



JOURNAL

OF FACULTY OF MINING,
GEOLOGY AND CIVIL
ENGINEERING

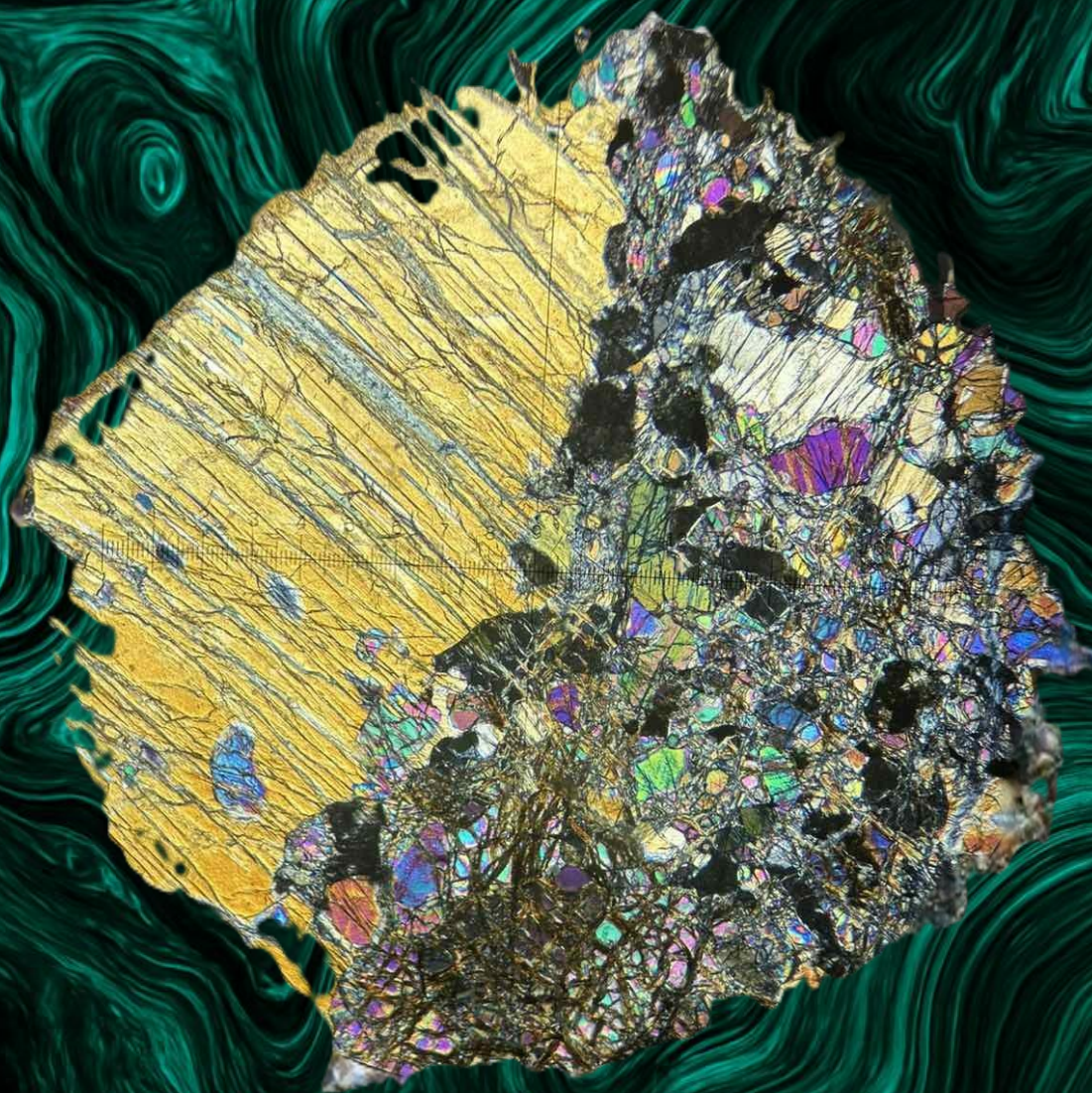
GLASNIK RUDARSKO-
GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG
FAKULTETA

2025. YEAR/GODINA
Vol. 13/Broj 13

2025/13

Scientific-Professional Journal for Research in Fields of Science 1.5, 2.1 and 2.7
(Frascati)

Naučno-stručni časopis za istraživanje u naučnim poljima 1.5, 2.1 i 2.7 (Frascati)



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

DOI 10.51558/2303-5161

Izdavač

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

Za izdavača

Prof.dr.sc. Adnan Ibrahimović

Glavni i odgovorni urednik

Prof.dr.sc. Dado Srkalović
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
Urfeta Vejzagića 2, 75000 Tuzla, BiH
e-mail: dado.srkalovic@untz.ba

Tehnički direktor časopisa

Prof.dr.sc. Elvir Babajić
e-mail: elvir.babajic@untz.ba

Tehnička podrška

Prof.dr.sc. Alisa Babajić
e-mail: alisa.babajic@untz.ba

MEĐUNARODNI SAVJETODAVNI ODBOR

Stjepan Čorić, 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

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

Tiraž

30

GLASNIK
RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG
FAKULTETA

Tuzla, 2025.

SADRŽAJ

MIKROFIZIOGRAFIJA SPILITA I ASOCIRANIH STIJENA OKOLINE VAREŠA	1
KVANTITATIVNO I KVALITATIVNO STANJE U SEKTORU VODOSNABDIJEVANJA	12
HIDROGEOLOŠKA TESTIRANJA BUNARA U GRUPNOM RADU IZVORIŠTA BARICE, OPĆINA ŽIVINICE	17
PERSPEKTIVNOST POSTOJEĆIH I NOVIH LEŽIŠTA TEHNIČKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA U TUZLANSKOM KANTONU ZA POTREBE GRADNJE PUTNE INFRASTRUKTURE.....	30
ORGANIZACIONI ASPEKT UPRAVLJANJA IZGRADNJOM OBJEKATA VISOKOGRADNJE	50
ANALIZA FAKTORA RIZIKA U PROMJENI CIJENE IZGRADNJE OBJEKATA	58
INŽENJERSKOGEOLOŠKE I GEOTEHNIČKE KARAKTERISTIKE ODRONA NA LOKALITETU "CRVENE NJIVE" U TUZLI	64
POBOLJŠANJE RADA DUBINSKE PUMPE NA KLIPNIM ŠIPKAMA MODIFIKACIJOM POTISNOG VENTILA	77
RUDARSTVO KRITIČNIH MINERALNIH SIROVINA U KONTEKSTU METODA OTKOPAVANJA	88
PRIJEDLOG MJERA ZA UBLAŽAVANJE OKOLINSKIH UTICAJA NA PROSTORU NAPUŠTENIH POGONA RUDNIKA VAREŠ.....	101
UTJECAJ MAKROEKONOMSKIH ČIMBENIKA NA USPJEŠNOST POSLOVANJA PODUZEĆA IZ SEKTORA VAĐENJA RUDA I KAMENA	113
ANALIZA DOTOKA I KOEFICIJENTA OTICANJA ZA SLIVNO PODRUČJE, NA PRIMJERU HIDROAKUMULACIJE MODRAC.....	121
ANALIZA ZASIPANJA NANOSOM VIŠENAMJENSKE AKUMULACIJE KORISTEĆI GIS MODELIRANJE, NA PRIMJERU HIDROAKUMULACIJE MODRAC	130
ZADACI KOD UREĐIVANJA BUJICA I ODREĐIVANJE EROZIONOG KOEFICIJENTA SLIVA RIJEKE TURIJE.....	139
PROCJENA UNOSA NANOSA U AKUMULACIJU UZ ODREĐIVANJE EROZIONIH KARAKTERISTIKA SLIVNOG PODRUČJA AKUMULACIJE MODRAC	147

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.1

Naučni rad

MIKROFIZIOGRAFIJA SPILITA I ASOCIRANIH STIJENA OKOLINE VAREŠA

Elvir Babajić¹, Alisa Babajić², Alma Imamović³, Maida Tanjić⁴, Selma Čatić⁵

¹ Vanredni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Urfeta Vejzagića broj 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, elvir.babajic@untz.ba

² Docent, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Urfeta Vejzagića broj 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, alisababajic@yahoo.com

³ Bach. ing. geol., Adriatic Metals BH doo, Vareš, alma.imamovic@adriaticmetals.com

⁴ Bach. ing. geol., Adriatic Metals BH doo, Vareš, maida.tanjic@adriaticmetals.com

⁵ Bach. ing. geol., master student, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Urfeta Vejzagića broj 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, selmactc95@gmail.com.

Sažetak

Mikrofiziografski je obrađeno dvanaest uzoraka spilita i asociranih stijena iz okoline Vareša. Na osnovu optičkih ispitivanja stijena, strukturno-teksturnih karakteristika, boje, te tipa i intenziteta alteracionih procesa, a uvažavajući postojeće klasifikacijske šeme, definisani su različiti litotipovi. Spiliti su dominantni tip stijena. Na osnovu strukturnih varijeteta izdvojeni su ofitski i porfirski spiliti. Oba varijeteta su mineraloški bliski, a glavni petrogeni minerali su albit i augit, uz dominirajuću mandulastu teksturu, dok je vezikularna i fluidalna tekstura podređena. Asocirane stijene sa splilitima su ofitski bazalti, stijene kuglastog lučenja, mandulaste i vezikularne teskture. Tekstura i lučenje su parametri koji ih razlikuju od sličnih dijabaza.

Ključne riječi: ofitski spiliti, porfirski spiliti, ofitski bazalti, Vareš.

Summary

Twelve samples of spilite and associated rocks from the surroundings of Vareš were processed microphysiographically. Based on optical examinations of rocks, structural-textural characteristics, rock color, and the type and intensity of alteration processes, and respecting the existing classification schemes, different lithotypes were defined. Spilites are the dominant rock type. Taking into consideration textural varieties, ophitic and porphyritic spilites were distinguished. These two varieties are mineralogically similar. The main petrogenic minerals are albite and augite, with a dominating amygdaloidal structure, while the vesicular and fluidal structures are subordinate.

The rocks associated with the spilites are ophitic basalts, rocks of spheroidal jointing, with amygdaloidal and vesicular structure. Both structure and jointing are parameters that distinguish them from similar diabases.

Keywords: ophitic spilites, porphyritic spilites, ophitic basalts, Vareš.

1. UVOD

Termin spilit se odnosi na alterisane afirske bazaltne stijene koje su siromašne fenokristalima ili za albitizirane bazaltne lave (*Le Maitre i dr. 2002*). Spiliti predstavljaju najrasprostranjenije

trijaske vulkanite u Dinaridima. Prvi puta su utvrđeni u okolini Sarajeva. Najveće rasprostranjenje imaju u trijaskoj vulkanskoj oblasti Zelengora - Treskavica - Igman i na potezu Čevljanovići - Vareš - Borovica. Također su otkriveni i na Krstacu kod Prozora, u dolini Vrbasa i kod Čajniča, gdje su podređeni u odnosu na kiselije diferencijate (*Pamić, 1957*).

Ozbiljniji pristup mikrofiziografiji spilita i asociranih stijena okoline Vareša je realizovan 70-ih godina prošlog vijeka. Rezultati ispitivanja skromnog obima objavljeni su prije više od pola vijeka. U toku 2024-e godine, u sklopu naučno-istraživačkog projekta „Petrološko-geohemijska karakterizacija vršnog dijela drevne oceanske kore - okolina Vareša“, sistematski su uzorkovane i u petrografskom smislu definisane predmetne stijene. Ukupno je obrađeno dvanaest uzoraka stijena, čija je nomenklatura i klasifikacija izvedena na osnovu optičkih ispitivanja stijena i strukturno-teksturnih odlika, te načina pojavljivanja i standardnih klasifikacionih šema.

2. GEOLOŠKA GRAĐA

Vareš je grad smješten u Srednjoj Bosni, u gornjem toku rijeke Stavnje. Udaljen od Sarajeva (sjeverno) i Zenice (istočno) oko 35 km vazdušne linije.

U geotektonskom pogledu, šira okolina Vareša pripada kontaktu centralne ofiolitne zone (sjeverno krilo vareške strukture) i zoni paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka (južno krilo vareške strukture). Ova se struktura pruža približno ZSZ-IJI na potezu Borovica - Ravne, odakle povija na jug prema Čevljanovićima i Srednjem.

U sklopu ove jedinice se pojavljuju i izdužena magmatska ekstruzivna tijela koja prate navedenu orijentaciju. Po gabaritnosti izdvajaju se tijela u neposrednoj blizini Vareša (0,4 x 4,2 km, površine oko 135 ha) i na potezu Zubeta - Ravne (0,3 x 4,4 km, površine oko 113 ha).

Početkom alpskog magmatsko-tektonskog ciklusa područje Vareša bilo je pod morem, i pretpostavlja se da je sedimentacijski basen bio izdiferenciran na južni i sjeverni dio.

Sjeverni (skitski kat - T_1) razvoj donjeg trijasa predstavljen je kvarcnim pješćarima (tzv. "sarajevski pješćari") i pjeskovitim glincima, dok karbonatni sedimenti sasvim odsustvuju. Južni razvoj donjeg trijasa karakterišu sitnozrni pješćari sa karbonatnim vezivom, zatim pjeskoviti glinci i laporci, te pjeskoviti krečnjaci. Završni članovi ovog razvoja su glinoviti dolomiti i sedrasti krečnjaci (Zellenkalk), koji su naročito rasprostranjeni istočno od Vareša, u širem području Pržića i Dahštanskog (slika 1).

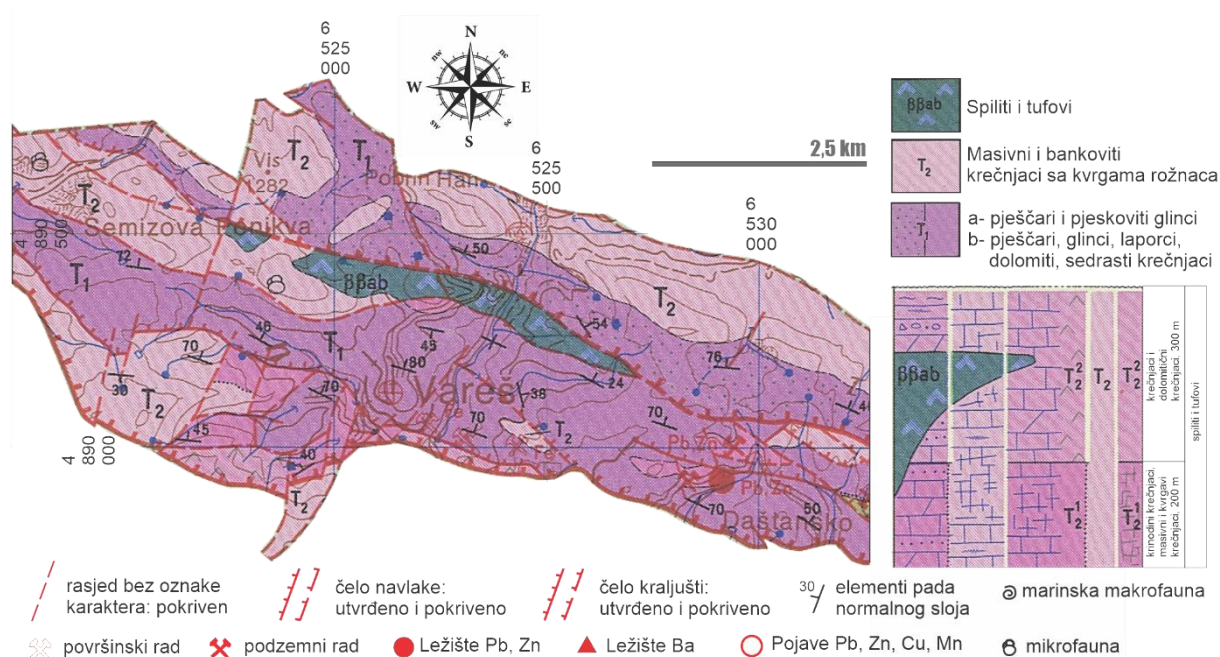
Tvorevine anizika (T_2^1) su na nekoliko lokaliteta vrlo detaljno raščlanjene i paleontološki dobro dokumentovane što je i omogućilo da se odvoje dva razvoja anizika. Sjeverni razvoj anizika (T_2^1) je jednostavan. Tu obično preko bijelih krupnozrnih kvarcnih pješćara, koji su mjestimično konglomeratični, leže tamnosivi krinoidni krečnjaci debljine oko 60 m. Iznad njih su masivni i kvrgasti krečnjaci hanbuloškog tipa, a preko ovih masivni sivi dolomitični krečnjaci (planina Zvijezda).

Krečnjaci su najčešće rekristalisani biospariti i intraspariti, a podređenije mikrospariti i kalklutiti. Često je, međutim, anizik predstavljen samo masivnim dolomitičnim krečnjacima.

U južnom razvoju anizika (T_2^1) nailazi se na postepen prelaz iz skita u anizik. Prelazni horizont se karakteriše glinovitim dolomitima ili šupljikavim (sedrastim) dolomitičnim krečnjacima, preko kojih leže sivi slojeviti dolomiti.

Ladiničke tvorevine (T_2^2) rasprostranjene su i u sjevernom i južnom krilu vareške trijaske strukture, no sa znatnim litofacijalnim razlikama. Na mnogim profilima je zapažen postepen prelaz iz anizika u ladinik; prelazni horizont se karakteriše hematitnim i manganskim glincima (okolina Vareša), odnosno, dolomitima i dolomitičnim krečnjacima (okolina Borovice). U sjevernom razvoju ladinika zastupljeni su krečnjaci i dolomitični krečnjaci, a južni razvoj karakterišu spiliti, tufovi, glinci, rožnaci i krečnjaci. U oba razvoja je ladinik paleontološki dokumentovan.

U sjevernom razvoju ladinik je razvijen samo u karbonatnom facijesu: pretežu krečnjaci i dolomitični krečnjaci (uglavnom pseudospariti i rekristalisani biospariti, rjeđe rekristalisani biomikriti, odnosno, dismikriti). Negdje dolaze u tim krečnjacima kvrge i leće rožnaca. Krečnjaci su masivni i najčešće se ne mogu odvojiti od identičnih anizičkih krečnjaka. Magmatski članovi ladinika predstavljeni su spilitima i tufovima. To je isprekidana zona vulkanskih izliva koja se pojavljuje od Vareša do Čevljanovića. Spiliti se pojavljuju u vidu jastučastih (pillow) tekstura (promjer 20-70 cm), brečastih jastučastih tekstura sa anklavama anizijskih krečnjaka, što je bio jedan od razloga da se uvrste u ladinik. Piroklastične stijene, kao pratioci vulkanizma, utvrđene su samo u ladinskim sedimentima, a najniži položaj vulkanita je preko krečnjaka anizičke zone *Ceratites trinodosus*.



Slika 1 – Geološka karta šire okoline Vareša (Olujić i dr., 1970)

U južnom razvoju je ladinik predstavljen obojenim glincima i rožnacima, te pločastim krečnjacima (silicijski mikriti, rjeđe mikrospariti i pseudospariti). Navedeni sedimenti obično alterniraju i mogu biti proslojeni tufovima i tufitičnim pješčarima, od magmatskih stijena dolaze već prikazani spiliti. Cijeli kompleks je sitno boran i metarske bore se vrlo često susreću; bore su često izrasjedane (Olujić i dr., 1970; Pamić i dr., 1970).

3. METODE ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA

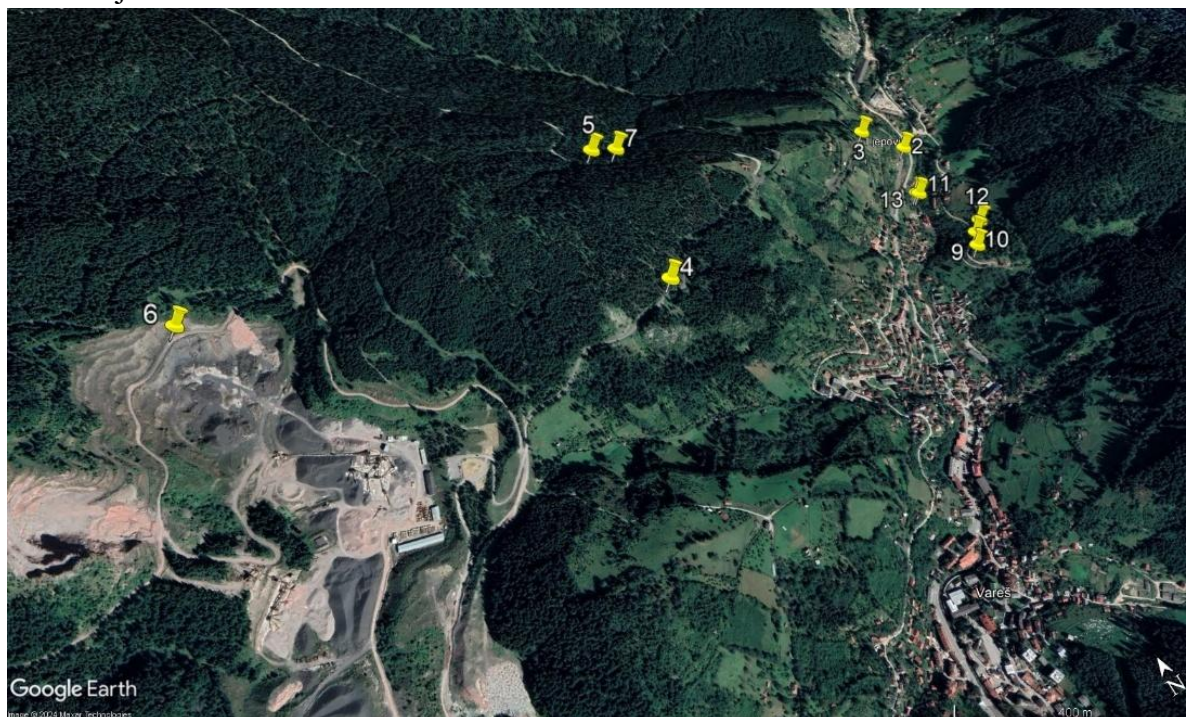
Tokom terenskih aktivnosti u okolini Vareša (februar - mart 2024. godine), u više navrata, prikupljeno je 25 uzoraka stijena, čiji je broj nakon makroskopske determinacije sveden na 12 (tabela 1).

Tabela 1. Oznake i geografske pozicije uzetih uzoraka stijena

uzorak	N	E	uzorak	N	E
2	44°10'11.51"	18°19'59.42"	8	44°10'7.56"	18°19'57.14"
3	44°10'13.48"	18°19'55.42"	9	44°10'1.73"	18°19'57.38"
4	44°10'7.36"	18°19'25.47"	10	44°10'2.60"	18°19'58.19"
5	44°10'18.58"	18°19'27.05"	11	44°10'7.74"	18°19'57.21"
6	44°10'19.60"	18°18'47.36"	12	44°10'3.19"	18°19'59.29"
7	44°10'18.10"	18°19'29.32"	13	44°10'7.85"	18°19'57.03"

Uzorci za petrografska ispitivanja su uzimani direktno sa izdanaka otkrivenih u zasjecima-usjecima i iz potoka. Broj terenskih uzoraka određen je u zavisnosti od geološke građe terena, njegove otkrivenosti, pristupa, uočenih mineraloških i strukturno-teksturnih varijeteta, te od svježine stijena (slika 2).

Preparati za mikrofiziografiju stijena su izrađeni na Hrvatskom geološkom institutu u Zagrebu. Optička ispitivanja su obavljena na polarizacijskom mikroskopu marke Leica DM 2500P, na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu Univerziteta u Tuzli. Mikrofotografije su snimane u ortoskopskim uslovima, sa i bez uključenog analizatora. S obzirom na korišteni izvor svjetla, softverski je izvršena korekcija balansa bijele boje, kako bi se na mikrofotografijama dobile realne boje.

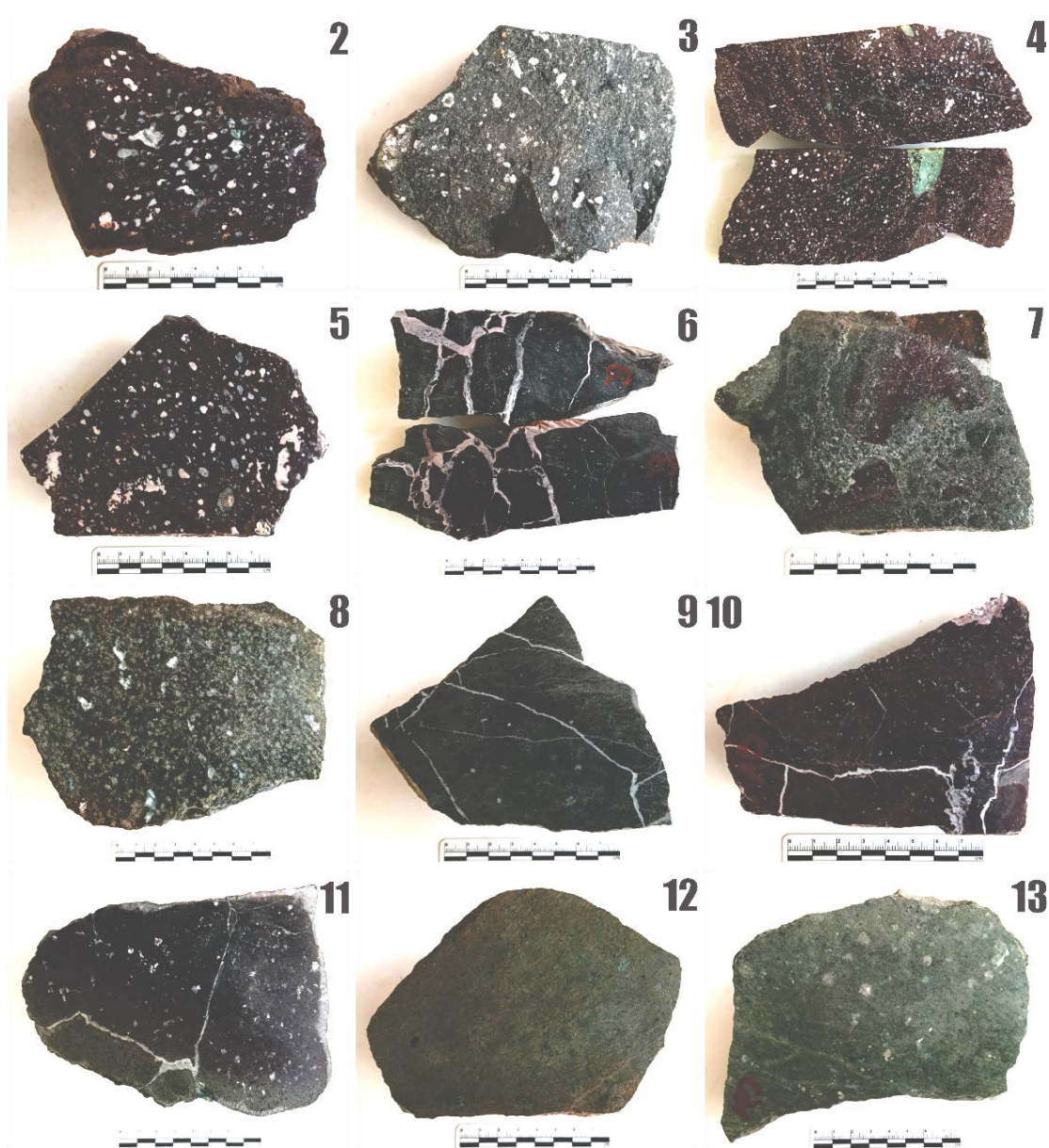


Slika 2 – Pozicije uzorkovanih stijena

4. REZULTATI ISPITIVANJA

4.1. Makroskopska determinacija

Strukturni tipovi su raznovrsni, a od teksturnih tipova konstatovane su mandulasta/amigdaloidna, vezikularna, brečoidna i homogena tekstura (slika 3).



Slika 3 – Makrofotografije uzorkovanih stijena

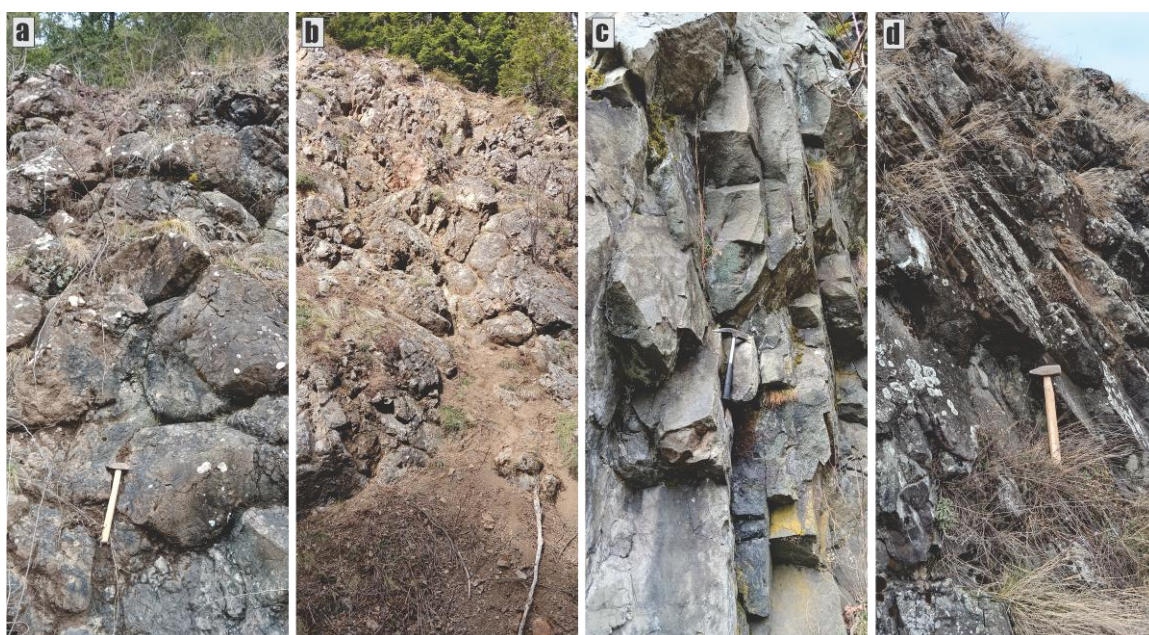
Na osnovu boje, prisustva/odsustva mandula i pukotina izdvojene su sljedeće grupe stijena:

- stijene ljubičaste boje sa mandulama, vezikulama i pukotinama. Mandule grade i do 30% stijene, promjera su i do 0,5 cm. Ispuna im je bijela (kalcitna) i zelenkasta (uzorci 2, 4 i 5). U uzorcima 6, 9, 10 i 11 pukotine dominiraju nad mandulama. Pukotine su nepravilne orijentacije, ispuna im je bijele boje, promjera i do 3 mm. Mandule se pojavljuju sporadično, bijele i zelenkaste boje, promjera do 1 mm.

- stijene sive boje sa mandulama i pukotinama. Mandule grade i do 15% stijene, promjera su i do 0,3 cm. Ispuna im je kalcitna (bijela) i zelenkasta (uzorci 3 i 8). Uz mandule dolaze nepravilna nagomilanja pirita (promjera 2-3 mm), uglavnom po rubovima mandula (uzorak 3).
- stijene zelenkaste boje, sa pukotinama koje dominiraju nad sporadičnim mandulama (uzorci 12 i 13).

Po teksturnim karakteristikama izdvaja se uzorak broj 7 koji se odlikuje brečoidnošću, te je definisan kao spilitna konglo-breča. Izgrađena je od poligonalnih do poluzaobljenih fragmenata ofitskih spilita, a prostor između litoklasta je izgrađen od »stakla«.

Prilikom terenskih opservacija uočene su i karakteristične pojave lučenja predmetnih stijena. Dominirajuće lučenje je kuglasto/jastučasto. Promjeri jastuka se kreću u rasponu 20 – 70 cm. Manje zastupljeno je pločasto lučenje stijena (slika 4).



Slika 4 – Lučenje spilita i asociranih stijena okoline Vareša: a, b) kuglasto/jastučasto; c, d) pločasto.

4.2 Mikrofiziografija stijena

Spiliti

Mineralni sastav oba strukturna varijeteta spilita (ofitski i porfirski) je prilično ujednačen (tabele 2 i 3). Albit je najčešći mineral. Pojavljuje se kao idiomorfan, prizmatičan do igličast, dužina zrna se kreće u rasponu 0,2 - 0,4 mm. Albiti u spilitima su rijetko svježi, češće su alterisani, odnosno potisnuti sitnim sekundarnim mineralima: kalcitom, zelenkastim seladonitom, pumpeliitom i hloritom (?). Prema podacima teodolitno-mikroskopskog mjerenja obično sadrže 3 - 5 % anortitne komponente (*Pamić, 1963*).

Plagioklasi se pojavljuju u prizmatičnim formama dužine do 0,5 mm. Nepravilno su rapoređeni u stijeni, mjestimično tvore nagomilanja, koja stvaraju utisak glomeroporfirne strukture. Plagioklasi su albitizirani, zamućeni i „nagriženi“ magmatskom resorpcijom.

Karakterističan femski mineral spilita je augit, koji se pojavljuje u zasebnim zrnima

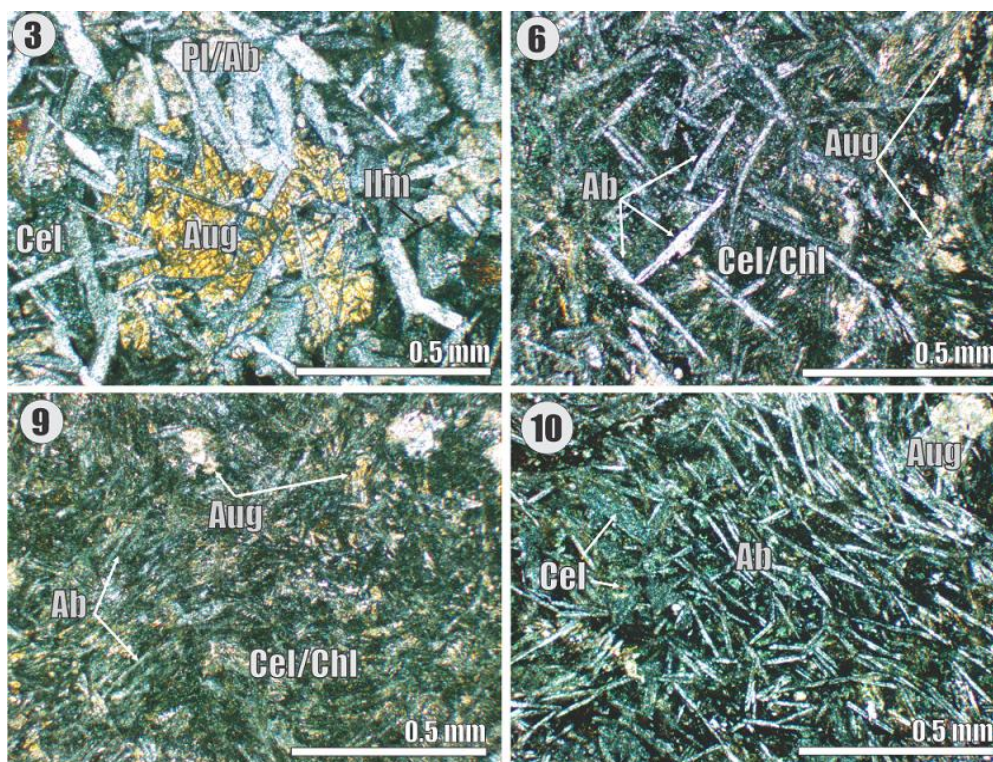
alotriomornog i hipidomornog habitusa (fenokristali i do 0,7 mm), zatim člankovito-perasto i divergentno-zrakasto. Rijetko je svjež, uglavnom je dezintegriran, hloritisiran i u manjoj mjeri epidotiziran. Kod spilita koji u osnovi imaju povišeni sadržaj smeđe-crne izotropne materije, augit može izostati.

Od sekundarnih minerala u spilitima su detektovani još i seladonit, pumpeliit, hlorit, te opaki akcesorni ilmenit i magnetit. Pumpeliit se pojavljuje u formi sitnozrnastih zelenkasto-smeđih pleohroitičnih i dendritičnih agregata. Vezan je za rubne dijelove pillow-a, vjerovatno je rezultat devitrifikacije vulkanskog stakla u vrijeme submarinske hidrotermalne aktivnosti, na što upućuju i relikti stakla okolo mandala. Seladonit je nastao alteracijom femskih minerala. Kristali i fino-zrni agregati su zeleno-plave boje. Pojavljuje se u mandulama, pukotinama i u osnovi stijene (Babajić A. i dr. 2013; Babajić A. i dr. 2017; Babajić A. i Babajić E., 2023).

Tabela 2. Mineralni sastav, strukture i teksture ofitskih spilita

uzorak	mineralni sastav	struktura / tekstura
2	Ab, Aug, Cal, Cel, G, Ilm	hijaloofitska / mandulasta, vezikularna
3	Pl, Aug, Ab, Cel, Cal, G, Py, Ilm	ofitska / mandulasta
4	Ab, Cal, Cel, Chl, Ilm	hijaloofitska / mandulasta
5	Ab, Aug, Cal, Cel, G, Ilm, Mag	hijaoofitska / mandulasta
6	Aug, Ab, Cel/Chl	hijaloofitska / mandulasta
7	Ab, Cal, Cel, Chl, Pmp, G, Ilm	ofitska / brečoidna
9	Aug, Ab, Cel/Chl	ofitska / mandulasta, fluidalna
10	Ab, Cal, Cel, Chl, Pmp, G, Ilm	ofitska / mandulasta

(Ab - albit, Aug - augit, Pl - plagioklas, Chl - hlorit, Cal - kalcit, Pmp - pumpelit, Cel - eladonit, Py - pirit, Ilm - ilmenit, Mag - magnetit, (Warr, 2021), G –staklo (interna oznaka).



Slika 5 – Mikrofotografije uzoraka ofitskih spilita. (Ab - albit, Aug - augit, Pl - plagioklas, Chl - hlorit, Cal - kalcit, Cel - seladonit, Ilm – ilmenit (Warr, 2021)).

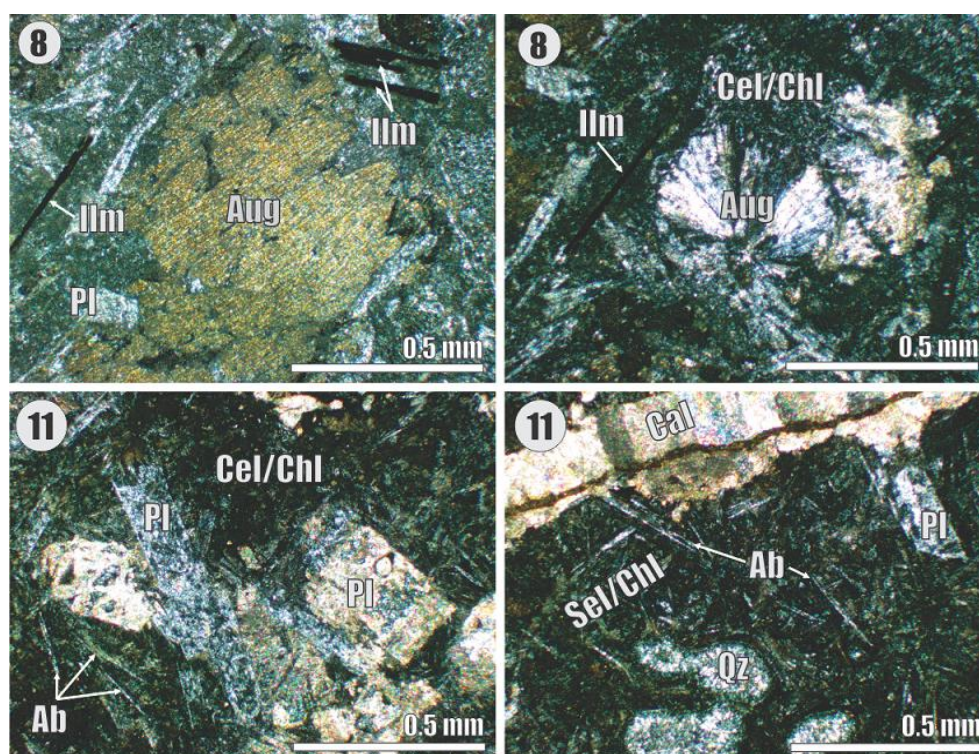
Među sekundarnim mineralima se vrlo često naglašavalo prisustvo zelenkastog hlorita (*Pamić, 1963, Pamić i Dorđević, 1966*). Naknadna istraživanja su ukazala da se radi o seladonitu i pumpeliitu (*Trubelja i dr., 1976*), što je potvrđeno i u ovome slučaju.

U nekim od uzoraka nije se sa sigurnošću moglo utvrditi da li je u pitanju hlorit ili seladonit, te su uzeta u obzir oba ova mineral (Cel/Chl).

Tabela 3. Mineralni sastav, strukture i teksture porfirskih spilita

uzorak	mineralni sastav	struktura / tekstura
8	Pl, Aug, Ab, Cal, Cel/Chl, Ilm	porfiriska / homogena
11	Pl, Aug, Ab, Cal, Cel/Chl, Qz, Ilm	porfiriska / mandulasta

Pl – plagioklas, Aug – augit, Ab – albit, Cel – seladonit, Chl – hlorit, Cal – kalcit, Ep – Epidot, Ilm – ilmenit, Qz – kvarc (*Warr, 2021*). G – staklo (interna oznaka).

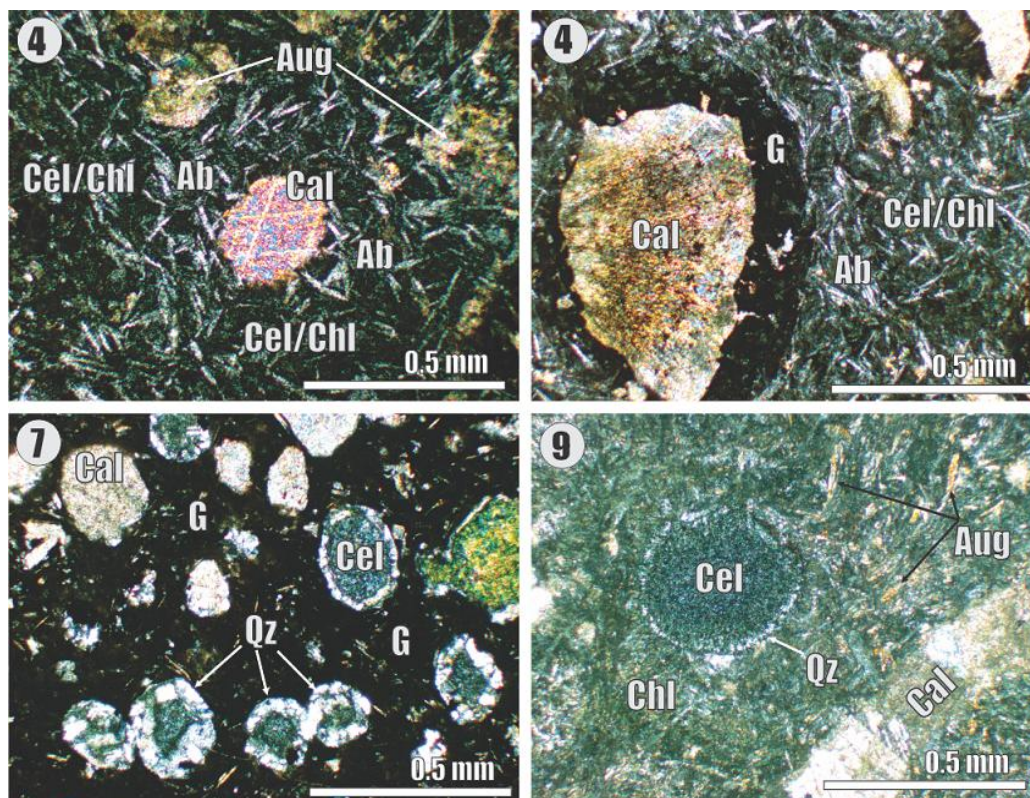


Slika 6 – Mikrofotografije uzoraka porfirskih spilita (Ab – albit, Aug – augit, Pl – plagioklas, Chl – hlorit, Cal – kalcit, Cel – Seladonit, Prh, Ilm – ilmenit, Qz – kvarc (*Warr, 2021*)).

Mandule

Mandule su vrlo česta pojava u predmetnim stijenama. Njihova zastupljenost se kreće do 30% stijene. Promjeri mandula su širokog raspona, i do 2 cm, najčešće 0,2-0,5 cm. Mandule su najčešće ispunjene kalcitom, hloritom, seladonitom, pumpeliitom, rjeđe kvarcom i kalcedonom. U kalcitnim mandulama su konstatovane romboedarske trase cljepljivosti i radijalno-zrakasti agregati, a mandule sa seladonitom imaju karakterističan ovoj od kvarca.

U ofitskim varijetetima spilita okolo mandula, ali i u osnovi stijene, determinisana je izotropna crno-smeđa supstanca koja je nazvana „staklo“ (slika 7). Prethodna istraživanja „stakla“ metodom rentgenske difrakcije su ukazala na prisustvo leukoksena i montmorijonita (*Pamić, 1982*).



Slika 7 – Mandule u ofitskim spilitima (4 i 9) i spilitnim brečama (7) Vareša
(Ab - albit, Aug - augit, Pl - plagioklas, Cel - seladonit, Chl - hlorit, Cal - kalcit, Qz - kvarc (Warr, 2021)), G – staklo (interna oznaka).

Ofitski bazalti

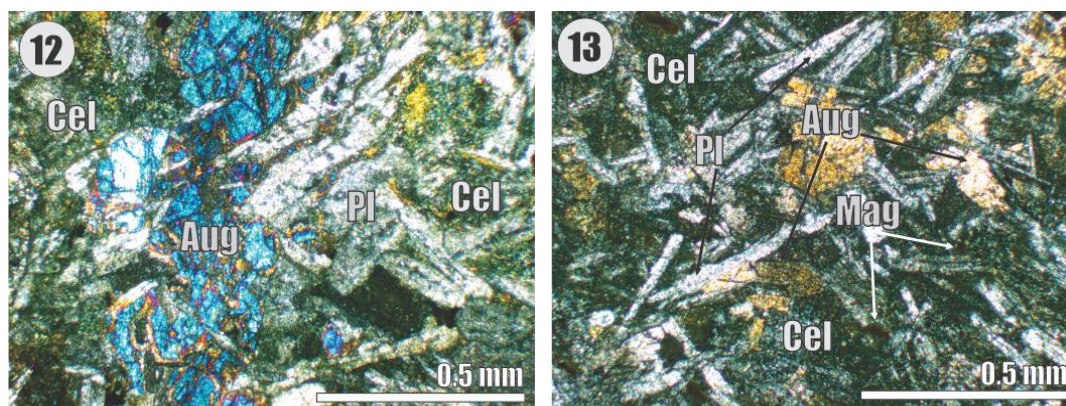
Ofitski bazalti su često nazivani dijabazima, zbog ofitske strukture. Međutim, ofitski bazalti se razlikuju od hipabisalnih dijabaza po geološkom načinu pojavljivanja (izlivne vulkanske mase u vidu pillow tekstura koje se često pojavljuju u asocijaciji sa kiselijim diferencijatima npr. andezitima). Drugi kriterij je mandulasta i vezikularna tekstura koja odsusutvuje kod dijabaza, a često se i proslojavaju sa piroklastičnim stijenama.

Ekstruzivne vulkanske stijene sa bazičnim plagioklasima i ofitskom strukturom definisane su kao ofitski bazalti, pri čemu se ističe strukturni varijetet, a u skladu sa klasifikacijom Streckeisena (1978). Glavni petrogeni minerali su plagioklasi i klinopirokseni. Plagioklasi su uglavnom labrador ili bitovnit, a mikroliti u osnovi stijene su kiseliji - andenzinski, rjeđe oligoklasni. Klinopiroksen je predstavljen augitom koji zapunjava prostor između plagioklasa. Alteracije su vezane za plagioklase koje potiskuju sitni sekundarni minerali, uz izdvajanje albita, dok je augit obično svjež, te se u ovome slučaju teško razlikuju od ofitskih spilita. Epidot se pojavljuje u prizmatičnim kristalima, kao i masivnim do zemljastim agregatima. Karakteristične je žutozelene do zelene boje. Produkt je alteracije bazičnih plagioklasa uz prinos Fe komponente (Babajić A. i dr. 2017) (tabela 4).

Tabela 4. Mineralni sastav, strukture i teksture ofitskih bazalta

uzorak	mineralni sastav	struktura / tekstura
12	Pl, Aug, Ab, Ep, Cel, Chl, Cal, Ilm	ofitska, homogena
13	Pl, Aug, Ab, Cel, Chl, Cal, Mag, Ilm	ofitska, mandulasta

(Ab - albit, Aug - augit, Pl - plagioklas, Chl - hlorit, Cal - kalcit, Cel - seladonit, Ep - Epidot, Ilm - ilmenit, Mag - magnetit, (Warr, 2021)).



Slika 8 – Ofitski bazalti izgrađeni od plagioklasa (albitiziranih) i klinopiroksena (augita). (Aug - augit, Pl - plagioklas, Chl - hlorit, Cel - seladonit, Mag – magnetit (Warr, 2021)).

5. ZAKLJUČAK

Spiliti su dominantan tip stijena u okolini Vareša. Najčešće se pojavljuju u formama pillow (jastučastih) tekstura, koje su posljedica submarinskog vulkanizma. Pločasti tip pojavljivanja je podređeniji. Dimenzije kuglastih (jastučastih) formi spilita Vareša se kreću u rasponu 20 - 70 cm, rijetko su veće. Istočni dio magmatskog tijela (lijeva obala rijeke Stavnje) je intenzivnije tektoniziran i alterisan, čime se primarne teksture slabo uočavaju na terenu.

Na osnovu strukturnih karakteristika izdvojeni su ofitski i porfirski spiliti. Oba strukturna varijeteta sadrže promjenjivu količinu mandula koje su najčešće ispunjene kalcitom i seladonitom, te pumpeliitom, rjeđe kvarcom. U ofitskim varijetetima spilita oko mandula, ali i u osnovi stijene, determinisana je izotropna crno-smeđa supstanca koja je nazvana „staklo“, koju je potrebno dodatno istražiti. Optičkim ispitivanja je utvrđeno da ofitski spiliti imaju ofitsku do hijaloofitsku strukturu, mandulastu, a rjeđe vezikularnu i fluidalnu teksturu. Petrogeni sastojci su plagioklas, augit, albit, seladonit, hlorit, pumpeliit, kalcit, ilmenit, magnetit i pirit.

Porfirski spiliti su mandulaste do homogene teksture, uz minerale plagioklas, augit, albit, kalcit, seladonit, hlorit, kvarc i ilmenit.

Asocirani ofitski bazalti imaju mandulasto i homogenu teksturu. Primarni minerali su plagioklasi (bazični) i klinopiroksen augit. Seriju sekundarnih minerala čine albit, kalcit, seladonit, hlorit, epidot, uz opake ilmenit i magnetit.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Uredu za Naučno-istraživački rad Univerziteta u Tuzli i Federalnom ministarstvu obrazovanja i nauke na finansijskoj pomoći za realizaciju naučno-istraživačkog projekta: Petrološko-geochemijska karakterizacija vršnog dijela drevne oceanske kore – okolina Vareša“ /odluka:01-3840-VI-1/23, od 23.10.2023. godine/.

REFERENCE

1. Babajić, A., Babajić, E., (2023): Petrographic nomenclature of the Konjuh mountain mafite extrusive rocks. Treći Kongres geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem, str. 119 – 136. Neum, 21-23.09.2023. godine.
2. Babajić, A., Babajić, E., Srećković-Batočanin, D., Milovanović, D. (2017): Petrographic characteristics of mafic extrusive rocks along the southwestern part of Majevisa. Archives for Technical Science, (16)1, 1-8.
3. Babajić, A., Salkić, Z., Babajić, E., (2013): Petrographic characteristics and nomenclature of rocks from diabase quarry "Ribnica" near Banovići; Proceedings of Scientific Papers, pages 147-160, V Consulting of geologist from Bosnia and Herzegovina with an international participation, Pale, Bosnia and Herzegovina.
4. Le Maitre et al. (2002): A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press. ISBN 0-521-6615-X.
5. Olujić, J., Pamić, O., Pamić, J., Milojević, R., Veljković, D., Kapeler, I., (1970): Osnovna geološka karta SFRJ, list Vareš, 1: 100 000, OOUR Institut za geologiju Sarajevo.
6. Pamić J., (1963): Trijaski vulkaniti okolice Čevljanovića i kratak osvrt na trijaski vulkanizam Borovica-Vareš-Čevljanovići. Geološki glasnik 7, Sarajevo.
7. Pamić J., Đorđević D., (1966): Petrološki izvještaj o ispitivanju trijaskih efuziva u Varešu. Fond stručne dokumentacije. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.
8. Pamić, J. (1982): Trijaski magmatizam Dinarida. Časopis „Nafta“, Zagreb
9. Pamić, J., (1982): Bazaltne stijene trijaskog vulkanizma Dinarida. Geološki vjesnik, str. 159 – 180, broj 35. Zagreb.
10. Pamić, J., Pamić, O., Olujić, J., Milojević, R., Veljković, D., Kapeler, I., (1970): Tumač za osnovnu geološku kartu SFRJ, list Vareš, 1: 100 000, OOUR Institut za geologiju Sarajevo.
11. Streckeisen, A. L., (1978): IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. Recommendations and Suggestions. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, Vol. 141, 1-14.
12. Trubelja, F., Barić, Lj. (1976): O rasprostranjenju i strukturnom stanju albita u raznovrsnim stijenama u Bosni i Hercegovini. Glasnik Zemaljskog muzeja Bosne i Hercegovine, 15, 37-52.
13. Trubelja, F., Šibenik-Studen, M. i Sijarić, G. (1976): Pukotinski minerali u bazičnim magmatskim stijenama u Bosni i Hercegovini. VIII Jugoslovenski geološki Kongres, I. 291-300, Ljubljana.
14. Warr, N., L. (2021): IMA–CNMNC approved mineral symbols. Mineralogical Magazine, 85, 291–320 doi:10.1180/mgm.2021.43.
15. Pamić, J. (1957): Petrološka studija efuzivnih stijena u oblasti Ilidža–Kalinovnik; I. Područje Igmana i SI padina Bjelašnice.– Geol. glas., 3, 171–180, Sarajevo.

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.12

Stručni rad

KVANTITATIVNO I KVALITATIVNO STANJE U SEKTORU VODOSNABDIJEVANJA

Dinka Pašić-Škripić¹ Izet Žigić² Meris Hajdarević³ Amir Jahić⁴¹*Dr.sc.Dinka Pašić-Škripić, redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet*²*Dr.sc.Izet Žigić, profesor emeritus, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet*³*Mr.sc.Meris Hajdarević, Služba za stambeno-komunalne poslove, zaštitu okoliša i inspekcij eOpćina Banovići*⁴*Dr.sc.Amir Jahić, Direkcija regionalnih cesta TK*

Rezime

Voda je ranjivi prirodni resurs neravnomjerno raspoređen na planeti Zemlji, koga je neophodno čuvati, adekvatno zaštititi, te racionalno raspolagati dostupnim količinama. Voda je dobro u općoj upotrebi i trebalo bi je tretirati u skladu sa Poveljom o vodi, te omogućiti korisnicima dostupnost u smislu da niko nema "pravo" da drugome uskrati korištenje vode. Polazeći od činjenice da unaprijeđenje očuvanja voda i racionalno raspolaganje vodom, zahtijeva pažnju javnosti na lokalnom, nacionalnom, regionalnom i svjetskom nivou, proizilazi da se aktivnosti na istraživanju novih količina vode kao i njihovoj zaštiti te distribuciji svima kojima je potrebna, mora posvetiti posebna pažnja sa konkretnim mjerama i aktivnostima. Član 18 Agende 21 Ujedinjenih Nacija se odnosi na zaštitu i očuvanje izvorišta vode za piće, uz istovremeno obezbjeđivanje dovoljne količine svježe vode. Pri tome se upozorava na zloupotrebu i kontinuiranu kontaminaciju vodnih resursa, kojima se remeti kvalitet ali i kvantitet voda. U Evropskoj povelji o vodi se kaže da je voda opšte nasljedno dobro čiju vrijednost moraju svi poznavati, te s njom ekonomisati i brižljivo koristiti. Međutim, ljudska populacija je u svojoj prekomjernoj želji da upravlja vodnim resursima učinila i kontraefekat, iako je poznata činjenica da je za vodu nemoguće pronaći zamjenu.

Ključne riječi: Okvirna direktiva o vodi, vodno tijelo, remedijacija, vodosnabdijevanje, vodni resursi, zaštita voda

UVOD

Najvažniji dokument na kome se temelje propisi i strategija upravljanja vodnim resursima, posebno vodnim tijelima podzemnih voda, je Okvirna direktiva o vodi Evropske Unije, čiji je osnovni koncept usmjeren na očuvanje, zaštitu i poboljšanje kvaliteta životne sredine u kojima egzistiraju vodna tijela. Brojni su problemi u sektoru voda, ali je neophodno osim evidentiranja problematike, vršiti i konkretne aktivnosti da se poboljša stanje vodnih tijela i u kvantitativnom i u kvalitativnom smislu. To je skup procesa za koji je neophodno organizovanje stručnih timova, osiguranje finansijskih sredstava, uobličavanje zakonske regulative i kontinuirani monitoring. Kao primjer složenosti vodosnabdijevanja većeg broja općina na Tuzlanskom kantonu, poslužit će izveđenje hidrogeoloških istraživanja u Srebreniku, koji već duži period ima manjak neophodnih količina vode za urednu vodoopskrbu stanovništva.

1. ZNAČAJ PLANSKOG I EFEKTIVNOG DJELOVANJA U CILJU ZAŠTITE VODNIH RESURSA

U savremenom svijetu, voda postaje sve značajniji resurs, a dinamičan razvoj društva i sve veće ugrožavanje tri geološke sredine (voda, vazduh i tlo), postaje ključno pitanje održivog razvoja. Voda ne poznaje niti administrativne, niti teritorijalne granice, već je medij koji je u stalnom kretanju, u čijoj dinamici često biva izložena različitim pritiscima zagađujućih materija. Pri tome su posebno u današnje vrijeme izražene pojave sve veće hidrološke neravnomjernosti te ekstremnih hidroloških događaja. Bosna i Hercegovina je zemlja sa značajnim količinama podzemnih i površinskih voda, ali ovi resursi nisu neiscrpni i u direktnoj su vezi sa hidrološkim prilikama. Na većini hidroloških stanica na vodnom području rijeke Save u FBiH od augusta 2021. do augusta 2022. godine, zabilježene su vrijednosti vodostaja i proticaja koje su blizu historijskih minimuma ili su čak i rekordno niske, dok je 2024.godina u tome prednjačila.

Rijeke, jezera, podzemna vodna tijela se zagađuju različitim oblicima zagađujućih materija iz vrlo širokog spektra zagađivača, bez ikakvog tretmana remedijacije. Naročito su na udaru riječni tokovi koji su zagađeni u većoj ili u manjoj mjeri u čitavom riječnom slivu (tokovi sliva rijeke Save- područja rijeka Une, Vrbasa, Bosne i Drine). Oni sve više postaju recipijenti otpadnih fekalnih voda i otpadnih industrijskih voda. Osiguranje dovoljnih količina fizičko-hemijskih i bakteriološki ispravnih voda za piće, postaje sve više problem na području Federacije BiH, gdje je prema procjenama oko 50% stanovništva priključeno na javni vodovod, a odvod otpadnih voda (kanalizacioni sistem), još manje. Većina lokalnih vodozahvatnih objekata nema zona sanitarne zaštite, te samim tim nema ni adekvatnog uvida u ispravnost vode za piće, niti njene zaštite. Vodni resursi Bosne i Hercegovine čine riječni slivovi, prirodna jezera, vještačke akumulacije i podzemne vode. Zbog ispuštanja neprečišćenih otpadnih voda stanovništva i industrije, većina riječnih tokova u BiH je zagađena odnosno kontaminirana različitim zagađujućim materijama koji čine da su neki vodotoci i van IV klase (posebno prednjače rijeke Bosna i Vrbasa). Glavni zagađivači kao izvori ili žarišta zagađenja odakle se odaju različiti spektri kontaminata su: stanovništvo, termoelektrična postrojenja, eksploatacija mineralnih sirovina, prehrambena industrija, zanatski obrt, deponije smeća i divlje odlaganje komunalnog i industrijskog otpada, nekontrolisano odlaganje opasnog (toksičnog) otpada, erozija tla uslovljena ogoljavanjem šumskog pokrivača, odnosno sječom šume. Na osnovu navedenog proizilaze problemi u sektoru voda koji se očituju kroz:

1. Neadekvatno (čak i upitno) snabdijevanje vodom stanovništva i industrije,
2. Kvalitet vode koji uzorkovanjem uzoraka voda sa izvorišta, pokazuje fizičko-hemijsku i bakteriološku neispravnost,
3. Sve češća incidentna zagađenja izvorišta te pojave širenja zaraznih bolesti konzumiranjem neispravne vode,
4. Nedovoljna, neadekvatna ili nikakva zaštita kvaliteta voda (projektovanih zona sanitarne zaštite), te neadekvatna zaštita od štetnog uticaja voda zbog nereguliranih vodenih tokova, poplavnog vala i neodržavanja nasipa,
5. Pojave erozija tla uslijed prekomjerne i nekontrolisane sječe šuma, erozije unutar neuređenih i neodržavanih riječnih korita, te pojava klizišta.

Uzroci ovakvog stanja su različiti i po obimu rasprostranjenja i po raznovrsnosti. Prije svega

jedan od uzroka je nepostojanje integralnog upravljanja vodama, kao i nepostojanje jasnih strategija u tom smislu koje bi bile zakonski koncipirane i temeljene na stvarnom stanju na terenu. Nedostatak razvojnih planova koji bi usaglasili potrebe gradskih i ruralnih sredina je nešto na čemu se mora sistemski raditi i zakonski uobličiti. Drugi ništa manji problem je oštećena ili uništena infrastruktura vodovodne i kanalizacione mreže koji uslovljavaju velike gubitke vode, posebno pitke vode, za čiju sanaciju i izvedbu nove infrastrukture neophodno je izdvojiti značajna materijalna sredstva, a što se može obezbijediti iz dobre naplativosti svojih usluga ako su korisnici zadovoljni, dakle bez restrikcija i sa urednim snabdijevanjem higijensko ispravne vode, te sa obaveznim monitoringom voda sa informacionim sistemom (baza podataka). Treći i možda najveći problem je neadekvatna ili potpuni izostanak zaštite vodnih resursa, odnosno izvorišta, što vodu čini izloženu različitim zagađujućim materijama, te time fizičko-hemijski i bakteriološki ugroženu. Poseban segment je zaštita od štetnog djelovanja voda, kao što su neregulisani vodeni tokovi, poplave i erozije površinskog zemljišta, te klizišta, koja također ostavljaju nesagledive posljedice na pitke vode. Uzroci ovakvih problema su najčešće nedostatak finansijskih sredstava (nedostatak sredstava i povoljnih mehanizama finansiranja), opreme ali i adekvatnog kadra, a iz toga proizilaze loši ili nikakvi planovi i programi te razvojne strategije. Kada su u pitanju pitke vode neophodno je uspostavljanje integralnog upravljanja vodama i adekvatne strategije hidrogeoloških istraživanja i pronalaska novih količina pitke vode, te koordinacija više disciplina koje se bave vodama. Takođe je neophodno usaglasiti zakonsku regulativu sa EU kao i na nivou BiH (Evropska okvirna direktiva o vodi se sporadično primjenjuje za rješavanje problema vodnih resursa na teritoriji BiH). Da bismo produžili vijek trajanja vodnih tijela treba uspostaviti sistem prečišćavanja odnosno različitih vidova remedijacije otpadnih voda koje ugrožavaju kvalitet izvorišta, te zamijeniti i uvesti nove metode remedijacijskih tretmana (zamjena prljavih tehnologi-ja), uz monitoring voda i uvođenje informacionog sistema za rano otkrivanje incidentnih situacija i stvaranje baze podataka. Posebna i primarna pažnja se mora dati prečišćavanju otpadnih voda (i to ne samo tpada u tečnom, već i u krutom i gasovitom stanju, svi utiču na tri geološke sredine), jer zbog otpadnih voda različitog spektra zagađujućih materija, većina riječnih tokova je zagađena, a indirektno i podzemnih vodnih tijela. Kao primjer složenosti vodosnabdijevanja većeg broja općina na Tuzlanskom kantonu, poslužit će izvedena hidrogeološka istraživanja u Srebreniku, koji već duži period ima manjak neophodnih količina vode za urednu vodoopskrbu stanovništva.

Grad Srebrenik već duži vremenski period ima problema sa nedovoljnom količinom vode za potrebe vodoopskrbe stanovništva, ali i sve razvijenije industrije koja utiče na kvalitet voda. Taj se problem posebno ogleda u mjesnim zajednicama istočnog dijela Općine, obzirom da nema značajnijih vodnih tijela podzemne vode, iz kojih bi se putem bunara mogle podmiriti potrebe za pitkom vodom. Gradskom području Srebrenika u jednoj godini u periodu od dva do tri mjeseca nedostaje 10 l/s pitke vode. Zbog toga se pristupilo izvedbi zamjenskog bunara na izvorištu Vlahulje (bunar B-5A), u neposrednoj blizini bunara B-5 izvedenog 1987.godine. Bunar B-5A je izveden 2018.godine od strane firme „Geoservis“ d.o.o. Živinice. Godine 2023. započeti su radovi na uvođenju bunara B-5A u sistem vodosnabdijevanja općine Srebrenik-potisni vod od objekta 1 i 2 bunara B-5A do objekta za vezu sa bunarima B-6 i B-7 (FAZA II).

Bilo je neophodno da se snimi i pregleda stanje bunara, njegovo eventualno čišćenje i osvajanje, kao definisanja hidrogeoloških parametara, odnosno određivanja kapaciteta bunara i uslova

eksploatacije (optimalni kapacitet bunara), kao i kvalitet vode.

Obzirom da je prošlo više od pet godina od izvođenja bunara, a da isti nije bio u funkciji, bili smo mišljenja da je neophodno prije puštanja bunara u eksploataciju izvesti određene radove u samom bunaru B-5A. Urađen je Program radova koji je obuhvatao snimanje podvodnom kamerom stanje bunara, čišćenje metodom aer-lifta pri čemu bi se vršila stalna kontrola sadržaja pijeska (nečistoća) u vodi. Nakon što se postigne potpuna dubina konstrukcije bunara, kao i čistoća vode predviđeno je da se pristupi daljem čišćenju vonosnika i povećanja poroznosti sredine u kojoj je izveden bunar, sa konstantnim crpljenjem pomoću pumpe za zadanim kapacitetom za 50 % većim od projektovanog kapaciteta bunara, ukoliko to dozvoljava dinamičko sniženje podzemne vode. Crpljenje bi trajalo minimalno 15 dana, uz stalno praćenje nivoa podzemne vode na bunaru B-5A i bunaru B-5. Nakon toga potrebno je i izvršiti testiranje bunara metodom „Constant-testa“, sa tri (3) kapaciteta crpljenja i tri (3) ustaljena sniženja nivoa podzemne vode.

Prije početka i nakon što se izvedu predhodni radovi, bilo je potrebno uraditi kompletnu biološko-fizikalno-hemijsku analizu vode, dakle, uzorkovanje vode na početku i kraju aktivnosti, za: dva uzorka za proširenu analizu fizičko-hemijskog sastava vode na početku i kraju radova, dva uzorka za bakteriološku analizu vode na početku i kraju radova i jedan uzorak za ispitivanje α i β aktivnosti vode (na kraju radova testiranja). Nakon svih neophodnih radova koji su izvršeni po fazama pripreme i organizacije radilišta, uzimanja uzoraka vode za mikrobiološka i hemijska ispitivanja, te snimanje bunarske konstrukcije videokamerom, pristupilo se II fazi - čišćenje i ispiranje bunara u trajanju minimalno 72 sata, zatim III fazi - crpljenje bunara pumpom 15 dana uz praćenje nivoa vode na bunarima B-5A i B-5, te IV faz - testiranje bunara u trajanju minimalno 72 sata sa tri kapaciteta crpljenja i uz tri ustaljena sniženja nivoa podzemne vode i uzimanje uzoraka za mikrobiološka, hemijska i ispitivanje α i β aktivnosti vode. Nakon izvedenih radova po Programu radova, proizašli su adekvatni zaključci koji mogu pomoći ovom gradu bez dovoljnih količina vode, da popravi stanje i unaprijedi sistem vodosnabdijevanja na zadovoljavajućem nivou.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Iz prethodno navedenog, a u cilju neophodnog obezbjeđenja dovoljnih količina vode za potrebe stanovništva grada Srebrenika, izvršena je izvedba zamjenskog bunara B-5A, sa Programom radova koji bi obezbjedili funkcionalnost bunara. Radovi su izvedeni u skladu sa prethodno urađenim Programom radova, koji su u cjelosti izvršeni. Prilikom crpljenja na bunaru B-5A, pumpom kapacitetom 18 l/sec zabilježen je pad nivoa i na bunaru B-6 koji se koristi za vodosnabdijevanja Grada (17 l/sec) jer je uspostavljena hidraulička veza između ova dva bunara, zbog čega je došlo do iskakanja pumpe na B-6. Stvarni kapacitet bunara B-5A je minimalno 25 l/sec (25-30l/sec), a što je utvrđeno prilikom izvedbe ovog bunara 2018.godine, kao i testiranjem izvedenim 2023.godine, predhodno opisanim radovima.

Međutim, ovim kapacitetom se ozbiljno narušava postojeći kapacitet crpljenja na bunaru B-6, pa bi uz dalju eksploataciju postojećim kapacitetom na bunaru B-6, optimalni kapacitet crpljenja na B-5A bio 10-12 l/sec. Snimanjem u bunaru konstatovano je da je bunar očišćen, kao i da su ugrađeni filteri u potpunosti u funkciji.

Rezultati fizičko-hemijskih ispitivanja uzorka vode uzetog prije izvedenih radova na čišćenju

bunara B-5A pokazuju da voda ne zadovoljava propise Pravilnika o prirodnim mineralnim i prirodnim izvorskim vodama „Službeni glasnik BiH“ br.26/10 i 32/12, zbog mutnoće, prisustva suspendovanih čestica i većeg sadržaja mangana od 0,253 mg/l (dozvoljeno manje od 0,05 mg/l). Takođe, prema mikrobiološkoj analizi voda ne zadovoljava uslove „Pravilnikao prirodnim mineralnim i prirodnim izvorskim vodama „Službeni glasnik BiH“ br.26/10 i 32/12. (povećano prisustvo nedozvoljenih mikroorganizama-bakterija). Ovaj primjer vodosnabdijevanja grada Srebrenika je samo jedan u nizu sličnih problema svih općina TK, te ih je neophodno sistemski rješavati uz stručnu ekipu, dovoljno finansijskih sredstava i implementiranje zakonske regulative.

LITERATURA

1. Hajdarević M. (2018): Elaborat o izvedenom bunaru B 5- A podzemnih (pitkih) voda na lokalitetu "Vlahulje" općina Srebrenik, „Geoservis“ d.o.o Živinice.
2. Hrvatović, H. (2006): Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina, Federalni zavod za geologiju, Sarajevo.
3. Pašić-Škripić D. (2022): Hidrogeologija, Univerzitet u Tuzli, In Scan.
4. Škripić, N. (2014): Inženjerska geologija (odabrana poglavlja), Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici.
5. Žigić, I. (2004): Hidrogeološka istraživanja, Univerzitet u Tuzli.
6. Žigić, I, Pašić-Škripić, D (2023): Izvještaj o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima Vlahulje, općina Srebrenik.

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.17

Naučni rad

HIDROGEOLOŠKA TESTIRANJA BUNARA U GRUPNOM RADU IZVORIŠTA BARICE, OPĆINA ŽIVINICE

Dinka Pašić-Škripić¹, Meris Hajdarević²¹Redovni profesor, RGGF Tuzla, Univerzitet u Tuzli, Univerzitetska 2, BiH, dinka.pasic@untz.ba²Magistar, Služba za stambeno komunalne poslove, zaštitu okoliša i inspekcije općina Banovići, meris.hajdarevic11@gmail.com

Rezime

Vodoopskrba stanovništva pitkom vodom grada Živinice duži vremenski period nije na zadovoljavajućem nivou. Veća naselja posjeduju lokalne vodovodne sisteme, a grad Živinice sa prigradskim naseljima i naselje Dubrave, se snabdijeva pitkom vodom sa zajedničkog vodovodnog sistema Tuzle i Lukavca iz pravca pumpne stanice “Spreča” (izvorišta Toplica). Osnovni problemi u snabdijevanju pitkom vodom se odnose na nedostatne količine vode, mali rezervoarski prostor, niski pritisci u mreži, a što uslovljava česte restrikcije u vodoopskrbi.

U cilju poboljšanja snabdijevanja pitkom vodom navedenog prostora, izvedena su hidrogeološka istraživanja kako bi se zahvatile nove količine vode sa izvorišta “Barice”, Općina Živinice.

Izvršena su hidrogeološka i geološka kartiranja istražnog prostora, te izbušene pijezometrijske bušotine i bunari. Imajući u vidu da se pijezometri i bunari prihranjuju iz istih vodonosnih slojeva, na osnovu mjerenja nivoa podzemnih voda prilikom izrade novih bunara, primjećen je uticaj smanjenja nivoa vode na okolnim hidrogeološkim objektima prilikom opitnog crpljenja bunara, te je izvršeno testiranje bunara u grupnom radu.

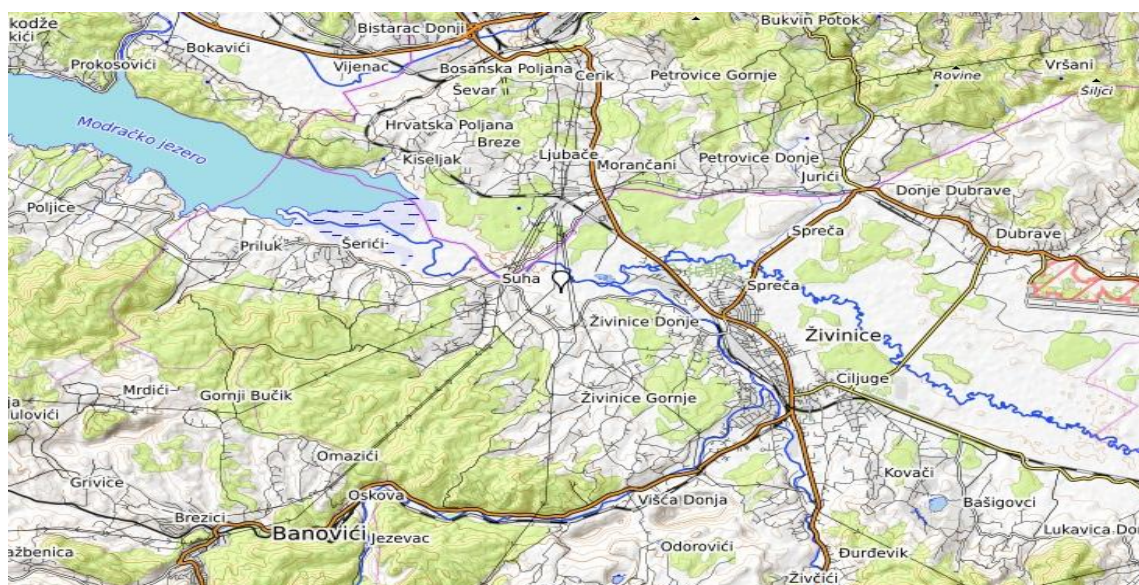
Ključne riječi: hidrogeološka testiranja, vodozahvatni objekti, opitno crpljenje bunara, kapacitet izvorišta, vodosnabdijevanje

UVOD

Istražni prostor obuhvata površinu od 15 km² i nalazi se na oko 2 km od grada Živinice. Teren je pretežno ravničarski, i obuhvata dio Sprečkog polja sa apsolutnim visinama od 203 do 209 m.nm. Ovakav reljef sa izraženim strmim nagibima u južnom dijelu, uslovio je razvijenu hidrografsku mrežu povremenih ili stalnih vodotoka čiji su pravci toka uglavnom orijentisani pravcem jug – sjever.

U centralnom dijelu terena u dijelu pliocen-kvartarnih naslaga, gdje teren iz strmog prelazi u blago zatalasani, formiran je veći broj paralelnih riječnih dolina usječenih skoro do jurskih naslaga. Istražni prostor pripada slivnom području rijeke Spreče koja je glavni recipijent Tuzlanskog kantona. Prema podacima mjerenja nizvodno od istražnog prostora (Modrac), najmanji srednji mjesečni protoci rijeke Spreče su u mjesecu septembru (6,69 m³ /sec) , a

najveći u februaru ($30,5\text{m}^3/\text{sec}$), dok srednji godišnji proticaj iznosi ($16,3\text{m}^3/\text{sec}$). Kratkotrajna osmatranja nivoa podzemne vode na izvedenim pijezometrima u toku istraživanja u periodu od 1989. do 2019. godine pokazuju četiri izdvojena vodonosna sloja (izdani).



Slika 1. Geografski položaj BBS-1A, BBS-2A, BBS-5

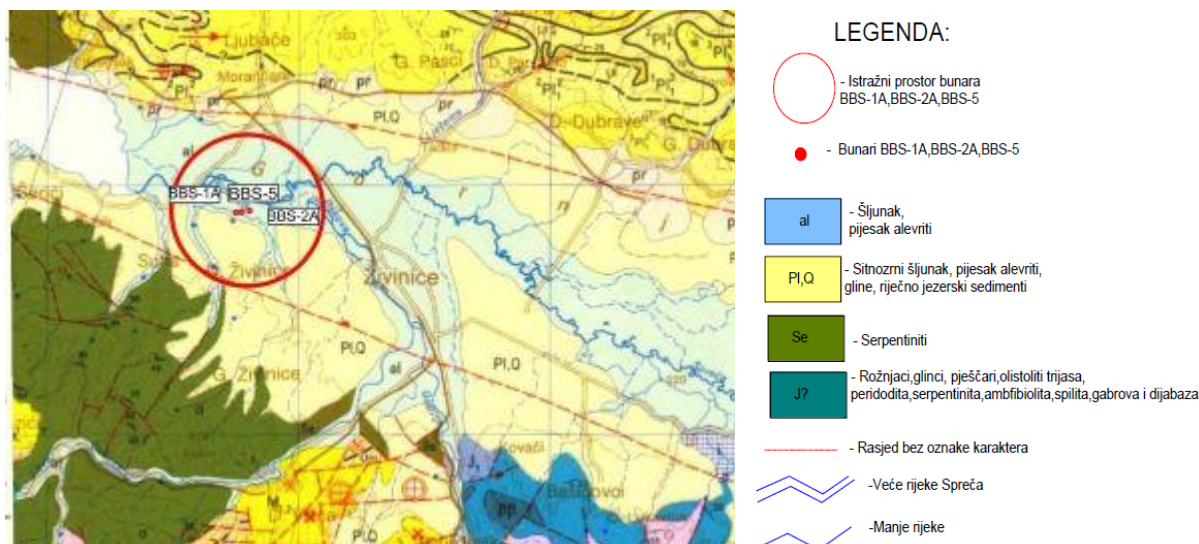
Izvedeni bunari prihranjuju se iz istih vodonosnih slojeva, te je prilikom opitnih crpljenja bunara primjećen međusobni uticaj i smanjenje nivoa vode, a pri crpljenju većim kapacitetima od $24,00\text{ l/s}$ dolazilo je do obaranja dinamičkog nivoa i isti nije mogao postići približno ustaljenje. U istom vremenskom intervalu praćen je nivo vode na ostalim dostupnim hidrogeološkim objektima.

Kopani bunar pored puta, neposredno pored bunara kojima se snabdijevaju MZ Barice, koji je okarakterisan kao arteška izdan kapaciteta $2,48\text{ l/s}$, prilikom crpljenja bunara u grupnom radu kapacitetima većim od 15 l/s , potpuno presuši.

Bunari koji rade pod nepovoljnim režimom, trpe štetu pribunarske zone, kao i bunarske pumpe koje rade punom snagom i kapacitetom. S obzirom na opisani režim rada bunara, može vrlo brzo doći do kolmacije bunara i pribunarske zone, a zbog prekoračenja dozvoljenih ulaznih brzina do turbulentnog režima tečenja, što rezultira smanjenje izdašnosti i ubrzano „starenje“ bunara.

1. OPŠTE GEOLOŠKE KARKTERISTIKE PODRUČJA

Istražni prostor Barice, pripada geotektonskoj jedinici centralna ofiolitska zona sa raznovrsnim ultrabazičnim stijenama masiva Konjuha, jurske starosti, a pretežno su prekrivene sa pliocen-kvartarnim i aluvijalnim naslagama.



Slika 2. Geološka karta šire razmjere 1: 100 000 urađena na osnovu OGK list Tuzla.

JURA

Razvijen je dio donje jure i dijabaz –rožnačka formacija koja, vjerovatno odgovara srednjoj, a i gornjoj juri. Istražni prostor pripada centralnoj ofiolitskoj zoni, u koje spadaju raznovrsne ultrabazične stijene masiva Konjuha i Ozrena (šira okolina Banovića), na krajnjem jugozapadnom dijelu. U okviru jurskih naslaga na ovom razmatranom području obuhvaćene su stijene pretežno peridotita i veoma malo serpentinita.

Peridotiti (P)

Javljaju se južno od Banovića kao sjeverozapadni ultramafitski masiv Konjuha. Odnos peridotita sa drugim magmatskim članovima i sedimentima je tektonski sa kataklaziranim i manjim ili većim milonitiziranim zonama. Prema J. Pamiću (1964) peridotiti sa ostalim ultramafitima su intrudovani kao čvrsta i hladna tijela u jurske sedimente što tumači odsustvom strukturnog sklada sa okolnim stijenama i podkata kontaktnog metamorfizma.

Serpentiniti (Se)

U sastavu serpentinita ulaze serpentin, zatim brojni drugi sekundarni minerali kao hlor, talk, limonit, ponekad karbonati, kvarc, opal i kalcedon. Česti su reliktni netransformisani primarni minerali, kao što su olivin i pirokseni. Na istražnom prostoru su prisutni samo u Gornjim Živinicama na prostoru naselja Šabanovići i Rahmanovići.

PLIO-KVARTAR (Pl,O)

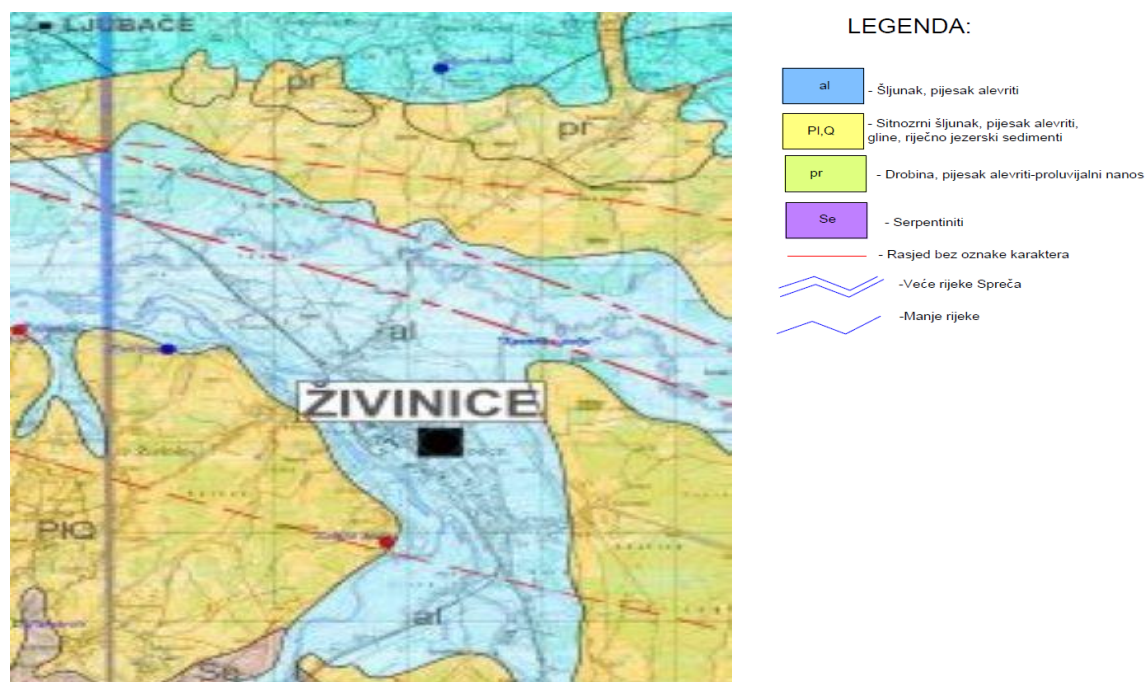
Pliocenske naslage, na Tuzlansko-Živiničkom području su predstavljene pontom, koji se dijeli na donji pont (novorojski kat) i gornji pont (portoferijski kat). Značajnija sedimentacija vrši se jedino u sprečkoj tektonskoj depresiji. Obod tektonskog rova, koji se izdiže neotektonskim pokretima, postaje distribuciono područje terigenog materijala, od kojeg su stvorene debele naslage klastičnih stijena, akvatično-riječno-jezerskog porijekla. U sastavu dominiraju glinovito-pjeskoviti sedimenti; alevroliti, laporovite i laporovito-pjeskovite gline, pijesak i šljunak.

KVARTAR**Riječni sedimenti (al)**

Ove tvorevine izdvojene su u dolini Spreče i njenih pritoka. Uz tok Spreče u Sprečkom polju, riječni nanos je izdvojen u jednom nivou kao prikoritski aluvijum (inundaciona terasa). Saglasno geološkoj građi basena riječnog sliva i energiji toka, u nanosu dominiraju sitnozrni sedimenti povodanjskih facija alevrolitsko-glinovitog i pjeskovitog sastava nad šljunkovito-pjeskovitim nanosom – facija korita. Značajno učešće šljunka i pijeska zapaža se kod ušća većih lijevih pritoka kao što je Oskova. U odnosu na riječne nanose ostalih tokova nanos Oskove se bitno razlikuje po granulometrijskom i mineraloško-petrološkom sastavu, zbog drugačije geološke osnove sliva i većeg gradijenta pada toka.

2. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Sprečko polje predstavlja prostranu zatvorenu depresiju, dužine oko 40 km i prosječne širine pet kilometara, smješteno na južnom dijelu tuzlanskog neogenog bazena. Depresija je uslovljena poznatim Sprečanskim rasjedom, pružanja SZ-JI, između eocenskog horsta Majevica i Trebovca na sjeveru i ofiolitske zone na jugu. Uže područje Sprečkog polja kao izvorišta za vodosnabdijevanje Tuzle, ograničeno je na područje od ušća Spreče u jezero Modrac (Maline) do ušća Gribaje u Spreču, u dužini oko 10 km. Duboka depresija je uslovila debele naslage aluvijalnog nanosa rijeke Spreče, čiji sastav odražava kolebanje u intenzitetu i karakteru sedimentacije i pravcima donosa materijala. U šljunkovitim partijama je pretežno prisutan materijal rožnačkog porijekla (dijabaz rožna formacija ofiolitskog kompleksa na jugu) a u pjeskovito-glinovitim partijama materijali kvarcnog sastava i minerali glina, porijeklom iz klastita neogenog bazena na sjeveru.



Slika 3. Hidrogeološka karta sa legendom izvorišta Barice

Izvorište “Barice” je locirano duž lijeve obale rijeke Spreče, nizvodno od ušća Oskove i predstavlja dio južnog oboda aluvijalnog hidrogeološkog kompleksa Sprečkog polja. Ograničeno je sa sjeverne strane meandriranim koritom Spreče, a sa južne strane pliocen-kvartarnom terasom.

Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja, uže područje “Barice-Maline” je u osnovi izgrađeno od:

- pliocen kvartarnih terasnih naslaga glinovito-pjeskovito-šljunkovitog sastava i
- šljunkovito-pjeskovito-glinovitih aluvijalnih naslaga doline Spreče i Oskove.

Filtracione karakteristike

Dosadašnjim istraživanjima su filtracione karakteristike određivane uglavnom na osnovu opitnih crpljenja na pijezometarskim bušotinama. Ovi objekti su izrađeni u različito vrijeme, različitim konstruktivno tehničkim karakteristikama i crpljeni različitim metodama, pa su i to datatni razlozi za neujednačenost rezultata.

Navedenim istraživanjima dobivene su slijedeće srednje vrijednosti filtracionih parametara transmisivnosti (T), koeficijenta filtracije (k), specifične izdašnosti (μ) i koeficijenta pijezoprovodnosti (a).

$$\begin{aligned} T &= 2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} & \mu &= 0,044 \\ k &= 1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s} & a &= 3,11 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

Uočava se da su vrijednosti filtracionih parametara dobivenih za područje Barice u granicama vrijednosti šireg područja (izuzev područja Malina), te se za orjentacione proračune mogu koristiti njihove srednje vrijednosti.

Hidrodinamičke karakteristike

U užem području "Barice" hidrodinamičko stanje je još uvijek vjerovatno neporemećeno, kako zbog udaljenosti (oko 5 km), tako i zbog vjerovatne hidrauličke odvojenosti rijekom Sprečom kao hidrogeološkom granicom sa konstantnim nivoom.

Kratkotrajna osmatranja nivoa podzemne vode na izvedenim piježometrima u toku istraživanja u periodu od 1989. do 2019. godine pokazuju četiri izdvojena vodonosna sloja (izdani) i to:

I vodonosni sloj (plitka freatska izdan - sa slobodnim nivoom) do dubine 6,0 metara,

II vodonosni sloj (I arteška izdan - pod pritiskom) dubine od 8,0 m do 21,5 metara,

III vodonosni sloj (II arteška izdan - pod pritiskom) dubine od 15,0 do 30,0 metara i

IV vodonosni sloj (III arteška izdan - pod pritiskom) dubine preko 53,0 metra.

Ovo ukazuje na složene uslove hranjenja i dreniranja. Prihranjivanje je podzemnim priticaem iz šireg okruženja i starijih pliocen-kvartarnih sedimenata bočno i po dubini. Slab arteški nivo ukazuje na niži hipsometrijski položaj područja prihranjivanja. Viši arteški pritisak na visokom području (kote 207), a niži u području korita Spreče (kote približno 203) ukazuje na posredno dreniranje u području rijeka Spreče i Oskove. Nedostatak kontinuiranih osmatranja nivoa podzemne vode kod ovih izdani onemogućava detaljniju interpretaciju hidrodinamičkih odnosa.

Izrada piježometrskih bušotina

Nakon interpretacije rezultata prethodnih istraživanja i detaljnog hidrogeološkog kartiranja, izvršeno je lociranje istražnih bušotina PBBS-3, PBBS-5 i PBBS-1A, PBBS-2A.

Kod određivanja lokacija bušotina vodilo se računa i o postojećem stanju izvedenih objekata vodosnabdijevanja na području izvorišta „Barice“, jer su na istražnom području izvorišta postojala dva bunara. Jedan bunar na lokalitetu Mišića koji je izveden u periodu 1989. godine i drugi bunar (označen kao PB-3) na lokalitetu Ravan, za potrebe vodosnabdijevanja naselja Suha. Kod određivanja lokacija, pored ostalog, je vođeno računa o tri postojeća bunara na području izvorišta „Barice“, koja su u tom trenutku imala izgrađenu vodovodnu infrastrukturu. Zbog toga, nakon usaglašavanja, kao najpovoljnije lokacije za izvođenje istražnih bušotina su definisane na parcelama K.O. Živinice Donje (PBBS-5) , (PBBS-1A) (PBBS-2A).

Izvođenje bunara BBS-4, BBS-5, BBS-1A, BBS-2A

Nakon izvođenja piježometara i prethodno navedenih radova urađen je Preliminarni izvještaj u kome je predloženo izvođenje tri bunara dubine po 35 metara.

Bunari se izvedeni kao istražni sa normalnim profilima i sa mogućnošću da se koriste za trajnu eksploataciju. Konceptijom je predviđeno zahvatanje trećeg vodonosnog sloja. Dubina bunara je identična i iznosi 35 metara.

Bunari su bušeni rotacionom metodom direktnim ispiranjem sa čistom vodom. Bušenje je započeto prečnikom Φ 600 mm do dubine 10,0 metara i sukcesivno je ugrađivana zaštitna kolona Φ 508/495 mm, odnosno standardna čelična cijev. Uvodna kolona je tamponirana glinom po cijeloj dužini prstenastog prostora bušotine.

Cilj ugradnje zaštitne kolone je izoliranje gornjih vodonosnih slojeva. Nakon ugradnje zaštitne kolone do 10,0 metara, bušenje je nastavljeno dlijetom prečnika Φ 400 mm do dubine od 35 metara.

Nakon dostizanja dubine od 35,00 metara na bunarima BBS-4, BBS-1A, u bušotine je ugrađena bunarska konstrukcija koja se sastoji od zaštitno eksploatacione kolone Φ 273/260 mm sa filterima u nizu, promjera Φ 250/202 mm i taložnikom. Filteri su motani žičani, širine otvora oko 1,0 mm. Spajanje cijevi je izvedeno pomoću standardnih prstenova varenjem.

Nakon dostizanja dubine od 35 metara na bunarima BBS-5, BBS-2A je ugrađena bunarska konstrukcija koja se sastoji od PVC eksploatacione kolone Φ 225/200 mm sa filterima u nizu, promjera Φ 225/200 mm i taložnikom. Filteri su šlicani, širine otvora oko 2,0 mm. Spajanje cijevi je izvedeno pomoću navoja, a nakon ugradnje zaštitno eksploatacione i filterske konstrukcije izvršeno je zasipavanje prstenastog prostora bušotine granuliranim filterskim zasipom veličine zrna Φ 4-8 mm do dubine oko 10 metara. Ostali prstenasti prostor do vrha tamponiran je glinom. Razrada i osvajanje bunara izvedeno je metodom zračnog ispiranja (aerliftovanje), u potrebnom vremenskom periodu do izbistrenja i izbacivanja nepoželjnih čestica.

Testiranje bunara je obavljeno opitnim crpljenjem upotrebom „STTEP TESTA“ sa tri crpne količine, Test Constant, i mjerenja povrata Recovery testa sa kratkim prekidima. Preliminarnim testiranjem su ustanovljeni slijedeći kapaciteti:

Bunar BBS-4 - $Q = 1,20$ l/s

Bunar BBS-1A - $Q = 6,20$ l/s

Bunar BBS-5 - $Q = 6,80$ l/s

Bunar BBS-2A - $Q = 6,50$ l/s

3. PRELIMINIRNA POJEDINAČNA OPITNA CRPLJENJA NA BUNARIMA BBS-5, BBS-1A, BBS-2A

Opitno crpljenje bunara BBS-5

Zbog specifičnosti lokacije koju karakteriše subarteški pritisak vode opitno crpljenje izvedeno je kombinovanom metodom, sa potapajućom pumpom, snage 5,5 kW, ugrađene na pocinčanim cijevima prečnika $\varnothing$ 2 cola, na dubini od 10 metara.

U sklopu opitnog crpljenja primjenjena je metoda stepenastog sniženja nivoa (STEP-TEST) sa tri crpne količine i to: $Q_1 = 4,00$ l/s, $Q_2 = 6,00$ l/s i $Q_3 = 6,80$ l/s.

Pri tome su dobiveni slijedeći parametri:

- Statički nivo prije početka crpljenja je 0,2 metra,
- Kapacitet crpljenja je 6,80 l/s,
- Dinamički nivo vode u bunaru 4,50 metra,
- Sniženje u bunaru 4,30 metra i
- Specifični kapacitet 1,58 l/s/m.

Nakon izvršenog step testa izvršeno je osmatranje povrata na statički nivo (RECOVERY test) u potrebnom vremenskom periodu.

Po izvršenom osmatranju povrata na statički nivo izvršen je test Constant sa $Q_{\max} = 6,80$ l/s, kao i mjerenje povrata na statički nivo po završenom testu Constant.

Opitno crpljenje na bunaru BBS-1A

Zbog subarteškog pritiska vode, opitno crpljenje izvedeno kombinovanom metodom sa potapajućom pumpom, snage 5,5 kW, ugrađene na pocinčanim cijevima prečnika Ø 2 cola, na dubini od 10 metara.

U sklopu opitnog crpljenja primjenjena je metoda stepenastost sniženja nivoa (STEP-TEST) sa tri crpne količine i to: $Q_1 = 4,00$ l/s, $Q_2 = 6,00$ l/s i $Q_3 = 6,20$ l/s.

Pri tome su dobiveni sl.parametri:

Statički nivo prije početka crpljenja je 0,2 metra,

- Kapacitet crpljenja je 6,20 l/s,
- Dinamički nivo vode u bunaru 7,80 metara,
- Sniženje u bunaru 7,60 metara i
- Specifični kapacitet 0,81 l/s/m.

Nakon izvršenog step testa izvršeno je osmatranje povrata na statički nivo (RECOVERY test) u potrebnom vremenskom periodu.

Po izvršenom osmatranju povrata na statički nivo izvršen je test Constant sa $Q_{\max} = 6,20$ l/s, kao i mjerenje povrata na statički nivo po završenom testu Constant.

Opitno crpljenje bunara BBS-2A

Subarteški pritisak vode uslovio je opitno crpljenje izvedeno kombinovanom metodom sa potapajućom pumpom, snage 5,5 kW, ugrađene na pocinčanim cijevima prečnika Ø 2 cola, na dubini od 17 m.

U sklopu opitnog crpljenja primjenjena je metoda stepenastost sniženja nivoa (STEP-TEST) sa tri crpne količine i to: $Q_1 = 4,00$ l/s, $Q_2 = 6,00$ l/s i $Q_3 = 6,50$ l/s.

Dobiveni su parametri:

Statički nivo prije početka crpljenja je 0,2 metra,

- Kapacitet crpljenja je 6,50 l/s,
- Dinamički nivo vode u bunaru 9,0 metara,
- Sniženje u bunaru 8,80 metra i
- Specifični kapacitet 0,73 l/s/m.

Nakon izvršenog step testa izvršeno je osmatranje povrata na statički nivo (RECOVERY test) u potrebnom vremenskom periodu.

Po izvršenom osmatranju povrata na statički nivo izvršen je test Constant sa $Q_{\max} = 6,50$ l/s, kao i mjerenje povrata na statički nivo po završenom testu Constant.

4. OPITNO CRPLJENJE BUNARA U GRUPNOM RADU

Cilj crpljenja bunara u grupnom radu, bio je da se odrede hidrauličke karakteristike i eksploatacioni parametri bunara kroz međusobni uticaj (kapacitet, sniženje, hidraulički gubici) po uobičajenim metodama. Obzirom da se radi o objektima predviđenim za dugotrajan rad i imajući u vidu da se svi bunari prihranjuju iz istih vodonosnih slojeva, opitno crpljenje se izvelo u dva dijela.

Prvi dio sa jednom količinom trajalo je do približnog ustaljenja nivoa u bunarima (± 3 cm).

Crpljenje je započeto sa zadatom količinom Q_1 tako da je naredna količina iznosila $Q_2 = 1,5$ do $2 \times Q_1$, a zadnja količina Q_3 obezbijedila je maksimalno dozvoljeno sniženje i to 2,0 m iznad vrha pumpi u bunarima. Nakon ustaljenja za treću količinu obustavljeno je crpljenje i osmatran povrat nivoa podzemne vode do statičkog nivoa.

Nakon ovog testiranja kada su dobiveni preliminarni rezultati, obavljeno je produženo crpljenje sa jednom konstantnom količinom. Pojedinačni crpni kapaciteti na bunarima su:

$$Q_1 = 5,0 \text{ l/s}, Q_2 = 6,50 \text{ l/s} \text{ i } Q_3 = 8,00 \text{ l/s}$$

Tokom opitnog crpljenja vršeno je kontinuirano mjerenje nivoa podzemne vode na crpnim bunarima i okolnim pijezometrima. Osmatranje povratka NPV do statičkog nivoa, izvedeno je samo nakon zadnje crpne količine. Kod opitnog crpljenja kao osmatračke tačke korišteni su postojeći bunari (minimalno 2).

Nakon stepenastog testa sniženja u trajanju od 36 sati odredila se crpna količina za produženo crpljenje sa konstantnom količinom. Tokom opitnog crpljenja sa konstantnom količinom vršeno je kontinuirano mjerenje nivoa podzemne vode na crpnom bunaru i osmatračkim tačkama.

Prilikom obavljanja probnog crpljenja registrovani su svi relevantni podaci, a naročito:

- kapacitet crpljenja na bunaru, (vodomjer ili normirana blenda),
- statički NPV prije početka crpljenja na crpnom bunaru i osmatračkoj tački,
- dinamički NPV u toku crpljenja i vrijeme uzimanja podataka, te
- stanje ispravnosti crpnog sistema (pumpa, komande napajanja i dr.).

Prilikom opitnog crpljenja bunara u grupnom radu vršeno je mjerenje nivoa vode u okolnim pijezometrima i bunarima, te prilikom crpljenja sva tri bunara kapacitetom od 5 l/s primjećeno je da se nivo vode u bunarima nije uspio ustaliti, konstantno je dolazilo do pada nivoa u bunarima i pijezometrima, tako da je za 3 sata mjerenja, nivo vode opadao oko 20 cm za 1 (jedan) sat. Zbog toga je smanjen kapacitet vode na bunaru BBS-2A na 4,50 l/s jer je na istom konstantovano najviše sniženje i to do – 7,70 metara.

Nakon smanjenja kapaciteta na bunaru BBS-2A na 4,50 l/s, nastavljeno je opitno crpljenje bunara u grupnom radu sa kapacitetima od 5,0 l/s na bunarima BBS-5, BBS-1A.

5. OCJENA KAPACITETA IZVORIŠTA

Nakon obavljenog crpljenja bunara u grupnom radu izvorišta Barice-Maline, nužno je primjeniti odgovarajuću hidrogeološku šematizaciju i određene pretpostavke uobičajene za analitička rješenja procesa filtracije podzemne vode.

Na osnovu prikaza hidrogeoloških odnosa u području izvorišta i usvojene koncepcije zahvatnih objekata, može se usvojiti da je izvorište dvoslojna homogena i izotropna porozna sredina, u režimu pod pritiskom, sa dvije uslovno paralelne granice (sloj traka). Jedna granica (južna) je slabo propusna pliocenkvertarna - šljunkovito pjeskovita terasa i zbog pojednostavljenja proračuna se usvaja granični uslov $Q = 0$ (nepropusna granica). Druga granica (sjeverna) može biti tretirana dvojako.

U prvom slučaju, ako je korito Spreče i Oskove u hidrauličkoj vezi sa vodonosnim slojevima onda važi granični uslov $h = \text{cons.}$ Ukoliko ova hidraulička veza nije ostvarena (zbog izolatorskog sloja gline) onda je polje filtracije uslovno neograničeno. Ova dilema treba da se razjasni dodatnim istraživanjima, a za sada se proračun proveo po II varijanti graničnih uslova ($h = \infty$).

Proračun kapaciteta se proveo za nestacionarni režim filtracije i vremena

$$t = 4 \text{ dana}$$

Obzirom da se radi o produženom periodu crpljenja, odnosno trajnoj eksploataciji, gdje je parametar:

$$\mu = r^2/4at \leq 0,05$$

eksponencijalna forma „bunarske funkcije” $W(u)$ treba aproksimirati logaritamskom sa dovoljnom tačnošću rezultata (greška <10%)

$$W(u) = Ei\left(-\frac{r^2}{4at}\right) \cong \ln \frac{2,25 T t}{r^2 \mu}$$

Prema tome, za proračun kapaciteta pojedinačnog savršenog bunara u datim hidrogeološkim uslovima i za zadato sniženje primjenit će se izraz

$$Q = \frac{4 \pi T}{S} \left[\frac{2,25 T t}{r^2 \mu} - \ln \frac{2,25 T t}{4a^2 \mu} + \ln \frac{2,25 T t}{4b^2 \mu} \right]$$

Primjenjujući granični uslov $h = \infty$ obrazac za proračun je slijedeći:

$$Q = \frac{4 \pi T}{S} \left[\ln \frac{2,25 T t}{r^2 \mu} + \ln \frac{2,25 T t}{4 b^2 \mu} \right]$$

Ulazne vrijednosti pojedinih parametara:

$$Ssr = 5,88 \text{ m}, T = 2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} = 241,9 \text{ m}^2/\text{dan}, r = 0,10 \text{ metara}$$

$$\mu = 0,044, t = 4 \text{ dana}, b = 300 \text{ metara}$$

gdje je:

$$Q - \text{kapacitet bunara (m}^3/\text{s)}$$

- T - koeficijent transmisivnosti (m^2/s)
S - sniženje u bunaru (zadato)
r - poluprečnik bunara
 μ - specifična izdašnost
b - udaljenost bunara od nepropusne granice ($Q=0$)
t - vrijeme crpljenja

Filtracioni parametri T i μ su uzeti kao srednje vrijednosti za područje filtracije.

Iz čega proizilazi:

$$Q = 15,07 \text{ l/s}$$

Proračun je izvršen na osnovu opitnog crpljenja, međutim potrebno je voditi računa da se na izvoristu nalazi već 7 bunara koji međusobno imaju uticaj jedan na drugi. Činjenica je da bunari nemaju mogućnost crpljenja preko 5 l/s po jednom bunaru, a isti su izvedeni i prilagođeni uslovima koji vladaju u području Barica.

Na osnovu procjene na izvoristu Barice može se obezbijediti 30-40 l/s vode na svim bunarima, odnosno usvaja se kapacitet izvorista:

$$Q_{izv.} = 30 \text{ l/s}$$

Dobijeni podaci ukazuju da se daljim istražnim radovima potvrde usvojene pretpostavke, preciznije definišu prostorni i filtracioni parametri područja filtracije i tehnički i hidraulički korektno izvedu novi vodozahvatni bunari.

ZAKLJUČAK

Izvorište "Barice" locirano je duž lijeve obale rijeke Spreče, nizvodno od ušća Oskove i predstavlja dio južnog oboda aluvijalnog hidrogeološkog kompleksa Sprečkog polja. Ograničeno je sa sjeverne strane meandriranim koritom Spreče, a sa južne strane pliocen-kvartarnom terasom.

Na osnovu rezultata dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja, područje „Barice“ u osnovi je izgrađeno od:

- pliocen-kvartarnih terasnih naslaga glinovito-pjeskovito-šljunkovitog sastava i
- šljunkovito-pjeskovito-glinovitih aluvijalnih naslaga doline rijeka Spreče i Oskove.

Podzemne vode na izvoristu „Barice“ su kalcijско – magnezijског tipa, a fizičko – hemijske i bakteriološke analize vode pokazuju ispravnost u skladu sa Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Sl. Novine BiH 40/10).

Izvorište u hidrogeološkom pogledu ima povoljne prirodne uslove zaštite, ali bez obzira na to potrebno je uspostaviti poseban režim kontrole kvaliteta vode, te projektovati nove zone sanitarne zaštite ili redizajnirati postojeće, izvedene elaboratom iz 2011. godine.

Imajući u vidu da se izgrađeni bunari prihranjuju iz istih vodonosnih slojeva, prilikom opitnih crpljenja bunara primjećen je međusobni uticaj smanjenja nivoa vode, pri crpljenju većim kapacitetima od 24,00 l/s, te je dolazilo do obaranja dinamičkog nivoa i isti nije mogao postići

približno ustaljenje. Istovremeno praćen je nivo vode na ostalim dostupnim hidrogeološkim objektima.

Kopani bunar pored puta, neposredno pored bunara kojima se snabdijevaju vodom stanovnici MZ Barice, koji je okarakterisan kao arteška izdan kapaciteta 2,48 l/s, prilikom crpljenja bunara u grupnom radu kapacitetom većim od 15 l/s, u potpunosti presuši.

U takvim uslovima bunari koji su u funkciji rade pod nepovoljnim režimom, koji je štetan za bunare i pribunarske zone, kao i bunarske pumpe koje rade punom snagom i kapacitetom.

Opisani režim rada bunara može vrlo brzo dovesti do kolmacije bunara i pribunarske zone, a zbog prekoračenja dozvoljenih ulaznih brzina, te turbulentnog režima tečenja što rezultira smanjenju izdašnosti i ubrzanim „starenjem“ bunara.

Zbog toga se predlaže kapaciteti crpljenja $Q_{\max} = 15,00$ l/s, za sva tri bunara.

Na osnovu izvedenih zaključaka o hidrogeološkim odnosima na području vodozahvatnih objekata, kao i usvojene koncepcije vodozahvatnih objekata, može se zaključiti da je istražno područje dvoslojna homogena i izotropna porozna sredina, sa režimom pod pritiskom i sa dvije uslovno paralelne granice. Južna granica je slabo propusna, pliocen-kvartarna i šljunkovito-pjeskovita terasa, te se zbog pojednostavljenja proračuna uzima granični uslov $Q=0$ (nepropusna granica). Sjeverna granica se može tretirati na dva načina. U prvom slučaju, za uslov da su korita rijeka Spreče i Oskove u hidrauličkoj vezi sa vodonosnim slojevima, važi granični uslov $h=\text{const}$. Ako ova hidraulička veza nije ostvarena, zbog glinovitog sloja kao izolatora, onda je polje fitracije uslovno neograničeno.

LITERATURA

1. Hajdarević M. Elaborat o izvedenim radovima na bunarima BBS-5, BBS-1A, BBS-2A. „Geoservis“ d.o.o Živinice, 2019.
2. Hajdarević, M.: Elaborat o testiranju bunara u grupnom radu na lokalitetu Barice-Maline, grad Živinice, Geoservis d.o.o., Živinice, 2020.
3. Hajdarević, M.: Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi podzemnih (pitkih) voda na izvoru „Barice“ u Živinicama Geoservis d.o.o., Živinice, 2021.
4. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D. i drugi: Studija ranjivosti prostora Tuzlanskog kantona, (hidrogeološki dio), Bosna-Soil Services company, 2008.
5. Pašić-Škripić, D.; Žigić, I.: Planiranje i zaštita od voda jezera Modrac, VII Naučni skup «Metalni i nemetalni materijali», ISBN 978-9958-785-10-8, COBISS.BH-ID 16628486, str.599-604, Zenica, 2008.
6. Pašić-Škripić, D.; Žigić, I.: Ugroženost podzemnih voda kod izgradnje i eksploatacije saobraćajnica, VII Naučno-stručni simpozij «Metalni i nemetalni materijali» Zenica, ISBN 978-9958-785-10-8, COBISS.BH-ID 16628486, str.611-615, Zenica, 2008.
7. Pašić-Škripić, D.; Žigić, I.; Srkalović, D.: Ranjivost podzemnih voda područja sjeveroistočne Bosne, Zbornik sa 38. ISBN 978-86-904241-6-0, COBISS.SR-ID 16754124, str.243-249, Zlatibor-Srbija Konferencije o korištenju i zaštiti voda, „Voda 2009.“ Zlatibor, 2009.
8. D.Pašić-Škripić., I.Žigić., D.Srkalović., 2010.: Ecological Aspects of Traditional Drinking Water Supply by Shallow Wells in Northwest Bosnia, 14.International

Research/Expert Conference, Trends in the Development of Machinery and Associated Technology TMT 2010, ISBN 1840-4944, str. 333-337, Mediterranean Cruise, 2010.

9. Pašić-Škripić, D.: Hidrogeologija, Univerzitetski udžbenik, RGGF, Univerzitet u Tuzli, 2023.
10. Žigić, I.: Hidrogeološka istraživanja, Univerzitet u Tuzli, 2005.g.
11. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D. i drugi: Studija ranjivosti prostora Tuzlanskog kantona, (hidrogeološki dio), Bosna-Soil Services company, 2008.
12. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D.: Ranjivost podzemnih voda u stijenama intergranularne poroznosti tuzlanskog bazena, Zbornik sa savjetovanja, 1840-4073, str.523-530, Neum, 2008.
13. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D.: Ranjivost vodnog tijela podzemnih voda sjeverozapadnog dijela Tuzlanskog područja, Zbornik sa 6. naučno-stručnog skupa sa međunarodnim učešćem „Kvalitet“ 2009, ISSN 1512-9268, str. 541-547, Neum, 2009.
14. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D.: Studija karakterizacije podzemnih voda sliva rijeke Save, na teritoriji FBiH, Zavod za vodoprivredu, Sarajevo, 2009.
15. Žigić, I.; Pašić-Škripić, D.: Elaborat o projektiranju zona sanitarne zaštite izvorišta Barice, Općina Živinice, Vodoprivredno preduzeće Spreča d.o.o., Tuzla, 2011.
16. Izvještaj hidrogeoloških istraživanja područja Barice – Općina Živinice sa konceptijskim rješenjem formiranja izvorišta, „Geoprojekt“ d.o.o., Tuzla, 2006

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.30

Stručni rad

PERSPEKTIVNOST POSTOJEĆIH I NOVIH LEŽIŠTA TEHNIČKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA U TUZLANSKOM KANTONU ZA POTREBE GRADNJE PUTNE INFRASTRUKTURE

Ismir Hajdarević*, Ekrem Bektašević**, Alen Baraković***, Kemal Gutić****

*Mr. sc. dipl. ing. geologije, Federalni zavod za geologiju, Sarajevo, BA, ismirhajdarevic@yahoo.com

**Dr.sci. dipl.inž.rudarstva, "PPG" d.o.o. Sarajevo, BA, bektasevic.ekrem@gmail.com

***Dipl.inž.rudarstva, JP Autoceste Federacije BiH, Mostar, BA

****Redovni profesor, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzla, BA, kemal.gutic@untz.ba

Sažetak

Tehničko-građevinski kamen je mineralna sirovina koja je praktično nezamjenjiva u graditeljstvu, kako u niskogradnji, tako i u visokogradnji [9]. Iako se u novije vrijeme sve više kamenih agregata dobiva recikliranjem građevinskog otpada, i dalje se daleko najveći dio ovih korisnih sirovina dobiva eksploatacijom iz kamenoloma i šljunkara [14]. Tuzlanski kanton posjeduje značajne resurse ovog traženog materijala. Trenutno je u ovom kantonu otvoreno desetak kamenoloma tehničko-građevinskog kamena, od čega jedan kamenolom dijabaza, a ostalo su kamenolomi krečnjaka.

Na području Tuzlanskog kantona je u cilju boljeg saobraćajnog povezivanja sa ostatkom zemlje i sa Svijetom, planirana izgradnja nekoliko autocesta i brzih cesta. U skoroj budućnosti planirana je izgradnja dvije autoceste: „Granica sa Republikom Hrvatskom-Orašje-Brčko-Tuzla“ ukupne je dužine 61 kilometar i takozvani y krak autoceste koja će spajati Koridor Vc sa Tuzlom [8]. Da bi se u periodu intenzivne gradnje putne infrastrukture koji slijedi zadovoljile povećane potrebe Tuzlanskog kantona za tehničko-građevinskim kamenom, biće neophodno otvarati nove kamenolome. Autori ovog rada su na osnovu ranijih iskustava, kao i vlastitih saznanja predložili nekoliko lokacija na kojima su utvrđene geološke formacije različite starosti, od srednjeg trijasa do eocena i sa kvalitetnim krečnjačkim masama pogodnim za pronalaženje ekonomski isplativih ležišta tehničko-građevinskog kamena u relativnoj blizini trase buduće auto ceste na teritoriji Tuzlanskog kantona.

Ključne riječi: tehničko-građevinski kamen, Tuzlanski kanton, geološko istraživanje, eksploatacija, kamenolom, krečnjak, dijabaz

Summary

Construction aggregates (crushed stone) is a mineral raw material that is practically irreplaceable in construction, both in low-rise construction and in high-rise construction [9]. Although in recent times more and more stone aggregates are obtained by recycling construction waste, still by far the largest part of these useful raw materials is obtained by exploitation from quarries and gravel pits [14]. Tuzla Canton has significant resources of this valuable mineral raw material. Currently, ten construction aggregates quarries have been

opened in this canton, of which one is a diabase quarry, and the rest are limestone quarries. The construction of several highways and expressways is planned in the area of Tuzla Canton, with the aim of better traffic connections with the rest of the country and with the world. In the near future, the construction of two highways is planned: "Border with the Republic of Croatia-Orašje-Brčko-Tuzla" and the so-called y arm of the highway that will connect Corridor Vc with Tuzla [8]. In order to meet the increased needs of the Tuzla Canton for construction aggregates during the period of intensive road infrastructure construction that follows, it will be necessary to open new quarries. In particular, an increase in demand for construction aggregates with a carbonate composition is expected. The authors of this paper, based on previous experiences, as well as their own knowledge, proposed several locations where geological formations of different ages and with high-quality limestone masses suitable for finding economically profitable deposits of Construction aggregates in the relative proximity of the route of the future highway in the territory of Tuzla Canton have been identified.

Key words: construction aggregates, Tuzla Canton, geological exploration, exploitation, quarry, limestone, diabase.

1. UVOD

Pod stijenama se podrazumijevaju prirodne tvorevine koje se sastoje od jednog ili više minerala određenog hemijskog sastava i strukture. Od stijena se dobiva građevinski kamen. Kamen je nemetalna mineralna sirovina koja je izuzetno važna u graditeljstvu. Praktično je nezamjenjiva, kako u niskogradnji, tako i u visokogradnji. Najveći dio njegove proizvodnje otpada na tehničko-građevinski kamen ili agregat, čija proizvodnja na svjetskom nivou raste iz godine u godinu. Iako sve zemlje ne vode tačnu statistiku glede proizvodnje kamenih agregata [12], pretpostavlja se da godišnja proizvodnja ovih materijala u Svijetu iznosi blizu 20 milijardi kubnih metara. Iako se u novije vrijeme sve više kamenih agregata dobiva recikliranjem građevinskog otpada, i dalje se daleko najveći dio ovih korisnih sirovina dobiva eksploatacijom iz kamenoloma i šljunkara.

Svjedoci smo toga da je komunikacijska povezanost nekog prostora osnovni preduvjet za njegov dalji razvoj. Evropa je na tri Pan-Evropske prometne konferencije održane u Pragu 1991, na Kreti 1994. i u Helsinkiju 1997., definirala ukupno deset novih prometnih koridora u centralnoj i istočnoj Evropi. Na ovim koridorima je planirano da se grade cestovne i željezničke saobraćajnice. Koridor Vc, koji povezuje istočnu i srednju Evropu sa Mediteranskim obalom, kao dio ovog Evropskog projekta, prolazi kroz našu zemlju. Na njemu je u toku izgradnje dijela međunarodnog autoputa, koji predstavlja najveći poslijeratni infrastrukturni projekat u Bosni i Hercegovini.

Osim autoputa na Koridoru Vc, u našoj zemlji je u planu izgradnja još nekoliko autocesta i brzih cesta. Planirano je da neke od njih prolaze kroz Tuzlanski kanton, što će uveliko doprinijeti boljoj prometnoj povezanosti ove industrijske regije sa ostatkom države (Slika 1.). Prvo je u planu izgradnja autoceste „Granica sa Republikom Hrvatskom-Orašje-Brčko-Tuzla“ ukupne je dužine 61 kilometar. Ova autocesta je podijeljena u dvije cjeline. Prva cjelina je dionica „Orašje-Brčko-Maoča“ u dužini od približno 30 kilometara, dok je druga cjelina dionica „Maoča-Tuzla“ u dužini od približno 31 kilometar. Realizacija ovog projekta bi trebala početi izgradnjom poddionice Čanići-Tuzla (Šićki Brod), koja je uvrštena u Program javnih investicija FBiH 2022. - 2024. godina. Planirano je i spajanje Tuzlanskog kantona sa autocestom na Koridoru Vc. Takozvani y

krak će se od Koridora Vc odvajati u rejonu Žepča i Zavidovića, te će dalje voditi uz dolinu Krivaje, a zatim skretati ka Seoni u općini Banovići i dalje prema općini Lukavac. Zaobilaziće Modračko jezero sa njegove zapadne strane, te će južno od grada Lukavca skretati u smjeru istoka ka Šićkom Brodu, gdje će se spajati sa autoputem Tuzla-Orašje [8]. U planu je i izgradnja brze ceste Tuzla-Zvornik.

Planirani radovi na putnoj infrastrukturi će iziskivati povećanu potražnju za kamenim agregatima, prije svega za onim karbonatnog sastava. Ovaj rad je, između ostalog i skromni pokušaj autora da ukažu na postojanje lokacija perspektivnih za pronalaženje ležišta tehničko-građevinskog kamena, prije svega krečnjaka, u blizini trase dionica budućeg autoputa koji će se graditi u narednim godinama u Tuzlanskom kantonu.

2. POVEĆANJE POTREBA ZA TEHNIČKO-GRAĐEVINSKIM KAMENOM U TUZLANSKOM KANTONU IZGRADNJOM NOVE PUTNE INFRASTRUKTURE

Postavlja se pitanje, kako snabdjeti tržište Tuzlanskog kantona potrebnim količinama kamenih agregata u idućem periodu kada je u planu značajno povećanje izgradnje putne infrastrukture, prvenstveno autocesta? Zbog cijene transporta, kao i ostalih parametara koje treba uzeti u obzir (uticaj transporta na zagađenje okoliša i dr.) kamenolomi tehničko-građevinskog kamena ne bi trebali biti udaljeni od trase koja se gradi više od 30 kilometara [14]. To sužava izbor postojećih kamenoloma sa kojih bi se mogao upotrebljavati kamen za ove potrebe, kao i odabir novih lokacija za otvaranje kamenoloma. Trenutno je u Tuzlanskom kantonu u stalnoj eksploataciji deset kamenoloma krečnjaka, od kojih se njih sedam nalazi u zoni bližoj od 30 kilometara od planirane trase autoputa. Na još nekoliko lokacija je u toku postupak ishodovanja dozvola za otvaranje kamenoloma.



Slika 1. Autoput Granica sa Republikom Hrvatskom-Orašje-Brčko-Tuzla i Autoput Žepče-Tuzla (izvor – JP Autoceste FBiH d.o.o. Mostar)

Valja napomenuti da postojeći kamenolomi tehničko-građevinskog kamena trenutno uspijevaju zadovoljiti potrebe tržišta za agregatima, ali u idućem periodu sa početkom izgradnje pojedinih dionica autoputa, ukoliko ne dođe do otvaranja novih kamenoloma, doći će do nedostatka agregata

karbonatnog porijekla, jer postojeći kamenolomi nemaju kapacitete dostatne za zadovoljenje rastućih potreba tržišta. Uz to valja napomenuti da neki od najvećih kamenoloma proizvode skoro isključivo za potrebe industrije zbog koje su i otvoreni. Prvenstveno kamenolom krečnjaka Vijenac, koji skoro 90% svoje proizvodnje plasira za industrijske potrebe.

Takođe, kamenolomi krečnjaka Duboki Potok-Bijela Rijeka i Drenik koriste značajan dio svoje proizvodnje za zadovoljenje potreba vlastite fabrike kreča i fabrike betonskih elemenata.

3. PREGLED STANJA EKSPLOATACIJE TEHNIČKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA NA PODRUČJU TUZLANSKOG KANTONA

Sedam kamenoloma krečnjaka i jedan kamenolom dijabaza u Tuzlanskom kantonu se nalaze u zoni bližoj od trideset kilometara od trase buduće autoceste [1]. Daje se kratak pregled ovih kamenoloma tehničko-građevinskog kamena, kao i osnovne fizičko-mehaničke karakteristike kamena koji se u njima eksploatiše (Slika 10.).

Vijenac

Kamenolom krečnjaka „Vijenac“ smješten je na istoimenom brdu, oko 8 kilometara sjeveroistočno od Banovića (Slika 2.). Do kamenoloma vodi asfaltni put preko Prokosovića i Poljica. Povezan je asfaltnim putem i sa Banovićima preko sela Čubrić i Treštenica. Na ovoj lokaciji je otvoren kamenolom još 1957. godine. U pitanju su titon-valendijski (jursko-kredni) sprudni krečnjaci. Na otvorenom profilu se vidi stratifikacija, a debljina slojeva je od 1,5 do oko 10 metara. Pružanje slojeva je u pravcu SI - JZ, a padaju u smjeru jugoistoka i istoka pod uglom od 52 - 75°. Na ovom kamenolomu su otvorene tri eksploatacione etaže na kotama 500, 525 i 550 metara [1].



Slika 2. Kamenolom krečnjaka Vijenac (Foto „Rudnik krečnjaka Vijenac d.o.o. Lukavac“)

Kamenolom krečnjaka Vijenac otvoren je za potrebe industrije u Lukavcu i danas radi za potrebe Fabrike sode i Cementare. Ukupna godišnja proizvodnja kamenoloma je oko 580 000 m³ čvrste mase, od čega za potrebe pomenutih fabrika odlazi oko 515 000 m³, a ostatak se plasira na tržište. Transport krečnjaka sa kamenoloma do fabrike sode u Lukavcu vrši se žičarom kapaciteta 150 t/h, pravolinijske dužine 12 km [1]. Pošto transport žičarom ne može zadovoljiti potrebe industrije u Lukavcu, ostatak se prevozi kamionima.

Prema rezultatima analiza (Tabela 1.) kamen sa ležišta krečnjaka Vijenac se može koristiti: za proizvodnju kalcinirane i kaustične sode, za proizvodnju azotnih đubriva, u cementnoj industriji, za izradu filer brašna za asfalt, za donji stroj puteva, te za najveći dio gornjeg stroja puteva u cestogradnji, za izradu raznih vrsta betonskih mješavina, kao i lomljeni kamen za zidanje u građevinarstvu i td. [1].

Postoji mogućnost povećanja kapaciteta proizvodnje krečnjaka sa kamenoloma Vijenac, za potrebe izgradnje budućih autocesta, ali u ograničenom obimu, zbog prednosti koju ima snabdijevanje industrijskih pogona u Lukavcu. Prednost ovog kamenoloma je lokacija u blizini trase budućeg autoputa (oko 3 kilometra udaljenosti od najbliže planirane trase). Obzirom na udaljenost od trase, kameni agregati sa ovog kamenoloma bi se mogli upotrebljavati na skoro cijeloj dionici budućeg autoputa Žepče-Tuzla, kao i na poddionici Šićki Brod-Čanići autoputa Tuzla-Orašje.

Tabela 1. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Vijenac

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 140,5 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 127,6 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 124,02 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,199%
3.	Zapreminska masa	= 2674 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2715 kg/m ³
5.	Koeficijent zapreminske mase	= 0,984
6.	Apsolutna poroznost	= 1,56% (vol.)
7.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= 0,113% - postojan
8.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 15,44 cm ³ /50 cm ²
9.	Otpornost na udar	= 21,2%
10.	Habanje po LA metodi: gradacija „B“	= 25,9%
11.	Habanje po LA metodi: gradacija „C“	= 21,0%

Stupari

Kamenolom krečnjaka "Stupari" se nalazi na desnoj obali rijeke Gostelje, 2 km nizvodno od naselja Stupari (Slika 3.). Ovo ležište grade sivi, plavkasti i zelenkasti masivni krečnjaci anizičke starosti [17], koji idući naviše prelaze u pločaste, laporovite krečnjake (debljina slojeva je 10-20 cm) žute, sive i crvenkaste boje. Osnovna masa stijene je sastavljena od mikrokristalastog kalcitskog mulja. Struktura joj je mikrokristalasta, a tekstura homogena. Radi se o krečnjaku (biomikritu), bez prisustva organske materije u sebi. U srednjem dijelu ležišta se pojavljuje sočivo crvenkastih brečoidnih krečnjaka, širine 12 - 15 m. Kamenolom je podijeljen po visini na četiri etaže: 365, 390, 405 i 425 m. Osnovni plato nalazi se na koti 345 [1].



Slika 3. Ortofoto snimak Kamenoloma krečnjaka Stupari

Neposredno pored kamenoloma prolazi magistralni put Tuzla - Sarajevo, preko koga postoji veza sa putnom mrežom šireg regiona i zemlje. Proizvodi sa ovog ležišta se mogu transportovati i željeznicom preko terminala Rudnika uglja Đurđevik, udaljenog oko 8 km od kamenoloma. Stoga možemo reći da sa aspekta komunikacija ovaj kamenolom ima veoma dobar položaj.

Tabela 2. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Stupari

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 124,0 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 106,2 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 96,8 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,104%
3.	Zapreminska masa	= 2690 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2780 kg/m ³
5.	Koeficijent zapreminske mase	= 0,968
6.	Apsolutna poroznost	= 3,24% (vol.)
7.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= 0,11% - postojan
8.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 24,76 cm ³ /50 cm ²
9.	Otpornost ivica na udar (Devalov koeficijent (k _D))	= 1,10
10.	Habanje po LA metodi: gradacija „B“	= 28,16

Prema atestima može se koristiti za izradu nosivih podloga (tampona) u cestogradnji, zatim za izradu drobljenih agregata za betone, kao lomljeni kamen u niskogradnji, kao obrađen i neobrađen kamen za zidanje i sl. (Tabela 2.) [1].

Što se tiče mogućnosti upotrebe kamena sa ovog kamenoloma za izgradnju planiranih autocesta Tuzla-Orašje, odnosno Žepče-Tuzla, možemo konstatovati da je kamenolom udaljen od najbližeg dijela trase, a to je Šićki Brod, oko 29 kilometara. To je, otprilike krajnja granica ekonomske isplativosti sa aspekta udaljenosti.

Oštro Brdo

Ležište krečnjaka Oštro Brdo nalazi se na krajnjem sjeveroistočnom dijelu općine Kladanj, blizu granice sa općinom Živinice. Kamenolom se nalazi oko 3,5 km južno od sela Gračanice, na lijevoj obali Zabojskog potoka, koji se ulijeva u rijeke Suvaju.

Ležište je predstavljeno sivim, slojevitim, bankovitim i masivnim krečnjacima, koji su naročito u njegovim sjevernim dijelovima brečoidni i tektonizirani. Tektonizirani krečnjaci su dijelom

prekristalisali i ispresjecani milimetarskim kalcitnim žilicama. Debljina slojeva se kreće u intervalu od 20 - 60 cm, a sreću se i banci debljine do 1 m. Generalno zalijeganje slojeva je u pravcu SI sa relativno strmim uglovima zalijeganja od 40 - 65°.



Slika 4. kamenolom krečnjaka Oštro Brdo (Foto Hajdarević I.)

Sukladno fizičko-mehaničkim karakteristikama (Tabela 3.) krečnjak sa kamenoloma Oštro Brdo se može upotrebljavati: za donji stroj puteva, te za najveći dio gornjeg stroja puteva u cestogradnji, za izradu raznih vrsta betonskih mješavina, kao i lomljeni kamen za zidanje u građevinarstvu i td. [1].

Kamenolom Oštro Brdo (Slika 4.) od Šićkog Broda, kao najbliže tačke na budućem autoputu, udaljen je oko 30 kilometara, što predstavlja granicu ekonomske isplativosti upotrebe frakcija sa ovog kamenoloma u izgradnji puta.

Tabela 3. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Oštro Brdo

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 124,3 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 119,0 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 105,04 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,11%
3.	Zapreminska masa	= 2672 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2778 kg/m ³
5.	Koeficijent zapreminske mase	= 0,96
6.	Apsolutna poroznost	= 0,78% (vol.)
7.	Postojanost na mraz	- postojan
8.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 23,21 cm ³ /50 cm ²

Duboki Potok-Bijela Rijeka

Kamenolom krečnjaka Duboki Potok-Bijela Rijeka (Slika 5.) nalazi se oko 6,5 km jugoistočno od Srebrenika. Rijeka Tinja ograničava ležište sa sjevera, riječica Bijela sa zapada, a bezimeni potok sa istočne strane ležišta. Ležišta se nalazi uz asfaltni put Tuzla-Srebrenik-Orašje, koji povezuje ležište sa svim važnijim centrima. U Dubokom Potoku se nalazi željeznička stanica, te se kamen može prevoziti i željezničkom prugom za potrebe kupaca u zemlji i inostranstvu.



Slika 5. Kamenolom krečnjaka Duboki Potok-Bijela Rijeka (Foto INGRAM d.o.o. Srebrenik)

Slojevi litotamnijskih krečnjaka u kamenolomu Duboki Potok-Bijela Rijeka imaju pravac pružanja SZ-JI, a zalijeganje oko 25^0 prema sjeveru. U nižim dijelovima preovladavaju krečnjaci svijetlosive boje sa foraminiferama. U višim nivoima su bankoviti i masivni krečnjaci sa krupnim numulitima [3]. Na samom ležištu sve bušotine završene su u krečnjaku, što znači da nije definisana moćnost produktivne serije, odnosno njena podina. Osnovni plato na kamenolomu je na 260 m.n.v. Visina etaža je po 20 m i ima ih pet (na kotama 280, 320, 360 m), a jalovinska etaža projektovana je na koti 380 m [1].

Tabela 4. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Duboki P.-Bijela R.

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 137,4 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 125,6 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 115,6 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,52%
3.	Zapreminska masa	= 2660 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2730 kg/m ³
5.	Koeficijent zapremine mase	= 0,974
6.	Apsolutna poroznost	= 2,76% (vol.)
7.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= 0,116% - postojan
8.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 18,1 cm ³ /50 cm ²
9.	Otpornost na udar (po Trentonu)	= 8,32%

Godišnja proizvodnja krečnjaka različitih frakcija iznosi oko 300 000 m³ čvrste mase. Dio proizvodnje od preko 50 000 m³, trenutno se koristi u vlastitim fabrikama (fabrika za proizvodnju hidratisanog kreča i fabrika betonskih elemenata), dok se ostatak plasira na domaćem i tržištu Republike Hrvatske.

Pošto je maksimalni planirani kapacitet kamenoloma preko 350 000 m³ čvrste mase, vidljivo je da bi ovaj kamenolom pored sadašnjeg tržišta godišnje mogao plasirati preko 50 000 m³ čvrste mase krečnjaka za potrebe izgradnje budućeg autoputa, pošto ima zadovoljavajuće fizičko-mehaničke karakteristike (Tabela 4.) [1]. Uz dodatno povećanje kapaciteta, plasman materijala za ove potrebe može biti i znatno veći.

Drenik

Kamenolom krečnjaka Drenik (Slika 6.) nalazi se oko 1,5 km jugoistočno od Srebrenika, na lijevoj obali rijeke Tinje. Ležište se nalazi uz asfaltni put Tuzla-Srebrenik-Orašje, koji povezuje ležište sa svim važnijim centrima. Kamenolom Drenik je otvoren u litotamnijskim bankovitim i masivnim krečnjacima paleocensko-eocenske starosti [2].



Slika 6. kamenolom krečnjaka Drenik (Foto Hajdarević I.)

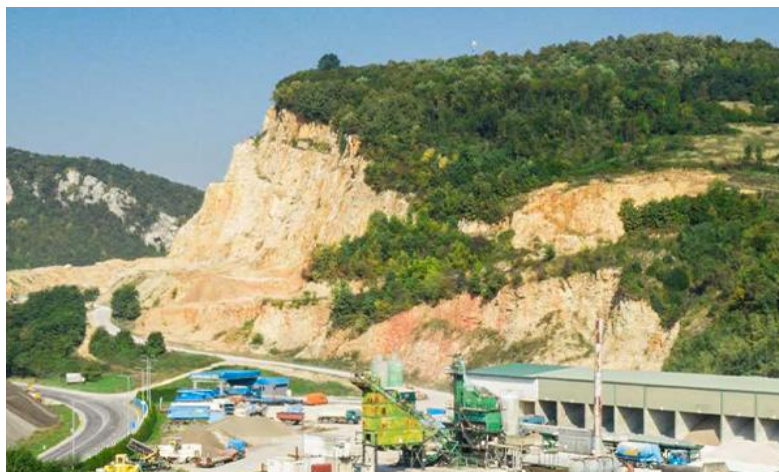
Poslije prekida od nekoliko godina, proizvodnja u kamenolomu Drenik je ponovo aktivirana i trenutno iznosi oko 70 000 m³ čvrste mase godišnje. Proizvodnja se plasira na domaćem i tržištu Republike Hrvatske. Maksimalni projektovani kapacitet kamenoloma iznosi oko 185 000 m³ čvrste mase, tako da je vidljivo da ovaj kamenolom može proizvesti značajne količine različitih kamenih frakcija zadovoljavajućeg kvaliteta (Tabela 5.) [1], kao i gotovih betona za potrebe izgradnje budućih autoputeva na području Tuzlanskog kantona.

Tabela 5. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Drenik

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 178,0 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 142,6 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,403%
3.	Zapreminska masa	= 2670 kg/m ³
4.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= 0,116% - postojan
5.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 18,1 cm ³ /50 cm ²
6.	Sadržaj sumpora (kao SO ₃)	= 0,05%
7.	Sadržaj hlorida	= 0,01%

Orlova Klisura

Kamenolom krečnjaka Orlova Klisura smješten je na desnoj obali Tinje u istoimenoj klisuri, između sela Gornji Potpeć i Lisovići, oko 10 kilometara jugoistočno od Srebrenika i oko 20 kilometara sjeverozapadno od Tuzle. Prema rijeci Tinji se karakteriše strmim odsjecima visokim i do 60 m (Slika 7.). Na ovom ležištu su prisutni flišni sedimenti gornjokredne starosti, te krečnjaci paleocensko-eocenske starosti. Gornjokredni fliš je razvijen od osnovnog platoa (290 m.n.m.) do kote 340 m.n.m. i zastupljen je krečnjacima (kalkareniti) i u manjem obimu laporcima. Dalje, iznad kote 340 m.n.v., sve do kraja izdanka, preko fliša diskordantno leže paleocensko-eocenski bankoviti krečnjaci.



Slika 7. Kamenolom krečnjaka Orlova Klisura (Foto Jata Group)

Tabela 6. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Orlova Klisura

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 109,9 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 105,5 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 92,7 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,20%
3.	Zapreminska masa	= 2794 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2845 kg/m ³
5.	Otpornost na drobljenje (LA metoda)	= 22,4
6.	Apsolutna poroznost	= % (vol.)
7.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= 0,24% - postojan
8.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 15,2 cm ³ /50 cm ²

Neposredno uz kamenolom prolazi magistralni put Tuzla-Srebrenik-Orašje, kao i željeznička pruga Brčko-Banovići, te se može reći da sa aspekta komunikacija ovo ležište ima veoma povoljan položaj.

Obzirom na povoljne fizičko-mehaničke karakteristike (Tabela 6.) [1] može se koristiti kao tehničko-građevinski kamen za dobivanje frakcija kamenog agregata namijenjenog za betonske mješavine, zatim za izradu donjih nosivih slojeva kolovoznih konstrukcija – tampona, kao materijal za izradu asfaltnih betona za III i IV razred saobraćajnog opterećenja, za izradu bitumenskih i katraskih makadama, te kao građevinski kamen za zidanje i druge slične namjene.

Zbog blizine trasi budućeg autoputa Tuzla-Orašje (na najbližem dijelu oko 8 km) i zbog povećanja rezervi uzimanjem pod koncesiju dodatnog istražnog prostora koji se nalazi postojeći kamenolom, ovo ležište krečnjaka će moći značajno doprinijeti izgradnji ovog važnog infrastrukturnog projekta.

Gradina-Potpeć

Kamenolom tehničko-građevinskog kamena Gradina-Potpeć otvoren je u paleocensko-eocenskim bankovitim i masivnim krečnjacima (Slika 8.). Nalazi se na desnoj obali rijeke Tinje, oko 5 kilometara jugoistočno od Srebrenika. Ležište se nalazi u neposrednoj blizini asfaltnog puta Tuzla-Srebrenik-Orašje, kojim je povezano sa domaćim i inostranim tržištem. Željeznička stanica koja se nalazi u Srebreniku, takođe povećava mogućnosti plasmana kamenih frakcija sa

ovog kamenoloma na tržište.

Kamenolom Gradina-Potpeć zadovoljavajućim kvalitetom kamena (Tabela 7.) [1] i udaljenošću manjom od 10 kilometara od trase buduće autoceste Tuzla-Orašje predstavlja potencijalno ozbiljnog dobavljača kamenih frakcija različitog asortimana. 0



Slika 8. Kamenolom krečnjaka Gradina-Potpeć (Foto Hajdarević I.)

Tabela 7. Fizičko-mehaničke karakteristike krečnjaka sa kamenoloma Gradina-Potpeć

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 91,0 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 90,0 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 86,0 MPa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,30%
3.	Zapreminska masa	= 2750 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2666 kg/m ³
5.	Apsolutna poroznost	= 0,2% (vol.)
6.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= % - postojan
7.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 11,0 cm ³ /50 cm ²
8.	Otpornost ivica na udar (bubanj)	A _u = 12,0 (L.A)

Ribnica

Ležište dijabaza "Ribnica" se nalazi oko 10 kilometara jugozapadno od Banovića, u blizini mjesta Ribnica (Slika 9.). Smješteno je uz sam asfaltni put Banovići-Zavidovići (udaljeno je 12 km od Banovića i 20 km od Zavidovića), tako da se može reći da mu je položaj sa aspekta komunikacija povoljan.

Dijabaz-doleritni masiv Ribnica ima površinu oko 20 km² i nalazi se na sjevernom rubu Krivajsko-Konjuškog ofiolitnog masiva, koji je sastavni dio dinaridske ofiolitske zone [18].

Mase dijabaza nalaze se u manjim, razbijenim fragmentima, kao ovaj na lokalitetu Ribnica, gdje su geološkim istraživanjem utvrđene ekonomski značajne rezerve kamena zadovoljavajućih fizičko-mehaničkih osobina (Tabela 8.) [1].



Slika 9. Kamenolom dijabaza Ribnica (Foto Hajdarević I.)

Ovdje se dijabazi nalaze u kontaktu sa doleritima koji su podređeniji. Imaju isti mineralni sastav kao i dijabazi, istu ofitsku strukturu, ali su nešto krupnozrniji od njih. Uz rasjedne zone se javljaju i metadijabazi koji u ležištu ne prelaze količinu od 10 %.

Tabela 8. Fizičko-mehaničke karakteristike dijabaza sa kamenoloma Ribnica

Broj	Vrsta određivanja	Vrijednost
1.1.	Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	sred. = 141,62 MPa
1.2.	Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	sred. = 124,37 Mpa
1.3.	Čvrstoća na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja	sred. = 108,94 Mpa
2.	Upijanje vode pri atmosferskom pritisku	= 0,28186%
3.	Zapreminska masa	= 2890,7 kg/m ³
4.	Zapreminska masa bez pora i šupljina	= 2923,3 kg/m ³
5.	Koeficijent zapreminske mase	= 0,98892
6.	Apsolutna poroznost	= 1,1258% (vol.)
7.	Postojanost na mraz (poslije 5 ciklusa potap. u Na ₂ SO ₄)	= 0,14562% - postojan
8.	Otpornost na habanje brušenjem	sred. = 14,84 cm ³ /50 cm ²
9.	Otpornost ivica prema udaru (Devalov koeficijent K _D)	= 3,9828%
10.	Habanje po LA metodi: gradacija „B“	= 15,7996%
11.	Ukupni sumpor kao SO ₃	= 0,17733%

Kamene frakcije dijabaza sa kamenoloma Ribnica bi mogle zadovoljiti sve, ili skoro sve potrebe za materijalom za habajuće slojeve planiranih autocesta na teritoriji Tuzlanskog kantona. Zbog veće cijene frakcija dijabaza u odnosu na frakcije karbonatnog sastava, upotreba ovog materijala nije u tolikoj mjeri uvjetovana neposrednom blizinom kamenoloma od trase puta koji se gradi. To omogućava veću udaljenost kamenoloma od mjesta ugradnje.

4. PERSPEKTIVNE GEOLOŠKE FORMACIJE ZA PRONALAZENJE LEŽIŠTA TEHNIČKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA NA TERITORIJI TUZLANSKOG KANTONA

Prva geološka istraživanja područja današnjeg Tuzlanskog kantona počela su u vrijeme Austrougarske monarhije i dio su regionalnih istraživanja koja je obavljao Geološki zavod iz Beča.

Tada su ove krajeve istraživali poznati geolozi: Hauer [5], Bittner [13], Tietze [13], Mojsisovitz [13], Grimer [4].

U drugoj polovini dvadesetog vijeka se pristupilo izradi Osnovne geološke karte (OGK) u razmjeri 1:100 000. za potrebe izrade listova: Zavidovići, Doboj, Vlasenica, Zvornik, Brčko i Tuzla. Ovi listovi Osnovne geološke karte pružili su osnovne podatke o geološkoj građi terena, strukturno-tektonskom sklopu terena, vrstama stijena i td. Radio ih je Geološki zavod Sarajevo.

U isto vrijeme osim izrade OGK obavljana su istraživanja u više pravaca: istraživanja za dokazivanje zaliha kamenih i mrkih ugljeva, lignita, nafte i gasa, istraživanja za pronalaženje novih ležišta kamene soli, hidrogeološka i hidrološka istraživanja voda u industrijske svrhe (jezero Modrac), istraživanja podzemnih voda (pitkih, mineralnih i termomineralnih), kao i za krištenje raznovrsnih ležišta nemetaličnih sirovina za cementnu industriju, proizvodnju gas betona a u novije vrijeme i istraživanja za dokazivanje zaliha tehničko-građevnog kamena. Ta istraživanja su vršili geolozi: M. Luković [11], I. Soklić [15], P. Stevanović [16], M. Eremija [16], Č. Jovanović [7] i brojni drugi.

Teritorij Tuzlanskog kantona sa geološkog aspekta je interesantno područje za istraživanje postojanja mogućih ležišta kvalitetnog tehničko-građevinskog kamena. Iz istraživanja koja su rađene prilikom izrade OGK, jasno je vidljivo koje geološke formacije mogu sadržavati kvalitetne mase kamena koji se može upotrebljavati kao agregat u građevinskoj domeni.

Što se tiče perspektivnosti nalaženja stijenskih masa pogodnih za dobivanje agregata koji se mogu koristiti u kolovoznim konstrukcijama, treba istaći da one moraju ispunjavati određene uvjete. Prvenstveno trebaju posjedovati zadovoljavajuće fizičko-mehaničke karakteristike sukladno tehničkim propisima i važećim standardima. Takođe, trebaju imati povoljne mineraloško-petrografske karakteristike, kao i odgovarajući hemijski sastav.

Geološki faktori koji utiču na ocjenu vrijednosti nekog ležišta tehničko-građevinskog kamena su: veličina ležišta, vrsta mineralne sirovine, kvalitet mineralne sirovine, mogućnost eksploatacije, geomorfološke karakteristike terena, stepen geološke istraženosti ležišta i blizina tržišta.

Sve stijene nisu pogodne za korištenje kao tehničko-građevinski kamen. Razlikuju se stijene magmatskog porijekla, koje često zovu ne baš preciznim nazivom „eruptivci“ i stijene karbonatnog porijekla, krečnjake i dolomite.

Stijene magmatskog porijekla se zbog svojih povoljnih fizičko-mehaničkih osobina i visoke otpornosti na djelovanje vanjskih faktora uglavnom upotrebljavaju za dobivanje agregata koji se koriste za spravljanje asfalt-betona za habajuće slojeve puteva. Od magmatskih stijena u našim krajevima se pretežno koriste bazične stijene (dijabazi, spiliti, doleriti), nešto rjeđe neutralne magmatske stijene (andeziti i daciti).

Stijene karbonatnog porijekla se koriste u najvećem postotku prilikom izrade kolovoznih konstrukcija. Od njih se gradi donji stroj puteva (tampon uključujući posteljicu), te najveći dio gornjeg stroja puteva, u što spadaju mehanički zbijeni nosivi sloj, sloj bitumenom ili cementom vezanog stabilizirajućeg agregata, kao i dijelovi asfaltnog kolovoza (asfaltni nosivi i asfaltni vezivni sloj). Naravno, stijenski agregati koji se koriste za ove namjene moraju zadovoljavati sve propisane standarde.

Na području Tuzlanskog kantona trenutno jedini kamenolom tehničko-građevinskog kamena magmatskog porijekla je kamenolom dijabaza Ribnica.

Obzirom na bilansne rezerve kamena na ovom kamenolomu, mogao bi zadovoljiti većinu potreba za agregatom za habajući sloj buduće autoceste.

U tabeli 9. se daje pregled bilansnih rezervi (A+B+C1 kategorija) na postojećim kamenolomima koji bi mogli snabdijevati trase budućih autoputeva Tuzla-Brčko i Žepče-Tuzla kamenim agregatima [1]:

Tabela 9. Pregled bilansnih rezervi tehničko-građevinskog kamena TK po kamenolomima

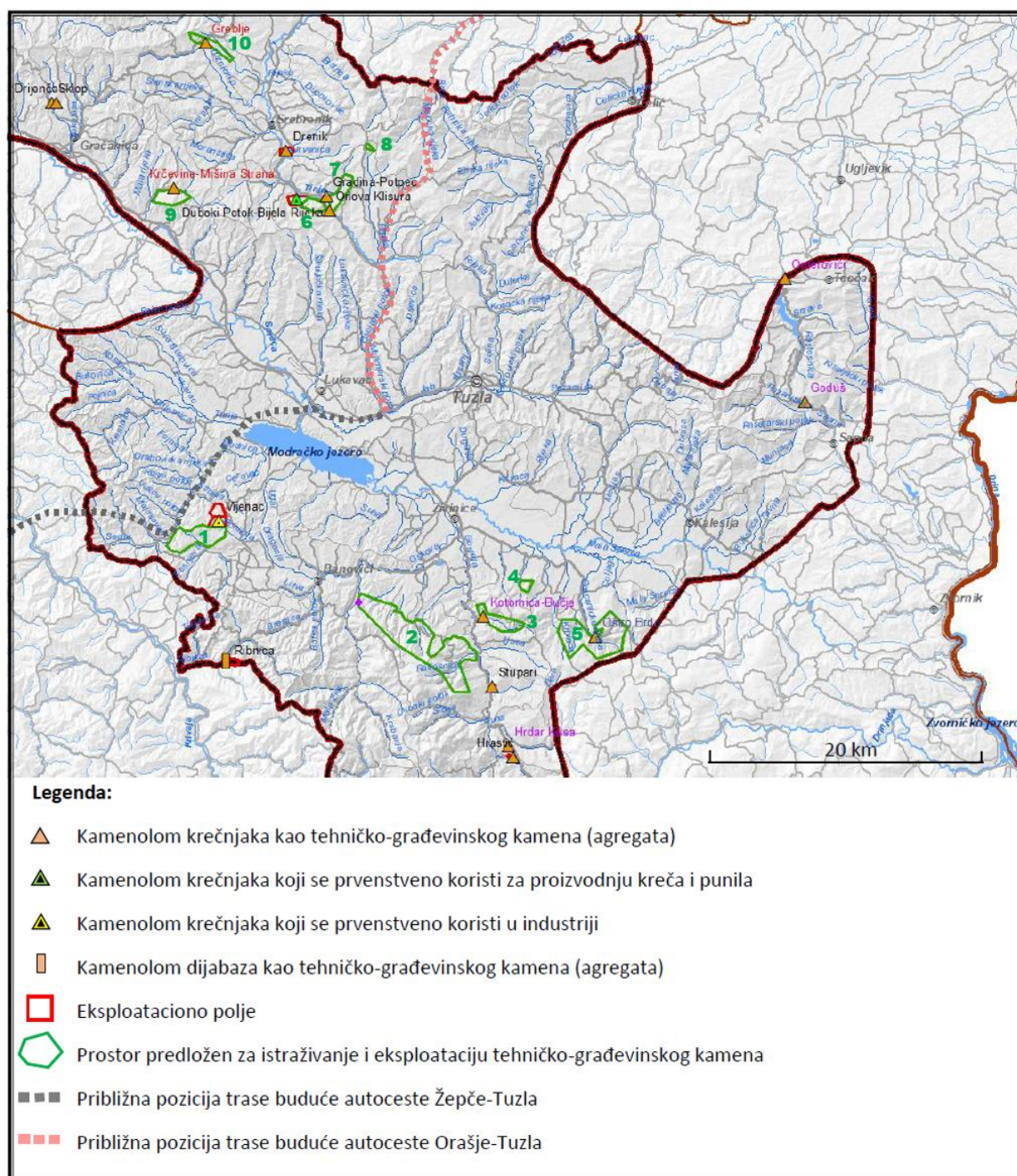
Kamenolomi sa stijenama magmatskog porijekla - dijabazi (za habajući sloj asfalta)			
Red. br.	Kamenolom	Općina	Bilansne rezerve (A+B+C1 kat.) (m ³)
1.	Ribnica	Banovići	14 632 000
Ukupno			14 632 000
Kamenolomi sa stijenama sedimentnog porijekla i karbonatnog sastava - krečnjaci			
1.	Vijenac ¹	Lukavac	20 297 000
2.	Stupari	Kladanj	707 000
3.	Oštro Brdo	Kladanj	4 632 000
4.	Duboki Potok-Bijela Rijeka ²	Srebrenik	14 163 000
5.	Drenik	Srebrenik	3 842 000
6.	Orlova Klisura	Srebrenik	3 227 000
7.	Gradina-Potpeć	Srebrenik	1 650 000
Ukupno			48 518 000

¹ - daleko najveći dio rezervi iz kamenoloma Vijenac namijenjen je industrijskoj upotrebi u tvornicama cementa i sode

² – značajan dio proizvodnje sa Kamenoloma krečnjaka Duboki Potok-Bijela Rijeka se u vlastitim fabrikama koristi za proizvodnju kreča i betonskih blokova

Valja naglasiti da se većina sadašnjih proizvodnih kapaciteta u ovim kamenolomima koristi za zadovoljenje trenutnih potreba privrede i stanovništva Tuzlanskog kantona i okolice, što znači da bi za zadovoljenje potražnje za novim količinama u obimu neophodnom za nesmetanu izgradnju planiranih autocesta, bilo neophodno značajno proširenje proizvodnih kapaciteta u sadašnjim kamenolomima, kao i otvaranje novih kamenoloma tehničko-građevinskog kamena.

Od svih prostora sa stijenskim masama pogodnih za otvaranje kamenoloma tehničko-građevinskog kamena na području Tuzlanskog kantona, prvenstveno predviđenih za dobivanje kamenih agregata za potrebe izgradnje budućih autocesta, izdvojili smo sljedeće:



Slika 10. Karta sa prikazom kamenoloma i potencijalnih prostora za istraživanje i eksploataciju tehničko-građevinskog kamena na području Tuzlanskog kantona

Prostor br. 1 (Vijenac-Jaruške Gornje-Oštrić)

Mase krečnjaka koji zadovoljavaju kriterije za otvaranje kamenoloma tehničko-građevinskog kamena, a koje su najbliže planiranoj trasi buduće autoceste Žepče-Tuzla nalaze se na teritoriji općine Banovići, istočno od mjesta Seona, a južno i jugoistočno od sela Jaruške.

To je geološka formacija sačinjena od masivnih sprudnih krečnjaka jursko-kredne starosti.

Ove stijene su veoma pogodne za upotrebu kao tehničko-građevinski kamen, što je i dokazano time što je u njima još 1957. godine otvoren jedan od najvećih kamenoloma krečnjaka, ne samo

na području Tuzlanskog kantona, već i cijele Bosne i Hercegovine. To je kamenolom Vijenac, na kome se još uvijek obavlja eksploatacija. Ovaj kamenolom je smješten na sjeveroistočnom obodu ove krečnjačke mase.

Planirana trasa autoceste Žepče-Tuzla prolazi neposredno uz granicu ovih stijenskih masa, pa možemo reći da je ovo jedan od najpovoljnijih terena za pronalaženje ležišta kvalitetnog tehničko-građevinskog kamena za potrebe izgradnje ove putne komunikacije. Ova stijenska masa je od Šićkog Broda udaljena 25 do 28 kilometara, tako da bi se kamene frakcije sa nekog budućeg kamenoloma koji bi ovdje bio otvoren mogle koristiti i u izgradnji trase na poddionici Šićki Brod-Čanići autoceste Tuzla-Orašje. Sve navedeno govori u prilog da je ovo veoma perspektivno područje za pristupanje geološkim istraživanjima na odabiru pogodne lokacije za otvaranje kamenoloma krečnjaka kao tehničko-građevinskog kamena (Slika 10.) [1].

Prostor br. 2 (Ravni Bor-Djedinska planina)

Drugi interesantan prostor u Tuzlanskom kantonu za geološko istraživanje s ciljem pronalaska pogodnih lokacija za otvaranje kamenoloma tehničko-građevinskog kamena u karbonatnim stijenskim masama se nalazi na sjevernim i sjeveroistočnim padinama Djedinske planine (Slika 10.). Od rijeke Oskove na zapadu, preko cijele Djedinske planine, sve do rijeke Gostilje na istoku, pruža se pojas masivnih i bankovitih krečnjaka srednjeg i gornjeg trijasa [6]. Ovaj teren se nalazi većim dijelom u općini Živinice, a samo krajnjim jugoistočnim dijelom u općini Kladanj. Zbog složene tektonske građe na Osnovnoj geološkoj karti ove tvorevine nisu raščlanjivane, iako se na pojedinim lokalitetima mogu raščlaniti na osnovu nađene mikro i makro faune, kao i litoloških osobina, te stratigrafskog položaja. Najniži horizonti su zastupljeni sivim i svijetlosivim krečnjacima sa sočivima rumenkastih krečnjaka u gornjem dijelu. U ovim krečnjacima je mjestimično nađena hanbuloška fauna, što dokazuje njihovu anizičku starost. Preko ovih krečnjaka na nekim mjestima leže slojeviti krečnjaci, rjeđe dolomiti. Ponegdje se javljaju i laporoviti krečnjaci sa nodulama rožnjaka i faunom daonela i halobija. To ukazuje na ladinčku starost ovih naslaga. Ova serija nema kontinuirano horizontalno prostiranje i bočno prelazi u sprudne krečnjake, koji navise idu u gornji trijas. Sedimenti gornjeg trijasa predstavljeni su krečnjacima sličnim anizijskim, rjeđe i dolomitima. Starost im je dokazana pronalaskom gornjotrijaske mikrofaune, što je dokazano paleontološkim analizama.

Za geološka istraživanja s ciljem pronalaska lokacija za kamenolome sa kojih bi se kamene frakcije mogle koristiti u izgradnji planiranih autocesta, interesantan je sjeverni i sjeveroistočni dio ovih karbonatnih masa. Razlog tome je prvenstveno zbog prihvatljive udaljenosti ovih terena od trasa autocesta. Ova zona obuhvata lokalitet Ravni bor na sjeverozapadu, te se dalje preko Gravić kose i Borovca proteže do Ruja, Igrišta i sela Lupoglavo na krajnjem jugoistoku. Cijela ova zona je od Šićkog Broda udaljena 25-30 kilometara, što predstavlja podnošljivu udaljenost sa aspekta troškova transporta. Na lokalitetu Ravni bor su već izvršena geološka istraživanja i dokazane su rezerve krečnjaka kao tehničko-građevinskog kamena veće od 3 miliona kubnih metara čvrste mase, ali zbog određenih administrativnih poteškoća kamenolom još nije dobio sve potrebne dozvole za rad.

Prostor br. 3 (Kotornica-Jasik)

Treći interesantan prostor nalazi se istočno od rijeke Gostilje u predjelu Kotornica-Jasik u općini Živinice (Slika 10.). To je dio karbonatnih, pretežno krečnjačkih stijenskih masa koje predstavljaju

nastavak onih sa prostora Djedinske planine. Na lokalitetu Kotornica-Bučje je već postojao kamenolom krečnjaka koji je prije nekoliko godina zatvoren.

Na istom lokalitetu je u proceduri ponovo otvaranje kamenoloma krečnjaka.

Prostor koji je interesantan obuhvata brdo Jasik, kao i obje obale potoka Kotornica, na kome bi vrijedilo pokrenuti geološka istraživanja s ciljem pronalaska još lokacija sa kvalitetnim kamenom pogodnih za otvaranje kamenoloma tehničko-građevinskog kamena. Osim kvalitetnih krečnjačkih masa, ovaj prostor je interesantan i zbog blizine magistralne ceste Sarajevo-Tuzla, koja uveliko olakšava mogućnost transporta kamenih agregata do tržišta. Ovaj prostor je od trase buduće autoceste kod Šićkog Broda udaljen oko 25 kilometara, što je, obzirom na dobru komunikacijsku povezanost zadovoljavajuća udaljenost.

Prostor br. 4 (Berbenjak)

Masa nerasčlanjenih krečnjaka srednjeg i gornjeg trijasa koja se nalazi oko 5 do 6 kilometara sjeveroistočno od prostora Jasik-Kotornica u predjelu brda Berbenjak između Donje i Gornje Lukavice (Slika 10.), na južnom obodu Sprečkog polja je takođe interesantna u pogledu mogućnosti pronalaska pogodnog lokaliteta za otvaranje kamenoloma tehničko-građevinskog kamena. Ova krečnjačka masa takođe pripada pojasu karbonatnih naslaga koji se može pratiti od rijeke Oskove na zapadu, preko Djedinske planine Stupara i Kotornice do sela Gračanica na južnom obodu Sprečkog polja. Nalazi se na teritoriji općine Živinice.

Ovaj prostor je od Šićkog Broda, kao najbliže tačke na trasi buduće autoceste, udaljen oko 26 kilometara.

Prostor br. 5 (Obli vrh-Veliko brdo)

Sljedeća u nizu karbonatnih masa srednjotrijaske do gornjotrijaske starosti idući od zapada ka istoku je u predjelu koji obuhvata lokalitete Obli vrh i Veliko brdo na granici općina Živinice i Kladanj (Slika 10.). U okviru ove stijenske mase je već otvoren jedan kamenolom tehničko-građevinskog kamena koji radi dugi niz godina. To je kamenolom Oštro Brdo. U krečnjačkim masama okviru predloženog prostora, bi se detaljnim geološkim istraživanjima nesumljivo moglo pronaći još pogodnih lokaliteta za otvaranje kamenoloma koji bi kvalitetom i kvantitetom zadovoljavali neophodne standarde.

Ovaj prostor je od najbliže tačke na budućem autoputu, a to je Šićki Brod, udaljen oko 30 kilometara, što je otprilike krajnja granica isplativosti sa stanovišta transportnih troškova.

Prostor br. 6 (Drenovac-Orlova klisura)

Krečnjački masiv paleocensko-eocenske starosti u rejonu Drenovac-Orlova klisura nalazi se na lijevoj obali rijeke Tinje u općini Srebrenik (Slika 10.). Ovi litotamnijski krečnjaci javljaju se u formi sočiva dužine preko 3 km, i širine 700-800 m. U nižim dijelovima preovladavaju krečnjaci svijetlosive boje sa foraminiferama. U višim nivoima su bankoviti i masivni krečnjaci sa krupnim numulitima. Masivni krečnjak je stijena monomineralnog sastava, organskog porijekla nastao iz zoogenih i fito taloga sa visokim sadržajem CaCO_3 . U podini krečnjaka na širem području ležišta nalaze se slojeviti laporci sive boje.

U sjeverozapadnom dijelu ove krečnjačke mase već postoji stari aktivni kamenolom Duboki Potok-Bijela Rijeka. U krajnjem jugoistočnom dijelu ovoga prostora u proceduri je ishodovanje neophodnih dozvola za otvaranje još jednog kamenoloma. Zbog provjerenog kvaliteta ovih

krečnjaka, kao i zbog blizine trase budućeg autoputa Tuzla-Orašje (8 do 10 kilometara), ovo je veoma atraktivan prostor za otvaranje kamenoloma tehničko-građevinskog kamena.

Prostor br. 7 (Kameničak-Kovačevo brdo)

Sjeveroistočno od kamenoloma Orlova Klisura i Gradina-Potpeć u predjelu Kameničak-Kovačevo brdo se nastavlja prostor sa masivnim paleocensko-eocenskim krečnjacima (Slika 10.). Ovaj prostor, izuzimajući naseljena mjesta, je pogodan za proširenje dva pomenuta kamenoloma, kao i za otvaranje eventualno novih kamenoloma. Dobre putne komunikacije, kao i blizina trase autoceste Tuzla-Orašje daju značaj ovom prostoru glede mogućnosti izvođenja geoloških istraživanja s ciljem pronalaska povoljnih lokaliteta za otvaranje kamenoloma. Trasa buduće autoceste je udaljena oko 7 do 8 kilometara od ovog prostora.

Prostor br. 8 (Grabovik-Zaketuša)

Na prostoru Grabovik-Zaketuša (Slika 10.) nalaze se krečnjačke stijenske mase, takođe paleocensko-eocenske starosti [2]. Nalazi se na teritoriji općine Srebrenik. Povoljan položaj ovog prostora se ogleda u tome što je najbliži od postojećih kamenoloma, kao i od svih do sada predloženih stijenskih masa poddionici Čanići-Maoča autoceste Tuzla-Orašje. Takav položaj kamenoloma koji bi bio otvoren u na ovom prostoru bi omogućavao najniže transportne troškove kamenih agregata za dio autoceste koji vodi dalje prema Maoči i Brčkom.

Prostor br. 9 (Hotilj-Krčevine)

Prostor Hotilj-Krčevine se nalazi na teritoriji općine Gračanica, u rejonu Orahovice Donje. Zahvata veći dio brda Hotilj, kao i prostor Krčevina sjeveroistočno od njega (Slika 10.). Krečnjaci sa rudistima i globotruncanama [10] koji grade ovaj teren bi mogli biti pogodni za korištenje kao tehničko-građevinski kamen. Već je jedan kamenolom u okviru ovog prostora na lokalitetu Krčevine-Mršina strana bio u fazi otvaranja, ali je postupak ishodovanja dozvola u međuvremenu obustavljen.

Prije konačne odluke da se u ovim krečnjacima otvori kamenolom, bilo bi neophodno izvršiti detaljnu geološku prospekciju terena, radi utvrđivanja najperspektivnijih lokacija za geološka istraživanja radi otvaranja kamenoloma. Ovaj teren je udaljen od trase poddionice Šićki Brod-Čanići autoputa Tuzla-Orašje između 22 i 30 kilometara. Od trase Žepče-Tuzla, na najbližem dijelu u Lukavcu je udaljen 22 kilometra.

Prostor br. 10 (Krešnice-Ćerimovo)

Između Doborovaca i Srnica Gornjih, u općini Gračanica se nalazi pojas masivnih sprudnih krečnjaka koji se proteže sa zapada ka istoku. U rejonu brda Vranjevac ovaj pojas skreće ka jugoistoku u smjeru lokaliteta Krešnice i Ćerimovo (Slika 10.). Dužina zone sa masivnim krečnjacima je oko 3 kilometra, dok joj širina varira od 200 do 800 metara. Na tom prostoru se nalazi kamenolom Greblje. Privredno društvo koje je otvorilo kamenolom je dobilo pravo na istraživanje, ali nije ishodovalo sve dozvole neophodne za početak legalne eksploatacije. Ove krečnjake bi trebalo detaljnije geološki istražiti, jer postoji realna mogućnost da kvalitetom i količinama kamena mogu zadovoljiti zahtjevima za upotrebu u izgradnji autocesta.

Ovaj prostor je posebno interesantan zato što nije previše udaljen od trase autoceste Tuzla-Orašje koja vodi kroz teritoriju Brčko distrikta. Od Maoče je udaljen oko 28, a od Brke oko 30 kilometara.

5. ZAKLJUČAK

Ukoliko Tuzlanski kanton želi iskoristiti svoju sirovinску bazu, koju nesumnjivo posjeduje, i na taj način smanjiti troškove izgradnje autoceste, koja je toliko neophodna ovom kantonu, potrebno je uvesti izmjene i dopune prostornog plana, u kome bi bile jasno određene dodatne površine namijenjene za istraživanje i eksploataciju tehničko-građevinskog kamena (građevinskih agregata). Treba iskoristiti sve veću potražnju za građevinskim agregatima kao prirodnim materijalima i omogućiti privrednicima koji se bave eksploatacijom ovih mineralnih sirovina da iskoriste barem dio potencijala koje imamo u ovoj oblasti. Potražnja za ovim materijalima će se znatno povećati u idućim godinama kada se predviđa značajno povećanje izgradnje putne infrastrukture, pogotovo autoputeva i brzih cesta na području Tuzlanskog kantona. Valja napomenuti da ovaj kanton raspolaže značajnim resursima ovog traženog materijala koji nisu iskorišteni u dovoljnoj mjeri. Neophodno je privući potencijalne koncesionare i na odgovarajući način ih stimulirati, ili im barem omogućiti da dobiju potrebne dozvole u zakonskim rokovima. Sve ove aktivnosti zahtijevaju zajednički rad nadležnih općinskih, kantonalnih, a po potrebi i federalnih institucija. Naravno, treba insistirati na tome da koncesionari moraju poštovati sve propisane ekološke norme i standarde.

Da bi se dobila konkurentna privredna grana koja podrazumijeva održivi rast u eksploataciji i preradi građevinskih agregata, potrebno je posebnu pažnju posvetiti geološkim istraživanjima, kako do sada poznatih nalazišta, tako i područja koja obećavaju pronalazak ovih korisnih minerala sirovine. Pogodnost za eksploataciju bilo koje mineralne sirovine, uključujući i građevinske agregate, definisana je prije svega postojanjem ležišta sa rezervama za dugoročnu eksploataciju, blizinom tržištu, kao i mogućnošću rentabilne proizvodnje.

Autori ovog rada su na osnovu dosadašnjih iskustava, ali i vlastitog znanja, na području Tuzlanskog kantona predložili nekoliko perspektivnih geoloških formacija sa krečnjačkim masama koje bi mogle biti pogodne za pronalaženje ekonomski isplativih ležišta tehničko-građevinskog kamena, a koje se nalaze u relativnoj blizini trasa budućih autoputeva na području Tuzlanskog kantona.

6. LITERATURA

- [1] Brkić, E., Hajdarević, I., Bajrović, M.: *Katastar ležišta i pojava nemetaličnih mineralnih sirovina FBiH*. Federalni zavod za geologiju, Sarajevo.
- [2] Buzaljko, R., Vujnović, L., Olujić, J., Marković, S.: *Osnovna geološka karta i Tumač za OGK list Brčko, M 1:100 000*. Geoinžinjeri – Institut za geologiju, Sarajevo, Geološki zavod, Zagreb, 1985.
- [3] Čičić, S., Mojičević, M., Jovanović, Č., Tokić, S., Dimitrov, P.: *Osnovna geološka karta i Tumač za OGK list Tuzla, M 1:100 000*. Geoinžinjeri – Institut za geologiju, Sarajevo, 1988.
- [4] Grimmer, J.: *Kohlenvorkomen von Bosniens und Herzeg*. Wien, 1901.
- [5] Hauer, F.: *Über erze und Mineralien ans Bosnien*. Jahrbuch, 1884.
- [6] Hrvatović, H.: *Geological guide-book through Bosnia and Herzegovina*. Geological Survey, Sarajevo, 1999.
- [7] Jovanović, Č., Jovanović, O.: *Miocen Šibošničko-loparskog područja*. Geološki glasnik br. 11, Sarajevo, 1966.

- [8] JP Autoceste FBiH d.o.o. Mostar: *Izvještaj o realizaciji projekta: Izgradnja brzih cesta i autocesta izvan Koridora Vc u Federaciji BiH zaključno sa 30.09.2023. godine*. Sarajevo, Oktobar 2023.
- [9] Kurtović, A.: *Kamen u graditeljstvu*. Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2014. god.
- [10] Laušević, M., Jovanović, Č.: *Osnovna geološka karta i Tumač za OGK list Doboj, M 1:100 000*. Geoinžinjer – Institut za geologiju, Sarajevo, 1983.
- [11] Luković, M.: *Geološki sastav i petrolejske pojave planine Majevice*. Rudarski i topioničarski vesnik, beograd, 1929. god.
- [12] Miatto A, Schandl H, Fishman T, Tanikawa H (2017) *Global patterns and trends for non-metallic minerals used for construction*. J Ind Ecol 21(4): 924–937
- [13] Mojsisovics, E., Tietze, E., Bittner, A.: *Grundlinien der geologie von Bosnien und Herzegovina*. Jahrbuch der Geologie R. A. Wien, 1880.
- [14] Přikryl, R.: *Geomaterials as construction aggregates: a state-of-the-art*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2021) 80:8831–8845. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02488-9>.
- [15] Soklić, I.: *Postanak i struktura tuzlanskog basena*. Geološki glasnik br. 10, Sarajevo, 1964.
- [16] Stevanović, P., Eremija, M.: *Miocen Donje Tuzle*. 1960.
- [17] Strajin, V., Mojičević, M., Pamić, J., Sunarić-Pamić, O., Olujić, J., Veljković, D., Đorđević D., Kubat, I.: *Osnovna geološka karta i Tumač za OGK list Vlasenica, M 1:100 000*. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo, 1978.
- [18] Sunarić-Pamić, O., Pamić, J., kapelar, I., Olujić, J., Zec, F.: *Osnovna geološka karta i Tumač za OGK list Zavidovići, M 1:100 000*. Institut za geološka istraživanja, Sarajevo, 1966.

ORGANIZACIONI ASPEKT UPRAVLJANJA IZGRADNJOM OBJEKATA VISOKOGRADNJE

*Zahid Bašić, **Nedim Suljić ***Anadel Galamić

**Dr.sc. Zahid Bašić, red. prof. RGGF Tuzla,*

***Dr.sc. Nedim Suljić, red. prof. RGGF Tuzla,*

****Dr.sc. Anadel Galamić, docent RGGF Tuzla*

Rezime

Rad prikazuje detaljno planiranje izgradnje SPO "Lamela B1" u Banovićima, spratnosti S+P+5 etaža. Planirani rok izvođenja radova na ovom objektu iznosi ukupno šesnaest mjeseci. U okviru rada izvršen je proračun prosječnih potreba radne snage po mjesecima, analiziran dijagram prosječnih dnevnih potreba radne snage tokom svakog mjeseca. U radu je prikazan i izrađen statički plan materijala, koji je u vezi sa izrađenim dinamičkim planovima izvođenja radova primjenom mrežnog planiranja i gantograma. Trajanje građevinskih operacija određeno je na osnovu važećih normativa i standarda u građevinarstvu. Posebna pažnja posvećena je postupnom uvođenju mehanizacije i radne snage, te nabavci potrebnog materijala. Ovim načinom planiranja osigurava se kontinuitet u radu potrebne mehanizacije i radne snage, te isto tako, osigurava se i periodična potrebna nabavka potrebnog materijala za izgradnju. Prilikom izrade mrežnog plana, gantograma i statičkog plana materijala vodilo se računa o logičkom slijedu operacija, odnosno o uvjetima koji moraju biti ispunjeni da bi određena operacija mogla započeti, te o mogućnostima izvođenja više operacija paralelno. Na osnovu izrađenih dinamičkih planova i potreba u radnoj snazi, konstruisan je dijagram prosječne mjesečne potrebe radne snage. Ovaj rad doprinosi boljem razumijevanju metoda planiranja građevinskih radova i optimizacije resursa u kontekstu projektna dinamike i vremenskog upravljanja.

Ključne riječi: objekat, planiranje, izvođenje, radna snaga, mrežno planiranje, dinamika rada.

Summary

This paper presents a detailed planning process for the construction of the residential-commercial building "Lamela B1" in Banovići, with a structure consisting of a basement, ground floor, and five upper floors. The planned construction period for this project is a total of sixteen months. Within the study, an assessment of the average monthly workforce requirements has been conducted, along with an analysis of the diagram depicting the average daily workforce needs for each month. Additionally, a static material plan has been developed, correlating with dynamic construction schedules created using network planning methods and Gantt charts. The duration of individual construction operations has been determined based on applicable norms and standards in the construction industry. Special attention has been given to the gradual introduction of machinery and labor, as well as the procurement of necessary materials. This planning approach ensures the continuous operation of essential machinery and

workforce while also securing the periodic procurement of required construction materials. During the development of the network plan, Gantt chart, and static material plan, careful consideration was given to the logical sequence of operations, ensuring that the necessary conditions for starting a specific operation were met, as well as identifying opportunities for parallel execution of multiple operations. Based on the developed dynamic schedules and workforce requirements, a diagram representing the average monthly workforce demand has been constructed. This study contributes to a better understanding of construction planning methods and resource optimization in the context of project dynamics and time management.

Keywords: building, planning, execution, workforce, network planning, work dynamics

1. UVOD

Upravljanje projektima je skup procesa u kojima se primjenjuju znanja, vještine, alati i tehnike sa ciljem da se realiziraju ciljevi projekta. Pri izradi ovoga rada kao podloga, korišteno je projektno rješenje poslovno-stambenog objekta izgrađenog u Banovićima, tlocrtnih dimenzija $35,00 \times 15,00$ m, pod nazivom "Lamela B1".

Objekat se sastoji od: suterena, prizemlja i pet spratova.

Lokaciju objekta karakterišu sljedeći elementi:

- Objekat je smješten uz dionicu gradske ulice
- Na parceli su obezbijedeni priključci na sve instalacije.

Svi zidovi oko rezervisanog prostora za sklonište su od armiranog betona: spoljni debljine $d=25$ cm, a unutrašnji $d=20$ cm, armirani obostranom mrežom. Tavanice iznad svih etaža su monolitne a tavanice debljine $d=18.00$ cm armirane po armaturnim nacrtima.

U suterenu objekta projektovano je pet poslovnih prostora sa mokrim čvorovima.

Na prizemlju i spratovima objekta projektovano je po devet stambenih jedinica. Svaka stambena jedinica se sastoji od prostorija: kuhinje, dnevne sobe, hodnika, kupatila sa wc-om, i različit broj spavaćih soba zavisno od veličine stana.

Vanjski i unutrašnji nosivi zidovi prizemlja su kombinacija a zidova i giter blokova ili siporeksa $d=25$ cm, a pregradni od siporeksa $d=10$ cm. Spoljni zidovi u suterenu su od armiranog betona. Na spoju između temeljne ploče i zidova je predviđena hidroizolacija od sika maltera.

Ostali zidovi su od giter blokova ili siporeksa $d=25$ cm i $d=20$ cm, a pregradni od siporeks blokova $d=10$ cm. Svi nosivi zidovi u suterenu su temeljeni na AB temeljnoj ploči koja je postavljena na cementnu glazuru kojom je zaštićena horizontalna hidroizolacija.

Završne obrade podova i unutrašnjih zidova su izvedene prema projektnoj dokumentaciji.

Fasadni zidovi se oblažu stiropolom $d=8,00$ cm sa ostalim radnjama i obrađuju fasadom.

Krovna konstrukcija je viševodni krov od jelove građe I klase i ista je pričvršćena za AB serklaž i ploču sa čeličnim ankerima koji na vrhovima imaju navoj na koji se postavljaju metalne ploče sa maticama za pričvršćivanje. Krovni pokrivač je lim koji je postavljen na daščanu podlogu preko koje je postavljen terpapir.

U objektu je predviđen lift za 6 osoba koji se sastoji od liftovskog okna i kućice po uputstvu

proizvođača dok će projekat lifta biti obaveza proizvođača.

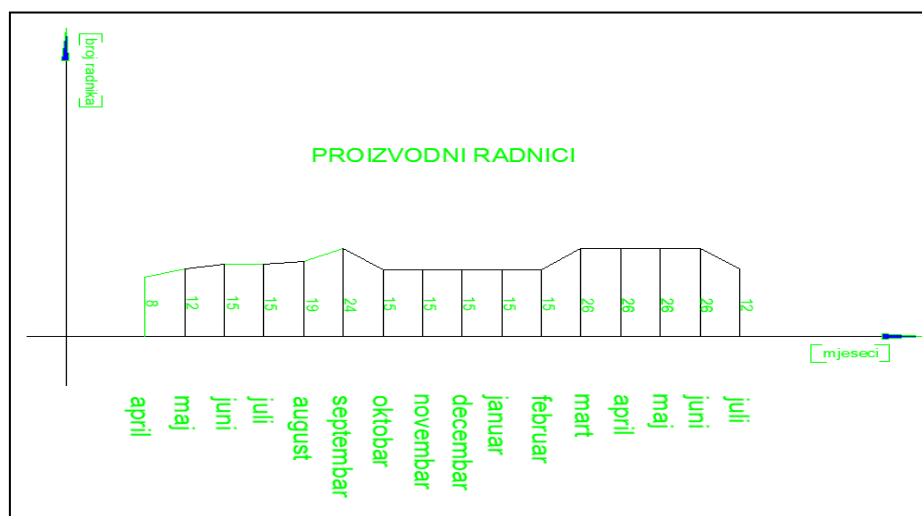
Temeljenje objekta je izvedeno na armirano betonskoj ploči debljine 50 cm koja je postavljena na cementnu glazuru. Ispod betonske podloge je projektovan sloj tampona debljine 40 cm koji se nabija do modula stišljivosti M 80. Dubina temelja i nosivosti terena je određena na osnovu Elaborata o geomehaničkom ispitivanju tla za potrebe izgradnje stambeno-poslovnog objekta.[2]

2. PRORAČUN PROSJEČNIH POTREBA RADNE SNAGE PO MJESECIMA

Proračun prosječnih potreba radne snage po mjesecima je urađena na način da je predviđeni rok za izgradnju stambeno poslovnog objekta 16 mjeseci, a uzimajući u obzir normative i sve pozicije radova iz predmjera i predračuna radova koji je sastavni dio projektne dokumentacije. Baza za ovaj proračun je dinamički plan izvođenja radova, prosječne norme i normativi, a uporedo je urađen i dijagram prosječnih potreba radne snage po mjesecima za ukupan rok izvođenja od 16 mjeseci.

Tabela 1. Prosječnih potreba radne snage po mjesecima

Mjesec	Broj radnika	Broj radnih dana	Prosječan broj radnika
April	184	23	8
Maj	260	22	12
Juni	310	21	15
Juli	333	22	15
August	425	22	19
Septembar	528	22	24
Oktoibar	332	22	15
Novembar	316	21	15
Decembar	330	22	15
Januar	318	21	15
Februar	340	22	15
Mart	575	22	26
April	575	22	26
Maj	572	22	26
Juni	546	21	26
Juli	260	22	12



Slika 1. Dijagram prosječnih dnevnih potreba radne snage u toku mjesec

3. DINAMIČKI PLAN IZVOĐENJA RADOVA

Izrada dinamičkog plana izvođenja radova je određivanje redoslijeda izvođenja operacija uz proračun vremenskog trajanja aktivnosti koje je određeno na osnovu normativa rada i količine radova na određenoj aktivnosti i računa se po obrascu [1] [4]:

$$T = Q \times 1,2 \times N\check{c} / n \times m ;$$

Gdje je:

T- vrijeme trajanja neke aktivnosti

Q- količina radova na nekoj aktivnosti

1,2- koeficijent uvećanja vremena aktivnosti za 20% zbog nepredviđenih zastoja u gradnji (godišnji, odmori, bolovanja, odsustvovanja)

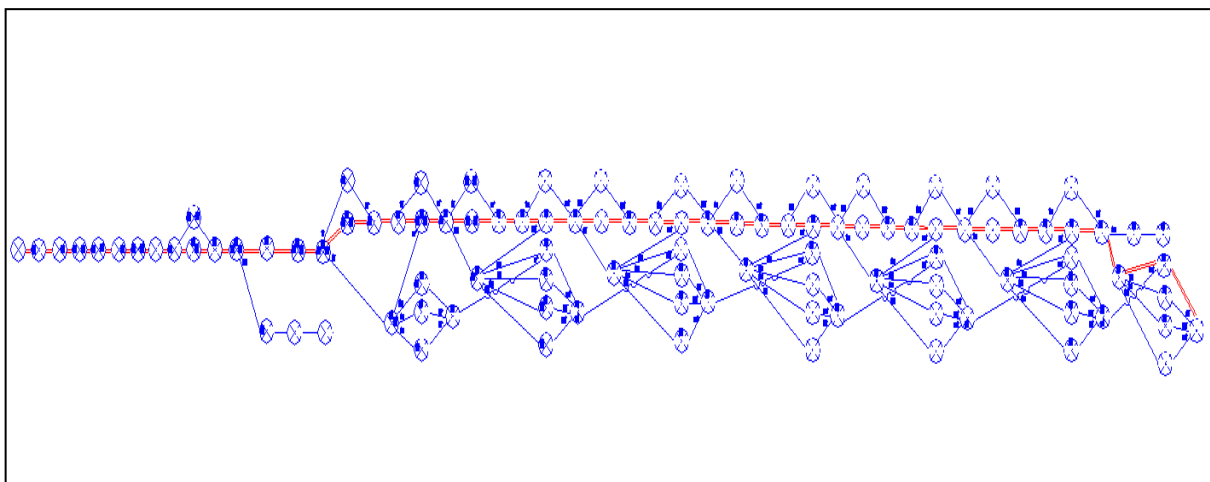
Nč- norma čas za jedinicu mjere iz predmjera radova Q

(preuzeto iz normativa i standarda u građevinarstvu)

n- broj radnika

m- broj radnih sati [5] [6].

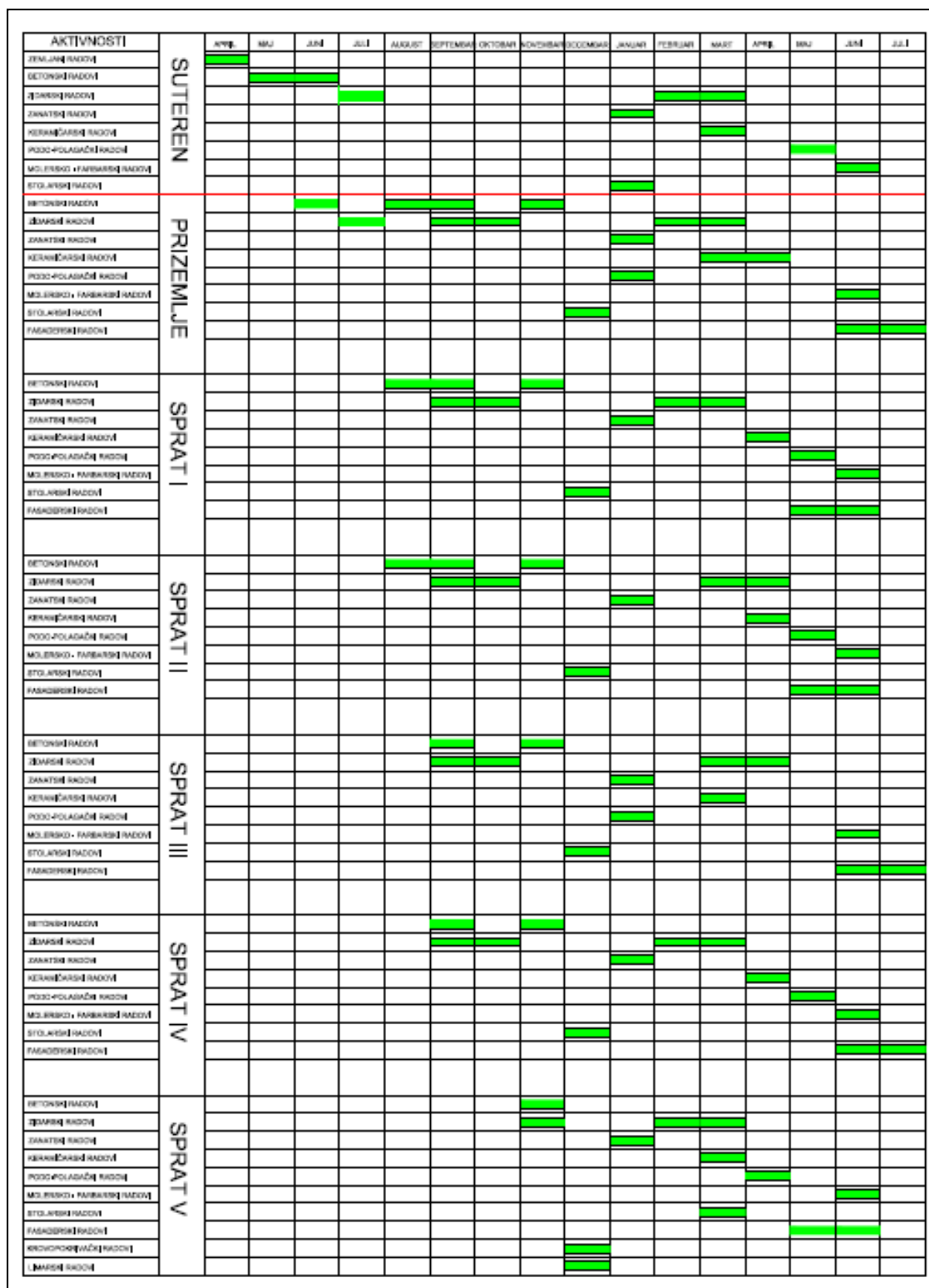
Pošto se radi o objektu sa četiri karakteristične etaže definisano je vrijeme trajanja aktivnosti za izvršenje svih zemljanih radova; definisano je vrijeme trajanja aktivnosti potrebnih za izgradnju suterena, prizemlja i prvog sprata, a vrijeme trajanja aktivnosti na izgradnji drugog, trećeg i četvrtog sprata i potreba radne snage su identični vremenu trajanja aktivnosti potreba radne snage na prvom spratu zbog njihovog ponavljanja. [7]



Slika 2. Mrežni plan

U ovom radu detaljno je prikazana dinamika izvođenja radova sa mrežnim planom i gantogramom, a kojim se omogućava:

- Grafički način prikazivanja tehnološkog procesa putem mreže i daje dobru preglednost odvijanja radova;
- Vršnje označavanja tzv. "kritičnih radova", to jeste oni koji u sebi ne sadrže nikakvu vremensku rezervu i od kojih zavisi rok izvršenja;
- Utvrđivanje optimalnog redoslijeda radova.



Slika 3. Gantogram

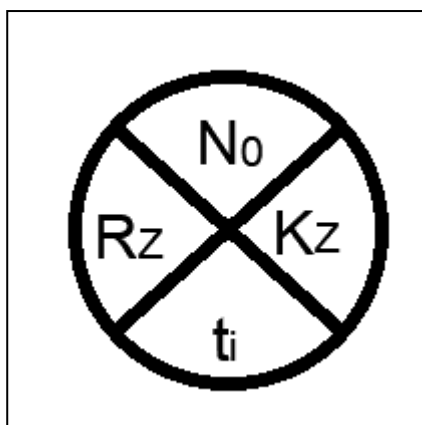
Izrada mrežnog plana obuhvata tri faze:

- Koje aktivnosti mogu otpočeti neposredno poslije neke posmatrane aktivnosti;

- Koje aktivnosti mogu da se odvijaju uporedo sa posmatranom aktivnosti;
 - Koje aktivnosti moraju da budu završene da bi posmatrana aktivnost mogla da započne.
- [3]

U ovom radu urađen je mrežni plan pomoću krugova, gdje su aktivnosti predstavljene sa jednim krugom u koji se unosi:

- No - Redni broj (ili neka druga oznaka aktivnosti)
- Rz - Rani završetak radova
- Kz - Kasni završetak radova
- ti - Trajanje aktivnosti.



Slika 4. Aktivnosti u mrežnom planu

- Proračun ranih završetaka Rz se utvrđuje postupkom “naprijed” i računao se po obrascu:

$$Rzi = \max [Rz(pa) + ti]$$

- Proračun kasnih završetaka Kz se utvrđuje postupkom “nazad” i računao se po obrascu;

$$Kzi = \min [Kz(na) - t(na)]$$

gdje je:

i – posmatrana aktivnost

na – naredna aktivnost

pa – predhodna aktivnost.

- Oznaka max znači da prilikom utvrđivanja vremena najranijeg završetka za neku narednu aktivnost uzimamo najveću vrijednost zbira vremena najranijeg završetka prethodne aktivnosti sa vremenom trajanja te posmatrane aktivnosti.
- Oznaka min znači da se prilikom utvrđivanja vremena kasnog završetka uzme najmanja vrijednost koja proizilazi kada se od svake od narednih aktivnosti odbije njeno trajanje.

Kada se sa proračunom “nazad” došlo do početne aktivnosti postupak je završen i ucrtan je kritični put.

Kritični put sačinjava niz aktivnosti za koje je vremenska rezerva $Tu=0$, a to znači niz aktivnosti sa istim vrijednostima za Rz i Kz.

4. STATIČKI PLAN MATERIJALA

Za svaki projekat, iako naizgled možda sliči nekom drugom projektu, treba se izraditi poseban vremenski plan da ne bi došlo do prekoračenog roka, jer niti jedan projekat zapravo nije isti i niti jedan se ne ponavlja dva puta. Bez dobrog plana, praćenja i kontrole izvedbe građevinskih radova teško se može uspješno poslovati i iz toga proizlazi da je planiranje uvijek korisno iako ne garantira uspjeh projekta s obzirom da, osim što se plan treba detaljno izraditi, potrebno ga je dosljedno i provoditi.

Za dosljednu primjenu dinamičkih planova koji opisuju izrade pozicija na projektu u vremenskom periodu, potrebno je izraditi i statički plan materijala koji omogućava preglednost i potrebe određene vrste materijala u istom tom vremenskom intervalu u kojem je predviđena izrada određenih pozicija.

Konkretno, za projekat koji je korišten kao podloga za izradu ovog rada izrađen je i statički plan materijala, predstavljen na slici 5.

REDNI BR.	MATERIJAL OPIS RADA	JED. MJERE	KOLIČINA	NAFTA (kg)		ŠLJUNAK PRIRODNI (m³)		CEMENT (kg)		AGREGAT (m³)		VODA (m³)		PIJESAK (m³)		ARMATURA (kg)		KREČ (m³)	
				JEDINIČNO		JEDINIČNO		JEDINIČNO		JEDINIČNO		JEDINIČNO		JEDINIČNO		JEDINIČNO		JEDINIČNO	
				UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO	UKUPNO
1.	ISKOP ZBILJE III KATODORNE BAGEROM	m³	2029,95	0,278	564,33														
2.	NASIPANJE I RAZASTIRANJE TAMPON SLOJA ISPOD TEMPLOVE ($\varnothing$ 20 cm)	m²	494,9			0,2	99,0												
3.	NASIPANJE SLJUNKOMOTOG MATERIJALA OKO ZIDOVA OBJEKTA	m³	209,66			1,0	209,66												
4.	IZrada izrađivanja ploče BETONSKE PLOČE M30 DEBLJINE ($\varnothing$ 10 cm)	m²	49,49					300	14847	1,282	63,45	0,18	8,90						
5.	IZrada izrađivanja ploče TEMPLJANE PLOČE OD CEMENTA TERAZ DEBLJINE JE 4 cm	m²	494,9					470x0,04	9304,1			0,35x0,04	6,92	1,01x0,04	20,0				
6.	BETONIRANJE AB AB PLOČE BETONOM M30 DEBLJINE ($\varnothing$ 10 cm)	m²	242,6					350	84910	1,25	303,25	0,20	48,52			60,0	14556		
7.	BETONIRANJE AB STUBOVNI PLATANA BETONOM M30	m³	347,48					350	121618	1,25	434,35	0,20	69,49			60,0	20848,8		
8.	BETONIRANJE AB GREDA BETONOM M30	m³	100,63					350	35220,5	1,25	125,79	0,20	20,13			60,0	6037,8		
9.	BETONIRANJE AB PLOČA OD BETONA M30	m³	583,63					350	204270,5	1,25	729,54	0,20	116,73			60,0	35017,8		
10.	BETONIRANJE AB SERIJA ZA BETONOM M30	m³	69,08					350	24179,4	1,25	86,36	0,20	13,82			60,0	4145,04		
11.	BETONIRANJE AB STEPENICA BETONOM M30	m³	15,74					350	5509,0	1,25	19,68	0,20	3,15			60,0	944,4		

Slika 5. Izvod iz statičkog plana materijala

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog istraživanja, zaključeno je da je dinamičko planiranje jedna od ključnih faza u izvođenju građevinskih radova, jer omogućava optimalno korištenje radne snage u određenom vremenskom periodu. Rezultati istraživanja pokazuju da se pravilnim i detaljnim planiranjem predviđeni radovi mogu izvršiti u zadanom roku. Prilikom izrade mrežnog plana i gantograma, posebna pažnja posvećena je redoslijedu operacija – jasno su definirane zavisnosti među aktivnostima, odnosno koje operacije moraju biti završene prije početka narednih, kao i one koje se mogu izvoditi paralelno. Sve operacije prilikom izvođenja radova pratio je statički plan materijala, odnosno proračunata količina potrebnog materijala za izradu određene pozicije. Također, vodilo se računa o postepenom uvođenju radne snage i njenom kontinuiranom radu, što je prikazano kroz dijagrame prosječnih dnevnih potreba radne snage na mjesečnoj razini,

kao i unutar pojedinih mjeseci. Ovaj rad može poslužiti kao dobra osnova za daljnja istraživanja i unaprjeđenja u oblasti planiranja i izvođenja radova u visokogradnji.

LITERATURA

1. Galamić A., Diplomski rad, Rudarsko- geološko-građevinski fakultet, Tuzla, 2009.
2. Glavni projekat Stambeno- poslovnog objekta "LAMELA B1" Banovići, Besting d.o.o. 2019.
3. Klepac J., ORGANIZACIJA GRAĐENJA Uređenje gradilišta, Građevinski institut, Fakultet građevinskih znanosti, Zagreb, 1982
4. NORMATIVI I STANDARDI RADA U GRAĐEVINARSTVU 1 - VISOKOGRADNJA, IRO Građevinska Knjiga, Beograd, 1987;
5. NORMATIVI I STANDARDI RADA U GRAĐEVINARSTVU 2 - VISOKOGRADNJA, IRO Građevinska Knjiga, Beograd, 1987;
6. NORMATIVI I STANDARDI RADA U GRAĐEVINARSTVU 3 - VISOKOGRADNJA, IRO Građevinska Knjiga, Beograd, 1987;
7. Trbojević B., ORGANIZACIJA GRAĐEVINSKIH RADOVA, Naučna knjiga, Beograd, 1979

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.58

Naučni rad

ANALIZA FAKTORA RIZIKA U PROMJENI CIJENE IZGRADNJE OBJEKATA***Zahid Bašić, **Anadel Galamić, ***Nedim Suljić****Dr.sc. Zahid Bašić, red. prof. RGGF Tuzla,****Dr.sc. Anadel Galamić, docent RGGF Tuzla*****Dr.sc. Nedim Suljić, red. prof. RGGF Tuzla,***Rezime**

Ovaj rad analizira formiranje cijene izgradnje te faktore rizika koji utiču na njene promjene na primjeru stambeno-poslovnog objekta „Lamela B1“ u Banovićima. Objekat se sastoji od suterena, prizemlja i pet spratova, a planirani rok izvođenja radova iznosi 16 mjeseci. U istraživanju su obrađene cijene radne snage i građevinskog materijala, kao i ključni rizici koji mogu dovesti do promjene troškova izgradnje, uzimajući u obzir specifične zahtjeve tržišta i okruženja u kojem se objekat gradi. Analizirani su svi relevantni faktori koji utiču na formiranje tržišnih cijena, uključujući potencijalne promjene cijena i procjenu rizika povezanih s tim promjenama.

Jedan od najvećih izazova u procesu izgradnje odnosi se na usklađivanje planiranih i stvarnih troškova, kao i njihovog uticaja na cjelokupan projekat. Cilj ovog istraživanja je, kroz konkretan primjer i uz primjenu naučnih i stručnih metoda iz oblasti građevinarstva, ukazati na potrebu unapređenja postojećih procesa planiranja i upravljanja projektima visokogradnje.

Ključne riječi: izgradnja, cijena, faktori, planiranje, rizik

Summary

This paper presents the formation of construction costs and the risk factors influencing price changes in the construction of a residential-commercial building for the market, "Lamela B1," in Banovići. The building consists of a basement, ground floor, and five floors, with a planned construction period of 16 months.

The study includes an analysis of labor and material costs, as well as risk factors that affect construction price fluctuations, in accordance with market demands and the surrounding conditions specific to the construction site. All relevant influences on market price formation have been identified, along with potential price changes and a risk analysis of cost variations during construction.

The most significant challenges arise in aligning planned construction costs with actual expenditures and assessing their overall impact on the project. The aim of this research is to demonstrate, through a specific case study and within the context of the surrounding conditions, the importance of improving existing planning and project management processes in high-rise construction by applying scientific and professional methodologies.

Keywords: cost, construction, planning, risk, environment.

1. UVOD

Specifični uslovi okruženja direktno utiču na cijenu izgradnje objekata, kao i na faktore rizika tokom izvođenja radova. U građevinskoj industriji uvijek postoji potreba za preciznim određivanjem troškova građenja.

Najčešće korištena metoda procjene troškova je tzv. „AD-HOCK“ pristup, koji ukazuje na nedostatak organizovanijeg sistema planiranja. Stoga je neophodno primijeniti racionalne metode planiranja i upravljanja projektima koristeći softverske alate, građevinske norme i druge relevantne parametre kako bi se proces izgradnje optimizovao. [3]

Jedan od najvećih izazova u građevinarstvu jeste usklađivanje planiranih i stvarnih troškova izgradnje, uz analizu efekata koje ti troškovi imaju na cjelokupan projekat. Cilj ovog istraživanja je da se, na konkretnom primjeru i u specifičnim uslovima okruženja, primjenom naučnih i stručnih metoda ukaže na potrebu unapređenja postojećih procesa planiranja i upravljanja projektima visokogradnje.

Istraživanje omogućava:

- Donošenje optimalnih odluka zasnovanih na savremenim metodama planiranja i upravljanja izgradnjom, uz optimizaciju tehnoloških i organizacionih procesa, rokova izgradnje, troškova i kvaliteta izvedenih radova.
- Unapređenje poslovnih procesa kroz primjenu efikasne metodologije planiranja i upravljanja projektima, čime se doprinosi stvaranju boljeg poslovnog ambijenta.

Predmjer radova izrađen je na osnovu dostupne dokumentacije i obuhvata zemljane radove, dok su ostali građevinski radovi, poput betoniranja i zidanja zidova, analizirani po etažama. Analiza cijena urađena je za svaku stavku iz predmjera, dok je predračun radova dobijen množenjem količina radova sa jediničnim cijenama formiranim na osnovu analize troškova. [5]

2. ANALIZA CIJENA

Prilikom analiziranja cijena građevinskih usluga za stavke iz predmjera radova koristio se empirijski obrazac:

$$C_p = E_m + E_{ld} \cdot \varphi ; \quad (1)$$

Gdje je:

C_p -prodajna cijena građevinske usluge

E_m -troškovi materijala (osnovnog, pomoćnog i pogonskog), sa troškovima transporta.

E_{ld} -troškovi radne snage (lični dohoci, od čega zavisi i kalkulatívni faktor φ).

Kalkulatívni faktor φ zavisi i od stepena mehaničke opremljenosti i sadrži sve troškove osim materijala i radne snage. [5] [7]

Karakteristična je bila izrada analize cijena kod složenih operacija tako npr. kod operacije betoniranja ploče u čiju je cijenu uračunata i cijena oplata, posebno se radila cijena oplata i proračun koliko je m^2 oplata potrebno za ugradnju m^3 betona.

Korištene su baze podataka o već izgrađenim objektima i vršena uporedba na bazi iskustva.

Sama analiza strukture izgradnje podijeljena je po fazama:

- Faze projekta
- Organizacione jedinice
- Radne cjeline
- Ključni resursi projekta
- Vrste troškova

U radu, a kao primjer dajemo neke od analiza cijena radova koje su urađene na propisanim obrascima, tabela 1, tabela 2 i tabela 3.

- analiza cijene 1m^2 oplata za betoniranje ploče
- analiza cijene ugradnje 1 m^3 betona sa cijenom oplata
- analiza cijene pozicije zidanja zidova na objektu.

Tabela 1. Analiza cijene 1m^2 oplata za betoniranje ploče

ZA OBJEKT :				VRSTA RADA: TESARSKI RADOVI			
STAMBENO POSLOVNI "LAMELA B1" BANOVICI				GN:601-204			
OPIS RADA: OPLATA RAVNIH, KOSIH ILI NAGNUTIH BETONSKIH PLOČA				160701			
BEZ OBZIRA NA VELIČINU SA PODUPIRANJEM				1.1			
DO 3 M PODUPIRANJEM DRVENIM PODUPIRAČEM							
(OPLATA ZA BETONIRANJE PLOČA)							
Obracun po: 1m^2 oplata							
Redni broj	OPIS	Jed. mjere	KOLIČINA	CIJENE		IZNOS	
				Materijal	Radna snaga	Materijal IV x V =VII	Radna snaga IV x VI =VIII
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1.	IZRADA TV OPLATE	h	0,24		4,0		0,96
2.	MONTAŽA TV	h	0,25		4,0		1,0
3.	DEMONTAŽA TIII	h	0,18		3,0		0,54
4.	ČIŠĆENJE RII	h	0,14		2,5		0,35
5.	DASKA	m^3	0,004	200		0,80	
6.	GREĐICE	m^3	0,002	150		0,30	
7.	EKSERI	kg	0,06	5,0		0,30	
8.	MOTKA BUNARSKA	m^1	0,25	5,0		1,25	
9.	DASKA	m^3	0,0007	200		0,14	
10.	EKSERI	kg	0,09	5,0		0,45	
11.							
12.							
13.						4,32	x3,0
14.							
15.							
				SVEGA:	3,24	12,96	
				PRODAJNA CIJENA: (KM)	16,20		

Tabela 2. Analiza cijene ugradnje 1 m^2 betona sa cijenom oplata

ZA OBJEKT :				VRSTA RADA: BETONSKI RADOVI			
STAMBENO POSLOVNI "LAMELA B1" BANOVICI				GN: 400-932			
OPIS RADA: MAŠINSKO UGRADIVANJE BETONA SA HORIZONTALNIM				159967			
TRANSPORTOM BETONA PUMPOM KAPACITETA 50 m^3 /čas BETON				3.1.			
SPRAVLJEN FABRIKOM BETONA ZA KONSTRUKCIJE DO 0,3 m^3 NA m^2							
(IZRADA PLOČA MB30)							
Obracun po: 1m^3 ugrađenog betona							
Redni broj	OPIS	Jed. mjere	KOLIČINA	CIJENE		IZNOS	
				Materijal	Radna snaga	Materijal IV x V =VII	Radna snaga IV x VI =VIII
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1.	SPRAVLJANJE RII	h	0,085		2,5		0,2125
2.	UGRAĐIVANJE RV RIII	h	0,730		4,0		2,92
3.	BETON MB 30	m^3	1,0	86,70		86,70	
4.	OPLATA	m^2	5,6 m^2 OP./ m^2 BET.	16,20		90,72	
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.						5,32	x3,0
14.							
15.							
				SVEGA:	177,42	15,97	
				PRODAJNA CIJENA: (KM)	193,39		

Modeli troškova koji su korišteni u analizi su:

- model troškova zasnovan na aktivnostima,
- model troškova zasnovan na predmjeru i predračunu radova
- simuliranje troškova.

U procesu izgradnje objekta „Lamela B1“ primijenjeni su odgovarajući modeli troškova koji su uključivali norme rada, norme materijala i usluga, interne norme, kao i iskustva iz ranijih projekata sa sličnim procesima izgradnje. Ovakav pristup omogućio je realističnu procjenu troškova i optimizaciju budžeta, uzimajući u obzir specifičnosti lokalnog tržišta i tehničke zahtjeve projekta.

Tabela 3. Analiza cijene zidanja 1 m² zida

ZA OBJEKT : STAMBENO POSLOVNI "LAMELA B1" BANOVICI				VRSTA RADA: ZIDARSKI RADOVI			
OPIS RADA: ZIDANJE ZIDOVA „SIPOREKS“ ZIDNIM BLOKOVIMA				GN:301-927			
(PRENOS KRANOM)				126869			
Obračun po:1m ²							
Redni broj	OPIS	Jed. mjere	KOLIČINA	CIJENE		IZNOS	
				Materijal	Radna snaga	Materijal IV x V =VII	Radna snaga IV x VI =VIII
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1.	SPRAVLJNJE MALTERA RII	h	0,156		2,5		0,39
2.	PRENOS BLOKOVA RII	h	0,197		2,5		0,4925
3.	PRENOS MALTERA RII	h	0,006		2,5		0,015
4.	ZIDANJE RVI	h	0,720		4,5		3,24
5.	DERSOVANJE RV	h	0,200		4,5		0,80
6.	SIPOREKS	m ³	0,206	100,00		20,60	
7.	CEM.MALTER 1:3	m ³	0,06	100,20		6,01	
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							4,94 x3,0
14.							
15.							
				SVEGA:		26,61	14,81
				PRODAJNA CIJENA: (KM)		41,42	

Izrađeno je više varijanti planova izgradnje, pri čemu je posebna pažnja posvećena optimizaciji troškova, rokovima izvođenja radova i očuvanju kvaliteta gradnje. Kroz detaljnu analizu, odabrane su optimalne strategije koje omogućavaju efikasno upravljanje resursima i minimizaciju nepredviđenih troškova. Mrežni planovi su izrađeni uz maksimalno prilagođavanje opisima radova iz projektne dokumentacije, čime je osigurana usklađenost svih faza izgradnje sa planiranim aktivnostima i predviđenim budžetom.

Jedan od ključnih izazova u procesu formiranja troškova jeste razlika između planiranih i stvarnih cijena, koja često nije adekvatno obračunata zbog ograničenja u dostupnosti preciznih statističkih podataka. [2] [3]

Iako statistički podaci služe kao osnova za procjenu troškova, oni ne odražavaju uvijek sve promjene cijena na lokalnom tržištu, što može dovesti do odstupanja u budžetu projekta. Stabilan fiksni odnos konvertibilne marke (KM) prema euru (€) donekle doprinosi stabilizaciji tržišta, ali istovremeno može predstavljati izazov u pogledu usklađivanja troškova izgradnje s realnim tržišnim kretanjima.

Prihodi od projekta su planirani na temelju analize minimalne cijene prodaje stanova, uzimajući u obzir očekivana poskupljenja izgradnje, planiranu dobit i procjenu rizika u implementaciji projekta.

Pravilno upravljanje ovim faktorima ključno je za osiguranje finansijske održivosti i uspješnu realizaciju projekta.

Ovaj model analize troškova i prihoda može poslužiti kao referentni okvir za buduće projekte, omogućavajući preciznije planiranje budžeta, efikasnije upravljanje rizicima i donošenje bolje informisanih odluka u građevinskoj industriji.

3. FAKTORI RIZIKA U PROMJENI CIJENE

Ukupna cijena projekta dobijena je kao slučajna nezavisna varijabla. Bilo koju slučajnu cijenu projekta određujemo kao vrijednost komponenti cijene projekta.

Pojedina vrijednost komponente projekta je zbir minimalne vrijednosti i povećanje cijene kojima odgovaraju slučajne vrijednosti vjerovatnoće pojedinih rizika. [1]

$$\text{rand}P_i = P_{i,\min} + \sum_{i=1}^n \text{rand}P_i \Delta P_i(\text{rand}(p(x)_{i,i})) \quad (2)$$

$$P_k = \sum_{i=1}^n \text{rand}P_i \quad (3)$$

Raspodjela rizika u granicama $P_{\max} - P_{\min}$ može biti različita.

Model- kontrola rizika i upravljanja rizicima sastoji se u traženju funkcije koja različite raspodjele promjena komponenti projekata predstavlja željenom raspodjelom uz utvrđivanje razlika.

Raspodjela rizika se prati kroz ukupnu promjenu cijene koštanja po različitim raspodjelama i kvantifikuje uticaj rizika i vjerovatnoća cijene koštanja komponenti i ukupno za koju postavimo granice cijene. Ovo je veoma praktično za pojedine radove koje grupišemo po podizvođačima koji utiču na način ugovaranja tih radova. Promjene po aktivnostima i skupno prikazuju se određenom raspodjelom. Odrede se granice cijene i planira najvjerovatnija cijena obradom baza podataka, na bazi iskustva i sličnosti sa aktivnostima koje su već korištene u opisu radova te upoređivaju razlike u raspodjelama. [4]

Određivanje uticaja rizika uzeto je prema skali u matrici rizika:

A – beznačajan rizik (3%) u troškovima projekta. Uključuje greške u tehničkoj dokumentaciji usljed obračuna površina. Greška uključena u ugovor o prodaji stanova.

B - vjerovatan rizik (10%) cijene radova koji se ustupaju podizvođačima. Ulazi u ugovor kroz procjenu povećanja troškova građenja i viška, naknadnih i nepredviđenih radova.

C – umjeren rizik (- 7%) uključuje stvarno povećanje ukupnih troškova projekta izgradnje objekta,

D – najvjerovatniji rizik (-10,6%) uključuje rizik ostvarenja prihoda od planiranog po prodajnoj cijeni stambenog prostora, koji uključuje i interkalarne kamate na kredite.

E – rijedak rizik (preko 32,7%) uključuje poslovanje bez ostvarenja dobiti.

Prodajnu cijenu koštanja m^2 stambenog prostora određuje tržište nekretnina iz ponudbenih cijena drugih prodavača i na istoj ili sličnoj lokaciji.

Priroda poslova zahtijeva u ukupnom poslovanju i procjenu pravnih rizika usljed obezbjeđenja lokacije i odobrenja za izgradnju objekata, što u ovom slučaju nije uzeto u obzir jer je lokacija obezbijeđena, a rezultati tih rizika nisu uticali na ukupan rezultat poslovanja preduzeća.

Ukoliko se projekcija investicionog programa pravi za veći period, mogu imati značajnu ulogu, pa ih treba odgovarajuće uzeti u obzir jer od njih zavisi ukupan poslovni uspjeh preduzeća. [6]

[8]

4. ZAKLJUČAK

Prilikom izgradnje stambeno-poslovnog objekta „Lamela B1“ u Banovićima provedene su detaljne analize cijena za sve pozicije radova, kao i identifikacija ključnih faktora rizika koji utiču na ukupne troškove izgradnje.

U okviru istraživanja sagledani su i prezentovani svi značajni uticaji koji igraju presudnu ulogu u formiranju cijena pojedinih pozicija radova, pri čemu je posebna pažnja posvećena mogućim promjenama cijena tokom trajanja izgradnje.

Jedan od najizraženijih izazova u procesu gradnje jeste usklađivanje planiranih i stvarnih troškova, koji mogu značajno odstupati zbog različitih faktora, uključujući fluktuacije cijena građevinskog materijala, promjene u troškovima rada, nepredviđene tehničke probleme i administrativne prepreke. Upravo zbog toga, analiza ovih varijabli predstavlja ključni korak u preciznom određivanju investicionih potreba, optimizaciji budžeta i minimiziranju rizika finansijskih gubitaka.

Pored ekonomskih faktora, u obzir su uzeti i organizacioni i tehnički aspekti izgradnje, uključujući dinamiku izvođenja radova, efikasnost angažovane radne snage, kao i uticaj vremenskih uslova na rokove završetka projekta. Identifikovani su i potencijalni rizici povezani s promjenama u zakonodavstvu, tržišnim kretanjima i nepredviđenim kašnjenjima, što omogućava realniju procjenu ukupnih troškova i izradu strategija za njihovu kontrolu.

Ovaj rad pruža solidnu osnovu za daljnja istraživanja tržišta i metodologija formiranja cijena u građevinskom sektoru. Dobijeni podaci mogu poslužiti kao referenca za buduće projekte s ciljem unapređenja planiranja, predviđanja rizika i donošenja informisanih odluka. Posebno je važno razumijevanje trendova u građevinskoj industriji kako bi se omogućila preciznija procjena troškova i povećala finansijska stabilnost projekata.

LITERATURA

1. Bošković D. Procesna analiza i metrika složenih organizacionih procesa, Građevinar Zagreb, 2008.
2. Cekić Z., Menadžment informacionih tehnologija u građevinarstvu, GK Beograd, 2004.
3. Ćirović G., Problemi planiranja organizacije i tehnologije građenja, Viša Građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2005.
4. Ćirović G., Reinžinjeri poslovnih procesa u građevinarstvu, građevinski fakultet Beograd, 2005.
5. Galamić A., Diplomski rad, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Tuzla, 2009.
6. Krasulja D., Ivanišević M., Poslovne finansije, Beograd, 2006.
7. Savić S., Kalkulacije u građevinarstvu, GK Beograd, 2008.
8. Bašić Z., Galamić A., Hadžikić A., Cijena izgradnje i faktori rizika u promjeni cijene izgradnje objekata, Međunarodna konferencija, Savremena dostignuća u građevinarstvu 24.april 2015. Subotica, Srbija

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.64

Naučni rad

INŽENJERSKOGEOLOŠKE I GEOTEHNIČKE KARAKTERISTIKE ODRONA NA LOKALITETU "CRVENE NJIVE" U TUZLI

*Jasenka Čomić, **Ajiša Bedić

Dr. sci. Jasenka Čomić, Georad d.o.o. Tuzla, jasenkokomic@gmail.com**Ajiša Bedić, Georad d.o.o. Tuzla, georadtz@yahoo.com*

Rezime

U ranim jutarnjim satima 05.12. 2010. godine je aktiviran manji odron u naselju "Crvene Njive" u MZ Mosnik, u općini Tuzla. Aktivirani odron je kao posljedicu imao ljudske žrtve, veliku materijalnu štetu i rušenje individualnog stambenog objekta koji se nalazio u podnožju degradirane padine, u kojem su poginule 3 osobe. U čeonom dijelu odrona konstruktivno teže su oštećena dva individualna stambena objekta. U cilju prevencije i tendencije daljeg širenja nestabilnosti, na prijedlog stručnih lica tada je procijenjeno i privremeno iseljeno stanovništvo iz 12 ugroženih objekata. Prema postojećoj geološkoj i inženjerskogeološkoj dokumentaciji na mikrolokalitetu "Crvene Njive" prije aktiviranja odrona nije bilo registrovano klizište, niti labilna padina koja predstavlja potencijalnu sredinu za moguće aktiviranje klizišta ili odrona. Na lokaciji aktivnog odrona nalazi se više morfoloških oblika različitog hiposmetrijskog nivoa, na što je direktno uticala geološka građa terena i ljudska aktivnost.

Na osnovu provedenih geotehničkih istraživanja, utvrđenog inženjerskogeološkog i hidrogeološkog sastava i svojstava terena, izvršena je reonizacije terena prema stepenu stabilnosti, predstavljene su bitne preporuke i uslovi načina sanacije ugroženog područja.

Ključne riječi: klizište, geotehnička istraživanja, sanacija klizišta

UVOD

Zbog velikog uticaja na prostor, ljude i imovinu, upravljanje geohazardima jedino je moguće sistematskim pristupom proučavanju, katastarskoj obradi i preduzimanju odgovarajućih mjera [1]. Evidencija podataka o klizištima na području Tuzlanskog basena je vrlo oskudna, na niskom kako stručnom, tako i tehničkom nivou. Takođe je različit pristup i evidenciji klizišta u lokalnim zajednicama na području Tuzlanskog kantona. Dosadašnja iskustva ukazala su na pokušaje evidentiranja klizišta primjenom različitih obrazaca za popunjavanje podataka o klizištima u kojima je izostavljen znatan broj stručnih podataka ili su odgovori vrlo uopšteni, tako da mnogi nemaju značaja za dalje izučavanje, obradu niti integraciju u bazu podataka u digitalnoj formi. U cilju katastarske obrade podataka klizišta i zoniranja područja potrebno je raspolagati rezultatima koji su dobijeni detaljnim geološkim, geomorfološkim, inženjerskogeološkim, geomehaničkim, hidrološkim i hidrogeološkim istraživanjima i ispitivanjima. Naime, inženjerskogeološke karte koje se koriste kao podloga prostornog plana lokalne zajednice obuhvataju veće prostore u Tuzlanskom basenu, izrađene su na osnovu rekognosciranja terena, direktnim i indirektnim kartiranjem. Ovakvi podaci su prilično

neprecizni i ne daju realnu sliku o ugroženosti terena klizištima. Zbog toga je za kategorizaciju terena nužno provesti detaljna istraživanja, jer kategorija terena uslovljava njegovo korištenje. Determinističkim pristupom je moguće pouzdano utvrditi stepen izloženosti riziku od oštećenja i ugroženosti života. Takođe je potrebno uraditi katastarski list za druge tipove pokretanja tla i stijenskog materijala, kao što je npr. odronjavanje koje je evidentirano na prostoru Tuzlanskog basena, a jedno takvo prezentovano je u ovom radu. Na osnovu rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti moguće je namjenu korištenja zemljišta prilagoditi geološkim uslovima.

METODE ISTRAŽIVANJA

Za potrebe definisanja geotehničkih parametara, sastava i svojstava terena izvedena su slijedeća istraživanja i ispitivanja:

- Geodetska snimanja,
- Istražno bušenje,
Standardno penetraciona tastiranja,
- Laboratorijska ispitivanja,
- Analiza stabilnosti padine,
- Inženjerskogeološko kartiranje,
- Geofizičko ispitivanja terena metodom plitke seizmičke refleksije,
- Reonizacija terena prema stepenu stabilnosti,
- Elaboracija.

U okviru geodetskog snimanja urađena je situacija u državnom koordinatnom sistemu u mjerilu 1: 500. Snimljene su lokacije istražnih bušotina izražene u apsolutnim koordinatama. Od istražnih radova izvršeno je sondažno mašinsko bušenje dvije bušotine dubine 15,00 m. Bušenje sondažne bušotine MB-1 rađeno je bez ubacivanja vode i isplake, a sondažna bušotina MB-2 bušena je sa isplakom. Jezgro je odlagano u odgovarajuće sanduke, kartirano, determinisano i fotografisano od strane geologa. Prečnik bušotina u materijalima pokrivača iznosi 101 mm, a u geološkom supstratu, minimalno 86 mm. Poremećeni i neporemećeni uzorci uzeti su iz potpuno svježeg izvađenog jezgra i propisno konzervirani. Uzorci uzeti in-situ tj. mediju su u intervalima u bušotini, tako da budu zastupljeni svi varijeteti tla i stijene koji se javljaju prilikom istraživanja. Pored mašinskog bušenja vršena su i dodatna kontinuirana penetraciona ispitivanja da se konstatuje zbijenost površinskog sloja pijeska koji je nasut u čelo odrona pri prvoj fazi sanacije i izradi drenažnog sistema. U toku geomehaničkog ispitivanja vršeno je hidrogeološko osmatranje pojava podzemne vode koja djeluje u tlu. Izvršeno je mjerenje nivoa podzemne vode nakon 24, 48 sata od završetka ispitivanja. Laboratorijska ispitivanja obavljena su radi definisanja klasifikacionih i fizičko-mehaničkih karakteristika tla [2], prema važećim postupcima u akreditiranoj laboratoriji "GIT" Institut za građevinarstvo građevinske materijale i nemetale Tuzla: Akreditacija "BATA" registrovana je pod brojem LI-04-01. Prirodna vlažnost određena je postupkom: BAS ISO/TS 17892-1 Geotehnička istraživanja i testiranja - Laboratorijsko testiranje tla - Dio 1: Određivanje vlažnosti. Zapreminska masa tla, određena je postupkom: BAS ISO/TS 17892-2 Geotehnička istraživanja i testiranja - Laboratorijsko testiranje tla - Dio 2: Određivanje gustoće sitnozrnih materijala. Specifična masa, pri propisanoj temperaturi i vlažnosti

sredine: određena postupkom: BAS ISO/TS 17892-3. Atterbergove granice konsistencije predstavljaju granicu tečenja, plastičnosti i granicu skupljanja, a utvrđene su prema BAS ISO/TS 17892-12. Opit direktnog smicanja rađen je u aparatu sa kontrolisanom deformacijom smicanja, pri tri vertikalna opterećenja. Analiza služi za određivanje parametara čvrstoće smicanja, kohezije c (KNm^{-2}) i ugla unutrašnjeg trenja φ ($^{\circ}$). Opit je rađen prema odredbama BAS ISO/TS 17892-10 Geotehnička istraživanja i testiranja - Laboratorijsko testiranje tla - Dio 10: Opit direktnog smicanja. Parametri otpornosti na smicanje za tlo određeni su u aparatima za translatorno direktno sa kontrolisanom brzinom deformacije dimenzija $60 \times 60 \text{ mm}$ i visine 25 mm . Uzorci su urađeni u neporemećenom stanju i konsolidirani pod vertikalnim opterećenjem σ' : 50, 100, 150 KNm^{-2} , otpornost na smicanje ζ : 50, 100, 150 KNm^{-2} . Tangencijalni naponi su povećavani u stepenima $\Delta\sigma = \sigma'/40$ u vremenskim intervalima Δt_1 od 5 do 30 minuta. Brzina smicanja $0,3048 \text{ mm/min}$, konstanta dinamometra $0,034 \text{ mm/kp}$ ($0,33 \text{ mm/N}$). Dobivene vrijednosti čvrstoće na smicanje i parametri c i φ dobiveni na uzorcima tla za odgovarajuće intervale, kreću se od 38 do 67 KNm^{-2} za koheziju (c) i od 22 do 34° za ugao unutrašnjeg trenja (φ). Pravilnim uzorkovanjem date su reprezentativne vrijednosti svojstava materijala (za dati realističan slučaj). Za proračun stabilnosti kosine usvojeni su ulazni geomehanički parametri koji odražavaju najnepovoljnije uslove na padini. Analiza i proračuni stabilnosti vršeni sa snimljenim kotama terena, kompjuterskim zapisima, po licenciranom programu i metodi Morgensteem-Price.

Metoda je bazirana ne samo na uslovima ravnoteže sila po x osi, nego i momentnoj ravnoteži za svaku lamelu. Analiza omogućava i traženje kritične plohe odrona. Na osnovu provedenih istraživanja, ispitivanja i dobijenih rezultata izrađena je detaljna inženjerskogeološka karta u razmjeri 1:500. Inženjerskogeološka karta sadrži sve relevantne podatke za projektovanje i izvedena je prema Uputstvu za izradu inženjerskogeoloških karata (Uputstvo internacionalne asocijacije za inženjersku geologiju – IAEG) [3,4,5]. U okviru istražnog područja izvršena je reonizacija terena prema stepenu stabilnosti sa izdvojenim zonama: stabilnog, uslovno-stabilnog i nestabilnog terena i to prema površini zastupljenosti (m^2) i procentualno (%). Nakon završetka terenskih radova i laboratorijskih ispitivanja izvršena je kabinetska obrada, analiza i interpretacija prikupljenih podataka i dobivenih rezultata sa elaboracijom istih.

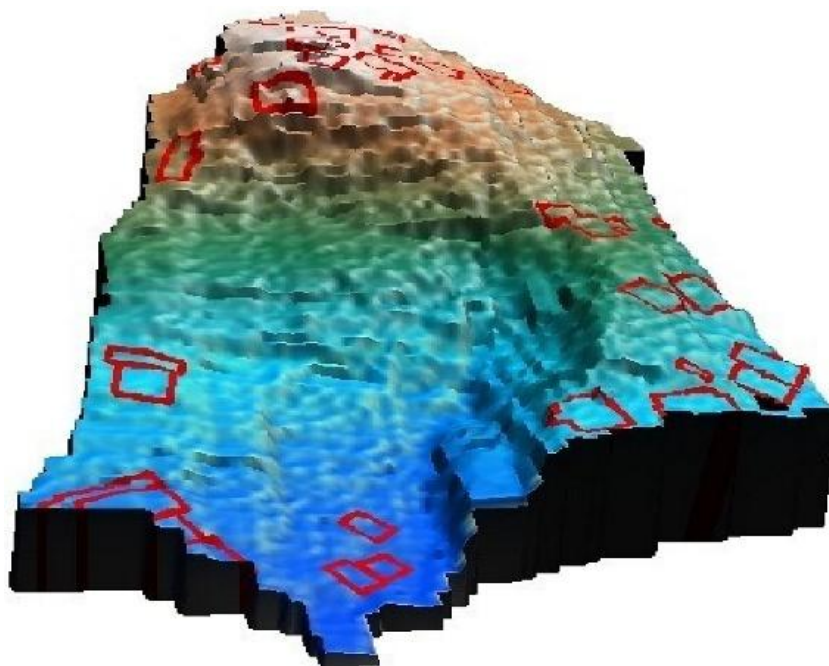
GEOLOŠKA GRAĐA I INŽENJERSKO-GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Dio terena u zoni aktiviranog odrona nalazi se u zapadnom dijelu Tuzle u naselju "Crvene Njive" [6]. Teren se nalazi na $44^{\circ}31'41.65''$ sjeverne širine i $18^{\circ}39'17.79''$ istočne dužine po Griniču. Na ovom dijelu terena nalazila se široka grebenasta forma koja je imala generalni pravac pružanja jugostok – sjeverozapad sa nagibom u smjeru sjeverozapada od 10° . Zbog činjenice da je pomenuti greben uglavnom izgrađen od kvarcnog slabovezanog pješčara i gline, ovdje je vršena eksploatacija pješčara za potrebe zatrpavanja rudnika Moluhe do 1963. godine. Zbog deficita mase ostala je veća depresija sa dvije markantne visoke (8-12 m) i subvertikalne kosine (zapadna i južna) nagiba 80 do 90° (slika 1).



Slika 1. Subvertikalna zapadna kosina. (Foto: J.Čomić, 2010).

Nakon završene eksploatacija kvarcnog pijeska, u depresiji je izvršeno ublažavanje nagiba terena. Vremenom je dio terena u zoni južne kosine zarastao niskom vegetacijom. U zaleđu južne kosine bespravno je izgrađen veliki broj objekata još prije 20ak godina. Gustina izgrađenosti u zaleđu južne kosine je veoma velika, tako da je dio objekata građen u bokovima grebena kao i u blizini visoke i strme južne kosine. Objekti su od kosine bili udaljeni 3 - 17 m. Objekti nisu imali regulisan odvod oborinskih i otpadnih voda, a u zoni južne kosine vršilo se odlaganje različitog materijala. Zbog visinskog položaja, više objekata spojeno je na sistem vodosnabdjevanja iz pravca Krojčice, dok su odvodi bili usmjereni prema formiranoj depresiji terena.



Slika 2. 3D model terena na lokalitetu "Crvene Njive"

Prosječna apsolutna kota terena u zaleđu južne kosine iznosila je oko 300,0 m.n.v, a u podnožju

gdje je uništen individualni stambeni objekat, 273,0 m.n.v. Na slikama 2 i 3 prikazani su modeli terena i objekata na području istraživanja.



Slika 3. 3D model objekata, digitalnog modela terena i digitalnog ortofoto plana (2021.).

Područje istraživanja se nalazi na sjeveroistočnom krilu Sjevernog krekanskog sinklinorija. Panonski sedimenti predstavljeni su laporcima, glinama, pijeskovima i pješćarima sa slojevima uglja [7].

Dosadašnjim istraživanjima ugljenih slojeva definisani su hidrogeološki odnosi područja, po prostornom rasporedu pojedinih litoloških članova, po njihovom međusobnom odnosu, po hidrogeološkoj funkciji i odnosu pojedinih kolektora prema površinskim vodama [8].

Na širem području se po dubini zalijeganja mogu izdvojiti izdani: I izdan (vodonosni sloj) pijesak u podini podinskog ugljenog sloja – u dubljem dijelovima, II izdan (vodonosni sloj) slabovezanog pješćara u podini glavnog ugljenog sloja gdje je aktiviran odron. Ova dva vodonosna sloja razdvojena su povlatnim glinama koje predstavljaju hidrogeološki izolator. Povećana zavodnjenost kvarcnih pijeskova i slabovezanih pješćara je utvrđena geofizičkim istraživanjima.

U cilju utvrđivanja inženjerskogeološkog sastava i svojstava terena u zoni pojave odrona izvršeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje terena i geofizička istraživanja na tri profila. Takođe je izvršeno kartiranje otvorenih izdanaka i visokih kosina. Na terenu su veoma visoki i otvoreni profili gdje su registrovani pješćari i gline, te je omogućeno da se izmjere elementi pada slojeva i pukotina (slika 4). Seizmičkom metodom indicirana je dubina zalijeganja litoloških članova i registrovani su prostorni razmještaji diskontinuiteta u pješćarima.



Slika 4. Mjerenje elemenata pada slojeva - zapadna kosina. (Foto A. Čomić, 2011)

U toku inženjerskogeološkog kartiranja terena na otvorenim izdancima pješčara i povlatnih glina utvrđeni su elementi pada $300/12^\circ$ i $312/14^\circ$. Pored mjerenja elemenata pada slojevitosti izvršeno je mjerenje elemenata pada većih markantnih pukotina u zoni ožiljka odrona (slika 5).



Slika 5. Mjerenje elemenata pada pukotina u u zoni ožiljka odrona. (Foto A. Čomić, 2011).

Geofizičkim ispitivanjima (refrakciona seizmička ispitivanja uz korištenje više metoda intepretacije) kao i terenskim analizama definisani su diskontinuiteti sa elementima pada pukotina koje se nalaze dublje u pješčarima i glinama (na 3 geofizička profila). Pored pukotina registrovana su dva rasjeda (ili dublje i šire pukotine) koji se pružaju u pravcu istok – zapad pod nagibom od 85° . Jedan rasjed nalazio se u zoni ožiljka odrona. Lokacija na kojoj je formiran odron predstavlja greben koga čine podinski kvarcni pješčari glavnog ugljenog sloja Sjevernog krekanskog sinklinorijuma gdje slojevi padaju u smjeru sjeverozapada pod uglom od 12° do 14° [9]. Kvarcni pješčar prema geotehničkim svojstvima predstavlja uslovno stabilni teren. Međutim, stabilan teren neadekvatnim antropogenim radovima i aktivnostima mijenja naponsko stanje i postaje nestabilan, što se desilo na ovom lokalitetu. Nelegalno izgrađeni

objekti značajno su opteretili dio terena u zaleđu južne kosine što je dovelo do dodatne promjene naponskih stanja.



Slika 6. Blokovi odronjenog pješčara. (Foto J. Čomić, 2011)

Tek nakon provedenih geofizičkih istraživanja utvrđeno je da se u dijelu formiranog ožiljka odrona nalazio rasjed sa užom raslabljenom zonom slične orijentacije i nagiba kao i južna kosina, što je bio glavni uzrok nestabilnosti. Nakon perioda relaksacije napregnutog i prirodno zavodnjenog materijala došlo je do većeg odvajanja i otkidanja blokova (slika 6) pješčara duž nepovoljno orijentisanog rasjeda i neotektonskih pukotina, tako da je formiran klasični odron u pješčaru sa blokovskim otkidanjem. Usljed naglog odvajanja mase pješčara po rasjedu, otkinut je veći blok širine oko 55 m i dužine oko 17 m, koji je naknadno raspadnut na veći broj manjih blokova pješčara različitog oblika i zapremine (od 1 do više m³).

Geofizičkim ispitivanjima utvrđeno je da se dubina odrona kreće od 10 -12 m i vezana je za dubinu zalijeganja glinovitog sloja (povlatni sloj podinskog ugljenog sloja) koji se nalazi ispod pješčara. Blokovsko otkidanje i usitnjavanje obavljeno je po pukotinama nižeg reda u pješčaru. Kako se radi o poluvezanom i vezanom materijalu (trošni pješčari), usljed blokovskog odvajanja po predisponiranim diskontinuitetima došlo je do naglog pokretanja blokova pješčara prema podnožju padine gdje se nalazio individualni stambeni objekat usljed čega su smrtno stradale 3 osobe. [10]

U cilju sanacije južne kosine, izvršeno je sondažno mašinsko bušenje dvije bušotine dubine 15,00 m. Bušenje sondažne bušotine MB-1 rađeno je bez ubacivanja vode i isplake, a sondažna bušotina MB-2 bušena je sa isplakom. Pored mašinskog bušenja vršena su i dodatna kontinuirana penetraciona ispitivanja da se konstatuje zbijenost površinskog sloja pijeska koji je nasut u čelo odrona pri prvoj fazi sanacije i izradi drenažnog sistema. Za izradu inženjerskogeološke karte korištena je geodetska podloga razmjere R 1:500 koja je snimljena u državnom koordinatnom sistemu. Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja i ispitivanja, na ovom području su izdvojene 3 inženjerskogeološke jedinice od kojih jedna pripada geološkom supstratu, a dvije skupini pokrivača.

Geološki supstrat

Kao geološki supstrat izdvojen je jedan litološki tip i jedan litološki kompleks: kvarcni trošni pješčari (I), gline i kalcitične glina sa odlomcima goretine (II).

Kvarcni trošni pješčari (podina ugljenog sloja I)

Boja kvarcnih pješčara je primarno siva, a javljaju se i različite nijanse žute. Odlikuju se zadovoljavajućim geotehničkim svojstvima.

Na otvorenim profilima registrovana je slojevitost, negdje jasno izražena, a u pojedinim dijelovima slabije. U zoni zapadne kosine između dva sloja pješčara nalazi se tanji sloj gline (10 cm), što ukazuje na promjenu uslova sedimentacije. U hidrogeološkom smislu trošni pješčari (djelimično konsolidovani kvarcni pijeskovi) predstavljaju hidrogeološke kolektore i u njima je akumulirana značajna količina podzemne vode, naročito u dubljim dijelovima. Prema GN-200 trošni pješčari se mogu svrstati u IV kategoriju.

Gline i gline sa odlomcima goretina - (povlata ugljenog sloja) (II)

Na lokalitetu odrona "Crvene Njive" povlatne gline nalaze se ispod sloja trošnog pješčara sa vidljivim izdancima u bokovima formiranog odrona. Zapadno od odrona, sloj gline sa odlomcima goretine nalaze se preko sloja trošnog pješčara. Registrovane gline u istočnom boku odrona predstavljaju povlatu podinskog ugljenog sloja, a u zapadnom boku neposrednu povlatu glavnog ugljenog sloja. Na otvornim izdancima povlatne gline su sivo-smeđe, dobro konsolidovane, slabo izražene slojevitosti. U hidrogeološkom pogledu ovi materijali predstavljaju izolatore, a prema GN- 200 pripadaju IV kategoriji.

Pokrivači

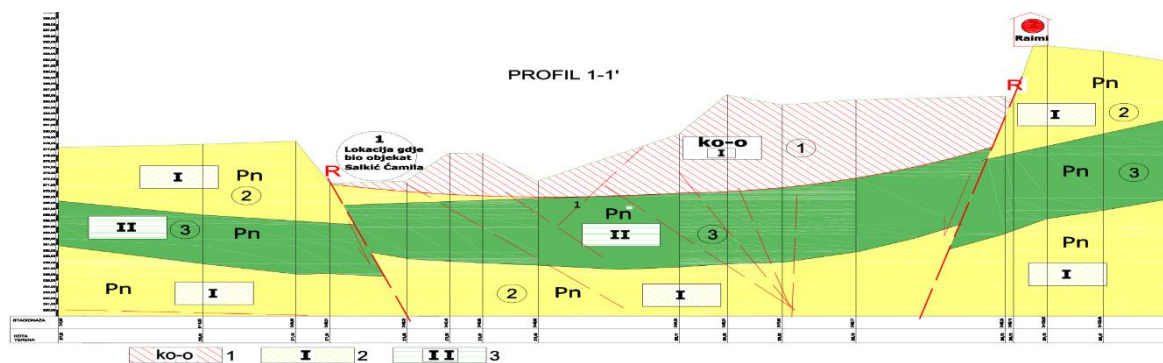
U skupinu pokrivača na istražnom području izdvajaju se dvije različite genetske vrste i to: eluvijalno-deluvijalni (ed) i koluvijalni (ko) pokrivač.

Eluvijalno-deluvijalni pokrivač (ed)

Ova vrsta pokrivača pojavljuje se u zonama gdje markantni greben nije devastiran tehnogenom aktivnošću, odnosno nalazi se izvan kontura napuštene pjeskare. Litološki sastav ovog mješovitog padinskog pokrivača izgrađuju žuto-smeđe prašinsto-pjeskovite gline, promjenljive debljine od 0,5 do 1,5 m. U hidrogeološkom smislu ovaj pokrivač ima ulogu hidrogeološkog provodnika, a prema GN-200 pripadaju III kategoriji. Nekoliko objekata je temeljeno u ovom tipu pokrivača.

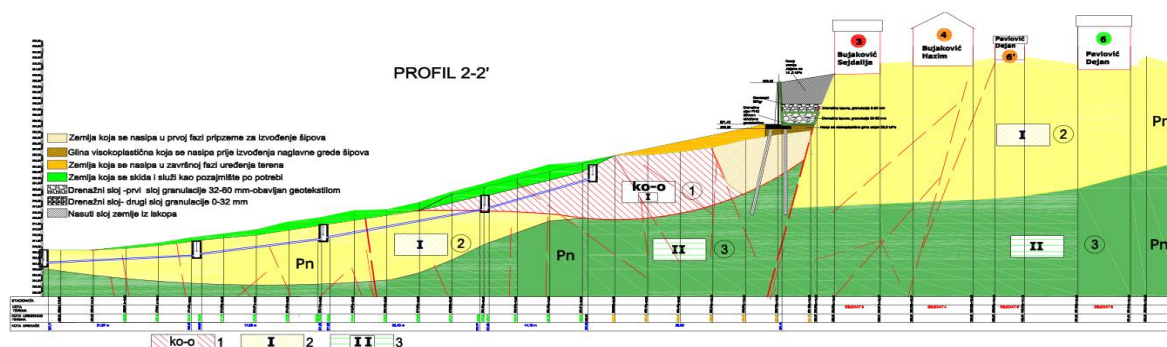
Koluvijalni pokrivač (ko)

U inženjerskogeološkom smislu koluvijalni pokrivač – odrona čine materijali koji su pokrenuti gravitacionim kretanjem i koji su akumulirani u nižim dijelovima padine. Nakon aktiviranja odrona došlo je do otkidanja većih blokova pješčara u zoni ranije južne kosine pozajmišta pijeska, tako da je u donjem dijelu došlo do akumuliranja većih ili manjih blokova pješčara. Ovaj pokrivač predstavlja degradiranu, ispucalu i rastresitu sredinu promjenljivih geotehničkih karakteristika. U pojedinim zonama odrona gdje su odvojeni veliki blokovi pješčara, zadržana je primarna slojevitost. Debljina koluvijalnog pokrivača je promjenljiva i prikazana je na inženjerskogeološkim profilima 1-1', 2-2' (slike 7 i 8).



Slika 7. Inženjerskogeološki profil 1-1', južne kosine.

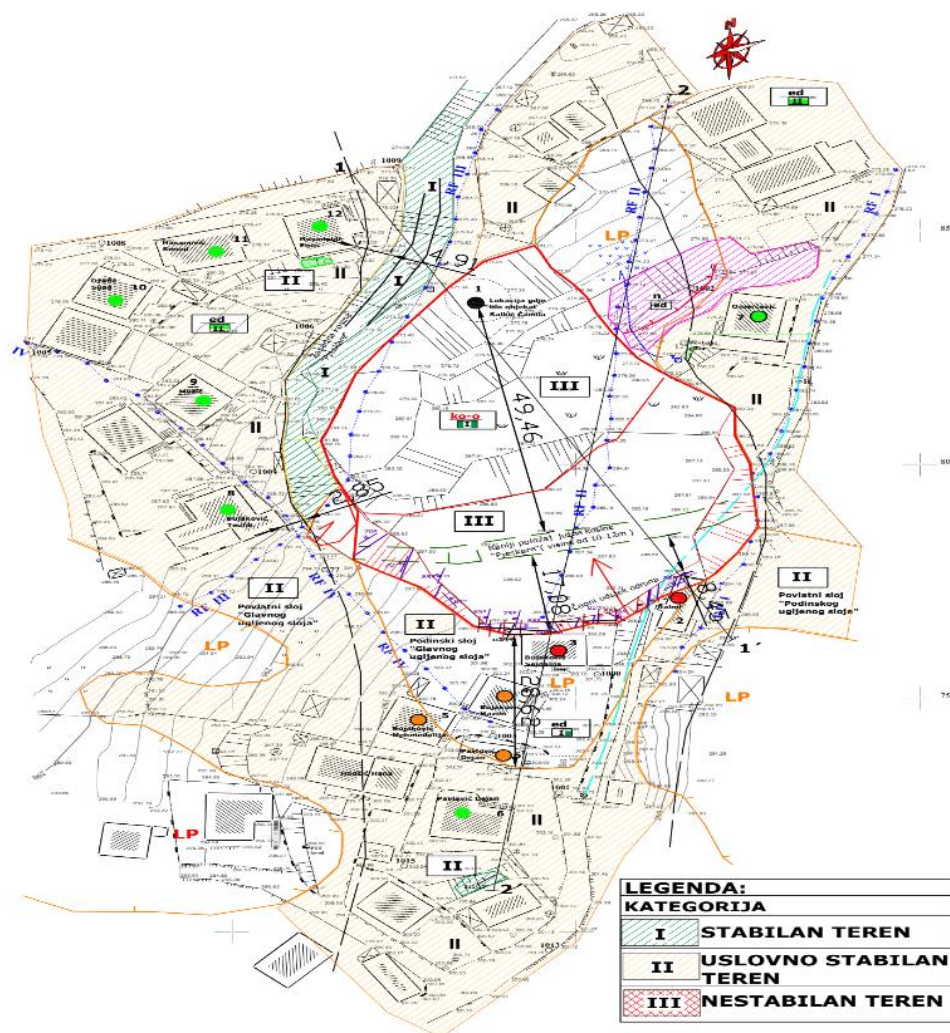
1. Koluvijum odrona, 2. Kvarcni mekani pješčari (podina ugljenog sloja I), 3. Gline i gline sa odlomcima goretina - (povlata ugljenog sloja) (II).



Slika 8. Inženjerskogeološki profil 2-2', sa mjerama sanacije južne kosine.

1. Koluvijum odrona, 2. Kvarcni mekani pješčari (podina ugljenog sloja I), 3. Gline i gline sa odlomcima goretina - (povlata ugljenog sloja) (II).

Detaljna inženjerskogeološka karta (R 1:500) izrađena je nakon izvršenih geomehaničkih istraživanja i ispitivanja terena, geofizičkim ispitivanjima terena metodom refrakcije i hidrogeoloških istraživanja. U okviru istražnog području izvršena je reonizacija terena [11] prema stepenu stabilnosti sa izdvojenim zonama: stabilnog, uslovno-stabilnog i nestabilnog terena i to prema površini zastupljenosti (m^2) i procentualno (%). (slika 9).



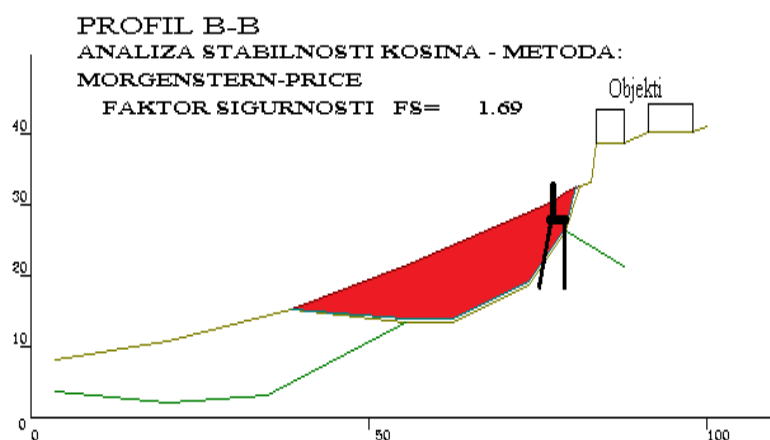
Slika 9. Rejonizacija terena prema stepenu stabilnosti.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na istražnom području je izražena interakcija prirodnih faktora (nepovoljna orijentacija pukotina sa aspekta stabilnosti, hidrogeološki uslovi) i antropogenih faktora (višedecenijska nekontrolisana eksploatacija pješčara, neplanska gradnja objekata, neregulisani odvod oborinskih i otpadnih voda, divlje deponije, te neadekvatno i nestručno provođenje sanacionih mjera pri prvim tragovima nestabilnosti. Na osnovu utvrđenih uzroka i ranjivosti područja s obzirom na (mogućnost širenja odrona i dalje ugrožavanje stanovnika i objekata), neophodno je izvršiti kompletnu sanaciju terena, podjeljenu u dvije faze. Početkom marta 2012. godine izvršena je prva faza sanacije terena izvođenjem drenažnog sistema.

Povećanje stabilnosti padine postignuto je izvođenjem drenažnog sistema sa ciljem dreniranja zavodnjenih masa tla u zoni zavodnjenog geološkog supstrata, kontrolisane odvodnje drenažnim kolektorima. U prvoj fazi sanacije u naselju je predviđena i rekultivacija terena. Za drugu fazu sanacije predviđena je izrada potporne konstrukcije (armirano betonski zid), temeljen na armirano betonskim šipovima dužine 10,00 m, raspoređenim u dvije osovine prema nacrtu potporne

konstrukcije, oslonjeni u sloju geološkog supstrata. Faktor sigurnosti sanirane kosine je $FS=1,69$ (slika 10).



Slika 10. Model za analizu stabilnosti (sanirano stanje), profil B-B'.

Nakon provedenih istraživanja i izvršene rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti, u zaleđu čeonog odsjeka definisana je potencijalna zona širenja odrona u dužini oko 28 m, gdje je registrovan veliki broj diskontinuiteta u masivu pješčara. Svi objekti i njihovi žitelji koji se nalaze u ovom dijelu gdje se može očekivati širenje odrona izloženi su riziku od oštećenja i ugroženosti života. Obezbjedenje sigurnosti objekata može se ostvariti jedino provođenjem cjelovite sanacije. Po završenoj sanaciji terena potrebno je vršiti geodetski monitoring [12]. Na inženjerskogeološkoj karti (slika 9) su prostorno definisane i označene sve tri kategorije terena prema stepenu stabilnosti:

Nestabilan teren

Ova kategorija terena predstavlja dio područja koji je zahvaćen procesom odrona. Nestabilni dio terena u okviru istražnog prostora zauzima površinu od $5.416,22 \text{ m}^2$ što predstavlja 32,37 % od ukupne površine istražnog prostora koja iznosi $16.734,49 \text{ m}^2$. U nestabilnoj kategoriji terena koja je prostorno jasno definisana, ne može se vršiti izgradnja novih niti legalizacija postojećih objekata zbog mogućeg reaktiviranja odrona. Legalizacija postojećih objekata ne može se izvršiti dok se u potpunosti ne izvede sanacija odrona, pod stručnim nadzorom i provedenim monitoringom uspješnosti provedenih sanacionih mjera. Na ovom dijelu terena ne smije se vršiti zasjecanje terena kao i formiranje većih nasipa.

Uslovno stabilan teren

Zauzima površinu od $10.780,71 \text{ m}^2$ što čini 64,42 % od ukupne površine istražnog prostora. Propisanim mjerama i izvedenom sanacijom, može se prevesti u stabilnu kategoriju terena. Legalizacija objekata može se izvršiti tek nakon izvršene sanacije nestabilnog terena. Ova kategorija terena se uz propisane mjere može prevesti u stabilnu kategoriju terena.

Stabilan teren

Ovoj zoni pripada stabilna kategorija terena koji se odlikuje povoljnim geotehničkim karakteristikama. U zoni zapadne kosine odnosno lijevog boka odrona površine od $537,56 \text{ m}^2$, ne očekuje se širenje odrona nego samo osipanje materijala, što treba spriječiti zaštitom kosine od uticaja erozije.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata provedenih inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja, utvrđenog inženjerskogeološkog i hidrogeološkog sastava i svojstava terena, stepena zastupljenosti egzogenih geoloških procesa, rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti date su preporuke i uslovi načina sanacije nestabilnog i uslovno stabilnog terena. Na osnovu rejonizacije terena prema stepenu stabilnosti moguće je namjenu korištenja zemljišta prilagoditi geološkim uslovima, čime će se zasigurno minimizirati materijalne štete. Determinističkim pristupom je moguće pouzdano utvrditi stepen izloženosti riziku od oštećenja i ugroženosti života.

Na lokalitetu Crvene Njive prije aktiviranja odrona, ivica južne kosine je iznosila 17 m. Aktiviranjem odrona u decembru 2010. godine tri lica su izgubila život. Procjenjena vrijednost 12 stambenih objekata koji se nalaze u neposrednoj blizini odrona iznosi skoro milion konvertibilnih maraka.

Nakon izvršenih detaljnih istraživanja i ispitivanja na južnom dijelu kosine (gdje je registrovan veliki broj diskontinuiteta u masivu pješčara), očekuje se tendencija daljeg širenja odrona i destabilizacije južne kosine za novih 26,68 m. To bi ugrozilo još 4 individualna objekta i ljude koje žive u njima. Ovi objekti se nalaze u zoni visokog rizika, a njihova procjenjena materijalna šteta iznosi oko 320.000 KM. Utvrđena cijena sanacije I i II faze (dreniranje i zaštita južne kosine potpornom konstrukcijom) iznosi oko 470.000 KM.

Terenskim obilaskom i komparacijom geodetskih podloga u vektorskom i rasterskom obliku (za vrijeme istraživanja i novih) može se zaključiti da je prošlo više od jednog desetljeća, a da projektovane mjere sanacije (osim provođenja prve faze) na lokalitetu Crvene Njive, nisu realizovane iako su označene kao hitne.

LITERATURA

- [1] Čomić, J. Upravljanje geohazardima na području tuzlanskog basena. Univerzitet u Tuzli, Doktorska disertacija, 2022.
- [2] "GIT" Institut za građevinarstvo građevinske materijale i nemetale Tuzla, 2011.
- [3] Varnes, D.J. Slope movement types and processes. Landslide analysis and control. Transportation Research Board, Special report 176. (ur. Schuster, R.L., Krizek R.J.), National Academy Sciences, Washington, DC. 11–33, 1978.
- [4] Varnes DJ, IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. The UNESCO Press, Paris, 63, 1984.
- [5] Cruden, D.M., Varnes, D.J. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (eds): Landslides investigation and mitigation, Transportation Research Board, US National Research Council, Special Report 247, Washington, DC, Chapter 3. 36-75, 1996.
- [6] Čomić, J. Elaborat o inženjerskogeološkim i geomehaničkim ispitivanjima za Idejni projekat sanacije odrona u ulici R. Meškovića i B. Ajdžajlića u naselju "Crvene Njive" u Tuzli. Glavni projekat sanacije odrona u ulici R. Meškovića i B. Ajdžalića u naselju "Crvene Njive" MZ Mosnik – općina Tuzla, 2011.
- [7] Vrabac, S. Paleogeografija južnog oboda panonskog basena u badenu i sarmatu. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet Tuzla, 1989.
- [8] Čomić, J. Hidrogeološki i antropogeni uslovi formiranja i stabilizacije klizišta na

lokalitetima u Tuzli. Univerzitet u Tuzli, Magistarski rad, 2012.

[9] Soklić, I. Postanak i struktura tuzlanskog bazena. Geološki glasnik br.10, 1964.

[10] Kantonalna uprava civilne zaštite. Procjena ugroženosti od prirodnih i drugih nesreća područja Tuzlanskog kantona, 2016.

[11] Sijerčić, I. Inženjerska geodinamika, Univerzitet u Tuzli, 2012.

[12] Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Krkač, M. TXT-tool 2.385-1.2 A comprehensive landslide monitoring system: The Kostanjek landslide, Croatia, In: Sassa K. et al. (eds): ICL Landslide Teaching Tool, ICL, Kyoto, Japan, 2013.

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.77

Naučni rad

POBOLJŠANJE RADA DUBINSKE PUMPE NA KLIPNIM ŠIPKAMA MODIFIKACIJOM POTISNOG VENTILA

*Adnan Hodžić, **Sanel Nuhanović, ***Dino Jovanović-Sovtić

**Prof. Adnan Hodžić, University of Tuzla, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, adnan.hodzic@untz.ba*

***Prof. Sanel Nuhanović, University of Tuzla, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, Urfeta Vejzagica 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, sanel.nuhanovic@untz.ba*

****Mr. Dino Jovanović-Sovtić, NIS Srbija, Novi Sad, dinojovanovicsovitic@gmail.com*

Sažetak

Već dugi period tokom istorije proizvodnje nafte, dubinske pumpe na klipnim šipkama su prvi, a u mnogim slučajevima i jedini izbor kada su u pitanju mehaničke metode eksploatacije. Pravilan odabir svakog pojedinačnog elementa sistema omogućava optimizaciju koja sa sobom povlači benefite u vidu povećavanja efikasnosti i smanjenja troškova proizvodnje. Trenutno primijeñeni sistem dubinskih pumpi na klipnim šipkama na ležištu „T“ obezbjeđuje stabilnu proizvodnju i realizaciju godišnjih planova proizvodnje bez većih problema. U ovom radu je prikazan način optimizacije sistema za mehaničku metodu eksploatacije dubinskim pumpama na klipnim šipkama. Urađen je proračun za 2 bušotine sa najmanjom efikasnošću rada pumpe, kako bi se definisala primjena novog sistema dubinskih pumpi sa izmijenjenim tehničkim karakteristikama (dupli potisni ventil).

Ugradnjom dubinske pumpe sa izmijenjenim tehničkim karakteristikama pri remontu, ove dvije bušotine pokazale su i značajno poboljšanje u dužini trajanja međuremontnog perioda.

Ključne riječi: dubinska pumpa, optimizacija, proračun opreme, potisni ventil

UVOD

Nafta se u ležištu nalazi pod određenim pritiskom, koji omogućava kretanje fluida iz ležišta u bušotinu i dalje kroz proizvodni sistem, do površine terena. Kada je ležišna energija do te mjere oslabljena, da ležišni pritisak više nije dovoljan za omogućavanje protoka fluida kroz bušotinu, naftovod i površinsku opremu, tj. kada je proizvodnja dostigla minimalnu ekonomski isplativu vrijednost, neophodno je obezbijediti dodatnu energiju za nastavak eksploatacije. Ako se proizvodnja fluida ostvaruje uz korišćenje dodatne energije, takva metoda eksploatacije naziva se mehaničkom.

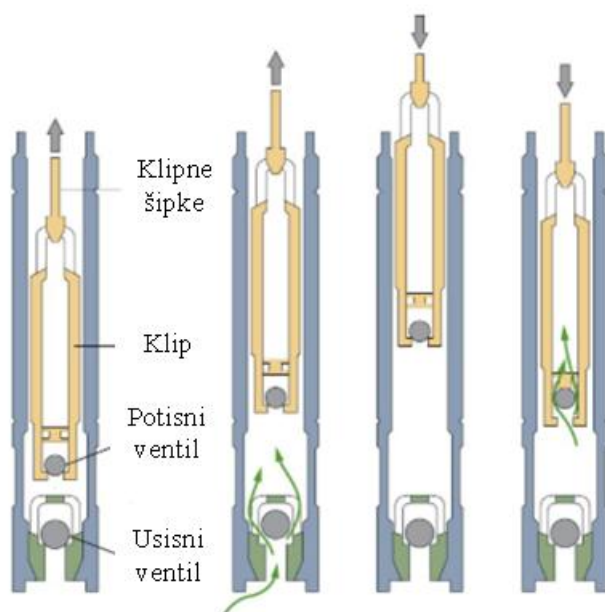
Već dugi period tokom istorije proizvodnje nafte, dubinske pumpe na klipnim šipkama su prvi i, u mnogim slučajevima, jedini izbor kada su u pitanju mehaničke metode eksploatacije. Ovo je razlog zbog čega je dubinsko pumpanje na klipnim šipkama najstariji i najkorišteniji tip mehaničkih metoda eksploatacije nafte širom svijeta. Genaralno, oko dve trećine svih proizvodnih bušotina u svijetu koriste ovu metodu za dobivanje fluida.

U prvom dijelu rada prikazana je podzemna i nadzemna oprema dubinske pumpe i opisan je rad cjelokupnog postrojenja, dok je u drugom dijelu u bušotinama ležišta „T“, a u cilju poboljšanja njegovog iskorištenja urađena analiza rada postojeće opreme, kao i proračuni

pritiska. Kada usisni pritisak prevaziđe pritisak unutar cilindra, kuglica na usisnom ventilu se podiže iz usisnog ventila.

Tada fluid, koji se nalazi u bušotini, ulazi u cilindar kroz usisni ventil i puni prostor, pri čemu se klip podiže ka gore. Ovo predstavlja usisni dio ciklusa, tokom kog pritisak ispod klipa i pritisak potisa ostaju konstantni, a oni su jednaki razlici usisnog pritiska i pada pritiska kroz kućište usisnog ventila (sedište, kuglica i sklop). Na samom vrhu cilindra klip mijenja kretanje i počinje da se kreće prema usisnom ventilu, što izaziva smanjenje zapremine u cilindru između usisnog i potisnog ventila i fluid se unutar cilindra komprimira, što izaziva povećanje pritiska unutar pumpe. Reversni protok i povećanje u pritisku primoravaju usisni ventil da se zatvori i kompresioni ciklus se nastavlja sve dok pritisak unutar cilindra ne prevaziđe pritisak iznad potisnog ventila. Tada se potisni ventil otvara i klip se kreće ka dole, kroz fluid koji se nalazi u cilindru pumpe. Ovaj dio se naziva dio pražnjenja pumpnog sistema, tokom kog pritisak unutar cilindra ostaje konstantan, a jednak je je zbiru pritiska pražnjenja i pritiska potrebnog za kretanje fluida kroz potisni ventil i unutrašnjost klipa.

Pri ciklusu pražnjenja klip se kreće ka dnu cilindra. Veza između distance koju pređe klip i promjene u pritisku izazvane fluidom unutar pumpe zavisi od kompresibiliteta smješe fluida koja se nalazi unutar cilindra. Ako je fluid skoro nekompresibilan, tada vrlo mala promjena u zapremini, zbog malog kretanja klipa, izaziva velike promene u pritisku. U slučaju da je fluid više kompresibilan (mješavina gasa i tečnosti), promjena u zapremini je potrebna za opadanje ili povećavanje pritiska, odnosno zatvaranje i otvaranje ventila. Ta potrebna zapremina se postiže jedino kroz povećano kretanje kroz cilindar (slika 2).



Slika 2. Prikaz ekspanzije, usisnog ciklusa, kompresije i potisnog ciklusa [2]

1.2. Ventili dubinske pumpe (usisni/potisni)

Usisni ventil (slika 3.) dubinske pumpe ugrađuje se na dnu cilindra, a konstruisan je tako da radi na principu kuglice i sjedišta. Uloga mu je da, pri hodu klipa prema gore, dopušta punjenje cilindra fluidom iz ležišta, odnosno da sprečava njegov povratak, pri hodu klipa prema dole. Zbog izloženosti kuglice udaru o sedište i kuglica i sedište su specijalne konstrukcije i izrađeni

su od visokolegiranog čelika sa specijalnom obradom površina. To je vrlo važno, jer svako malo oštećenje ili promena oblika rezultira propuštanjem, a time i smanjenjem učinkovitosti procesa pumpanja. Za nove ventile različitih prečnika otklon oblika kuglice od idealne sferičnosti ne smije biti veći od 1 do 4 μm . [5,18].



Slika 3. Konstrukcija usisnog ventila [5]

Analogno usisnom, i potisni ventil (slika 4.) djeluje na principu kuglice i sedišta. Uloga mu je da pri hodu klipa prema dole dopušta prolaz tečnosti iz cilindra u klip, a pri hodu klipa prema gore ne dopušta povratak [5]. Kod potisnog ventila, također, postoji opcija ugradnje duplog ventila. Navedeni benefiti ugradnje takve konstrukcije važe i za potisni ventil, sa tim da su, u slučaju ugradnje duplog potisnog ventila, kada pumpa radi bez nivoa („fluid pound“), kuglica i sjedište gornjeg ventila zaštićeni od mehaničkog oštećenja prilikom nagle promjene pritiska prilikom udara cilindra pumpe u fluid. Također, ovakva konstrukcija potisnog ventila sprečava pojavu „gas lock-a“, time što težinu stuba fluida drži gornji potisni ventil i time omogućava lakše otvaranje donjeg potisnog ventila. Sve što je navedeno za usisni ventil, s obzirom na uslove rada, vrijedi i za potisni ventil.



Slika 4. Konstrukcija potisnog ventila [5]

2. ANALIZA PROIZVODNJE NAFTE POSTOJEĆIM TIPOM DUBINSKIH PUMPI NA KLIPNIM ŠIPKAMA U BUŠOTINAMA LEŽIŠTA „T”

Trenutno primijenjeni sistem dubinskih pumpi na klipnim šipkama na ležištu „T” obezbjeđuje stabilnu proizvodnju i realizaciju godišnjih planova proizvodnje bez većih problema. Međutim, u cilju optimizacije sistema za mehaničku metodu eksploatacije dubinskim pumpama na klipnim šipkama u bušotinama ležišta „T”, neophodno je uraditi analizu rada postojeće opreme na bušotinama kandidatima, a zatim uraditi proračune kojima će se definisati primjena novog sistema dubinskih pumpi sa duplim potisnim ventilom na ležištu. Sve bušotine naftnog ležišta „T” opremljene su dubinskim pumpama na klipnim šipkama sa gornjim ili donjim mehaničkim usijedanjem. Fond bušotina za analizu, za odabir kandidata za ugradnju dubinske pumpe na klipnim šipkama sa izmijenjenim tehničkim karakteristikama, bio je sačinjen od bušotina opremljenih sa dubinskim pumpama na klipnim šipkama sa gornjim mehaničkim usijedanjem, jer su se pumpe sa donjim mehaničkim usijedanjem pokazale kao veoma efikasan sistem pumpanja. Urađen je proračun sistema za dubinsko pumpanje za odabrani fond bušotina ležišta „T” koje su se u datom momentu nalazile u radu. Proračun je urađen softverom američke kompanije „Theta” pod nazivom „RODSTAR”. Rezultati proračuna za bušotinu T-016 su prikazani na slikama 5 i 7.

Company: NIS

Well: NN-016

Disk file: t-016.rsd

Comment:

RODSTAR 2018 REL 1

© Theta Oilfield Services, Inc. (gotheta.com)

NTC NIS - Naftagas

INPUT DATA				CALCULATED RESULTS (TOTAL SCORE: 67% GRADE: C)					
Strokes per minute:	6.5	Fluid level	(m from surface): 1600	Production rate (m³/D):	4.9	Peak pol. pod load (N):	70336		
Run time (hrs/day):	24.0	(m over pump):	400	Oil production (m³/D):	1.9	Min. pol. rod load (N):	38301		
Tubing pres. (kPa):	500	Stuf. box fr. (N):	445	Strokes per minute:	6.5	MPRL/PPRL:	0.545		
Casing pres. (kPa):	10	Pol. rod. diam. 1.25" (31.8 mm)		System eff. (Motor-> Pump):	17%	Unit struct. loading:	90%		
				Permissible Load Power (kW):	9.6	PRHP / PLHP:	0.32		
				Fluid load on pump (N):	12586	Buoyant rod weight (N):	47051		
				Fluid level tvd (m from surface):	1599.4	N/N _o : .163 , Fo/SKr: .203			
				Pol. Rod Power (kW):	3.1				
Fluid Properties		Motor & Power Meter		Required prime mover size (speed var. not included)		BALANCED (Min Torq)			
Water cut:	62%	Power meter Detent		NEMA D motor:	10 HP				
Water sp. gravity:	1.011	Elect. cost: \$.06/KWH		Single/double cyl. engine:	10 HP				
Oil density (g/cm³):	0.89	Type: NEMA D		Multicylinder Engine:	10 HP				
Fluid sp. gravity:	0.9646								
Pumping Unit: API 7.8				Torque analysis and electricity consumption		BALANCED (Min Torq)			
API Size: C-160-175-86 (Unit ID CUSTOM)				Peak q'box torq. (N-m):		17896			
Crank hole number: # 3 (out of 4)				Gearbox loading:		99%			
Calculated stroke length (cm): 188				Cyclic load factor:		1.684			
Crank rotation with well to right: CCW				Max. cb moment (N-m):		51054.98			
Max. cb moment (N-m): Unknown				Counterbalance effect (N):		56654			
Structural unbalance (N): 220				Daily electr. use (Kwh/Day):		123			
Crank offset angle (degrees): 0.0				Monthly electric bill:		\$226			
				Electr. cost per m³ fluid:		\$1.515			
				Electr. cost per m³ oil:		\$3.987			
Tubing And Pump Information				Tubing, Pump And Plunger Calculations					
Tubing O.D. (mm): 73.025		Upstr. rod-fl. damp. coeff.: 0.100		Tubing stretch (cm):		.0			
Tubing I.D. (mm): 62.001		Dnstr. rod-fl. damp. coeff.: 0.100		Prod. loss due to tubing stretch (m³/D):		.0			
				Gross pump stroke (cm):		153.8			
Pump depth (m): 2000		Tub. anch. depth (m): 2000		Pump spacing (cm from bottom):		50.0			
Pump conditions: gas inf.				Minimum pump length (m):		4.3			
Pump type: Insert		Pump efficiency/fillage: 45% / 95%		Recommended plunger length (m):		1.5			
Plunger size (mm): 31.8		Pump friction (N): 890							
Rod string design				Rod string stress analysis (service factor: 0.9)					
Diameter (mm)	Rod Grade	Length (m)	Min. Ten. Str. (kPa)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (kPa)	Top Minimum Stress (kPa)	Bot. Minimum Stress (kPa)	# Guides/Rod
22.2	TEN D Alloy	684	827371	0.2	58.7%	180155	99874	56631	0
19.1	TEN D Alloy	110	827371	0.2	59.5%	163018	74053	68323	0
19.1	TEN D Alloy	73	827371	0.4	55.7%	149741	63622	63984	3
19.1	TEN D Alloy	1133	827371	0.2	52.5%	141273	58881	-3121	0

NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (top minimum and maximum stresses always include buoyancy).

NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (top minimum and maximum stresses always include buoyancy).

Slika 5. Rezultati proračuna za bušotinu T-016 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)

Company: NIS

Well: TT-061

Disk file: TT-061.rsd

Comment:

RODSTAR 2018 REL 1

© Theta Oilfield Services, Inc. (gotheta.com)

NTC NIS - Naftagas

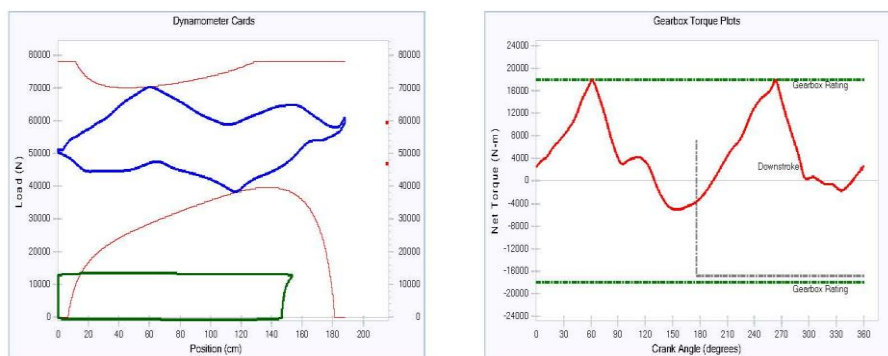
INPUT DATA				CALCULATED RESULTS (TOTAL SCORE: 75% GRADE: B-)					
Strokes per minute:	6.1	Fluid level (m from surface):	1550	Production rate (m³/D):	7.5	Peak pol. pod load (N):	77223		
Run time (hrs/day):	24.0	(m over pump):	303	Oil production (m³/D):	1.7	Min. pol. rod load (N):	32956		
Tubing pres. (kPa):	600	Stuf. box fr. (N):	445	Strokes per minute:	6.1	MPRL/PPRL:	0.427		
Casing pres. (kPa):	10	Pol. rod. diam. 1.25" (31.8 mm)		System eff. (Motor->Pump):	16%	Unit struct. loading:	86%		
				Permissible Load Power (kW):	16.8	PRHP / PLHP:	0.32		
Fluid Properties				Fluid load on pump (N):	18012	Buoyant rod weight (N):	44136		
Motor & Power Meter				Fluid level tvd (m from surface):	1548.8	N/No: .153 , Fo/SKr: .201			
Water cut:	78%	Power meter Detent		Pol. Rod Power (kW):	5.4				
Water sp. gravity:	1.011	Elect. cost: \$ 06/KWH		Required prime mover size (speed var. not included)		BALANCED (Min Torq)			
Oil density (g/cm³):	0.89	Type: NEMA D							
Fluid sp. gravity:	0.9842								
Pumping Unit: UP90									
API Size: C-310-202-118 (Unit ID CUSTOM)									
Crank hole number:	# 4 (out of 5)			NEMA D motor:		15 HP			
Calculated stroke length (cm):	248.8			Single/double cyl. engine:		15 HP			
Crank rotation with well to right:	CCW			Multicylinder Engine:		15 HP			
				Torque analysis and electricity consumption		BALANCED (Min Torq)			
Max. cb moment (N-m):	Unknown			Peak q'box torq (N-m):		32187			
Structural unbalance (N):	1120			Gearbox loading:		92%			
Crank offset angle (degrees):	0.0			Cyclic load factor:		1.606			
				Max. cb moment (N-m):		67221.17			
				Counterbalance effect (N):		59046			
				Daily elect. use (Kwh/Day):		205			
				Monthly electric bill:		\$375			
				Electr. cost per m³ fluid:		\$1.601			
				Electr. cost per m³ oil:		\$7.277			
Tubing And Pump Information				Tubing, Pump And Plunger Calculations					
Tubing O.D. (mm):	73.025	Upstr. rod-fl. damp. coeff.:	0.100	Tubing stretch (cm):		.0			
Tubing I.D. (mm):	62.001	Dnstr. rod-fl. damp. coeff.:	0.100	Prod. loss due to tubing stretch (m³/D):		.0			
Pump depth (m):	1853	Tub. anch. depth (m):	1853	Gross pump stroke (cm):		195.6			
Pump conditions:	gas intf.			Pump spacing (cm from bottom):		46.3			
Pump type:	Insert	Pump efficiency/fillage:	41% / 95%	Minimum pump length (m):		4.9			
Plunger size (mm):	38.1	Pump friction (N):	890	Recommended plunger length (m):		1.5			
Rod string design				Rod string stress analysis (service factor: 0.9)					
Diameter (mm)	Rod Grade	Length (m)	Min. Ten. Str. (kPa)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (kPa)	Top Minimum Stress (kPa)	Bot. Minimum Stress (kPa)	# Guides/Rod
22.2	TEN D Alloy	439	827371	0.2	77.8%	197908	86095	57942	0
22.2	TEN D Alloy	283	827371	0.4	63.0%	155209	55080	42986	3
19.1	TEN D Alloy	512	827371	0.4	75.1%	174479	55226	24420	3
19.1	TEN D Alloy	256	827371	0.2	56.1%	116850	17112	8639	0
19.1	TEN D Alloy	229	827371	0.4	48.7%	90556	-100	-3192	3
19.1	TEN D Alloy	134	827371	0.2	39.3%	62571	-13198	-3121	0

NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (top minimum and maximum stresses always include buoyancy).

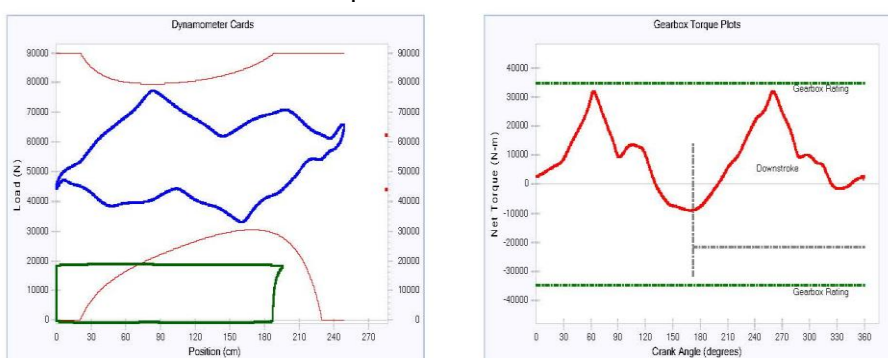
NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (top minimum and maximum stresses always include buoyancy).

Slika 6. Rezultati proračuna za bušotinu T-061 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)

Rezultati proračuna za bušotinu T-061 su prikazani na slikama 6 i 8. Ulazni podaci za proračun sistema za dubinsko pumpanje na klipnim šipkama su: dubina ugradnje pumpe (m), prečik glatke šipke (m), pritisak u tubing u kezingu (bar), procenat vode (%), gustina fluida (g/cm³), pritisak na usisu pumpe (bar), očekivana proizvodnja fluida (m³/dan), unutrašnji i spoljašnji prečnik tubinga (mm), prečnik klipa pumpe (m), dubina tubing ankera (opciono) (m), prečnik klipnih šipki (m), dužina niza klipnih šipki (m), protektori na klipnim šipkama (izliveni / roleri), softverski odabir niza klipnih šipki (proizvođač/opseg), inklinometrija bušotine (izmjerena dubina/ugao nagiba/azimut), tip kačaljke (proizvođač/API oznaka), dužina hoda glatke šipke (m), tip pogonskog motora (elektro), snaga pogonskog motora (kW), zazor između klipa i cilindra (m), viskozitet fluida (cP). Na slikama 7 i 8, nalazi se, sa lijeve strane grafički prikaz očekivanog površinskog i dubinskog dinamograma na osnovu rezultata proračuna, dok je sa desne strane prikazan dijagram očekivanog opterećenja reduktora prilikom jednog hoda kačaljke.



Slika 7. Grafički prikaz rezultata za bušotinu T-016



Slika 8. Grafički prikaz rezultata za bušotinu T-061 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)

Efikasnost rada pumpi odabranog fonda bušotina kretala se u uskim granicama, a srednja efikasnost rada ugrađenih pumpi, koja predstavlja meru uticaja kako karakteristika ležišnog fluida koji se pumpa, tako i tehničkih karakteristika pumpe se kretala oko 57 %.

Od cijelog fonda bušotina odabrana su dva kandidata, T-016 i T-061, sa najmanjom efikasnosti rada pumpi od 40 %, za ugradnju pumpe sa izmenjenim tehničkim karakteristikama.

3. ANALIZA PROIZVODNJE NAFTE IZMIJENJENIM TIPOM DUBINSKIH PUMPI NA KLIPNIM ŠIPKAMA U BUŠOTINAMA LEŽIŠTA „T“

Kako bi se povećao koeficijent efikasnosti, urađeni su novi proračuni. Koristeći iste ulazne podatke, kao u prethodnom slučaju, uz varijaciju koja se odnosi na tehničke karakteristike pumpe (dupli potisni ventil), istim softverom urađen je niz proračuna za odabrane kandidate bušotine ležišta „T“. Najbolja efikasnost rada same pumpe ostvarena je ugradnjom duplog potisnog ventila. Rezultati novog proračuna za bušotine T-016 i T-061 prikazani su na slikama 9 do 12.

Rezultat proračuna je pokazao efikasnost rada pumpe od 70 %, što čini porast od 30 % u odnosu na trenutno primijenjenu pumpu.

RODSTAR 2018 REL 1

© Theta Oilfield Services, Inc. (gotheta.com)

NTC NIS - Naftagas

Company: NIS

Well: NN-016

Disk file: tt-016.rsd

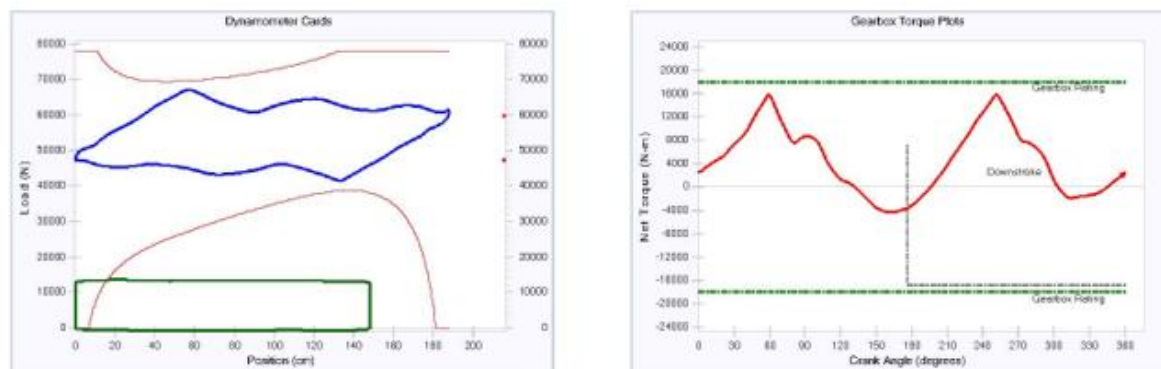
Comment:

INPUT DATA				CALCULATED RESULTS (TOTAL SCORE: 76% GRADE: B-)					
Target Prod. (m ³ /D):	5	Fluid level (m from surface):	1600	Production rate (m ³ /D):	5	Peak pol. pod load (N):	67063		
Run time (hrs/day):	24.0	(m over pump):	400	Oil production (m ³ /D):	1.9	Min. pol. rod load (N):	41451		
Tubing pres. (kPa):	500	Stuf box fr. (N):	445	Strokes per minute:	4.23	MPRL/PPRL:	0.618		
Casing pres. (kPa):	10	Pol. rod. diam. 1.25" (31.8 mm)		System eff. (Motor->Pump):	28%	Unit struct. loading:	86%		
Fluid Properties		Motor & Power Meter		Permissible Load Power (kW):	6.3	PRHP / PLHP:	0.30		
Water cut:	62%	Power meter Detent		Fluid load on pump (N):	12587	Buoyant rod weight (N):	47051		
Water sp. gravity:	1.011	Elect. cost: \$.06/KWH		Fluid level twd (m from surface):	1599.4	N/Nr: 106 , Fo/SKr: 203			
Oil density (g/cm ³):	0.89	Type: NEMA D		Pol. Rod Power (kW):	1.9				
Fluid sp. gravity:	0.9646			Required prime mover size (speed var. not included)		BALANCED (Min Torq)			
Pumping Unit: API 7.8				NEMA D motor:	5 HP				
API Size: C-160-175-86 (Unit ID CUSTOM)				Single/double cyl. engine:	5 HP				
Crank hole number:	# 3 (out of 4)			Multicylinder Engine:	5 HP				
Calculated stroke length (cm):	188			Torque analysis and electricity consumption		BALANCED (Min Torq)			
Crank rotation with well to right:	CCW			Peak q'box torq (N-m):	15826				
Max. cb moment (N-m):	Unknown			Gearbox loading:	87.5%				
Structural unbalance (N):	220			Cyclic load factor:	1.626				
Crank offset angle (degrees):	0.0			Max. cb moment (N-m):	50244.04				
Tubing And Pump Information				Counterbalance effect(N):	55757				
Tubing O.D. (mm):	73.025	Upstr. rod-fl. damp. coeff.:	0.100	Daily electr. use (Kwh/Day):	75				
Tubing I.D. (mm):	62.001	Dnstr. rod-fl. damp. coeff.:	0.100	Monthly electric bill:	\$137				
Pump depth (m):	2000	Tub. anch. depth (m):	2000	Electr. cost per m ³ fluid:	\$0.894				
Pump conditions:	Full			Electr. cost per m ³ oil:	\$2.353				
Pump type:	Insert	Pump vol. efficiency:	70%	Tubing, Pump And Plunger Calculations					
Plunger size (mm)	31.8	Pump friction (N):	890	Tubing stretch (cm):	0				
Rod string design				Prod. loss due to tubing stretch (m ³ /D):	0				
Diameter (mm)	Rod Grade	Length (m)	Min. Ten. Str. (kPa)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (kPa)	Top Minimum Stress (kPa)	Bot. Minimum Stress (kPa)	# Guides/Rod
22.2	TEN D Alloy	684	827371	0.2	48.0%	171719	107994	60765	0
19.1	TEN D Alloy	110	827371	0.2	51.4%	155159	79681	73478	0
19.1	TEN D Alloy	73	827371	0.4	48.3%	142312	68776	68878	3
19.1	TEN D Alloy	1133	827371	0.2	45.6%	134248	63775	-3121	0

NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (for minimum and maximum stresses always include buoyancy).

NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (top minimum and maximum stresses always include buoyancy).

Slika 9. Rezultati proračuna za bušotinu T-016 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)



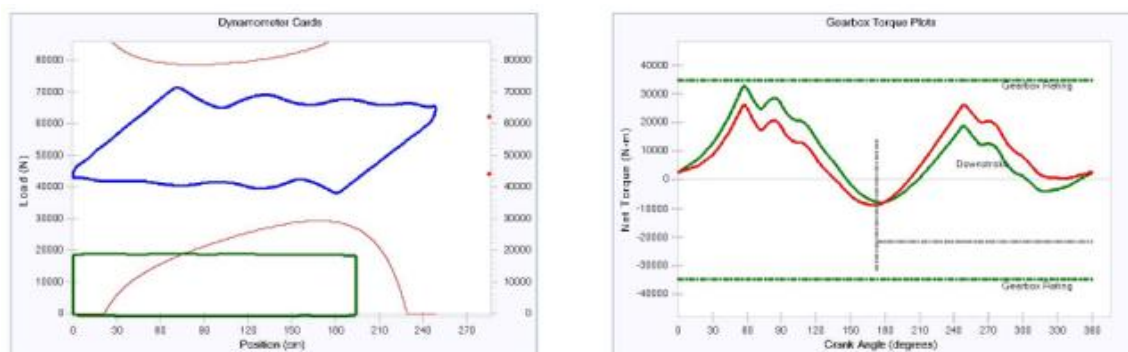
Slika 10. Grafički prikaz rezultata za bušotinu T-016 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)

Pored veće efikasnosti rada sistema za dubinsko pumpanje na klipnim šipkama uz zadržavanje iste proizvedene količine fluida, ugradnjom duplog potisnog ventila u dubinske insert pumpe na klipnim šipkama sa gornjim usijedanjem moguće je optimizirati parametre pumpanja, veoma bitne za uslove pumpanja u koso usmjerenim bušotinama, kao i korištenje manjeg prečnika pumpe čime se omogućuje i optimizacija nadzemne opreme.

Company: NIS		RODSTAR 2018 REL 1							
Well: TT-061		© Theta Oilfield Services, Inc. (gotheta.com)							
Disk file: TT-061.rsd		NTC NIS - Naftagas							
Comment:									
INPUT DATA		CALCULATED RESULTS (TOTAL SCORE: 78% GRADE: B-)							
Target Prod. (m³/D): 7.5	Fluid level (m from surface): 1550	Production rate (m³/D): 7.5	Peak pol. load (N): 71343						
Run time (hrs/day): 24.0	(m over pump): 303	Oil production (m³/D): 1.7	Min. pol. load (N): 38060						
Tubing pres. (kPa): 600	Stuf. box fr. (N): 445	Strokes per minute: 3.27	MPRL/PPRL: 0.533						
Casing pres. (kPa): 10	Pol. rod. diam. 1.25" (31.8 mm)	System eff. (Motor->Pump): 29%	Unit struct. loading: 79%						
		Permissible Load Power (kW): 9	PRHP / PLHP: 0.30						
Fluid Properties		Fluid load on pump (N): 18012	Buoyant rod weight (N): 44136						
Motor & Power Meter		Fluid level lvd (m from surface): 1548.8	N/Nr: .082, Fo/SKr: 201						
Water cut: 78%	Power meter: Detent	Pol. Rod Power (kW): 2.7							
Water sp. gravity: 1.011	Elect. cost: \$.06/KWH	Required prime mover size (speed var. not included)	BALANCED (Min. Energy)	BALANCED (Min Torq)					
Oil density (g/cm³): 0.89	Type: NEMA D	NEMA D motor: 10 HP	8 HP	8 HP					
Fluid sp. gravity: 0.9842		Single/double cyl. engine: 8 HP	8 HP	8 HP					
		Multicylinder Engine: 10 HP	8 HP	8 HP					
Pumping Unit: UP90		Torque analysis and electricity consumption		BALANCED (Min. Energy)	BALANCED (Min Torq)				
API Size: C-310-202-118 (Unit ID CUSTOM)		Peak q'box torq (N-m): 32980	26309						
Crank hole number: # 4 (out of 5)	248.8	Gearbox loading: 94.2%	75.2%						
Calculated stroke length (cm): 248.8	CCW	Cyclic load factor: 1.669	1.545						
Crank rotation with well to right: CCW		Max. cb moment (N-m): 58091.9	66010.1						
Max. cb moment (N-m): Unknown		Counterbalance effect (N): 51179	58003						
Structural unbalance (N): 1120		Daily electr. use (Kwh/Day): 106	108						
Crank offset angle (degrees): 0.0		Monthly electric bill: \$194	\$198						
		Electr. cost per m³ fluid: \$0.847	\$0.864						
		Electr. cost per m³ oil: \$3.852	\$3.929						
Tubing And Pump Information		Tubing, Pump And Plunger Calculations							
Tubing O.D. (mm): 73.025	Upstr. rod-fl. damp. coeff.: 0.100	Tubing stretch (cm): .0							
Tubing I.D. (mm): 62.001	Dnstr. rod-fl. damp. coeff.: 0.100	Prod. loss due to tubing stretch (m³/D): .0							
Pump depth (m): 1853	Tub. anch. depth (m): 1853	Gross pump stroke (cm): 194.1							
Pump conditions: Full		Pump spacing (cm from bottom): 46.3							
Pump type: Insert	Pump vol. efficiency: 72%	Minimum pump length (m): 4.9							
Plunger size (mm): 38.1	Pump friction (N): 890	Recommended plunger length (m): 1.5							
Rod string design		Rod string stress analysis (service factor: 0.9)							
Diameter (mm)	Rod Grade	Length (m)	Min. Ten. Str. (kPa)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (kPa)	Top Minimum Stress (kPa)	Bot. Minimum Stress (kPa)	# Guides/Rod
22.2	TEN D Alloy	439	827371	0.2	60.9%	182752	99253	67453	0
22.2	TEN D Alloy	283	827371	0.4	51.3%	143786	64591	50151	3
19.1	TEN D Alloy	512	827371	0.4	63.5%	162739	64977	31559	3
19.1	TEN D Alloy	256	827371	0.2	49.1%	109829	24250	13703	0
19.1	TEN D Alloy	229	827371	0.4	43.9%	85630	4964	-1274	3
19.1	TEN D Alloy	134	827371	0.2	37.6%	60805	-11279	-3121	0
NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (low minimum and maximum stresses always include buoyancy).									

NOTE: Displayed bottom minimum stress calculations do not include buoyancy effects (top minimum and maximum stresses always include buoyancy).

Slika 11. Rezultati proračuna za bušotinu T-061 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)



Slika 12. Grafički prikaz rezultata za bušotinu T-061 ("Theta"- RODSTAR, NIS Novi Sad)

Dobiveni rezultati proračuna sistema za dubinsko pumpanje su bili u skladu sa očekivanjima i pokazali su znatno unapređenje rada cjelokupnog sistema. Do ovog poboljšanja je došlo usljed bolje hermetičnosti potisnog ventila, što za posledicu ima istu proizvodnju fluida, uz mogućnost smanjenja prečnika pumpe i/ili optimiziran rad nadzemne opreme, a pozitivni efekti toga su: manje habanje pokretnih dijelova kačaljke, manje opterećenje reduktora, manje opterećenje konstrukcije kačaljke, povećanje dužine hoda klipa u cilindru pumpe, bezbjedniji rad kačaljke sa aspekta HSE, potreban je slabiji elektro motor, manje habanje glatke šipke i njenih zaptivnih elemenata, produženje radnog vijeka klipnih šipki i njihovih spojnice zbog manjeg broja ciklusa

promena opterećenja, produženje radnog vijeka tubinga u slučaju kontakta sa klipnim šipkama zbog smanjenog broja ciklusa, produženje radnog vijeka ventilskih sklopova pumpe zbog smanjenog broja ciklusa, produženje radnog vijeka cilindra i klipa pumpe zbog smanjenog broja ciklusa.

ZAKLJUČAK

Na osnovu svih izvršenih proračuna i praktične provjere na postojećim bušotinama ležišta „T“, donijeta je odluka da se, umjesto insert pumpi sa gornjim usijedanjem i jednim potisnim ventilom, u sve bušotine koje će se bušiti na ležištu „T“, izvrši ugradnja insert pumpi sa gornjim usijedanjem i duplim potisnim ventilom, zbog postizanja efikasnijeg rada kompletnog sistema. Pri kupovini opreme za dubinske pumpe na klipnim šipkama specijalno je naručeno nekoliko sjedišta i kuglica za potisni ventil, u cilju testiranja u bušotinama u kombinaciji sa svom ostalom opremom koja se u datom momentu nalazila na stanju u skladištima kompanije.

Pumpe izmijenjenih tehničkih karakteristika, dodavanjem još jednog potisnog ventila, ugrađene su pri remontu bušotina i podaci stvarnih mjerenja su se ponovo poklopili sa rezultatima iz proračuna. Obje bušotine kandidati, na kojima je izvršena ugradnja duplog potisnog ventila pokazale su i značajno poboljšanje u dužini trajanja međuremontnog perioda.

Kod bušotine T-016, međuremontni period, prije ugradnje dubinske pumpe na klipnim šipkama sa gornjim usijedanjem i duplim potisnim ventilom je iznosio 105 dana, a nakon toga 401 dan, sa napomenom da je bušotina još uvijek u radu.

Kod bušotine T-061, međuremontni period, prije ugradnje dubinske pumpe na klipnim šipkama sa gornjim usijedanjem i duplim potisnim ventilom je iznosio 143 dana, a nakon toga 655 dana, sa napomenom da je bušotina još uvijek u radu.

Zbog istih karakteristika i svih ostalih bušotina na naftnom polju „T“, isti tip pumpi će se, pri remontu, sukcesivno ugrađivati i u sve ostale bušotine naftnog polja.

LITERATURA

- [1] Soleša M., 2003. Eksploatacija nafte mehaničkim metodama, NIS-Naftagas Novi Sad
- [2] Schlumberger/The Defining Series: Rod Pump Systems, URL: <https://www.slb.com/resource-library/oilfield-review/defining-series/defining-rod-pumps>
- [3] West, Ian M., 2019. Petroleum geology of the south of England, URL: <https://wessexcoastgeology.soton.ac.uk/Oil-South-of-England.htm>
- [4] PETROTEC/Downhole pump Five Basic Components of a Sucker Rod Pump, URL: http://pgp.co.id/products/Downhole_Equipment_Products.html
- [5] Zelić M., Čikeš M., 2006. Tehnologija proizvodnje nafte dubinskim crpkama, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- [6] Production Technology/API Subsurface Pump Designation URL: <https://production-technology.org/api-subsurface-pump-designation/>
- [7] LUFKIN DON NAN, URL: <https://www.don-nan.com/cast-the-anchor>
- [8] JOURNAL OF PETROLEUM TECHNOLOGY/Legends of Artificial Lift-Part 3, URL: <https://jpt.spe.org/legends-artificial-lift-part-3-history>
- [9] SNPC, URL: <http://www.sinopec.com/English/Product/9560383238.html>

-
- [10] Takacs, G., 2015. Sucker-rod Pumping handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping, University of Miskolc, Hungary
- [11] Bommer, Paul M., Podio A. L., 2015. The Beam Lift Handbook, The University of Texas, Austin
- [12] Miroslav P. Crnogorac, Dušan Danilović, Vesna D. Karović-Maričić, Branko Leković, Analiza primene višekriterijumskih modela u cilju izbora optimalne mehaničke metode za proizvodnju nafte, Univerzitet u Beogradu, Stručni rad.
- [13] Niladri K. mitra. Principles of artificial lift
- [14] Design Calculation for Sucker Rod Pumping Systems (Conventional Units)
- [15] Lowell, J.M. 1997: Structural Styles in Petroleum Exploration, Oil & Gas Consultants International Inc., Tulsa, Oklahoma, USA.
- [16] API Technical report 11L fifth edition, Jun 2008.
- [17] Production Technology, Heriott Watt University, 2014.
- [18] Ahmet, T., 2000: Reservoir Engineering Handbook, Gulf Publishing, USA
- [19] Johnson, R., 2001: Development Geology, Imperial College, London, England
- [20] Brown, K. E.: The Technology of Artificial Lift, Petroleum Publishing Co., Tulsa (1980).
- [21] Clegg, J. D.: "High Rate Artificial Lift", JPT (March, 1988).
- [22] Brown, K. E.: "Overview of Artificial Lift System", JPT (Oct., 1982).
- [23] Software "Theta"- RODSTAR, Kompanija NIS Novi Sad

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.88

Pregledni rad

RUDARSTVO KRITIČNIH MINERALNIH SIROVINA U KONTEKSTU METODA OTKOPAVANJA

Tihomir Knežiček, dr.sc, red. prof. Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Urfeta Vežzagića 2, Tuzla, Bosna i Hercegovina, tihomir.knezicek@untz.ba

Sažetak

Metode otkopavanja i ekstrakcije kritičnih mineralnih sirovina, u kojoj grupi su i rude litijuma, ne razlikuju se od metoda otkopavanja metaličnih ili nemetaličnih mineralnih sirovina u čvrstom ili tečnom agregatnom stanju. Svaka od metoda ima varijacije i modalitete koji se primjenjuju u zavisnosti od prirodnih uslova ležišta i primijenjene rudarske mehanizacije za kopanje ili ekstrakciju. U globalu, kritične mineralne sirovine se otkopavaju metodama površinske, podzemne i bušotinske eksploatacije, kao i kombinacijom površinske i podzemne eksploatacije. Zakonitosti u procesu eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina su identične zakonitostima eksploatacije drugih čvrstih mineralnih sirovina, pa se otkopavanje ruda litijuma i drugih kritičnih mineralnih sirovina mora sagledavati isključivo iz perspektive rudarske struke i nauke.

Ključne riječi: kritične mineralne sirovine, litijum, površinska eksploatacija, podzemna eksploatacija, bušotinska eksploatacija

Summary

Mining methods of excavating and extracting critical raw minerals, where lithium ores belong, do not differ from the mining methods applied for metallic or non-metallic raw minerals. Each of the methods has variations and modalities that are applied depending on the ore body genesis and properties, and the applied digging or extraction mining mechanization. Globally, critical raw minerals are mined applying surface, underground and borehole - well exploitation mining methods, as well as a combination of surface and underground mining. The exploitation principles of critical raw minerals are identical to the principles of other solid mineral raw minerals exploitation, so the extraction of lithium ores, and other critical raw materials, must be considered exclusively from the perspective of mining practices and since only.

Key words: critical raw minerals, lithium, surface mining, underground mining, well exploitation

1. UVOD

Rudarstvo je esencija egzistencije i napretka čovječanstva. U današnjem vremenu apsolutno sve što služi čovječanstvu, a da je napravljeno kao proizvod čovjekove djelatnosti, u sebi sadrži komponentu rudarstva. Odjeća, energija, komunikacije, saobraćaj, hrana, infrastruktura, zdravlje – ne može bez proizvoda rudarstva, primarno bez metaličnih i nemetaličnih mineralnih sirovina. Širok je spektar vrsta mineralnih sirovina neophodnih za životne funkcije,

a u tu kategoriju spadaju i kritične mineralne sirovine, među kojima su metali litijum i bor trenutno najaktuelniji. O ovoj „nevidljivoj“ činjenici rijetko se govori, a rudarstvo se često posmatra kao teška, opasna i nepoželjna djelatnost. A to je djelatnost bez koje se ne može. Logičan slijed konstatacije je da treba istraživati mineralne sirovine, otvarati rudnike, eksploatirati mineralnu sirovinu i na taj način omogućiti funkcionisanje čovječanstva. BiH ima značajne rezerve različitih mineralnih sirovina i može svoj prosperitet graditi na rudarstvu. EU u kontekstu korištenja mineralnih resursa smatra da BiH ima nekoliko prilika za strateško partnerstvo sa EU u oblasti mineralnih resursa, sa ciljem promocije ekonomskog razvoja i drugih oblasti, pa zato ohrabruje BiH da identifikuje održive projekte, uključujući potencijale u oblasti kritičnih mineralnih sirovina.

Činjenica je da eksploatacija mineralnih sirovina - rudarstvo može da ima negativan uticaj na okoliš degradacijom tla, zagađenjem tla i vode, poremećajem biodiverziteta, smanjenjem šumskih područja i narušenim ambijentalnim pejzažom. Početkom 21. stoljeća znatno se mijenja koncepcija kontrole ekstrakcije mineralnih sirovina, pa se primjenjuju novi pristupi korištenja rudarske opreme i procesa prerade mineralnih sirovina, kao i primjena strogih mjera zaštite okoliša. Rudarski objekti otvoreni u zadnjih 20 godina u BiH već daju odgovor na nove koncepcije kontrole rudarskih radova i prerade mineralnih sirovina, ali i dalje sporadično se javljaju incidenti koji ugrožavaju ili narušavaju okoliš. Prevencija ugrožavanja okoliša je u:

- poštivanju zakonodavnog okvira (koji predviđa rekultivaciju i prenamjenu degradiranih površina nastalih eksploatacijom mineralnih sirovina i formiranjem odlagališta), čije praćenje je u nadležnosti rudarskih inspekcija i
- primjeni novih tehnologija koje onemogućavaju negativan uticaj rudarstva na okoliš, a koje obezbjeđuju povećanu sigurnost osoblja i opreme u rudarskim objektima, kao i sigurnost u procesima prerade mineralnih sirovina posebno u oblasti tretmana industrijskih otpadnih voda i procjeđivanja odlagališta otkrivke na površinskim kopovima metalčnih ležišta.

Bosansko-hercegovačko rudarstvo je tradicionalno naklonjeno eksploataciji ruda olova, cinka, barita, kobalta, zlata, srebra, boksita, bakra, željeza, mangana, kao i eksploataciji uglja, pijeska, gipsa, gline, soli, šljunka i drugih mineralnih sirovina. Eksploatacija se bazira na površinskoj i podzemnoj eksploataciji, kao i na bušotinskoj eksploataciji slane vode na ležištu kamene soli Tetima kod Tuzle. Bosna i Hercegovina ima značajne rezerve različitih metalčnih mineralnih sirovina, a eksploataciju diktiraju potrebe tržišta, pa se rudnici novi otvaraju, a finansijski neisplativi se zatvaraju (ili konzerviraju). Promjene na tržištu cijena mineralnih sirovina ili proizvoda baziranih na mineralnim sirovinama, dešavaju se vrlo frekventno i često neočekivano, što ima direktnog uticaja na rudarstvo, pa time i na efekte rudarske eksploatacije. Korištenje informacija sa interneta omogućava kvalitetno i efikasno planiranje dinamike rudarskih radova koje se može prilagođavati promjenama tržišne cijene mineralnih sirovina. Primjer uticaja cijene finalnog proizvoda na rudarsku industriju je primjer Fabrike čelika i željeza ArcelorMittal Zenica, u kojoj je 7. 1.2024. godine počeo proces pokretanja visoke peći, kako bi se nastavila proizvodnju prekinutu u novembru 2023. godine. Proizvodnja je obustavljena 11.11.2023. godine zbog, kako je tada saopštila uprava, loših uslova na tržištu čelika. Korporacija ArcelorMittal, osim proizvodnje u Zenici, rukovodi i najvećim regionalnim rudnikom željezne rude u Prijedoru, koji je, također, obustavio proizvodnju u periodu kad

fabrika nije radila. Primjer internet informacija od značaja za tržište mineralnih sirovina je na <https://markets.businessinsider.com/commodities/> gdje se na dnevnoj osnovi može pratiti promjena tržišnih uslova za svaku mineralnu sirovinu.

2. METODE EKSPLOATACIJE KRITIČNIH MINERALNIH SIROVINA

Raspoloživost kritičnih mineralnih sirovina su uslov razvoja globalne industrije i tehnološkog napretka. Pod pojmom sirovine podrazumijevaju se minerali metala, industrijski minerali, građevinski materijali, drvo i prirodna guma. Europska Komisija je 2011. godine donijela odluku - zakon o službenom popisu kritičnim sirovinama, a popis se ažurira svake 3 godine, stoga se mijenja i broj sirovina koje se smatraju kritičnima. Tako je 2011. godine na listi bilo 14 sirovina, 2014. – 20, 2017. – 27, 2020. – 83 sirovinaka materijala, a u 2023. na listi je 87 kandidatskih elemenata. Sirovine su podijeljene u tri kategorije: strateške, kritične i ne-kritične. Kandidati u 2023. su 34 kritične mineralne sirovine, uključujući 17 strateških mineralnih sirovina. Strateške mineralne sirovine (i proizvodi od mineralnih sirovina) za EU su: aluminijum/boksit, litijum, laki elementi rijetkih zemalja, teški elementi rijetkih zemalja, silicijum metal, galijum, mangan, germanium, prirodni grafit, bizmut, titanium metal, bor, grupa metala platine, volfram, kobalt, bakar i nikl. Ostali kritični minerali su ugalj (za domaćinstva), fosfor, antimon, feldspat, skandium, arsen, magnezijum, barit, stroncium, berilium, tantal, hafnium, niobium, helijum, stijena fosfata i vanadijum¹.

Bosna i Hercegovina nema ni na jednom nivou uprave / entiteta definisano koje su strateške mineralne sirovine za BiH, osim što je odlukom Vlade Federacije BiH definisano da su nafta i plin strateške mineralne sirovine za FBiH.

Kritične mineralne sirovine se eksploatišu u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju, i shodno agregatnom stanju primjenjuje se određena metoda eksploatacije. Mineralne sirovine u čvrstom stanju se uobičajeno eksploatišu klasičnim metodama površinske i podzemne eksploatacije, kao i kombinacijom površinske i podzemne eksploatacije. Mineralne sirovine u tečnom ili gasovitom stanju (nafta, plinovi, mineralne i termalne vode, litijum i bor u podzemnim akviferima) eksploatišu se bušotinskom eksploatacijom. Bušotinskom eksploatacijom tj. hidro rastvaranjem dobijaju se i mineralne sirovine koje su u čvrstom agregatnom stanju, ali koje se rastvaraju tečnom supstancom. Tako se kamena so, koja je u čvrstom stanju, rastvara vodom koja se bušotinski vadi u vidu slanica – so rastopljena u vodi. Rastvaranje mineralne sirovine u čvrstom stanju radi se i hemijskim supstancama koje se ubacuju kroz bušotine, koje rastvaraju npr. rude litijuma i bora koje su u čvrstom stanju, a vade se bušotinama u vidu (toplog) tečnog koncentrata.

Primjena metode otkopavanja, kao i mjesto otvaranje eksploatacionog objekta, zavisi od geneze i geoloških karakteristika ležišta, prostornog položaja ležišta, lokalnih uslova (voda, klima, infrastruktura), finansijskih kapaciteta investitora (eksproprijacija zemljišta, nabavka opreme i kadrova, dobijanje dozvola) i osiguranja snabdijevanja materijalima potrebnim za proizvodne procese.

¹ European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report, Brussels, 2023.

2.1 Površinska eksploatacija kritičnih mineralnih sirovina

Površinska eksploatacija kritičnih mineralnih sirovina obavlja se po istom konceptu kao površinska eksploatacija bilo koje mineralne sirovine u čvrstom agregatnom stanju. Karakteriše se iskopanim prostorom vidljivim na površini terena koji formira krater u zemlji i brdovita odlagališta na obližnjem prostoru. Krater je formacija etaža i drugih rudarskih objekata koji se u toku eksploatacije proširuje po površini (u svim pravcima ili u određenom pravcu – u zavisnosti od sistema eksploatacije) i po dubini, sve do ekonomski isplative dubine kopanja. U površinskoj eksploataciji obavljaju se procesi bušenja i miniranja kod čvrstih stijena, kopanja, utovara i transporta mineralne sirovine. Nekorisni materijal iz kratera kopa odlaže se na odlagališta koja su posebni rudarski objekti. Odlagališta mogu biti unutarnja ili vanjska. Kod unutarnjih odlagališta nekorisni materijal – otkrivka se odlaže u već otkopani prostor u konturi kopa. Druga vrsta su vanjska odlagališta gdje se odlaže otkrivka koja će permanentno ostati na mjestu gdje je deponovana izvan konture kopa. Površinska eksploatacija kritičnih mineralnih sirovina obavlja se dubokim površinskim kopovima zbog prirode zalijeganja ležišta mineralne sirovine. U procesu eksploatacije najčešće se primjenjuje sistem diskontinuirana eksploatacija koji uključuje korištenje osnovne mehanizacije: bager kašikar (užetni ili hidraulični) i kamion (damper). Pored osnove mehanizacije, neophodna je i pomoćna mehanizacija – buldozeri, dreglajni, grederi itd.



Slika 1. Površinski kop litijuma Kathleen Valley, Lione, Australija

U posljednjih 20 godina, u razvijenijim zemljama prisutna je automatizacija procesa koja se bazira na primjeni satelitskih tehnologija na autonomnom upravljanju rudarskom mehanizacijom (rad mašina bez ljudske posade). Površinska eksploatacija ima negativan uticaj na okoliš sa aspekta degradacije tla i eventualnog procjeđivanja odlagališta na metalničnim ležištima mineralnih sirovina. U oba slučaju mogu se preduzeti mjere zaštite okoliša rekultivacijom, prenamjenom otkopanih prostora i odlagališta i tretmana procjednih voda iz odlagališta. Na slici 1. prikazan je izgled i veličina površinskog kopa litijuma Talison Lithium's

Greenbushes, Australija, a na slici 2. prikazan je dio diskontinuiranog sistema eksploatacije bager kašika – kamion na površinskom kopu Greenbushes, a na slici 3 autonomna bušača garnitura na površinskom kopu rude litijuma Greenbushes u Australiji.



Slika 2. Utovar rude litijuma hidrauličnim bagerom kašikarom u kamion na Talison Lithium's Greenbushes u Australiji



Slika 3. Izbušene minske bušotine pripremljene za punjenje eksplozivom na Talison Lithium's Greenbushes u Australiji

Uticaj na okoliš površinske eksploatacije prvenstveno se ogleda u degradaciji velikih površina tla i remećenje prirodnog krajolika, a kod odlagališta metalnih mineralnih sirovina javlja se procjeđivanje voda kontaminiranih metalima koji mogu uticati na zagađenje tla i vode u blizini rudarskih radova, ali i u udaljenijim područjima gdje se tlo i voda kontaminiraju dotokom zagađenih podzemnih voda.

2.2 Podzemna eksploatacija kritičnih mineralnih sirovina

Podzemna eksploatacija mineralnih sirovina je način dobijanja mineralne sirovine kopanjem u podzemnim prostorima – rudnicima. Konceptija i princip kopanja kritičnih mineralnih sirovina se ne razlikuje od principa kopanja metalnih mineralnih sirovina metodama podzemne eksploatacije.

Rudarske operacije kopanja i transporta se odvijaju u podzemnim prostorijama, a drugi dio procesa eksploatacije mineralne sirovine odvija se na površini. Ostali dijelovi procesa su transport i prerada mineralne sirovine uz prisustvo pratećih postrojenja i rudničke infrastrukture. U podzemnoj eksploataciji primjenjuje se više metoda otkopavanja, u zavisnosti od vrste mineralne sirovine, prirodnih karakteristika rudnog ležišta i primijenjene mehanizacije. Proizvodni kapaciteti su manji u odnosu na površinsku eksploataciju zbog potrebe ostavljanja sigurnosnih stubova, uslova rada i drugih proizvodnih uticajnih faktora.

U zavisnosti do rudarsko-geoloških uslova koristi se rudarska mehanizacija za kopanje, proces bušenja i miniranja, ručni ili mašinski utovar materijala u transportno sredstvo i transport materijala na površinu terena gumenim trakama, vagonetima, jamskim kamionima ili drugim transportnim sredstvom². Od početka 21. stoljeća procesi kopanja i transporta se odvijaju autonomnom mehanizacijom bez ljudske posade, tj. procesima se upravlja iz nadzornih stanica koje su na površini terena.

Projekat rudnika litijuma u Jadru kod Loznice, Srbija, predviđa izgradnju i razvoj rudnika sa podzemnom eksploatacijom sa pratećom infrastrukturom i opremom, uključujući električne podzemne kamione, kao i izgradnju postrojenja za pripremu litijuma i proizvodnju litijum karbonata.



Slika 4. Podzemni rudnik litijuma Mt Marion u regiji Goldfields Zapadna Australija

² <https://www.mineralresources.com.au/news-media/underground-development-supporting-next-chapter-for-mt-marion/>



Slika 5. Podzemni rudnik litijuma Wolfsberg Project u Carinthia, Austrija, dobio je sve potrebne dozvole za početak proizvodnje u 2025.



Slika 6. Podzemni rudnik litijuma Wolfsberg Project u Carinthia, Austrija, zvaničan početak proizvodnje u 2025.

Uticaj na okoliš podzemne eksploatacije prvenstveno se ogleda u (maloj) mogućnosti slijeganja površine terena uslijed formiranja podzemnih prostorija tj. komora koje se nakon završetka eksploatacije obično zapunjavaju čvrstim ili muljevitim materijalom.

2.3 Kombinovane metode eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina

Kombinovane metode eksploatacije u rudarstvu uopšteno primjenjuju se sa ciljem maksimalne iskorištenosti rudnog ležišta, a predstavljaju rudarske operacije koje se odvijaju na dva načina. Prvi način eksploatacije kombinovanom metodom primjenjuje se u slučajevima istovremene primjene metoda površinske i metoda podzemne eksploatacije. Istovremena eksploatacija se, u

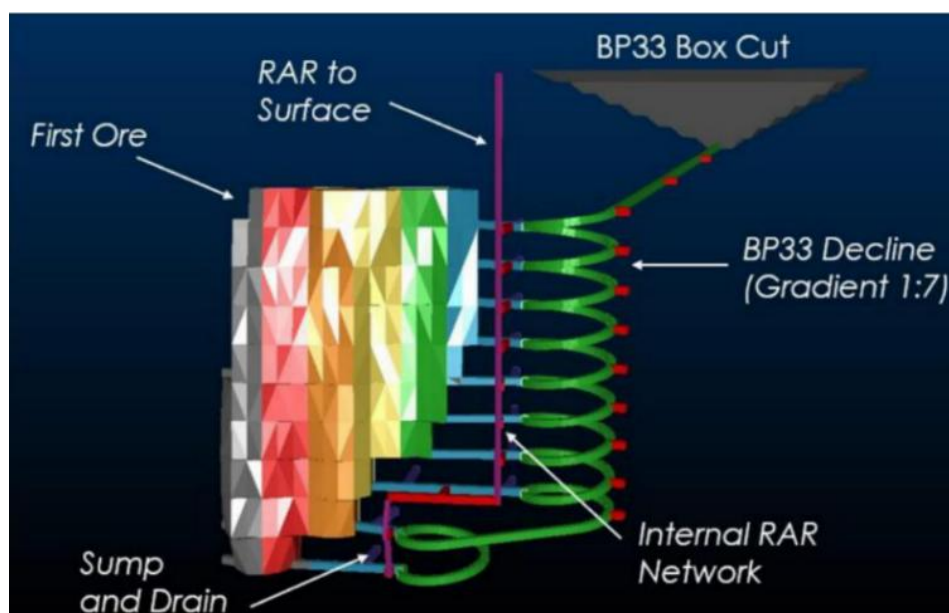
najvećem broju slučajeva, realizuje izradom podzemnih rudarskih prostorija iz prostora kratera aktivnog površinskog kopa, a otvaranje podzemnih prostorija se vrši iz etaža površinskog kopa. Tako se jedan prostorni dio ležišta kritične mineralne sirovine eksploatiše, u najvećem broju slučajeva, sistemom diskontinuirane rudarske mehanizacije (bager kašikar – kamion), a drugi dio istog ležišta, koje je izvan konture površinskog kopa, eksploatiše se jednom od metoda podzemne eksploatacije. U toj koncepciji, izvoz otkopane mineralne sirovine vrši se do izlaza na etažu površinskog kopa gdje je ulaz u ležište, a transport do površine terena se vrši kamionima koristeći transportnu infrastrukturu u konturi kopa – etaže, berme, rampe. Drugi način izvoza otkopane mineralne sirovine je vertikalni transport kroz izgrađeno okno kojim se vagoneti sa utovarenom mineralnom sirovinom izvoze na površinu terena.

Drugi način eksploatacije kombinovanom metodom primjenjuje se u slučajevima završetka površinske eksploatacije sa nastavkom radova metodama podzemne eksploatacije. Završetkom planiranih rudarskih radova na površinskom kopu ostaje krater kopa sa elementima završne konture površinskog kopa. Ukoliko ležište kritične mineralne sirovine nije u cijelosti otkopano (jer se pokazala finansijska i operativna neopravdanost daljeg produbljavanja površinskog kopa), onda se iz dna površinskog kopa ili sa jedne od neradnih etaža, otvara podzemni rudnik. Otvaranje se odvija klasičnim metoda podzemne eksploatacije izradom vertikalnog ulaza tj. okna, sa kasnijim razvojem podzemnih rudarskih prostorija po horizontima. Spuštanjem radova u dubinu moguće je u cijelosti eksploatisati ležište mineralne sirovine. Transport iskopane mineralne sirovine vrši se klasičnim transportnim sredstvima u podzemnim rudnicima (grabuljari, trake, vagoneti, jamski kamioni), a izlaskom u prostor površinskog kopa transport do površine terena se vrši kamionima koristeći transportnu infrastrukturu u konturi kopa – etaže, berme, rampe.

Ruda litijuma u Whabouchi Lithium Mine, Quebec, u Kanadi je eksploatisana metodama površinske eksploatacije od 2020. godine i nakon iskorištenja ležišta površinskim kopom (nakon 25 godina) planirano je otvaranje podzemnog rudnika koji će biti u funkciji još 8 godina.



Slika 7. Whabouchi Lithium Mine površinski kop, Quebec, Kanada



Slika 8. Projekcija prelaska površinske eksploatacije litijuma na podzemnu eksploataciju Whabouchi Lithium Mine – BP33 Box Cut – površinski kop i raspored podzemnih prostorija *sa ulazom u dnu kratera kopa*

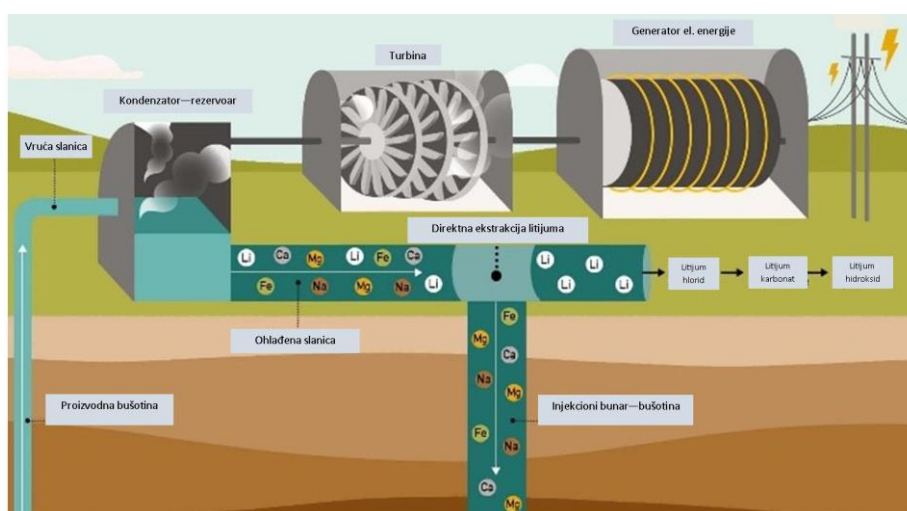


Slika 9. Kombinacija podzemne i površinske eksploatacije sa otvaranjem podzemnih prostorija sa nivoa dna kratera površinskog kopa u Kathleen Valley, Australija

U kombinovanim metodama eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina primjenjuju se procesi bušenja, miniranja, kopanja, utovara, transporta, odlaganja i pripreme mineralne sirovine. Uticaj na okoliš kombinacije površinske i podzemne eksploatacije ogleda se u sjedinjenom štetnom uticaju degradacije tla i mogućnosti slijeganja površine terena usljed formiranja podzemnih prostorija. Pored navedenih ključnih štetnih uticaja, prisutni su štetni uticaji uzrokovani bukom, zagađenjem zraka i vode, vibracijama, narušavanje biodiverziteta, uklanjanje infrastrukture radi napredovanja rudarskih radova, pojave klizišta i slično.

2.4 Bušotinska eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina

Bušotinska (kontinentalna) eksploatacija karakteriše eksploataciju tečnih i gasovitih mineralnih resursa, gdje se putem pumpnih postrojenja resurs izvlači na površinu terena i transportuje za dalju preradu. Bušotinska eksploatacija je i eksploatacija čvrstih mineralnih sirovina koje se rastvaraju putem tečnog medija i u vidu tekućine izvlače pumpama na površinu terena i transportuju za dalju preradu. Kritične mineralne sirovine, posebno litijum i bor, mogu se eksploatirati bušotinskom eksploatacijom. Proces eksploatacije se odvija bušenjem vertikalne bušotine do ležišta kritične mineralne sirovine, bušenjem povratne vertikalne bušotine do ležišta, cementacija bušotina, izgradnja sistema za injektiranje tj. punjenje bušotine koncentratom reagenasa koji razgrađuju i apsorbiraju litijum i prateće minerale, ugradnja pumpnih sistema za ekstrakciju zasićenog tečnog koncentrata i usmjeravanje koncentrata na dalju pripremu mineralne sirovine. Smatra se da je ovaj način ekstrakcije litijuma najekonomičniji i da je rasprostranjen kao metod u velikom broju država.

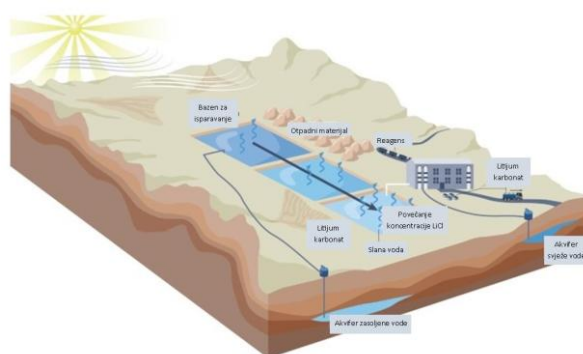


Slika 10. Konceptija bušotinske eksploatacije sa injektiranjem koncentrata



Slika 11. Pumpno postrojenje za injektiranje koncentrata

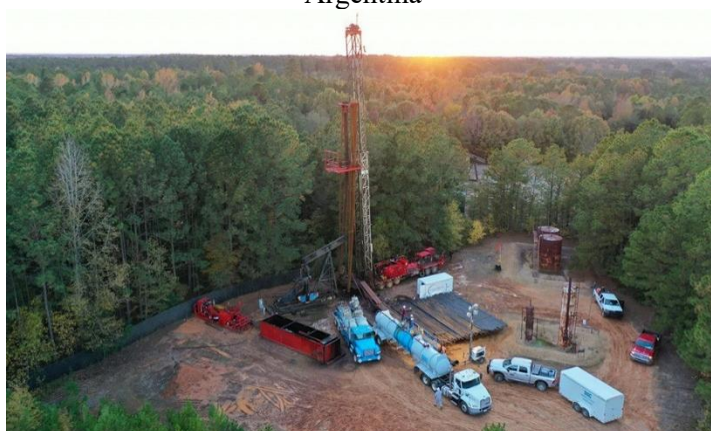
Razvojem tehnike i tehnologije iznalaze se i primjenjuju različite metode eksploatacije kritičnih mineralnih sirovina. Inovativne metode su često eksperimentalnog karaktera, još uvijek nemaju masovnu primjenu i često nemaju dokazanu efikasnost i finansijsku isplativost proizvodnih procesa. Jedna od novih metoda je tzv. „Metoda direktne ekstrakcije litijuma“³, a litijum je upravo element koji se dobija na različite načine, u zavisnosti od prirodnih okolnosti sredine koja sadrži litijum i druge kritične mineralne sirovine. Inovativnost metode primarno se odnosi na korištenje evaporacionih bazena i metoda pripreme mineralne sirovine, ali ne i na osnovne alate – bušotine. Metode ekstrakcije litijuma iz termalnih voda, morske vode, glinovitih naslaga i drugih prirodnih sredina nije predmet ovog rada.



Slika 12. Koncept direktne bušotinske eksploatacije litijuma iz slanih akvifera



Slika 13. Bušotinska direktna eksploatacija litijuma na Kachi Lithium Brine Project kod Catamarca, Argentina



Slika 14. Bušotinska direktna eksploatacija na ležištu The Smackover Formation, Arkanzas, SAD, koji je krečnjački akviFER sa visokom koncentracijom litijuma

³ <https://lithiumharvest.com/knowledge/lithium-extraction/lithium-extraction-methods/>

3. REKULTIVACIJA RUDARSKIH PROSTORA

Uticaj na okoliš bušotinske eksploatacije ogleda se u štetnom djelovanju koncentrata koji sadrži agresivne kiseline koje mogu uticati na kvalitet tla i vode u prostoru eksploatacije ležišta, i to u prostoru ispod bušotina ili minimalno iznad dna bušotine, s obzirom da se bušotine cementiraju čime je onemogućen uticaj koncentrata i kiselina na prostor tla kroz koji prolazi bušotina.

Eliminacija štetnih uticaja eksploatacije ruda litijuma vrši se stalnim monitoringom proizvodnih procesa, prerade i pripreme mineralne sirovine, poštivanjem zakonodavnih okvira i primjenom koncepta održivog razvoja rudnika. Javnost često smatra da eksploatacija ruda litijuma nepovratno devastira okoliš, međutim veliki je broj primjera koji dokazuju suprotno. Uobičajen način rehabilitacije devastiranog ili degradiranog okoliša je planska rekultivacija i prenamjena prostora, kao što je to slučaj površinskog kopa Thacker Pass u Nevadi, kanadsko-američke kompanije Lithium Americas gdje se nakon završetka svake faze eksploatacije litijuma odlagališni i okolni prostor u cijelosti rekultiviše čime dobija novu upotrebnu vrijednost. Konceptija rekultivacije se bazira na popunjavanju kratera prethodno otkopanih prostora nekorisnim rudničkim materijalom koji nastaje u aktivnim površinskim kopovima. U situacijama kad je taj koncept neprimjenjiv, formira se odlagalište koje se nakon završetka rad prvo prekriva zemljanom materijalom pogodnim za rast trave i niskog rastinja, a onda se sije biljni pokrivač.



Slika 15. Rekultivisano odlagalište površinskog kopa Thacker Pass u Nevadi

4. ZAKLJUČAK

Litijum, kao i većina drugih kritičnih mineralnih sirovina, eksploatiše se različitim metodama koje su prisutne u rudarskoj industriji. U primjeni su najčešće metode površinske, podzemne, kombinovane i bušotinske eksploatacije. Svaka od metoda ima svoje varijetete, primarno u izboru tehnike kopanja ili ekstrakcije, primjeni rudarske mehanizacije i izvođenju bušačko-minerskih radova. EU podržava istraživanja i eksploataciju kritičnih mineralnih sirovina u BiH,

a shodno toj strategiji potrebno je usmjeravati i intenzivirati proizvodnju kritičnih mineralnih sirovina u BiH. Intenzivna potreba za litijumom uzrokovala je zabrinutost javnosti s obzirom da se o rudarstvu litijuma govori u negativnoj perspektivi. Eksploatacija ruda litijuma, kao i eksploatacije svake mineralne sirovine, ima negativne uticaje na okoliš, ali te uticaje moguće je efikasno smanjivati i ublažavati:

- primjenom redovnog monitoringa svih rudarskih procesa,
- poštivanjem zakonske regulative,
- primjenom inovativnih tehnika kopanja i ekstrakcije litijuma, prerade i pripreme mineralne sirovine i
- efikasnom rekultivacijom i prenamjenom otkopanih ili degradiranih rudničkih prostora.

LITERATURA

1. Assessment Report 94, Assessment method: Supplementary Environmental Report Finniss Lithium Project BP33 Underground Mine Core Lithium Ltd, april 2022.
2. Atlas Copco Rock Drills AB, Mining Methods in Underground Mining, Second edition, Örebro, Sweden, 2007.
3. European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report, Brussels, 2023.
4. European Lithium, Wolfsberg Project, European lithium fuelling the green energy revolution, Austria, maj 2022.
5. Knežiček T., Nurić S., Osnove površinske eksploatacije mineralnih sirovina, Tuzla, 2015.
6. Lontown Resources Limited, 2023 AGM Chair Address and Presentation, Australija, novembar 2023.
7. Lithium Power International Limited, ASX saopštenje, Drilling at Greenbushes lithium project, Australia, januar 2023.
8. María L. Vera, Walter R. Torres, Claudia I. Galli, Alexandre Chagnes & Victoria Flexer, Environmental impact of direct lithium extraction from brines, Nature Reviews Earth & Environment volume 4, str. 149–165, 2023.
9. Okubo S. i Yamatomi J., Underground mining methods and equipment, University of Tokyo, Japan, EOLSS On-line Virtual Library (nema datuma)
10. <https://batteriesnews.com/lake-resources-kachi-lithium-brine-project-phase-one-definitive-feasibility-study/>
11. <https://systems.carmeuse.com/en/industries/lithium-extraction/>
12. <https://emag.directindustry.com/2022/11/03/lithium-what-are-the-main-mining-projects-in-europe/>

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.101

Naučni rad

**PRIJEDLOG MJERA ZA UBLAŽAVANJE OKOLINSKIH UTICAJA NA
PROSTORU NAPUŠTENIH POGONA RUDNIKA VAREŠ**

*Abaz Velić, **Zvezdan Karadžin

*Mr. sci. Abaz VELIĆ, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla,
abaz_velic@hotmail.com

**Prof. dr. sci. Zvezdan KARADŽIN, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla,
zvezdan.karadzjin@gmail.com

Rezime

Negativno naslijeđe starih rudarskih radova kako u našoj zemlji tako i u cijelom svijetu predstavlja jedan od najvećih okolinskih problema.

Analizom dosadašnje prakse u Bosni i Hercegovini po pitanju zatvaranja rudnika u proteklom decenijama došlo se do zaključka da ih je vrlo malo zatvoreno u skladu sa propisima. Taj problem je dodatno usložio i rat koji se desio u našoj zemlji od 1992 do 1995. godine što je u određenom broju slučajeva vodilo do iznenadnog prekida rada rudnika, od kojih mnogi nisu nastavili sa radom ni poslije prestanka ratnih dejstava.

Japanska agencija za međunarodnu saradnju JICA je u periodu 2013.- 2014. godine uradila početnu analizu crnih industrijskih tačaka (hot spots) u Federaciji Bosne i Hercegovine i pri tome su određene 4 takve lokacije od kojih je jedna i nekadašnji Rudnik u Varešu. Rudnik se sastojao od nekoliko pogona na više lokacija na kojima su se eksploatisale razne vrste mineralnih sirovina što je dodatno otežavalo odnosno usložnjavalo istraživanje.

Primarni predmet istraživanja provedenih u okviru ovog rada predstavlja definisanje mjera za smanjenje uticaja na okoliš za koje je predhodnim istraživanjima, odnosno procjenom okolinskih rizika na poligonu starih rudarskih radova rudnika Vareš utvrđeno da predstavljaju potencijalnu prijetnju po okoliš po više osnova [3]. To se prevashodno odnosi na lokalitet PK „Smreka“, postrojenje za preradu i pakovanje rude na PK „Veovača i flotacijsko jalovište. Za navedene lokalitete je izvršen terenski uvid u postojeće stanje, provedena analiza i dobiveni rezultati istraživanja kao osnov za predložene mjere za smanjenje uticaja na okoliš kao i okvirnu procjenu troškova remedijacije koje su urađene zasebno za svaki od lokaliteta na kojem je provedeno istraživanje.

Treba naglasiti da približavanje Bosne i Hercegovine Evropskoj Uniji podrazumjeva i znatno striktniju praksu zaštite okoliša i u rudarskoj industriji. Danas je zaštita okoliša i u rudarstvu međunarodni standard i obaveza. Pri tome treba posebno ukazati na potrebu doprinosa svake zemlje u smanjenju negativnog uticaja na okoliš i klimatske promjene.

Ključne riječi: napušteni rudnici, okolinski rizici, mjere za smanjenje uticaja na okoliš, remedijacija

1. PREGLED RUDARSKIH AKTIVNOSTI NA PODRUČJU VAREŠA

1.1. Rudnici željezne rude

Na prostoru općine Vareš u periodu 1945 - 1992. godine vršena je intenzivna eksploatacija željezne rude i njena priprema, odnosno proizvodnja koncentrata hematitne i sideritne rude. Rudnik i željezara Vareš je najstarija RO u RMK Zenica. Industrijska proizvodnja ove radne organizacije datira od puštanja u pogon prve visoke peći za proizvodnju sirovog željeza 1891. godine.

Radna organizacija Rudnik i željezara Vareš je imala 3350 uposlenih radnika, od toga je "Rudarstvo" zapošljavalo 1180 radnika. Površinska eksploatacija je vršena na PK "Smreka" i PK "Brezik", a podzemna eksploatacija je vršena u jami "Droškovac". [6]

1.1.1 Rudnik "Smreka"

Ležište "Smreka", jedno od najvećih vareških ležišta željezne rude, nalazi se u centralnom dijelu metalogene oblasti Vareš. Ovaj površinski rudnik radio je na proizvodnji rovne rude siderit i hematit, od koje se poslije separisanja dobijao koncentrat siderita, odnosno hematita. Osim rovne rude koja se transportovala do teško-tekućinske separacije, direktnim transportom obuhvaćene su bile i sve mase jalovine iznad nivoa K860 južne i sjeverne kosine, te siromašni hematit i separacijska jalovina, koji su se direktno transportovali do odlagališta. Primjenjivan je i kombinovani transport. Likvidacijom površinskog kopa "Smreka" u skladu sa dopunskim rudarskim projektom i aneksom istog, planirano je bilo da se počne sa podzemnom eksploatacijom ležišta.

Na površinskom kopu "Smreka" 1992. godine, je nakon prestanka funkcionisanja kopa (sistema odvodnjavanja) u krateru formirano jezero, zapremine oko 3.000.000 m³ vode. Jezero okružuju brda sa visinom od 1100 i 1350 mnv (Kota i Veokovac). Površina jezera je bila 125.000 m², dužina 610 m i dubina 107 m. [6]

1.1.2 Rudnik "Brezik"

Površinski kop "Brezik" se nalazi na oko 10 km udaljen od Vareša. Ležište "Brezik" je smješteno istočno od grada, u blizini sela Pržići. Ovaj površinski rudnik radio je na proizvodnji rovne rude siderit i hematit, od koje se poslije separisanja dobijao koncentrat siderita, odnosno hematita. Plasman koncentrata bio je obezbijeđen u željezaru Zenica i u manjoj količini u željezaru Smederevo.

Transport otkrivke na vanjsko odlagalište vršen je kamionskim transportom. Transport rude od kopa do postrojenja za pripremu-separaciju "Smreka", vršen je kombinovanim transportom, kamioni-sipka-jamska lokomotiva u jamu "Droškovac". Površinski kop "Brezik" je dubinskog tipa, nije zavodnjen zbog postojanja sipke kojom je spojen sa jamom "Droškovac". Priprema rovne rude, odnosno proizvodnja koncentrata je vršena u teško tekućinskoj separaciji lociranoj u okviru PK "Smreka". [6]

1.1.3 Podzemni rudnik "Droškovac"

Ležište "Droškovac" nalazi se u centralnom dijelu metalogene oblasti Vareš. Smješteno je u dolini potoka Ruda, desne pritoke rijeke Stavnje, južno od grada Vareša, oko 0,8 km uz sam

put Vareš – Vareš Majdan. To je ležište u kojem se vršilo podzemna eksploatacija rude. Rudnik "Droškovac" je lociran u blizini urbanog dijela Vareša, te u blizini PK "Smreka". Ovaj rudnik sa podzemnom eksploatacijom radio je na proizvodnji rovne rude siderit i hematit, od koje se poslije separisanja dobijao koncentrat siderita odnosno hematita. Plasman koncentrata bio je obezbijeđen u Željezaru Zenica i u manjoj količini u Željezaru Smederevo. Priprema rovne rude, odnosno proizvodnja koncentrata je vršena u teško tekućinskoj separaciji lociranoj u okviru PK "Smreka". [6]

1.2 Rudnik olova, cinka i barita "Veovača"

Ležište "Veovača" je locirano na obroncima planine Zvijezde u neposrednoj blizini sela Daštansko i Tisovci. Eksploatacija sa ovog prostora i to radovima na otkrивci započeta je 1979. godine od strane "Energoinvest" Sarajevo. Eksploatacija rude vršena je površinskom metodom eksploatacije otkopom u pravcu jug – sjever, tako što je napredovanje otkopa vršeno u pravcu sjevera, a otkrivka i jalovina deponovana je na istom lokalitetu sa južne strane kopa. Na ležištu Veovača eksploatacija kompleksne rude olova, cinka i barita prekinuta je u 1987. i 1988. godini zbog nestabilnosti brane flotacijskog jalovišta. U 1989. godini rudnik je nastavio sa proizvodnjom da bi ponovo stao sa proizvodnjom 1990. godine, zbog nemogućnosti plasmana sulfidnih koncentrata uslijed prisustva žive i uslijed finansijske prezaduženosti. [6]

1.3. Postrojenje za pripremu ruda „Tisovac“

Proces pripreme rude i dobijanje korisnog proizvoda je vršeno na postrojenju lociranom 2 do 3 km jugozapadno od površinskog kopa kod naselja Tisovci.

Tehnološki proces pripreme se sastoji od drobljenja, separisanja, mljevenja, flotiranja i deponovanja koncentrata olova i cinka kao zasebnih koncentrata ili kolektivnog koncentrata, zatim sušenja, deponovanja i pakovanja proizvoda. Eksploatacija rude iz rudnika Veovača započela je u junu 1980. godine, dok je flotacijska jedinica počela s radom sredinom 1982. godine, a do kraja 1985. godine je prerađeno 870.955 tona rude sa prosječnim sadržajem Pb-0,95 %, Zn-1,66 % i BaSO₄-17,40 %. Rad pogona zaustavljen je 1990. godine. [6]

2. POLIGON ISTRAŽIVANJA-PREGLED TRENUTNOG STANJA

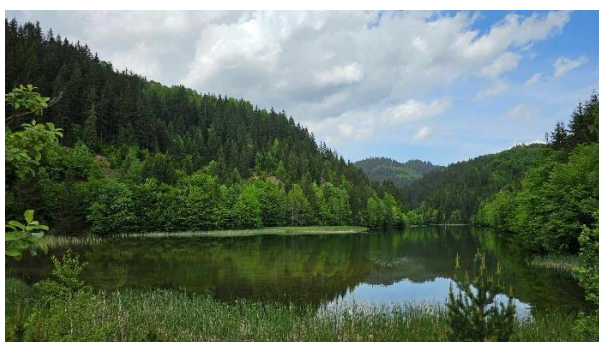
Na osnovu prethodno provedenih istraživanja u Federaciji Bosne i Hercegovine, ustanovljeno je da postoje okolišni hotspotovi (crne tačke u okolišu) koji su kontaminirani opasnim supstancama. Ovi lokaliteti predstavljaju negativno naslijeđe iz vremena SFR Jugoslavije, te nakon toga iz perioda ratnih dešavanja, kada su isti napušteni i ostavljeni bez nadzora. Istraživanje provedeno u okviru predmetnog rada obuhvata jedan od ustanovljenih hotspotova, nekadašnji rudnik Vareš.

Rudnici metala, uglavnom uništeni u ratu, nisu bili predmet interesa domaćih i stranih investitora, zbog čega je većina njih van funkcije. Mnogi nisu adekvatno zatvoreni, pa je neophodan popis inventara napuštenih rudnika metala kako bi se definisala žarišta, opasnosti po okoliš i rizici, kao i set prioriteta za sanaciju. Problem je i nedefinisanost sljednika imovine rudnika, jer kompanije koje su upravljale rudnicima uglavnom više ne postoje u sektoru rudarstva. [7]

Na predmetnom području istraživanja je evidentno nesređeno stanje u sferi prekinute površinske eksploatacije. Naime, 1992. godine prekinuti su radovi na zadnjem površinskom kopu i do danas stanje se samo dodatno pogoršava. Radi se o napuštenim kopovima željezne rude PK "Smreka" i PK "Brezik", kao i polimetaličnom olovno-cinkano-baritnom ležištu na PK "Veovača". Također, u vrijeme rada površinske eksploatacije u Varešu, funkcionisao je i podzemni rudnik željezne rude "Droškovac". Na prostoru PK "Smreka" je nakon prestanka radnog procesa i odvodnjavanja formirano jezero. Osim površinskih kopova na kojima nije urađena nikakva forma rekultivacije, nesređeno je stanje preostalih rudničkih postrojenja i objekata. [3]

Ciljno područje od posebnog značaja predstavljaju:

- PK "Smreka" - jezero na napuštenom kopu željezne rude, slika 1,
- PK "Veovača" i napuštena fabrika za pripremu rude rudnika olova, cinka i barita, slike 3 i 4,
- akumulacija za deponovani otpad iz procesa flotacije (flotacijsko jalovište), slika 2 . [6]



Slika 1. Akumulacija na prostoru PK "Smreka"



Slika 2. Flotacijsko jalovište



Slika 3. PK "Veovača"



Slika 4. Ostaci postrojenja za PMS

3. PROCJENA OKOLINSKIH UTICAJA NA POLIGONU ISTRAŽIVANJA

3.1 Prijedlog kriterija za ocjenu okolinskih uticaja predmetnih rudarskih aktivnosti

Kriteriji za ocjenu uticaja procesa rada rudarskih operacija prikazani su u tabeli 1.

Brojevi u zagradi predstavljaju rangiranje/bodovanje navedenih lokacija po svakom kriterijumu. PK Smreka (1), PK „Veovača“ (2), vodna akumulacija sa jalovinom iz

procesa flotacije (3).

Tabela 1. Kriteriji za procjenu okolinskih uticaja

A – eksploatacija ili prerada mineralne sirovine

	BODOVA
Postojeći	20
Nedavno završeni	15
Završeni prije nekoliko decenija ili odavno (1,2,3)	10

B – Korištenje hemikalija u tehnološkom procesu

	BODOVA
U značajnoj mjeri su (se) korištene (koriste) hemikalije ili toksične materije	20
Hemikalije ili toksične materije su (se) korištene (koriste) u ograničenoj mjeri (2,3)	15
Hemikalije ili toksične materije nisu korištene (1)	0

C – Ulegnuća terena pod uticajem rudarskih radova, urušavanja, stari radovi, slijeganje terena

	BODOVA
Izraženi uticaji (preko 10 ha, na dubini većoj od 40 m) i ustanovljeni na bazi detaljnih istraživanja, uz ugrožavanje ljudi, naselja i imovine u značajnoj mjeri	20
Manje izraženi uticaji (ispod 10 ha, pliće izvođeni radovi, uz ugrožavanje ljudi, naselja i imovine u lokalnim razmjerama ili izoliranim zonama, mogućnost nastanka i razmjera štete se mora detaljnije istražiti (1, 2)	10
Neznatni uticaji, zona djelovanja i uticaji su malih razmjera ili ih uopšte nema (3)	1

D – Deformacija kosina i drugi geodinamički fenomeni (erozija, abrazija, uticaj atmosferilija, promjene zapremine, poplave, karstični fenomeni, zaplavljivanje, likvifikacija)

	BODOVA
Izražen uticaj (velike površine, destrukcija mnogo objekata raznih namjena), definiran na osnovu detaljnih istraživanja, ugrožavanje ljudi, naselja i imovine u značajnoj mjeri	20
Geodinamički fenomeni koji ugrožavaju okoliš u manjoj mjeri sa malim intenzitetom (lokalni uticaj, pojedinačni stambeni objekti, manja šteta na imovini) (1,2,3)	15
Geodinamički fenomeni koji ugrožavaju okoliš u neznatnoj mjeri (lokalni uticaj, pojedinačni stambeni objekti, manja šteta na imovini)	1

E – Negativne promjene reljefa ili terena (urušavanja/pinge starijeg datuma, stari rudarski radovi, mjesta gdje je vršeno otkopavanje rude, davno inicirana klizišta, jame i sl.)

	BODOVA
Regionalni i izraženi uticaj (preko 10 ha površine)	20
Lokalni uticaj (ograničen u polju djelovanja) (1,2,3)	15
Manje promjene	1

F – Hidrogeološki uslovi i uticaji na vodosnabdjevanje

	BODOVA
Izražen uticaj na izvorišta pitke vode regionalnog karaktera, izražen uticaj na hidrološke uslove	20
Uticaj na lokalna izvorišta pitke vode regionalnog karaktera, izražen uticaj na hidrološke uslove (1,2,3)	15
Manji uticaj na izvorišta pitke vode i vodotoke	1

G – Rudničke vode

	BODOVA
Količina i kvalitet rudničke vode koji produkuje uticaje na okoliš koji su potencijalno regionalnih razmjera (poremećaj hidrogeoloških struktura i načina oticaja, emisija metalnih i toksičnih elemenata u površinske vode kritičnog nivoaa) (1,2,3)	20
Uticaj na površinske vode i hidrološke uslove je srednje vrijednosti, nekoliko prostorija kojima se drenira rudnička voda, lokalna narušavanja hidrogeoloških struktura, lokalni uticaji uslijed emisije rudničkih voda)	15
Manje promjene ili se ne stvaraju opasne rudničke vode	1

H – Hidrogeohemijske anomalije (geogena ili antropogena kontaminacija vode)

	BODOVA
Geogena ili antropogena kontaminacija vode je potencijalno regionalnog karaktera (1,2,3)	20
Lokalne razmjere	15
Minorne razmjere	1

I – Litogeohemijske anomalije (geogena ili antropogena kontaminacija tla i riječnih sedimenata uglavnom sa Cu, Pb, Hg, Sb, Cd, Cr, promjene pH vrijednosti)

	BODOVA
Potencijalno regionalnog karaktera (1,2,3)	20
Potencijalno lokalnog karaktera	15
Minornih razmjera	1

J – Biogeoheмиjske anomalije (geogena ili antropogena oštećenja vegetacije)

	BODOVA
Regionalnog karaktera	10
Lokalnog karaktera (1,2,3)	5
Minornih razmjera	1

K – Depoi jalovinskog materijala (odlagališta jalovine, odložene hrpe materijala, odložena jalovina iz PMS-a, odložene gomile stijenjskog materijala, odlagališta rude, itd)

	BODOVA
Aktivni proces	20
Nedavno završeni ili odavno završeni proces odlaganja (1,2,3)	15
Nisu prisutna odlagališta	0

L – Jalovina iz PMS-a (odlagališta jalovine, hidraulična odlagališta, sedimentacioni bazeni, taložnici)

	BODOVA
Aktivni i uz vršenje monitoringa, remedijacija se mora uključiti u plan upravljanja	20
Van upotrebe ili je trenutno neaktivan, nije izvršena remedijacija, nema monitoring plana (1,2,3)	15
Stara jalovišta, u potpunosti ili djelimično izvršena remedijacija ili nije uopšte izvršena, bez značajnog uticaja na okoliš, ili nema odlagališta jalovine iz PMS-a	0

M – Način korištenja zemljišta (aspekt gustoće populacije, infrastrukture, industrije, poljoprivrede, obradivo zemljište, zone pod šumskim rastinjem)

	BODOVA
Kontakt sa naseljima, urbanizirane zone, industrijske zone, zone u kojima se vrše građevinski radovi, komercijalni centri, komunikacije	20
Poljoprivredno zemljište, obradivo tlo, livade, pašnjaci, neobradivo zemljište, vještački izmjenjene zelene zone	15
Šume, šumski proplanci (1,2,3)	10

N – Monitoring

	BODOVA
Sistematski monitoring okoliša je neizbježan ali nije provoden usprkos činjenici da je bio obavezan da se provede po zakonu, ili monitoring nije proveden na zadovoljavajući način (djelimičan, ne pokriva sve aspekte potencijalnih uticaja) (1,2,3)	20
Monitoring se provodi, razmjera i učestanost je zadovoljavajuća, rizik se odnosi samo na brze izmjene u periodu tranzicije (recimo promjena vlasnika) sa mogućnošću da se prekine monitoring, da se ne provodi na adekvatan način nakon toga i sl.	10
Monitoring nije potreban. Neki okolinski aspekti su na zadovoljavajući način pokriveni sa ustanovljenom državnom/lokalnom mrežom monitoringa stanja okoliša	0

Na osnovu sistema bodovanja po kriterijima uticaji su podijeljeni u tri kategorije što je predstavljeno u tabeli 2.

Tabela 2 – Sistem rangiranja po kategorijama uticaja

I. Kategorija (više od 150 bodova)

Lokacije ili rudničke zone gdje je remedijacija potrebna kao akutni korak u prevenciji mogućih negativnih uticaja na ljudsko zdravlje, okoliš (vodu, vazduh, biotu) i imovinu. Uticaji su registrirani, dokumentovani i štete su značajne razmjere.

II. Kategorija (100-150 bodova)

Lokacije ili rudničke zone sa tranzicijskim položajem (usred aktivnosti) pri čemu su uticaji djelimično definisani kao i njihova razmjera, ali kao rezultat specifičnih faktora (kao što su vrsta rude i prirodni uslovi, promjene tehnologije, prestanak eksploatacije mineralne sirovine) u sadašnjem trenutku prijetnja nastanka

šteta ili nije tako kritična ili zahtjeva dodatna istraživanja da bi se razjasnila situacija (sa mogućnošću promjene kategorije za tu rudničku lokaciju)

III. Kategorija (ispod 100 bodova)

Lokacije ili rudničke zone sa očigledno malim uticajem na ljudsko zdravlje, okoliš i imovinu zbog različitih faktora kao što su davno završeni rudarski radovi, privremeno prekinute operacije eksploatacije, itd, za identificiranje uticaja su dovoljni sistemi monitoringa ili su tu već postavljeni posebni uslovi za upravljanje akcidentima (novi-stari rudnik)

Na osnovu rezultata analize identificirane su tri lokacije kao prioritete u kojima se trebaju provesti mjere ublažavanja okolinskih rizika.

1. PK "Smreka 190 bodova
2. PK "Veovača 205 bodova
3. Flotacijsko jalovište 181 bod

3.2 Ocjena stanja predmetnih lokacija korištenjem metode preliminarne analize hazarda (PHA)

U okviru prethodno provedenih istraživanja od strane autora rada izvršena je identifikacija hazarda i analiza rizika prema vjerovatnoći i posljedicama. [3]

Tabela 3 Pregled hazarda i analiza rizika

Rb	HAZARD	VJEROVATNOĆA	POSLEDICE	RIZIK
1.	Posljedice po zdravlje zbog konzumiranja ribe iz jezera.	Mala	Srednje	Mali
2.	Zagađenje vodotoka vodom koja ističe iz potkopa spojenim sa PK "Brezik".	Srednja	Male	Mali
3.	Istiskivanje velike količine vode uslijed klizanja materijala u jezero i plavljenje nizvodnog područja.	Mala	Srednje	Mali
4.	Zagađenje površinskih i podzemnih voda toksičnim materijama putem prašine sa napuštenih površinskih kopova.	Srednja	Srednje	Srednji
5.	Zagađenje zemljišta i zraka prašinom sa odlagališta i kopova.	Srednja	Srednje	Srednji
6.	Zagađenje vodotoka ispiranjem ležišta sa etaža PK "Veovača".	Srednja	Srednje	Srednji
7.	Zdravstveni problemi uzrokovani unošenjem teških metala u organizam.	Mala	Velike	Srednji
8.	Nošenje toksične prašine sa brane uz jezero prema naseljima.	Velika	Male	Srednji
9.	Zagađenje zemljišta procjednim vodama na odlagalištima otkrivke i jalovine.	Velika	Srednje	Veliki
10.	Klizanje sjeverne i južne kosine PK "Smreka".	Srednja	Velike	Veliki
11.	Daljnji uticaj na floru i faunu na lokaciji pucanja korita (kanala) za flotacijski otpad na relaciji postrojenje za PMS do jalovišnog jezera.	Velika	Srednje	Veliki
12.	Uništenje akvatičnog života, te nemogućnost korištenja vodotoka za vodoopskrbu i rekreaciju, koje je povezano s promjenom boje vode uslijed unošenja hidroksidnih soli željeza i dr.	Srednja	Velike	Veliki
13.	Zagađenje zemljišta teškim metalima, kao što su: Cu, Pb, Cd, Ni i As na lokalitetu napuštene fabrike za preradu olova, cinka i barita, zbog ispiranja i nošenja niz padinu.	Velika	Velike	Veliki
14.	Opasnost od klizanja i rušenja brane jalovišta.	Srednja	Velike	Veliki
15.	Zagađenje sliva u slučaju oštećenja brane i isticanja vode i sedimenta iz jezera, zbog toksičnosti za bakar, cink, olovo, kadmij, arsen i nikel.	Srednja	Velike	Veliki

16.	Rast nivoa vode i prelivanje preko brane deponovanog sadržaja u slučaju začepjenja vertikalnih otvora za ulivanje voda koje se slivaju u prostor akumulacije sa flotacijskim otpadom.	Srednja	Velike	Veliki
-----	---	---------	--------	--------

4. PRIJEDLOG MJERA ZA SMANJENJE OKOLINSKIH UTICAJA NA PREDMETNIM LOKALITETIMA

Iz gore provedenih analiza jasno se vidi na kojim lokalitetima se nalaze potencijalno najveće opasnosti po okoliš. Radi se o PK „Smreka“, PK „Veovača“ i akumulaciji sa otpadom iz procesa flotacije (flotacijsko jalovište). Stanje na lokalitetu, ključni rezultati istraživanja, predloženi plan remedijacije i procijenjeni troškovi za pomenute ciljane lokalitete sažeto su prikazani od tabele 4. do tabele 6. [6].

S obzirom da je stanje na poligonu istraživanja složeno i sveobuhvatni pristup zahtijeva spremnost institucija, rad stručnjaka raznih disciplina i finansijsku podršku, predloženi plan remedijacije odnosno ublažavanja okolišnih uticaja je uzeo u obzir i nalaze prethodno provedenih istraživanja uključujući i master plan Japanske agencije za međunarodne saradnje (JICA) vezan za hotspotove u Federaciji Bosne i Hercegovine [7].

4.1 . Jezero na prostoru PK "Smreka"

Tabela 4. Stanje i prijedlozi rješenja PK „Smreka“

Kategorija	Sažetak
<i>Stanje lokaliteta</i>	Jezero duboko 116 m formirano je na napuštenom površinskom kopu, akumulacijom padavinskih voda i podzemnih voda. Površina jezera je oko 132.000 m ² . Nakon što je lokalitet napušten, nije se pristupilo bilo kakvim mjerama rehabilitacije. Napuštene su rudarske mašine na području kopa, koje su nakon formiranja jezera potopljene. Oko jezera se nalazi nekoliko napuštenih objekata i opreme koja je korištena za vrijeme rada preduzeća. Pitanje vlasništva nad lokalitetom nije riješeno. [6]
<i>Glavni rezultati istraživanja</i>	<i>Kvalitet vode:</i> - Koncentracije teških metala su mjestimično visoke, ali ne više od onih nađenih u okolini. <i>Kvalitet sedimenta:</i> - Koncentracije nekih teških metala su više od kanadskih PEL vrijednosti (nivo vjerovatnog uticaja - Probable Effect Level), ali podaci iz okoline su premašili PEL. [11]
<i>Predloženi plan remedijacije</i>	Predložene mjere se sastoje od: (I) razvoja detaljnog projekta, (II) biološke rekultivacije. Moguće je da bude i tehnička rekultivacija prije biološke. Dodatno je predložen redovan monitoring. U narednom periodu - budućnosti potrebno je vršiti vizuelnu kontrolu stanja etaža na kopovima i odlagalištima, kako bi se na vrijeme uočile deformacije (pukotine, lokalna odvajanja masiva, odroni i sl) i potencijalne opasnosti. Okvirna procjena troškova remedijacije je 350.000 KM. [6]

4.2 Rudnik olova, cinka i barita - PK "Veovača"

Prestankom eksploatacije i rada, kako na površinskom kopu tako i na postrojenjima PMS-a, objekti i oprema su ostavljeni u nesređenom stanju. Na površinskom kopu uslijed prekida eksploatacije ostale su otvorene etaže, tako da rude iz ležišta su izložene eroziji, ispiranju, raznošenju prašine i sl.

Objekti i oprema na postrojenju "Tisovci" su napušteni bez provođenja adekvatnih mjera čišćenja, konzervacije i pripreme za ovako dugi zastoj u proizvodnji. U ratnom periodu dio opreme je otuđen, a u poslijeratnom periodu preostala oprema je rashodovana i prodana kao otpadni metali.

Istovremeno je u skladištu i na depou ostala izvjesna količina gotovih proizvoda, (koncentrata olova i cinka i barita u rinfuzi i pakovanog u papirnu ambalažu) i sirovina. U vrijeme istraživanja površinsko tlo na lokalitetu napuštene fabrike za preradu olova, cinka i barita je teško kontaminirano teškim metalima, kao što su: Pb, Cd, Ni i As, iako je u prošlosti veći dio opasnih supstanci otklonjen sa lokaliteta. [6]

Tabela 5. Rezultati istraživanja lokaliteta postrojenja za preradu rude

Kategorija	Sažetak
<i>Stanje lokaliteta</i>	Postrojenja su djelimično ili potpuno demolicirana, u nekoliko taložnica - bazena još uvijek stoji voda, i mogu biti korištene ukoliko se za tim ukaže potreba u budućim proizvodnim procesima. Na platou se nalaze ostaci postrojenja (nekorisni otpad) i dio proizvoda, izložen ispiranju i nošenju/spiranju niz padinu.
<i>Glavni rezultati istraživanja</i>	<i>Površinsko tlo:</i> - Cd max. 27,3 mg/kg (referentna vrijednost 10 mg/kg). - Pb max. 3.005 mg/kg (referentna vrijednost 500 mg/kg). - Koncentracije Ni, Zn, Mn i As su također više nego referentne vrijednosti. [3]
<i>Predloženi plan remedijacije</i>	Predložene mjere se sastoje od: (I) izrade plana remedijacije, (II) dekomisije i demoliciranja postojećih zgrada, (III) iskopavanja i odlaganja kontaminiranog zemljišta. Okvirna procjena troškova remedijacije je 920.000 KM. [6]

S obzirom na to da je eksploatacija zaustavljena, a prisutna su nastojanja da se preduzeće ponovo osposobi za rad, uz tu pretpostavku neophodno je sagledati:

- mogućnost nastavka eksploatacije,
- izraditi projektnu dokumentaciju za nastavak eksploatacije ili sanacije postojećeg stanja, što podrazumijeva provođenje tehničke i biološke rekultivacije devastiranog prostora površinskog kopa i vanjskog odlagališta. [10]

Ovim lokalitetom je nedavno počela upravljati rudarska kompanija, i kontaminirano zemljište bi moglo biti ponovo prerađeno ukoliko se rehabilituje postrojenje za preradu rude. U proteklom periodu izvršeno je rušenje ostataka objekata za pripremu ruda, čišćenje građevinskog otpada, te su izgrađeni novi objekti i postrojenje za PMS [9]. Potrebno je provesti nužne mjere tehničke i biološke rekultivacije sa posebnim aspektom zaštite voda.

4.3. Akumulacija sa jalovinom iz procesa PMS-a

Jalovišna brana pomenute fabrike za pripremu ruda olova, cinka i barita, bila je korištena da zadrži jalovinu koja se generisala u radu fabrike za preradu. Radi se o jalovišnom jezeru sa značajnom zapreminom akumulisane vode izdvojene nakon taloženja. Nakon prestanka proizvodnje koncentrata, predstavlja potencijalni okolišni rizik za sliv rijeke Bosne. Kruna brane je oštećena erozijom vjetra i vodenom erozijom. Osim površinske erozije evidentni su tragovi brazdaste i jaružaste erozije, slika 7. [6]



Slika 7. Erozijska na brani flotacijskog jalovišta

Tabela 6. Rezultati istraživanja lokaliteta jalovišnog jezera i brane

Kategorija	Sažetak
<i>Stanje lokaliteta</i>	Brana je projektovana i izgrađena kao homogena brana, konstruisana je sa 15 metarskim visoko centriranim jezgrom od gline i nasuta kamenom. Kruna brane je oštećena vjetrom i vodenom erozijom. [6]
<i>Glavni rezultati istraživanja</i>	<i>Kvalitet vode:</i> - Koncentracije Cd, Pb, Cu i Zn prekoračile su kriterij kvaliteta za površinske vode u FBiH, ali su ipak blizu prihvatljivih granica, te se pretpostavlja da su ove koncentracije uzrokovane prirodnim fenomenima i taloženjem sastavnih čestica. <i>Zemlja i sediment na brani:</i> - Koncentracije Cd, Pb, Cu, Zn i As prekoračile su višestruko referentne vrijednosti. [3]
<i>Predloženi plan remedijacije</i>	Predložene mjere se sastoje od: (I) geotehničkih ispitivanja, (II) detaljnog projekta, (III) građevinskih i pratećih radova, i drugih mjera za sanaciju brane i izgradnju dva obodna kanala. Okvirna procjena troškova remedijacije je 570.000 KM. [6]

Rekonstrukcija jalovišne brane se smatra najhitnijim pitanjem, jer ukoliko bi se desio kolaps brane, moguće su teške posljedice.

5. ZAKLJUČAK

Predmet istraživanja rada predstavljaju okolišni uticaji rudarskih aktivnosti u području Vareša prekinutih ratnim dešavanjima, uz dodatno poslijeratno nesređeno stanje u cijeloj državi i osjetno tehničko-tehnološko zaostajanje za svjetskim trendovima. Kao poligon istraživanja je određen širi prostor polimetalnih ležišta, sa pogonima podzemne i površinske eksploatacije,

prevashodno zbog interesovanja o stanju okoliša i dostupnosti neophodnih ulaznih podataka. Nakon prethodno izvršene analize stanja preostalih objekata, površinskih kopova, rudnika sa podzemnom eksploatacijom, zatim stepena zagađenosti vode i tla kao i procjene okolinskih rizika [3] u radu je predstavljen prijedlog mjera za smanjenje okolišnih uticaja, pri čemu je posebna pažnja usmjerena na nekoliko ključnih lokacija i pogona kako slijedi: jezero na prostoru PK "Smreka", Postrojenje za preradu i pakovanje rude na PK "Veovača", te brana i akumulacija vode u flotacijskom jalovištu.

Što se tiče istraživanja na PK „Smreka rezultati pokazuju da je koncentracija teških metala u jezeru formiranom u krateru kopa kao i sedimentu mjestimično visoka, pri čemu po okvirnoj procjeni treba 350.000 KM za remedijaciju tog prostora. Rezultati istraživanja lokaliteta fabrike/postrojenja za preradu i pakovanje rude na PK „Veovača ukazuju na sadržaj teških metala u tlu koji višestruko premašuje dozvoljene granice pogotovo kada je u pitanju kadmijum i olovo. Za predložene mjere remedijacije potrebno bi bilo izdvojiti 920.000 KM. Analiza vode u flotacijskom jalovištu je pokazala da koncentracije pojedinih teških metala premašuje maksimalno dozvoljene granice dočim je njihova vrijednost u sedimentu sa brane jalovišta višestruko premašena. Okvirni troškovi remedijacije su procijenjeni na 570.000 KM.

Rezultati ispitivanja sa značajno prekoračenim graničnim vrijednostima određenih parametara pokazali su da opasna područja zahtijevaju urgentnu remedijaciju. Sanacija brane flotacijskog jalovišta se smatra najhitnijom mjerom, jer ako dođe do destrukcije ili urušavanja brane, posljedice bi mogle biti katastrofalne sa potencijanom mogućnošću ugrožavanja vodozahvatnog područja za grad Brezu.

Evropsko zakonodavstvo postavlja ambiciozne ciljeve za zaštitu okoliša, a zahtjeva provedbu harmonizacije domaćeg zakonodavstva sa zakonodavstvom EU. Zakoni i direktive postavljaju obavezujuće ciljeve zaštite okoliša. Samo zakonodavstvo je fleksibilno po pitanju načina za postizanje zadatih ciljeva, kao i po pitanju organizacije i vlasništva nad imovinom i finansiranja neophodnih aktivnosti, i na taj način je otvoreno društvo za inovacije i tehnološki napredak. Pozitivne strane zakonodavstva EU se ogledaju i u pružanju čvrste osnove za dugoročno planiranje na tehničkom, finansijskom i političkom nivou. Također, pozitivna strana je povećani stepen uključivanja civilnog društva, čime se obezbjeđuje "živi" primjer dobrog evropskog upravljanja. Okolinskom upravljanju mora se posvetiti znatno veća pažnja, budući da ono predstavlja ključ za prijelaz na održivi razvoj.

6. LITERATURA

- [1] Begić S, Kurtanović R, Omerhodžić N.: *Napušteni kopovi i ekološka problematika Općine Vareš*, VII Naučni/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem "Metalni i nemetalni materijali", Zenica, 2008.
- [2] Karadžin Z., Šišić, R.: *Uvod u geokolinski inženjering*, Tuzla, 2020.
- [3] Karadžin Z., Velić, A.: *Assesment of environmental risks at an old mining site*, International Engineering Conference, Novi sad, 2024.
- [4] Operta M.: *Olovo, cink i barit u metalogenetskoj zoni Borovica-Vareš*, VI Naučni/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem "Metalni i nemetalni anorganski materijali", Zenica, 2006.
- [5] Salihović S, Selimbašić V, Simičić H.: *Hemijska karakterizacija degradiranog tla na*

području Bosne i Hercegovine, VI Naučni/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem "Metalni i nemetalni anorganski materijali", Zenica, 2006.

[6] Velić, A., *Mogućnosti ublažavanja okolišnih uticaja napuštenih rudarskih radova na području općine Vareš*, doktorska disertacija, 2025

[7] Japan International Cooperation Agency (JICA): *Master Plan for Remediation of Hotspots in Bosnia and Herzegovina*, Sarajevo, 2014.

[8] UNEP, UNDP, NATO, OSCE - EnvSec initiative, *Mining for Closure - Policies and guidelines for sustainable mining practice and closure of mines*, , Beč, 2005.

[9] *Plan upravljanja zemljištem, zagađenim zemljištem i kontrolom erozije*, ESIA, Eastern Mining, 2021.

[10] *Procjena uticaja na okoliš, Poglavlje 5*, ESIA, Eastern Mining, 2022.

[11] *Threshold Effect Level (TEL), the Probable Effect Level (PEL)*, Canadian Council of the Ministers of the Environment, McDonald, Canada, 2002.

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.113

Naučni rad

UTJECAJ MAKROEKONOMSKIH ČIMBENIKA NA USPJEŠNOST POSLOVANJA PODUZEĆA IZ SEKTORA VAĐENJA RUDA I KAMENA

Suzi Mikulić*, Kemal Gutić**, Ivan Mikulić***

Dr.sc.u polju ekonomije, grana računovodstvo, Profin Consulting d.o.o., suzi.mikulic@gmail.com**Redovni profesor, Fakultet rudarstva, geologije i građevinarstva, Tuzla, kemal.gutic@untz.ba*****Dipl. ing. rudarstva, Ministarstvo Gospodarstva HNŽ-a, Mostra, ivan.karmelic@gmail.com*

Sažetak

Cilj ovog istraživanja je ispitati utjecaj makroekonomskih čimbenika na uspješnost poslovanja poduzeća u sektoru vađenja ruda i kamena u Federaciji Bosne i Hercegovine. Istraživanje je provedeno tijekom četverogodišnjeg razdoblja od 2020. do 2023. godine. Uspješnost poslovanja promatrana je kroz profitabilnost, mjerenu povratom na ukupnu imovinu. Rezultati istraživanja pokazali su da su makroekonomske varijable, stopa rasta BDP-a i stopa nezaposlenosti, značajno povezane s povratom na ukupnu imovinu kod poduzeća koja ostvaruju pozitivan poslovni rezultat, a većinom se radi o poduzećima iz podsektora vađenja ruda metala, ostalih ruda i kamena. S druge strane, kod poduzeća koja posluju s gubicima, koja se većinom odnose na rudnike uglja, nije utvrđena takva povezanost. Razlog tome leži u činjenici da su problemi rudnika uglja u Bosni i Hercegovini primarno posljedica internih i višegodišnjih strukturnih čimbenika, a ne promjena koje dolaze iz makroekonomskog okruženja.

Ključne riječi: *makroekonomski čimbenici, uspješnost poslovanja, profitabilnost, povrat na ukupnu imovinu, poduzeća iz sektora vađenja ruda i kamena*

UVOD

Sektor vađenja ruda i kamena u Bosni i Hercegovini (BiH) tradicionalno ima značajnu ulogu u ekonomiji zemlje, s posebnim naglaskom na osiguravanje energetske resursa, prvenstveno uglja za termoelektrane, čime doprinosi stabilnosti cjelokupnog energetskog sustava u BiH. Prema podacima NOSBIH-a za 2023. godinu, termoelektrane su proizvele 56 % ukupne električne energije u zemlji, dok je u 2022. godini taj udio bio još veći i iznosio je 65,34%. Ipak, sektor se suočava s brojnim izazovima koji ugrožavaju njegovu održivost i konkurentnost na domaćem i međunarodnom tržištu.

Posljednje četiri godine obilježene su značajnim nestabilnostima na lokalnoj, državnoj, regionalnoj i globalnoj razini. U ekonomskom kontekstu, te nestabilnosti reflektiraju se kroz volatilnost i izražene oscilacije makroekonomskih pokazatelja. Stabilno makroekonomsko okruženje, preduvjet je održivog gospodarskog rasta [7], stoga je cilj ovog rada istražiti da li su, i u kojoj mjeri oscilacije makroekonomskih varijabli imale utjecaja na poslovanje poduzeća iz sektora vađenja ruda i kamena u Federaciji BiH.

TEORIJSKA OSNOVA I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Jedan od ključnih kriterija za ocjenu uspješnosti upravljanja poduzećem jest analiza njegove profitabilnosti [12]. U tom kontekstu, profitabilnost se često koristi kao glavni pokazatelj poslovne uspješnosti [11]. Dosadašnja istraživanja pokazala su da na profitabilnost utječu kako interni specifični faktori, tako i eksterni čimbenici [10].

Ovo istraživanje fokusira se na utjecaj makroekonomskih varijabli kao eksternih čimbenika na povrat na ukupnu imovinu (skraćenica: ROA). ROA je pokazatelj profitabilnosti koji odražava sposobnost poduzeća da ostvari povrat na temelju svih raspoloživih resursa, a interpretira se kao stopa povrata koju je poduzeće ostvarilo na ukupnu imovinu [12].

Makroekonomske varijable predstavljaju ekonomske pokazatelje koji mjere ukupnu aktivnost i stanje gospodarstva na nacionalnoj ili globalnoj razini. Koriste se za analizu ekonomskih trendova, ciklusa i politika, a njihov utjecaj obuhvaća širok spektar aspekata, od proizvodnje i zaposlenosti do inflacije i međunarodne trgovine. Najčešće analizirane varijable uključuju bruto domaći proizvod (BDP), inflaciju, nezaposlenost i kamatne stope.

BDP odražava ukupnu tržišnu vrijednost svih dobara i usluga proizvedenih u zemlji tijekom određenog vremenskog razdoblja. U rudarskom sektoru, snažan gospodarski rast obično prati porast potražnje za rudarskim proizvodima, što može pozitivno utjecati na profitabilnost rudarskih poduzeća. S druge strane, inflacija može značajno utjecati na profitabilnost povećanjem operativnih troškova zbog rasta cijena sirovina i rada, što može negativno djelovati na profitne marže [11]. Kamatne stope, kao instrument monetarne politike, također mogu imati utjecaj na profitabilnost poduzeća. Povećanje kamatnih stopa rezultira višim troškovima zaduživanja, čime se smanjuje mogućnost ulaganja i rastu ukupni troškovi poslovanja [11]. Dosadašnja istraživanja provedena na uzorku poduzeća iz rudarskog sektora pokazala su povezanost kamatnih stopa i gospodarskog rasta s povratom na ukupnu imovinu, dok se za inflaciju nije utvrdio značajan utjecaj [11]. Nadalje, istraživanja pokazuju da je povećanje profitabilnosti poduzeća povezano sa smanjenjem stope nezaposlenosti, pri čemu rast profitabilnosti dovodi do smanjenja nezaposlenosti [8].

METODOLOGIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Opći ekonomski podaci o sektoru

Prema standardnoj klasifikaciji djelatnosti BiH 2010, sektor vađenja ruda i kamena čine četiri podsektora: (a) vađenje ugljena i lignita; (b) vađenje sirove nafte i prirodnog plina; (c) vađenje ruda metala; i (d) vađenje ostalih ruda i kamena. Preliminarni podaci Agencije za statistiku BiH pokazuju da je vrijednost prodanih proizvoda u ovom sektoru u 2023. godini iznosila 1 milijardu i 80 milijuna KM. Struktura po podsektorima prikazana je u tablici niže.

Tablica 1. Vrijednost prodanih industrijskih proizvoda prema NIP-u u 2023. godini – vađenje ruda i kamena [2].

T1. VRIJEDNOST PRODANIH INDUSTRIJSKIH PROIZVODA PREMA NIP – u, 2023. <i>T1 VALUE OF INDUSTRIAL PRODUCTS SOLD ACCORDING TO NIP, 2023</i>			
Nivo djelatnosti	Ukupna vrijednost prodaje i vrijednost naknade (0+1) <i>Total production value of sale and fee paid value (0+1)</i>		
	2023.		
	UKUPNO	22 759 530	
B	VADENJE RUDA I KAMENA	1 079 766	
05	Vađenje ugljena i lignita	750 297	
07	Vađenje ruda metala	171 284	
08	Vađenje ostalih ruda i kamena	158 185	

Najveći udio u ukupnoj vrijednosti prodanih proizvoda u sektoru vađenja ruda i kamena ostvaruje podsektor vađenja ugljena i lignita, koji čini 69,5 %. Slijedi vađenje ruda metala s udjelom od 15,9 %, dok vađenje ostalih ruda i kamena doprinosi s 14,65 %.

Pokrivenost uvoza izvozom u podsektoru ruda metala znatno premašuje uvoz, dok je u podsektoru ostalih proizvoda od ruda i kamena također na visokim razinama.

Tablica 2. Pregled pokrivenosti uvoza izvozom – sektor vađenja ruda i kamena BiH [1].

Pokrivenost uvoza izvozom - sektor vađenja ruda i kamena BiH					
	2020	2021	2022	2023	Prosjek
Ugalj i lignit	5,64%	4,01%	12,57%	24,24%	11,62%
Rude metala	994,03%	440,39%	197,68%	294,43%	481,63%
Ostali proizvodi od ruda i kamena	97,32%	65,69%	62,20%	79,16%	76,09%

Prema podacima Financijsko-informatičke agencije (FIA), u 2023. godini u Federaciji BiH poslovala su 152 poduzeća iz sektora vađenja ruda i kamena, što čini 69,72 % ukupnog broja poduzeća u ovom sektoru na razini države. Ova poduzeća zapošljavala su ukupno 11.341 osobu, te su ostvarila 748 milijuna KM prihoda, što čini 60,67 % ukupnih prihoda sektora na razini države (tablica 3.).

Tablica 3. Strukturne statistike sektora vađenja ruda i kamena – Federacija BiH 2023. godina [6].

	Broj poduzeća	Broj zaposlenih	Prihodi (milKM)	Prihodi od izvoza (milKM)	Broj poduzeća s dobiti	Ukupna dobit	Broj poduzeća s gubitkom	Ukupni gubitak
Federacija BiH	152	11341	748	71	79	39	62	190
Udio u odnosu na ukupan privredni sektor Federacije BiH u kojem posluju privredna društva	0,57%	3,08%	1,08%	0,71%	0,44%	0,73%	0,85%	14,84%

U 2023. godini na teritoriju Federacije BiH, 79 poduzeća (52 %) ostvarilo je dobit, dok je 62 poduzeća (40,1 %) poslovalo s gubitkom. Ukupni gubici tih poduzeća čine gotovo 15 % (14,84 %) ukupno ostvarenog gubitka na razini cijelog privrednog sektora Federacije BiH, i najvećim dijelom se odnose na poduzeća iz podsektora vađenja ugljena. Prema podacima FIA-e za 2023. godinu, sedam poduzeća rudnika uglja generiralo je 144 milijuna KM gubitaka što čini gotovo

76 % gubitaka cijelog sektora na razini Federacije BiH.

Definiranje uzorka istraživanja

Istraživanje je provedeno u razdoblju od 2020. godine do 2024. godine na uzorku poduzeća koji su najviše doprinosili rezultatima sektora na razini Federacije BiH u pogledu prihoda, udjela u imovini sektora te udjela u ukupno ostvarenom dobitku/gubitku sektora. Podaci o poslovanju poduzeća preuzeti su iz službenih statističkih biltena o poslovanju poduzeća sa stranice Financijsko informatičke agencije – FIA-e [6].

Tablica 4. Pregled strukture poduzeća uključenih u uzorak istraživanja – obrada autora [6].

Opis	2020	2021	2022	2023	Ukupno
Broj opservacijskih jedinica	35	35	35	35	140
Poduzeća iz uzorka ostvarila prihoda (milKM)	560	561	630	687	2.437
Prihod ukupnog sektora (milKM)	635	571	654	748	2.608
Udio prihoda poduzeća iz uzorka u sektoru	88,20%	98,16%	96,26%	91,85%	93,45%
Vrijednost imovine (milKM)	1.756	1.840	1.906	2.193	7.695
Imovina ukupnog sektora (milKM)	1.950	2.125	2.198	2.366	8.639
Udio imovine poduzeća iz uzorka u sektoru	90,03%	86,60%	86,73%	92,67%	89,07%
Poduzeća iz uzorka ostvarila dobiti (milKM)	22	18	24	35	100
Dobit ukupnog sektora	23	23	30	39	115
Udio dobiti poduzeća iz uzorka u dobiti sektora	96,03%	79,75%	80,66%	89,68%	86,61%
Poduzeća iz uzorka ostvarila gubitak (milKM)	-82	-109	-131	-186	-508
Gubitak ukupnog sektora	-85	-116	-136	-190	-527
Udio gubitka poduzeća iz uzorka u gubitku sektora	96,03%	94,01%	96,00%	98,08%	96,32%

Iz prezentiranih podataka jasno je da se radi o reprezentativnom uzorku, s obzirom na to da su poduzeća iz uzorka ostvarivala gotovo 94 % prihoda ukupnog sektora, imala udio od 89,07 % u imovini sektora, te su generirala 86,61 % dobiti, ali i 96,32 % gubitaka sektora.

Definiranje zavisne i nezavisnih varijabli

Zavisna varijabla u ovom istraživanju je povrat na imovinu mjeren odnosom ostvarene neto dobiti na kraju svakog promatranog razdoblja i ukupne imovine promatranih poduzeća [12]. Nezavisne varijable u ovom istraživanju su stopa rasta BDP-a, stopa inflacije, kamatne stope na kredite poduzećima te stopa nezaposlenosti. Podaci o kretanju stope rasta BDP-a, inflacije i kamatnih stopa prema poduzećima su preuzeti sa statističkog biltena Centralne banke BIH [5], a podaci o stopi nezaposlenosti iz statističkog biltena Agencije za unapređenje stranih investicija u BiH [3].

Rezultati istraživanja i diskusija

Istraživanje je provedeno: (a) na razini ukupnog sektora (Model 1), (b) na razini uzorka poduzeća koja posluju pozitivno i najvećim dijelom (24/25) se odnose na poduzeća iz

podsektora vađenja ruda metala i ostalih ruda i kamena (Model 2); te (c) na razini poduzeća koja posluju negativno i najvećim dijelom se odnose na rudnike uglja (7/10). Rudnici uglja posluju u podsektoru vađenja uglja i lignita (Model 3). Podaci su obrađeni u aplikaciji Excel Data Analysis, uz primjenu deskriptivne statistike i višestruke regresijske analize. Deskriptivnom statistikom opisuju se skup podataka na način da budu razumljiviji, pregledniji i pogodniji za interpretaciju i daljnju analizu [9]. Rezultati deskriptivne analize za zavisnu varijablu ROA za svaki poseban model, prezentirani su niže:

Tablica 5. Rezultati deskriptivne statistike zavisne varijable

	Model 1	Model 2	Model 3
Mean	0,02903	0,099618	-0,14699
Standard Error	0,015233	0,013382	0,024764
Median	0,020391	0,051817	-0,10032
Mode	0,03	0,03	-0,05841
Standard Deviation	0,180877	0,134486	0,158568
Kurtosis	4,954946	3,444089	7,927596
Skewness	-0,31563	2,036349	-2,68812
Minimum	-0,80455	0	-0,80455
Maximum	0,569853	0,569853	-0,01887
Count	140	100	40

Iz prezentiranih podataka vidljivo je da je od ukupno 140 promatranih jedinica (Model 1), njih 100 (Model 2) ostvarivalo pozitivan povrat na imovinu, dok je njih 40 (Model 3) ostvarivalo gubitak (negativan ROA). Povrat na imovinu pokazuje koliko poduzeće efikasno koristi svoju imovinu u ostvarenju profita. Prosječna vrijednost povrata na imovinu na razini ukupnog sektora je blago iznad nule (Mean Model 1 = 0,029), na razini poduzeća iz Modela 2 kojeg čine najvećim dijelom poduzeća podsektora za vađenje ruda metala i kamena iznosi 0,10 (0,099618) te na razini poduzeća iz Modela 3 kojeg čine najvećim dijelom rudnici ugljena je negativan i iznosi -0,15 (-0,14699). Poduzeća iz podsektora vađenja ruda metala, ostalih ruda i kamena su efikasna u korištenju imovine, pri čemu na svaku 1 KM angažirane imovine ostvaruju 0,10 KM dobiti.

Tablica 6. Rezultati deskriptivne statistike nezavisnih varijabli

	BDP	Inflacija	Nezaposlenost	Kamatne stope
Mean	0,026085	0,052305	0,15478	0,03522
Standard Error	0,003271	0,004764	0,001268	0,000314
Median	0,022	0,02	0,159	0,0379
Mode	-0,032	-0,01	0,159	0,038
Standard Deviation	0,038846	0,056574	0,01506	0,003731
Kurtosis	-1,11228	-1,13609	-1,00561	-0,76449
Skewness	-0,37899	0,549826	-0,34482	-1,02824
Minimum	-0,032	-0,01	0,132	0,0289
Maximum	0,074	0,14	0,174	0,038
Count	140	140	140	141

Prosječna vrijednost kretanja stope rasta BDP-a u razdoblju istraživanja iznosila je 2,61 % (Mean = 0,026085), inflacije 5,23 % (Mean = 0,052305), nezaposlenosti 15,48 % (Mean = 0,15478) i kamatnih stopa 3,52 % (Mean = 0,03522).

Prije provedbe višestruke regresije provedena je analiza međusobnih korelacija između nezavisnih varijabli da se izbjegne problem multikolinearnosti. Problem multikolinearnosti je prisutan ako su barem dvije regresorske varijable linearno zavisne ili približno linearno zavisne [4].

Tablica 7. Rezultati analize međusobnih korelacija između nezavisnih varijabli

	BDP	Inflacija	Nezaposlenost	Kamatne stope
BDP	1			
Inflacija	0,39514557	1		
Nezaposlenost	0,32599316	-0,3390821	1	
Kamatne stope	-0,806393	0,14625509	-0,764323	1

Kamatne stope na kredite poduzećima imaju značajnu negativnu visoku korelaciju s BDP-om (koeficijent korelacije je veći od 0,8; = - 0,806393) i srednje jaku (koeficijent korelacije je veći od 0,5) sa stopom nezaposlenosti (-0,764323), stoga su isključene iz daljnje analize, kako se ne bi narušili rezultati regresije. Koeficijent korelacije od 0,5 do 0,8 podrazumijeva srednje jaku te preko 0,8 jaku korelaciju [9].

Tablica 8. Rezultati regresijskih analiza

Model 1					Model 2					Model 3				
Multiple R	0,19				Multiple R	0,33				Multiple R	0,30			
R Square	0,04				R Square	0,11				R Square	0,09			
Significance F	0,16				Significance F	0,01				Significance F	0,32			
Observations	140,00				Observations	100,00				Observations	40,00			
	<i>Coeff</i>	<i>StErr</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>		<i>Coeff</i>	<i>StErr</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>		<i>Coeff</i>	<i>StErr</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	0,41	0,19	2,20	0,030	Intercept	0,68	0,18	3,88	0,000	Intercept	-0,14	0,26	-0,56	0,580
BDP	0,05	0,47	0,10	0,921	BDP	0,74	0,43	1,73	0,087	BDP	-0,70	0,65	-1,08	0,286
Inflacija	-0,30	0,32	-0,93	0,353	Inflacija	-0,38	0,30	-1,26	0,211	Inflacija	-0,34	0,43	-0,78	0,440
Nezaposlenost	-2,32	1,18	-1,97	0,051	Nezaposlenost	-3,72	1,11	-3,37	0,001	Nezaposlenost	0,35	1,65	0,21	0,832

Iz prezentiranih podataka, može se zaključiti da su u Modelu 2 makroekonomske varijable BDP i nezaposlenost statistički značajne, i to nezaposlenost na razini od 5%, a BDP na razini od 10 %. Test značajnosti (Significance F = 0,011) pokazuje da je ovaj model statistički značajan, što znači da su makroekonomske varijable relevantne za objašnjenje varijacije povrata na uloženu imovinu kod poduzeća koja posluju pozitivno i koja se najvećim dijelom odnose na podsektor vađenja ruda metala, ostalih ruda i kamena. Kretanje BDP-a i stope nezaposlenosti značajno objašnjava varijaciju povrata na imovinu kod ovih poduzeća. S druge strane, za Model 1 (ukupni sektor) i Model 3 makroekonomske varijable nisu statistički značajne. Kod Model 3, koji se najvećim dijelom odnosi na rudnike ugljena, moguće je da drugi faktori poput dugogodišnjih strukturnih problema sektora (visoki fiksni i operativni troškovi, složeno upravljanje i nedostatak investicija) imaju značajniji utjecaj na poslovanje tih poduzeća u odnosu na kretanje makroekonomskih varijabli. Vidljivo je također da su se rezultati ovog modela reflektirali na Model 1 kojeg čini cijeli sektor, što nije neočekivano jer gubici poduzeća

rudnika uglja premašuju gotovo četiri puta ukupnu dobit sektora (144 milijuna KM gubitaka/39 milijuna KM dobiti) na razini Federacije BiH. Faktori koji imaju utjecaj na njihovo poslovanje na razini ukupnog sektora značajniji su od makroekonomskih varijabli koje imaju utjecaj na poduzeća koja posluju pozitivno i koja se najvećim dijelom odnose na podsektore vađenja ruda metala, ostalih ruda i kamena.

ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju analiziran je utjecaj makroekonomskih varijabli na poslovanje poduzeća u sektoru vađenja ruda i kamena u Federaciji BiH. Rezultati su pokazali značajnu povezanost između stope nezaposlenosti i BDP-a s povratom na imovinu kod poduzeća koja ostvaruju pozitivan poslovni rezultat. Nasuprot tome, kod poduzeća koja posluju s gubitkom, a čiji uzorak najvećim dijelom čine rudnici uglja, takva povezanost nije utvrđena. Njihovo poslovanje u većoj mjeri ovisi o internim specifičnim čimbenicima nego o makroekonomskim varijablama analiziranim u ovom istraživanju. Također, na razini ukupnog sektora nije utvrđena značajna korelacija makroekonomskih varijabli s povratom na ukupnu imovinu, što upućuje na to da su se specifični čimbenici vezani za rudnike uglja prelili na cijeli sektor. Inflacija kao makroekonomska varijabla nije se pokazala značajnom ni u jednom uzorku, iako su njezine stope tijekom razdoblja istraživanja bile visoke (prosječna stopa iznosila je 5,2 %).

Rudarski sektor u BiH suočava se s brojnim izazovima, posebno u segmentu rudnika uglja, no istovremeno nudi potencijal za razvoj i transformaciju. Za postizanje veće konkurentnosti i održivosti ključno je ulaganje u modernizaciju proizvodnih kapaciteta, restrukturiranje poduzeća koja posluju s gubicima, primjenu zelenih tehnologija, smanjenje emisija štetnih plinova i tvari te optimizaciju operativnih troškova. S druge strane, značajan potencijal leži u eksploataciji ruda metala i ostalih ruda i kamena, što potvrđuju podaci o izvozu ovih sirovina (tablica 2.).

Preporuka za daljnja istraživanja je proširenje analize na specifične čimbenike koji utječu na poslovanje poduzeća u ovom sektoru, budući je ovo istraživanje bilo ograničeno samo na istraživanje utjecaja makroekonomskih varijabli na povrat na ukupnu imovinu.

LITERATURA

1. Agencija za statistiku BiH (2024). Robna razmjena BiH s inozemstvom, 2023. Preuzeto s: https://bhas.gov.ba/data/Publikacije/Bilteni/2024/ETR_00_2023_TB_1_BS.pdf
2. Agencija za statistiku BiH. Proizvodnja i prodaja industrijskih proizvoda u BiH (Prodcom) 2023. Preliminarni podaci. Dostupno na: https://bhas.gov.ba/data/Publikacije/Saopštenja/2024/IND_03_2023_Y1_1_BS.pdf
3. Agencija za unapređenje stranih investicija u Bosni i Hercegovini. (2024). Osnovni ekonomski pokazatelji. Dostupno na: <https://www.fipa.gov.ba/informacije/statistike/pokazatelji/default.aspx?id=206&langTag=bs-BA>
4. Bahovec, V., Erjavec, N. (2009). Uvod u ekonometrijsku analizu. Element, Zagreb.
5. Centralna banka BiH. Glavni ekonomski pokazatelji. Dostupno na: http://statistics.cbbh.ba/Panorama/novaview/SimpleLogin_cr_html.aspx

6. FIA - Financijsko informatička agencija (2020; 2021; 2022; 2023). Pregled poslovanja gospodarskih društava u Federaciji BiH. Dostupno na: <https://fia.ba/bs/content/714/privredna-drustva-issn-2712-1976>; <https://fia.ba/bs/content/4850/privredna-drustva-issn-2831-0462>
7. Fischer, S. (1993). The role of macroeconomic factors in growth. *Journal of Monetary Economics*, 32(3), 485–512. doi:10.1016/0304-3932(93)90027-d
8. Hmood H., Banikhalid. (2024). Corporate Profitability Impact on Unemployment Rate: Jordan as Case Study. *International Journal of Business and Management*, Canadian Center of Science and Education, 19 (4), 130-130.
9. Papić, M. (2008). Primjenjena statistika u MS Excelu. Zagreb, CRO: Naklada ZORO.
10. Szutowski, D. (2024). *The impact of macroeconomic factors on the profitability of companies: Analysis using neural networks*. *Scientific Papers of Silesian University of Technology, Organization and Management Series*, 193, 667-684. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2024.193.37>
11. Veronica, M., Sari, R. (2024). Effect of Interest Rates, Economic Growth and Inflation on Profitability in Mining Companies Listed on the Indonesia Stock Exchange. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Global Masa Kini*. 15. 134-138. 10.36982/jiegm.v15i2.4890.
12. Žager, K., Mamić Sačer, I., Sever Mališ, S., Ježovita, A., Žager, L. (2017) Analiza financijskih izvještaja: načela-postupci-slučajevi. Treće, izmijenjeno i dopunjeno izdanje. Zagreb, HZRF.

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.121

Naučni rad

ANALIZA DOTOKA I KOEFICIJENTA OTICANJA ZA SLIVNO PODRUČJE, NA PRIMJERU HIDROAKUMULACIJE MODRAC

Munir Jahić*, Mufid Tokić**, Omer Kovčić***

**Dr.sc Munir Jahić, dipl.ing.građ., emeritus, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, tel: +38761183241, e-mail: munirjahic@gmail.com*

***Mufid Tokić, dipl.ing.građ.MA, JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761728428, e-mail: mufid.tokic@gmail.com*

****Dr.sc Omer Kovčić, dipl.ing.građ., JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761868123, e-mail: omer.kovcic@gmail.com*

Sažetak

Glavni zadatak višenamjenske akumulacije "Modrac" je uređenje režima voda u datom slivu uz donošenje odluka o količini ispuštene vode, kao i količini vode koju je potrebno zadržati za buduću upotrebu. Odluke se donose na osnovu dostupnih podataka i prognoznih podataka. Obzirom da nije urađen prognozni model, operator ovim kompleksnim procesima se mora oslanjati na prognoze koje u većoj ili manjoj mjeri nisu precizne. U praksi, operateri brane i akumulacije, u većini slučajeva, obično slijede pravila krivulja (zapremine, proticaja, i dr.), koje određuju radnje koje treba poduzeti u zavisnosti od trenutnog stanja sistema. Izgradnjom brane Modrac 1964. godine formirana je istoimena hidroakumulacija. Primarni ciljevi bili su obezbjeđivanje tehničke vode za industriju u tuzlanskoj regiji i ublažavanje nizvodnih poplava, kao i rekreaciju i druge namjene. U radu je prikazana analiza koeficijenta otjecanja u korelaciji godišnjih padavina i srednjih godišnjih dotoka za sliv višenamjenske akumulacije "Modrac" za period 1999 - 2024.

Ključne riječi: višenamjenska akumulacija, koeficijent oticanja, padavine, dotok, slivno područje

1. UVOD

Sadašnji način proizvodnje električne energije glavni je uzrok, uz ljudske aktivnosti, klimatskih promjena, dok je vodni režim prvi na udaru, sa svim svojim posljedicama. Klimatske promjene se ogledaju u sve češćim izmjenama hidroloških pikova, minimuma (suša) i maksimalnim (poplavama). Odnosno, visoke vode se povećavaju i javljaju se sve češće, dok niske vode i suše traju duže [1].

Hidroakumulacija "Modrac", kao višenamjenska akumulacija, nastala izgradnjom brane Modrac 1964. godine u tjesnacu Modrac na rijeci Spreči. Hidroakumulaciju čine rijeke Spreča i Turija sa pritokama. Ukupna površina slivnog područja u profilu brane je približno 1189 km², što čini preko 60% cjelokupnog sliva rijeke Spreče. Od ukupne površine sliva, rijeka Spreča zauzima 832 km², rijeka Turija zauzima 240 km², dok ostatak sliva pripada akumulaciji neposrednog sliva 117 km² [2].

Visinska kota normalnog rada akumulacije iznosi 200,00 m.n.m., akumulacija obezbjeđuje u prosjeku 2,30 m³/sek tehničke vode i 4,70 m³/sek kao hidrobiološki minimum za rijeku Spreču, gledajući nizvodno od brane (projektovano stanje) [2].

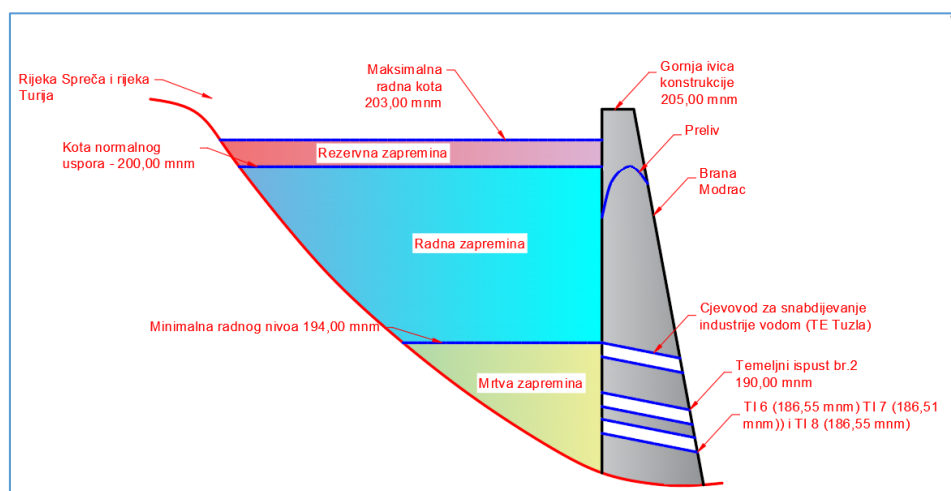
Višenamjenska akumulacija “Modrac” rješava nekoliko hidroloških i izuzetno ekonomskih aspekata kao što su snabdijevanje stanovništva i industrije, gradova Tuzle i Lukavca tehničkom vodom, ublažavanje poplavnog vala nizvodno od brane i akumulacije Modrac, proizvodnja električne energije u maloj hidroelektrani.

Međutim, stvarna količina vode u akumulaciji može varirati u kratkom roku u zavisnosti od padavina i drugih uslova [3].

Brana služi za djelimičnu kontrolu poplava, zadržavajući poplavni val ili dio poplavnih voda u akumulaciji, posebno tokom vršnog protoka, a zatim ispuštaju vode kroz temeljne ispuste po utvrđenoj proceduri operatera [4].

Imajući u vidu zadnja geodetska i hidrografska mjerenja, navedeni su tehnički podaci akumulacije “Modrac” [5]:

- površina akumulacije “Modrac” iznosi 16,69 km²,
- ukupna zapremina akumulacije “Modrac” iznosi 102.759.629,92 m³,
- korisna zapremina akumulacije “Modrac” iznosi 66.522.627,23 m³,
- maksimalna dubina akumulacije iznosi 14,94 m,
- srednja vrijednost dubine akumulacije iznosi 5,32 m,
- maksimalna širina akumulacije “Modrac” iznosi 2.411,17 m,



Slika 1. Karakteristike brane „Modrac“

Brana “Modrac” spada u visoke armirano – betonske lučne brane sa 11 kontrafora, u nastavku su navedene tehničke karakteristike brane, Slika 1:

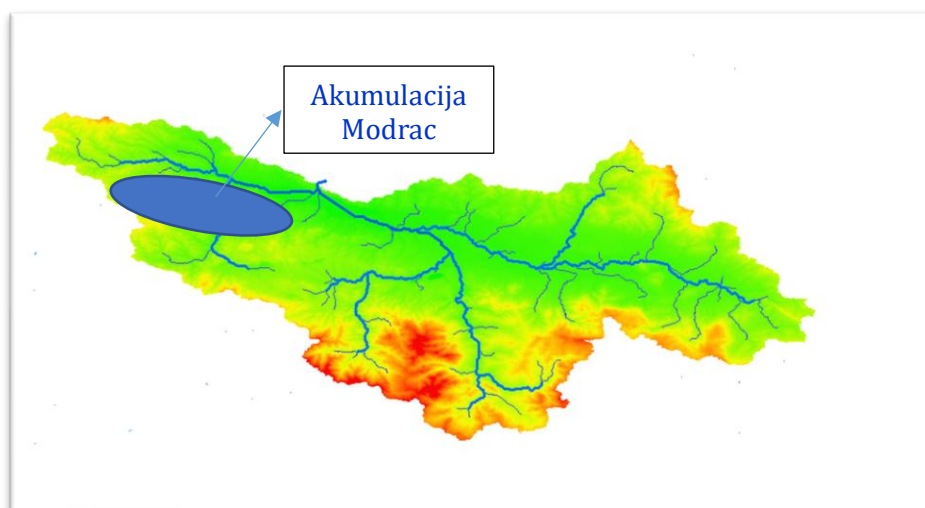
- visina konstrukcije $H = 33,35$ m;
- dužina krune brane $L = 205,0$ m;
- visinka kota gornjeg ruba brane iznosi 205,00 m.n.m;

- visinska kota preliva iznosi 203,00 m.n.m.;
- radni nivo brane iznosi 200,00 m.n.m.;
- minimalni radni nivo iznosi 194,00 m.n.m.;
- temeljni ispusti (broj: 2, 6, 7 i 8). Maksimalni ispust vode kroz temeljne ispuste iznosi 80.00 m³/s [6].

Pojava visoke vode je ekstremna hidrološka pojava koju definiše neuobičajeno visoki vodostaj, protok ili zapremina vode na određenom mjestu u određenom vremenskom periodu. Maksimalni zabilježeni vodostaj akumulacije „Modrac” je iznosio 203,42 m.n.m. usljed dugotrajnih padavina u maju 2014. godine. Uzroci i posljedice poplava se obično ne predviđaju, ali se mogu ublažiti. Posljedice poplava su ugroženost ljudskih života i materijalnih dobara, ogromne materijalne štete, uključenost velikog broja ljudi i resursa na terenu, socijalna nesigurnost stanovništva. [5].

Također, usljed erozije zemljišta u slivnom području akumulacije „Modrac” dolazi do povećane produkcije nanosa, koji dopijeva u akumulaciju, što za posljedicu ima taloženje istog u akumulaciji i smanjenja korisne zapremine iste. Prema literaturnim podacima, umanjeње zapremine akumulacije, čak i 10 – 20 godina po njihovoj izgradnji, iznosi od 20 do 30% opće zapremine akumulacije [6].

Na slici 2, na digitalnom modelu terena (DEM) prikazano je slivno područje akumulacije „Modrac” sa hidrografskom mrežom rijeka i pritoka koje gravitiraju akumulaciji, [7].



Slika 2. Karta digitalnog modela terena (DEM karta) sliva akumulacije Modrac sa riječnim tokovima

U tabeli ispod je dat pregled svih zabilježenih poplavnih valova od formiranja hidroakumulacije „Modrac” pa do 2014. godine, [7].

Tabela 1. Pregled poplavnih talasa od 1965 do 2014 [9]

Vrijeme pojave poplavnog talasa	Maksima lni nivol H	Dotok Q_{inf}	Ispušta nje Q_{out}	Retenzija u akumulaciji	Padavine
	(m.a.s.l.)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	%	(mm)
14.4. – 24.4. 1985.	201,09	406,50	201,10	50,53	81,16
15. 25.7. 1986.	200,74	272,10	154,90	43,07	117,57
3.5- 13.5 1987.	201,60	730,00	331,45	54,60	112,30
17.6. – 27.6. 2001.	202,12	619,10	466,36	24,56	60,20
29.5. – 8.6. 2010.	201,18	411,11	252,54	38,57	92,60
14. – 23.5. 2014.	203,42	1602,0 0	1137,00	29,00	213,90

Hidrogrami poplavnih talasa određuju se na osnovu prirodnog dotoka u akumulaciju. Hidrogram isticanja određen je protokom kroz ispusne objekte, odnosno temeljne ispuste na brani Modrac [10].

Protok se kontroliše preko krive protoka na nizvodnoj stanici Modrac.

Količina ispuštanja regulisana je donjim ispustima i prelivnim objektima i zavisi od nivoa vode u akumulaciju. S obzirom da je količina proticaja ograničena pojavom velikih poplavnih talasa, dolazi do porasta nivoa vode u akumulacionom jezeru (akumulacioni naboj), i na taj način apsorbira dio zapremine poplavnog talasa, odnosno vrši smanjenje maksimalnog protoka. Smanjenje maksimalnog protoka nizvodno kreće se od 16% do 55% zavisno o veličini vodnog vala i stanju nivoa akumulacije Modrac [9].

2. PROMJENE U KOLIČINI PADAVINA

Za jednostavniji pregled promjena u količini padavina za period od 1999. do 2024. godine, na slici 4 su prikazane maksimalne godišnje vrijednosti padavina. U tabeli 2, prikazane su vrijednosti srednjih godišnjih padavina za sliv višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999-2024.

Iz tabele 2. vidljivo je da je maksimalna vrijednost srednjih godišnjih padavina (1434 l/m²) ostvarena u 2014. godini. Svi podaci o padavinama preuzeti su sa klimatološke stanice „Modrac“ (K.S. Modrac) koja se nalazi na brani Modrac.

Tabela 2. Srednja godišnja količina padavina za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999. - 2024.

Year	P _{sum} (mm)	Year	P _{sum} (mm)
1999	903.00	2012	709.47
2000	403.40	2013	850.50
2001	1021.00	2014	1392.33
2002	746.30	2015	687.10
2003	781.10	2016	989.20
2004	1037.80	2017	843.85
2005	1133.20	2018	966.50
2006	1022.52	2019	896.90
2007	928.81	2020	915.60
2008	803.20	2021	814.00
2009	850.60	2022	820.32
2010	1258.10	2023	1030.58
2011	530.50	2024	673.25

3. DOTOK U HIDROAKUMULACIJU “MODRAC”

Na pritokama akumulacije “Modrac” nisu vršena mjerenja proticaja, odnosno dotoka u vode u akumulaciju, te se dotok vode u akumulaciju računao iz zavisnosti promjena zapremine i količine ispuštanja vode kroz temeljne ispuste i prelive, koristeći jednačinu vodnog bilansa. Uvažavajući činjenicu da su mjereni ulazni podaci, proračun se može smatrati dovoljno pouzdanim.

Proračun dotoka i ispuštanja vode se zasniva na slijedećim jednačinama:

1. Jednačina vodnog bilansa: $R = P - ET - IG - \Delta S$ (1)

gdje je:

P – padavine
R – oticanje
ET – evapotranspiracija
IG – duboke/neaktivne podzemne vode
 ΔS – promjene u taloženju materijala/nanosa

2. Jednačine dotoka i odliva uz korištenje jednačine vodnog bilansa:

$$\int_{t_0}^t Q_{dotok} dt = \int_{t_0}^t Q_{dotok} dt \pm \Delta V \quad (2)$$

$$Q_{isticanje} \cdot \Delta t = Q_{isticanje} \cdot \Delta t \pm \Delta V \quad (3)$$

gdje je:

$$Q_{dotok} \cdot \Delta t = V_{dotok}$$

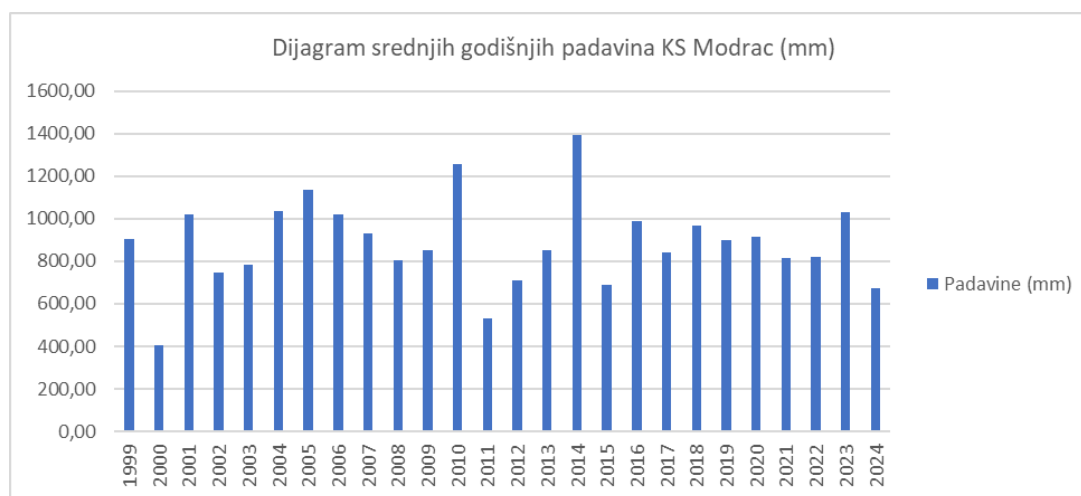
$$Q_{isticanje} \cdot \Delta t = V_{isticanje}$$

Q_{dotok} – količina vode koja dotiče u akumulaciju

$Q_{isticanje}$ – količina vode koja se ispušta iz akumulacije,

ΔV – količina vode koja se zadržava u akumulaciji

Kao ilustracija, na slici 4 je prikazan tipičan dijagram srednjih godišnjih padavina u akumulaciju, mjerenih na KS Modrac.



Slika 4. Dijagram srednjih godišnjih padavina na KS Modrac, od 1999-2024.

U sljedećoj tabeli prikazane su izračunate vrijednosti srednjih godišnjih dotoka za sliv višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999. - 2024. godine (2).

Tabela 3. Srednji godišnji dotoci za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999. - 2024.

Year	$Q_{\text{inflow}} (\text{m}^3/\text{s})$	Year	$Q_{\text{inflow}} (\text{m}^3/\text{s})$
1999	15.31	2012	9.53
2000	10.26	2013	12.83
2001	27.71	2014	15.98
2002	16.48	2015	16.03
2003	8.28	2016	13.48
2004	17.43	2017	14.88
2005	25.25	2018	17.10
2006	19.46	2019	15.02
2007	13.27	2020	15.51
2008	12.53	2021	8.48
2009	16.94	2022	11.78
2010	27.23	2023	17.02
2011	7.18	2024	9.28

4. KOEFICIJENT OTICANJA SA SLIVA AKUMULACIJE “MODRAC”

Prosječni godišnji koeficijent otjecanja η za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ izračunat je na osnovu podataka o izmjeranim godišnjim količinama padavina i količini vode koja dotiče u višenamjensku akumulaciju a na osnovu jednačine vodnog bilansa (1). Također, prikazani su na godišnjem nivou za već razmatrani period 1999. - 2024. godine.

Prosječni koeficijent oticanja η dobijen je na osnovu sljedećeg oblika:

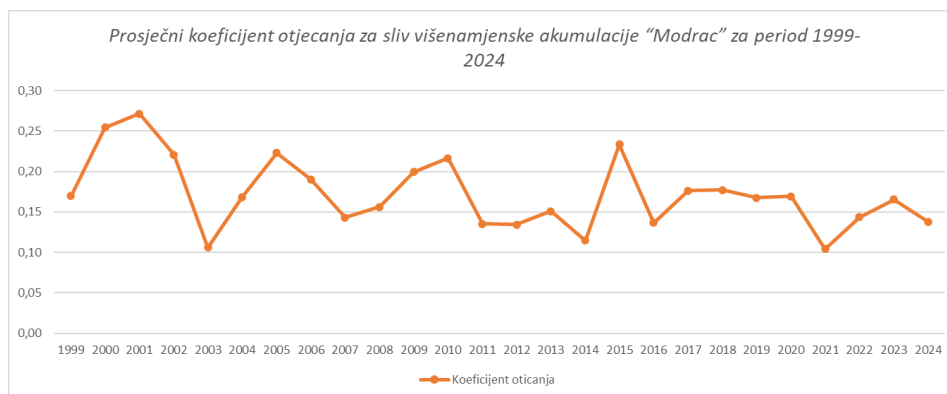
$$\eta = \frac{V_{oticanje}}{V_{padavine}} \quad (4)$$

gdje je:

$V_{oticanje}$ – količina oticanja vode (m^3)

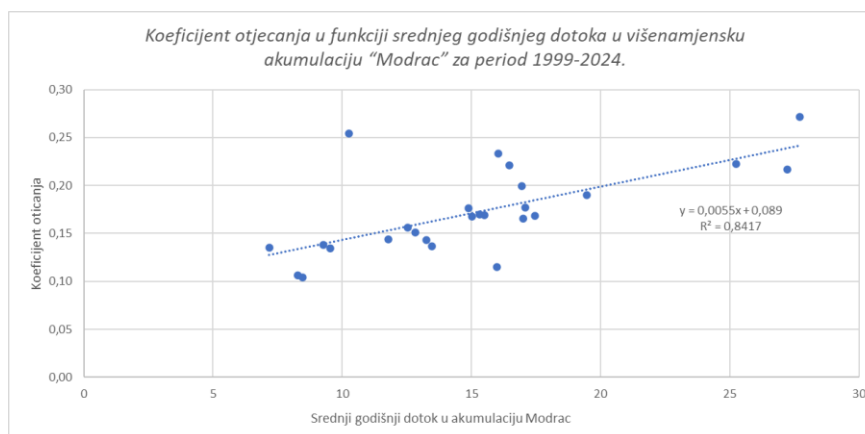
$V_{padavine}$ – količina padavina (m^3)

Na slici 5 prikazan je prosječni koeficijent otjecanja za sliv višenamjenske akumulacije “Modrac” za period 1999-2024.

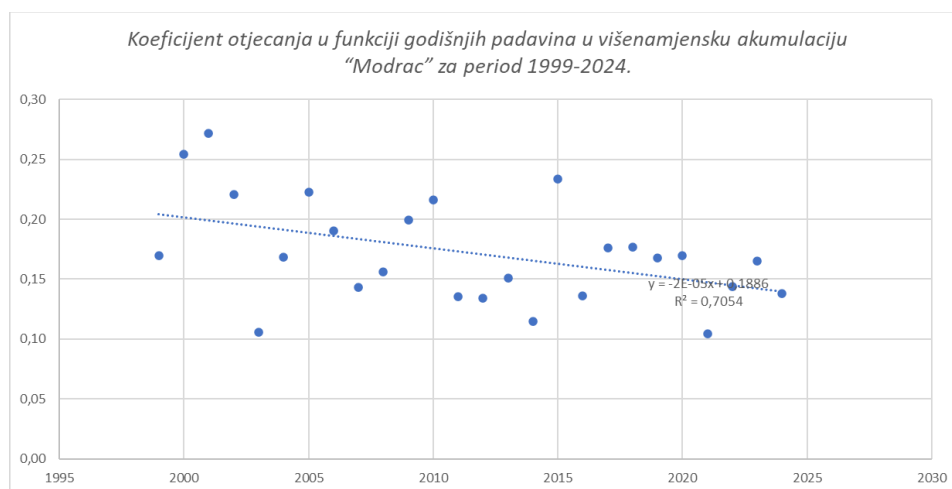


Slika 5. Prosječni koeficijent otjecanja za sliv višenamjenske akumulacije “Modrac” za period 1999-2024.

U nastavku rada prikazana je funkcionalna zavisnost između koeficijenta oticanja i izračunatog godišnjeg doticaja (Q_{god}) u višenamjensku akumulaciju (Slika 6) i prikazana je zavisnost koeficijenta oticanja i godišnje sume padavina P_{sum} (Slika 7) 1999 - 2024.



Slika 6. Koeficijent otjecanja u funkciji srednjeg godišnjeg dotoka u višenamjensku akumulaciju “Modrac” za period 1999-2024.



Slika 7. Koeficijent otjecanja u funkciji godišnjih padavina u višenamjensku akumulaciju „Modrac“ za period 1999-2024.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je koeficijent otjecanja η u odnosu na srednji godišnji dotok u višenamjensku akumulaciju „Modrac“ i godišnji zbir padavina na slivu višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999-2021. Evidentno je da je vrijednost koeficijenta korelacije R u odnosu na koeficijent otjecanja i Q srednji godišnji prosječni dotok $R = 0,8417$ što je veoma pozitivna korelativna veza (slika 6), dok je u odnosu na koeficijent otjecanja i godišnji zbir padavina koeficijent korelacije $R = 0,7054$ što predstavlja pozitivnu korelativnu sredinu (slika 7).

Također, treba napomenuti da je vrijednost srednjeg godišnjeg koeficijenta otjecanja za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ za razmatrani period bila najniža u 2002. godini, a najveća u 2004. godini (Slika 5.).

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). " Upravljanje višenamjenskim akumulacijama sa studijom slučaja jezera Modrac ", Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Doktorska disertacija.
- [2] The Associated Programme on Flood Management (APFM), (2006). Environmental Aspects of Integrated Flood Management, Geneva, Switzerland, 37-38.
- [3] Simonović, S. (2009). Managing Water Resources Methods and Tools for a Systems Approach, UNESCO i Taylor & Francis, ISBN: 978-92-3-104078-8 UNESCO
- [4] Kupusović, T., Suljić, N., Zigic, I., Kovčić O. (2014). Trend and possible causes of flood waves at the dam profile of multipurpose reservoir "Modrac", Bosnia and Herzegovina, Milankovitch Anniversary Symposium UNESCO Water Management in Transition Countries as Impacted by Climate and Other Global Changes, Lessons from Paleoclimate, and Regional Issues, pp. 120-124.
- [5] "Geodetsko - hidrografsko snimanje dna jezera i obale akumulacije do obrade izmjenjenih podataka," MIG d.o.o.. Slavonski Brod, 2012.

-
- [6] Jahić, M.; (2009). Hidrologija, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
 - [7] Kupusović, T.; Vučijak, B.; Kovčić, O. (2015). Reservoir Modrac and its functioning during floods in May 2014., Hrvatske vode 23 91, pages 19-28, UDK 556.166(497.6)
 - [8] Initial National Report of Bosnia and Herzegovina under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Banja Luka, 2009.
 - [9] Kovčić, O. (2011). Analiza valova protoka na profilu akumulacije “Modrac” u smislu propusne moći brane, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Magistarski rad
 - [10] Suljic, N., Kovcic O. (2018). Analysis of time oscillations of water on lake Modrac as a multi-purpose reservoir, Archives for Technical Sciences, Bijeljina, Year X, No. 18, pp. 31-40, ESCI Indexed.
 - [11] Jahić M. (2004) Prostorno planiranje i zaštita okoline, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
 - [12] Koordinacijski tim za zaštitu akumulacije Modrac. Utjecaj otpadnih voda iz rudnika ugljena na akumulaciju Modrac, 2013.
 - [13] Jahić, M. (2008). „Uređivanje bujica“, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.130

Naučni rad

ANALIZA ZASIPANJA NANOSOM VIŠENAMJENSKE AKUMULACIJE KORISTEĆI GIS MODELIRANJE, NA PRIMJERU HIDROAKUMULACIJE MODRAC

*Munir Jahić, **Amir Mešković, ***Mufid Tokić, ****Omer Kovčić

**Dr.sc Munir Jahić, dipl.ing.građ., emeritus, Univerzitet u Bihacu, Tehnički fakultet, tel: +38761183241, e-mail: munirjahic@gmail.com*

***Dr.sc Amir Mešković, dipl.ing.geol., redovni profesor, Univerzitet Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski fakultet, tel: +38761280096, e-mail: amir.meskovic@untz.ba*

****Mufid Tokić, dipl.ing.građ.MA, JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761728428, e-mail: mufid.tokic@gmail.com*

*****Dr.sc Omer Kovčić, dipl.ing.građ., JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761868123, e-mail: omer.kovcic@gmail.com*

Sažetak

Akumulacije su vodoprivredni objekti kojima je moguća regulacija prirodnog režima otjecanja. U zavisnosti od prirodnih karakteristika hidrološkog sustava, potreba za vodom i zapreminskim kapacitetom rezervoara, te karakteristika evakuacionih organa, moguće je upravljati vodnim resursima sliva. Sve većim iscrpljivanjem prirodnih vodnih resursa, te sve većim problemima sa zadovoljavanjem potreba za vodom, naglašena je potreba za izgradnjom akumulacija, često i s višegodišnjim izravnanjima, kao sastavnim elementom integralnoga upravljanja vodnim resursima. Upravljanje vodnim resursima sadrži niz aktivnosti kao što su planiranje, projektiranje, izgradnja, upravljanje, održavanje, promatranje i kontrola izgrađenih objekata, radi ocjene i povećanja njihove učinkovitosti. U skladu s tim, potrebno je posebno planirati sve aktivnosti u odnosu prema akumulacijama kao ključnim objektima upravljanja vodnim režimom nekog sliva.

Ključne riječi: višenamjenska akumulacija, vodni resursi, nanos, slivno područje, taloženje, GIS modeliranje.

UVOD

Akumulacija Modrac predstavlja jedini dostupan vodni resurs u regionu Tuzle i okoline. Imajući u vidu činjenicu da je korisna zapremina akumulacije ograničena, i da vremenom dolazi do zasipanja akumulacije vučenim nanosom i ugljenom prašinom kao lebdećim nanosom, te da se potrošačima – stanovništvu, industriji i drugima, mora osigurati vodosnabdjevanje sa visokim stepenom sigurnosti. Višak vode potrebno je maksimalno iskoristiti u svrhu proizvodnje električne energije, te postoji potreba za optimiziranjem sistema, odnosno efikasnijim upravljanjem vodnim resursom akumulacije, odnosno da se dokaže maksimalna iskoristivost akumulacije uz neprestano obezbjeđivanje svih potrebnih količina vode za koju je vezana akumulacija Modrac [1].

Hidroakumulacija "Modrac", kao višenamjenska akumulacija, nastala izgradnjom brane Modrac 1964. godine u tjesnacu Modrac na rijeci Spreči. Hidroakumulaciju čine rijeke Spreča

i Turija sa pritokama. Ukupna površina slivnog područja u profilu brane je približno 1189 km², što čini preko 60% cjelokupnog riječnog sliva. Od ukupne površine sliva, rijeka Spreča zauzima 832 km², rijeka Turija zauzima 240 km², dok ostatak sliva pripada akumulaciji neposrednog sliva 117 km² [1].

Sve većim, te često i međusobno suprotstavljenim zahtjevima korištenja vodnim resursima, pojavljuje se i potreba za složenijim metodama upravljanja uključujući i upravljanje zapreminom akumulacija.

U pojedinim akumulacijama, već 10 – 20 godina po njihovoj izgradnji, zapremina nanosa dostiže 20 – 30% opće zapremine akumulacije [2].

Svrha procjene pronosa nanosa u hidroakumulaciju je ostvarivanje mogućnosti svrsishodnijeg upravljanja prirodnim vodnim resursima, zaštiti od štetnog djelovanja voda kao i zaštiti voda od onečišćenja.

Analizom pronosa nanosa na pritokama, te ukupnom količinom nanosa koji je taloži u akumulaciji Modrac, dobijaju se stvarni podaci o količini nanosa koji se unosi u hidroakumulaciju Modrac, dinamiku unosa nanosa, te stepen onečišćenja ovakve vrste vodnog tijela.

1. GIS MODELIRANJE

Geografski informacijski sistem (GIS) je sistem za upravljanje prostornim podacima i osobinama koje su njima pridružene. U najstrožijem smislu to je kompjuterski sistem sposoban za integrisanje, spremanje, uređivanje, analiziranje i prikazivanje geografskih informacija. U opštem smislu GIS je oružje „pametne karte“ koje dopušta korisnicima stvaranje interaktivnih upitnika, analiziranje prostornih informacija i uređivanje podataka. Jedna od najstarijih definicija GIS-a je:

„GIS je posebna vrsta informacijskog sistema u kojem kompjuterska baza podataka obuhvaća tačno definirane odnose između prostorno distribuiranih objekata, djelatnosti i događaja, koji su u prostoru definirani kao tačke, linije i površine (poligoni) [3].

U GIS-u su podaci vezani uz te tačke, linije i poligone i tako su pohranjeni za istraživanja i analize“ [3].

Modeliranje slivnog područja višenamjenske akumulacije je rađen u softverskom paketu ArcGIS, u kojem je rađena priprema svih podloga i ulaznih podataka za proračun, modeliranje sliva akumulacije Modrac i hidrološko hidraulički proračun je rađen u ArcSWAT-u. U navedenom softveru na geoinformacionoj platformi (GIS) su dobijeni rezultati: proticaj glavnih vodotoka u slivnom području akumulacije Modrac, zasićenosti tla i pronosu sedimenata u rijekama i transportu istih do akumulacije Modrac.

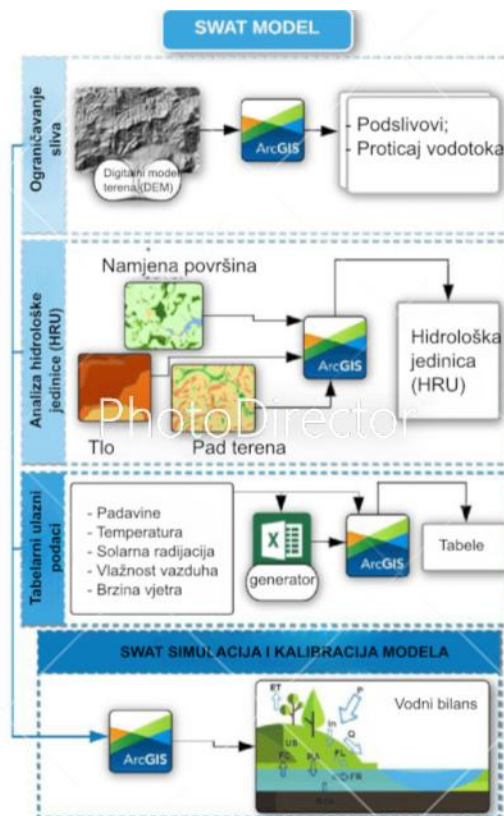
2. ULAZNI PODACI ZA MODEL

Ulazni podaci za modeliranje u softverskom paketu ArcGIS, odnosno u GIS alatu – ArcSWAT-u su:

- digitalni model terena,
- karta namjene površine slivnog područja,
- karta pedološkog sastava tla slivnog područja,

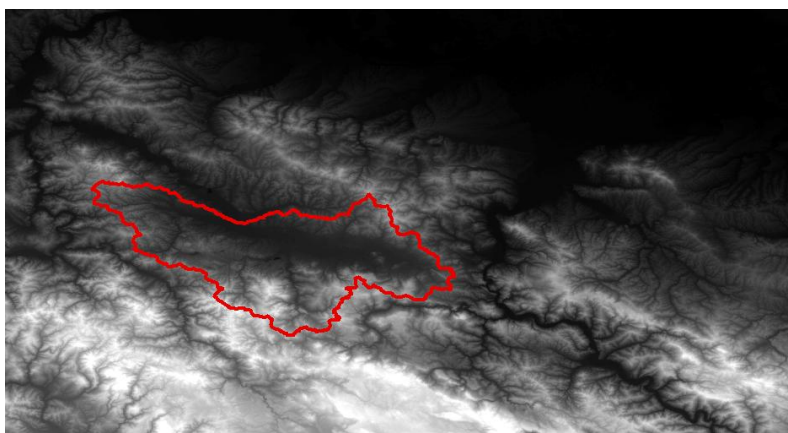
- hidrometeorološki podaci (padavine, temperature, vjetar, sunčeva insolacija i vlažnost vazduha).

Na sljedećoj slici (Slika 1) je prikaz način rada softvera ArcSWAT-a, potrebne podloge i analiza podloga, te rezultati koji se dobijaju ovakvim pristupom istraživanja slivnog područja.



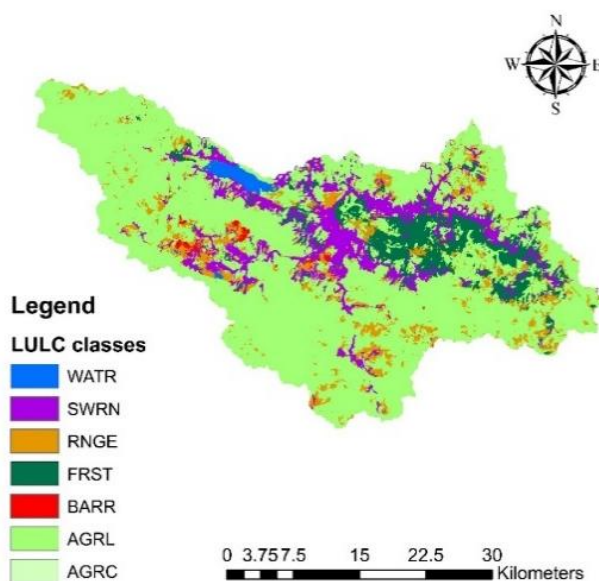
Slika 1. Prikaz načina rada ArcSWAT modela [3]

Digitalni model terena kao jedna od najznačajnijih podloga je preuzeta sa USGS Earth Explorer, podatak digitalnog modela terena je SRTM 30 m. SRTM 30 m je fajl sadrži digitalne podatke o nadmorskoj visini za međunarodni istraživački program, a kojim su dobiveni digitalni modeli nadmorske visine na globalnom nivou.



Slika 2. Digitalni model terena šireg područja sa ucrtanom granicom slivnog područja akumulacije Modrac

Namjena površina i zemljani pokrivač je također karta sa digitalnim podacima i potrebna podloga za analizu slivnog područja i za proračun u navedenom softverskom paketu. Rezolucija ove karte je dosta visoka, i od 2020. godine ona iznosi 10 m.



Slika 3. Karta namjene površine i zemljanog pokrivača

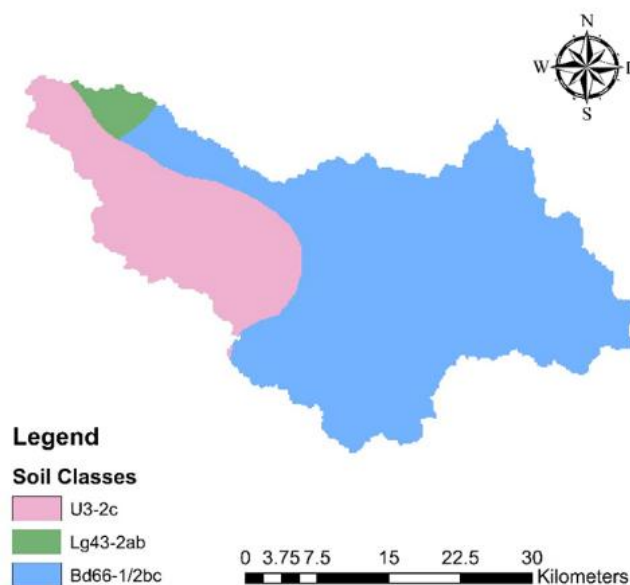
Imajući u vidu dostupne ulazne podatke koji su neophodni za modeliranje slivnog područja, u ovom radu, podaci o količini i transportu ukupnog suspendiranog sedimenta su rađeni za niz od 8 godina i to od 2014. godine do 2021. godine.

Karta tla je također karta sa digitalnim podacima i potrebna podloga za analizu slivnog područja i za proračun u softverskom paketu ArcGIS, odnosno ArcSWAT-u. Za predmetni region, a kojem pripada i sliv akumulacije Modrac, navedena karta tla sa pedološkim karakteristikama je preuzeta sa stranice www.fao.org u kojoj se nalazi baza podataka o pedološkim karakteristikama tla na globalnom nivou [4].

Navedena karta sadrži baze podataka koji se odnose se na podatke i karte sastavljene korištenjem terenskih istraživanja potkrijepljenih daljinskim očitavanjem i drugim podacima o okolišu, stručnim mišljenjem i laboratorijskim analizama [4].

Na slici 4. je prikazana karta tla sliva akumulacije Modrac po klasifikaciji dominantnog tla. Za slivno područje akumulacije Modrac dominiraju tri tipa dominantnog tla, a to su:

- Rankeri (U3-2c) označava plitke stijene s čvrstim ili fragmentiranim nevapnenačkim stijenama;
- Luvisol (Lg43-2ab) su tla povezana su s kratkotrajnom zasićenošću vodom u profilima;
- Kambiosoli (Bd66-1/2bc), su široko rasprostranjena tla razvijena na različitim litologijama koje igraju značajnu ulogu u pedološkom razvoju ovog relativno mladog tla [4].



Slika 4. Karta tla sliva akumulacije Modrac po klasifikaciji dominantnog tla

Hidrometeorološki podaci su također koriste kao podloga za analizu slivnog područja i dobijanja rezultata o proticaju u vodotocima (dotok u akumulaciju Modrac), pronos nanosa (sedimenata), zasićenosti tla, unos nutrijenata u akumulaciju (organsko opterećenje). Hidrometeorološki podaci su uzeti za niz od 8 godina (2014. godina – 2021. godina) sa KS Modrac.

3. REZULTATI MODELIRANJA

U ovom radu, vremenski koraci (mjesečni kao i dnevni) su korišteni za evaluaciju SWAT modela. Drugačiji parametri evaluacije korišteni su za procjenu modela i njihov učinak prema preporuci Moriasi et al. (2007.), tj.:

1. Nash–Sutcliffeova učinkovitost (NSE),
2. grafička tehnika pomoću hidrograma,
3. standard RMSE opažanja omjer odstupanja (RSR) i
4. postotna pristranost (Pbias).

Osim toga, indeks slaganja (D) i koeficijent determinacije (R²) također su izračunati i uspoređeni za sve rezultate dobijenih modeliranjem u SWAT softveru. Kopneni dio hidrološkog ciklusa temelji se na bilansu vodene mase. Hidrološki procesi i primjena SWAT modela svakodnevno se simulira za svaku HRU – hidrološku jedinicu, vremenskim koracima pomoću sljedeće jednačine ravnoteže vode u tlu [5].

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^n (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

gdje je:

SW_t – ukupni sadržaj vode u tlu (mm)

SW_0 – početni sadržaj vode u tlu (mm)

R_{day} – količina padavina po danu (mm)

Q_{surf} – količina površinskog oticanja po danu (mm)

E_a – evapotranspiracija po danu (mm)

w_{seep} – količina perkolacije (ekstrakcije) – podizanje nivoa podzemne vode (mm)

Q_{gw} – količina podzemne vode (mm)

Za izračun se koristi Penman-Monteithova metoda stvarne evapotranspiracije kao i potencijalna transpiracija. Modificirana metoda CN krive sa modificiranom racionalnom metodom koriste se za proračun površinskog i vršnog oticanja [6].

Univerzalna jednačina erozije tla i količine sedimenata je definisao Williams 1995 godine [7]:

$$\text{sed} = 11,80 \times (Q_{\text{surf}} \times q_{\text{peak}} \times \text{area}_{\text{hru}})^{0,56} \times K_{\text{usle}} \times C_{\text{usle}} \times LS_{\text{usle}} \times \text{CFRG} \quad (2)$$

gdje je:

sed – količina sedimenata (t/dan)

Q_{surf} – zapremina površinskog oticanja (mm)

q_{peak} - pik stope površinskog oticanja (m^3/sek)

area_{hru} – površina hidrološke jedinice HRU (ha)

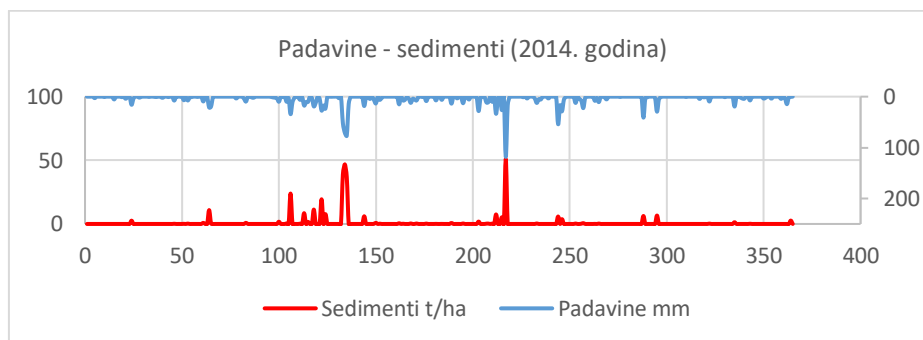
K_{usle} - erozioni faktor tla (uzima se: 0,013 t/ha)

C_{usle} - faktor zemljanog pokrova i upravljanja

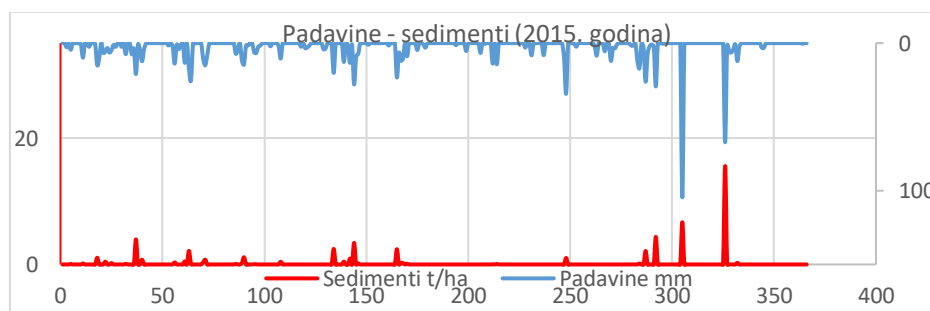
LS_{usle} - topografski faktor

CFRG - faktor grubih fragmenata

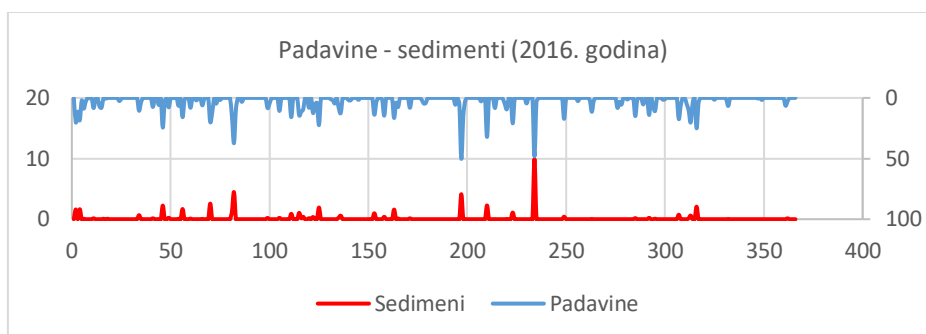
U nastavku su prikazani grafički rezultati iz SWAT modela na dijagramima na kome je prikazan međudnos padavina kao ulaznog podatka i količine sedimenata kao rezultata ove analize.



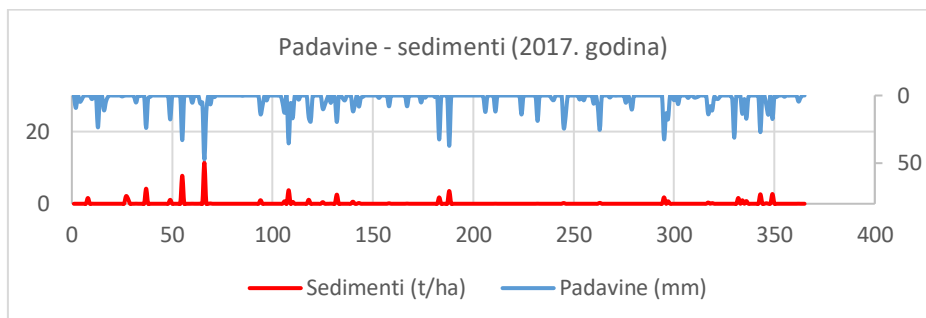
Slika 5. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2014. godini



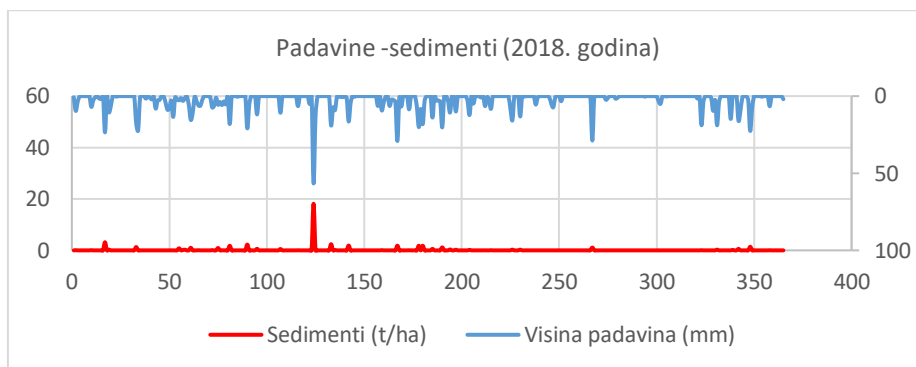
Slika 6. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2015. godini



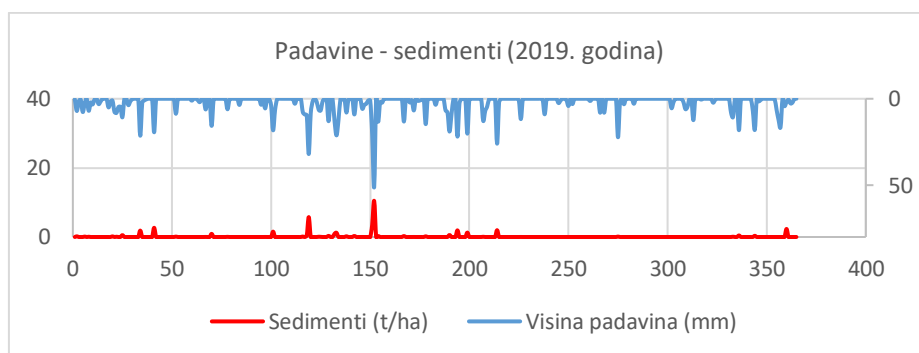
Slika 7. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2016. godini



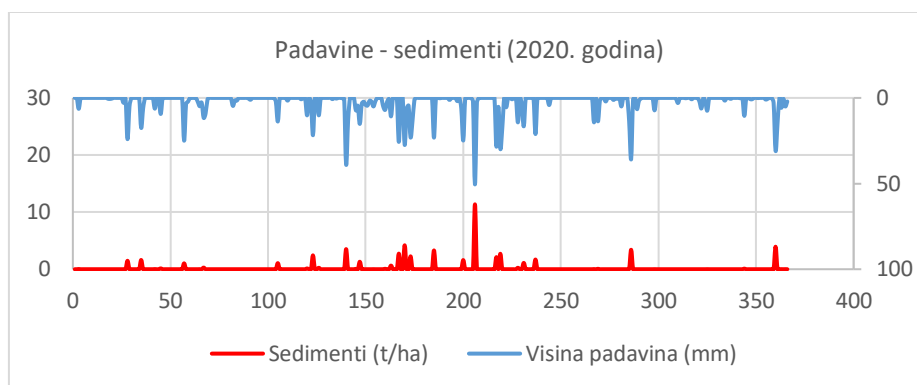
Slika 8. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2017. godini



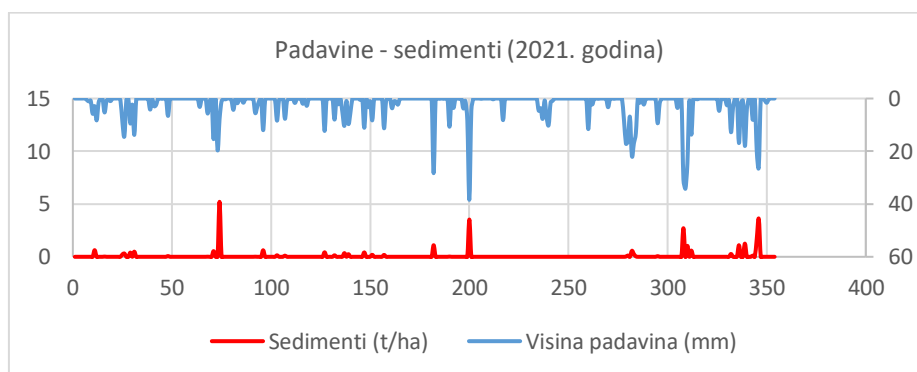
Slika 9. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2018. godini



Slika 10. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2019. godini



Slika 11. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2020. godini



Slika 12. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2021. godini

Za rezultate koji su dobijeni za period 2014. – 2021. godinu, urađena je korelacija i prosta regresija, odnos padavina i sedimenata (nanosa), njihova međusobna veza prikazan kroz Pirsonov koeficijent R^2 . Navedeni Pirsonov koeficijent R^2 dat je tabelarno za period 2014. – 2021. godinu [8].

Tabela 1. Tabelarni prikaz Pirsonov koeficijent R^2 za period 2014. – 2021. godinu

Godina	Srednje godišnje padavine (mm)	Količina sedimenata (nanosa) t/ha	Pirsonov koeficijent R^2
2014	1430,20	319,62	0,9527
2015	870,80	47,06	0,9348
2016	989,20	48,78	0,9248
2017	982,90	58,40	0,9593
2018	966,50	48,46	0,9369
2019	896,90	41,76	0,8643
2020	915,60	55,08	0,8935
2021	814,00	28,89	0,7366

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je modeliranje GIS alatima slivnog područja akumulacije „Modrac“. U odnosu na ulazne podatke, dobijena je vrijednost dnevne količine sedimenata (nanosa) koji se unosi u akumulaciju „Modrac“. Korelacija padavina kao ulaznog podatka i količine sedimenata kao rezultat ove analize, dat je Pirosonov koeficijent R^2 koji opisuje njihovu međusobnu povezanost. Važno je istaći da R^2 koeficijent za 2014. godinu iznosi 0,9527, što je veoma velika pozitivna veza, kao i za ostale godine u datom periodu. Najveći Pirsonov koeficijent je očitán unutar 2017. godine i iznosi 0,9593, a najmanji u 2021. godini koji iznosi 0,7366 (Tabela 1).

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). " Upravljanje višenamjenskim akumulacijama sa studijom slučaja jezera Modrac ", Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Doktorska disertacija.
- [2] Jahić M. (2009) „Hidrologija“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
- [3] Dueker, K. (1988) „Geographic Information Systems: Research Issues, Center for Urban Studies Publications and Reports“. 45.
- [4] Vukadinović, V. (2018) „Zemljišni resursi“, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
- [5] Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2011) „Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009.“ Texas Water Resources Institute, College Station
- [6] Trajković, S. (2007) „Jednostavna empirijska formula za proračun referentne evapotranspiracije“, Vodoprivreda, Pregledni rad
- [7] Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. (1998) „Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development.“ J Am Water Resour Assoc 34(1):73–89
- [8] Lovrić M., Komić J., Stević S. (2006) „Statistička analiza metodi i primjena“, Ekonomski fakultet Banja Luka
- [9] Jahić M. (2004) „Prostorno planiranje i zaštita okoline“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
- [10] Hrelja H. (1996) „Vodoprivredni sistemi“, Svjetlost, Sarajevo

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.139

Naučni rad

ZADACI KOD UREĐIVANJA BUJICA I ODREĐIVANJE EROZIONOG KOEFICIJENTA SLIVA RIJEKE TURIJE

*Munir Jahić, **Amir Mešković, ***Mufid Tokić, Omer Kovčić

**Dr.sc Munir Jahić, dipl.ing.građ., emeritus, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, tel: +38761183241, e-mail: munirjahic@gmail.com*

***Dr.sc Amir Mešković, dipl.ing.geol., redovni profesor, Univerzitet Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski fakultet, tel: +38761280096, e-mail: amir.meskovic@untz.ba*

****Mufid Tokić, dipl.ing.građ.MA, JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761728428, e-mail: mufid.tokic@gmail.com*

*****Dr.sc Omer Kovčić, dipl.ing.građ., JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761868123, e-mail: omer.kovcic@gmail.com*

Sažetak

U nizu egzogenih i endogenih procesa koji čine ogromne štete gotovo u cijelom svijetu, posebno mjesto zauzima erozija zemljišta i bujični tokovi. Bujični tokovi formiraju se praktično nezapaženo i predstavljaju mješavinu velike količine erodiranog materijala s planinskih i brdskih područja, koji se, zajedno sa vodom uz veliku brzinu tečenja niz formirane jaruge spuštaju u niže dijelove. Ovi tokovi, koji u sušno vrijeme imaju vrlo mali proticaj ili su njihova korita potpuno suha, za kratko vrijeme djelovanja ruše sve ispred sebe, od mostova, saobraćajnica, do drugih objekata. Isti zatrpavaju nanosom kanale, poljoprivredno zemljište, te često ugrožavaju i naseljena mjesta, nerijetko sa ljudskim žrtvama. Pravi primjer navedenog smo bili svjedoci razaranja naselja u općini Konjic i općini Jablanici u oktobru 2024. godine, gdje su bujice u par sati nanijele ogromne ljudske gubitke i materijalnu štetu.

Ključne riječi: egzogeni i endogeni procesi, erozija, bujični tokovi, slivno područje, klizišta, erozioni koeficijent, padavine, nanos, rijeka Turija, akumulacija Modrac

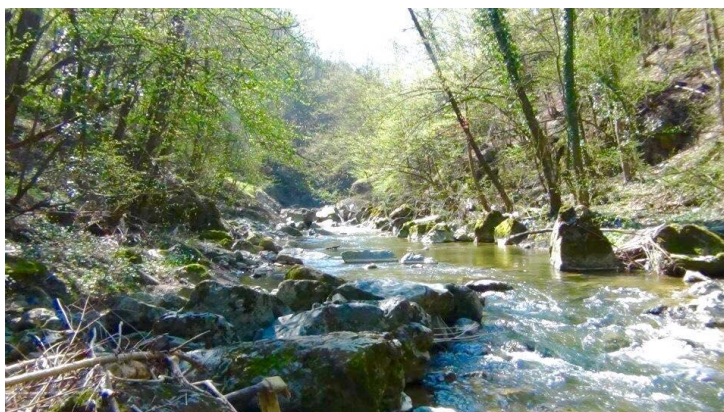
1. UVOD

Zaštita od erozije i bujičnih pojava briga je svih država, ali i šire međunarodne zajednice. U tom smislu, posebno je važno istaći da se na skupu o Zemlji, održanom u Rio de Janeiru 1992. godine pod pokroviteljstvom UN-a, usvojeni dokumenti o globalnom planu Agenda 21 (program za 21. stoljeće) gdje se, između ostalog, govori o zaštiti zemljišta od širenja erozije i bujičnih poplava, u okviru strategije održivog razvoja i zaštiti čovjekove okoline [1].

Godišnje se štete u svijetu od erozije zemljišta i bujičnih tokova izuzetno su velike, prelaze stotine miliona dolara. One se u znatnoj mjeri mogu smanjiti i svesti na minimum uređenjem slivova i pravim pristupom zaštiti od bujica. Kod toga je posebno značajna realna ocjena stanja bujičnog prostora, provedba efikasnih i kompleksnih protivbujičnih mjera i formiranja stručnih timova za sprečavanje bujica [1].

Sliv rijeke Turije pripada slivu akumulacije Modrac. Rijeka Turija u svom gornjem i srednjem toku, uključujući i pritoke, se nalazi u brdskom području. Karakteriše je veliki pad dna

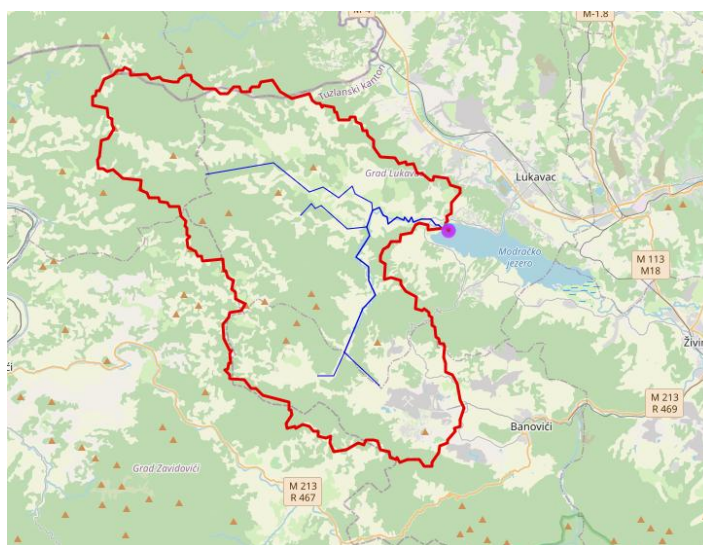
prirodnog korita, što za posljedicu ima veliku brzinu tečenja vode i vodne snage koja erodira obale i nosi ogromnu količinu nanosa svojim koritom do akumulacije Modrac [2].



Slika 1. Korito rijeke Turije u njenom srednjem toku

Površina sliva rijeke Turije iznosi oko 240,00 km². Može se reći da spada u srednje slivove po kvalifikaciji slivova u hidrologiji [2].

Na sljedećoj slici 2., je prikazano slivno područje rijeke Turije, preuzeto sa <https://mghydro.com/watersheds/>.



Slika 2. Slivno područje rijeke Turije

2. DOSADAŠNJE ISTRAŽIVANJE I RADOVI

U cilju sprečavanja prekomjernog zasipanja akumulacije Modrac sa vučenim nanosom, izgrađeno je više pregrada – brana na pritokama akumulacije. Više takvih pregrada je izgrađeno na rijeci Turiji, koje su se srušile nakon izgradnje, zbog lošeg fundiranja i nedovoljnog geomehaničkog istraživanja. Jedine dvije brane koja i danas postoje su brana na rijeci Turiji i brana na rijeci Brijesnici koja je pritoka rijeke Turije.

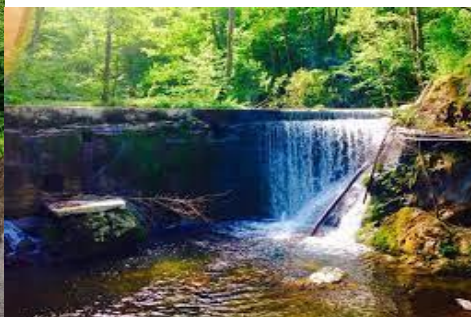
Navedene armirano – betonske brane ne vrše svoju funkciju iz prostog razloga što se ne održavaju, odnosno što se ne vrši eksploatacija nanosa na uzvodnoj strani. Razlog tome je i što

su brane izgrađene na nepristupačnim mjestima i trenutna raspoloživa građevinska mehanizacija nema pristup za čišćenje istog.

Važno je istaći da navedene brane imaju otvore za čišćenje veličine 40x40 cm, ali isti nemaju dovoljnu veličinu za čišćenje ogromne količine nanosa koji se nalazi iza brane.



Slika 3. Brana na rijeci Turiji



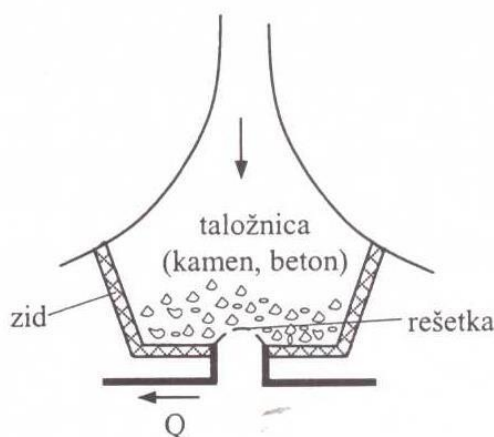
Slika 4. Brana na rijeci Brijesnici

Također, važno je istaći da prilikom projektovanja brane Modrac i hidroakumulacije, nisu dovoljno istražene štetne posljedice moguće erozije i pojave bujica. Direktna posljedica navedenog je ubrzano zasipanje akumulacije i njena eutrofikacija, pogotovo u zadnjih par godina kada se dešavaju klimatske promjene, nekontrolisana sječa šume, prekomjerna izgrađenost objekata na slivu akumulacije i dr.

3. NEUKROTIVE BUJICE I NJHOVO REGULISANJE

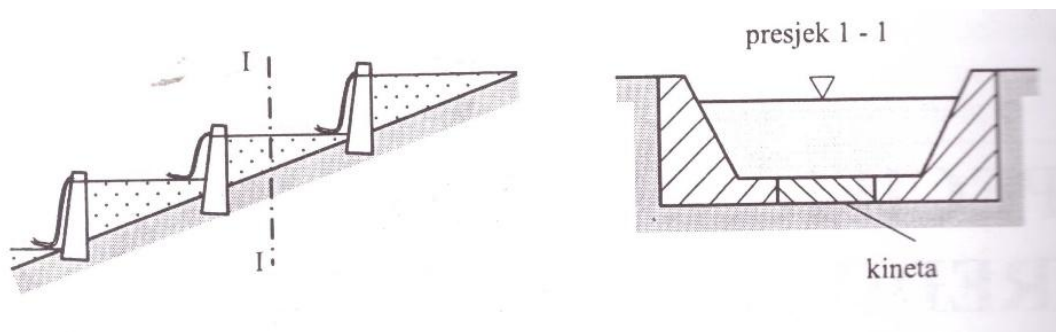
Česta pojava u praksi su tzv. neukrotive bujice. One se javljaju na vrlo strmim brdskim padinama i imaju relativno kratak tok. Njihovo uređenje zahtijeva izuzetno velika i nesrazmjerna sredstva, a kod toga su neizvjesni konačni efekti [2].

Jedna od mjera kod neukrotive bujice spirnjače koja ugrožava nizvodno područje je izrada taložnice. Jedno takvo rješenje je prikazano na sljedećoj slici 5.



Slika 5. Taložnica za nanos kod neukrotive bujice spirnjače

Kod neukrotivih bujica podrivača, obično se pristupa izgradnji novog korita (u obliku kinete) najkraćom trasom sa nizom kaskada, kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 6. Regulisanje neukrotive bujice podrivače koritom u obliku kinete i nizom kaskada

4. KLIZIŠTA I NJHOVO SANIRANJE

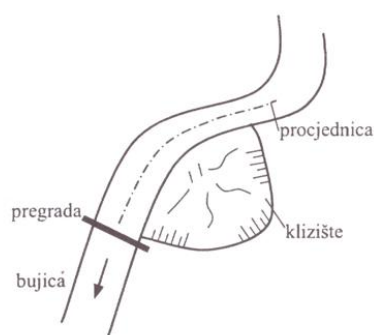
Da bi se izvršilo saniranje klizišta, što je čest zadatak kod uređivanja bujica, potrebno je najprije utvrditi uzrok klizanja zemljane mase. Najčešće je uzorok obilje površinskih i podzemnih voda, te rastresit materijal padine [3].

Utvrdjivanje uzroka klizanja vrši se proučavanjem stanja na terenu i uslova koji su prisutni i to putem rekognosciranja, ekspedicionog i stacionarnog istraživanja [3].

Osnovni radovi kod sanacije klizišta mogu biti trojaki [1]:

- regulisanje površinskog oticanja vode,
- regulisanje režima podzemnih voda i
- formiranje oslonca u donjem dijelu nestabilne padine.

Ako je u pitanju bujica podrivača na čijem boku se pojavilo klizište (Slika 7.), kao mjera sanacije dolazi u obzir poprečna građevina (Slika 8.) kojom se treba uspostaviti pad izjednačenja.

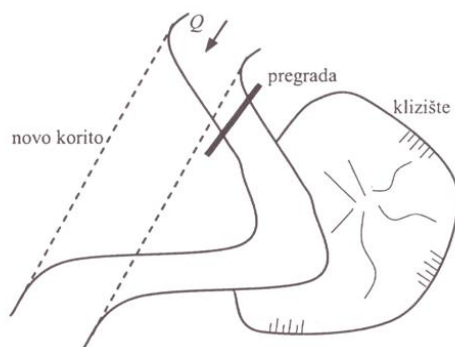


Slika 7. Pojava klizišta u toku bujice

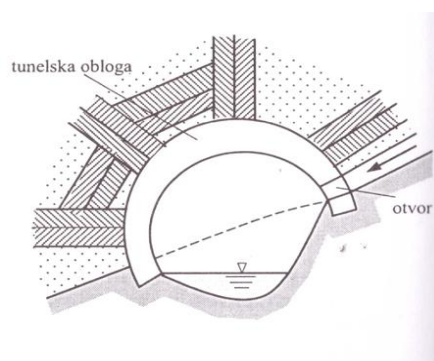


Slika 8. Saniranje klizišta u okviru uređenja bujice pomoću bujične pregrade

Ukoliko se radi o dubokom klizištu, saniranje takvog iziskuje ogromnu investiciju sa poprilično neizvjesnim efektom gradnje. U ovom slučaju kao rješenje često se praktikuje prosijecanje novog korita bujice (Slika 9.) ili čak njeno tuneliranje (Slika 10.) [1].



Slika 9. Izbjegavanje klizišta izgradnjom novog korita bujice

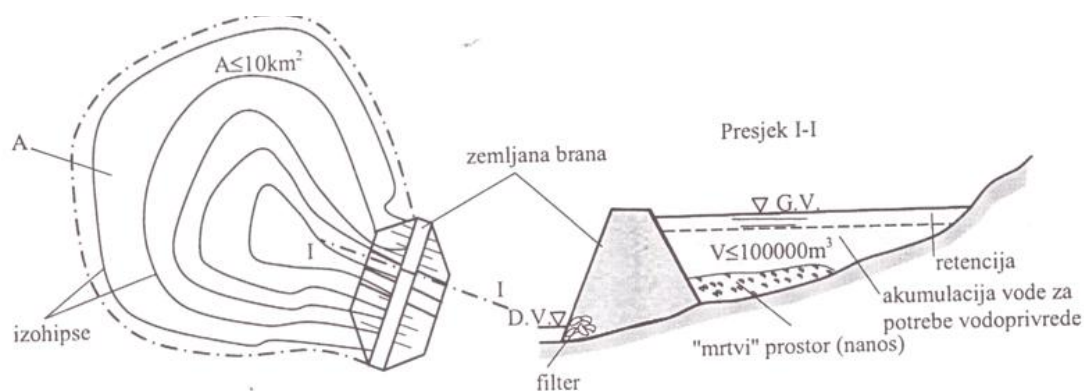


Slika 10. Tunelski način proboja novog korita bujice

5. MIKROAKUMULACIJE I RETENCIJE

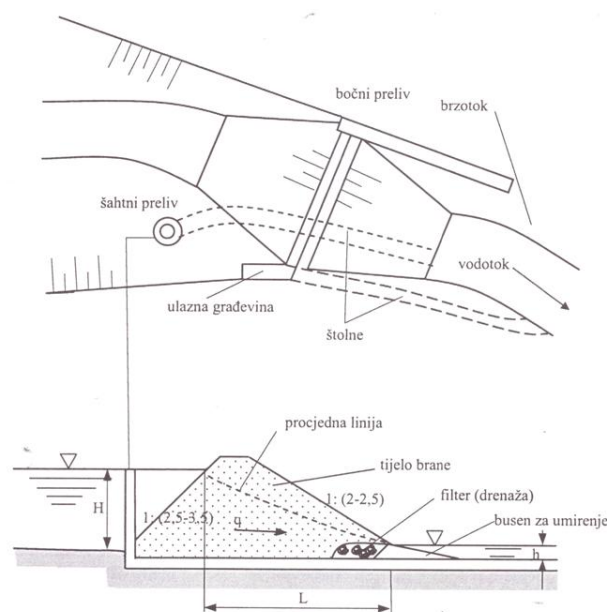
Mikroakumulacije i retencije su veoma značajni hidrotehnički objekti u integralnom uređenju vodnog režima, a time i veoma važni u borbi protiv erozije, bujičnih poplava i suše [4].

Male akumulacije mogu, osim kao jednonamjenske, također da služe za potrebe navodnjavanja, ribarstva, turizma i slično kada imaju višenamjenski karakter.



Slika 11. Prikaz jedne mikroakumulacije i karaktersitični dijelovi zapremine na uzvodnom dijelu brane

Važno je istaći i efikasno rješenje sa nasutim branama, koje su ustvari jaki nasipi koji se održavaju gravitaciono pred spoljnjim silama [4].



Slika 12. Prikaz nasute brane sa evakuacionim (prelivnim) objektima za velike vode

6. ANALIZA KOEFICIJENTA EROZIJE SLIVA RIJEKE TURIJE

Da bi se preventivno djelovanje i sprječavanje nastajanja erozije i bujičnih poplava, potrebno je analizirati i odrediti dovoljno precizno koeficijent erozije predmetnog slivnog područja. Ukoliko je poznat koeficijent erozije, može se jednostavnije upravljati ostalim parametrima.

U praksi često se za ovaj način računanja koristi formula S. Gavrilovića [7]:

$$W_{god} = T \times H_{god} \times \pi \times \sqrt{Z^3} \times A \quad (1)$$

gdje je:

W_{god} – ukupna količina produkcije erozionog nanosa (m^3/god)

T – temperaturni koeficijent područja ($^{\circ}C$)

H_{god} – srednja godišnja visina padavina (mm)

Z – koeficijent erozije sliva

A – površina sliva (km^2)

Temperaturni koeficijent se računa prema obrascu:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.10 \quad (2)$$

gdje je:

t_0 – srednja godišnja temperatura vazduha ($^{\circ}C$)

Za rezultate koji su dobijeni za period 2014. – 2021. godinu, količini nanosa koji se produkuje na slivu rijeke Turije i unosi u akumulaciju Modrac prikazan je u sljedećoj tabeli 1. [8].

Tabela 1. Tabela prikaz količine nanosa za period 2014. – 2021. godinu [9]

Godina	Srednje godišnje padavine (mm)	Količina sedimenata (nanosa) m ³ /god
2014	1430,20	190,30
2015	870,80	28,01
2016	989,20	29,04
2017	982,90	34,77
2018	966,50	28,85
2019	896,90	24,86
2020	915,60	32,79
2021	814,00	17,20

Ako se uzme najnepovoljniji slučaj kako bi se odredila maksimalna sila erozionih procesa na slivu rijeke Turije, za 2014. godinu, uz temperaturni koeficijent $T=1,07$ (empirijski obrazac 2), dobija se rezultat erozionog koeficijenta, a koji iznosi $Z=0,68$ [1].

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su zadaci i mjere koje se moraju donijeti i postupati prema donesenim mjerama kako bi se ublažilo dejstvo erozionih procesa slivnog područja i nastajanja bujica. Potrebno je donijeti strategiju i angažovati stručni tim koji bi aktivno radio na planskim dokumentima, te uz dostupnu mehanizaciju provodili radove na terenu, odnosno na slivnom području i koritima rijeka koje su bujičnog karaktera.

Također, cilj ovog rada je bilo analizirati i što preciznije izračunati erozioni koeficijent sliva rijeke Turije, koristeći dostupne ulazne podatke, a u konačnici na osnovu istog definisati rang ranjivosti sliva na erozione procese. Obzirom da se, prema literaturnim podacima, erozioni koeficijent kreće od 0,1 do 1,50, može se zaključiti da sliv rijeke Turije spada u slivove koji su srednje podložni eroziji i nastajanju bujica.

LITERATURA

- [1] Jahić, M. (2008). „Uređenje bujica“, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet
- [2] Kovčić, O. (2017). "Upravljanje višenamjenskim akumulacijama sa studijom slučaja jezera Modrac ", Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Doktorska disertacija.
- [3] Carić D. (1952) „Tehnička hidraulika“, Sarajevo
- [4] Jahić, M. (2003). „Metode istraživanja bujičnih vodotoka“, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet – Zbornik radova
- [5] Jahić, M. Bajrić, M. (2003) „Prognoziranje bujica u svrhu zaštite okoliša“ Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet - Zbornik radova.
- [6] Vukadinović, V. (2018) „Zemljišni resursi“, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
- [7] Gavrilović, S. (1972). „Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, „Igradnja“, Beograd

-
- [8] Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2011) „Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009.“ Texas Water Resources Institute, College Station
 - [9] Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. (1998) „Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development.“ J Am Water Resour Assoc 34(1):73–89
 - [10] Jahić M. (2004) „Prostorno planiranje i zaštita okoline“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
 - [11] Jahić M. (2009) „Hidrologija“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
 - [12] Jahić M. (2007) „Hidrotehnika“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.147

Naučni rad

PROCJENA UNOSA NANOSA U AKUMULACIJU UZ ODREĐIVANJE EROZIONIH KARAKTERISTIKA SLIVNOG PODRUČJA AKUMULACIJE MODRAC

*Mufid Tokić, **Munir Jahić, ***Omer Kovčić

**Mufid Tokić, dipl.ing.građ.MA, JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761728428, e-mail: mufid.tokic@gmail.com*

***Dr.sc Munir Jahić, dipl.ing.građ., emeritus, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, tel: +38761183241, e-mail: munirjahic@gmail.com*

****Dr.sc Omer Kovčić, dipl.ing.građ., JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761868123, e-mail: omer.kovcic@gmail.com*

Sažetak

Određivanje erozionih karakteristika slivnog područja je veoma važno kod upravljanja samim slivnim područjem, kao i kod upravljanja vodnim resursima, pogotovo ako se radi o višenamjenskoj akumulaciji. Faktori koji uslovljavaju proces erozije u slivnom području vodotoka, odnosno režim nanosa jednog vodotoka, mogli bi se podijeliti na one koji se praktično ne mijenjaju ili one koji se u periodu od nekoliko godina ne mijenjaju znatno, i faktore koji su u toku godine podložni promjenama, u zavisnosti od meteoroloških i klimatskih promjena nad slivnim područjem. Za preventivno djelovanje i spriječavanje nastajanja erozije, a time i bujičnih poplava, te zasipanja akumulacija, potrebno je analizirati i odrediti precizno koeficijent erozije slivnog područja. Sa druge strane, upravljanje vodnim resursima sadrži niz aktivnosti kao što su planiranje, projektiranje, izgradnja, upravljanje, održavanje, promatranje i kontrola izgrađenih objekata, radi ocjene i povećanja njihove učinkovitosti. U skladu s tim, potrebno je posebno planirati sve aktivnosti u odnosu prema akumulacijama kao ključnim objektima upravljanja vodnim režimom nekog sliva i procesa unutar slivnog područja.

Ključne riječi: erozija, nanos, meteorološke promjene, klimatske promjene, erozioni koeficijent, vodni resursi, nanos, slivno područje, taloženje.,

1. UVOD

Akumulacija Modrac predstavlja jedini dostupan vodni resurs u regionu Tuzle i okoline. Imajući u vidu činjenicu da je korisna zapremina akumulacije ograničena, i da vremenom dolazi do zasipanja akumulacije vučenim nanosom i ugljenom prašinom kao lebdećim nanosom, te da se potrošačima – stanovništvu, industriji i drugima, mora osigurati vodosnabdjevanje sa visokim stepenom sigurnosti. Višak vode potrebno je maksimalno iskoristiti u svrhu proizvodnje električne energije, te postoji potreba za optimiziranjem sistema, odnosno efikasnijim upravljanjem vodnim resursom akumulacije, odnosno da se dokaže maksimalna iskoristivost akumulacije uz neprestano obezbjeđivanje svih potrebnih količina vode za koju je vezana akumulacija Modrac [1].

Hidroakumulacija "Modrac", kao višenamjenska akumulacija, nastala izgradnjom brane Modrac 1964. godine u tjesnacu Modrac na rijeci Spreči. Hidroakumulaciju čine rijeke Spreča i Turija sa pritokama. Ukupna površina slivnog područja u profilu brane je približno 1189 km², što čini preko 60% cjelokupnog riječnog sliva. Od ukupne površine sliva, rijeka Spreča zauzima 832 km², rijeka Turija zauzima 240 km², dok ostatak sliva pripada akumulaciji neposrednog sliva 117 km² [1].

Sve većim, te često i međusobno suprotstavljenim zahtjevima korištenja vodnim resursima, pojavljuje se i potreba za složenijim metodama upravljanja uključujući i upravljanje zapreminom akumulacija.

U pojedinim akumulacijama, već 10 – 20 godina po njihovoj izgradnji, zapremina nanosa dostiže 20 – 30% opće zapremine akumulacije [2].

Svrha procjene pronosa nanosa u hidroakumulaciju je ostvarivanje mogućnosti svrsishodnijeg upravljanja prirodnim vodnim resursima, zaštiti od štetnog djelovanja voda kao i zaštiti voda od onečišćenja.

Analizom pronosa nanosa na vodotocima, odnosno pritokama, te ukupnom količinom nanosa koji je taloži u akumulaciji Modrac, dobijaju se stvarni podaci o količini nanosa koji se unosi u hidroakumulaciju Modrac, dinamiku unosa nanosa, te stepen onečišćenja ovakve vrste vodnog tijela.

2. MODELIRANJE SLIVNOG PODRUČJA

U vrijeme današnje tehnologije koja je široko dostupna, za modeliranje slivnog područja najefikasniji alat je geografski informacijski sistem (GIS). GIS je sistem za upravljanje prostornim podacima i osobinama koje su njima pridružene. U najstrožijem smislu to je kompjuterski sistem sposoban za integrisanje, spremanje, uređivanje, analiziranje i prikazivanje geografskih informacija. Jedna od najstarijih definicija GIS-a je:

„GIS je posebna vrsta informacijskog sistema u kojem kompjuterska baza podataka obuhvaća tačno definirane odnose između prostorno distribuiranih objekata, djelatnosti i događaja, koji su u prostoru definirani kao tačke, linije i površine (poligoni) [3].

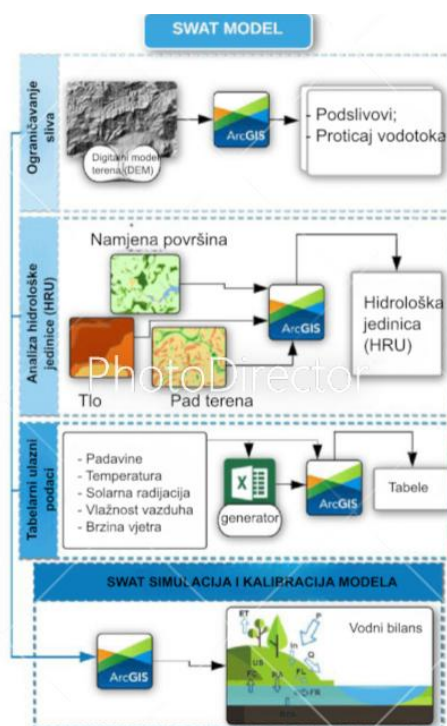
U GIS-u su podaci vezani uz te tačke, linije i poligone i tako su pohranjeni za istraživanja i analize“ [3].

Modeliranje slivnog područja višenamjenske akumulacije je rađen u softverskom paketu ArcGIS, u kojem je rađena priprema svih podloga i ulaznih podataka za proračun, modeliranje sliva akumulacije Modrac i hidrološko hidraulički proračun je rađen u ArcSWAT-u. U navedenom softveru, na geoinformacionoj platformi (GIS), su dobijeni rezultati: proticaj glavnih vodotoka u slivnom području akumulacije Modrac, zasićenosti tla i pronosu sedimenata u vodotocima i transportu istih do akumulacije Modrac.

Ulazni podaci za modeliranje u softverskom paketu ArcGIS, odnosno u GIS alatu – ArcSWAT-u su:

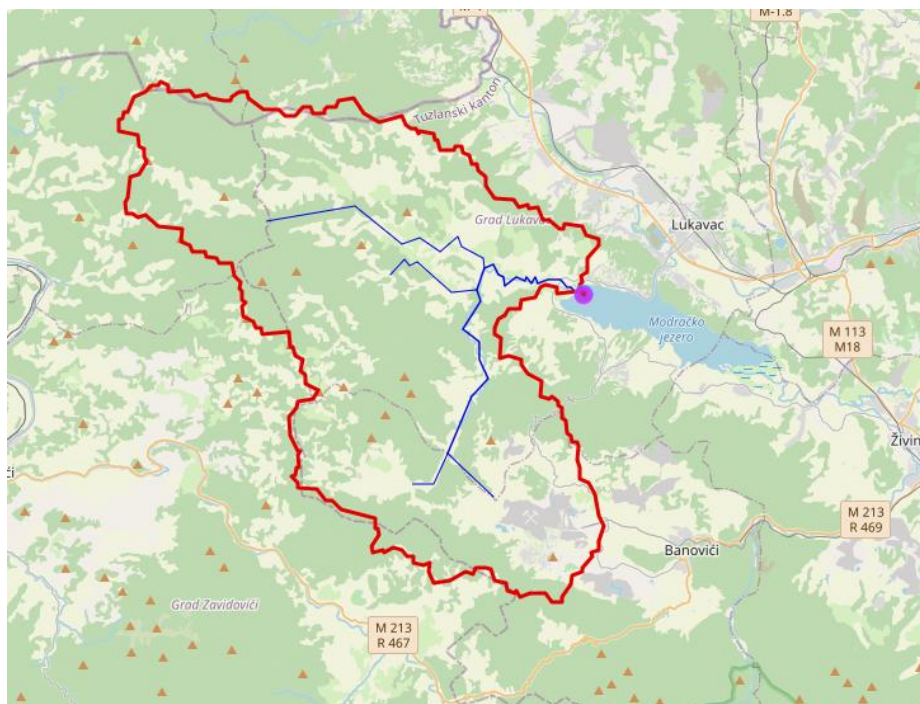
- digitalni model terena,
- karta namjene površine slivnog područja,
- karta pedološkog sastava tla slivnog područja,
- hidrometeorološki podaci (padavine, temperature, vjetar, sunčeva insolacija i vlažnost vazduha).

Na sljedećoj slici (slika 1) je prikaz način rada softvera ArcSWAT-a, potrebne podloge i analiza podloga, te rezultati koji se dobijaju ovakvim pristupom istraživanja slivnog područja.

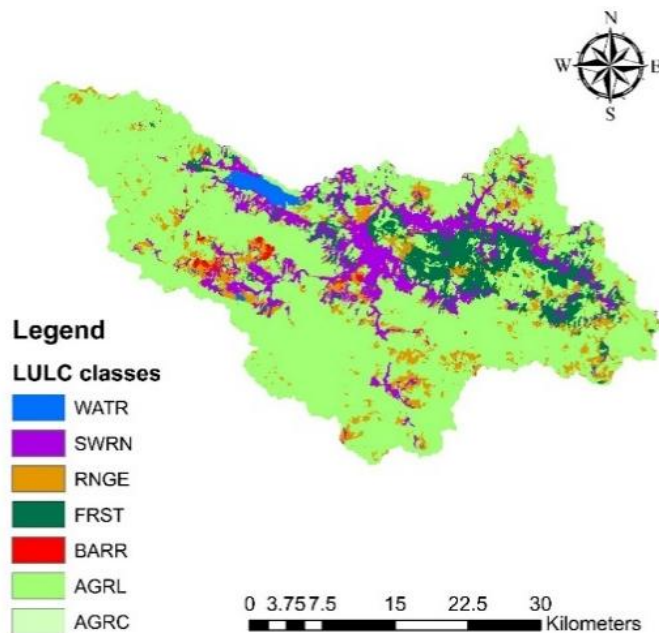


Slika 1. Prikaz načina rada ArcSWAT modela [3]

Digitalni model terena kao jedna od najznačajnijih podloga je preuzeta sa USGS Earth Explorer, podatak digitalnog modela terena je SRTM 30 m. SRTM 30 m je fajl sadrži digitalne podatke o nadmorskoj visini za međunarodni istraživački program, a kojim su dobiveni digitalni modeli nadmorske visine na globalnom nivou.



Slika 2. Digitalni model terena šireg područja sa ucrtanom granicom slivnog područja akumulacije Modrac, <https://mghydro.com/watersheds/>
 Namjena površina i zemljani pokrivač je također karta sa digitalnim podacima i potrebna podloga za analizu slivnog područja i za proračun u navedenom softverskom paketu. Rezolucija ove karte je dosta visoka, i od 2020. godine ona iznosi 10 m.



Slika 3. Karta namjene površine i zemljanog pokrivača, [3]

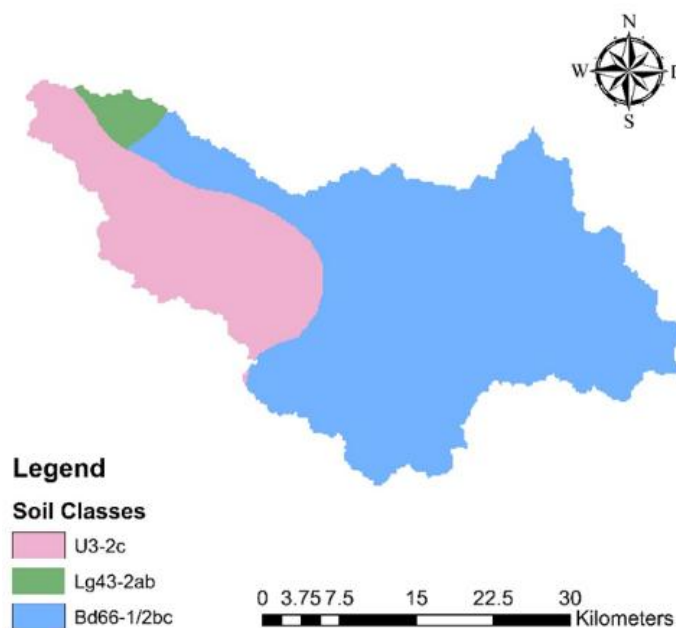
Imajući u vidu dostupne ulazne podatke koji su neophodni za modeliranje slivnog područja, u ovom radu, podaci o količini i transportu ukupnog nanosa su rađeni za niz od 8 godina u periodu 2014. – 2021. godine.

Karta tla je također karta sa digitalnim podacima o pedološkim karakteristikama slivnog područja. Za predmetni sliv akumulacije Modrac, navedena karta tla sa pedološkim karakteristikama je preuzeta sa stranice www.fao.org u kojoj se nalazi baza podataka o pedološkim karakteristikama tla na globalnom nivou [4].

Navedena karta sadrži baze podataka koji se odnose se na podatke i karte sastavljene korištenjem terenskih istraživanja potkrijepljenih daljinskim očitavanjem i drugim podacima o okolišu, stručnim mišljenjem i laboratorijskim analizama [4].

Na slici 4. je prikazana karta tla sliva akumulacije Modrac po klasifikaciji dominantnog tla. Za slivno područje akumulacije Modrac dominiraju tri tipa dominantnog tla, a to su:

- Rankeri (U3-2c) označava plitke stijene s čvrstim ili fragmentiranim nevapnenačkim stijenama;
- Luvisol (Lg43-2ab) su tla povezana su s kratkotrajnom zasićenošću vodom u profilima;
- Kambiosoli (Bd66-1/2bc), su široko rasprostranjena tla razvijena na različitim litologijama koje igraju značajnu ulogu u pedološkom razvoju ovog relativno mladog tla [4].



Slika 4. Karta tla sliva akumulacije Modrac po klasifikaciji dominantnog tla, [4]

Hidrometeorološki podaci su također koriste kao podloga za analizu slivnog područja i dobijanja rezultata o proticaju u vodotocima (dotok u akumulaciju Modrac), pronos nanosa (sedimenata), zasićenosti tla, unos nutrijenata u akumulaciju (organsko opterećenje). Hidrometeorološki podaci su uzeti za niz od 8 godina (2014. godina – 2021. godina) sa KS Modrac.

3. REZULTATI MODELIRANJA

U ovom radu, vremenski koraci su korišteni za evaluaciju SWAT modela. Drugačiji parametri evaluacije korišteni su za procjenu modela i njihov učinak prema preporuci Moriasi et al.

(2007.), tj.:

- Nash–Sutcliffova učinkovitost (NSE),
- grafička tehnika pomoću hidrograma,
- standard RMSE opažanja omjer odstupanja (RSR) i
- postotna pristranost (Pbias).

Osim toga, indeks slaganja (D) i koeficijent determinacije (R²) također su izračunati i uspoređeni za sve rezultate dobijenih modeliranjem u SWAT softveru. Kopneni dio hidrološkog ciklusa temelji se na bilansu vodene mase. Hidrološki procesi i primjena SWAT modela svakodnevno se simulira za svaku HRU – hidrološku jedinicu, vremenskim koracima pomoću sljedeće jednačine ravnoteže vode u tlu [5].

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^n (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

gdje je:

SW_t – ukupni sadržaj vode u tlu (mm)

SW_0 – početni sadržaj vode u tlu (mm)

R_{day} – količina padavina po danu (mm)

Q_{surf} – količina površinskog oticanja po danu (mm)

E_a – evapotranspiracija po danu (mm)

w_{seep} – količina perkolacije (ekstrakcije) – podizanje nivoa podzemne vode (mm)

Q_{gw} – količina podzemne vode (mm)

Za izračun se koristi Penman-Monteithova metoda stvarne evapotranspiracije kao i potencijalna transpiracija. Modificirana metoda CN krive sa modificiranom racionalnom metodom koriste se za proračun površinskog i vršnog oticanja [6].

Univerzalna jednačina erozije tla i količine sedimenata je definisao Williams 1995 godine [7]:

$$sed = 11,80 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru})^{0,56} \times K_{usle} \times C_{usle} \times LS_{usle} \times CFRG \quad (2)$$

gdje je:

sed – količina sedimenata (t/dan)

Q_{surf} – zapremina površinskog oticanja (mm)

q_{peak} - pik stope površinskog oticanja (m³/sek)

$area_{hru}$ – površina hidrološke jedinice HRU (ha)

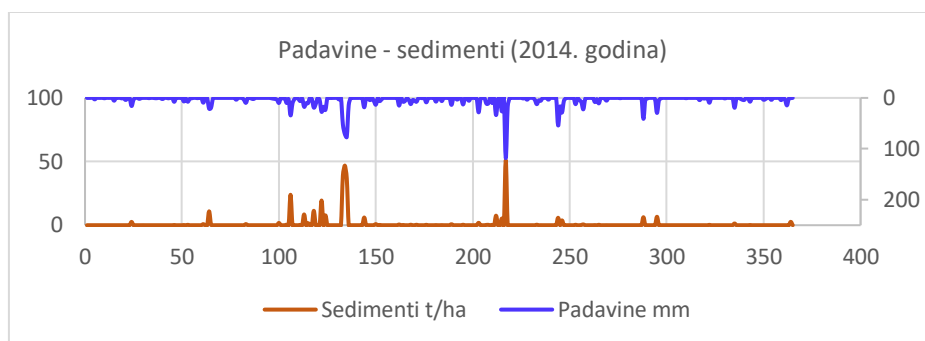
K_{usle} - erozioni faktor tla (uzima se: 0,013 t/ha)

C_{usle} - faktor zemljanog pokrova i upravljanja

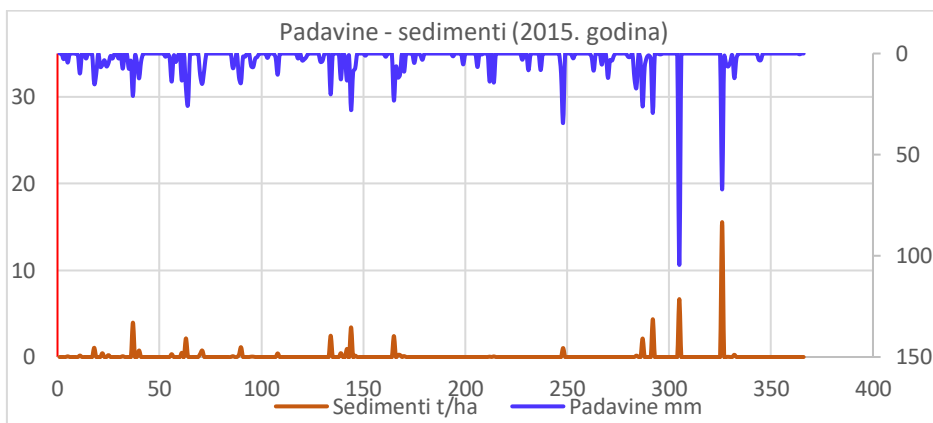
LS_{usle} - topografski faktor

$CFRG$ - faktor grubih fragmenata

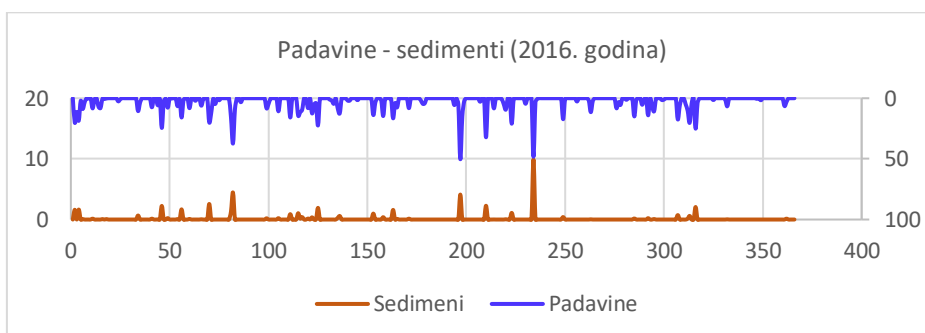
U nastavku su prikazani grafički rezultati iz SWAT modela na dijagramima na kome je prikazan međuođnos padavina kao ulaznog podatka i količine sedimenata kao rezultata ove analize.



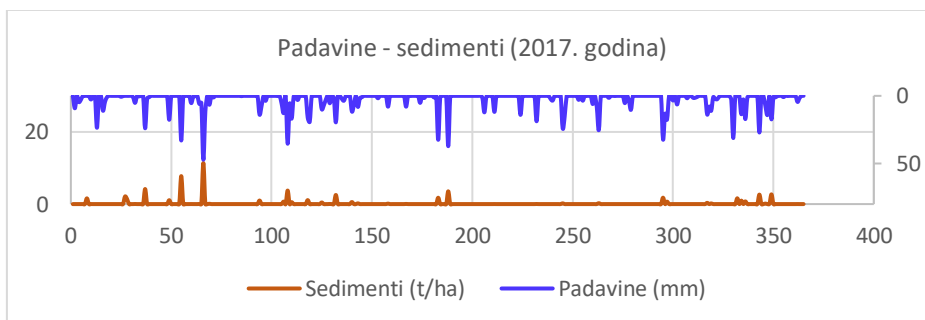
Slika 5. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2014. godini



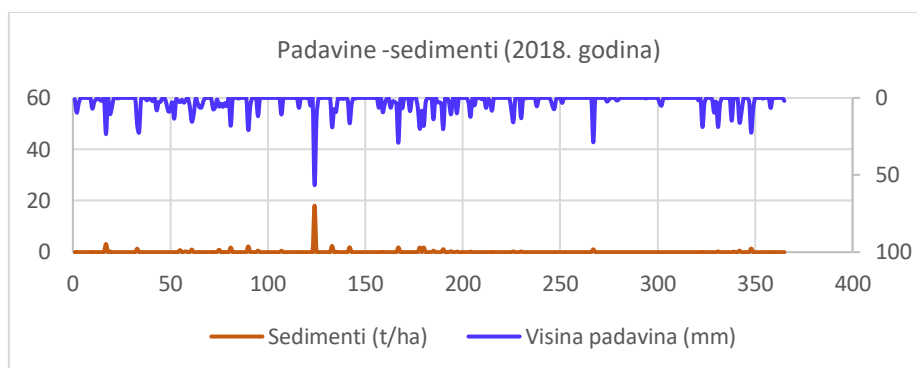
Slika 6. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2015. godini



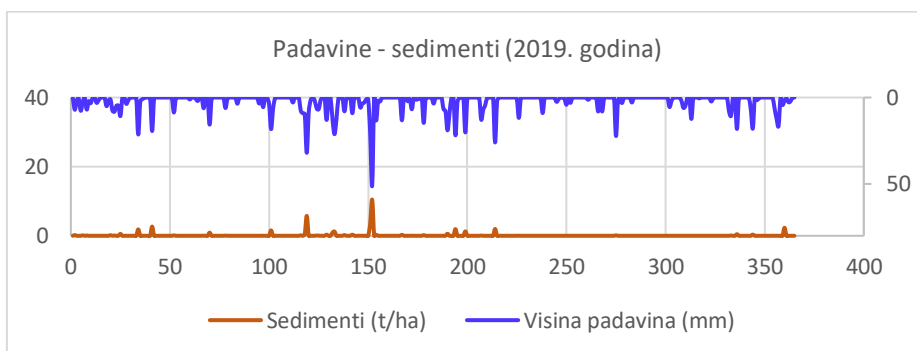
Slika 7. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2016. godini



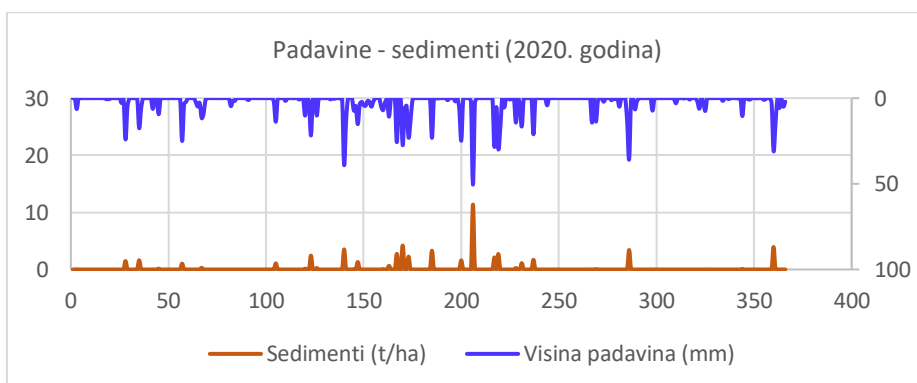
Slika 8. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2017. godini



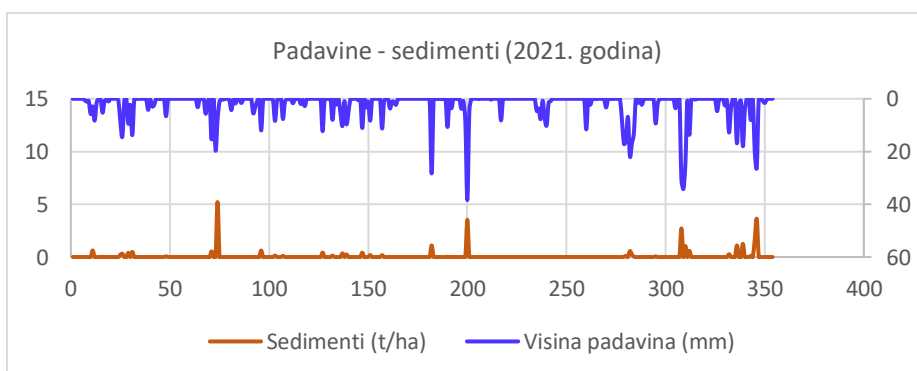
Slika 9. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2018. godini



Slika 10. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2019. godini



Slika 11. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2020. godini



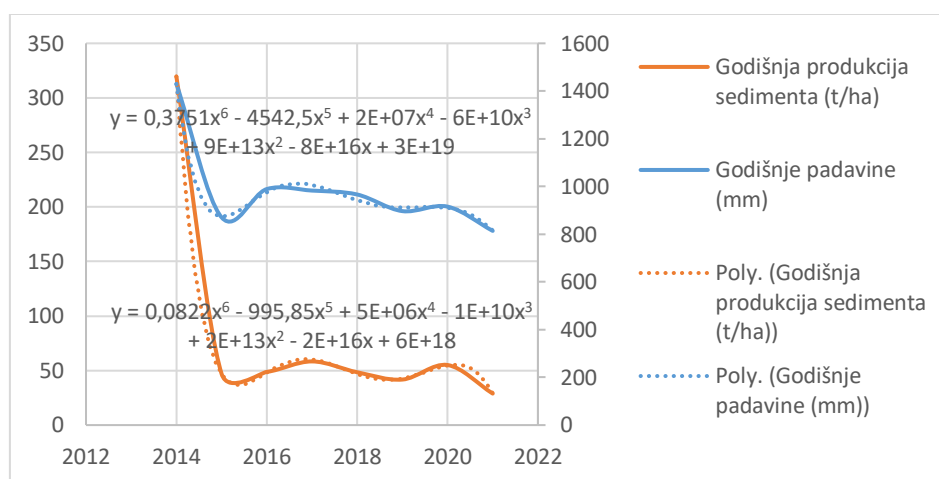
Slika 12. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2021. godini

Za rezultate koji su dobijeni za period 2014. – 2021. godinu, urađena je korelacija i prosta regresija, odnos padavina i sedimenata (nanosa), njihova međusobna veza prikazan kroz

Pirsonov koeficijent R^2 . Navedeni Pirsonov koeficijent R^2 dat je tabelarno za period 2014. – 2021. godinu [8].

Tabela 1. Tabelarni prikaz Pirsonov koeficijent R^2 za period 2014. – 2021. godinu

Godina	Srednje godišnje padavine (mm)	Količina sedimenata (nanosa) t/ha	Pirsonov koeficijent R^2
2014	1430,20	319,62	0,9527
2015	870,80	47,06	0,9348
2016	989,20	48,78	0,9248
2017	982,90	58,40	0,9593
2018	966,50	48,46	0,9369
2019	896,90	41,76	0,8643
2020	915,60	55,08	0,8935
2021	814,00	28,89	0,7366



Slika 13. Dijagram padavina i sedimenata (godišnje vrijednosti) za period 2014 - 2021. god.

4. ANALIZA EROZIONIH KARAKTERISTIKA SLIVNOG PODRUČJA

Uticaj erozionih karakteristika slivnog područja na zasipanje višenamjenske akumulacije zavisi od nekoliko ključnih faktora, među kojima su intenzitet i godišnja učestalost erozije, kao i specifičnosti reljefa i položaja sistema akumulacije. Erozija dovodi do pronosa nanosa iz gornjih dijelova sliva ka akumulaciji, što uzrokuje njen zasipni proces i smanjenje funkcionalnog kapaciteta. Da bi se preventivno djelovanje i sprječavanje nastajanja erozije, potrebno je analizirati i odrediti dovoljno precizno koeficijent erozije predmetnog slivnog područja. Ukoliko je poznat koeficijent erozije, može se jednostavnije upravljati ostalim parametrima, te unaprijediti stvarno stanje na terenu [9].

U praksi često se za ovaj način računanja koristi formula S. Gavrilovića [10]:

$$W_{god} = T \times H_{god} \times \pi \times \sqrt{Z^3} \times A \quad (3)$$

gdje je:

W_{god} – ukupna količina produkcije erozionog nanosa (m^3/god)

T – temperaturni koeficijent područja ($^{\circ}\text{C}$)

H_{god} – srednja godišnja visina padavina (mm)

Z – koeficijent erozije sliva

A – površina sliva (km^2)

Ako se uzme najnepovoljniji slučaj kako bi se odredila maksimalna sila erozionih procesa na slivu akumulacije Modrac, za 2014. godinu, uz temperaturni koeficijent $T=1,07$ (4), dobija se rezultat erozionog koeficijenta, a koji iznosi $Z=0,84$ [9].

Temperaturni koeficijent se računa prema obrascu [9]:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.10 \quad (4)$$

gdje je:

t_0 – srednja godišnja temperatura vazduha ($^{\circ}\text{C}$)

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je modeliranje GIS alatima slivnog područja akumulacije „Modrac“. U odnosu na ulazne podatke, dobijena je vrijednost dnevne količine sedimenata (nanosa) koji se unosi u akumulaciju „Modrac“. Korelaciona i regresiona vrijednost padavina kao ulaznog podatka i količine sedimenta kao rezultat ove analize, dat je Pirosonov koeficijent R^2 koji opisuje njihovu međusobnu povezanost. Važno je istaći da R^2 koeficijent za 2014. godinu iznosi 0,9527, što je veoma velika pozitivna veza, kao i za naredne godine u datom periodu. Najveći Pirosonov koeficijent je očitao unutar 2017. godine i iznosi 0,9593, a najmanji u 2021. godini koji iznosi 0,7366 (Tabela 1).

Sa dijagrama prikazanog na slici 13. dat je prikaz godišnjih vrijednosti padavina i produkcije sedimenata na slivu akumulacije Modrac za period 2014 – 2021. godine. Krive navedenih godišnjih vrijednosti su opisane sljedećim polinomima koji najpribližnije opisuju datu krivu:

- godišnje padavine $y = 0.3751x^6 - 4542.5x^5 + 2*10^7x^4 - 6*10^{10}x^3 + 9*10^{13}x^2 - 8*10^{16}x + 3*10^{19}$,
- godišnja produkcija sedimenata $y = 0.0822x^6 - 995.85x^5 + 5*10^6x^4 - 10^{10}x^3 + 2*10^{13}x^2 - 2*10^{16}x + 6*10^{18}$.

Također, cilj ovog rada je analiza i dovoljno precizno određivanje erozionog koeficijenta slivnog područja akumulacije Modrac, koristeći dostupne ulazne podatke, a u konačnici na osnovu istog definisati rang ranjivosti sliva na erozione procese. Obzirom da se, prema literaturnim podacima, erozioni koeficijent kreće od 0,1 do 1,50, može se zaključiti da sliv akumulacije Modrac spada u slivove koji su srednje podložni eroziji, a samim time i pronosu nanosa u istu.

Navedene teorijske postavke ističu kompleksnu povezanost između erozionih procesa u slivu i zasipanja višenamjenske akumulacije, koja zahteva integrisani pristup u planiranju i zaštiti ovog eko sistema [11].

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). " Upravljanje višenamjenskim akumulacijama sa studijom slučaja jezera Modrac ", Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Doktorska disertacija.
- [2] Jahić M. (2009) „Hidrologija“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
- [3] Dueker, K. (1988) „Geographic Information Systems: Research Issues, Center for Urban Studies Publications and Reports“. 45.
- [4] Vukadinović, V. (2018) „Zemljišni resursi“, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
- [5] Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2011) „Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009.“ Texas Water Resources Institute, College Station
- [6] Trajković, S. (2007) „Jednostavna empirijska formula za proračun referentne evapotranspiracije“, Vodoprivreda, Pregledni rad
- [7] Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. (1998) „Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development.“ J Am Water Resour Assoc 34(1):73–89
- [8] Lovrić M., Komić J., Stević S. (2006) „Statistička analiza metodi i primjena“, Ekonomski fakultet Banja Luka
- [9] Jahić, M. (2008). „Uređenje bujica“, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet
- [10] Gavrilović, S. (1972). „Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, „Igradnja“, Beograd
- [11] Jahić M. (2004) „Prostorno planiranje i zaštita okoline“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
- [12] Hrelja H. (1996) „Vodoprivredni sistemi“, Svjetlost, Sarajevo