

ANALIZA HIDROGEOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ANKERSKOG POLJA NA BRANI GRANČAREVO

Saša MILANOVIĆ, Ljiljana VASIĆ
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

REZIME

Istraživanja funkcionalnosti drenažne mreže na brani Grančarevo su izvedena u cilju odvodnjavanja podzemnih voda iz zone ankerskog bloka, odnosno rasterećenja pritiska vode iz zaleđa na krečnjački blok. Izrada drenažnih bušotina i formiranje ovakvog drenažnog sistema je izvedeno u toku izrade same brane, kada se i utvrdila nestabilnost velikog krečnjačkog bloka na desnoj strani i neposredno ispod same brane. Zadatak novih istraživanja izvedenih 2015. godine bio je da se nizom specifičnih terenskih istraživanja, kao i modelskom prostornom analizom (3D prostorno modeliranje), dobije što bolji uvid u hidrogeološke karakteristike ankerskog bloka, odnosno funkcionalnost mreže drenažnih bušotina. Drenažni sistem sačinjava 26 horizontalnih bušotina sa nagibom od $+3^\circ$ i sa pravcem pružanja 78° i dužinama do 60 m. Za potrebe analize hidrogeoloških karakteristika jednog ovakvog drenažnog sistema i njegove funkcionalnosti izveden je veliki broj opita obeležavanja podzemnih voda u pijezometrima u zaleđu ankerskog polja, opita utiskivanja vode u drenažne bušotine, monitoring funkcionisanja karstne izdani šire zone istraživanja, detaljna geodetska snimanja svih objekata i pojava, analiza videoendoskopskih snimanja drenažnih bušotina u cilju definisanja stepena karstifikacije i izrada 3D hidrogeološkog modela drenažnog sistema i njegovog funkcionisanja. Jedan od glavnih zaključaka sprovedenih istraživanja bio je da podzemne vode imaju uticaj na ankersko polje samo u uslovima visokih i ekstremno visokih nivoa podzemnih voda, dok srednje i niski nivoi podzemnih voda nemaju nikakav uticaj na ankersko polje. Drenažne bušotine od najviše DB-20, ka najnižem redu bušotina DM-1 do DB-6 i dalje nizvodno ka redu bušotina PD-1 do PD-6 presecaju veliki broj lokalnih ruptura, pukotina i karstifikovanih zona, i kao takve imaju dobar raspored i prostorni položaj u funkciji dreniranja podzemnih voda. Na kraju se i terenskim i modelskim istraživanjima došlo do zaključka da su sve

drenažne bušotine funkcionalne i da vrše svoju funkciju, odnosno znatno utiču na odvodnjavanje podzemnih voda iz zone ankerskog bloka.

Ključne reči: karst, drenažne bušotine, ankersko polje, opit obeležavanja, 3D model

1. UVOD

Istraživanja prikazana u ovom radu izvedena su sa ciljem da se utvrdi funkcionalnost drenažne mreže (drenažnih bušotina) prilikom odvodnjavanja podzemnih voda iz zone ankerskog bloka na levom boku brane Grančarevo, odnosno rasterećenja pritiska vode iz zaleđa na krečnjački blok. Za potrebe definisanja hidrogeoloških karakteristika, odnosno funkcionalnosti drenažne mreže, izveden je niz terenskih istraživanja, kao i modelska analiza radi dobijanja što boljeg uvida u funkcionalnost drenažnih bušotina. Istraživanja su izvedena tokom 2015. i 2016. godine na ankerskom polju levog bloka brane Grančarevo, dvostruko zakrivljenoj lučnoj brani, koja se nalazi na reci Trebišnjici, 17 km uzvodno od Trebinja. Građevinska visina brane je 123 m, sa krunom na koti 403 m i usporom na koti 400,00 m. Izgradnjom brane je formiran akumulacioni bazen "Bileća" dužine 18 km i ukupne zapremine 1277 milijardi m^3 [2].

2. DEFINISANJE PROBLEMA I METODOLOGIJE ISTRAŽIVANJA

Pregradni profil brane je lociran u području severoistočnog krila Lastvanske antiklinale, u slojevitim lijaskim krečnjacima sa laporovito-glinovitim i glinovito-ugljevitim proslojcima. Nagib ovog dela strukture je od leve prema desnoj obali, pa je većina istražnih bušotina u desnom boku ušla u trijasje dolomite [2]. U levom boku sve bušotine su ostale u lijaskim krečnjacima, koji i jesu problematika istraživanja prikazanih u ovom radu. Takođe, u levom

boku je geofizičkim istraživanjima utvrđena intenzivnija karstifikovanost stenske mase, a bušenjem je potvrđeno prisustvo kaverni. Primenom geoelektričnog sondiranja i kartiranja konstatovano je da je nagib baze karstifikacije u levom boku saglasan sa nagibom nivoa podzemnih voda.

Hidrogeološki i speleogenetski faktori imaju jednu od najznačajnijih uloga u formiranju karstne izdani i njenih podzemnih morfoloških oblika. To su faktori koji

karakterišu i determinišu uslove i položaje podzemnih oblika, kao i njihovu međusobnu vezu. Nastanak podzemnih "inicijalnih" oblika je uslovljen strukturnim karakteristikama i režimom podzemnih voda jedne karstne izdani, gde su osnovni oblici determinisani kao osnovni uslovi daljeg granjanja podzemne "mreže". Takođe, značajnu ulogu ima lokalni erozioni bazis, koji određuje vertikalno razviće podzemnih oblika, što je u slučaju ankerskog polja brane Grančarevo reka Trebišnjica (Slika 1).



Slika 1. Ankersko polje na brani Grančarevo (Trebinje) sa položajem drenažnih bušotina

Formiranje fizičkog modela i njegova 3D analiza sa realno predstavljenim, kako spoljnim, tako i unutrašnjim parametrima, treba da dokaže da se sa jasnom kvantifikacijom i analizom, a kroz primenu novih softverskih alata, u sprezi sa novim dostignućima na polju direktnih istraživanja, može ući u znatno sigurnije predviđanje cirkulacije podzemnih voda u zoni ankerskog bloka, i to od zaleđa ovog dela karstne izdani ka koritu Trebišnjice, kao lokalnom erozionom bazisu.

Svi prostorni podaci prethodnih istraživanja čine bazu osnovu koja je u početnoj fazi istraživanja konvertovana u digitalne oblike, kako bi zajedno sa relacionim bazama činile naprednu osnovu za konstruisanje 3D

modela, odnosno prostornog fizičkog modela karstne izdani [6]. Formiranje fizičkog modela ima za cilj da integriše, predstavi i manipuliše prostornim informacijama u trodimenzionalnom prostoru, čime bi sa vezivanjem vremenskih serija, kvalitativnih i kvantitativnih podataka, zapravo dobili četvorodimenzionalni model 4D [3]. Upravo ova istraživanja su imala za cilj da postave osnove budućeg modela i monitoring sistema u sklopu praćenja svih hidrogeoloških parametara u neposrednoj zoni brane Grančarevo. Kao najbitniju podlogu za formiranje kvalitetnog modela izdvajaju se terenska istraživanja, odnosno snimanja svih drenažnih bušotina i pijezometara šire zone ankerskog bloka.

Pristup problemu definisanja funkcionalnosti drenažne mreže odvijao se kroz dva pravca i to kroz:

- teorijski pristup, koji je u početnoj fazi imao postavku konceptualnog modela i
- terenska istraživanja i prikupljanje svih relevantnih podataka koji bi finalno trebalo da daju formu prostornog modela.

Za izradu modela odabran je ArcGIS 10.2. i njemu pridruženi, prateći i prilagođeni programi za ovu svrhu (Winkarst, Compass, HydroGis, XToolPro itd.). Za postavku modela bilo je neophodno detaljno izraditi prostorne slojeve "layer" i njima (onima koji imaju podatke po dubini) pridružiti odgovarajuće vertikalne komponente.

Za potrebe definisanja funkcionalnosti drenažne mreže ankernog polja na brani Grančarevo, postavljena je metodologija istražnih radova koja je podrazumevala:

- prikupljanje, obradu i sintezu raspoloživih podataka,
- geodetsko snimanje repernih tačaka, radi kasnijeg pretvaranja fondovske dokumentacije u digitalni vektorski zapis,
- izradu idejnog GIS modela sa relacionom bazom podataka,
- formiranje osmatračke mreže na drenažnim bušotinama i pijezometrima za kontinualno osmatranje svih parametara tokom istražnih radova,
- postavljanje sistema osmatranja za merenje količina vode koja se proceduje iz drenažnih bušotina,

- snimanje bušotine u široj zoni ankernog polja specijalnom videoendoskopskom kamerom malog prečnika [1].

Pored toga, istraživanja su obuhvatila i analizu stepena karstifikacije svake drenažne bušotine primenom videoendoskopskih istraživanja i povezivanje podataka o karstifikaciji po vertikali, izvođenje opita utiskivanja vode u drenažne bušotine, radi definisanja njihovih hidrogeoloških parametara i budućeg izvođenja opita obeležavanja u drenažnim bušotinama – injektiranje obeleživača primenom pakera, opit obeležavanja podzemnih voda ubacivanjem trasera (Na-fluoresceina) u pijezometre u zaleđu ankernog polja i u drenažne bušotine ankernog polja, i na kraju monitoring pojave obeleživača na drenažnim bušotinama i u koritu Trebišnjice [4].

3. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Pri videoendoskopskim radovima izvedenim na brani Grančarevo, snimljene su 24 horizontalne drenažne bušotine, sa ukupnom dužinom od preko 350 m [5]. Na bazi podataka videoendoskopije, urađena je analiza svake pojedinačne bušotine, što je kasnije korišćeno za potrebe definisanja stepena karstifikacije u zoni ankernog bloka. Stepen karstifikacije je podeljen u pet kategorija od najslabije ispućalosti do potpuno zdrobljenih zona i zona sa kavernama. Klasifikacija karstifikovanih intervala je prikazana u Tabeli 1, a na Slici 2 ilustrativni su podaci o tipu karstifikacije za svaku predloženu kategoriju.

Tabela 1. Podela karstifikacije po kategorijama na osnovu analize videoendoskopskih snimaka [3]

Kategorija karstifikovanosti	Opis karstifikacije
1	Slabo ispućala zona. Zev pukotina 0.1 do 3 cm. Intervali kraći od 1 m.
2	Ispućala zona. Uočljivo pružanje pukotina. Česte pukotine po celom profilu bušotine. Zev pukotine do 6 cm.
3	Značajna ispućalost sa pojavama zdrobljenih intervala. Pukotine koje prate manje rupturne sisteme sa zevom i do 12 cm.
4	Jako ispućala i karstifikovana zona. Potpuno zdrobljene zone intervala često većih od 1 m. Degradirani zidovi bušotina i pojava manjih kaverni.
5	Popuno zdrobljene zone sa pojavama većih kaverni i značajnih pukotinskih sistema.



K.K. 1



K.K. 2



K.K. 3



K.K. 4

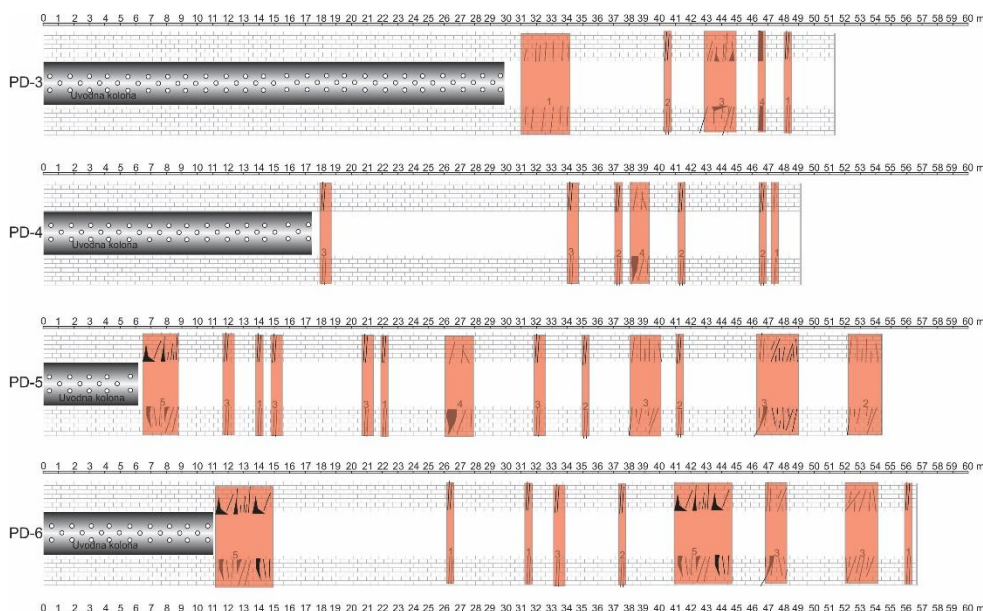


K.K. 5

Slika 2. Slike različitih kategorija karstifikacije krovane sa snimaka bušotina ankernog polja kao reper za dalju analizu

Na osnovu podataka videoendoskopskih snimanja urađeni su detaljni profili svih bušotina sa utvrđenim

karstifikovanim zonama. Na slici 3. je dat prikaz četiri karakteristične bušotine PD-3, PD-4, PD-5 i PD-6.



Slika 3. Profili istražnih bušotina sa utvrđenim karstifikovanim zonama i njihovim kategorijama (PD-3 do PD-6)

Na osnovu prikazane grafičke analize zona karstifikacije bušotina koje čine drenažni sistem ankerskog polja, u tabeli 2 je dat prikaz karstifikovanih intervala, kao i statističko učešće karstifikacije po svakoj bušotini. Na kraju je dat i proračun težinskih koeficijenata karstifikacije po bušotini T.K.K. Za proračun težinskih

koeficijenata karstifikacije po bušotini T.K.K. formiran je algoritam učešća karstifikacije, koji je za osnovu imao dodelu težinskih koeficijenata prema učešću sume karstifikovanih intervala u odnosu na procentualnu zastupljenost karstifikovanih intervala u bušotini (Tabela 3).

Tabela 2. Tabela prikaz podataka karstifikacije svih bušotina

Naziv bušotine	Duž. Buš. (m)	K. Int. – K. 1	K. Int. – K. 2	K. Int. – K. 3	K. Int. – K. 4	K. Int. – K. 5	ΣK. K.Int.	Dužina K. Int. (m)	% (D.K.I. po D.B.)	T.K. K.
DB-1	45,60	3	2		1		6	9,00	19,74	5
DB-2	20,00	3					3	1,50	7,5	1
DB-4	9,80						0			
DB-6	33,00	5	4	2	1		12	9,00	27,27	9
DB-7	45,00	6	1	1	1		9	6,00	13,33	5
DB-8	55,20	3	3	3	4		13	11,20	20,29	9
DB-9	40,50	1		3	4	2	10	16,30	40,25	6
DB-10	5,20						0			
DB-11	37,70	2	2	1	2	1	8	12,10	32,1	6
DB-12	11,10				1		1	2,00	18,02	2
DB-13	36,00	3	3			1	7	8,00	22,22	6
DB-14	33,50	1	2	1		1	5	6,30	18,81	2

Tabela 2. (nastavak) Tabela prikaz podataka karstifikacije svih bušotina

Naziv bušotine	Duž. Buš. (m)	K. Int. – K. 1	K. Int. – K. 2	K. Int. – K. 3	K. Int. – K. 4	K. Int. – K. 5	ΣK. K.Int.	Dužina K. Int. (m)	% (D.K.I. po D.B.)	T.K. K.
DB-15	40,00	3	2	2			7	10,50	26,25	6
DB-16	10,50					5	5	1,50	14,29	2
DB-17	25,50	1	1				2	3,50	13,73	2
DB-18	9,00		3				3	2,50	27,78	3
DB-19	7,60			1	1		2	6,00	78,95	3
DB-20	37,40		3	1			4	2,50	6,68	1
PD-1	48,50	3	5	2	3	2	15	18,00	37,11	9
PD-2	31,00	3		1	1	1	6	7,00	22,58	6
PD-3	51,30	2	1	1	1		5	6,50	12,67	2
PD-4	49,00	1	3	2	4		10	7,20	14,69	5
PD-5	54,50	2	2	6	1	1	12	17,90	32,84	9
PD-6	56,60	3	1	3		2	9	14,00	24,73	6

Legenda tabele: Duž. Buš. (m) - Snimljena dužina bušotine u metrima, K. K. Int. – K. (1,2,3,4,5) - Broj karstifikovanih intervala po kategorijama, ΣK. K. - Suma karstifikovanih kategorija po bušotini, Dužina K. Int. - Ukupna dužina karstifikovanih intervala u metrima, % (D.K.I. po D.B.) - Procentualna zastupljenost karstifikacije u bušotini, T.K.K. - Težinski koeficijent karstifikacije

Tabela 3. Tabela proračuna težinskog koeficijenta karstifikacije na osnovu (Σ K. K.Int. i % D.K.I. po D.B.)

Suma karstifikovanih kategorija po bušotini	% D.K.I. po D.B.	T.K.K.
5	0-10%	1
	10%-20%	2
	>20%	3
10	0-10%	4
	10%-20%	5
	>20%	6
15	0-10%	7
	10%-20%	8
	>20%	9

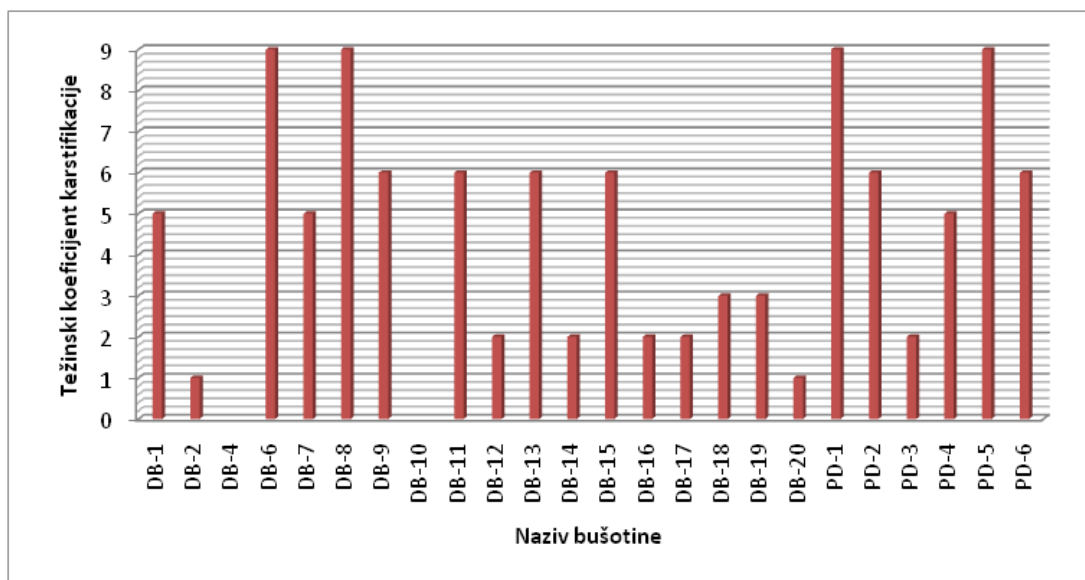
Na osnovu svega prikazanog u prethodnim tabelama, kao i na osnovu proračuna težinskih koeficijenata karstifikacije, dat je i grafički prikaz karstifikacije po bušotinama (Slika 4). Kao što se vidi sa grafika bušotine u kojima su registrovani intervali sa najvećom karstifikacijom su DB-6, DB-8, PD-1 i PD-5, a kod kojih težinski koeficijent karstifikacije prelazi 8. Dalje se 8 bušotina nalazi u intervalu od 4 do 6, i to su sem bušotine PD-3 sve preostale bušotine ispod puta PD-6,4 i 2, dok su u istoj kategoriji i bušotine DB-1, 7, 9, 11, 13

i 15, koje sa prethodnim spadaju u grupu bušotina povišene karstifikacije. Ostale bušotine spadaju u grupu do 1-3 T.K.K., odnosno u grupu bušotina sa zabeleženim srednjim stepenom karstifikacije. Samo bušotine DB-2 i DB-20 se mogu svrstati u bušotine sa malim stepenom karstifikacije odnosno učešća karstifikovanih intervala u odnosu na celokupnu bušotinu.

Za potrebe definisanja brzine i pravaca cirkulacije podzemnih voda u zoni ankerskog polja izveden je i niz opita obeležavanja. Opit obeležavanja podzemnih voda izveden je ubacivanjem trasera (Na-fluoresceina) u pijezometre u zaleđu ankerskog polja i u drenažne bušotine ankerskog polja. Opiti su izvedeni zasebno za svaki pijezometar, ubacivanjem 0.5 do 1.5 kg Na-fluoresceina, sa naknadnim upumpavanjem ~ 5-10 m³ vode. Prvi opit obeležavanja je izveden na pijezometru 6/1. Bojenje podzemnih voda pijezometra 6/1 izvedeno je sa 1,5 kg Na-fluoresceina [5]. Nakon ubacivanja obeleživača, preko unapred postavljenog sistema, u pijezometar je injektirano oko 10 m³ vode. Praćenje pojave obeleživača izvedeno je na svim mogućim lokacijama, odnosno na 26 drenažnih bušotina i na par lokacija sa zonama isticanja nizvodno od ankerskog polja. Nakon ubacivanja obeleživača, otpočet je monitoring na unapred predviđenim punktovima.

Tokom prvog dana osmatranja nije uočena pojava obeleživača, budući da se očekivala pojava u koncentraciji većoj od 10 mg/m³, a što je vidljivo golim okom. Kako se očekivala pojava boje, koja nije bila registrovana niti golim okom, niti fluo lampom,

odlučeno je da se uzmu uzorci vode za detekciju Na-fluoresceina na spektrofleurimetru. Podaci osmatranja pojave obeleživača detektovanih na spektrofleurimetru su prikazani u Tabeli 2 [4].



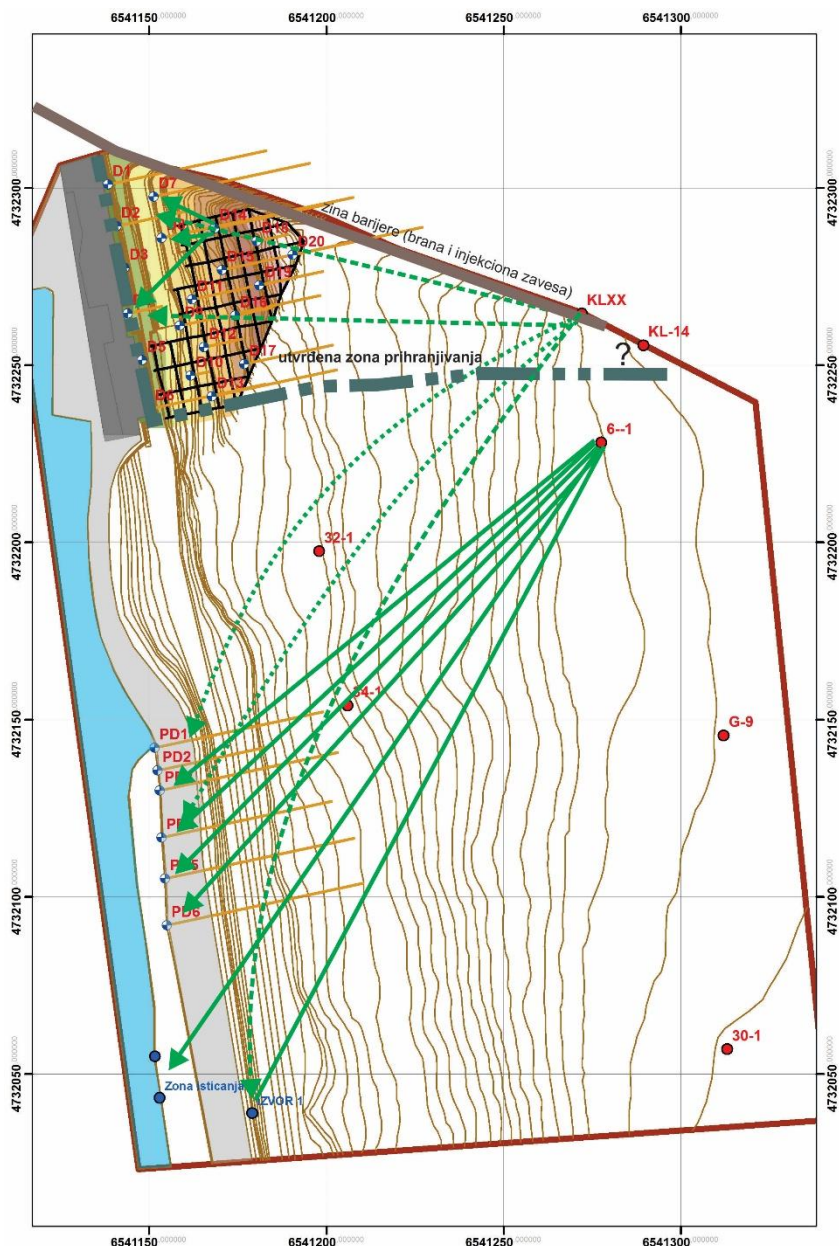
Slika 4. Grafički prikaz težinskih koeficijenata karstifikacije svih bušotina u zoni ankerskog polja

Tabela 4. Tabela koncentracija obeleživača za (boja ubačena u pjezometar 6/1) objekte PD-3, PD-4, PD-5 i PD-6

Osmatrani objekat	25. 11. 2016.	26. 11. 2016.	27. 11. 2016.	28. 11. 2016.
	Koncentracija mg/m ³			
PD-3	0,8	1,56	4,6	4,43
PD-4	0,66	0,9	2,4	1,9
PD-5	0,9	1,7	4,85	4,55
PD-6	0,7	1,2	0,85	0,23

Jedan od bitnih koraka u terenskim istraživanjima sprovedenim na lokaciji brane Grančarevo je bio i kontinualni monitoring. Za potrebe definisanja funkcionisanja drenažne mreže na početku istraživanja je uspostavljena monitoring mreža na kojima su se pratili parametri izdašnosti, odnosno količine voda koje se dreniraju kroz drenažne bušotine. Takođe se na istim objektima pratila i pojava obeleživača u toku opita bojenja, kao i uzorkovanje vode za potrebe praćenja pojave obeleživača. Monitoring izdašnosti podzemnih voda je vršen tokom svih istražnih radova, sa ciljem da se stekne utisak o načinu funkcionisanja dreniranja podzemnih voda za potrebe kasnije kvantitativne analize. Tokom istraživanja je bilo intenzivnih kišnih perioda, koji su značajno uticali na definisanje brzine cirkulacije, odnosno promene izdašnosti u samoj zoni

ankerskog polja. Zaključeno je da se generalno promena izdašnosti na drenažnim bušotinama uglavnom odnosi na najniže drenažne bušotine „smaknute“ od ankerskog bloka (PD-1 do PD-6) i najniži red bušotina u zoni ankerskog bloka (DB-1 do DB-6), a što je i hidrogeološki potpuno u skladu sa definicijom pražnjenja karstne izdani (Slika 5). Tokom merenja izdašnosti iz svih monitoring tačaka su uzeti „nulti“ uzorci za definisanje nultog stanja postojanja tragova nekog obeleživača koji su eventualno korišćeni u prošlosti u zoni ankerskog polja. Proverom svih nultih uzoraka nije utvrđena pojava nekog obeleživača ni u tragovima. Pored drenažnih bušotina, monitoring je još izveden i na već pomenutim pjezometrima, kao i izvorima koji se nalaze nizvodno od ankerskog polja.



Slika 5. Položaj svih objekata monitoring mreže sa rezultatima opita obeležavanja [3]

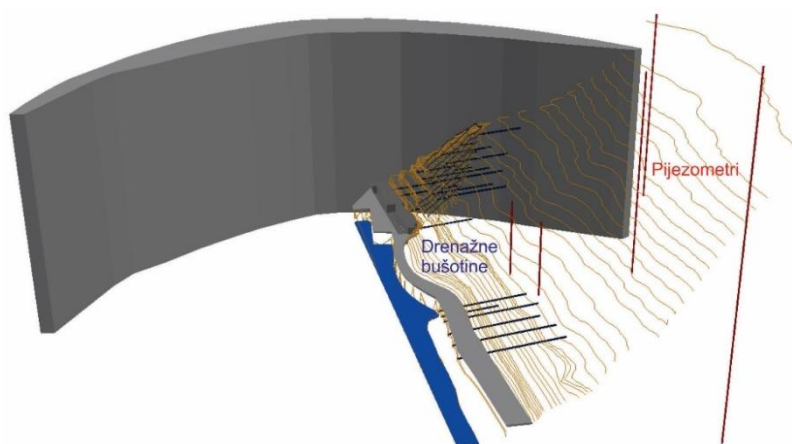
4. ANALIZA DOBJENIH REZULTATA U CILJU DEFINISANJA FUNKCIONALNOSTI DRENAŽNOG SISTEMA

Formiranje modela je izvedeno kroz više faza, koje su i generalno objašnjene i prikazane u daljem tekstu ovog rada. Pre bilo kakvih modelskih radova bilo je neophodno izraditi DEM terena. Sam teren je podeljen na ankerski blok, kao primarni deo istraživane oblasti i

na širi deo terena, koji zapravo čini sekundarnu zonu, odnosno širu zonu istraživanja, ali bez koje bi samo istraživanje ankerskog polja bilo isuviše prostorno suženo i nedovoljno za kasnije izvođenje bilo kakvih zaključaka o cirkulaciji podzemne vode u ovoj zoni. Na slici 5 je prikazana šira zona obuhvaćena formiranjem modela, kako početnog geodetskog prikaza, tako i kasnijeg DMT i 3D modela. Nakon završetka formiranja 2D i 3D topografskih podloga površine terena i

njihovog inkorporiranje u već formirani GIS hidrogeološki model, nastavilo se sa formiranjem daljih podloga. Prvo je izvršena konverzija prostornih podataka svih drenažnih bušotina na osnovu njihovih poznatih dužina, azimuta pružanja i nagiba. Tek nakon ovakve konverzije prostornih elemenata se moglo izvesti 3D pozicioniranje. Pored drenažnih bušotina, tokom istraživanja je ispitano i više pijezometara, sa ciljem izvođenja opita obeležavanja, kao i formiranja slike o oscilacijama nivoa podzemnih voda u zoni ankerskog polja i široj zoni istraživanja. Pored prethodno prikazanih drenažnih bušotina i pijezometara

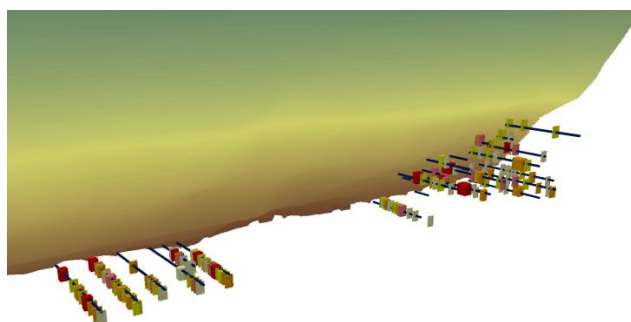
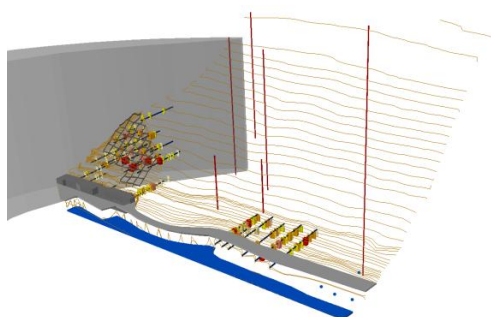
u toku istražnih radova za potrebe definisanja funkcionisanja drenažne mreže u zoni ankerskog polja, osmatrane su i integrisane u monitoring mrežu i zone prirodnog isticanja, a koje su ujedno i najudaljenije tačke od same zone ankerskog polja. Ova zona se odlikuje prirodnim dreniranjem ispitivane karstne izdani i to na koti iznad 310 mnm, što je znatno viša kota od najaktivnije zone drenažnih bušotina, kao hipsometrijski najviše kota dreniranja. Nakon završetka ubacivanja svih podataka u model, urađen je prostorni 3D model topografije terena DEM sa 3D položajem svih drenažnih bušotina i pijezometara zone istraživanja (Slika 6) [4].



Slika 6. 3D model šire zone istraživanja sa položajem drenažnih bušotina i pijezometara [3]

Sledeća faza u prostornom modelskom ispitivanju se odnosila na integraciju podataka o karstifikaciji dobijenih iz snimanja drenažnih bušotina kamerom. Da bi se ustanovio prostorni položaj i funkcionalnost samih drenažnih bušotina, odnosno povezanost bušotina sa glavnim ispucalim zonama, kao privilegovanim pravcima kretanja podzemnih voda u zoni ankerskog polja, korišćena je prethodno urađena podela, kojoj su pridodate boje po kategoriji karstifikovanosti radi lakše analize kroz 3D model, gde je crvena najviši stepen

ispucalosti, dok se sa bleđim bojama ispucalost smanjuje (Slika 7). Modelske „kutije“ karstifikovanosti prikazuju bojom kategoriju karstifikacije, dok je debljina same „kutije“, zapravo realna debljina karstifikovanog intervala u samoj bušotini. Za analiziranje karstifikacije je umnogome pomoglo i što se „unutrašnjost“ zone istraživanja i samih drenažnih bušotina mogla posmatrati iz bilo kog zadatog ugla ili hipsometrijskog položaja.

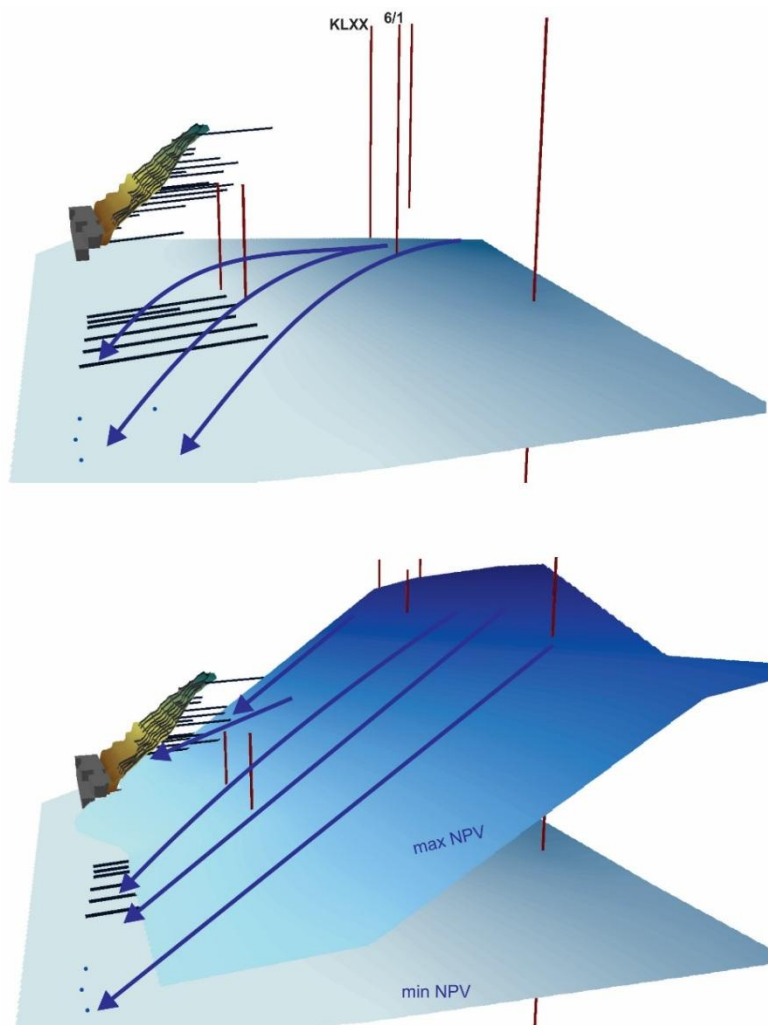


Slika 7. Prostorni prikaz 3D karstifikacije u zoni drenažnih bušotina

ZAKLJUČAK

Ono što treba izdvojiti, a bilo je bitno za samu analizu drenažnog sistema, je da se u ankerskom polju cirkulacija odvija veoma usporeno i sa generalno malim pritiskom podzemne vode iz zaleđa. Na to utiče, sa uzvodne strane, brana i injeksiona zavesa koje čine barijeru podzemnim vodama i ne dozvoljavaju infiltraciju voda sa severne i severoistočne strane ankerskog polja. Kretanje podzemnih voda definisano modelskim ispitivanjima i interpolacijama poznatih podataka za vreme minimalnih i maksimalnih kota nivoa podzemnih voda su prikazani na slici 8. Na slici je dat i 3D model istraživane zone, sa prikazom gore navedenih nivoa podzemnih voda i njihov uticaj na opterećenje ankerskog bloka, odnosno na zone koje dreniraju ove vode preko sistema drenažnih bušotina.

Na osnovu svega razmatranog, može se konstatovati i zaključiti da se ankersko polje generalno nalazi u uslovima usporene cirkulacije podzemnih voda, usled znatnog broja hidrotehničkih radova izvedenih uzvodno (brana i injeksiona zavesa) i u zoni samog ankerskog polja (injeksioni radovi za potrebe ugradnje ankeri) i to na udaljenostima od 50 m od površine (znatno dalje od drenažnih bušotina). Podzemne vode imaju uticaj na ankersko polje samo u uslovima visokih i ekstremno visokih nivoa podzemnih voda, dok srednji i niski nivoi podzemnih voda nemaju nikakav uticaj na ankersko polje. Drenažne bušotine od najviše DB-20 bušotine, ka najnižem redu bušotina DM-1 do DB-6, presecaju veliki broj lokalnih ruptura, pukotina i zona karstifikacije, te generalno imaju dobru pokrivenost za potrebe dreniranja i većih količina voda.



Slika 8. Pravci cirkulacije podzemnih voda za vreme malih i velikih voda prikazani u okviru 3D modela

LITERATURA

- [1] Borghi A, Renard P, Jenni S (2010) How to model realistic 3D karst reservoirs using a pseudogenetic methodology—example of two case studies. In: Andreo B, Carrasco F, Duran J, LaMoreaux JW (eds) *Advances in research in karst media*. Springer, Berlin, pp 251–256
- [2] Milanović P. 2006: *Karst Istočne Hercegovine i Dubrovačkog priobalja*, ASOS, Beograd
- [3] Milanović S. 2010: *Formiranje fizičkog modela karstne izdani na primeru Beljanice Istočna Srbija*, Doktorska disertacija, RGF, Beograd
- [4] Milanović S. 2015: *Elaborat o izvedenim istraživanjima za potrebe definisanja funkcionalnosti drenažne mreže ankerskog polja na HE Grančarevo*, RGF, Beograd
- [5] Milanović S., Zubac Ž., Vasić Lj., Grdinić R., Sorajić S., Cuca M., 2016: *Analiza funkcionalnosti drenažnih bušotina ankerskog polja na HE Grančarevo*, Zbornik radova XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Kopaonik, 14-17. septembar 2016
- [6] Kincaid TR (2006) A method for producing 3-d geometric and parameter models of saturated cave systems with a discussion of applications. In: Sasowsky I, Wicks C (eds) *Groundwater flow and contaminant transport in carbonate aquifers*. Balkema, Rotterdam, pp 169–190

ANALYSIS OF HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTIC ON GRANČAREVO DAM ANCHOR FIELD

by

Saša MILANOVIĆ, Ljiljana VASIĆ
University of Belgrade, Faculty of Mining & Geology

Summary

Analyses of drainage (boreholes) network functionality on PP Grančarevo were performed for the purpose of groundwater drainage from anchor block, as well as to relieve water pressure from the background karst aquifer to the limestone block. Drilling of drainage boreholes and the formation of such drainage system is carried out during construction of the dam itself when it was determined instability of large limestone block on the left side and directly below the dam. The task of the new research carried out in 2015. was that a series of specific field research, as well as modeling the spatial analysis (3D physical modeling) give a better insight into the functionality of the network of drainage boreholes. The drainage system consists of 26 horizontal boreholes with an inclination of + 3°, direction of 78° and lengths up to 60 m. For the analysis of such drainage system and its functionality were performed extensive experiments as tracer tests of groundwater in monitoring boreholes in the hinterland of anchor field, monitoring the functioning of the wider zone of karst area, detailed geodetic surveys of objects

and karst phenomena, analysis of boreholes video logging in order to define the degree of karstification and development of 3D hydrogeological model of the drainage system and its functioning. One of the main conclusions of these studies was that groundwater affecting the anchor field only in conditions of high and extremely high groundwater levels, while medium and low groundwater levels have no influence on the anchor block, or karsts aquifer. Drainage boreholes from DB-20 to the lowest row of boreholes DM-1 to DB-6 and further downstream towards the boreholes PD-1 to PD-6 are intersected by a number of local ruptures, cracks and karstification zone, and generally have good coverage for drainage purposes. After all, according field and models researches conclusion were that all drainage boreholes are functional on higher and lower level, which is in complete connection and depending on the groundwater level position.

Keywords: karst, drainage boreholes, anchor field, tracer test, 3D model

Redigovano 16.10.2019.