

Tehno-ekonomska analiza građenja dovodnog tunela HE „Dabar“ sa upotrebom TBM mašina

UROŠ B. MIRKOVIĆ, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

Stručni rad

UDC: 621.311.213(497.6)

DOI:10.5937/tehnika1903359M

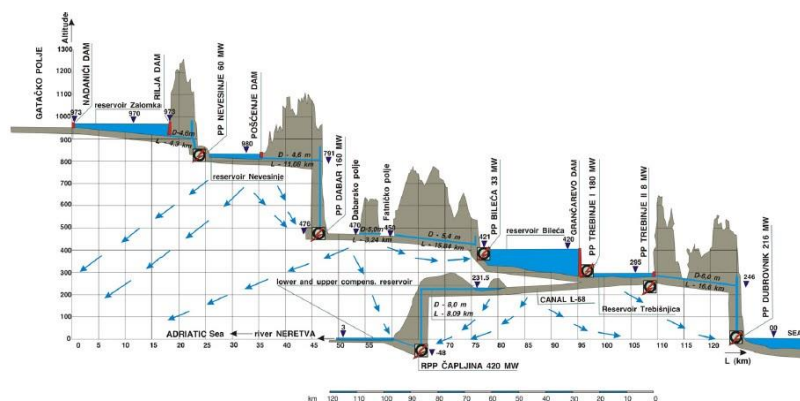
Tema ovog rada je tehno - ekonomska analiza građenja deonice dovodnog tunela HE „Dabar“ od st. km 4+272.54 do st. 12+125.0) sa primenom TBM tehnologije, tehnologije sa glodalicama i kombinacije TBM tehnologije i glodalice. Dovodni tunel HE „Dabar“ predstavlja hidrotehnički tunel pod pritiskom dužine 12125.0 m koji će sprovoditi vodu iz Akumulacije „Nevesinje“ do vodostana i posle istog do mašinske zgrade Hidroelektrane „Dabar“ u Dabarskom polju (Republika Srpska, BiH). U radu su analizirane 4 varijante izgradnje pomenute deonice tunela i to: upotreba glodalica, upotreba TBM mašine sa hvatačima, upotreba TBM mašine sa dvostrukim štitom, kombinacija upotrebe TBM mašine sa hvatačima i glodalice.

Ključne reči: tunel, iskop, varijante, TBM, glodalica, analiza

1. UVOD

Dovodni tunel HE „Dabar“ predstavlja hidrotehnički tunel za dovod vode od Akumulacije „Nevesinje“ do vodostana iz koga će se ista cevovodima sprovoditi do mašinske zgrade Hidroelektrane „Dabar“, u kojoj će biti smešteni agregati za proizvodnju električne energije, u Dabarskom polju. Ceo dovodni tunel pripada

višenamenskom podsistemu „Gornji Horizonti“ koji kao deo „Hydroenergetskog sistema Trebišnjica“ (slika 1) obuhvata kraška polja koja su visinski postavljena na preko 500.0 m nadmorske visine, a nalaze se na razvodu voda između reke Neretve i Trebišnjice. Najznačajnija i najveća kraška polja su: Gatačko, Nevesinjsko, Dabarsko i Fatničko.



Slika 1 - Podužni profil „Hydroenergetskog sistema Trebišnjica“.

Područje „Gornjih horizontata“ karakterišu značajni vodni resursi koji imaju kao osnovnu karakteristiku

obilje padavina u periodu povodnja (oktobar – maj) sa poplavama dugog trajanja u karstnim poljima i značajan deficit površinskih voda u letnjem periodu, kada vodotoci potpuno presušu.

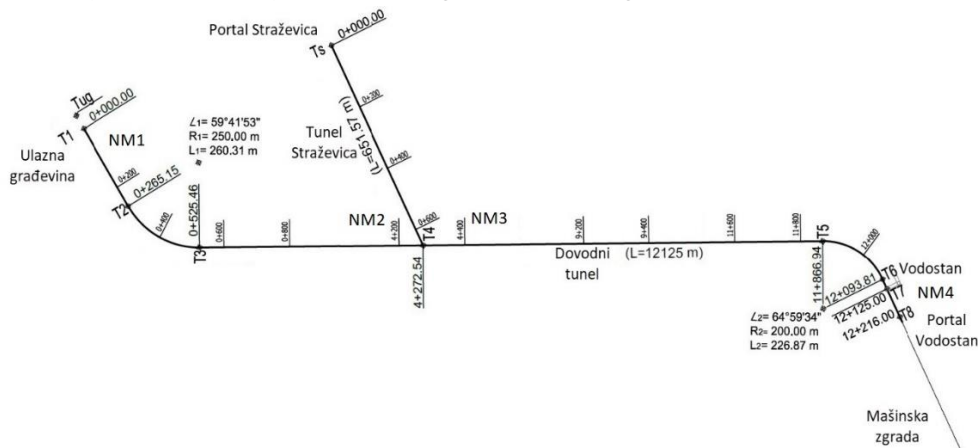
Adresa autora: Uroš Mirković, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Jaroslava Černog 80
e-mail: uros.mirkovic@jcerni.rs
Rad primljen: 06.12.2018.
Rad prihvaćen: 29.01.2019.

Zbog izraženog procesa karstifikacije, nivoi podzemnih voda su u letnjem periodu vrlo niski i nepodložni za eksploataciju.

Podsistem „Gornjih horizontata“ podrazumeva iz-

gradnju velikog broja objekata lociranih na razmatranim kraškim poljima sa osnovnim ciljem da se deo raspoloživih voda na njima prebaci u postojeću Akumulaciju „Bileća“. Ovaj podsistem podrazumeva izgradnju 3 hidroelektrane: HE „Nevesinje“ (instalirane snage oko 60.0 MW), HE „Dabar“ (instalirane snage

160.0 MW) i HE „Bileća“ (instalirane snage 32.0 MW). Ove dodatne količine voda imaju značajan uticaj na elektrane izgrađenog dela sistema (pribranske HE „Trebinje“ I i II, derivaciono – akumulacionu HE „Dubrovnik“ i RHE „Čapljinu“) čime se ostvaruju veliki energetske efekti [1].



Slika 2 - Situaciona šema dovodnog tunela HE „Dabar“

HE „Dabar“ je akumulaciono - derivaciona hidroelektrana, koja koristi vodu iz akumulacije u Nevesinjskom polju koja će biti formirana izgradnjom brane „Pošćenje“.

Dovodni tunel HE „Dabar“ (slika 2.) je dužine 12125.0 m, svetlog otvora 4.60 m, debljine sekundarne obloge od 30.0 cm, i u skladu sa Glavnim projektom [1] predviđeno je da se radi primenom Nove austrijske tunelske metode. Tunel ima 4 napadna mesta: jedno se nalazi na ulazu u tunel gde će biti napravljena ulazna građevina, drugo se nalazi sa strane izlaza iz tunela kod lokacije budućeg vodostana a ostala dva napadna mesta se formiraju izgradnjom pristupnog tunela „Straževica“ koji se sa dovodnim tunelom spaja na stacionaži 4+272.54 dovodnog tunela. U okviru ovog rada uvešće se označavanje napadnih mesta koja će u daljem tekstu biti korišćena. Napadano mesto od ulaza u tunel kod ulazne građevine ima oznaku NM1, napadno mesto od spoja pristupnog tunela „Straževica“ ka ulaznoj građevini ima oznaku NM2, napadno mesto od spoja pristupnog tunela „Straževica“ ka vodostanu ima oznaku NM3 i napadno mesto od vodostana ka spoju sa pristupnim tunelom „Straževica“ ima oznaku NM4.

2. OPIS VARIJANTNIH REŠENJA

U okviru ovog rada analizirana su četiri varijantna rešenja izgradnje tunela HE „Dabar“ na deonici od stacionaže km 4+272.54 do stacionaže km 12+125.0.

2.1. Varijantno rešenje 1 – mehanizovan način iskopa sa dve glodalice

Prema ovoj varijanti na razmatranoj deonici dovodni tunel će se graditi primenom NATM (Nova

austrijska tunelska metoda). Tunelska konstrukcija se sastoji od primarne i sekundarne obloge. Poprečni presek iskopa tunela je kružnog oblika.

Na osnovu naponsko - deformacionih analiza koje su sprovedene u skladu sa metodologijom prikazanom u [2] definisani su različiti tipovi primarne podgrade. Prilikom naponsko - deformacionih analiza i odabira tipova podgrada vodilo se računa o karakteristikama stenske mase (sastav, ispucalost, stepen rasedanja i degradiranosti), inicijalnog naponskog stanja (visina nadsloja) i sl.

Nakon završetka iskopa i osiguranja kompletnog tunela primarnom podgradom izvodi se sekundarna konstruktivno armirana betonska obloga u kombinaciji sa naponskim injektiranjem [3] čime se dobija konačan oblik tunela.

Predviđeno je da se ceo dovodni tunel HE „Dabar“ izvede za nešto manje od 4 godine. Period izgradnje predviđen je od juna 2016. do aprila 2020. godine ili 47.0 meseci.

U prvoj godini radova bi se izveli svi pripremni radovi i radovi na izgradnji pristupnog tunela „Straževica“ i započeli bi radovi na izgradnji dovodnog tunela sa sva 4 napadna mesta.

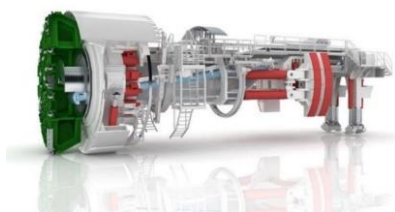
U drugoj godini bi se nastavili iskopni radovi na dovodnom tunelu sa napadnog mesta „Vodostan“ i ulazna građevina i započeli iskopni radovi sa napadnog mesta tunela „Straževica“.

U trećoj godini bi se završili radovi na iskopu dovodnog tunela i započeli radovi na betoniranju sekundarne obloge tunela. Paralelno sa radovima na betoniranju tunela započeli bi radovi na injektiranju.

U četvrtoj godini bi se završili betonski i injekcioni radovi. Takođe, i radovi na ulaznoj građevini bi bili izvedeni u toku četvrte godine.

2.2 Varijantno rešenje 2 – TBM mašina sa hvatačima

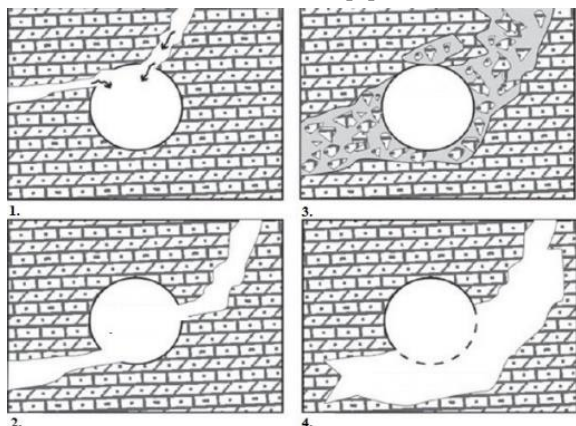
Prema ovoj varijanti predviđeno je da se koristi TBM mašina sa hvatačima (slika 3). Ova mašina je pogodna za primenu u stenskoj masi u kojoj podrška iskopanog poprečnog preseka u oblasti radnog čela i zaštita same mašine nije potrebna ili se može postići sa manjim naporima i elementima kao što su ankeri, čelični elementi i prskani beton, a koji mogu da se primenjuju i lokalno u kaloti tunela. Primenjuje se u stabilnim stenskim masama sa malim prodorom podzemne vode.



Slika 3 - TBM mašina sa hvatačima (podužni presek kroz mašinu Herrenknecht)

Najvažniji elementi konstrukcije ove mašine su:

- glavni nosač
- rezna glava sa ugrađenim reznim diskovima
- glavno ležište i pogon rezne glave
- papuče hvatača – konveksne metalne konstrukcije pričvršćene za TBM mašinu sa obe strane, pomoću kojih se prednji deo mašine odupire o stensku masu prilikom iskopa. Papuče se pokreću pomoću hidraulike i mogu se prilagoditi obliku površine iskopa
- deo mašine između otkopne glave i hvatača. Na ovom delu se nalaze uređaji za izradu podgrade tunela: bušilice za sidra, uređaji za postavljanje remenata i armaturnih mreža [4].



Slika 4 - Oblici nepovoljnih karstnih uslova.

Stenska masa u karstnim uslovima može imati izrazite karstne karakteristike (slika 4): pukotine i džepove ispunjene vodom (1), manje suve šupljine (2), pukotine i džepove ispunjene materijalom (3) kao i velike otvorene kraške šupljine – kaverne (4) koje u ovakvim uslovima građenja stvaraju najveće probleme za dalji napredak jedne TBM mašine pri čemu se znatno može produžiti i vreme iskopa predviđeno projektom.

Trenutno postoji nekoliko razvijenih sistema za detekciju karsta tokom iskopa. Najčešće su to geofizičke metode i konvencionalna metoda bušenja [5].

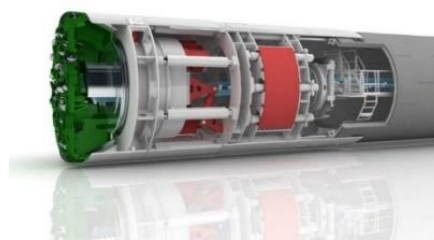
Nakon detektovanja deonice koja bi potencijalno izazvala probleme u radu, predviđena je izgradnja obilaznih tunela manjih dužina oko radnog čela TBM mašine. Time bi se omogućio direktan pristup problematičnom mestu za njegovu sanaciju ručno – mašinskim putem.

Predviđen prečnik TBM mašine je 5.20 m i dobijen je na osnovu analize stabilnosti iskopa pri nailasku na slabije stenske mase. Sekundarna obloga tunela varijante 2 je ista kao sekundarna obloga varijante 1 koja je opisana u prethodnoj tački ali, zbog ograničenog prečnika iskopa TBM mašine od 5.20 m, koji je dobijen iz pomenutog uslova, sadrži i elemente primarne podgrade.

Ovo varijantno rešenje uklopljeno je u ukupan period završetka radova od 47.0 meseci (kao kod varijante 1), pri čemu razlike postoje samo u iskopu deonice od st. km 4+272.54 do st. km 12+125.0 koja se radi uz pomoć TBM mašine sa hvatačima.

2.3. Varijantno rešenje 3 – TBM mašina sa dvostrukim štitom

TBM mašina sa dvostrukim štitom (slika 5) je među tehnički najrazvijenijim mašinama za iskop tunela. Ona objedinjuje funkcije TBM mašine sa hvatačima i TBM mašine sa jednostrukim štitom.



Slika 5 - TBM mašina sa dvostrukim štitom (podužni presek kroz mašinu Herrenknecht)

U stabilnim geološkim uslovima, ova mašina dopušta ugradnju betonskih segmenata paralelno sa iskopom tunela, uz postizanje veoma visokih performansi. Ova moćna tehnologija je zbog toga savršena za iskop dugih tunela u čvrstim stenama.

TBM mašina sa dvostrukim štitom se sastoji od dve glavne komponente: prednjeg štita sa reznom

glavom, glavnim ležištem i glavnim pogonom, i hvatajućeg štita sa jedinicama za hvatanje, pomoćnim potisnim cilindrima i repnim delom mašine. Glavni potisni cilindri spajaju ova dva dela mašine. Oni su zaštićeni teleskopskim štitom pa se zbog toga TBM mašina sa dvostrukim štitom naziva i „teleskopski štit“.

U stabilnoj steni, mašina se oslanja radijalno uz pomoć hvatača. To znači da prednji štit može napredovati nezavisno od hvatajućeg štita koristeći glavne potisne cilindre. Reakcione sile tokom procesa iskopa prebacuju se u stensku masu putem proširene papuče hvatača. Paralelno sa iskopom tunela, segmenti se postavljaju u repnom delu mašine. Pomoćni potisni cilindri služe samo da osiguraju poziciju betonskih segmenata koji su postavljeni. Kada se završi napredovanje, hvatači popuštaju i hvatajući štit biva odgurnut ka prednjem štitu uz pomoć pomoćnih potisnih cilindara. Ponovno hvatanje traje samo nekoliko minuta, što znači da je iskop skoro kontinualan. U idealnoj steni, TBM mašina sa dvostrukim štitom može raditi i bez postavljanja segmente obloge [4].

Ovo varijantno rešenje uklopljeno je u ukupan period završetka radova od 47.0 meseci (kao kod varijanti 1 i 2), pri čemu razlike postoje samo u iskopu deonice od st. km 4+272.54 do st. km 12+125.0 koja se radi uz pomoć TBM mašine sa dvostrukim štitom.

2.4. Varijantno rešenje 4 – TBM mašina sa hvatačima u kombinaciji sa mehanizovanim načinom iskopa (glodalica)

Varijanta 4 iskopa deonice dovodnog tunela HE „Dabar“ predstavlja kombinaciju varijanti 1 i 2 i u tom smislu sadrži njihove elemente razmatrane u poglavljima 2.1. i 2.2.

Iskop se po ovoj varijanti vrši uz pomoć jedne glodalice na napadnom mestu NM 3 a na napadnom mesu NM 4 iskop se vrši uz pomoć jedne TBM mašine sa hvatačima.

Primarna podgrada ove varijante je, na osnovu prethodnog, ista kao i primarna podgrada varijante 1 na delu na kojem se iskop vrši uz pomoć glodalice, odnosno varijante 2 na delu na kojem se iskop vrši uz pomoć TBM mašine sa hvatačima.

Sekundarna podgrada ove varijante je, na osnovu prethodnog, ista kao i sekundarna podgrada varijante 1 na delu na kojem se iskop vrši uz pomoć glodalice, odnosno varijante 2 na delu na kojem se iskop vrši uz pomoć TBM mašine sa hvatačima.

Ovo varijantno rešenje uklopljeno je u ukupan period završetka radova od 47.0 meseci (kao kod prethodnih varijanti), pri čemu razlike postoje samo u iskopu deonice od st. km 4+272.54 do st. km 12+125.0 koja se radi uz pomoć jedne TBM mašine sa hvatačima

i jedne glodalice. Ovo izjednačavanje vremena izgradnje izvršeno je sa ciljem da se na što jasniji način predstave uštede koje se dobijaju ostvarivanjem većih brzina napredovanja TBM mašina u okviru tehno - ekonomske analize.

3. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Analize cena pojedinih pozicija radova date su na osnovu aktuelnih cena mehanizacije i opreme, rezervnih delova, građevinskog materijala kao i radne snage. Kalkulacije su izvršene u skladu sa građevinskim i mašinskim normama, kao i na osnovu podataka dobijenih od proizvođača mehanizacije i opreme.

Na osnovu prethodnog kao i brzina napredovanja TBM mašina i brzine napredovanja glodalice (7.0 m/dan), izvršen je obračun cene radova za svaku od varijanti pri čemu su dobijene cene tretirane kao početne ili „nulte“ vrednosti pri daljem proračunu mogućih ušteda na osnovu postizanja većih brzina napredovanja TBM mašina.

Za date početne vrednosti cena izgradnje deonice ovog tunela korišćene su sledeće brzine napredovanja TBM mašina: TBM mašina sa hvatačima (varijanta 2) – 12.91 m/dan, TBM mašina sa dvostrukim štitom (varijanta 3) – 7.81 m/dan, TBM mašina sa hvatačima (varijanta 4, za stacionažu susreta sa glodalicom 7+077.50 km) – 8.30 m/dan.

Navedene brzine dobijene su iz uslova iskopa predmetne deonice dovodnog tunela poznate dužine i završetka radova na celom tunelu u periodu od 47.0 meseci, a u smislu odnosa dužine i vremena iskopa. Pri tome, uzeto je u obzir da TBM mašina sa hvatačima u varijanti 2 pokazuje značajno smanjenje vremena potrebnog za iskop jer segmentnu oblogu i injezione radove izvodi paralelno sa iskopom, dok je za preostale varijante bilo neophodno predvideti dodatno vreme za pomenute operacije rada.

Početne ili „nulte“ vrednosti cena za svaku varijantu, dobijene na osnovu predmera i predračuna, iznose:

- varijanta 1 (dve glodalice): 34.227 726 EUR,
- varijanta 2 (TBM - hvatači): 38.344 720 EUR,
- varijanta 3 (TBM - dv. štit): 39.301 284 EUR,
- varijanta 4 (TBM - hvatači, glodalica): 40.547.656 EUR.

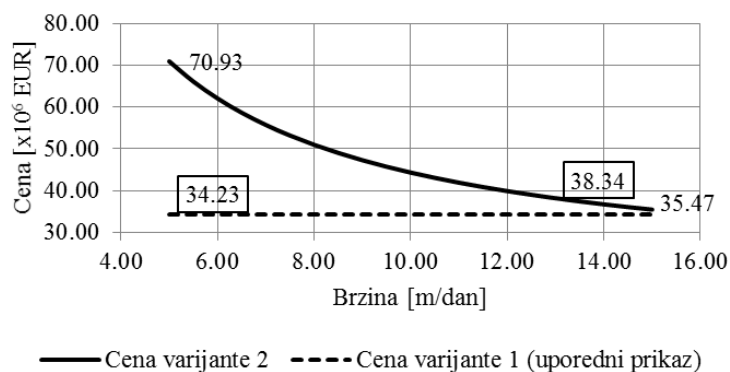
Za poslednju varijantu važno je napomenuti da je proračun ušteda sproveden za najverovatniju stacionažu susreta TBM mašine sa glodalicom (6+455.58 km) a za različite brzine napredovanja TBM mašine sa hvatačima. Ovo je moguće jer glodalica, po dinamičkom planu rada, pravi pauzu u radu zbog priliva voda u tunel, zbog čega je njen rad u tom periodu onemogućen.

Uštede pri većim brzinama napredovanja TBM mašina kod svih varijanti obuhvataju cene radne snage, mehanizacije i energije neophodne za rad istih.

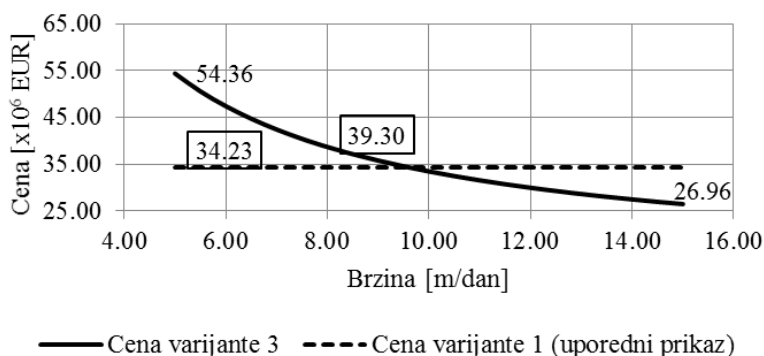
Ukupni mesečni troškovi mehanizacije zasnovani su na činjenici da mašine rade 30.0 dana mesečno u tri smene po 8.0 časova, sa pauzama u svakoj smeni od po 1.0 čas za dotok goriva i odmor.

Dobijeni su rezultati prikazani na dijagramima 1, 2 i 3. Pri ovoj analizi sagledane su i brzine TBM mašine date u [6] za hidrotehnički tunel „Fatničko polje -

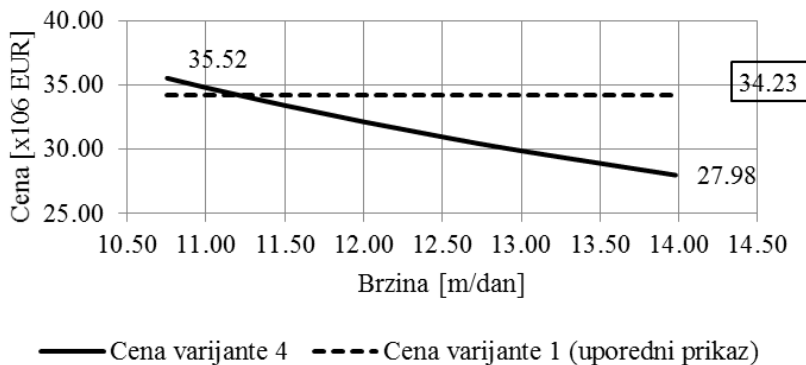
Akumulacija Bileća“ koji je građen u sličnim geološkim uslovima i sa sličnim problemima na koje se može naići prilikom iskopa u karstu. Veliki problem prilikom iskopa pomenutog tunela na deonici dužine 11.0 km predstavljaju ulazak TBM mašine u kavernozne zone zapunjene glinom i rasede. Ukupna dužina kavernoznih zona iznosila je 150.0 m a rasednih zona 109.0 m na ukupno šest lokaliteta. Sanacija radova se odvijala fazno i uz veliko učešće kvalifikovane radne snage i prilagodljive opreme. Ukupni zastoji pri nailasku na ovakve prepreke iznosili su 729 dana.



Dijagram 1. Zavisnost cene izgradnje tunela od brzine napredovanja TBM mašine sa hvatačima (prema varijanti 2)



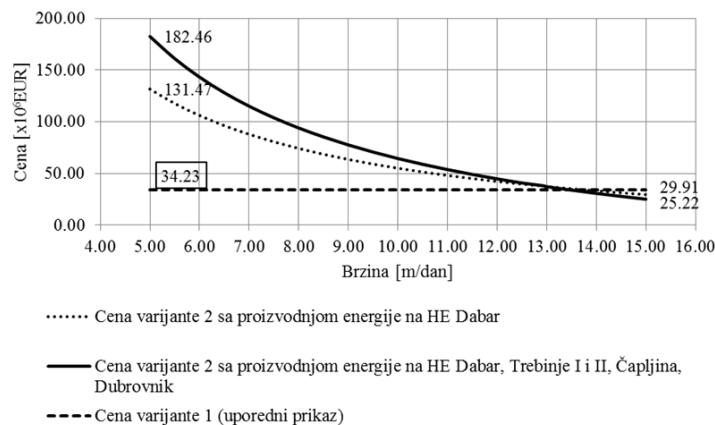
Dijagram 2. Zavisnost cene izgradnje tunela od brzine napredovanja TBM mašine sa dvostrukim štitom (prema varijanti 3)



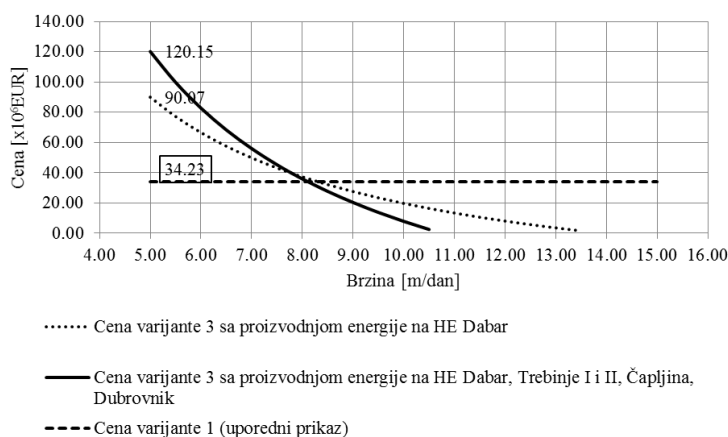
Dijagram 3. Zavisnost cene izgradnje tunela od brzine napredovanja TBM mašine sa hvatačima za stacionažu susreta 6+455.88 km (prema varijanti 4)

Ukoliko se uzme u obzir i činjenica da brži završetak dovodnog tunela HE „Dabar“ utiče na proces proizvodnje električne energije na HE „Dabar“ ali i na već izgrađenim elektranama koje se nalaze nizvodno od iste („Trebinje I“, „Trebinje II“, „Čapljina“,

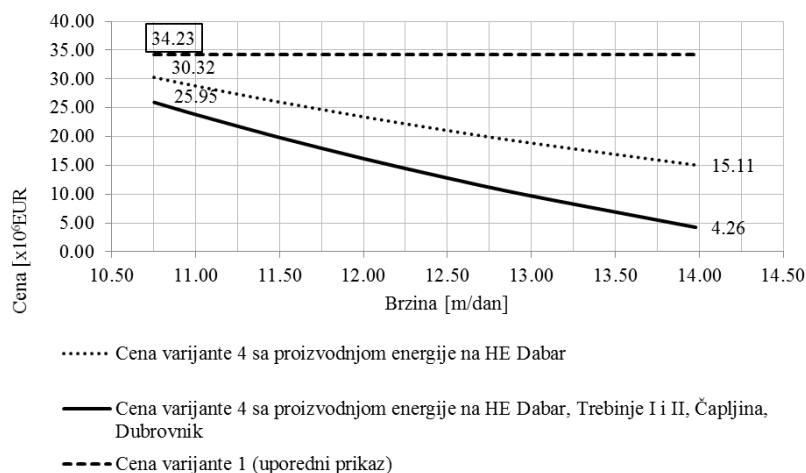
„Dubrovnik“), dobijaju se dijagrami zavisnosti brzine iskopa od ukupnih investicija pri čemu je usvojena cena električne energije kao prosečna iz juna/jula 2016. godine za teritoriju Republike Srpske (Dijagrami 4, 5 i 6).



Dijagram 4. Zavisnost cene izgradnje tunela od brzine napredovanja TBM mašine sa hvatačima (prema varijanti 2) uključujući i proizvodnju električne energije



Dijagram 5. Zavisnost cene izgradnje tunela od brzine napredovanja TBM mašine sa dvostrukim štitom (prema varijanti 3) uključujući i proizvodnju električne energije



Dijagram 6. Zavisnost cene izgradnje tunela od brzine napredovanja TBM mašine sa hvatačima za stacionažu susreta 6+455.88 km (prema varijanti 4) uključujući i proizvodnju električne energije

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu vrednosti datih u tekstu iznad, na prvi pogled, može se zaključiti da je rešenje dato Glavnim projektom (varijanta 1) dovodnog tunela najekonomičnije rešenje koje zahteva najmanja ulaganja za period izgradnje od 47.0 meseci.

Međutim, analizirajući cene u zavisnosti od postavljanja većih brzina napredovanja iskopa uz pomoć TBM mašina i skraćanja perioda gradnje predmetnog objekta, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- varijanta 2 će za brzine napredovanja TBM mašine veće od približno 13.50 m/dan pokazati smanjenje troškova u odnosu na rešenje dato varijantom 1,
- varijanta 3 će za brzine napredovanja TBM mašine veće od približno 8.0 m/dan pokazati smanjenje troškova u odnosu na rešenje dato varijantom 1,
- varijanta 4 će za brzine napredovanja TBM mašine veće od približno 10.50 m/dan takođe pokazati smanjenje troškova u odnosu na rešenje dato varijantom 1.

U skladu sa poslednjim stavkama, varijanta 3 (iskop uz pomoć TBM mašine sa dvostrukim štitom) se nameće kao najpovoljnije rešenje za izgradnju razmatrane deonice tunela.

Ova varijanta ima malo uvećana inicijalna ulaganja u odnosu na rešenje dato drugim varijantama ali, zbog skraćanja vremena izgradnje koje je prouzrokovano postavljanjem segmentne obloge i injektiranjem paralelno sa iskopom, daje najbolju mogućnost za umanjene troškove na osnovu ušteda (radna snaga, mehanizacija, energija za rad) u odnosu na varijantu 1.

Brzine napredovanja koje bi dovele do pomenutih umanjena su u realnosti vrlo ostvarive i u okviru brzina koje garantuje proizvođač (maksimalno 20.0 m/dan u najpovoljnijim geološkim uslovima bez većih pukotina i kaverni).

Ekonomska opravdanost upotrebe TBM mašine sa dvostrukim štitom je naročito potvrđena i kada se uzme u obzir potencijalna proizvodnja električne energije na hidroelektranama na donjem delu sistema (energija proizvedena ranijim puštanjem u pogon ovog dovodnog tunela).

Međutim, ova varijanta može imati dodatnih problema koji se tiču mogućnosti za postavljanje potrebnih postrojenja (ovde se pre svega misli na fabriku betonskih segmenata) na samom terenu a koji bi doveli do povećanja troškova. Takvi problemi nisu predviđeni ovim radom ali su u realnosti, zbog nepristupačnog terena, vrlo mogući.

Najveći nedostatak TBM mašina je i u pogledu geološkog sastava terena. Nailaskom na rasedne zone

i kaverne TBM mašina dolazi u potpuni zastoj, a nastavlja rad nakon posebnog rešenja u pogledu tehnologije i organizacije rada, njihove sanacije i stvaranja uslova za nastavak iskopa pri čemu pomenuti radovi mogu ponekad stvoriti i velike nepredviđene troškove.

Iz prethodno pomenuta dva razloga (nemogućnost postavljanja fabrike segmenata na nepristupačnom terenu napadnog mesta NM4 kao i nepredviđenih geoloških uslova koji se mogu javiti u karstu) a uzimajući u obzir i iskustva prilikom iskopa deonice hidrotehničkog tunela „Fatničko polje“ – Akumulacija Bileća” (poglavlje 3), usvojena varijanta za iskop predmetnog tunela je varijanta 1. Ova varijanta pokazala je i najmanja početna ulaganja.

Međutim, ukoliko se podobnije obrati pažnja na prethodna geološka i hidrogeološka ispitivanja kako bi se dobio što kvalitetniji prognozno inženjersko – geološki profil tunela onda, kao što je i tehno - ekonomska analiza sprovedena u ovom radu pokazala, postoji puna opravdanost upotrebe TBM mašina za iskop tunela u navedenim geološkim uslovima.

LITERATURA

- [1] Konzorcijum: Institut „Jaroslav Černi“ – „Stucky“, HE „Dabar“: Dovodni tunel, ulazna građevina, pristupni tuneli – Glavni projekat
- [2] Radovanović S., Rakić D., Divac D., Živković M. (2014). Stress-Strain Analysis and Global Stability of Tunnel Excavation, *2nd International Conference for PhD students in Civil Engineering and Architecture „CE-PhD 2014“*, 10-13 December 2014, Cluj-Napoca, Romania, Editor: Cosmin G. Chiorean, Publisher: Technical University of Cluj-Napoca, ISSN 2392-9715, pp. 248-255, 2014.
- [3] Andjelkovic V, Lazarevic Z, Nedovic V, Stojanovic Z, Application of the pressure grouting in the hydraulic tunnels, *Tunneling and Underground Space Technology*, 37, 165-179, 2013.
- [4] Wittke W, *Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model*, Ernst & Sohn, Berlin, Germany, 2014.
- [5] Log S, Ofiara D, Anderson T, Wetlesen T, *Hard rock TBM tunnelling in karst conditions: Developments and lessons learned from the field*, SEE Tunnel, Dubrovnik, Croatia, 22-28 may, 2015.
- [6] Šćepanović S., Analiza učinaka različitih metoda iskopa hidrotehničkog tunela „Fatničko polje – Akumulacija Bileća“ u Hidrosistemu Trebišnjica, *časopis „Tehnika“*, (67), 2013

SUMMARY

TECHNO - ECONOMIC ANALYSIS FOR THE CONSTRUCTION OF THE SUPPLY TUNNEL OF HPP „DABAR“ WITH THE APPLICATION OF TBM TECHNOLOGY

The subject of this paper is a techno - economic analysis for the construction of the supply tunnel section of HPP „Dabar“ from km 4+272.54 to km 12+125.0 with the application of TBM technology, milling machines technology and combinations of TBM technology and milling machines. Hydraulic tunnel of the HPP “Dabar” is a tunnel under the pressure with a length of 12125.0 m, which will conduct water from the reservoir Nevesinje to the machine building of the hydropower plant „Dabar“ in Dabarsko polje (Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina). Four different construction alternatives of the mentioned tunnel section were analysed: use of milling machines, use of Gripper TBM, use of Double Shield TBM, a combination of Gripper TBM and milling machines.

Key words: tunnel, excavation, solutions, TBM, milling machines, techno – economic analysis