Specifičnosti izgradnje i eksploatacije hidrotehničkih tunela u karstu istočne Hercegovine

ALEKSANDAR R. GOLIJANIN, Agencija za nadzor nad tržištem
Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo
Bosna i Hercegovina

Stručni rad
UDC: 624.191(497.6)
DOI: doi:10.5937/tehnika1606813G

Najveći i problem prilikom izgradnje i tokom eksploatacije hidrotehničkih tunela u karstu istočne Hercegovine predstavljaju kaverne. Upravo kaverne, imaju te karakteristike (veličina, oblik, vrsta zapune, dotok vode) da, u ekstremnim slučajevima, predstavljaju teško rješiv problem. U takvim okolnostima tunelska konstrukcija je podložna nepredvidivim a ponekad i razornim oštećenjima. Kaverne kao pojam, predstavljaju šire zone unutar karstnih sedimenata koje djelimično mogu biti zapunjene drobinskim materijalom, nekada potpuno prazne, sa površinom terena povezane karstnim kanalima.

Na sva ova oštećenja posebno su osjetljivi dovodni tuneli za elektrane, odnosno tuneli kod kojih se te enje odvija pod pritiskom. U ovom radu su prikazani praktični problemi koji su se dešavali u hidrotehničkim tunelima izgrađenim u sistemu rijeke Trebišnjice.

Ključne riječi: hidrotehnički tuneli, karst, kaverne, sanacija

1. UVOD

Prilikom gradnje hidrotehničkih tunela u karstu istočne Hercegovine, u sistemu sliva rijeke Trebišnjice, niz je problema i prepreka sa kojima su se graditelji suočavali, a sa kojima se takođe suočavali prilikom izgradnje Dabarskog tunela i dovodnog tunela za HE Nevesinje.

Svakako najznačajniji problem i najveća prepreka sa kojom su se suočavali graditelji bile su kaverne i rasjedi na trasama tunela. Cilj ovog rada je da prikaže specifičnosti diskontinuiteta tokom gradnje ovih tunela, kao i metodologiju i način njihove sanacije.

Opisane sanacione mjere, kojima su rješavani problemi kaverni na trasama hidrotehničkih tunela, mogu se primjenjivati i tokom gradnje i kasnije u periodu eksploatacije hidrotehničkih tunela.

Osnovne mjere koje se mogu preduzimati u cilju smanjivanja kaverni i rasjeda u toku gradnje tunela su:

- Ugradnja podgrade od remenata, ankera i prskanog betona;
- Zapunjavanje kaverni različitim vrstama zapune;
- Premošćavanje kaverni;

Adresa autora: Aleksandar Golijanin, Agencija za nadzor nad tržištem Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Karaorova 8, Bosna i Hercegovina

Rad primljen: 01.09.2016.

Rad prihvaćen: 02.11.2016.

- Izvođenje zaštitne betonske kape;
- Zaobilaženje.

U zavisnosti od primjenjene tehnologije tunelskog iskopa, primjenjuju se i odgovarajuće mjere sanacije. Izborom pojedinačnih mjera, ili njihovom kombinacijom, moguće je riješiti svaki konkretan problem, sa svim svojim specifičnostima.

2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Sa aspekta izgradnje hidrotehničkih tunela u karstu istočne Hercegovine, neophodno je poznavati kako geološku građu terena, tako i hidrološku, hidrogeološku i tektonska svojstva terena.

Upravo ovi faktori su u znatnoj mjeri odredili proces formiranja kaverni u karstu istočne Hercegovine.

1.1. Litostratigrafski sastav terena

Područje istočne Hercegovine predstavlja sastavni dio prostranog mezozojsko-tercijernog kompleksa spoljnih Dinarida. Litoški je to jednoličan i isključivo sedimentni kompleks koji posjeduje sve geološke karakteristike spoljnih Dinarida (OGK SFRJ, list Trebinje, Tuma). U ovom radu biće opisane samo litoške formacije bitne za izgradnju hidrotehničkih tunela.

Najznačajniji u tom pogledu su kredni krečnjaci turonskog i senonskog kata (K_2^2 i K_2^3). Sedimenti turonskog kata K_2^2 predstavljeni su formacijom krečnjaka

sa dolomitima, zatim pločastim dolomitima sa proslojcima krečnjaka.

Ovi sedimenti su uglavnom vezani za apljinski tunel (dovodni tunel RHE „apljina“ ukupne dužine 8.107 m). Sedimenti senonskog kata K_2^3 predstavljeni su laporovitim krečnjacima kao facijom dolomita i kristalastih krečnjaka. Ovi sedimenti izgrađuju stijenske

masive kroz koje su građeni dabarski (dužine 3.218 m i povezuje Dabarsko i Fatničko polje) i fatnički tunel (dužine 15.650 m i povezuje Fatničko polje sa akumulacijom Bileće).

Kvartarni sedimenti izgrađuju kraška polja i predstavljaju rastresiti pokrivalo od aluvijalnim nanosom, glinama, zatim padinskim brežuljcima i siparima.

Slika 1 - Hidrosistem Trebišnjica

1.2. Hidrogeološka svojstva terena

U pogledu hidrogeološke funkcije nastanka kaverne i pećina unutar krečnjačkih formacija [5] stijene koje izgrađuju područje istočne Hercegovine mogu se podijeliti u tri osnovne grupe:

- Dobro vodopropusne stijene (u njima se odvija intenzivan proces karstifikacije i u njima su formirane kaverne i pećine);
- Slabo vodopropusne stijene;
- Vodonepropusne stijene;

Dobro vodopropusne stijene uglavnom izgrađuju najveći dio istočne Hercegovine. To su uglavnom dobro karstifikovani naprijed spomenuti krečnjaci turonskog i senonskog kata gornje krede (K_2^2 i K_2^3). U

ovim formacijama su formirani privilegovani pravci cirkulacije podzemnih voda.

Usljed velike ispućalosti ovih stijenskih masa, a pod hemijskim djelovanjem podzemnih voda, kroz geološku istoriju stvarali su se podzemni oblici kraškog reljefa, odnosno kaverne i pećine.

Dubina do koje je stijena zahvaćena karstnim procesima, odnosno dubina karstifikacije je različita. Prema detaljnim ispitivanjima koja su rađena na 140 bušotina na cijelom području istočne Hercegovine, ustanovljeno je da se najveći broj ovih kaverni nalazi na dubinama između 50 i 150 m, pa se može smatrati da najizrazitija vodopropusnost, generalno uzevši je na ovoj dubini.

Istražnim bušenjem je utvrđeno da se najdublja kaverna nalazi na dubini od oko 275 metara.

Slabo vodopropusne stijene predstavljaju one stijene čija hidrogeološka uloga može da varira od relativne barijere do skoro vodopropusnih stijena. U ovom području, gdje su građeni hidrotehnički tuneli kao i na području na kojem je formirana akumulacija Bile a, uglavnom u zavisnosti od položaja u strukturi najznačajniji hidrogeološki izolator predstavljaju dolomiti, koji su podložni specifičnom procesu raspadanja u dolomitski grus i dolomitsku pržinu. Upravo zahvaljujući i postojanju ove litostratigrafske formacije ostvarena je akumulacija Bile a, jedna od najvećih evropskih akumulacija formiranih u karstu.

Vodonepropusne stijene koje su predstavljaju glinoviti kvartarni sedimenti uglavnom zastupljeni na područjima kraških polja.

1.3. Dubina karstifikacije

Dubina do koje se prostiru rastvorljive stijene, krnjaci, dolomiti i krečnjaci i dolomiti, na području istočne Hercegovine varira u širokom rasponu. Ne može se jasno definisati granica između karstifikovanih i nekarstifikovanih stijenskih masa. To je prelazna zona, koja se aproksimira površinom ispod koje se ne otkriva izrazito karstifikovane stijene, tzv. „baza karstifikacije“. U karstu istočne Hercegovine, baza karstifikacije nalazi se na dubinama od oko 250 do 300 m, slika 2. Dubina baze karstifikacije zavisi od ispugalosti i broja i veličine raseda, kanala, prslina i pukotina, kroz koje se kreće voda i degradira stensku masu.

Slika 2 - Dijagram promjene karstifikovanosti po dubini

Analiza promjene karstifikovanosti i vodopropusnosti u funkciji dubine obavljena je za gotovo cijelo područje istočne Hercegovine. Ova analiza [5] se bazira na rezultatima bušenja i ispitivanja

vodopropusnosti u preko 140 bušotina, na terenima sa nadmorskim visinama između 200 i 1000 metara.

Ovi rezultati su prezentovani na slici 3 i pokazuju generalnu zakonitost promjene karstifikovanosti po dubini. Dijagram jasno pokazuje da je stijenska masa najintenzivnije karstifikovana i sa najvećom poroznošću od površine do cca 20 metara dubine. Za ovu zonu se upotrebljava naziv epikarst.

Slika 3 - Dubina karstifikacije, šematski prikaz (po P. Milanoviću) 1. Promjena karstifikovanosti sa dubinom, 2. Zona sa baznim tokovima, 3. Zona oscilacije nivoa podzemne vode, 4. Dijagram vertikalne distribucije aktivne karstne poroznosti, 5. Baza karstifikacije, 6. Dijagram električnog sondiranja, 7. Nekarstifikovane stijene, 8. Nivo podzemne vode

3. GENEZA NASTANKA PEŠINA I KAVERNI U KARSTU

3.1. Uloga tektonike u procesu karstifikacije

Područje istočne Hercegovine karakterišu veoma složeni tektonski odnosi. Osnovne karakteristike tektonskog sklopa su dominacija plikativnih elemenata, naglašena linearnost struktura, njihov dinarski pravac pružanja i gusta mreža rasjeda.

Složeni tektonski procesi omogućili su u značajnoj mjeri snažnu dezintegraciju stijenske mase, formiranje rasjednih zona, velikog broja pukotina i prslina unutar stijenske mase duž kojih je došlo do cirkulacije podzemnih vodotokova što je omogućilo razorno hemijsko dejstvo vode u krečnjačkim stijenama.

Upravo ovaj proces nazivamo karstifikacijom i on nastaje kao posljedica prodiranja vode u krečnjače stijene duž predisponiranih pravaca, a to svakako jestu rasjedi, pukotine i prsline.

3.2. Nastanak kaverni i pešina u karstu

Podzemni oblici kraškog reljefa su uglavnom kaverne i pešine, jame i vjegli. Jame i vjegli imaju svoj

otvor na površini terena, nekada i pešine dok su kaverne u potpunosti zatvoreni podzemni oblici kraškog reljefa. Sa aspekta ovog rada najzanimljivije su kaverne.

Kaverne su nastale dugotrajnim hemijskim djelovanjem podzemnih voda, koje rastvaraju krečnjačke stijene i duž rasjeda, pukotina i prslina iznose ratvoreni krečnjak i odlažu ga na mjesto gdje transportna snaga vode opadne. Kaverne koje se sreću na tunelskim trasama u karstu istočne Hercegovine mogu biti u potpunosti isprane, zatim djelomično zapunjenje glinom, drobinom ili glinovitom drobinom, a mogu biti i u potpunosti ispunjene drobinskim materijalom.

4. SANACIJA TOKOM IZGRADNJE

4.1. Velike kaverne

Mere i postupci sanacije zavise kako od tehnologije tunelskog iskopa, tako i od položaja karstifikovane zone u odnosu na trasu tunela. Njihov cilj je savladavanje podzemnih pešina i kaverni u toku gradnje tunela [3].

U hidrotehni kom tunelu Fatni ko polje – akumulacija Bile a, na stacionaži 7+458 nabušena je velika kaverna zapunjena glinovitom drobinom. Dimenzije kaverne nisu precizno utvrđene. Tokom iskopa došlo je do laganog tonjenja mašine, tako da je bilo nužno premoštavanje.

Pošto je kaverna bila velikih dimenzija, došlo je do ozbiljnog zastoja u napredovanju radova. Premošćavanje kaverne bilo je riskantno zbog velikih nestabilnih blokova na njenoj tavanici, od kojeg obrušavanja nije bilo moguće zaštititi tunelsku cijev. Jedino racionalno rešenje bila je devijacija tunela. Izbor trase izvršen je na osnovu speleoloških istraživanja i detaljne inženjersko-geološke analize.

Slika 4a - Kaverna na trasi tunela

Slika 4b - Devijacija tunela: 1. Kaverna, 2. Karstifikovani krečnjak, 3. Rasjed, 4. Betonski stup, 5. Devijacija tunela

4.2. Karstni kanali

Presjecanje vertikalnih i subvertikalnih karstnih kanala je veoma važno kod tunelskih iskopa u karstu. U tim slučajevima, dijelovi tunelske obloge mogu da budu opterećeni nepredviđenim koncentrisanim pritiskom. Da bi se otklonile moguće oštećenja tunelske obloge, neophodno je da se ovaj kanal poveže bajpasom sa njegovim nastavkom ispod tunela i tako omogući njegovo dreniranje, [1] slika 5.

Slika 5 - Presjecanje karstnog kanala sa tunelskom cijev: 1. Karstni kanal 2. tunelska cijev 3. nivo vode u kanalu 4. dio obloge ugrožen koncentrisanim pritiskom 5. drenažna konstrukcija oko tunelske cijevi

4.3. Manje kavernozone

U slučaju prolaska tunelske trase kroz kavernozone, koja se sastoji od niza manjih kaverni, moguće je primijeniti više rješenja. Tako je npr. za savlađivanje kavernozone kao slici 6. najbrže i najekonomičnije rješenje bilo zapunjavanje kaverne betonom do kote dna tunela. Ovakvi primjeri premoštavanja kaverni na trasi Fatničkog tunela bili su veoma česti.

Slika 6 - Saniranje kaverne betonskom ispunom: 1. Kaverna 2. Dio kaverne zapunjen betonom 3. Kruna tunela 4. Glava krtice

Slika 7 - Saniranje kaverne kod malog nadsloja: 1. Kaverna 2. Glinovita zapuna kaverne 3. Karstifikovani dio 4. Tehnička bušotina 5. Zaštitna kapa

5. SANACIJA TOKOM EKSPLOATACIJE

U toku eksploatacije tunela može doći do problema koji su vezani za prostore gdje tunel prolazi kroz

4.4. Kaverne zapunjene blokovima stena

U slučaju kada je kaverna zapunjena blokovima stijena sa glinovitom drobinom u visini kalote tunela, potrebno je (ako je moguće) ukloniti tu zapunu. Pri tome, postoji velika opasnost od ispadanja krupnih blokova iz kalote.

Znatno je lakše saniranje ovakvih kaverni, ako se primjenjuje klasični sistem tunelskog iskopa, nego kada se njegovo iskopavanje vrši krticom. Nakon detaljnog geološkog i speleološkog uvida i izvedenih istražnih bušotina ispod nivele tunela i obično, usvojeno je rješenje koje omogućava prolaz mašine i uklapa se na konačno rješenje obloge tunela na tom mjestu.

S obzirom na plitak nadsloj zapunjavanje kaverne materijalom, sanacija je izvršena sa površine terena, ispred glave krtice. Takođe na ovaj način urađeno je i betoniranje zaštitne kape [6].

Postoji niz slučajeva koje nije moguće riješiti primjenom nijedne od navedenih sanacionih mjera. Tada je potrebno u svakom slučaju u potpunosti ispitati karakter i osobine kaverne, njene ispunje ako ona postoji, a zatim na osnovu dosadašnjih iskustava koja su brojna, preduzeti sanacione mjere.

kavernu. Kada tunel istim profilom prolazi kroz kavernu, zapunjenu glinom i glinovitom drobinom, izložen je opasnosti da zbog ispiranja ovog materijala izgubi oslonac.

Ovakva situacija može da bude pogoršana ako se radi o malom nadsloju. Praktičan slučaj desio se u dovodnom tunelu za RHE „apljina“. Voda je erodovala, ve u količinu nekonsolidovanih pjeskovito-glinovitih sedimenata, na mjestu gdje tunel prolazi kroz veliku zapunjenu kavernu. Oko tunelske cijevi formiran je veliki prazan prostor, što se na površini manifestovalo u vidu kolapsa, odnosno propadanja. Da bi se utvrdile razmjere i karakteristike defekta, obavljani su obimni istražni radovi, koji su pokazali da je dio tunela ostao bez oslonca. Istražni radovi obuhvatali su: istražno bušenje, osmatranje oscilacije podzemnih voda, mjerenje gubitaka iz tunela, geološku analizu, speleološku prospekciju i TV karotaž. Mjerenjem oscilacije podzemnih voda u bušotinama blizu tunelske cijevi utvrđeno je da one odgovaraju promjeni pritiska u tunelu.

Slika 8 - Kolaps terena iznad tunelske cijevi: 1. Tunelska cijev 2. Ojačani dio obloge 3. Kolaps 4. Pevina nastala kao posledica kolapsa 5. Prazan prostor ispod tunelske cijevi 6. Ispuna u pećini 7. Krečnjak 8. Bušotina 9. Rasjed

Pošto promjene pritiska zavise od režima rada elektrane (pumpni ili turbinski), pijeziometarska linija mijenja pravac nagiba duž tunela [4]. Ponovljenim simultanim mjerenjima utvrđeno je da veličina

gubitaka iz tunela zavisi od pijeziometarskog pritiska, koji na mjestu defekta u poretku sa statičkim nivoom iznosi +13 m (pumpni rad) i -13 m (turbinski rad).

Slika 9. Sanacioni radovi: 1. Ojačani dio tunelske obloge 2. Cijev za transport agregata 3. Fleksibilna cijev 4. Cijev za transport injekcijske mase 5. Bušotina kroz tunelsku oblogu 6. Injekcijska bušotina 7. Istražna bušotina 8. Anker 9. Plasti na foliji 10. Drenažna bušotina 11. Agregat 12. Filterski sloj 13. Armirana konstrukcija 14. Prepakt beton 15. Injektirani prostor 16. Krečnjak

Za istraživanje praznog prostora i izvođenje sanacionih radova u podnožnom svodu ojačanog dijela tunela, probijen je otvor 70x70 cm. Sanacioni radovi su se sastojali od izgradnje armirano-betonske ploče u donjem dijelu kaverne i AB svoda ispod tunelske obloge. Prostor između i ispod ovih konstrukcija je zapunjen šljunkom i injekcijskom masom. I ostali dio kaverne iznad AB svoda zapunjen je kroz bušotine izvedene sa površine terena i iz tunela. Dio kaverne ispod AB svoda nije zapunjavao. Opisanim sanacionim radovima gubici su bitno smanjeni, (na cca 50 l/s) i otklonjena je opasnost havarije

6. ZAKLJUČAK

U projektu hidroenergetskog sistema rijeke Trebišnjice postoji ukupno oko 60 km hidrotehničkih tunela. Od toga, do sada je izgrađeno više od 40 km. Prestalo je da se izgradi Dabarski tunel (11.085 m) i

dovodni tunel za HE Nevesinje (4.301 m). Glavni cilj izgradnje ovih tunela je prevođenje voda Gornjih (Gatačko i Nevesinjsko polje) i Srednjih horizonata (Dabarsko i Fatničko polje) u akumulaciju Bile a, s ciljem njihovog višenamjenskog korištenja.

Tokom izgradnje i eksploatacije tunela u ovom području, graditelji su se susreli sa značajnim problemima, koji su posljedica postojanja kaverni i pećina duž trasa hidrotehničkih tunela, ili u njihovoj neposrednoj blizini. Primjenjene metodologije sanacije tokom izgradnje i eksploatacije pre svega su zavisile od tehnologije tunelskog iskopa. Samo na hidrotehničkom tunelu Fatničko polje – akumulacija Bile a primjenjene su tri različite tehnologije tunelskog iskopa.

U ovom radu prikazana su praktična rješenja sanacije kavernoznih zona primijenjena tokom gradnje, ali i tokom eksploatacije hidrotehničkih tunela u karstu istočne Hercegovine. Opisana rješenja predstavljaju dragoceno iskustvo, koje treba imati u vidu tokom predstojećih izgradnji sistema tunela u Gornjim horizontima.

LITERATURA

- [1] Golijanin A, *Geotehnički uslovi izgradnje hidrotehničkih tunela u karstu Istočne Hercegovine*, magistarski rad, Trebinje-Beograd 2003.

- [2] Golijanin A, Jokanović V, *Inženjersko-geološko kartiranje hidrotehničkih tunela Fatničko polje – akumulacija Bile a*, Elaborat, Trebinje 2002.
- [3] Milanović P, *Geološko inženjerstvo u karstu*, Energo-projekt, Beograd, 1999.
- [4] Milanović P, Vučković M, Jokanović V, Problemi kaverni kod hidrotehničkih (derivacionih) tunela u Karstu, *Jugoslovenski simpozijum o tunelima*, knjiga 2, Brioni 1988.
- [5] Milanović P, *Hidrogeologija karsta i metode istraživanja*, Hidroelektrane na Trebišnjici, Institut za korištenje i zaštitu voda u kršu, Trebinje, 1979.
- [6] Milošević M. Tunel „Bile a“ Projektna rješenja, *Jugoslovenski simpozijum o Tunelima*, knjiga 2, Brioni, 1988.
- [7] Lokin P, Metode ispitivanja ispućalosti stijenskih masa, *Metodologija istraživanja ispućalosti stijenskih masa u geotehnici*, RGF Univerziteta u Beogradu, OOUR Geotehnika i geofizika, Seminar, str. 145-196, Beograd, 1987.
- [8] OGK SFRJ, list Trebinje, tumačenje, 1979.

SUMMARY

ESSENTIALS OF THE CONSTRUCTION AND EXPLOITATION OF HYDRAULIC TUNNELS IN KARST OF EASTERN HERZEGOVINA

The main problem in the process of construction, and it also proved in practice during exploitation of hydrotechnical tunnels constructed in the karst of eastern Herzegovina, are caverns. Of all the problems that may occur in the process of construction and during exploitation of hydrotechnical tunnels constructed in the Upper Cretaceous limestone rocks, only caverns have the characteristics (size, shape, type of backfill, water inflow) which, in extreme cases, represent a problem that is difficult to solve. In such circumstances, the tunnel construction is subject to unpredictable and sometimes devastating impairments. Cavern is a term that represents a wider area within the karst sediments, which can be partially backfilled with debris, sometimes completely empty, connected with the ground surface by karst channels.

Accumulation tunnels for power plants, i.e. the tunnels where the water flow is under pressure, are particularly susceptible to these impairments. This study introduces practical problems that have occurred in hydrotechnical tunnels constructed in the hydropower system of Trebišnjica.

Key words: hydrotechnical tunnels, karst, cavern, rebuilding