisak na 3 [bar].

2.1 UGRADNJA BLOKADNIH STANICA NA MREŽU 3 [BAR]

Gasni sistem 3 [bar] je rađen u formaciji „prstena“, odnosno, obostranog napajanja. Na ovom dijelu sistema postoji 11 baterija ventila, a sistem je podijeljen u 16 dionica. Obzirom da je skoro čitav dio ovog sistema u samom centru Sarajeva, bilo bi prioritetno na svaku od baterija ventila ugraditi blokadnu stanicu, jer oštećenje cijevi 3 [bar] u gustim i frekventnim naseljima uvijek predstavlja veliku opasnost i mogućnost neželjenih posljedica.

Pored ventila na baterijama, na Slici 7 prikazani su i ugrađeni sekcijски interventni ventili, a dat je i prijedlog za ugradnju dodatnih sekcijских ventila, na koje bi bilo potrebna ugradnja aktuatora, kako bi se ostvarilo daljinsko zatvaranje.



Slika 7. Detalj DGM-e - baterije ventila na prstenu srednjeg pritiska - PSP [8]

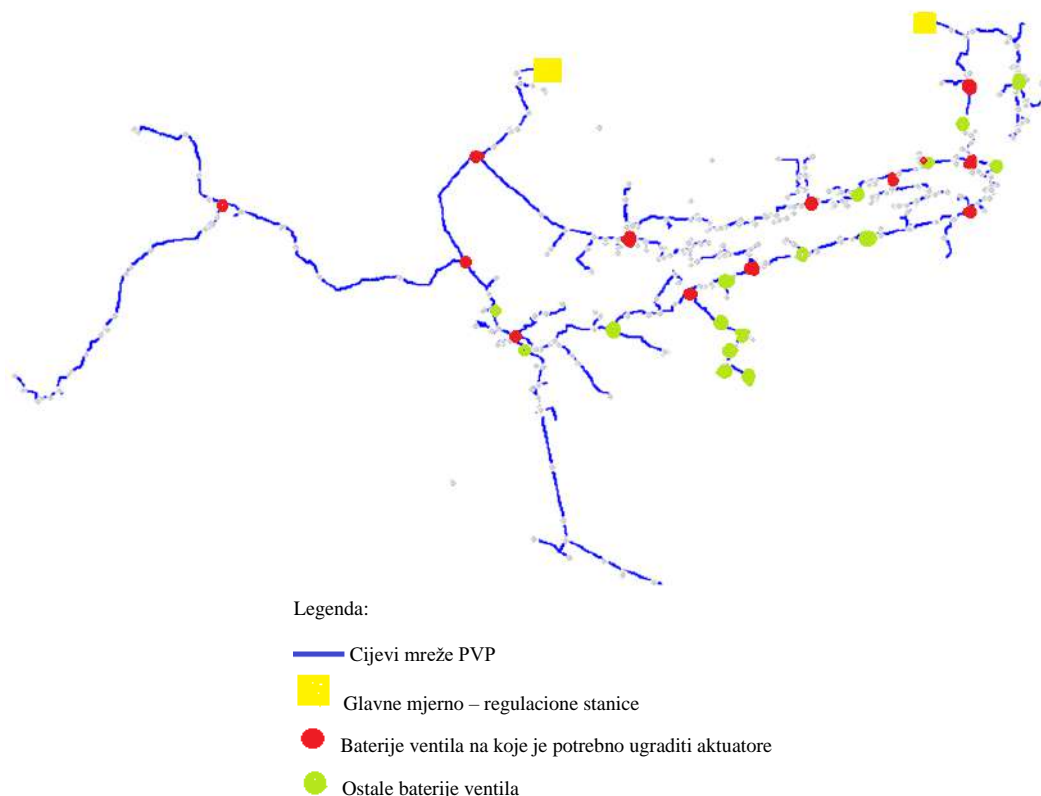
Ovakav zahvat bi radi građevinskih i mašinskih pripremnih radnji iziskivao duži vremenski period. Razlog je što bi za ugradnju blokadnih stanica bilo neophodno izvršiti veći iskop oko baterije ventila za smještaj opreme i blokadnih uređaja, kao i pratećih instalacija, zatim mašinskih i elektro radova na povezivanju svih elemenata u jednu cjelinu, te na kraju testiranja sistema prije zatrpavanja. Imajući u vidu

podizanje stepena sigurnosti ugradnja blokadnih stanica na svim baterijama ventila i na sekcijskim interventim ventilima na mreži pritiska 3 [bar] je sasvim opravdana.

Sa ovog dijela gasovoda dalje se gasom snabdijevaju rejonsko – regulacione i prijemno regulacione stanice, koje redukuju pritisak sa 3 [bar] na 0,1 [bar]. Rejonsko – redukcionne stanice gasom snabdjevaju široku potrošnju, odnosno građane, dok se sa prijemno – redukcionnih stanica gasom snabdjevaju veliki potrošači kao što su kotlovnice i neki privredni subjekti.

2.2 UGRADNJA BLOKADNIH STANICA NA MREŽU 8 [BAR]

Obzirom da se na gasovodu pritiska 8 [bar], koji je i dosta duži od gasovoda pritiska 3 [bar], nalaze 33 baterije ventila, ugradnja blokadnih stanica na svim baterijama ventila bi bila velika i skupa investicija. Također, postoje dionice sa baterijama ventila za koje nema opravdane potrebe za ugradnju blokadne stanice. Naime, određeni broj baterija ventila i dio gasnog sistema se nalazi na području poljoprivrednog dobra i drugih zelenih površina koje su van urbanih područja. Mogućnost oštećenja uslijed građevinskih radova je mala, te se može zaključiti da ovaj dio gasnog sistema nije prioritetan za postavljanje blokadne stanice. Treba napomenuti da su baterije ventila na gasnom sistemu 8 [bar] konstruisane tako da na većini krakova pored ventila odvojka imaju ozrake i ventili ozrake. Kao kriterij za ugradnju blokadnih stanica u ovom radu uzeo se u obzir položaj i lokacija baterija ventila, njihov značaj u snabdijevanju potrošača, ali prije svega značaj pojedinih račvanja, kao i smanjenje dužina dionica.



Slika 8. Detalj DGM-e - baterije ventila na prstenu visokog pritiska [8]

Na kraju analize zaključuje se (Slika 8) da je na 13 baterija potrebno ugraditi sisteme za daljinsko upravljanje, s tim što bi se na bateriju B8 – 02 ugradio aktuator samo na jedan ventil, na krak baterije koja gas vodi prema bateriji B8 – 33. Također, na bateriji B8 – 33 bi se ugradili aktuatori na odvojke za Općinu Hadžići i naselje Rakovicu, a obzirom da nije obostrano napojen, na ventil za krak prema bateriji B8 – 02 se ne bi ugrađivao aktuator. Na sve ostale baterije ventila, koje imaju po tri kraka i na svakom kraku imaju ventile odvojka, ugrađivali bi se aktuatori, tj. na sve ventile koji se nalaze na bateriji.

3. ZAKLJUČAK

Postupanja pri akcidentnim situacijama na gasnom sistemu Kantona Sarajevo, u smislu organizacije, vrše se na osnovu internih dokumenata. Tehničke mjere i praktično postupanje prilikom akcidenata zavise od više faktora a najvažniji je pritisak u cijevi koja je oštećena. Kod pritisa 3 [bar] i 8 [bar] neophodno je prekinuti dotok gasa do mjesta oštećenja. Ukoliko je cijev eventualno od polietilena, te ako je dovoljno pristupačna, moguće je stavljanjem stega (cvingi), prignječivanjem cijevi zaustaviti dotok gasa, iako su ove situacije rijetke. Ukoliko je cijev od čelika, jedina mogućnost zaustavljanja dotoka gasa je zatvaranjem ventila. Ovo je moguće na baterijama ventila ili na sekcijskim ventilima ako postoje na tom dijelu gasovoda.

Prilikom oštećenja gasnog sistema do dolaska prvih ekipa za hitne intervencije prođe određeno vrijeme koje direktno zavisi od saobraćajnih prilika. Nekada jedna ekipa za hitne intervencije ne može adekvatno i brzo odgovoriti prilikom akcidentne situacije. Sve ovo ostavlja mogućnost da gas nekontrolisano ističe određeni vremenski period i na taj način predstavlja mogućnost požara ili eventualno ulaska u objekte u blizini, što bi bilo jako opasno, jer bi se za kratko vrijeme mogla stvoriti eksplozivna smjesa obzirom na pritisak u cijevi. Pored navedenog, buka koja se pojavljuje uslijed isticanja gasa pod velikim pritiskom, stvara paniku kod ljudi. Kako bi se unaprijedilo djelovanje prilikom oštećenja i akcidenata na gasovodnoj mreži, prijedlog je da se izvrši ugradnja blokadnih stanica sa blokadnim uređajima na baterije ventila, na mrežama 3 [bar] i 8 [bar]. Na ovaj način bi se napravio iskorak u sigurnosnom smislu jer bi se omogućilo zatvaranje ventila u najkraćem mogućem roku. Blokadne stanice sa blokadnim uređajima su preventivne mjere ali su represivnog karaktera. One daju mogućnost da se automatski ili daljinskim upravljanjem iz dispečerskog centra zatvori gas na najbližim baterijama ventila u odnosu na mjesto akcidenta, te na taj način spriječi dalje isticanje gasa koje bi ugrožavalo ljudske živote i materijalna dobra. Zatvaranje ventila na ovaj način odvija se u roku od nekoliko minuta od momenta oštećenja. S tim u vezi, potrebno je napraviti iskorak, te dugoročnim projektom krenuti u ugradnju blokadnih stanica. Tako bi do dolaska prvih ekipa za hitne intervencije, gas bio zatvoren a zaposlenici ekipe za hitne intervencije bi imali vremena da osiguraju područje oko mjesta akcidenta, ne gubeći vrijeme na pronalasku ventila i njegovom zatvaranju. Analizirane ekscesne situacije iz prošlosti svjedoče da se samo ozbiljnim pristupom, dobrom organizacijom i stručnim djelovanjem može očekivati da se ekscesne situacije na gasnom sistemu maksimalno iskontrolišu i završe bez ljudskih i materijalnih gubitaka. Također je neophodno da se izvrši temeljita analiza načina funkcionisanja službi zaštite i spašavanja ali i osigura stručno rukovođenje nadležnim institucijama ovog sistema. Nužno je i formiranje specijaliziranih timova za djelovanje pri različitim ugrozama, uspostava stalne edukacije stručnih lica koja bi rukovodila operacijama u akcidentnim situacijama kao i pripadnika specijalističkih timova koji bi na terenu predstavljali operativnu bazu za zaštitu i spašavanje.

REFERENCE

1. H. Burek, Specijalistički rad, Visoka tehnička Škola, Novi Sad, 2014
2. D. Karabasil i V. Jakovljević, "Ekološke intervencije", Visoka tehnička Škola, Novi Sad 2007 godine; ISBN: 86-84853-24-5
3. "Natural gas and propane fires, explosions and leaks estimates and incident descriptions", 2018; National Fire Protection Association, Quincy, MA, NFPA Index No. 2873 (<https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Hazardous-materials/osNaturalGasPropaneFires.ashx>)
4. Instrukcija za detekciju isticanja gasa“ KJKP „Sarajevogas“ d.o.o. Sarajevo; interni dokument
5. Instrukcija za rad dispečerskog centra i ekipa za hitne intervencije KJKP „Sarajevogas“ d.o.o. Sarajevo; interni dokument
6. Procedura za postupak u slučaju ekscesnih situacija KJKP „Sarajevogas“ d.o.o. Sarajevo; interni dokument
7. Procedura za rad organizacije u pripravnosti KJKP „Sarajevogas“ d.o.o. Sarajevo; interni dokument
8. Službeni podaci Službe za Informacioni sistem i katastar KJKP Sarajevogas“ d.o.o. Sarajevo; interni dokument
9. Zapisnici dežurne ekipe Sarajevogasa; interni dokument

NOVA SAZNAJNA O GEOTERMALNOJ POTENCIJALNOSTI BUŠOTINE SI-1 U SLAVINOVIĆIMA

Sanel Nuhanović⁶, Amir Mešković², Samir Nurić³, Božana Barušić⁴

SAŽETAK

Upotreba geotermalne energije je kompleksna i podrazumijeva nekoliko osnovnih grana primjene, kao što su: balneologija, ekstrakcija različitih minerala, proizvodnja električne energije, toplifikacija naselja i poljoprivrednih farmi, kao i upotreba u inustriji.

U radu su predstavljena najnovija istraživanja kvaliteta termalne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima, te je, u skladu sa tim rezultatima, izvršena nova klasifikacija i kategorizacija termomineralne vode koja, na principu "air-lifta", izbija na površinu na bušotini SI-1.

Izvršena je komparacija rezultata novih hemijskih analiza termalne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima, sa podacima koji su dobiveni za vrijeme izrade bušotine, a datiraju još s kraja 30-tih godina XX stoljeća.

Ključne riječi: geotermalna bušotina, termomineralna voda, kvaliteta vode, kategorizacija

UVOD

U periodu od 1929. do 1941. godine izvedena su obimna istražna bušenja na naftu (izbušeno je 27 bušotina), na širem području grada Tuzle. Najviše bušotina (24), dubina 315,0-2025,0 m, izbušeno je na Jalsko-Požarničkoj antiklinali. Pored mnogih površinskih pojava nafte, komercijalno vrijedno ležište nafte nije pronađeno.

Na istražnoj bušotini SI-1, između ostalih, nabušen je "sloj" tople termomineralne vode, temperature 36 °C, u količini oko 500 l/min (Z. Hadžihrustić, Z.; Ibrišimović, Z.; Nuhanović, S.: *"Mogućnost kompleksnog korištenja termomineralne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima kod Tuzle"*, Monografija Međunarodne konferencije o trendovima u savremenom rudarstvu "TIMC05/06", Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli (ISSN 1512-7044), br. 32, str. 23.-27., Tuzla, 2006).

¹Prof. Sanel Nuhanovic, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH, sanel.nuhanovic@untz.ba

² Prof. Amir Meskovic, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH,, amir.meskovic@untz.ba

³ Prof. Samir Nurić, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH,, , samir.nuric@untz.ba

⁴ Mr. Božana Barusic, Bach. ing. rudarstva za busotinsku eksploataciju, DTM GmbH & Co.KG, Deutschland, bozanabarusic@gmail.com

Specifičnost ove bušotine su povremena eruptivna izbacivanja tople vode sa obiljem plinova, bez kojih ona nikad ne bi došla na površinu. Njen statički nivo nalazi se na oko 37, 0 metara ispod površine terena.

Međutim, pored blage i ugodne temperature vode za kupanje, postoje naznake i o njenoj medicinskoj, farmakološkoj, pa i kozmetičkoj vrijednosti. Također, potreba za smanjenjem učešća neobnovljivih izvora energije u ukupnom energetskom bilansu neke države, dovodi do sve veće upotrebe geotermalne energije. Devet kilometara istočnije, na istoj antiklinalnoj strukturi, u bušotini Požarnica -1 (1515 m), takođe je nabušena topla voda, temperature 50 °C, što je dovoljan razlog za neka nova istraživanja i otkrića termalnih voda u većim količinama.

Ugodna temperatura termalne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima već dugi niz godina se koristi za banjske aktivnosti mještana, kao i za oralnu upotrebu. Posljednja ispitivanja na samoj bušotini rađena su u doba njene izgradnje, od čega je prošlo već 85 godina.

Sva prethodna istraživanja na bušotini SI-1 u Slavinovićima, upućivala su na potrebu detaljnijih ispitivanja sadržaja i kvaliteta termalne vode, jer se, vremenom, promijenio i njen hemijski sastav, kao i izdašnost same bušotine.

Novi podaci, dobiveni provedenim istraživanjima, ukazuju na manjkavosti starih podataka, a i svjedoče odrazu proteklog vremena, jer je svaki erupcioni period, bilo koje bušotine, ograničen vremenom, ali i promjenom hemijskog sastava fluida koji se eksploatira.

1. TOPLOTNE KARAKTERISTIKE PODRUČJA SLAVINOVIĆA

Najznačajniji geotermalni parametri: toplotna provodljivost stijena, geotermalni gradijent i toplotni tok za ovo područje, većinom su dobiveni na osnovu rezultata temperaturnih mjerenja izvršenih u toku izrade bušotina, ili korelacijom podataka dobivenih izvršenim mjerenjima u bušotinama izrađenih u susjednim zemljama, te literaturnih podataka.

Tuzlanski bazen pripada zoni "srednje toplih" depresija u okviru Panonske depresije koja je, u svom središnjem dijelu, znatno toplija. Snaga toplotnog toka u centru Mađarske depresije iznosi i do 138 mW/m², dok se u tuzlanskom bazenu kreće oko 60 – 90 mW/m².

Treba naglasiti i da je utvrđena debljina Zemljine kore u području Mađarske oko 25 km, dok je ista u Bosni i Hercegovini znatno deblja (prosječna debljina Zemljine kore na području Bosne i Hercegovine iznosi oko 45 km).

Za bušotinu SI-1 u Slavinovićima utvrđen je izražen konvektivni način prenosa toplote, cirkulacijom toplih voda sa većih dubina (Miošić, N.: "Geotermalni parametri i značajke hidrogeotermalnih regiona Bosne i Hercegovine", Geološki glasnik, br. 35, str. 279-307., Srajevo, 2003.).

Podaci o bušotini SI-1 u Slavinovićima, do kojih se može doći obradom literaturnih podataka, govore o vrijednosti geotermalnog gradijenta od 56,3 K/km, što daje vrijednost toplotnog toka od preko 120 mW/m² (konvektivni parametri), a standardi EU toplotnim poljem nazivaju svako uže geotermalno područje sa vrijednošću toplotnog toka iznad 100 mW/m². Neke zemlje EU su, svojim Zakonima, tu vrijednost utvrđenog toplotnog toka spustile čak i na nižu razinu.

Tako se, na primjer, u Mađarskoj, prema njihovim Zakonima, pozitivnim geotermalnim anomalijama smatra svaki region koji ima vrijednost toplotnog toka iznad 50 mW/m² (Jan-Diederik van Wees, Thijs Boxem, Luca Angelino, Philippe Dumas: "GEOELEC – A perspective study on the geothermal potential in the EU", November, 2013.).

Dakle, u predjelu Slavinovića, ali i generalno u tuzlanskom bazenu, postoje izraženi geotermalni parametri, uvjetovani konvektivnim kretanjem zagrijanih fluida iz nižih hronostratigrafskih etaža, uslijed velike izrasjedanosti.

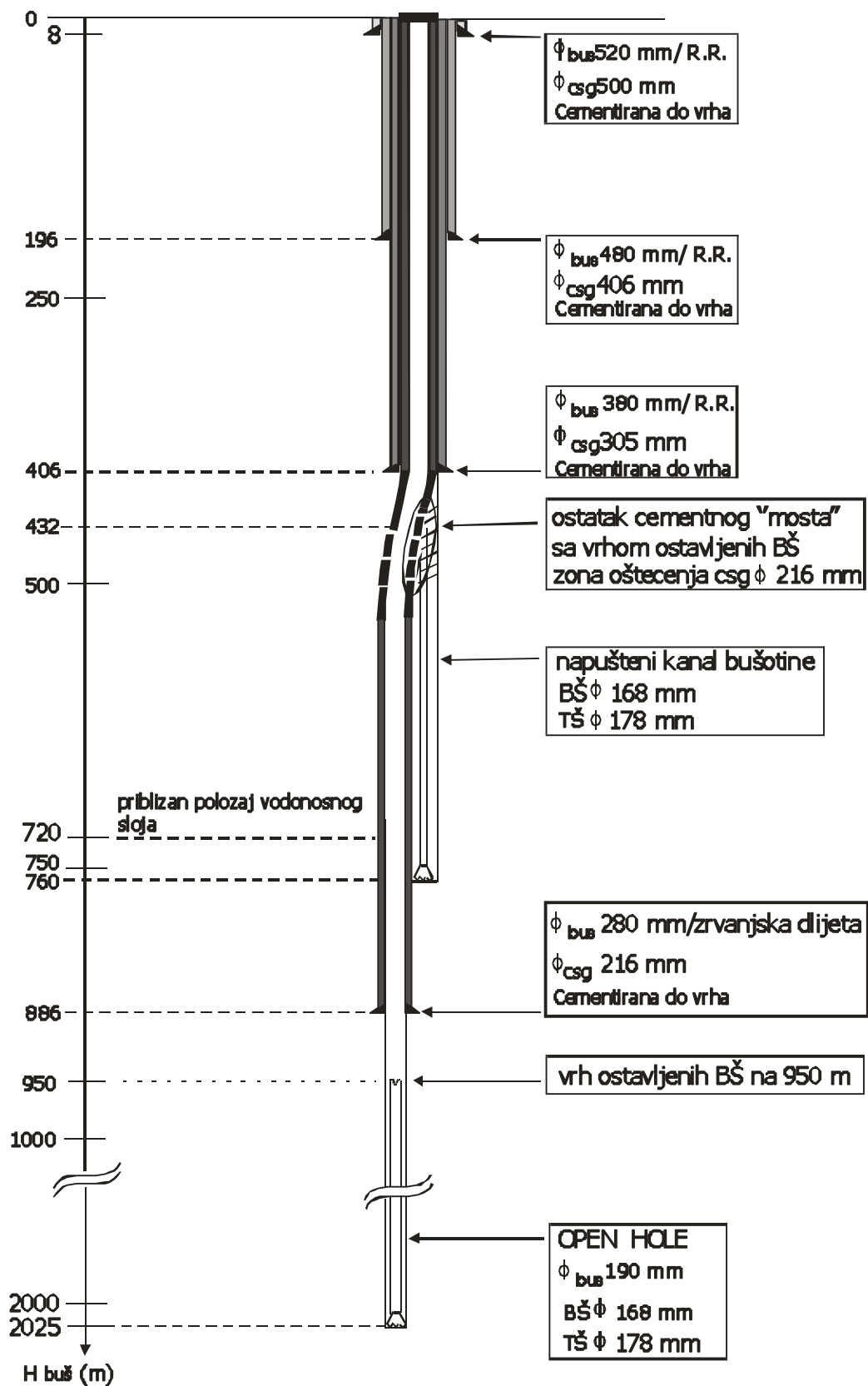
Navedeni podaci morali bi biti praktično potvrđeni provođenjem detaljnih geoloških i geofizičkih ispitivanja, posebno provođenjem karotažnih mjerenja u kanalu bušotine SI-1 u Slavinovićima, što bi rezultiralo egzaktnim podacima o vrijednostima toplotnog toka i ostalih toplotnih parametara u bušotini, ali i na širem području Jalsko-požarničke antiklinale.

U periodu izgradnje bušotine, a posebno nakon toga, navedena ispitivanja su izostala, jer bušotina nije projektovana kao geotermalna, ali se njihova upotreba danas nameće kao imperativ za sve buduće radove u svrhu iskorištenja geotermalne energije.

Na slici 1, predstavljen je prostorni položaj bušotine SI-1 U slavinovićima, a na slici 2 njena konstrukcija.



Slika 1. Slavinovički dio Jalsko-Požarničke antiklinale, sa bušotinom SI-1 (R - 1: 10 000)



Slika 2: Izvedena konstrukcija duboke istražne bušotine SI-1 u Slavinovića (prema Hadžihrustić, Z., 2006.)

2. FIZIČKO-HEMIJSKA ANALIZA TERMOMINERALNE VODE IZ BUŠOTINE SL-1 U SLAVINOVIĆIMA

U martu 2021.godine izvršeno je novo uzorkovanje i analiza vode s bušotine SL-1. Uzorak je uzet s površine terena, odnosno na mjestu istjecanja termomineralne vode. Uzorci vode su analizirani u dvije laboratorije, tako da je, paralelno, jedan uzorak ispitan u laboratoriji ZZJZ TK, a drugi u laboratoriji za hemijsku analizu vode na RGGF-u Tuzla.

Rezultati fizičko-hemijskih ispitivanja dati su u tabelama 1. i 2.

Tabela 1. Rezultati fizičko – hemijske analize termomineralne vode iz bušotine SL-1 u Slavinovićima, dobiveni analizom provedenom u laboratoriji ZZJZ TK

<i>PARAMETAR</i>	<i>JEDINICA MJERE</i>	<i>UTVRĐENA VRIJEDNOST</i>	<i>METODA ISPITIVANJA</i>
Boja	-	Žućkasta	Senzorska
Miris	-	na H_2S	Senzorska
Okus	-	-	Senzorska
Mutnoća	NTU	4,9	BAS EN ISO 7027-1:2017*
pH vrijednost (25°C)	pH jed.	8,27	BAS EN ISO 10523:2013*
Utrošak $KMnO_4$ (oksidativnost)	mg/l O_2	5,12	Volumetrija
Suhi ostatak	mg/l	10434	Gravimetrija
Električna provodljivost (25°C)	$\mu S/cm$	11200	BAS EN ISO 27888:2002*
Električna provodljivost (20°C)	$\mu S/cm$	10036	BAS EN ISO 27888:2002*
Amonij (NH_4^+)	mg/l	2,75	Spektrofotometrija
Rezidualni hlor	mg/l	0,00	Kolorimetrija
Hloridi	mg/l	2100,00	Volumetrija
Nitriti (NO_2^-)	mg/l	0,01	BAS EN 26777 :2000
Nitrati (NO_3^-)	mg/l	5,47	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 4500 NO3-B 2017*
Željezo (Fe)	mg/l	0,21	Spektrofotometrija
Mangan (Mn)	mg/l	0,037	Spektrofotometrija
Ukupna tvrdoća	$^{\circ}nj$	1,23	Volumetrija
Alkalitet	$^{\circ}nj$	151,20	Volumetrija
Sulfati	mg/l	1,78	Spektrofotometrija
Kalcijum (Ca)	mg/l	3,20	Volumetrija
Magnezijum (Mg)	mg/l	3,40	Volumetrija
Bikarbonati	mg/l	3294,00	Volumetrija

Tabela 2. Rezultati fizičko – hemijske analize termomineralne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima, dobiveni analizom provedenom u laboratoriji RGGF-a Tuzla

<i>Parametar</i>	<i>Uvrđena koncentracija (mg/l)</i>
Natrij (Na ⁺)	2553,00
Kalcijum (Ca ⁺⁺)	2,213
Magnezijum (Mg ⁺⁺)	1,300
Kalijum (K ⁺)	16,630

Analizirajući dobivene podatke najnovijih istraživanja (2021. godina) i njihovom uporedbom sa podacima koji datiraju iz vremena izgradnje bušotine SI-1 u Slavinovićima (30-te godine XX stoljeća), mogu se izvesti kvalitetni zaključci o tipu i kvalitetu termomineralne vode, nakon 85 godina rada, odnosno periodičnog eruptiranja bušotine SI-1 u Slavinovićima.

Uporedna analiza hemijskog sastava termomineralne vode predstavljena je u tabeli 3 (rezultati prikazani u tabeli, a koji datiraju iz perioda izgradnje bušotine, uzeti su sa dubine od 540 m).

Tabela 3. Uporedna analiza osnovnih parametara hemijskog sastava termomineralne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima, prema rezultatima, po godinama ispitivanja vode

<i>Parametar</i>	<i>Rezultati analize iz 1936. godine (mg/l)</i>	<i>Rezultati analize iz 2021. godine – laboratorija ZZJZ TK (mg/l)</i>	<i>Rezultati analize iz 2021. godine – laboratorija RGGF Tuzla (mg/l)</i>
Na ⁺	2026,30	-	2553,00
K ⁺	5,00	-	16,63
Ca ⁺⁺	13,00	3,20	2,21
Mg ⁺⁺	3,70	3,40	1,30
Cl ⁻	1434,00	2100,00	-
SO ₄ ⁻⁻	13,40	1,78	-
HCO ₃ ⁻	2942,60	3294,00	-

Kationsko-anionski odnosi iz klasifikacije Suhareva, u cilju određivanja kategorizacije vode iz bušotine SI-1 ovoga puta su dali slijedeće koeficijente:

$$\frac{Na^{+}+K^{+}}{Cl^{-}} = \frac{2553+16,63}{2100} = 1,22 > 1 \Rightarrow \text{hidrokarbonatno-natrijski ili sulfatno-natrijski}$$

tip vode

$$\frac{\gamma Na^{+}-\gamma Cl^{-}}{\gamma SO_{4}^{--}} = \frac{2553-2100}{1,78} = 142,9 > 1 \Rightarrow \text{hidrokarbonatno-natrijski tip vode}$$

$$\frac{SO_{4}^{--}}{Cl^{-}} = \frac{1,78}{2100} = 0,00085 < 1 \Rightarrow \text{hlordna grupa vode}$$

Dakle, iz priloženog se vidi da, iako su se koeficijenti u manjoj ili većoj mjeri promijenili, to ne utječe na krajnji rezultat, tj. voda i dalje pripada istom tipu, grupi i podgrupi termomineralnih voda.

Na osnovu najnovijih podataka, može se zaključiti da termomineralna voda iz bušotine SI-1 i dalje pripada genetskom **tipu hidrokarbonatno-natrijskih voda** i da se u okviru tog tipa voda ona može svrstati u grupu C, odnosno u **hloridne vode** sa pripadajućom **podgrupom natrijskih voda**.

3. KAPACITET BUŠOTINE SI-1 U SLAVINOVIĆIMA

Prema analiziranim literaturnim podacima, koji su nam bili dostupni, utvrđeni kapacitet termomineralne vode, mjeren u vrijeme izgradnje bušotine SI-1 u Slavinovićima (1936. godina), iznosio je oko 500 l/min (Z. Hadžihrustić, Z.; Ibrišimović, Z.; Nuhanović, S.: "Mogućnost kompleksnog korištenja termomineralne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima kod Tuzle", Monografija Međunarodne konferencije o trendovima u savremenom rudarstvu "TIMC05/06", Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli (ISSN 1512-7044), br. 32, str. 23.-27., Tuzla, 2006). Taj podatak godinama nije provjeravan.

Mjerenjima, provedenim u septembru 2020. godine, utvrđen je ukupni kapacitet bušotine SI-1 od oko 300 l/min (oko 5 l/s).

Mjerenja kapaciteta su obavljena jednostavnom metodom, odnosno upotrebom posude zapremine 5,0 l i štoperice, pri čemu se mjerilo vrijeme za koje se napuni puna zapremina posude na svakom od tuševa, odnosno vodova razvodnika (slika 3). Ukupni kapacitet dobiven je kao zbir pojedinačnih kapaciteta izlaznih vodova (tuševa) na ušću bušotine.



Slika 3. Izgled ušća bušotine SI-1 u Slavinovićima, sa konstrukcijom cijevnog razdjelnika (tuševi)
(Foto: Nuhanović, S; Barušić, B., 2020.)

Potrebno je napomenuti da je mjerenje kapaciteta obavljeno za vrijeme sušnog perioda, te da je mjerenje izvedeno u terminu koji odgovara polovini početka eruptivnog perioda bušotine.

Uporedimo li navedene vrijednosti kapaciteta od 500 l/min (mjeren prije 85 godina) i 300 l/min (izmjeren u septembru 2020. godine), možemo zaključiti da je pad pritiska, odnosno kapacitet bušotine, realan i sasvim očekivan, budući da se iskorištena termomineralna voda, u tako dugom vremenskom periodu, nije "vraćala", odnosno injektirala nazad u ležište, nego je uzalud bačena, odnosno prosipana u okolne vodotokove, čime se, ne samo trošila energija, nego se i zagađivao okoliš.

4. TEMPERATURA TERMOMINERALNE VODE NA UŠĆU BUŠOTINE SL-1 U SLAVINOVIĆIMA

Podaci o temperaturi termomineralne vode na ušću bušotine SL-1 u Slavinovićima literaturno se ne podudaraju. Naime, u radu "Geotermalni parametri i značajke hidrogeotermalnih regiona Bosne i Hercegovine" (Miošić, N., Geološki glasnik 35, UDK 551.1/4 (058) "55", strana 279-307, Sarajevo, 2003.) navedena je temperatura na ušću bušotine SL-1 u Slavinovićima od 34,5 °C.

U radu "*Mogućnost kompleksnog korištenja termomineralne vode iz bušotine SL-1 u Slavinovićima kod Tuzle*" (Z. Hadžihrustić, Z.; Ibrišimović, Z.; Nuhanović, S., Monografija Međunarodne konferencije o trendovima u savremenom rudarstvu "TIMC05/06", Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli (ISSN 1512-7044), br. 32, str. 23.-27., Tuzla, 2006.) navodi se temperatura na ušću bušotine SL-1 u Slavinovićima od 36,0 °C.

Mjerenja temperature termomineralne vode na ušću bušotine SL-1 u Slavinovićima izvedena su u junu 2021. godine i iznosi 34,0 °C.

5. REŽIM RADA BUŠOTINE SL-1 U SLAVINOVIĆIMA

Režim rada geotermalne bušotine SL-1 u Slavinovićima utvrđivan je u periodu avgust-septembar 2020. godine, uzimajući u obzir periodični, eruptivni rad bušotine, na principu gas-lifta.

Raniji podaci su navodili da geotermalna bušotina u Slavinovićima ima period "aktivnog rada" od 12 sati, te period "mirovanja" od 36 sati (Z. Hadžihrustić, Z.; Ibrišimović, Z.; Nuhanović, S.: "*Mogućnost kompleksnog korištenja termomineralne vode iz bušotine SL-1 u Slavinovićima kod Tuzle*", Monografija Međunarodne konferencije o trendovima u savremenom rudarstvu "TIMC05/06", Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli (ISSN 1512-7044), br. 32, str. 23.-27., Tuzla, 2006).

Opažanjima, izvedenim u nevednom periodu, utvrđeno je sljedeće:

- 25.08.2020. – bušotina stala sa radom u 17⁰⁰ h
- 27.08.2020. – bušotina počela sa radom u 04⁰⁰ h
- 27.08.2020. – bušotina stala sa radom u 20⁰⁰ h

Utvrđen je period "mirovanja" bušotine od 35 sati, dok je period "rada" bušotine iznosio 16 sati. To se, donekle, poklapa sa definisanim režimom rada bušotine SL-1 u Slavinovićima, koji podrazumijeva 12 sati "rada" i 36 sati "mirovanja" bušotine.

Zbog kratkog vremena praćenja režima bušotine, može se zaključiti da bušotina SL-1 u Slavinovićima još uvijek, i nakon 85 godina eruptiranja, radi po istom režimu, zavisno od količine padavina u određenom vremenskom periodu. Također, utvrđeno je i da se termomineralna izdan prihranjuje sa površine terena, atmosferilijama i površinskim vodotocima, što je logično, uzevši u obzir pomenutu ispučnost i izrasjedanost geoloških formacija koje grade ovaj teren.

Također, treba napomenuti, a mislimo da je važno, uočeno je da je gas koji iznosi vodu na površinu – zapaljiv (gori na cijevi) u atmosferskim uslovima.

ZAKLJUČAK

Godine 1937. završeno je bušenje duboke istražne bušotine na naftu SI-1 u mjestu Slavinovići, nadomak grada Tuzle. Ova duboka istražna bušotina, dubine 2025 m, locirana je približno u tjemenu zapadnog dijela 9 km duge Jalsko-Požarničke antiklinale.

Bušotina nije dala očekivane rezultate na naftu i plin, ali je još tokom bušenja, na dubini od oko 720 metara, iznenada dala toplu mineralnu vodu, temperature 36 °C, u količini od 500 l/min. Voda je eruptirala u vidu 25 metara visokog vodenog stuba, uz obilje naftnih gasova, koji čine pokretačku energiju erupcije.

Trajanje jednog erupcionog ciklusa iznosi približno dva dana (48 sati) sati, odnosno 12 sati eruptiranja i oko 36 sati mirovanja, što je potvrđeno i ovim istraživanjima. Termomineralna voda iz bušotine SI-1 u Slavinovićima se, po pretpostavkama, probija kroz oštećeni dio niza zaštitnih cijevi (casinga) ϕ 216,00 mm, u dijelu bušotine sa jakim "dog legom", zbog čega je prvobitna izgradnja bušotine i napuštena. Pomenuta tvrdnja se mora dokazati detaljnijim geološkim, a posebno geofizičkim istraživanjima, kako bi se pomenuti fenomen definisao u cijelosti.

Prema rezultatima istraživanja, termomineralna voda iz bušotine SI-1, spada u grupu voda niske entalpije, te se može upotrebljavati u različite svrhe, pa čak, uz eventualno dogrijavanje, i za zagrijavanje i hlađenje prostora.

Istraživanja, provedena u ovom radu, pokazuju sljedeće:

- Ukoliko usvojimo utvrđeni kapacitet bušotine od 300 l/min, njen energetska potencijal, prema našim proračunima, odgovara ekvivalentu od 2200 kg/dan lignita rudnika "Kreka". Izraženo u novcu, to je oko 200 KM/dan.
- Separisanje i "hvatanje" naftnih plinova na ustima bušotine, te njihovo adekvatno korištenje, moglo bi znatno podići njen energetska potencijal.

Međutim, iako voda iz bušotine SI-1 nema dovoljno energetska potencijala za njeno energetska iskorištavanje, sve su naznake da ima daleko veću vrijednost u slučaju da se koristi u rekreativne svrhe, te u medicini i farmaciji. U nekojici razvijenih zemalja, geotermalna energija se, u te svrhe, koristi već dugi niz godina.

Kationske i anionske analize mikroelemenata promovisu ovu vodu kao hidrokarbonatno-natrijsku vodu, što smo dokazali izračunom odgovarajućih koeficijenata.

Termomineralna voda iz bušotine SI-1 u Slavinovićim trebala bi da ima visoku balneološku vrijednost te se koristiti kao ljekovita (flaširana) pitka voda.

U druge svrhe morala bi se koristiti nedaleko od usta bušotine, jer ne podnosi duži transport, zbog relativno niske temperature (34 °C). Međutim, kao flaširana, ova voda se može koristiti i na znatno većim rastojanjima.

Na osnovu svih navednih razmatranja, prijedlog je da se, u cilju daljnjeg korištenja ove vode, izvrše opšta i ciljana istraživanja u smjeru njene potencijalno višestruke upotrebljivosti.

LITERATURA

1. Barušić, B.: "Geotermalni potencijal bušotine SI.1 u Slavinovićima, s planom njene revitalizacije", Magistarski rad, RGGF Univerziteta u Tuzli, Tuzla, 2021.
2. Miošić, N.: "Geotermalni parametri i značajke hidrogeotermalnih regiona Bosne i Hercegovine", Geološki glasnik 35, UDK 551.1/4 (058) "55", strana 279-307, Sarajevo, 2003.
3. Čičić, S., Miošić, N.: "Geotermalna energija Bosne i Hercegovine", Geoinženjering-Sarajevo, Sarajevo, 1986.
4. Hrvatović, H.: "Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu", Zavod za geologiju, Sarajevo, Sarajevo 1999.
5. Hadžihrustić, Z.; Isaković, H.; Husejnagić, E.: "Geološko-hidrogeološka istraživanja termalnih voda na potezu Požarnica – Slavinovići", Zbornik radova RGGF-a Tuzla, broj XXVI, str. 167-171, Tuzla, 2003.
6. Hodžić, A., Hadžihrustić, Z.: "Osnove geotermalne energije", RGGF Univerziteta u Tuzli, Tuzla, 2021.
7. Ignjac, S., Drobñjak, M.: "Termalne vode – energija budućnosti", Tuzla, 1985.
8. Soklić, I.: "Termomineralna voda i naftni plinovi Slavinovića", Zbornik radova RGF-a (separat) Tuzla, Tuzla, 1982.
9. Z. Hadžihrustić, Z.; Ibrišimović, Z.; Nuhanović, S.: "Mogućnost kompleksnog korištenja termomineralne vode iz bušotine SI-1 u Slavinovićima kod Tuzle", Monografija Međunarodne konferencije o trendovima u savremenom rudarstvu "TIMC05/06", Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli (ISSN 1512-7044), br. 32, str. 23.-27., Tuzla, 2006.
10. Van Wees, J.D., Boxem, T., Angelino, L., Dumas, P.: "GEOELEC – A perspective study on the geothermal potential in the EU", November, 2013.
11. Group of authors: "Training Course on Geothermal District Heating – Manual", Project GeoDH, ISBN 978-83-62922-36-9, MEERI PAS, Krakow, 2014.

ZNAČAJ HIDRODINAMIČKIH MJERENJA U RAZRADI NAFTNOG POLJA

Adnan Hodžić¹, Sanel Nuhanović², Samir Nurić³, Dejan Danilović⁴

SAŽETAK

Naftno polje "Šopron - X" dio je naftnog ležišta "Z-1", a smješteno je na teritoriji Mađarske. U okviru ovog polja izbušeno je nekoliko istražnih bušotina, a prije njihove izrade izvršena su brojna geološka, geofizička, geochemijska i hidrodinamička ispitivanja. Ovim ispitivanjima definisane su stratigrafske karakteristike ležišta, tektonski odnosi, petrofizičke karakteristike stijena, te fizičko-hemijske i PVT karakteristike ležišnih fluida. Definirane su i rezerve ugljovodonika u ležištu.

U radu su obrađene proizvodne karakteristike ležišta, te karakteristike utoka fluida u razmatrane bušotine. Za predviđanje moguće proizvodnje bušotina rađena je sistem analiza u softverskom paketu "PIPESIM". Za analizu su korišteni podaci dobiveni hidrodinamičkim mjerenjima, kao i podaci o karakteristikama fluida.

Na ležištu "Z-1", nakon provedenih hidrodinamičkih mjerenja, utvrđene su proizvodne karakteristike koje su od velikog značaja pri donošenju odluka o načinu i metodama eksploatacije ležišta, intenzitetu proizvodnje, ekonomskoj isplativosti, kao i dužini komercijalne isplativosti, kako naftnog polja „Šopron-X“, tako i ležišta „Z-1“ u cjelini.

Ključne riječi: nafta, gas, naftno polje, hidrodinamička mjerenja, rezerve, stepen iskorištenja ležišta

UVOD

U cilju ispitivanja prisustva ugljovodonika na strukturi "Šopron-X", 1980. godine locirana je i izbušena prva istražna bušotina.

Zadatak bušotine je bio da probuši sedimente tercijarne starosti, nabuši paleoreljef, ispita sastav i razvoj nabušenih formacija i provjeri prisustvo ugljovodonika u stijenskim masama. Istražnim bušotinama su otkrivene komercijalne količine ugljovodonika, te je bušenje ponovljeno izradom bušotine X-001. Bušenjem je potvrđen pretpostavljeni strukturni oblik i otkriveno naftno polje "Šopron-X".

Intenzivno istražno bušenje je nastavljeno, te je, do sada, na polju izbušeno više istražnih i konturno-istražnih bušotina. Cilj svega je povećanje iskorištenja utvrđenih rezervi ugljovodonika.

¹Prof. Adnan Hodžić, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH, sanel.nuhanovic@untz.ba

² Prof. Sanel Nuhanović, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH,, amir.meskovic@untz.ba

³ Prof. Samir Nurić, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH,, , samir.nuric@untz.ba

⁴ Dejan Danilović, NIS-Naftagas Novi Sad, dejan.danilovic@nis.rs

Na bušotini X-001, pri provedenom hidrodinamičkom mjerenju, dobijeni su odgovarajući podaci o pritisku i proizvodnji, koji su i interpretirani. Na osnovu istih dobijena je zavisnost protoka fluida kroz porni prostor od dinamičkog pritiska na dnu, pri čemu je primijenjena metoda indeksa produktivnosti (Well PI) i određene su indikatorske krive (IPR).

1. REZULTATI PROVEDENIH LABORATORIJSKIH PVT ANALIZA

Laboratorijske PVT analize rađene su na reprezentativnom uzorku nafte iz bušotine X-001.

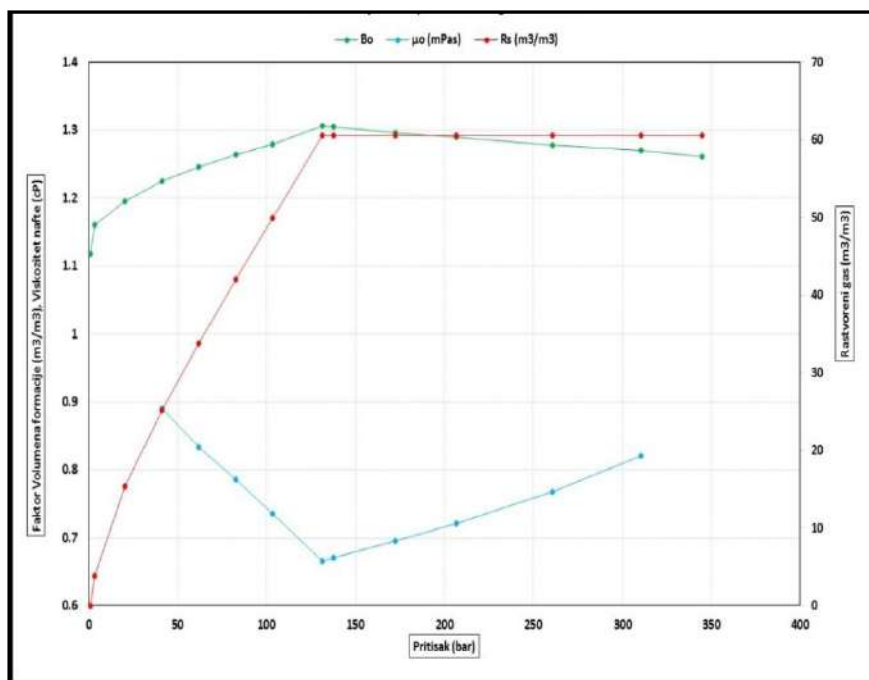
Na uzorku nafte iz intervala 2279,0 - 2567,0 m, koji je ispitivan na ležišnoj temperaturi, pritisak izdvajanja je 131,6 bar, što daje zapreminski faktor za naftu od 0,7278339 (B_{oi}). Količina rastvorenog gasa u nafti dobivena diferencijalnom degazifikacijom iznosi 60,6 m³.

Karakteristike nafte na osnovu PVT ispitivanja date su u tabeli 1, te na slikama 1 i 2.

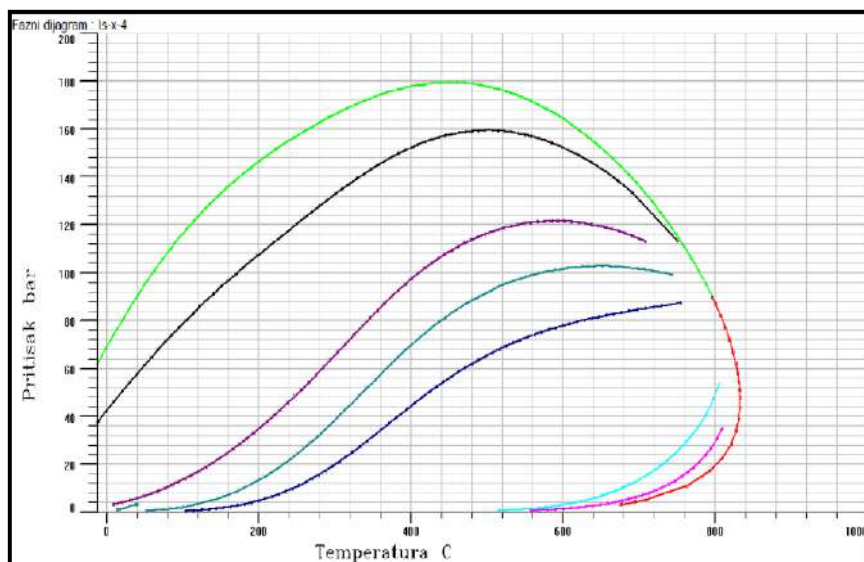
Zaključeno je da ležište "Z-1" pripada grupi nezasićenih ležišta, sa pritiskom zasićenja od približno 131,6 bar, što se poklapa sa vrijednostima diferencijalne degazifikacije.

Tabela 1. PVT karakteristike naftnog ležišta "Z -1"

Pritisak (bar)	Rs (m ³ /m ³)	Bo (m ³ /m ³)	Viskozitet nafte (mPa*s)	Gustina nafte (kg/m ³)
344,8	60,6	1,261	-	-
310,3	60,6	1,2696	0,82061	747,29
260,6	60,6	1,2784	0,76793	740,52
206,9	60,6	1,2889	0,72175	733,41
172,4	60,6	1,2964	0,69599	729,59
137,9	60,6	1,3046	0,67076	725,79
131,6	60,6	1,3065	0,66544	725,23
103,4	49,9	1,2794	0,73558	732,74
82,8	42,01	1,2638	0,78558	738,38
62,1	33,81	1,2457	0,83324	744,55
41,4	25,17	1,2251	0,89099	751,24
20,7	15,36	1,1955	-	-
3,4	3,88	1,1607	-	-
1	0,02	1,1175	-	-



Slika 1. PVT karakteristike naftnog ležišta "Z-1"



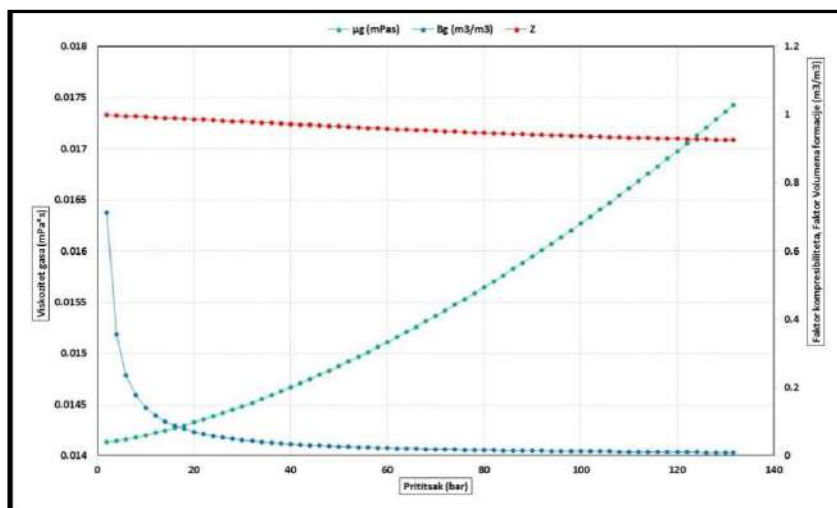
Slika 2. Fazni dijagram naftnog ležišta "Z-1"

Na osnovu pritiska zasićenja nafte (131,6 bar), početne ležišne temperature (133,96 °C) i relativne gustine gasa u odnosu na zrak (0,82), primjenom specijalizovanog programa "Kappa PVT", izračunat je faktor volumena formacije slobodnog gasa – B_g (0,0100458), kompresibilitet gasa – Z (0,92544) i viskozitet gasa (0,017427 mPa s).

Vrijednosti PVT karakteristika gasa prikazane su u tabeli 2, i na slici 3.

Tabela 2. PVT karakteristike rastvorenog gasa naftnog ležišta "Z-1"

P (bar)	Bg (m ³ /m ³)	Z	μg (mPas)
Pb=131,6	0,0100458	0,925446	0,017427
130	0,0101737	0,925838	0,017364
120	0,0110556	0,928702	0,016979
110	0,0121069	0,93226	0,016614
100	0,0133778	0,936474	0,016269
90	0,0149408	0,941297	0,015947
80	0,0169044	0,946673	0,015646
70	0,0194389	0,952536	0,015367
60	0,0228282	0,958813	0,015111
50	0,0275827	0,965422	0,014878
40	0,0347229	0,97227	0,014668
30	0,0466301	0,979261	0,014484
20	0,0704471	0,986288	0,014326
10	0,141887	0,99324	0,014201

**Slika 3.** PVT karakteristike gasa naftnog ležišta "Z-1"

2. REZULTATI PROVEDENIH HD MJERENJA NA BUŠOTINI X -001

Posebno mjesto u eksploataciji nafte i gasa zauzimaju metode ispitivanja bušotina. Cilj ovih ispitivanja je, u prvom redu, praktično saznanje stanja u ležištu i određivanje njegovih produktivnih mogućnosti.

U periodu prije početka eksploatacije, ova ispitivanja predstavljaju neophodnu fazu proučavanja ležišta, dok se za vrijeme eksploatacije bušotine hidrodinamičkim ispitivanjima vrši neophodna kontrola rada same bušotine.

Obradom rezultata hidrodinamičkih ispitivanja dobivaju se važni fizički parametri, koji služe i kao paralelna metoda sličnim ispitivanjima na uzorcima jezgra (propusnost).

Ova ispitivanja nam omogućavaju da dobijemo značajne podatke o bušotini, ali i o samom ležštu. To su podaci o pritisku, temperaturi i protoku (proizvodnji) nafte, gasa i vode, kao i procentu zasićenosti nafte vodom (zavodnjenost), te o veličini gasnog faktora (GOR).

Poznavanje i analiza pritiska u ležištu, u kombinaciji sa podacima o proizvodnji nafte i laboratorijskim podacima o osobinama fluida i stijena, daju nam osnove za određivanje karakteristika ležišta i određivanje rezervi fluida u ležištu.

Postoje različite metode HD merenja, kao što su:

- mjerenje nivoa fluida,
- mjerenje gradijenta fluida u bušotini,
- mjerenje metodom pada pritiska,
- mjerenje metodom porasta pritiska,
- ispitivanje injekcionih bušotina metodom pada pritiska,
- limit test,
- test interferencije,
- puls test.

Tokom ovih mjerenja, neophodno je prikupiti sledeće površinske podatke:

- pritisak na tubingu,
- pritisak na kezingu,
- protok fluida na površinskim uslovima (Q_{fl} , Q_n , Q_g , Q_v),
- nivo fluida u bušotini.

Podaci mjerenja, koji se dobivaju na dnu bušotine su:

- pritisak na dubini merenja (dubina instalacije manometra, dubina ESP pumpe),
- temperatura na dubini merenja (dubina instalacije manometra);,
- statički i dinamički nivoi fluida.

Proizvodne karakteristike naftnog ležišta "Z-1" su utvrđene hidrodinamičkim mjerenjima na bušotinama. Hidrodinamička mjerenja na ovim bušotinama su rađena na više otvora dizni i bušotine su zatvarane, zbog mjerenja porasta pritiska. Jedna od tih bušotina je bila i bušotina X-001.

Tabela 3. Rezultati merenja produktivnosti na ležištu "Z-1"

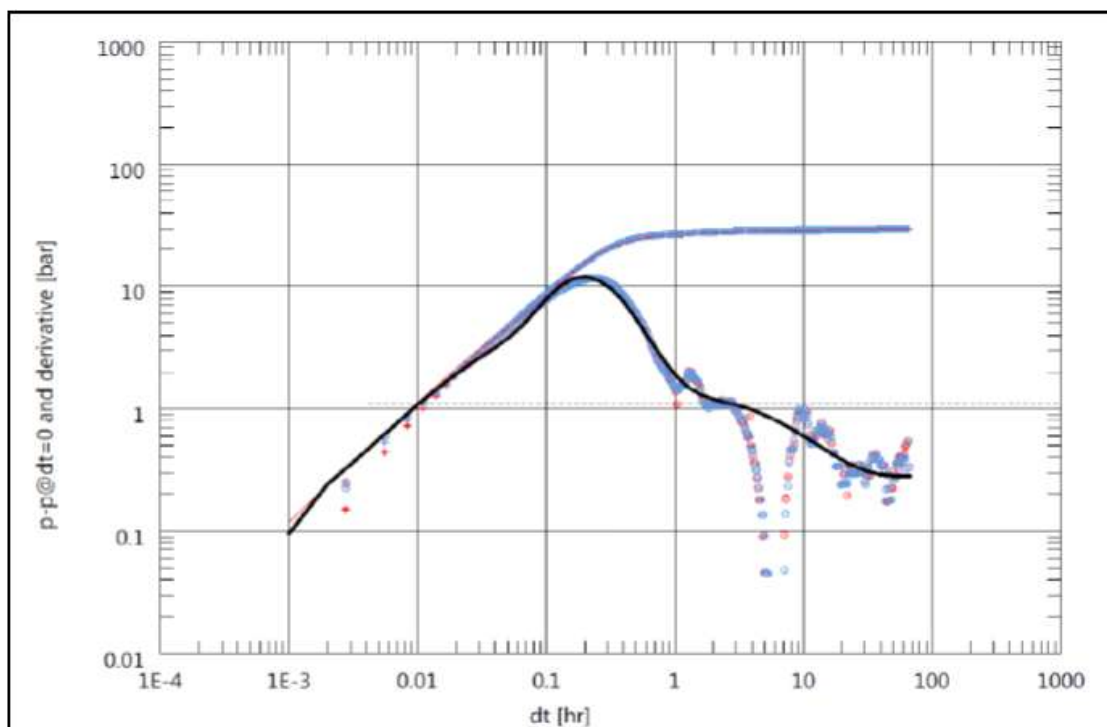
Dizna	Ps	Pd	Depresija	Qo	Qg	Qfl
(mm)	(bar)	(bar)	(bar)	(m ³ /dan)	(m ³ /dan)	(m ³ /dan)
2,3	260,89	249,6	11,3	25,4	1155,8	25,6
2,6		249,1	11,8	30	1388	30,5
3		247,8	13,1	43	2011	43,6

Ps-statički pritisak; Pd-dinamički pritisak; Qo-proizvodnja nafte; Qg-proizvodnja gasa; Qfl-proizvodnja fluida; GOR-gasni faktor; IP-indeks produktivnosti

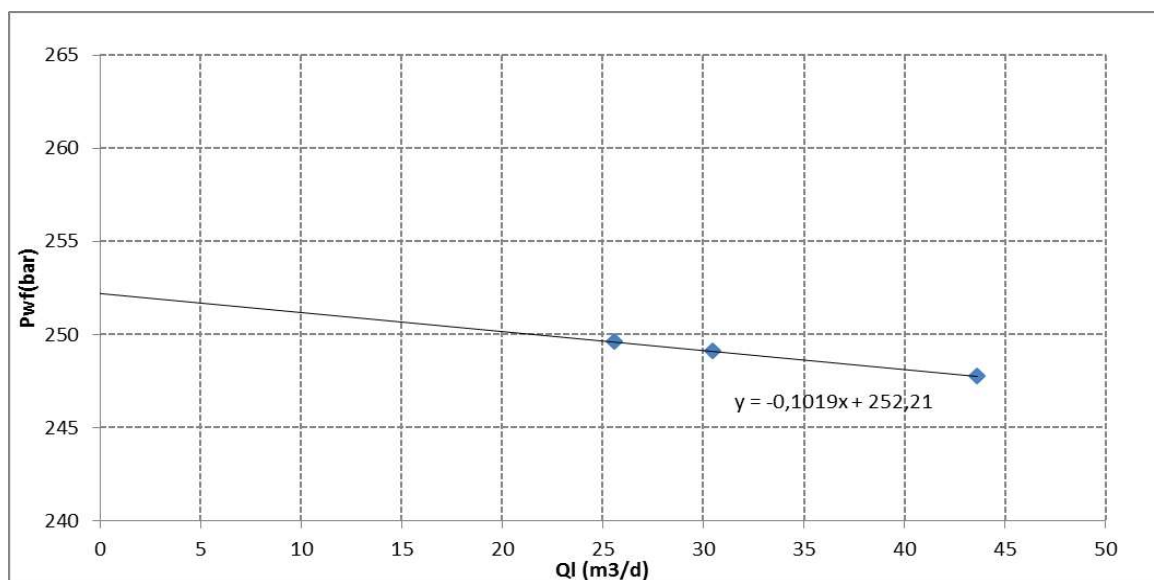
Mjerenje porasta pritiska, rađeno na bušotini X-001, na osnovu interpretacije krivih porasta pritiska, dalo je vrijednosti za propusnost (k), kapacitet sloja (kh) i skin faktor.

Prikazani rezultati mjerenja porasta pritiska na bušotini X-001, ali i na nekolicini ostalih bušotina, pokazuju da kolektori ležišta "Z-1" pripadaju srednje do dobro propusnim kolektorima, a u bušotini X-001 je, na osnovu dobivenih vrijednosti skina, konstatovano zagađenje pribušotinske zone (i ne samo u njoj).

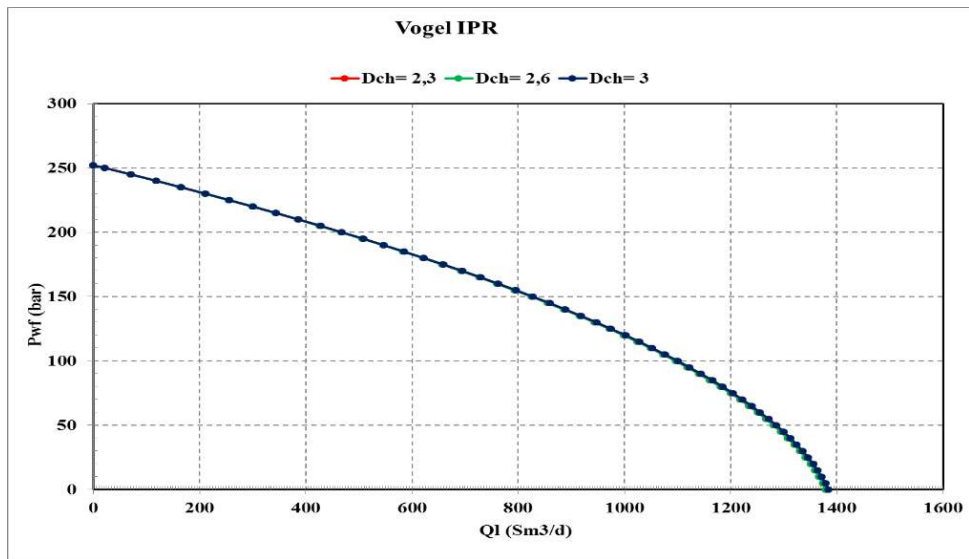
Na osnovu interpretacije derivacione krive, jasno se uočava da se bušotina nalazi u ležištu sa jakim aktivnim vodonapornim režimom, što uzrokuje nagli pad derivacione krive na dole (slike 4, 5 i 6).



Slika 4. Derivaciona kriva bušotine X-001



Slika 5. Rezultati IPR analize za pojedine otvore dizne



Slika 6. Rezultati analize ležišnog pritiska provedenom metodom interpolacije

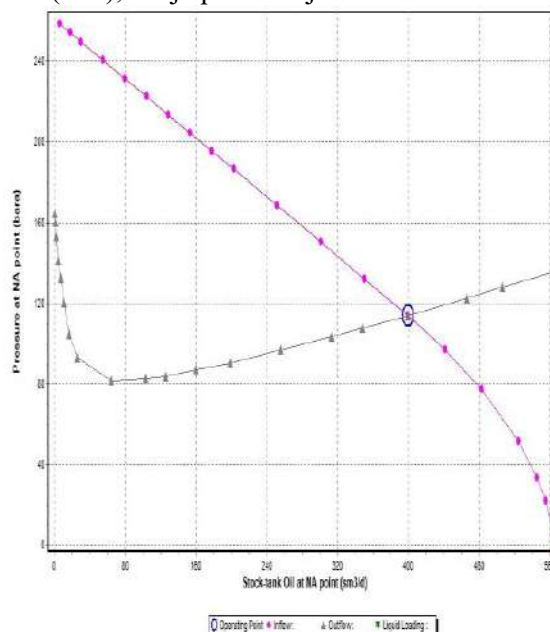
Uzevši u obzir PI i ponašanje pritiska na tubing-u, kao optimalan režim pokazao se onaj koji se ostvaruje uz otvor dizne od 2,3 mm. Za razliku od režima na 3 mm, otvor od 2,3 mm pokazuje stabilniji rad i stabilniji pritisak na tubing-u.

3. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE NAFTE I GASA IZ BUŠOTINA

O proizvodnim karakteristikama ležišta i karakteristikama utoka fluida u bušotine može se govoriti na osnovu izvršenih hidrodinamičkih mjerenja na bušotinama.

Za primjer je, između ostalih, uzeta i bušotina X-001.

Na bušotini X-001, pri sprovedenom hidrodinamičkom mjerenju, dobiveni su odgovarajući podaci o pritisku i proizvodnji, koji su i interpretirani. Na osnovu istih, dobivena je zavisnost protoka fluida kroz porni prostor od dinamičkog pritiska na dnu, pri čemu je primijenjena metoda indeksa produktivnosti (Well PI) i određene su indikatorske krive (IPR), što je predstavljeno na slici 7.



Slika 7. Indikatorska kriva bušotine X-001

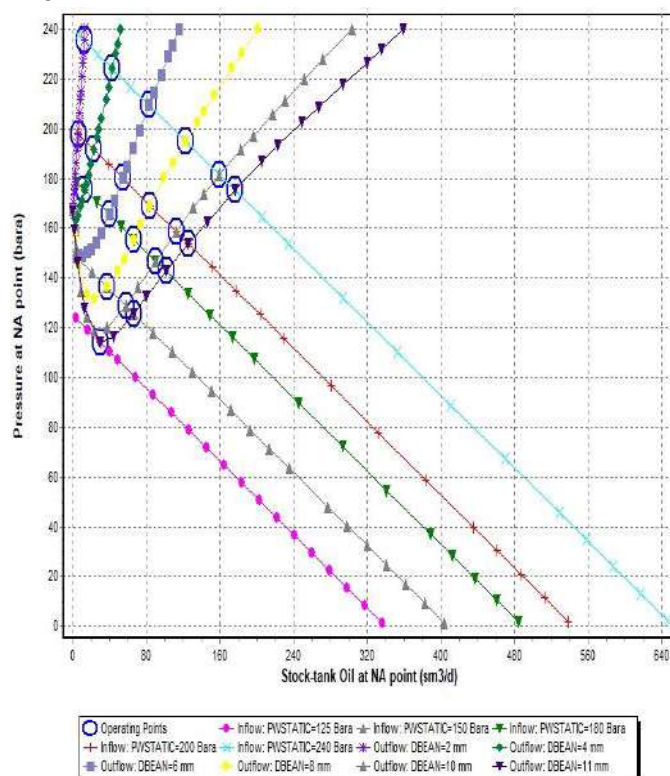
4. SISTEM ANALIZA RADA BUŠOTINA

Za predviđanje moguće proizvodnje bušotina, rađena je sistem analiza u softverskom paketu "PIPESIM". Za analizu su korišteni podaci dobiveni hidrodinamičkim mjerenjima, kao i ostali, prethodno dobiveni podaci.

4.1. ANALIZA UTICAJA PREČNIKA DIZNE

Većina eruptivnih naftnih bušotina, kao i određeni broj bušotina sa mehaničkom metodom proizvodnje, opremljen je diznama na površini, u cilju kontrole pritiska i regulacije proizvodnje. Dizne se postavljaju na ustima bušotine ili na kolektoru za sabiranje. Pri analizi uticaja prečnika dizne, nodalna tačka se uzima na površini, tj. na ustima bušotine.

Na bušotini X-001, u cilju rješavanja eventualnih problema zaostajanja i sakupljanja tečne faze na dnu bušotine, urađeno je predviđanje ponašanja bušotine uz pad ležišnog pritiska sa različitim otvorima dizni, što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Grafički prikaz analize uticaja pada ležišnog pritiska i otvora dizne na protoke - bušotina X-001

Na dijagramu se može uočiti da, pri padu ležišnog pritiska ispod 180 bar, na manjim prečnicima dizne, dolazi do problema sa iznošenjem fluida eruptivnim radom, te je neophodno uključiti neku od mehaničkih metoda eksploatacije.

DISKUSIJA

Hidrodinamička mjerenja predstavljaju osnovnu vrstu mjerenja koja se provodi u fazi eksploatacije svake pojedine bušotine, odnosno razrade naftnog ležišta, u cjelini. Ovim mjerenjima utvrđuju se proizvodne karakteristike ležišta, dobivaju podaci o protoku i faznom stanju fluida u ležištu, pritiscima u

pojedininim dijelovima sistema, te definiše optimalan režim proizvodnje svake pojedinačne bušotine u okviru ležišta.

Na osnovu ovih ulaznih podataka a uz pomoć sistem analize (softverski paket "PIPESIM) u mogućnosti smo da efikasno prognoziramo proizvodnju kompletnog polja.

Na osnovu ovakvog pristupa, definisan je prečnik otvora dizne za optimalan režim proizvodnje, što bi trebalo dovesti do povećanja stepena iskorištenja ležišta.

ZAKLJUČAK

Primjenom hidrodinamičkih (HD) mjerenja prikupljaju se neophodni podaci o proizvodnim karakteristikama ležišta i podaci o promjeni pritiska u ležištu. Na ležištu "Z-1", poslije urađenih hidrodinamičkih mjerenja, utvrđene su proizvodne karakteristike koje su od velikog značaja pri donošenju odluka o načinu i metodama eksploatacije ležišta, intenzitetu proizvodnje, ekonomskoj isplativosti, kao i dužini komercijalne isplativosti, kako ležišta "Z-1", tako i čitavog polja "Šopron-X".

Na bušotini X-001 rađeno je mjerenje porasta pritiska te su, na osnovu interpretacije krivih porasta pritiska, dobiveni podaci o propusnosti (k), kapacitetu sloja (kh) i skin faktoru, čije vrijednosti omogućavaju uspješnije proračune, čijim rezultatima dobivamo vrijednosti koje nam precizno ukazuju na ukupne količine rezervi koje je moguće eksploatirati, optimalni režim rada bušotine i ležišta, optimalni otvor dizne koju ćemo koristiti, kao i kvalitetnije određivanje vrijednosti ležišnog pritiska.

Dobiveni podaci ukazuju da se bušotina X-001 nalazi u dijelu ležišta sa izraženim vodonapornim režimom, što direktno utiče na uspješniju eksploataciju i veću iskorištenost ležišta.

Na bušotini X-001 rađeno je mjerenje proizvodnje na 3 otvora dizni, radi definisanja optimalnog režima rada bušotine. Na osnovu mjerenja produktivnosti bušotine, urađena je analiza IPR krive i određivanje ležišnog pritiska metodom interpolacije.

Ležišni pritisak na dubini od 2200 m iznosi 252 bar, sveden na sredinu perforacije 2277 m, gradijentom 0,74 bar/m iznosi 258,91 bar. Očitavanjem Vogelove IPR krive i provjerom IP, dolazi se do zaključka da će optimalni režim proizvodnje biti na dizni od 2,3 mm.

LITERATURA

1. Danilović, D.: "Razrada i eksploatacija ležišta "Z-1" naftnog polja Šopron-X", Magistarski rad, RGGF Tuzla, Tuzla, 2023.
2. L.P.Dake.: "Fundamentals of reservoir engineering", 1st Edition, 1983. Elsevier
3. Lowell, J.M.: "Structural Styles in Petroleum Exploration", Oil&Gas Constultants International Inc., Tulsa, Oklahoma, USA, 1997.
4. Valenti, R.: "New Oil From Old Field", Oil & Gas Consultants Internacional Inc., Tulsa, Oklahoma, USA, 2003.
5. Studija izvodljivosti eksploatacije nafte i rastvorenog gasa na eksploatacionom polju "Z-1"
6. Tehnička dokumentacija NIS – Naftagas Novi Sad

HIDROTERMALNI PRODUKTI SPREČANSKE RASJEDNE ZONE

Amir Mešković¹, Sanel Nuhanović², Adnan Hodžić³, Damir Baraković⁴

SAŽETAK

Složeni endogeni geotektonski procesi su predisponirali sprečansku rasjednu zonu sa različitim geotektonskim strukturama u okviru kojih je formiran akvifer termomineralnih voda sa eskalacijom CO₂, u području Gračanice, lociranom u donjoj sprečanskoj depresiji koja čini kontakt sa dva različita stijenska kompleksa i to: vulkanogeno-sedimentnog i ultramafitskog kompleksa «centralni ofiolitski melanž» južno od sprečanske rasjedne zone i kredno-tercijarnog kompleksa sedimenata «unutrašnji ofiolitski tektonizirani melanž» sjeverno od rasjedne zone.

Ključne riječi: sprečanski rasjed, termo-mineralna voda, bušotina, temperatura

UVOD

Porijeklo termomineralnih voda ovog lokaliteta, geotektonski i hidrogeološki uslovi koji se ovdje odvijaju, privuklo je pažnju mnogih istraživača. Analizom rezultata dosadašnjih istraživanja, može se utvrditi da su izrasjedani trijaski krečnjaci tranzitni akviferi (izdani) termomineralnih voda, u kojima se voda nalazi pod arteškim pritiskom.

Stijenske mase na ovom terenu po svojim hidrogeološkim funkcijama mogu se podijeliti na hidrogeološke kolektore i hidrogeološke izolatore.

Hidrogeološki kolektori se mogu podijeliti na kolektore običnih, termomineralnih i miješanih voda.

Kolektori običnih voda su formirani u aluvijalnim sedimentima, riječnim terasama i siparima. To su kolektori intergranularne poroznosti i pod velikim su uticajem rijeke Spreče.

U krednim (K) i tercijernim (Tc) karbonatnim stijenskim masama razvijene su izdani običnih voda složenog hidrauličkog mehanizma. To su slabo do srednje vodopropusni tereni. U okviru aluvijalnih sedimenata na različitim lokacijama registrovane su izdani miješanih voda. Njihove pojave su registrovane na izvorima, kopanim bunarima i seoskim "Nortonovim" pumpama.

Dijabaz-rožna formacija jurske starosti je predstavljena metamorfisanim pješčarima, laporcima i drugim litološkim članovima sa neznatnom poroznosti. Neogenim geotektonskim aktivnostima je izrasjedana, što je prikazano na geotektonsko-hidrogeološkom modelu i predstavlja krovinsku barijeru uzlaznom kretanju termo-mineralnih voda kao i podinsku barijeru descendentnom kretanju površinskih hladnih voda na širem lokalitetu od sprečanske rasjedne zone.

¹Prof. Amir Mešković, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH, sanel.nuhanovic@untz.ba

² Prof. Sanel Nuhanović, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH,, amir.meskovic@untz.ba

³ Prof. Adnan Hodžić, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, BiH,, , samir.nuric@untz.ba

⁴ Damir Baraković, JP „Vodovod i kanalizacija“ d.o.o. Gračanica

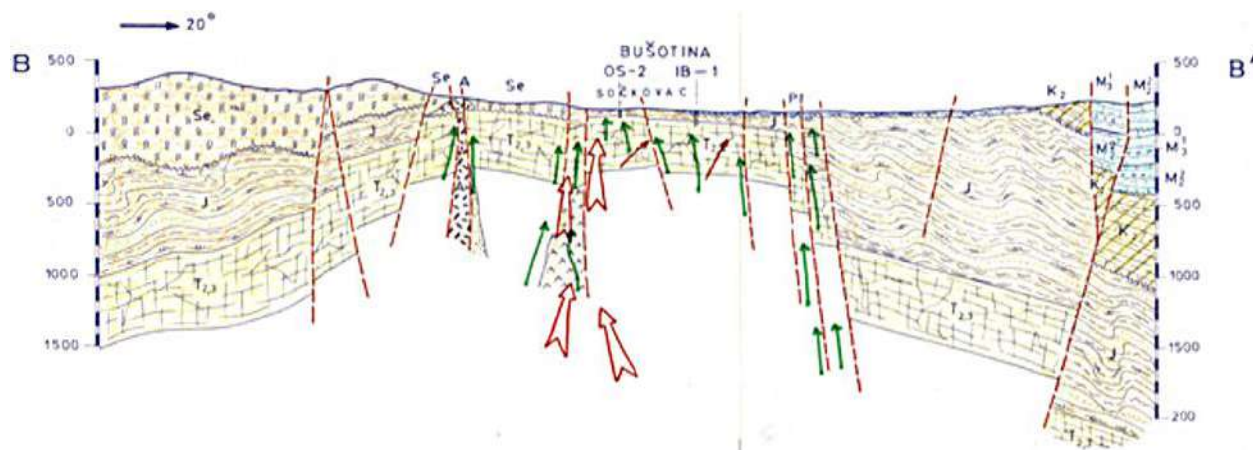
Zahvaljujući postojanju rasjeda u pomenutoj rasjednoj zoni, odvija se konvektivno uzlazno strujanje termomineralnih voda i CO₂ iz već utvrđenih akvifera (izdani).

Analizirajući prikazani model sa rasjednom strukturom i mehanizmom kretanja voda urađen po dosadašnjim istraživanjima, ostaje dilema da li i u podini krečnjaka, kao akvifera termomineralnih voda, postoje akumulacije istih, koje usporenom ascenzijom izbijaju na površinu terena.

1. GEOLOŠKE ODLIKE TERENA

Kolektori termo-mineralnih voda i CO₂ na ovom području su karbonatne stijene, vjerovatno trijaskke starosti. Trijaska starost ovih stijena nije paleontološki utvrđena. Dubina do primarnog kolektora je različita od lokaliteta do lokaliteta i uslovljena je tektonikom.

Geotektonsko-hidrogeološki poprečni profil lokaliteta termo-mineralne vode na lokalitetu Sočkovac-Gračanica, predstavljen je na slici 1.



Slika 1. Geotektonsko-hidrogeološki poprečni profil lokaliteta TMV Gračanica

Analizom poprečnog profila (B-B), uočava se velika tektonska poremećenost i izrasjedanost litoloških tvorevina obje strukturno-facijalne jedinice, uključujući i tvorevine sprečanske depresije, izuzev kvartara (Q), što ukazuje na intenzivnu i složenu tercijarnu geotektonsku aktivnost, posebno izraženu za kraj paleogena i početak neogena, čime je svrstavamo u oligomiocen.

Sprečanska rasjedna zona je višefazno regenerirana, a i trenutno je aktivna, što se može tvrditi čestim seizmičkim potresima, kao i pojavom i analizom izotopnog sastava CO₂ i sadržajem radona u termomineralnim vodama što je prikazano u analizi topometrijskih elemenata u sastavu termo-mineralnih voda (tabela 1).

Tabela 1. Fizičko-hemijski sastav termomineralnih voda Gračanice

Kationi (mg/l)	Anioni (mg/l)	Gasovi (mg/l)	Mikroelementi (mg/l)	Radioaktivnost (mg/l)	Fizičke osobine
NH ₄ 0,1-3,27	HCO ₃ 2322-2391	CO ₂ 198-642	Li 270-2100 Pb 1	Ru 0,49-1,68	Mineraliz. 3538-4119 mg/l
Fe ²⁺ 4,2	SO ₄ - 3,5-5,0	O ₂ 11,86	Rb 470 As 4	Ra 0,19-0,39	Suhi ostatak 2240-2343
Na ⁺ 277,2-606	Cl - 187-198	N ₂ 13,26	Sr 2050 Ag 0,2	U 0,1	Tvrdoća 15,43-32 mg/l
K ⁺ 35,5-40	F - 0,76-1,11	H ₂ S 0,07	Ba 1500 Cd 0,2	SiO ₂ 38-40,1	pH 6,9-7,2
Mg ⁺ 63,6-134,2	Br - 0,16-0,20		Cr 3 Ti 2	HBO ₂ 19-25	Eh +60 mV – 2,81 mS/em
Ca ⁺ 204,4-420	J - 0,04-0,06		Zn 2 Mo 0,5		Temperatura 39°C
	NO ₃ - 6,88		Ni 1 Hg 0,2		
	HPO ₄ - 0,09-0,32		Co 1 Se 1		
	HS - 0,05		Cu 1 Al 24-430		

Analizom fizičko-hemijskog sastava termo-mineralnih voda iz bušotine OS-2, može se konstatovati da je ista hipertermalna, mineralna, natrijsko-kalcijsko hidrokarbonatna, dok je CO₂ u ovom dijelu sprečanske rasjedne zone dvojakog porijekla.

Iz plićih zona, gdje nastaje aktivnim hemijskim procesima u trijaskim krečnjacima, te iz dubljih zona, gdje nastaje termometamorfnim procesima u izrasjedanim serpentinsko-peridotitskim stijenama, koje čine podinu trijaskim krečnjacima u kojima su temperature izuzetno visoke.

2. PRIRODNE MINERALNE VODE U SPREČANSKOJ DEPRESIJI

Prirodne mineralne vode sprečanske depresije imaju veoma složene geološke i hidrogeološke uslove u kojima su formirane i egzistiraju. Utvrđeno je da prirodne mineralne vode na obodima ove depresije imaju povećan sadržaj iona Mg, Fe, te povećan sadržaj CO₂.

Prirodna mineralna voda «Tuzlanskog kiseljaka Mg⁺⁺» sadrži koncentraciju Mg od 650 mg/l, što ukazuje na specifične hidrogeološke uslove, a povećana mineralizacija Mg vodi porijeklo od raspadnutih ultrabazičnih stijena sa forsteritom (Mg₂SiO₄) i enstatitom (MgSiO₃).

Prisustvo CO₂ u mineralnim vodama ove depresije može se vezati za duboke strukturne rasjede, kao ogranke ili dijelove sprečanske rasjedne zone, duž kojih CO₂ dopire iz većih dubina, a nastaje reakcijom CaCO₃ + SiO₂ = CaSiO₃ + CO₂.

Dakle, CO₂ je vezan za metamorfne procese, izazvane magmatskim erupcijama tokom krednog perioda. Na lokalitetu "Ljubače" (IEB-1) CO₂ se može vezati za dublje magmatske procese, a izbijanje na površinu u vidu kisele vode posljedica je tektonskih poremećaja.

Ovo potvrđuju i pojavljivanja termalnih i mineralnih voda, te kiselih voda duž čitave sprečanske depresije, od Toplica (24° C), preko Ljubača, Starog kiseljaka i termalne vode (22° C) u naselju Kiseljak (Ševar), pa do kiselih voda u Miričini i termalne vode Sočkovac (39° C) kod Gračanice.

3. REZULTATI HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Termomineralne vode Gračanice, Sočkovca i Kakmuža pripadaju sprečanskoj hidrotermalnoj anomaliji. Na osnovu dosadašnjih istraživanja i ispitivanja može se zaključiti da su trijaski krečnjaci osnovni akvifer termomineralnih voda i gasa (CO₂).

Na osnovu rezultata dosadašnjih bušenja i rezultata hemijskih analiza voda i gasova, te registrovanih pojava eshalacija gasa na površini terena, možemo zaključiti da se, na istražnom prostoru, trijaski krečnjaci nalaze na različitim dubinama od površine terena.

Bušotine GB-1 i GB-2 nabušile su trijaski krečnjake na dubinama od 45 m i 60 m, a bušotine GB-3 i GB-6 na dubinama od oko 100 m.

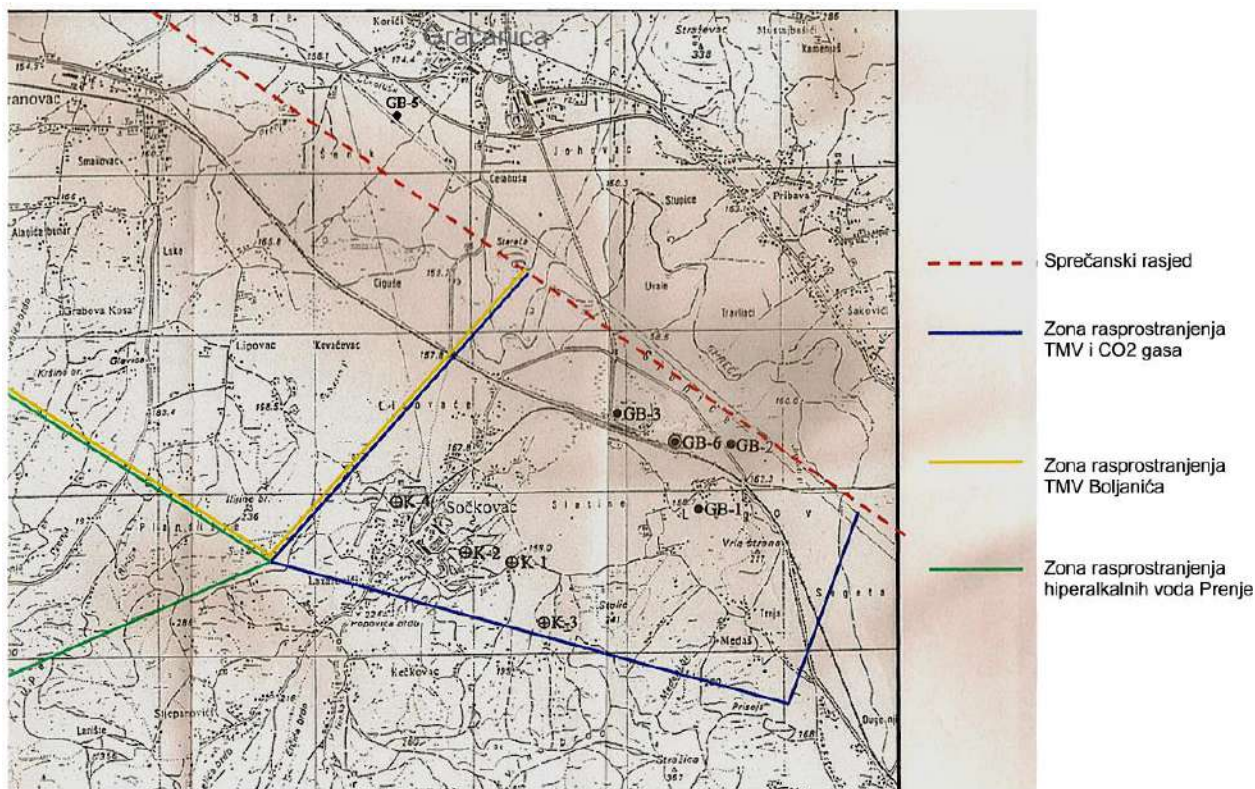
Bušotina GB -5, na desnoj obali rijeke Spreče, izbušena je do dubine od 621 m i nije nabušila trijaski krečnjake, odnosno, ostala je u sedimentima koji čine krovinu trijaskim krečnjacima na lijevoj obali rijeke Spreče. Posljedica toga je da je sjeverno krilo rasjedne zone spušteno u odnosu na južno.

Važno je istaći da u rejonu Sočkovac – Kakmuž, te području depresije na desnoj strani obale rijeke Spreče, rejon Gračanica, gdje imamo eshaliranje CO₂ gasa, postoji intenzivna inkrustacija u bušotinama, koja se javlja uslijed promjene pritiska.

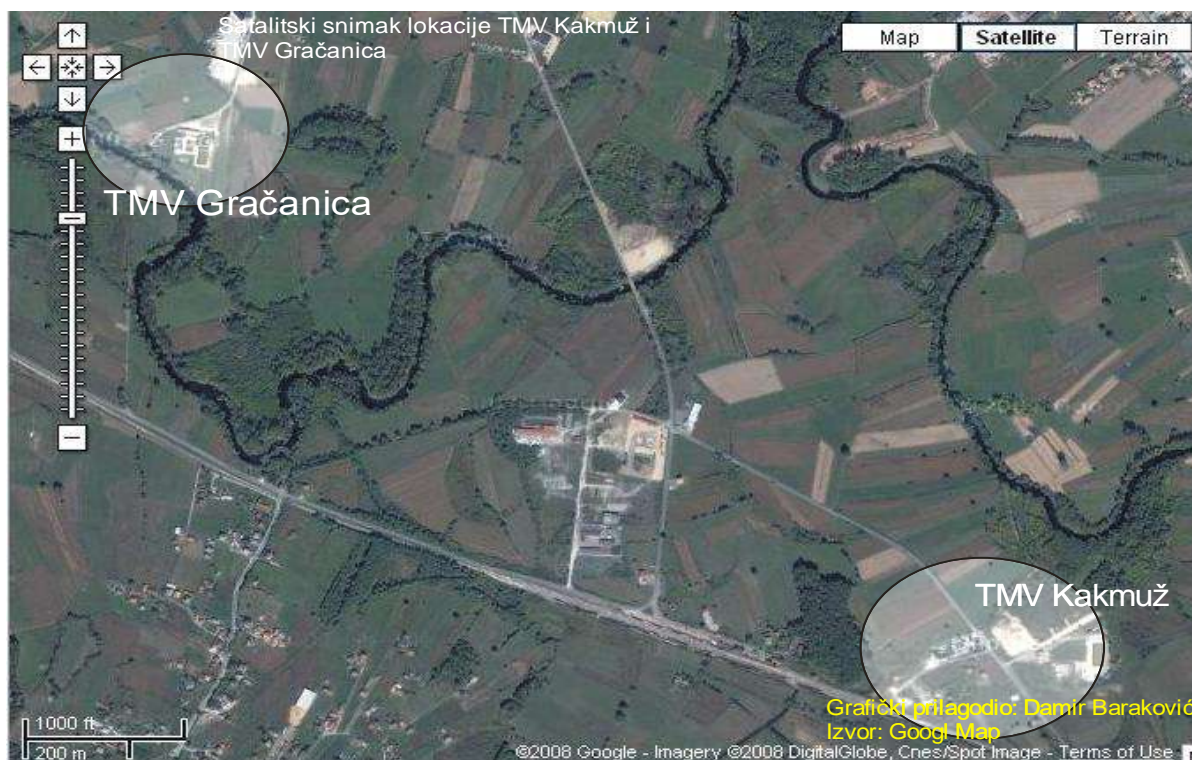
U ovoj zoni, termo-mineralne vode imaju znatno višu temperaturu i različiti hemizam u odnosu na vode u području Boljanića, gdje vode imaju manji sadržaj CO₂, hiperalkalne su (pH ≈ 11), niže temperature, bez inkrustacija, ali sa eshalacijama metana.

3.1. PROSTORNI POLOŽAJ AKVIFERA TERMOMINERALNE VODE I GASA

Na slici 2, prikazan je prostorni položaj sredina sa različitim hemizmom voda, dok je na satelitskom snimku (slika 3), predstavljen prikaz pozicija termo-mineralnih voda na lokalitetima Sočkovac – Kakmuž i Gračanica.



Slika 2. Prostorni položaj sredina sa različitim hemizmom voda R 1 : 25000



Slika 3. Satelitski snimak središnjeg dijela sprečanske depresije sa pozicijama pojava termo-mineralnih voda

Prilivi voda na bušotinama izrađenim u krečnjacima su na raznim dubinama i u najvećem broju hidraulički nezavisni u prirodnom režimu prije bušenja. To dokazuju različite temperature, pritisci i fizikčko-hemijske karakteristike voda, utvrđeni tokom bušenja.

Iz ovog se vidi da postoji i interstratifikacijska horizontalna do subhorizontalna kavernožnost i ispucalost krečnjaka na raznim dubinama, koja je izraženija od rasjedne i koja daje ascendentnu konvekciju vertikalnim komunikacijskim drenovima. Ovo opravdava provođenje dubljih bušenja u krečnjački kolektor, jer će se time dobiti veće količine voda.

Istražnim bušenjem, rađenim 2003. godine, dobijene su eshalacije CO_2 iz akvifera bez pojave termo-mineralnih voda. Ova činjenica ukazuje da se stvaranje CO_2 odvija bez prisustva voda i na većim dubinama od akvifera termo-mineralnih voda.

Termo-mineralne vode istražnog područja su stare vode, prednuklearne po triciju, a po nekim podacima stare su 20.000 – 40.000 godina. Vodozamjena i cirkulacija je spora, a prihranjuju se iz hipsometrijski viših dijelova Ozrena i okolnih planina.

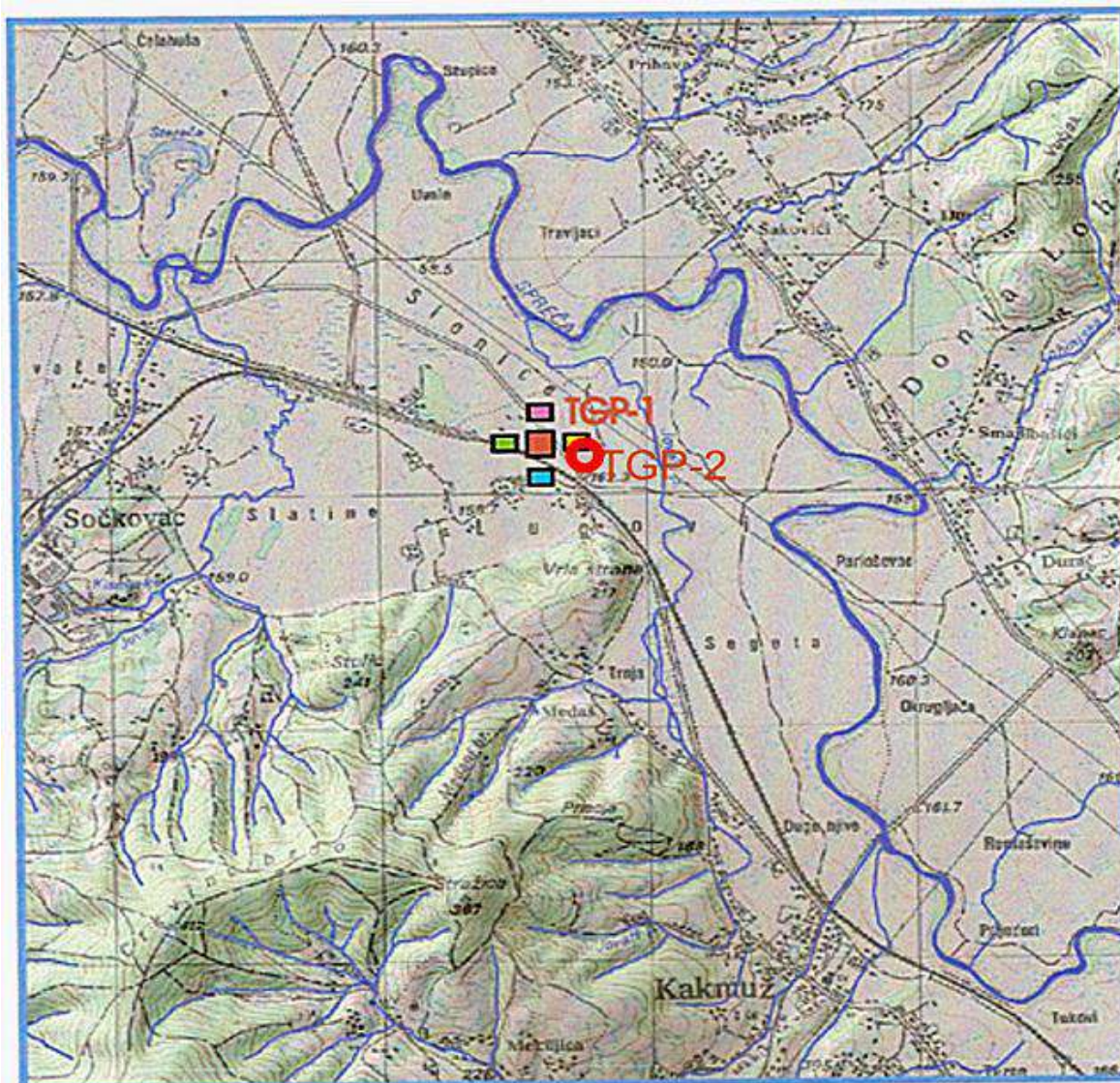
Mineralizacija ovih voda, kao i i obogaćivanje sa CO_2 , vrši se na većim dubinama i znatno većim temperaturama. Nastanak CO_2 i mjesto njegovog utoka je na većim dubinama od dubine pojavljivanja termo-mineralnih voda.

Na ovo ukazuje činjenica da su veće količine radona u gasu nego u termo-mineralnim vodama.

Na dubini nastanka CO_2 vladaju visoki hidrostaticki pritisci i temperature, veći nego u akviferu termo-mineralnih voda te, zahvaljujući tome, dolazi do eskaliranja odnosno do erupcije termo-mineralnih voda.

4. ISTRAŽNA BUŠOTINA TGP-2

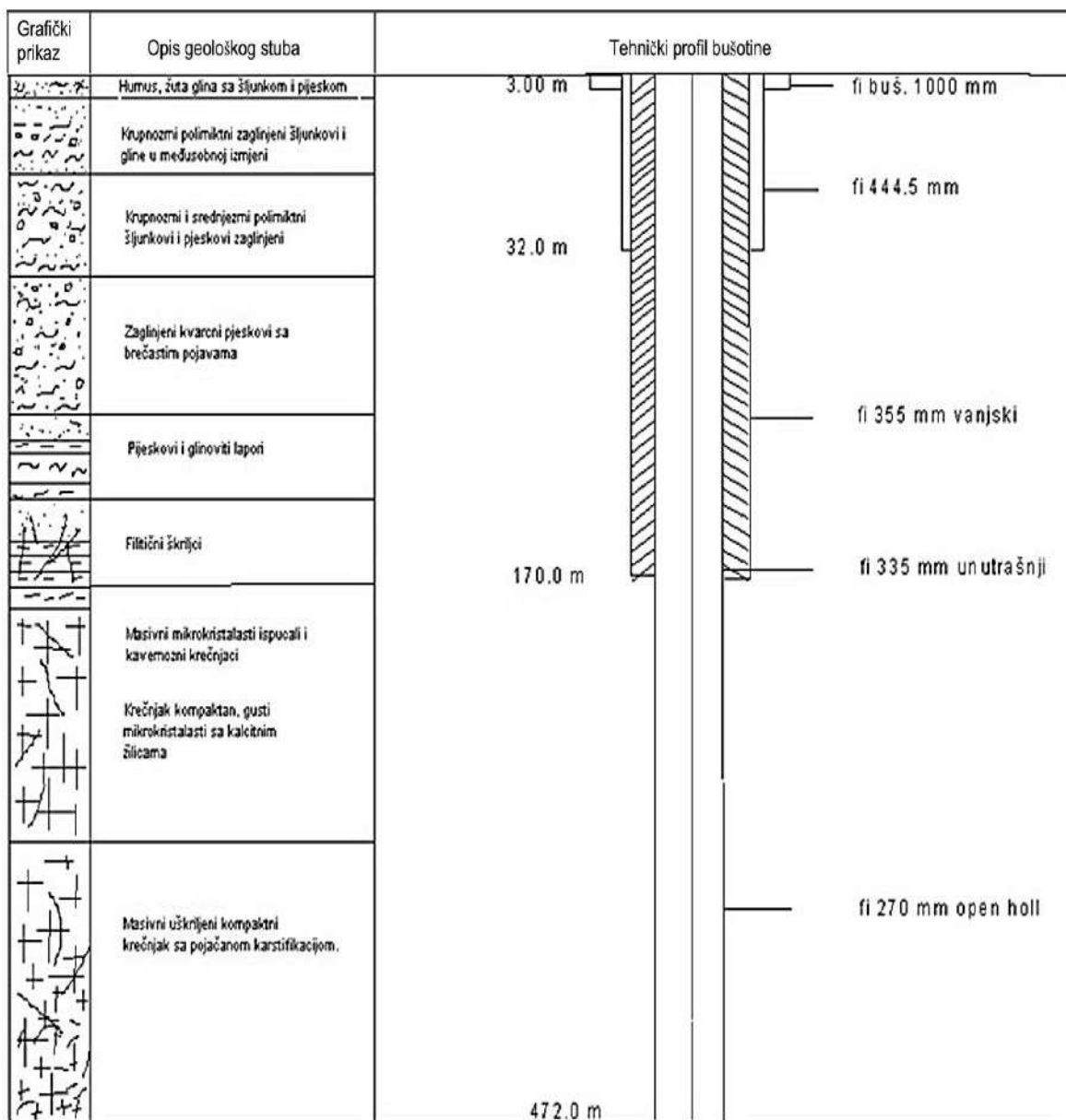
Na osnovu iskazanih potreba za novim količinama CO_2 , odnosno potrebama preduzeća koje se bavi eksploatacijom i preradom ove mineralne sirovine na istraživanom području, još 2007. godine izbušena je nova bušotina (TGP-2), dubine 472 m, na poziciji prikazanoj na slici 4.



Slika 4. Geografski položaj bušotine TGP-2

4.1. LITOLOŠKO-TEHNIČKI PROFIL BUŠOTINE TGP -2

Bušotina TGP-2 izbušena je na osnovu izvršenih geofizičkih istraživanja, te rezultata koji su dobiveni na osnovu tih ispitivanja. Na slici je 5, prikazan je litološko - tehnički profil bušotine TGP-2.



Slika 5. Litološki profil sa konstrukcijom bušotine TGP-2

5.REZULTATI ISTRAŽNOG BUŠENJA

Tokom bušenja, u zoni krečnjaka, utvrđene su tri serije blokova, odnosno akvifera, razdvojeni rasjednim ravnima, koji su glavni nosioci mineralizovane vode.

Tom prilikom je, na dubini između 200 m i 250 m, došlo do propadanja bušaćeg alata i gubitka isplake.

Može se pretpostaviti da je to jedna veća "kaverna", iz koje eskaliraju veće količine gasa i vode.

Drugi akvifer je u intervalu od 280 m – 340 m, a treći od 380 m – 450 m.

U okviru svih navedenih intervala dolazi do pada vrijednosti specifičnog električnog otpora, što ukazuje na karstifikaciju krečnjaka.

Mjerenje izdašnosti bunara prvi put je izvršeno 18.12.2007. godine, pri čemu su dobijeni slijedeći rezultati:

Prvo mjerenje: 18.12.2007.

Izvršeno je mjerenje izliva vode iz bušotine TGP-2, (airlift vršen puštanjem prerađenog CO₂)

Uočene karakteristike:

- Kapacitet vode:
Za 6.5 sec. napuni se posuda $V=700$ l
 $Q_v = 385\text{m}^3/\text{h}$ ili 107 l/s

- Kapacitet gasa ($\phi 150$ mm),
Balon (8m^3) napuni se za 53 sek.

$$Q_g = 550 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ili } 770 \text{ kg/h}$$

$$Q_{\text{fakt}} = 1:1,4 - \text{H}_2\text{O} : \text{CO}_2$$

Drugo mjerenje: 14.02.2008.

Mjerenje vršeno kompresorom $p = 2.5\text{-}3$ kW vršne snage. Na dubinu od 250 m, upumpavan zrak pod pritiskom od 23 bar.

Uočene karakteristike:

- Kapacitet gasa ($\phi 250$ mm)

Balon (8 m^3) napuni se za 40 sec.

$$Q_g = 720 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ili } 1008 \text{ kg/h}$$

Za proračun, uzimamo koeficijent od 1.4 iz proizvodnje 1m^3 gasa, odnosno 1,4 kg. što daje rezultat:

$$Q_v = 385\text{-}396 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ili } 107\text{-}110 \text{ l/s}$$

Izmjerena je i vrijednost pritiska kompresora u slobodnom radu bez opterećenja.

Balon 8 m^3 napuni za 6.5 minuta.

$$P_{\text{komp.}} \approx 1.5 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Na osnovu testiranja bušotine, izračunati su hidrogeološki parametri vodonosne sredine. Ona se nalazi blizu bušotine (cca 70 m) TGP-1, te se parametri mogu koristiti i za akvifer nabušen bušotinom TGP-2.

Koeficijent transmisibilnosti iznosi:

$$T = 1.05 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

a koeficijent filtracije:

$$k = 1.05 \times 10^{-9} \text{ m/s}$$

Iz datih vrijednosti parametara vodonosne sredine, vidi se da trijaski akvifer spada u vodoobilne sredine što je i potvrđeno dosadašnjim istraživanjima.

6.FIZIČKO – HEMIJSKE KARAKTERISTIKE VODE I GASA

Termo-mineralne, ugljično kisele vode istraživanog područja su hipertermalne, mineralne $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$ tipa, kisele, sa sadržajem rastvorenog CO_2 u količini od 200-620 mg/l, sa slobodnim CO_2 od 2 dm^3/l vode, sa povećanim sadržajem SiO_2 i HBO_2 , te su sa željeza sa bogatim sadržajem efektivnih mikroelemenata sa mineralizacijom 3,5 g/l, blago radioaktivne. Temperature voda su od 37 – 39° C. Sadržaj rastvorenog i slobodnog CO_2 je 98-99%.

Tokom istraživanja urađene su kompletne hemijske analize voda i analize na radioaktivnost za područje istraživanja na lijevoj strani obale rijeke Spreče.

Upoređivanje hemijskih analiza vode koje su rađene u prethodnim istraživanjima (1989.) od strane "Geoinstitut" Beograd i Instituta "Jozef Štefan" Ljubljana, i rezultata koje su rađene 2003. godine u "Zavodu za zdravstvo" u Banja Luci, ukazuje na to da su termomineralne vode ovog područja hidrokarbonatno-hloridno-natrijum-kalcijske vode. Mineralizacija ovih voda se kreće od 3.700 – 4.500 mg/l, uz suhog ostatka 1.400 – 2.500 mg/l. Temperatura vode je 312 K (39°C).

U ovom vremenskom intervalu uočava se da nije došlo do promjene hemizma voda, odnosno da se razlike kreću u granicama dozvoljenog.

Ove vode sadrže povećanu koncentraciju željeza, koja se kreće od 2.78 do 3.12 mg/l.

Od ostalih metala, prisutni su aluminijum (0.25), bakar (0.18), cink (0.97) dok se arsen, olovo, živa, selen i hrom javljaju u koncentracijama ispod 0.05 mg/l. Također, ove vode su nisko radioaktivne sa sadržajem radona 0,57 Bq/l.

Sadržaj rastvorenih gasova u vodi je:

CO₂ – 488.56 mg/l, O₂ – 7.11, N₂ – 9.88 i H₂S – 0.09 mg/l

ZAKLJUČAK

Geološka slika terena sprečanskog rasjeda veoma je složena. Pojava termo-mineralnih vode realan je rezultat složenih geotektonskih aktivnosti na ovom području.

Rezultati provedenih istraživanja ukazuju na to da su vode sprečanskog rasjeda termo-mineralnog karaktera, po porijeklu iz trijaskih raspucalih sedimenata,

Trijaski akvifer spada u vodoobilne sredine što je i potvrđeno dosadašnjim istraživanjima, ali se njegove termalne karakteristike trebaju utvrditi dodatnim ispitivanjima.

Termo-mineralne vode ovog područja su hidrokarbonatno-hloridno-natrijum-kalcijske vode. Mineralizacija ovih voda se kreće od 3.700 – 4.500 mg/l, uz suhog ostatka 1.400 – 2.500 mg/l. Temperatura vode je oko 39°.

Povišen sadržaj CO₂ vjerovatno je produkt uticaja visokih hidrostatičkih pritisaka i temperature, koji su mnogo veći nego u akviferu termo-mineralnih voda.

Zbog toga dolazi do erupcije termo-mineralnih voda.

Utvrđeni su kapaciteti vode i gasa, izmjereni na bušotini TGP-2 koji, osim potvrde postojanja termo-mineralne vode ukazuju i na postojanje drugih elemenata, od kojih su neki i radioaktivni, što mora biti dovoljan pokazatelj o budućoj mogućnosti upotrebe ove termo-mineralne vode.

LITERATURA

1. Andovski T., Ahmetaj I., Bogdanović Ž., Bognar A., Blažek I., Bugarski D. & saradnici., 1992.: Geomorfološka karta Jugoslavije. R 1 : 500.000, Savez geografskih društava Jugoslavije, Geokarta Beograd, Geografski institut, Odbor za geodinamiku SANU, Beograd.
2. Arsenović Ž., 2007.: Geofizička istraživanja na lokaciji "TGP" a.d. Petrovo, Elaborat CTU Ipkina, Bijeljina.
3. Baraković A., 1995.: Definisane kvaliteta kaolinskih sirovina Bosne i Hercegovine na bazi rezultata silikatnih analiza. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, broj 20, naučni rad, 133-138, Tuzla.
4. Baraković A., 1995.: Geološke i tehnno-ekonomske karakteristike bijelih keramičkih glina ležišta «Sočkovac» kod Gračanice sa osvrtom na buduću eksploataciju i preradu. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, broj 20, naučni rad, 129-132, Tuzla.
6. Baraković A., 1998.: Geomorfološke analize. (Skripta za postdiplomski studij) RGGF Univerziteta u Tuzli, 1-96, Tuzla.
7. Baraković A., 2004.: Geologija ležišta keramičkih glina Bosne i Hercegovine. RGGF Univerziteta u Tuzli, 174, Tuzla.
8. Baraković A. & Baraković D., 2005.: Geotektonsko-strukturne i hidrogeološke odlike centralnog dijela sprečanske rasjedne zone – Gračanica. Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, broj: XXIX/I, 19 – 26, Tuzla.
9. Baraković A. & Baraković D., 2005.: Polimetalična mineralizacija ležišta "Sočkovac". Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli, broj: XXIX/II, 155-165, Tuzla.
10. Baraković A., 2007.: Primijenjena geomorfologija. (pisana predavanja za postdiplomski studij), RGGF Univerziteta u Tuzli, 122, Tuzla.
11. Baraković A., 2007.: Opća geologija. RGGF Univerziteta u Tuzli, 374, Tuzla.

12. Baraković A., Mešković A. & Baraković D., 2007.: Geomorfološko-tektonska analiza Sprečanske depresije. Zbornik radova PMF Univerzitet u Tuzli, Tuzla.
13. Bušatlija I., 2002.: Geografija – zemljopis. Svjetlost Sarajevo, 168, Sarajevo.
14. Bušatlija I., 1987.: Geomorfološka karta Bosne i Hercegovine, SANU, Beograd.
15. Čičić S., 2002. Geološka karta Bosne i Hercegovine. R- 1:300.000, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Institut za geologiju, Sarajevo.
16. Glavaš S. & Toholj N., 2003. Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi termomineralne vode i CO₂ gasa u Kakmužu, 2-64, "Geozavod" – Zvornik.
17. Glavaš S.&Toholj N., 2006.: Izvještaj o izvođenju bunara TGP-1 u Kakmužu, 12-22, "Geozavod" Zvornik.
18. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, 1971.: Izvještaj o geološkim i laboratorijskim ispitivanjima na istražnom području Sočkovac kod Gračanice, Sarajevo.
19. Olujić J., & Koautor, 1973.: OGK SFRJ 1:10000 L 34-121 Zavidovići i Tumač, Savezni geološki zavod, Beograd.
20. Laušević M. & Jovanović Č., 1984.: OGK SFRJ 1:100000 L 34 – 109 Doboj i Tumač Savezni geološki zavod, Beograd.
21. Hadžihrustić, Z.; Hodžić, A., 2019.: Osnove geotermalne energije, RGGF Tuzla, Tuzla
22. Herak M., 1984.: Geologija. Postanak, tektonika i dinamika Zemlje, Razvojni put Zemlje i života. Geološka građa kontinenta i okeana. Školska knjiga, 429, Zagreb.
23. Hrvatović H., 1999.: Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu. Zavod za geologiju Sarajevo, Geološki glasnik, XXIV, 203, Sarajevo.
24. Kubat I., 1976.: Tumač za osnovnu geološku kartu SFRJ, list Ljubija, R - 1:100.000, SZG, Beograd.
25. Marković M., 1983.: Osnovi primijenjene geomorfologije. Posebna knjiga br. 8, Geoinstitut Beograd, 174, Beograd.
26. Pamić J. Gešić J. & Jelaska V., 2000.: Alpinske tektonostratigrafske jedinice Dinarida i njihova geodinamska evolucija. II Hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 15-21, Cavtat-Dubrovnik.
27. Petrović D. & Manojlović P., 2003.: Geomorfologija. Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, 492, Beograd.
28. Ramović M., 1983.: Osnovi metalogenije. Geološki glasnik, Institut za geologiju Sarajevo, 177, Sarajevo.
29. Soklić I., 1970.: Geologija za rudare. Univerzitet u Sarajevu, 364, Sarajevo.
30. Spahić I.M., 2005. Hidrografija kopna – podzemne vode, Štampana predavanja, 51, Sarajevo.
31. Tahirović F., 1984.: Projekat hidrogeoloških istraživanja za zahvatanje termomineralnih voda i CO₂ područja Sočkovac-Boljanić, 15-24, Geoinženjering Sarajevo.
32. Vidović M., 1973.: Neotektonska građa Bosne i Hercegovine, Arhiv za rudarstvo i tehnologiju, Institut za rudarska i hemijsko-tehnološka istraživanja, Tehnološki fakultet i Rudarski fakultet Sarajevskog univerziteta, 43-48, Tuzla.

PRIMJENA ADITIVA U SLOŽENIM USLOVIMA BUŠENJA

Dinka Pašić-Škripić¹, Edin Šehić², Amir Jahić³

REZIME

Istražno bušenje predstavlja jednu od najbržih i najefikasnijih metoda za dobijanje podataka o geološkoj građi terena istražnog prostora. Veoma važno kod istražnog bušenja je primjena aditiva pri bušenju, odnosno bušača isplaka. Namjena aditiva jeste prvenstveno da poboljša i omogući kontinuirano iznošenje nabušenog materijala sa orta (dna) bušotine, jer talog može zaustaviti cirkulaciju vode (isplake), te dovesti u pitanje stabilnost bušotine, izvlačenje cijevi i napredovanje, te povećati pritisak (opterećenje) na rotaciju. Aditivi za bušenje se moraju pažljivo odabrati i dozirati, te vršiti stalna kontrola i podešavanja karakteristika tokom bušenja.

Na istražnom prostoru Vareša (područje Rupice) u složenim uslovima bušenja i izvođenja bušotina, korišteni su različiti isplačni materijali odnosno aditivi na bazi vode, ulja i sintetika, a njihova funkcija, odabir i vrsta, radom će biti detaljno obrazložena.

Ključne riječi: aditivi, vrste aditiva i primjena, istražno bušenje, hidrogeološki odnosi sredine, ekološki aspekti zaštite

UVOD

Na lokalitetu Rupice planirano je da se izvede bušotina dubine 160 metara, sa uglom bušenja 90° i adekvatnim azimutom jer se radi o vertikalnoj bušotini. Da bi se bušotina izvela bitni su pripremni radovi prije početka bušenja. Osnovno je da se odredi položaj, koordinate i elementi bušotine (ugao i azimut), a nakon toga pristupa se pripremi same lokacije bušenja. Presudno za uspješnu operaciju bušenja jeste pažljivo pripremljena i praćena isplačna masa, odnosno aditiv.

Da bi se dobila adekvatna isplaka, odnosno pravilno pristupilo spravljanju isplake, mora se proračunati zapremina cijevi, kako bi se dobila količina vode ili isplake koja je potrebna da bi cijev bila puna. Pri tome se vrši odabir i doziranje aditiva, te stalna kontrola i podešavanja karakteristika tokom bušenja. Prilikom primjene aditiva u toku izvođenja radova svaki dan, dva do tri puta, mora se mjeriti viskozitet isplake pomoću Marshovog lijevka. Tokom istražnog bušenja na lokalitetu Rupice, obrađeno je više vrsta aditiva sa njihovim karakteristikama, prednostima i nedostacima, kao i funkcionalnost istih, ali i njihov negativni uticaj na tlo i vode, odnosno okoliš, uz što manji rizik, a uz obezbjeđenje neophodnih performansi bušenja.

¹Dr.sc.Dinka Pašić-Škripić, redovni profesor Rudarsko-geološko građevinski fakultet

² Edin Šehić, Ba.ing.geologije,

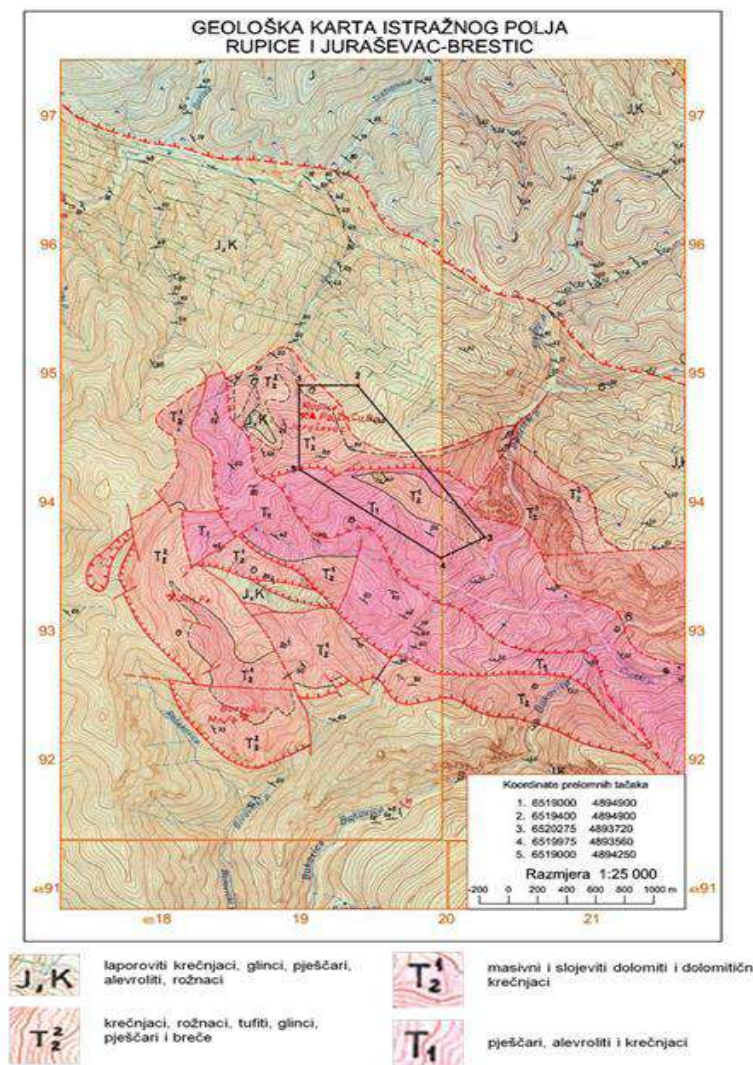
³Dr.sc.Amir Jahić, JU Direkcija regionalnih cesta TK

1. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Područje Vareša - lokalitet Rupice i Juraševac-Brestić, predstavlja sjeverozapadni dio rudne zone Borovica-Vareš-Čevljanovići (Slika 1). U ovoj zoni, dužine preko 20 km, otkriveno je desetetak ležišta kompleksne rude olova, cinka i barita sa različitim sadržajima srebra, zlata, bakra i antimona. Teren šireg područja Rupica i Juraševca-Brestića je izgrađen od donjotrijaskih, srednjotrijaskih i jursko-krednih sedimenata. Sedimenti donjeg trijasa u rudnoj zoni Borovica-Vareš-Čevljanovići su dosadašnjim istraživanjima izdvojeni u dva razvoja: pjeskoviti krečnjaci, laporci, glinci sa proslojcima pješčara i kvarcni pješčari i pjeskoviti glinci.

Srednjotrijaski sedimenti se javljaju kao glavni nosioci rudnih tijela pa je njihovo račlanjenje vršeno detaljno. Pojedini nivoi srednjeg trijasa je bogati faunom, u prvom redu mekušaca, pa je pitanje starosti pouzdano. Na širem području su izdvojeni: anizijski šupljikavi krečnjaci, dolomiti, dolomitični krečnjaci i krečnjaci; anizijsko- ladinski Fe-Mn glinci i rožnaci; spiliti, ladinski crveni rožnaci i tufitične stijene; ladinski crveni krečnjaci i rožnaci te jursko-kredni turbiditni sedimenati (fliš).

Jursko-kredni flišni sedimenti izgrađuju sjeveroistočni obod istražnog polja Rupice. Predstavljani su laporcima, krečnjacima, glincima i brečama koji se nalaze u tektonskom kontaktu sa srednjotrijaskim tvorevinama. Na lokalitetu Rupice utvrđene su *Calpionella alpina* Lorenz i *Tintinopsella* koji ukazuju na gornjojursku do donjokrednu starost.



Slika 1. Geološka karta šireg područja Rupice-Juraševac Brestić (OGK, list Vareš)

2. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI NA ISTRAŽNOM PODRUČJU

U prostornom smislu, akvifer (vodonosnik) unutar dolomita i dolomitičnih krečnjaka ladinika (T21) u području Rupica ima izrazito složenu strukturu, uslovljenu višestrukim rasjedanjem i navlačenjem, pa se uočavaju izdvojeni blokovi koji su međusobno u neposrednom ili posrednom kontaktu. U jugoistočnom području Brestić-Juraševac, ovaj akvifer zauzima veći prostor u planu i profilu i od područja Rupica je izdvojen debelim paketom donjotrijaskih klastita (T1) i ladinčkih uslojenih rožnaca (1T2), sa manganovitim škriljcima, tufitima i tufitičnim pješčarima. Ovaj paket vodonepropusnih stijena čini hidrogeološku barijeru između područja Rupice i područja Juraševac-Brestić pa se uslovno može zaključiti o postojanju dvije odvojene akumulacije podzemnih voda u istom akviferskom sloju i formiranim nezavisnim poljima filtracije podzemnih voda u njima. Geološkim kartiranjem je jasno uočljiva znatno složenija struktura u području Rupice, uslovljena navlačenjem i rasjedanjem a istražnim bušenjem se potvrđuje ova složenost i u vertikalnom profilu. Međutim, u hidrogeološkom smislu, ova složena struktura očito ne uzrokuje i razbijenost polja filtracije podzemnih voda, jer su ostvarene višestruke direktne i indirektno veze blokova akvifera. Pri tome rasjedne i navlačne zone imaju značajnu ulogu u komunikaciji podzemnih voda. Može se zaključiti da navlake i rasjedi kao ograničenje pojedinih blokova akvifera ne znače nužno i prekid funkcije akvifera i jedinstvenog polja filtracije podzemnih voda. Karakter međusobnog kontakta pojedinih blokova je od posebnog značaja sa aspekta komunikacije voda i uspostavljanja jedinstvenog polja filtracije podzemnih voda, pa je u budućim hidrogeološkim istraživanjima potrebno ovome posvetiti posebnu pažnju.

Dolomitično-krečnjački akvifer je u složenom odnosu sa pratećim litostratigrafskim članovima koji imaju vodonepropusni karakter hidrogeoloških izolatora (akvitarada). U pravilu podinu akvifera ($^1T_2^2$) tvore naslage lapora, glinaca i kvarcnih pješčara (T1) u normalnom stratigrafskom slijedu a vrlo često tvore i krovinu akvifera, kao rezultat navlačenja. Nije rijetkost da ove naslage (T1) čine istovremeno i podinu i krovinu akvifera. Glinci i rožnaci ($^1T_2^2$) također u regularnom slijedu pretstavljaju krovinu akvifera, a vrlo često su tektonskim djelovanjima dovedeni u podinu. Iako su brojnim navlakama i rasjedima međusobni odnosi usložnjeni, može se smatrati generalno da je ovakav odnos akvifera sa vodonepropusnom krovinom i podinom zadržan u cijelom prostoru Rupica.

Prihranjivanje ovog akvifera je od infiltracije oborinskih voda na površini izdanjivanja a dreniranje se pretpostavlja na perifernim područjima masiva u potocima i u formi difuznog isticanja, jer nisu uočene značajnije pojave izvora ili koncentriranog isticanja. Infiltracija oborinskih voda je neposredna, pa se uočava oscilacija nivoa podzemne vode ovisne o hidrološkim uslovima.

Sa aspekta hidrauličkog karaktera filtracije podzemnih voda u akviferu, može se smatrati da se radi o filtraciji podzemne vode pod pritiskom, subarteškog karaktera a lokalno je moguć i arteški pritisak. Distribucija pritisa (nivoa podzemne vode) u prostoru ležišta je utvrđena zasada na malom broju tačaka (pijezometara) i u ograničenom području, a pokazuje očekivanu usmjerenost podzemnog toka od središta ka periferiji masiva.

3. ISRAŽNO BUŠENJE

Istražno bušenje predstavlja najtačniju metodu za dobijanje podataka o geološkoj i hidrogeološkoj građi terena, litostratigrafskim odnosima, tektonskoj poremećenosti, te pravilnim katriranjem jezgra omogućava izvedbu vertikalnih i horizontalnih profila.

Postoji nekoliko metoda bušenja:

- rotaciono istražno bušenje,
- udarno istražno bušenje, i
- kombinovano istražno bušenje.

Za izvođenje istražnih bušotina najčešće se primjenjuju bušače garniture i rotaciona metoda bušenja. Dubine istražnih bušotina mogu se kretati od nekoliko metara, do nekoliko kilometara, zavisno od kvaliteta garniture i cilja bušenja.



Slika 2. Bušača garintura Mustang 13 Atlas Copco (Rig Teh Istočno Sarajevo)

4. ADITIVI ZA BUŠENJE NA ISTRAŽNOM PODRUČJU

Uspjeh istražnog bušenja je u direktnoj ovisnosti od pravilno odabranog aditiva prilikom bušenja, odnosno bušače isplake. Bez isplake bušenje bi se odvijalo otežano i ne bi se mogli postići planirani rezultati, te dobiti geološki podaci. Namjena aditiva jeste prvenstveno da poboljša i omogući kontinuirano iznošenje nabušenog materijala sa orta (dna) bušotine, koji ostane kao talog u toku bušenja, jer talog može zaustaviti cirkulaciju vode (isplake), te dovesti u pitanje stabilnost bušotine, izvlačenje cijevi, napredovanje i povećati pritisak (opterećenje) na rotaciju. Najvažnije kod aditiva je hlađenje dijamantske krune i podmazivanje cijevi za bušenje da bi se smanjilo njihovo trošenje i omogućio bolji napredak u bušenju. Aditivi za bušenje su prošli veliku evoluciju, od jednostavnih mješavina gline sa vodom, do današnjih organskih i neorganskih spojeva. Kod primjene aditiva, mora se posebna pažnja obratiti na vrstu i količinu aditiva, te vršiti stalnu kontrolu i podešavanja karakteristika tokom bušenja. U najbitnije karakteristike kod aditiva spadaju gustoća i viskoznost. Tečnosti ili aditivi za bušenje su formulisani za obavljanje širokog spektra funkcija. Iako je lista duga, ključne karakteristike performansi su sljedeće:

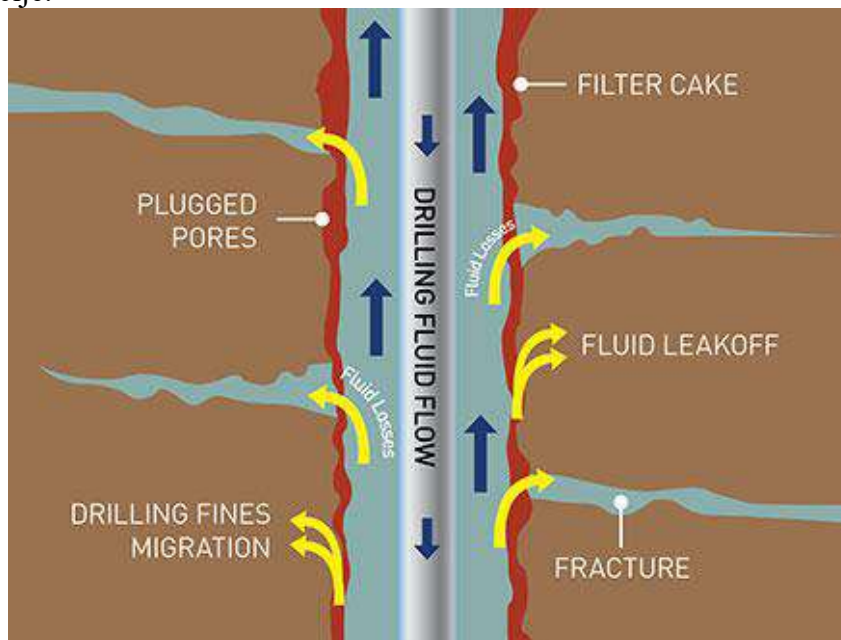
Na istražnom području Rupica kod Vareša, primijenjene su različite vrste aditiva u složenim uslovima bušenja bušotina, te su u nastavku prikazane njihove karakteristike u kojoj se mjeri i u kojim slučajevima dodaju i kako pomažu pri bušenju bušotina.

PLUG

To je polimer u granuliranom obliku koji apsorbira do 500 puta svoju prvobitnu zapreminu u vodi. Plug je idealan za zatvaranje zona gdje se izgubila cirkulacija, a također se može koristiti za smanjenje vibracija cijevi u bušotinama.

Plug treba djelimično prethodno hidratizirati u slatkoj vodi prije ispumpavanja u šupljinu. Smjesa će brzo nabubriti kako bi pomogla zatvaranje pukotine i porozne formacije. Bušenje se može nastaviti nakon čekanja perioda od 30 minuta. Ali, ako su prisutni salinitet i tvrdoća, vrijeme

čekanja treba produžiti na 1 sat. Ovaj postupak se može ponavljati više puta dok se cirkulacija ne vrati. U okolnostima gdje je prisutan nizak vodostaj ili potpuni gubitak, Plug se može uliti u prsten da ublaži vibracije.



Slika 3. Prikaz djelovanja Pluga

Tipična fizička svojstva Pluga su: Izgled pluga: bijeli tekući kristali; Zapremninska gustoća: 510 ± 50 ; Veličina čestica: 2 – 4 mm; Rastvorljivost: brzo bubri pri kontaktu; pH: 7,0 – 8,0. Plug se može koristiti samostalno ili u kombinaciji sa drugim aditivima za kontrolu cirkulacije.

BORE SEAL

Aditiv koji se koristi za poboljšanje stabilnosti bušotine i bolji oporavak jezgre sa poboljšanjem i vraćanjem cirkulacije pri gubitku isplake. Bore Seal idealan je za stabilizaciju formacija kao što su mikro-pukotinski škriljci, ugalj, nekonsolidovani pijesak i krečnjak. Najefikasniji je za zatvaranje srednjih do finih lomova i poroznih zona i može se koristiti sa većinom kruna za bušenje.

Tipična fizička svojstva Bore Seala: Izgled: svetlosmeđi do smeđi puder; Rastvorljivost u vodi: nerastvorljivo; Bore Seal se koristi od $3 - 15 \text{ kg/m}^3$ ($1 - 5 \text{ lb / bbl}$) zavisno od prirode sistema isplake i formacije koja se buši; Srednje i grube vrste se obično primjenjuju kao pilule za koncentraciju u rasponu od $40 - 115 \text{ kg/m}^3$ ($14 - 40 \text{ lb/bbl}$) u zavisnosti od težine gubitaka.

CR 650

CR 650 je polimer u prahu visoke molekularne težine koji je razvijen za poboljšanje iznošenja taloga kao i za pomoć pri stabilizaciji formacije. CR 650 formira zaštitni polimerni film na bušačoj cijevi i kruni kao i na zidovima bušotine te pomaže da se obezbijedi podmazivanje prilikom bušenja u problematičnim formacijama. To je idealno za upotrebu u horizontalnom usmjerenom bušenju, običnim bušotinama, rudarstvu i kod tunela.

Može se koristiti kao pojedinačni proizvod, u kombinaciji sa gelovima ili sa drugim stabilizatorima gline i škriljaca, kao što je kalijumklorid za davanje visokog stepena gline ili stabilizacije škriljaca.

Tipična fizička svojstva CR 650: Izgled: bijele boje; Rastvorljivost: rastvorljiv u vodi; pH (0,5 % rastvor): 7 – 8. CR650 je ekološki prihvatljiv i nije opasan, odnosno netoksičan je.

Tabela 1. Uputstvo za upotrebu CR650

Primjena	kg/m ³	Lb/bbl
Dodati u svježu vodu na uobičajeni način u toku bušenja	0.5 – 0.75	0.15 – 0.3
Za stabilizaciju gline i škriljaca koji bubre	0.5 – 1.0	0.15 – 0.4
Za poboljšanje oporavka jezgra u problematičnim formacijama i povećanje stabilnosti bušotine	1.0 – 3.0	0.4 – 1.0

**Slika 4.** Izgled CR 650

COREWELL

Corewell je multifunkcionalni aditiv kreiran posebno za aktivnosti bušenja sa jezgrovanjem, koji pruža vrhunsku zaštitu jezgre i stabilizaciju bočnih zidova. Corewell pomaže u osiguravanju izvornog stanja, očuvanju uzorka omogućavajući pouzdanije podatke analize jezgre, što na kraju dovodi do preciznijih procjena resursa koji se istražuju. Koristi se da stabilizira nekonsolidovana tla i izlomljene dijelove, kako bi se spriječilo dodatno drobljenje.

Za korištenje ovog aditiva preporučuje se voda za što bolje djelovanje, kao i pH u intervalu od 8,5 do 9,5. Količina koja se dodaje 1,5 do 3 kg/m³ ((0,5 – 1,05 lb / bbl) u vodu i ostavi da se miješa 20 do 30 minuta. Viskoznost proizvoda će varirati ovisno o korištenim koncentracijama, stoga se preporučuje testiranje prije upotrebe.

Tipična fizička svojstva Corewell: Izgled: zrnast, prljavo bijel kristalast; Miris: nema; Rastvorljivost: rastvorljiv.

LIQUI POL (POLIMER)

Polimer koji se najviše primjenjuje pri dubokom istražnom bušenju na prostoru Bosne i Hercegovine, jer ima niz pozitivnih funkcija. To je polimer visoke molekularne težine koji se brzo dodaje jer je u tečnom obliku, te osigurava viskoznost. Velika prednost mu je što može da se koristi i sa ostalim polimerima i drugim aditivima u kombinaciji, pa je on logičan izbor svih kompanija u BiH koje se bave bušenjem, jer omogućava uštede u materijalu.

Neke od prednosti polimera su: lako se miješa, kontroliše lepljivu glinu i sprečava bubrenje, smanjuje vibracije i otpor na cijevi, i ekonomičan je. Tipična fizička svojstva Liqui pol: Izgled: bijela viskozna tečnost; Rastvorljivost: rastvorljiv u vodi; Specifična težina: 1,00 – 1,10.

BENTONIT

Natrijumski bentonit najčešće se koristi pri izvođenju istražnih bušotina. On daje isplaku visoke viskoznosti, pogodan za pripremu bušače isplake na bazi vode za sve vrste bušaćih operacija. Dobro se kombinuje sa polimerima i drugim aditivima. Neke od prednosti bentonita su: hladi i podmazuje glavu bušačkog alata, smanjuje gubitak isplake kroz stijenke bušotine, iznosi nabušeni materijal na površinu, zadržava nabušeni materijal u suspenziji dok je zaustavljeno rotiranje cijevi, stabilizuje bušotinu i stvara nepropusni sloj na zidovima bušotine, omogućava primjenu i drugih materijala u isplaci. Na terenu pri istražnim radovima primjenjivan je domaći bentonit nazvan Bentodrill-A proizvođača Bentoproduct iz Šipova.

Za korištenje se primjenjuje bentonit laganim dodavanjem u pripremljenu vodu, uz intenzivno miješanje. Priprema se sa čistom vodom, brzo i jednostavno. Za najbolje rezultate dodaje se soda (prije dodavanja bentonita) uz podešavanje pH vode, za pripremu bušačkog fluida, u intervalu 8,5 i 9,5. Čistoća vode ima uticaja na rezultate primjene bentonita. Dodavanje bentonita zavisno od tla prikazano je u tabeli 2.



Slika 5. Miješanje bentonita u kaci od 1000 l (GeoAvas Sarajevo)

Tabela 2 Dodavanje bentonita zavisno od tla

Karakteristike tla	Doza bentonita
Tlo visokog stepena propustljivosti: šljunak, oštri pijesak	60-70 kg/m ³
Nekohezivno tlo srednje propustljivosti: pješčana formacija	50-60 kg/m ³
Kohezivno tlo srednje propustljivosti: muljeviti pijesak	40-50 kg/m ³
Kohezivno tlo niske propustljivosti: krečnjak, glina	35-40 kg/m ³

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Osnovni cilj istraživanja u složenim uslovima bušenja istražne bušotine dubine 160 metara, područja u centralnoj Bosni koje pripada općini Vareš oko mjesta Rupice, usmjeren je ka analizi detaljnih geoloških i hidrogeoloških karakteristike tog područja, sa posebnim akcentom na upotrebu adekvatnih aditiva pri bušenju ali i njihovog uticaja na životnu sredinu.

Uspjeh istražnog bušenja u velikoj mjeri ovisi od pravilnog odabira vrste i količine aditiva odnosno bušaće isplake, pri bušenju. Bez isplake bušenje bi se odvijalo otežano i ne bi se mogli postići planirani rezultati, te dobili bitni geološki podaci. Namjena aditiva jeste prvenstveno da poboljša i omogući kontinuirano iznošenje nabušenog materijala sa orta (dna) bušotine. Kontinuirano iznošenje materijala koji ostane kao talog u toku bušenja je veoma bitno, jer talog može zaustaviti cirkulaciju vode (isplake), te dovesti u pitanje stabilnost bušotine, izvlačenje cijevi, napredovanje i povećanje pritiska (opterećenja) na rotaciju. Najvažnije kod aditiva je hlađenje dijamantske krune i podmazivanje cijevi za bušenje da bi se smanjilo njihovo trošenje i omogućio bolji napredak u bušenju.

Pored navedenog, još jedan cilj je bitan u svim operacijama bušenja, a to je obezbjeđenje sigurnosnih i ekoloških aspekata, uz održavanje performansi bušenja. Operateri i uslužne kompanije adekvatnim mjerama pokušavaju smanjiti potencijalnu opasnost incidenata i omogućavaju sigurno izvođenje radova uz istovremenu zaštitu geološke i radne sredine. Ekološka politika (HSE) mnogih kompanija je strožija od onih koje zahtijevaju nacionalne vlade i različite agencije zadužene za nadgledanje operacija bušenja. Pakovanje, transport i skladištenje aditiva za bušaće tečnosti, pomno se ispituje u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine.

LITERATURA

1. Filipović, B., Valjarević, R., Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina, Univerzitet u Sarajevu, 1974.
2. Hrvatović, H., Geološko kartiranje, Grafičar promet, 2009.
3. Mešković, A., Vodozahvati, Univerzitet u Tuzli, 2011.
4. Pušić, M., Dinamika podzemnih voda, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1996.
5. Pašić-Škripić D., Injektiranje i konsolidacija tla i stijena, Univerzitet u Tuzli, In Scan, 2022.
6. Pašić-Škripić D., Hidrogeologija, Univerzitet u Tuzli, In Scan 2007.
7. Sijerčić, I., Inženjerska geodinamika, Univerzitet u Tuzli, In Scan, 2012.
8. Skopljak, F., Hidrogeologija, terenska istraživanja i ispitivanja, Sarajevo, 2022.
9. Schlumberger, Drilling fluid basic, 2009.
10. Škripić, N., Inženjerska geologija (odabrana poglavlja), Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici, 2014.
11. Žigić, I., Hidrogeološka istraživanja, Univerzitet u Tuzli, Grin, 2004.
12. Žigić, I. & Pašić-Škripić, D. Materijali za injektiranje tla i stijena, Univerzitet u Tuzli, In Scan, 2013.
13. Žigić I., Hrvatović H., Pašić-Škripić D., Skopljak F., Tijela podzemnih voda sliva rijeke Save - na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine, monografija, Štamparija Fojnica, ISBN 978-9958-17-031-7, Fojnica, 2013.
14. Vrabac, S., Pašić-Škripić, D., Ferhatbegović, Z., Geologija za građevinare, Univerzitet u Tuzli, Ars grafika, 2005.

RANJIVOST I ZAŠTITA VODNOG TIJELA „MODRAC“

Dinka Pašić-Škripić¹, Mirna Aščerić²

REZIME

Hidroakumulacija Modrac je izgrađena 1964. godine s ciljem da se obezbijedi tehnološka voda za potrebe industrije, a danas ima i vodoopskrbnu ulogu pitkom vodom Tuzle i Lukavca. S obzirom da se otpadne vode ispuštaju u vodotoke uglavnom bez ikakvih remedijacijskih tretmana, time je i vodno tijelo „Modrac“ kontinuirano izloženo kontaminaciji različitih štetnih i opasnih zagađujućih materija.

Zbog složenih geoloških i hidrogeoloških uslova u kojima egzistiraju vode akumulacije Modrac, kao i velikog uticaja antropogenih faktora zagađenja, stepen ranjivosti ovih voda je značajno velik. Definisanjem katastarsa zagađenja, analizom stepena ranjivosti, te procjenom rizika na osnovu hazarda i ranjivosti, stvaraju se adekvatni preduslovi za primjenu metoda zaštite kvaliteta ovih voda. Time bi se obezbjedili preduslovi adekvatne zaštite kvaliteta voda, poboljšali uslovi primjene ovih voda posebno u sferi vodosnabdijevanja, obzirom da se ove vode uz prethodni tretman u fabrici vode na Ceriku, remediraju i dovode u stanje pijaćih voda koje moraju zadovoljiti propise o upotrebi voda za piće.

Ključne riječi: ranjivost voda, vodno tijelo, zagđivači, zagađujuće materije,

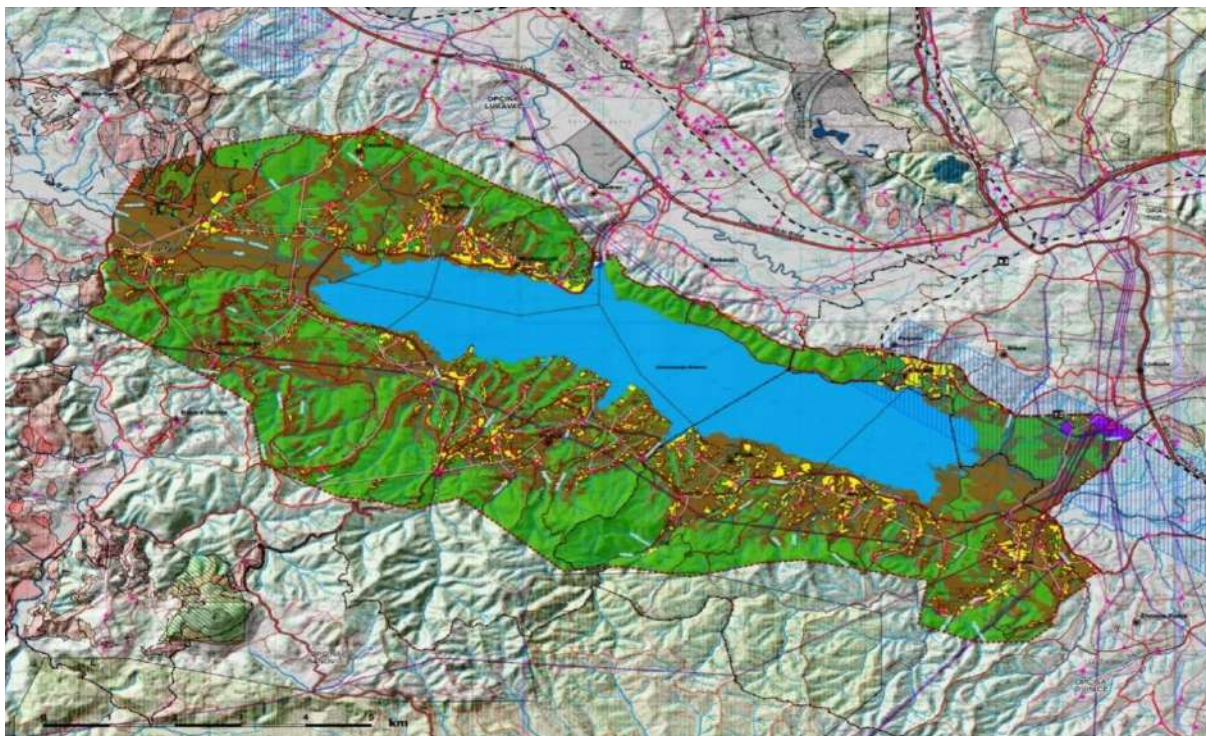
1.OPĆE KARAKTERISTIKE VODNOG TIJELA „MODRAC“

Slivno područje akumulacije Modrac nalazi se u središnjem dijelu Tuzlanskog kantona, na sjeveroistoku Bosne i Hercegovine, na prostoru većem od 1189 km², a koji je administrativno podijeljen između općina Banovići, Živinice, Tuzla, Kalesija, Kladanj, Lukavac i Osmaci.

Vodno tijelo ima površinu od 1673,98 ha, od čega području općine Tuzla pripada 30,00 ha ili 1,8 % ukupne površine, području općine Živinice 35,8 % od ukupne površine, a području općine Lukavac 62,4 % od ukupne površine akumulacije. Od ukupne površine slivnog područja, koje iznosi 1189 km², slivu rijeke Spreče pripada 832 km², slivu rijeke Turije 240 km², te neposrednom slivu akumulacije oko 117 km².

¹Dr.sc.Dinka Pašić-Škripić, redovni profesor RGGF, Tuzla

²Mirna Aščerić, magistar građevine



Slika 1. Mapa slivnog područja vodnog tijela Modrac

2.OSOBINE SLIVNOG PODRUČJA

Jedan od veoma važnih faktora regulacije kvantiteta i kvaliteta voda slivnog područja vodnog tijela „Modrac“, jeste obraslost šumskim pokrivačem, obzirom da on značajno utiče na režim i površinskih i podzemnih voda. U zadnjih deset godina, kao posljedica nekontrolirane sječe šume, taj uticaj mogao se primijetiti i na samom vodnom tijelu, i to u vidu učestale pojave dotoka velikih voda pa i pogoršanje kvaliteta voda.

Sliv vještačkoj jezera Modrac, odnosno vodnog tijela, posebno je interesantan zbog zaštite jezera od zasipanja. I prije izgradnje Akumulacije, predviđana je znatnija erozija u slivu, produkcija i transport nanosa u vještačko jezero. Posmatrano u cjelini, slivno područje vještačkog jezera Modrac, ima sve prethodne uvjete za relativno nagle bujične nadolaskе.

Srednji nagib za čitavo područje iznosi oko 23%, srednja visinska razlika $D = 211$ m, što ukazuje da je konfiguracija terena srednje izražena. Na cijelom slivnom području ima pojava dubinskih i površinskih procesa erozije.

Za hidrološke karakteristike sliva vodnog tijela, a koje imaju bitnog uticaja, prije svega, ma morfometrijske karakteristike i kvalitet voda, treba naglasiti sljedeće bitne karakteristike:

- Stanje vodnog režima na području sliva Akumulacije može se okarakterisati sa dva osnovna elementa: padavine i oticaj vode. U području sliva prosječne godišnje oborine iznose oko 1000 mm (l/m^2) što je daleko manje od prosjeka za Bosnu i Hercegovinu koji iznosi 1250mm;
- Specifično oticanje voda sa područja Tuzlanskog kantona (od 12,50 l/s), ukazuje da je to područje jedno od najsiromašnijih sa vodom u Bosni i Hercegovini;
- Iako sliv Akumulacije, u prosjeku raspolaže sa relativno visokim oborinama, njihove varijacije po pojedinim godinama, kao i unutar jedne hidrološke godine su značajne. Neravnomjernost vodnih režima vodotoka, karakteriše nagli nadolazak i kratko trajanje velikih voda i dugotrajnost malih i vrlo malih voda. Zato većina vodotoka u području sliva ima bujični karakter, gdje je u prosjeku odnos velikih i malih voda 1:1000;

Na osnovu navedenih podataka da se zaključiti da su u području sliva vodnog tijela „Modrac“, uglavnom vodotoci sa malim protocima voda.

3.KVALITET VODA VODOTOKA

Neodgovarajući odnos prema problemu otpadnih voda i očuvanju kvaliteta voda, prije svega površinskih voda, prouzrokovao je u zadnjih 50 godina veoma složeno stanje u smislu zagađenosti površinskih (podzemnih) voda na području kompletnog sliva vodnog tijela „Modrac“. Naglo povećanje otpadnih voda, bez adekvatnih mjera za njihovu remedijaciju, dovelo je do direktnog ispuštanja tih otpadnih voda u površinske vode, čime je promijenjen kvalitet voda skoro svih vodotoka u slivu akumulacije Modrac.

Prema važećim zakonskim propisima Bosne i Hercegovine, Uredbi o kategorizaciji vodotoka i Uredbi o klasifikaciji voda, na području sliva akumulacije Modrac su svi vodotoci svrstani u II kategoriju vodotoka odnosno II klasu kvaliteta voda.

Kada je u pitanju stanje kvaliteta površinskih voda u slivu vodnog tijela „Modrac“, analiziranjem rezultata istraživanja, može se zaključiti da rezultati posljednjih istraživanja ukazuju da su vode u vodotocima (Litva, Oskova, Gostelja, Spreča) i dalje lošeg kvaliteta, odnosno lošijeg od kvaliteta od onog propisanog zakonom. Prije detaljnije analize kvaliteta vode akumulacije Modrac, neophodno je imati u vidu da vodno tijelo pripada riječnom tipu jezera, što je nepovoljno sa aspekta održavanja kvaliteta voda, te da akumulacija ima nepovoljne morfometrijske karakteristike, posebno kada je u pitanju odnos površine i dubine akumulacije. Pored navedenog akumulacija se snabdijeva vodom iz sliva velike površine u kome su locirani značajni privredni objekti, posebno kada je u pitanju eksploatacija uglja (površinski kopovi, jame, separacije); sliv akumulacije je siromašan vodom, svi vodotoci u slivu su sa malim protocima vode. Od samog formiranja akumulacije pa do danas, u vode vodotoka u slivu akumulacije, kontinuirano i bez prethodnog prečišćavanja, ispuštaju se značajne količine otpadnih voda koje su opterećene velikim količinama raznih zagađujućih materija, posebno suspendiranih materija. Društvo u cjelini, u proteklih 50 godina, nije poduzimalo odgovarajuće mjere na zaštiti vodnog tijela „Modrac“, što je dijelom uticalo na prekomjernu ugroženost akumulacije, i to na dva osnovna aspekta: očuvanja zapremine i očuvanja kvaliteta voda vodnog tijela.

Prema dosadašnjim istraživanjima stanja kvaliteta voda u području sliva vodnog tijela Modrac, jasno je da su površinske vode prekomjerno zagađene i da je kvalitet voda, i u ranijem razdoblju kao i danas, daleko lošiji od kvaliteta koji je definiran Uredbama o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka BiH.

Ovakva situacija je posljedica svakodnevnog ispuštanja neprečišćenih komunalnih i industrijskih otpadnih voda u vodotoke sliva akumulacije. Također, na osnovu dosadašnjih istraživanja stanja kvaliteta voda akumulacije Modrac, može se zaključiti da kvalitet voda akumulacije Modrac ima stalni trend pogoršanja, a što je posljedica konstantnog unosa značajnog tereta zagađenja koji nastaje u slivu akumulacije a ispušta se u površinske vode, uglavnom bez prečišćavanja, i pritokama (Spreča i Turija) unosi u akumulaciju Modrac.

Prije svega treba naglasiti, da je po kvalitet voda akumulacije pogubno unošenje u suspendiranih materija (kao posljedica rudarskih aktivnosti u slivu) i nutrijentnih materija (kao posljedica ispuštanja kanalizacionih otpadnih voda u slivu). Kada je u pitanju zagađenje površinskih voda u slivu Akumulacije postoji značajan broj rasutih (difuznih) nekontroliranih zagađivača (ruralna naselja koja nemaju kanalizacione sisteme, urbane površine, saobraćajnice, poljoprivredna zemljišta i dr.).

Radi sticanja uvida u problematiku zagađenja površinskih voda u slivu, kao i zagađenja voda same akumulacije, zagađivači su podijeljeni na komunalne, industrijske i ostale. U slivu akumulacije živi oko 130.000 stanovnika čije otpadne vode bez prethodnog prečišćavanja završe u slivu akumulacije Modrac, i to se izričito odnosi na kanalizaciju komunalnih voda naselja Lukavac, Banovići, Tuzla, Živinice i Kalesija. U slivnom području akumulacije prema raspoloživim podacima locirano je 12 većih industrijskih zagađivača i oko 60 manjih zagađivača, od kojih su najznačajniji Rudnici uglja (površinski kopovi i jame), Dubrave, Banovići i Đurđevik; Rudnici uglja (separacije), Banovići i Đurđevik. U najznačajnije ostale zagađivače se ubrajaju deponije smeća i otpada koje se nalaze u slivu akumulacije jer predstavljaju ozbiljnu prijetnju za njeno zagađenje.

4. PROCJENA RANJIVOSTI VODA

Akumulacija Modrac je formirana 1964. godine, sa prvenstvenom namjenom obezbjeđenja tehnološke vode za privredne kapacitete Tuzle i Lukavca, kao i obezbjeđenje vodoprivrednog (hidrobiološkog) minimuma za razblaženje otpadnih voda koje se ispuštaju u rijeku Spreču, nizvodno. Od kraja 2006. koristi se i za potrebe vodosnabdijavanja stanovništva Tuzle i Lukavca.

Karte ranjivosti podzemnih i površinskih voda predstavljaju osnovu za kvalitetnu zaštitu tih resursa. One su bitan faktor kod prostornog planiranja, kako izgradnja ne bi uzrokovala negativne utjecaje na kvalitet podzemnih voda. Zbog toga one, uz druge karte kao što su karte potencijalno zagađujućih materija površinskih i podzemnih voda, pomažu da se identificiraju mogući rizici.

Određivanje rizika ima značajnu ulogu u zaštiti podzemnih i površinskih voda. Samo ocjenjivanje ranjivosti podzemnih i površinskih voda na zagađenje varira, kako u prostoru, tako i po složenosti, od jednostavnih i relativno jeftinih pristupa, do strogih kvantitativnih i skupih procjena. Analizom negativnih uticaja na kvalitet površinskih i podzemnih voda, može se doći do određenih zaključaka kroz izradu karte ranjivosti Tuzlanskog kantona (slika 2) koja je od velikog značaja zbog uspostavljanja osnova kvalitetne zaštite podzemnih (površinskih) voda.

Osjetljivost akvifera je mjera koja pokazuje sa kojom lakoćom voda ulazi u akvifer i kreće se kroz njega, što predstavlja karakteristiku samog akvifera krovinskih sedimenata, odnosno ukupnih hidrogeoloških uvjeta i nezavisan je od hemijskih karakteristika mogućih zagađivača i izvora zagađenja. Pod karakteristikama akvifera podrazumijevaju se: koeficijent filtracije, poroznost i hidraulički gradijent, pri čemu je bitno poznavati uvjete prihranjivanja, odnose sa površinskim vodama, kretanje kroz nadzidansku zonu i slično.

Dakle, ranjivost podzemnih voda na zagađenje zavisi od prirodno - postojeće osjetljivosti, kao i od lokacije tipa izvora, prirodnog ili antropogenog zagađenja, masoporta, i masoizmjene zagađujućih materija. Posljednjih godina, razvijeno je više metoda koje tretiraju ranjivost podzemnih voda, pri čemu su različiti autori dali i svoje definicije i razumijevanje termina „ranjivost podzemnih voda“.

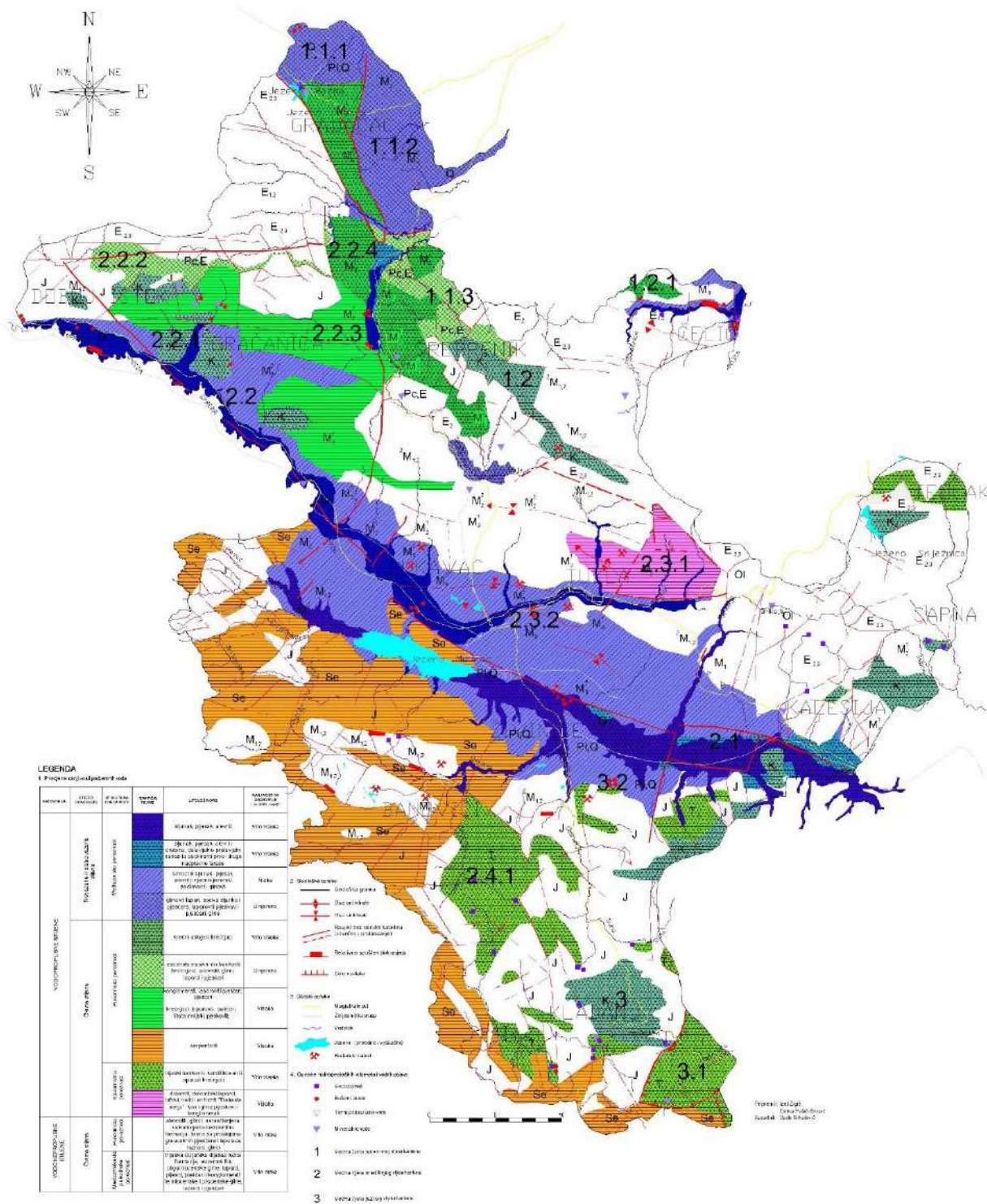
GOD metoda, po kojoj je urađena karta ranjivosti Tuzlanskog kantona (slika 2) predstavlja, za upotrebu, jednostavniju verziju DRASTIC metode, te kao indeksna metoda ukuljučuje poznavanje tri ulazne vrijednosti, i to: okolnosti u kojima egzistiraju podzemne vode, sveukupnu litologiju i dubinu do nivoa podzemnih voda.

Metoda je dobila naziv po Fosfter and Hiratu (1988.), koji su je patentirali i skraćenica je od Groundwater occurrence – Overall lithology – Dept to groundwater.

Ova metoda je prikladna da se primijeni na kartama u razmjeri 1:100.000, koje obuhvataju prilično veliko područje, a time i više uticajnih faktora na zagađenje voda.

Kod GOD metode u šemi sistema poklapanja i indeksacije za ranjivost podzemnih voda, polazi se od tipa i dubina podzemnih voda, kao i sveukupne litologije propusne ili polupropusne formacije, pri čemu se u gradaciji čet vrijednosti daju ocjene ranjivosti, i to od nikakakve do ekstremne ranjivosti.

Ranjivost vodnog tijela „Modrac“, definisana po GOD metodi ranjivosti, ukazuje da je vodno tijelo „Modrac“ klasificirano u red vrlo visoke ranjivosti.



Slika 2. Karta ranjivosti vodnih tijela podzemnih voda Tuzlanskog kantona 1:100 000

5.ZAŠTITA VODNOG TIJELA „MODRAC“

Kvalitet vode u akumulaciji Modrac u posljednje četiri decenije ima trend stalnog pogoršanja, o čemu svjedoče kontinuirana ispuštanja neprečišćenih otpadnih voda iz različitih žarišta zagađenja, od kojih su najveće rudničke otpadne vode iz separacija, komunalne vode i vode iz industrijskih postrojenja. Evidentni su mali pomaci u cilju zaštite voda ovog vodnog tijekla, koji se definišu kroz izradu niz zakona o zaštiti i monitoringu voda, ali se zakoni nedovoljno implementiraju na terenu, a monitoring nije usklađen sa potrebama i ne izvodi se u kontinuitetu.

Bez obzira na nagomilane probleme, u vodnom tijelu i prostoru sliva, uspostavio se biodiverzitet koji zavrjeđuje evropsku i svjetsku pažnju, tim prije što je u zadnje vrijeme započeta gradnja prečišćivača otpadnih voda na širem području.

Da bi došlo do zaustavljanja trenda pogoršanja kvaliteta voda i poboljšanja kvaliteta voda vodnog tijela „Modrac“ i okoliša, neophodno je aktivnije koordinirano zajedničko djelovanje nadležnih ministarstava, općina, kao i stručnih lica koji će moći prepoznati, prije svega značaj ovog vodnog tijela, ne samo sa aspekta potreba industrijskih i pitkih voda, već i kao sportsko-rekreativni i održivi biodiverzitet od šireg značaja, nego što je usko percipiranje akumulacije kao isključivo hidrotehničkog objekta. Potrebno je hitno poduzeti odgovarajuće mjere na izvorima zagađenja u cilju redukcije (remedijacije) unosa tereta zagađujućih materija u površinske vode, početi primijenjivati zakonsku regulativu, te probuditi svijest svih korisnika vodnog tijela o neophodnosti njegove zaštite.

ZAKLJUČAK

Problematika zagađivanja podzemnih i površinskih voda i geološke sredine, kao i njihova remedijacija, javlja se kao sastavni dio ukupne problematike zaštite i očuvanja čovjekove sredine. Njihova zaštita od zagađivanja, kao i zaštita sredine u kojoj egzistiraju, veoma je složena, a naročito njihova remedijacija. Kompleksnost remedijacije se očitava u činjenici, da je problematika multidisciplinarnog karaktera. Obzirom na složene geološke i hidrogeološke uslove u kojima egzistiraju vode vodnog tijela „Modrac“, kao i na veliki uticaj prirodnih ali i antropogenih faktora zagađenja, stepen ranjivosti ovih voda je značajno velik. Definisanjem katastarsa zagađenja, analizom stepena ranjivosti, te procjenom rizika na osnovu hazarda i ranjivosti, stvaraju se adekvatni preduslovi za primjenu metoda zaštite kvaliteta ovih voda. Time bi se obezbjedili preduslovi adekvatne zaštite kvaliteta voda, poboljšali uslovi primjene ovih voda posebno u sferi vodosnabdijevanja, obzirom da se ove vode uz prethodni tretman u fabrici vode na Ceriku, remediraju i dovode u stanje pijaćih voda koje moraju zadovoljiti propise o upotrebi voda za piće.

Obezbijedjenje svih navedenih preduslova proizilazi iz adekvatnih metodologija remedijacije voda usklađenih sa kompleksnim geološkim, hidrogeološkim, hidrološkim i hidrotehničkim istraživanjima, u saglasnosti sa adekvatnim kartama ranjivosti, kao i definisanje i uspostavljanje visokih ekoloških standarda na istraživanom području.

LITERATURA

1. Aščerić, M.: Analiza ranjivosti i zaštita voda akumulacije Modrac, završni magistarski rad, RGGF, 2022.
2. Pašić-Škripić D., Hidrogeologija, Univerzitet u Tuzli, 2007.
3. Pašić-Škripić D., Injektiranje i konsolidacija tla i stijena, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzite u Tuzli, IN SCAN 2022.
4. Žigić I., Hrvatović H., Pašić-Škripić D., Skopljak F., Tijela podzemnih voda sliva rijeke Save na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine, monografija, Štamparija Fojnica, ISBN 978-9958-17-031-7, Fojnica, 2013.
5. Studija karakterizacije podzemnih voda sliva rijeke Save na teritoriji FBiH, Agencija za vodno područje rijeke Save, Sarajevo, 2009.
6. Prostorni plan područja posebnih obilježja dijela slivnog područja akumulacije Modrac

POUZDANOST RMR KLASIFIKACIJE PRILIKOM IZGRADNJE TUNELA ZENICA

Ahmed Mušija¹

SAŽETAK

Izrada podzemnih prostorija u stijenskoj masi predstavlja vrlo složen zadatak sa aspekta stabilnosti stijenske mase u sekundarnom stanju napona te definisanja načina podgrađivanja. Način iskopa i izrada primarne podgrade prilagođavaju se stanju stijenske mase, zbog čega je od velikog značaja adekvatna analiza stijenske mase kao radne sredine. Kako bi se što preciznije definisao kvalitet stijenske mase kao radne sredine, u novije vrijeme razvijene klasifikacije stijenske mase na osnovu koji se vrši procjena stanja te definišu njene karakteristike značajne za projektovanje. U tunelogradnji u Bosni i Hercegovini najčešće se koristi RMR klasifikacija, čija pouzdanost varira od karakteristika stijenske mase u kojoj se izrađuje prostorija. U radu je analizirana pouzdanost RMR klasifikacije pri gradnji cestovnog tunela „Zenica“, koji je izgrađen u složenim geotehničkim uslovima.

Ključne riječi: stijenska masa, jednoosne čvrstoća na pritisak, pouzdanost, RMR klasifikacija

1. GEOLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI USLOVI IZGRADNJE TUNELA ZENICA

Cestovni tunel Zenica nalazi se na trasi koridora Vc, prolazi ispod planine Vepar, dug je 3360 m, dok maksimalni nadsloj tunela iznosi cca 478 m. Tunel ima 13 poprečnih veza, 11 pješačkih i 2 za motorna vozila. Razmak osovina tunelskih cijevi je 25 m, a tunel ima po 3 parkirne niše u svakoj tunelskoj cijevi. Geološke karakteristike masiva u kome se vršio iskop tunela Zenica su određene jursko-krednim fišom (2J,K) „Vrandučke serije“, kojeg čine sedimentne stijene sa dominantnim prisustvom pješčara. Pored pješčara zastupljeni su kompaktni pjeskoviti i silificirani glinci, krečnjaci i laporci (2J;K). Stijenski masiv je značajno uslojen, sa slojeva debljine od 5 do 100 cm i tankim slojevima glinaca debljine od 1 do 30 cm. Ponavljanje sekvence slojeva javlja se u intervalima od 5-10 m. Fliš Vrandučke serije je izuzetno heterogena stijenska masa i jako ubran, tako da je veliki izazov bio definisati inženjerskogeološke i geomehaničke uslove za takvu stijensku masu. Ne postoji jasno izražena zakonitost izmijene slojeva i mehanizma nabiranja, što otežava određivanje inženjerskogeoloških uslova. Sve zajedno u kombinaciji sa rasjedima i borama, rezultira degradacijom geomehaničkih osobina stijenske mase, čime je njihovo adekvatno definisanje značajno otežano.

¹“JP Autoceste“ FBiH Mostar, mr sc. dipl.ing. geologije



Slika 1. Čelo iskopa tunela Zenica

Pri iskopu tunela evidentirane su **velike količine podzemnih voda**, a izdašnost je konstantno mjerena. Tokom mjerenja izdašnosti podzemnih voda ponekad je bilo teško kaptirati svu vodu u jednu tačku.

Tabela 1. Dio pregleda mjerenja dotoka vode u tunelu Zenica

08.06.2020.	0+555.62	47.00 l/s
15.06.2020.	0+562.60	62.50 l/s
23.06.2020.	0+578.00	51.00 l/s
24.06.2020.	0+583.24	30.00 l/s
26.06.2020.	0+585.65	60.00 l/s
30.06.2020.	0+594.426	29.00 l/s
10.07.2020.	0+603.710	30.00 l/s
15.07.2020.	0+611.880	20.00 l/s
17.07.2020.	0+611.880	15.00 l/s
21.07.2020.	0+612.041	13.00 l/s
23.07.2020.	0+612.041	15.50 l/s
04.08.2020.	0+626.270	10.00 l/s
07.08.2020.	0+629.640	7.50 l/s
17.02.2021.	1+083.000	1,80 l/s
01.10.2021.	2+117.230	5,50 l/s



Slika 2. Pojava podzemne vode tunel Zenica

Na pojedinim sekcijama tunela Zenica, prisustvo velikih količina vode značajno je uticalo na bodovanje stijenskog materijala po RMR klasifikaciji te je zbog značajnog uticaja podzemne vode u nekim situacijama bodovanje stijenskog materijala po RMR klasifikaciji bilo nepouzđano.

2. GEOTEHNIČKI USLOVI U TUNELU ZENICA

Stijenska masa je na određenim dionicama bila raslabljena i tektonizirana, što je značajno uticao na stabilnost tek izrađenog dijela tunela. Tektonska aktivnost u mekim litološkim članovima navedenog kompleksa se najčešće odražavala kroz dezintegraciju mekših litoloških članova, dok je u čvrstim litološkim članovima bio prisutan veliki broj diskontinuiteta. U tektonski poremećenim zonama, stijenska masa je uglavnom definisana kao jako trošna i dezintegrirana, a primarni uslovi su samo mjestimično sačuvani. Struktura stijenske mase u tektonski poremećenoj zoni je pokazala da odnos slojevitosti i sistemi pukotina imaju širok raspon vrijednosti elemenata prostorne orijentacije, što je predstavljalo problem kod klasificiranja stijenske mase prema RMR klasifikaciji.

Pukotine su uglavnom ispunjene mekom glinovitom i tvrdom kalcitnom ispunom, a pojedine pukotine su otvorene i bez ispunje. Zidovi pukotina koje su ispunjene kalcitnom ispunom su neznatno hrapavi, dok su zidovi pukotina koje su ispunjene glinovitom ispunom glatki do skliski.



Slika 3. Strukturna stvojsva (ubranost) J/K fliša Vrandučke serije u tunela Zenica

3. PREGLED KATEGORIZACIJE STIJENSKE MASE PO RMR KLASIFIKACIJE U TUNELU ZENICA

Tokom izgradnje tunela Zenica, utvrđene su niže vrijednosti RMR-a u odnosu na projektovane u Glavnom projektu tunela Zenica. Kontinuirana istraživanja u toku izrade tunela pokazala su da je stijenska masa niže kvalitete te je utvrđen značajno veći sadržaj IV kategorije i V kategorije po RMR-u. Prema tome, značajno je smanjen udio III kategorije stijenske mase na trasi tunela (gotovo za polovinu), zbog čega se morlo pristupiti i drugačijem načinu podgrađivanja.

Uzrok ove promijene su realne geotehničke karakteristike terena u kome se vrši iskop, u prvom redu heterogenost građe, odnosno promjenjive vrijednosti fizičko-mehaničkih karakteristika stijenske mase te nepovoljni hidrogeološki uslovi u kojima se gradio tunel. Niske vrijednosti osnovnih parametara jednoosne čvrstoće, prisustvo glinovitih materijala, stalne vertikalne i horizontalne izmijene mekih i čvrstih stijena te nepovoljna orijentacija diskontinuiteta, značajno su uticale na smanjenje vrijednosti poena rejtinga stijenske mase duž trase.

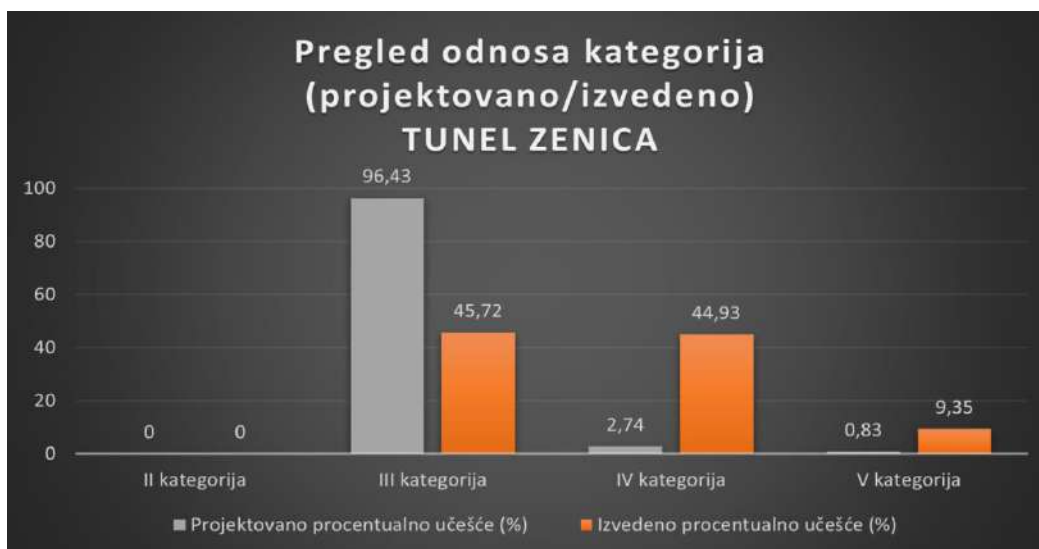
Tabela 2. Prognozni udio kategorija stijenske mase po RMR klasifikaciji u tunelu Zenica

LTC i DTC tunel Zenica projektovano		
Kategorizacija stijenske mase	Dužina (m)	Procentualno učešće (%)
II kategorija	-	-
III kategorija	6376,18	96,43
IV kategorija	181,00	2,74
V kategorija	54,66	0,83
Ukupna dužina	6611,84	100,00

Praćenjem iskopa obje tunelske cijevi tunela „Zenica“, utvrđeno je da je od ukupno posmatrano 4835,50m, dužine iskopa tunela, iskop tunela kroz stijenu III RMR kategorije je bio 2211,07m ili 45,72%, iskop kroz stijenu IV RMR kategorije u dužini od 2172,42m ili 44,93%, a iskop kroz V RMR kategoriju 452,01m ili 9,35%, što je prikazano u tabeli br 4.

Tabela 4. Pregled zastupljenosti RMR kategorija prema isvednom stanju tunela Zenica

LTC i DTC tunel Zenica izvedeno		
Kategorizacija stijenske mase	Dužina (m)	Procentualno učešće (%)
II kategorija	-	-
III kategorija	2211,07	45,72
IV kategorija	2172,42	44,93
V kategorija	452,01	9,35
Ukupna dužina	4835	100,00



Slika 4. Pregled kategorija projektirano - izvedeno

4. POUZDANOST RMR KLASIFIKACIJE PRILIKOM IZGRADNJE TUNELA ZENICA

S obzirom na geološke, inženjerskogeološke, geotehničke, hidrogeološke i druge podatke koji su prikupljeni prilikom projektovanja i izgradnje tunela Zenica, može se konstatovati da se tunel Zenica gradio u izuzetno složenim geološkim, inženjerskogeološkim i geotehničkim uslovima. Geotehnički uslovi u kome se je gradio tunel Zenica značajno su nepovoljniji od pretpostavljenih u Glavnom geotehničkom projektu, što su pokazali i rezultati prezentovani u tabelama 3 i 4.

Puzdanost RMR klasifikovanja stijenske mase prilikom izrade Glavnog projekta je bila vrlo mala, što se pokazalo prilikom **3.558** bodovanja stijenskog materijala čela iskopa tunela Zenica, računajući obje tunelske cijevi. Razlike u onom što je definisano u projektu i tokom izrade tunela mogu se vidjeti na slici 4, gdje je prikazana korelacija prognozirane kategorizacije i izvedene kategorizacije po RMR-u. Ovakve razlike mogu biti i posljedica nedovoljnog obima istražnih radova pri projektovanju.



Slika 5. Izbijanje stijenskih blokova u tunel Zenica

Međutim, primjena RMR klasifikacije i u toku izgradnje tunela bila je ograničena i vrlo često nemoguća. Definisanje ulaznih parametara za klasifikaciju stijenske mase bilo je vrlo komplikovano, s obzirom na veliki raspon vrijednosti pojedinih ulaznih parametara. Nagle neočekivane pojave podzemnih voda, velike razlike u karakteristikama diskontinuiteta te značajne razlike u jednoosnoj čvrstoći pojedinih litoloških članova, često su primoravale izvođače da stijensku masu klasificiraju u nižu kategoriju, što je u nekim slučajevima bilo opravdano. U određenim zonama je, zbog pogrešne procjene nekih od ulaznih parametara, bilo potrebno izvoditi dodatne radove na osiguranju stabilnosti iskopa, jer pojedini parametri nisu odgovarali stvarnom stanju. Tu se najčešće postavlja pitanje na koji način i koliko, parametri jednog litološkog člana utiču na kompletnu stabilnost iskopa. Kao primjer se može navesti jednoosna čvrstoća na pritisak pojedinih litoloških članova, što može uticati na deformacione karakteristike stijenske mase pri iskopu. Položaj, orijentacija i zastupljenost pojedinog litološkog člana u zoni iskopa uticali su na različite načine i na samu stabilnost stijenske mase. Također, razlike u čvrstoći u istom litološkom članu su predstavljale problem za inženjere. Položaj određenog litološkog člana u bokovima ili čelu iskopa imali su uticaj na deformacione karakteristike samog iskopa. Zbog svega ovoga, inženjeri koji su radili klasifikaciju stijenske mase, vrlo često su na osnovu sopstvene procjene vršili izbor ulaznih parametara za klasifikaciju pa je često npr. izbor jednoosne čvrstoće na pritisak bio je nekritički odabranu srednju vrijednost dobivenu u laboratoriji. Pouzdanost uzetog parametra čvrstoće je često zavisila isključivo od procjene inženjera. Pored toga, prisustvo litoloških članova sa vrlo malom jednoosnom čvrstoćom na pritisak, dovodila je do poteškoća u izboru ovog ulaznog parametra. Postavljalo se pitanje koliki procenat prisustva litološkog člana sa malom jednoosnom čvrstoćom na pritisak u iskopu ima uticaja na stabilnost iskopa i kada uzeti tu čvrstoću kao relevantnu. Definisanje i drugih ulaznih parametara je, u ovako složenim geotehničkim uslovima, bilo značajno otežano, što je primoravalo inženjere da često stijensku masu uvrste u nižu kategoriju. I pored toga što su inženjeri često stijensku masu svrstavali u nižu kategoriju, kako bi se osigurala neupitna stabilnost iskopa, dolazilo je do izbijanja blokova i rušenja dijela iskopa. Bilo je teško prilagoditi korak iskopa i pogradni sklop tunela Zenica, tako da iskop tunela bude siguran, bez nepredviđenih ispadanja blokova i konvergencija, a da se ne predimenzionira podgradni sklop tunela. Sve ovo pokazuje da je pouzdanost RMR klasifikacije u složenim geotehničkim uslovima značajno smanjena i da zavisi isključivo od iskustva inženjera na terenu. Uvođenje redukcionih faktora za pojedine ulazne parametre, npr. jednoosnu čvrstoću na pritisak te izrada dodatnih smjernica za izbor pojedinih parametara u složenim geotehničkim uslovima, povećali bi pouzdanost RMR klasifikacije.

5. ZAKLJUČAK

RMR klasifikacija predstavlja najčešće korištenu klasifikaciju u Bosni i Hercegovini pri izradi cestovnih tunela. Njena pouzdanost direktno zavisi od geoloških, inženjerskogeoloških i geomehaničkih uslova, odnosno geotehničkih uslova u stijenskoj masi. Istražni radovi za izradu glavnog projekta trebaju biti izvedeni u optimalnom obimu, kako bi se smanjile razlike između onog što je projektovano i onoga što se može realno očekivati u stijenskoj masi. Samo iskustvo inženjera na terenu te adekvatna procjena svakog od ulaznih parametara omogućava optimalnu gradnju u stijenskoj masi.

Bodovanja stijenskog materijala po RMR klasifikaciji, u složenim geotehničkim uslovima tunela Zenica, jasno su pokazala da: „RMR klasifikaciju treba koristiti u slučajevima za koje je i razvijena, a ne kao odgovor na sva projektne probleme” (Bieniawski 1989g.). Problem pouzdanosti kategorizacije stijenskog materijala po RMR klasifikaciji prilikom izgradnje tunela Zenica, posljedica je složenih geotehničkih uslova u J/K Vrandučkom flišu. Poseban problem je odnos prema rezultatima ispitivanja i vrijednostima jednoosne čvrstoće stijenskog materijala, što je imalo za posljedicu često nerealno bodovanje stijenskog materijala po RMR klasifikaciji. S obzirom na heterogenost stijenskog materijala, na čelu iskopa i sadržaj tankih slojeva glinea, postavlja pitanje od kojeg litološkog člana uzeti jednosnu čvrstoću.

Zbog činjenice da je RMR klasifikacija najviše korištena klasifikacija, potrebno je detaljnije doraditi klasifikaciju, čime bi izbor ulaznih parametara bio olakšan. Korekcionni faktori za jednoosnu čvrstoću na pritisak, predstavljaju jedan od koraka kojim bi se povećala pouzdanost klasifikacije u složenim geotehničkim uslovima.

LITERATURA

1. Barton, N.R. 1987. Predicting the behaviour of underground openings in rock. Manuel Rocha Memorial Lecture, Lisbon. Oslo: Norwegian Geotech. Inst.
2. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.
3. Barton, N., (2000), *TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock*, Balkema 172.p.
4. Barton, N., (2007), *Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy*, Taylor & Francis 729.p.
5. Bieniawski Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York. 251pages.
6. Bieniawski, Z.T. 1967. Mechanism of brittle fracture of rock, parts I, II and III. *Int. J. RockMech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 4(4), 395-430.
7. Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In *Exploration for rockengineering, proc. of the symp.*, (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
8. Bieniawski, Z.T. 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications. *Proc. 4th. Congr., Int. Soc. Rock Mech.*, Montreux 2, 41-48.
9. Franklin J.A., Dusseault, M.B., (1989), *Rock Engineering*, McGraw-Hill Publishing Company,
10. Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B. (2002) *Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition*, Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto in July 2002.
11. Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., (1995), *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, Balkema, 215 p 27-47 O.K.
12. Hoek, E., *Rock Engineering (a course)* <http://www.roscience.com/> 40-58 O.K of rock jointing. Proc. 4th Congr. Int. Assn Engng Geol., Delhi 5, 221-228.
13. Mandžić E., (1999), *Mehanika stijena, Autorizovana predavanja, RGGF Tuzla*
14. Singh, B., Goel, R.K., (1999), *Rock Mass Classification, A practical approach in civil engineering*, Elsevier, 267 p.
15. Riedmuller, G., Schubert, W., (1999), *Critical Comments on quantitative Rock Mass Classifications*, *Felsbau*, 17, Nr.3
16. Singh, B., Goel, R.K., (1999), *Rock Mass Classification, A practical approach in civil engineering*, Elsevier, 267 p.
17. Selimović M., (2004), *Mehanika stijena (Istraživanja stijenskog masiva)*, Građevinski fakultet Univerziteta u Mostaru, Mostar
18. Selimović M., (2004), *Mehanika stijena (Teoretske osnove)*, Građevinski fakultet Univerziteta u Mostaru, Mostar
19. Selimović M., (2014), *Mehanika stijena (Primjena u inženjerskoj praksi)*, Građevinski fakultet Univerziteta u Mostaru, Mostar
20. Grupa autora, (2022), *Završni inženjersko-geološki izvještaj o iskopu tunela "Zenica"*, Zenica
21. Grupa autora, (2022), *Završni inženjersko-geološki izvještaj o iskopu tunela "Vranduk"*, Zenica