# Geologija i hidrogeologija izvora Kostel

**Lovrenović, Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

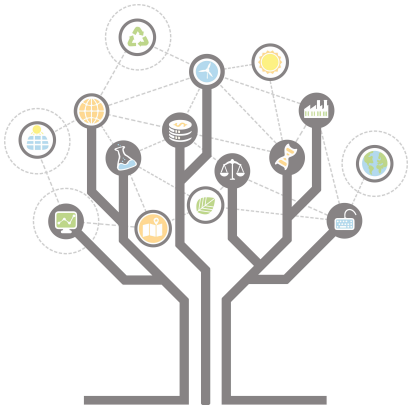
**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:842411

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**



*Repository / Repozitorij:*

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

KATARINA LOVRENOVIĆ

# GEOLOGIJA I HIDROGEOLOGIJA IZVORA KOSTEL

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

KATARINA LOVRENOVIĆ

# GEOLOGIJA I HIDROGEOLOGIJA IZVORA KOSTEL

KANDIDAT:

KATARINA LOVRENOVIĆ

MENTOR:

prof.dr.sc. SANJA KAPELJ

VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

# ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: KATARINA LOVRENOVIĆ

Matični broj: 2664 - 2016./2017.

## NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

GEOLOGIJA I HIDROGEOLOGIJA IZVORA KOSTEL

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Vodonosnici
3. Geološka obilježja
4. Tehnička obilježja vodozahvata
5. Kakvoća vode
6. Rasprava i zaključak
7. Literatura

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 27.03.2019. Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:
Prof.dr.sc. Sanja Kapelj

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

# IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

**GEOLOGIJA I HIDROGEOLOGIJA IZVORA KOSTEL**

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **prof. dr. sc. Sanja Kapelj.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 2. rujna 2019.

KATARINA LOVRENOVIĆ
(Ime i prezime)

Lovrenović Katarina
(Vlastoručni potpis)

## SAŽETAK RADA

Vodu, kao čovjekov najvažniji prirodni resurs, potrebno je u što većoj mjeri zaštiti upravo od samog čovjeka i njegovog utjecaja. Zbog svojih svojstava i mogućnosti „samopročišćavanja" podzemna voda je vrlo značajan izvor pitke vode[1].

Da bi vodu mogli eksploatirati bez većih onečišćenja bitno se pridržavati zakona, pravila i propisa vezanih uz zaštitu podzemnih voda i zaštitu samog izvorišta.

Osnova za zaštitu voda je dobro poznavanje geoloških i hidrogeoloških značajki priljevnog područja izvorišta koje je potrebno štititi.

U ovom primjeru detaljno su razrađeni svi geološki i hidrogeološki elementi bitni za zaštitu jednog izvorišta od važnosti za vodoopskrbu okolnih naseljenih područja te je ukazano na činjenicu da prirodni uvjeti neki put mogu predstavljati problem za korištenje voda za potrebe vodoopskrbe zbog prirodno povišenog sadržaja štetnih sastojaka. Detaljno su opisani i tehnički zahvati provedeni s ciljem ispitivanja svojstava vodonosnika i mogućnosti eksploatacije podzemne vode.

Izvorište „Kostel" je smješteno u Krapinsko-zagorskoj županiji, na području vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznošću. Problem korištenja izvorske vode koje ima u dovoljnoj količini za eksploataciju je povremeno visoka koncentracija željeza. Postoji prirodno povišen sadržaj sumporovodika ($H_2S$) u podzemnoj vodi koji relativno brzo oksidira u sulfate u samoj bušotini tijekom crpljenja. Porijeklo sumporovodika se još mora detaljno istražiti. Može biti vezano za staru vulkansku aktivnost ili nazočnost organogenih sedimenata u kontaktu s podzemnom vodom.



## KLJUČNE RIJEČ

Hidrogeologija, geologija, kakvoća podzemne vode, izvor Kostel

SADRŽAJ

1. UVOD ..... 1
2. VODONOSNICI ..... 3
2.1. Tipovi vodonosnika i njihova hidrogeološka svojstva ..... 4
2.1.1. Otvoreni vodonosnik ..... 5
2.1.2. Zatvoreni vodonosnik ..... 6
2.1.3. Poluotvoreni vodonosnik ..... 7
2.1.4. Poluzatvoreni vodonosnik ..... 8
3. GEOLOŠKA OBILJEŽJA ..... 9
3.1.1. Litološki sastav ..... 11
4. HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA ..... 13
5. TEHNIČKA OBILJEŽJA VODOZAHVATA ..... 14
6. KAKVOĆA VODE ..... 19
7. RASPRAVA I ZAKLJUČAK ..... 23
8. LITERATURA ..... 25
POPIS TABLICA ..... 26
POPIS SLIKA ..... 26

# 1. UVOD

Kako u prošlosti, tako i danas, podzemna voda se koristi kao izvor pitke vode, za navodnjavanje te druge ljudske potrebe. To je jedan od važnijih prirodnih izvora jer podpovršinski položaj i zaštitni pokrov vodonosnika, tlo i nezasićena zona, daju ovim vodama kakvoću od površinskih voda i zaštitu od zagađenja s površine terena.

Međutim, postoji i velika mogućnost zagađenja podzemnih voda. Razvojem gradova i industrije dolazi do prekomjernog crpljenja vode iz vodonosnika. Promjenama u načinu crpljenja mijenja se smjer toka podzemne vode zbog sniženja razine vode u piezometrima. U tom slučaju se povećava dubina nezasićene zone vodonosnika.

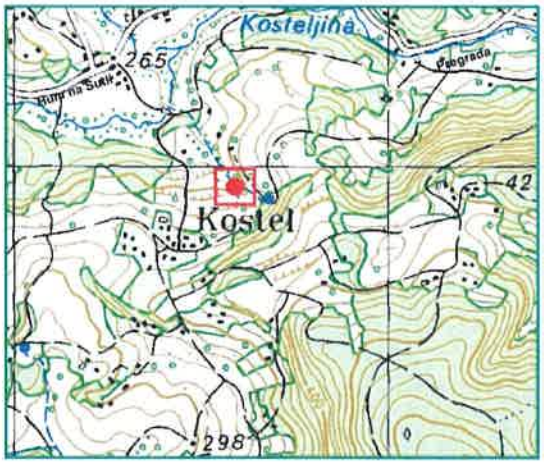
„Tijekom hidrološki visokih voda porastom razine vodnog lica može doći do plavljenja temelja, odnosno statičke nestabilnosti različitih objekata, vlaženja i plavljenja podruma i podzemnih konstrukcija"[2]. Tada dolazi do smanjenja razine nezasićene zone vodonosnika čime se smanjuje debljina zaštitnog pokrova, a pri povlačenju voda olakšan je prodor potencijalnog zagađenja s površine terena.

Izvor „Kostel" se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske u blizini grada Pregrada. Tijekom 1993. godine, na području istočnog dijela općine Hum na Sutli, provedeni su hidrogeološki i geotehnički istražni radovi sa ciljem pronalaženja vode za piće[3]. Radovi su obuhvatili geološku prospekciju terena i geofizička mjerenja koje su izveli istraživači Instituta građevinarstva Hrvatske i Hrvatski geološki institut[3].

Temeljem ovih istraživanja određena je lokacija i izvedena istražno-eksploatacijska bušotina na lokalitetu „Kostel". Bušotinu je izvela tvrtka Geo-drill d.o.o., kao i pokusno crpljenje u trajanju od dva mjeseca. Prema rezultatima ovih radova izdašnost je iznosila Q=10,6 l/s.[3]

Temeljem ovog projekta, 2005. tvrtka FIl.B.IS. d.o.o. izvela je istražno eksploatacijski zdenac KoZ-1. Izvedba je obuhvaćala bušenje, čišćenje i pokusno crpljenje, kao i interpretaciju rezultata. Ovim je radovima potvrđena sigurna eksploatacijska izdašnost zdenca u količini od Q=2,0 l/s. Lokacija ovog objekta prikazana je na

Slika 1.



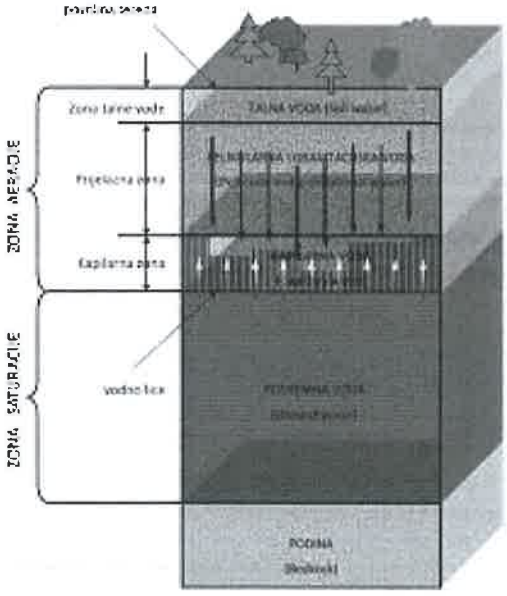

Slika 1. Lokacija vodoopskrbnog bušenog zdenca „Kostel“

## 2. VODONOSNICI

Za lakše razumijevanje tipova vodonosnika, potrebno je poznavati vertikalnu raspodjelu hidrogeoloških obilježja vodonosnika. Tu razlikujemo zonu saturacije ili hrv. zasićenu zonu i nesaturiranu ili hrv. nezasićenu zonu [
Slika 2].

Nezasićena zona nije uvijek i na svakom mjestu aerirana te se ne može nazivati zona aeracije. Koliko je nezasićena zona aerirana ovisi najviše o njenom litološkom sastavu. Ako se nezasićna zona pretežito sastoji od sitnozrnatih sedimenata, onda se u takvim sedimentima često tijekom vlažnijeg razdoblja mogu razviti reduktivne mikrozone. Reduktivne zone se često pojavljuju u vlažnim i sitnozrnatijim tlima bogatim organskom materijom. Međutim, ako se nezasićena zona sastoji od dobro propusnih sedimenata, šljunaka, pijesaka ili npr. od razvijenih šupljina i pukotinskih prostora u karbonatnim stijenama, onda je ona pretežito aerirana.

U zoni saturacije sve su šupljine ispunjene vodom i mogu biti pod utjecajem gravitacije ili pod hidrostatskim su tlakom, dok su šupljine u nezasićenoj zoni djelomično ispunjene vodom, a dijelom zrakom. Zona saturacije je određena visinom slobodnog stupca vode ili debljinom nepropusnih naslaga koje se nalaze u krovini vodonosnika, a ograničena dubinom nepropusne podine i visinom vodenog stupca u piezometrima, odnosno razinom vode temeljnice [4]. Nezasićena zona se može podijeliti na vodu u površinskom dijelu (porna voda tla), na prelaznu zonu i zonu kapilarnog izdizanja.




Slika 2. Prikaz zone saturacije i zone aeracije (hrv. nezasićena zona)

Vodonosnik je podzemna geološka formacija koja je potpuno ili djelomično zasićena vodom i kroz koju u prirodnim uvjetima mogu protjecati znatne količine vode te postoje uvjeti za akumuliranje i dreniranje podzemne vode. Takve formacije sastoje se od stijena primarne poroznosti koje su dobro propusne, najčešće nekonsolidiranog pijeska i šljunka koji se nalaze na nepropusnoj podlozi ili dobro propusnih stijena sekundarne pukotinske ili kavernozno-pukotinske poroznosti.

„Mogu se prostirati na površini veličine od nekoliko pa do stotinu kilometara kvadratnih"[5]. Dubina vodonosnika također varira od nekoliko do stotinu metara.

Vodonosnici mogu biti različitih tipova poroznosti, veličina vodopropusnosti i količina izdašnosti.

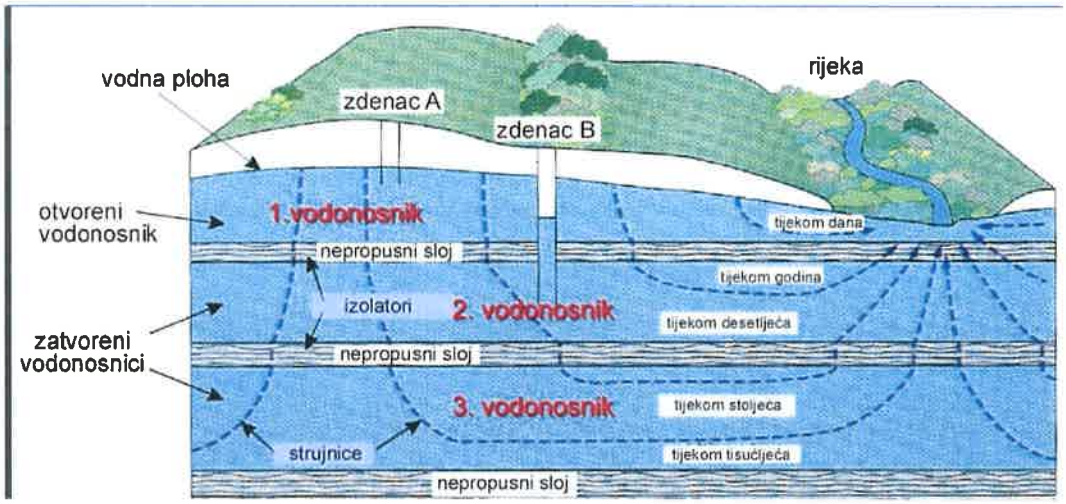
Veliki dio vodonosnika ima veliko rasprostiranje i mogu se promatrati kao podzemni rezervoari ili hrv. spremnici[6]. Voda ulazi u podzemni spremnik iz prirodnih ili umjetnih izvora, a istječe pod utjecajem gravitacije na prirodnim izvorima ili se eksploatira pomoću zdenaca. Vodonosnici se prirodno napajaju uglavnom infiltracijom oborina s površine terena, povremenim ili stalnim površinskim ili podzemnim dotocima.

Umjetni izvori napajanja mogu biti upojni zdenci i/ili površinske ili podzemne akumulacije vode.

## 2.1.Tipovi vodonosnika i njihova hidrogeološka svojstva

Razlikujemo četiri osnovna tipa modela vodonosnika ovisno o hidrogeološkim značajkama krovine i podine i odnosu krovinskih i podinskih naslaga i vodonosnog horizonta[5] [
Slika 3]:

- Otvoreni vodonosnik
- Zatvoreni vodonosnik
- Poluotvoreni vodonosnik
- Poluzatvoreni vodonosnik




Slika 3. Vodonosnici [5]

### 2.1.1. Otvoreni vodonosnik

Otvoreni vodonosnik je tip vodonosnika u kojemu je nivo podzemne vode ujedno i gornja površina zone saturacije, ispod koje su sve pore između zrna pijeska i šljunka potpuno ispunjene vodom [

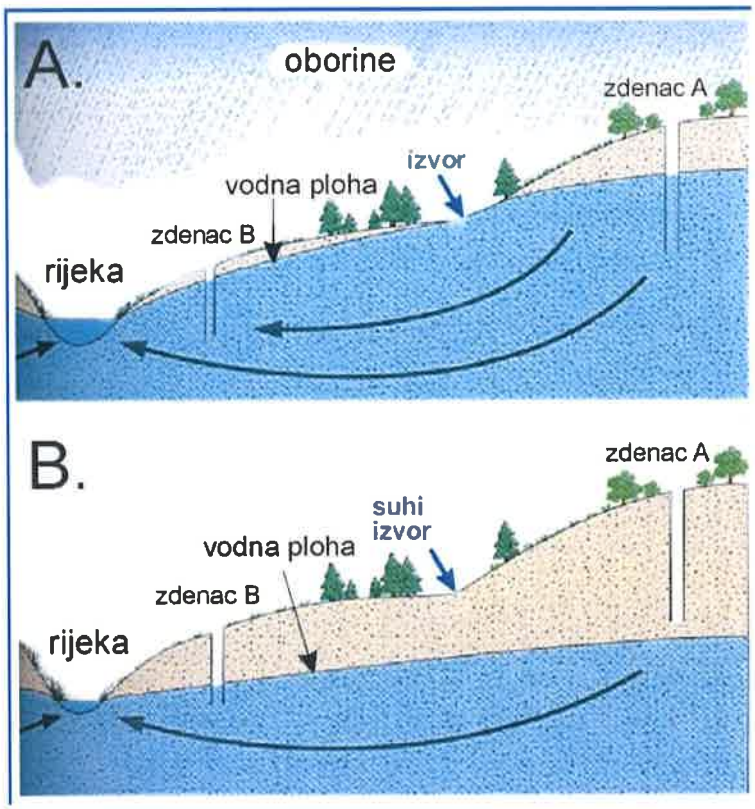
Slika 4].

Naziva se još i vodonosnikom sa slobodnom površinom ili freatskim vodonosnikom.

„Takav vodonosnik je djelomično ispunjen podzemnom vodom čija se gornja granica nalazi pod atmosferskim tlakom, a leži na nepropusnoj podlozi"[4].

Razina podzemne vode varira i nagnuta je ovisno o položaju područja prihranjivanja i istjecanja, crpljenja iz bunara i propusnosti.

Otvoreni vodonosnik je podložniji vanjskom utjecaju i izmjeni kišnih i sušnih razdoblja, a time je i osjetljiviji na utjecaj onečišćenja [1], tijekom zime i proljeća razina podzemne vode raste zbog velike količine infiltrirane vode s površine, dok će se tijekom ljeta i u jesen ta razina smanjivati zbog smanjene količine infiltrirane vode. Otvoreni vodonosnici imaju često veliki koeficijent uskladištenja.




Slika 4. Otvoreni vodonosnik [5]

### 2.1.2. Zatvoreni vodonosnik

Zatvoreni vodonosnik je tip vodonosnika koji je potpuno ispunjen vodom, koja je pod tlakom većim od atmosferskog, a u krovini i podini se nalaze relativno nepropusne naslage [

Slika 5]. Voda se u zatvorenom vodonosniku može zadržavati duži vremenski period (godinama, desetljećima).

„U uobičajenim prirodnim uvjetima, ovaj tip vodonosnika je manje podložan izravnom antropogenom utjecaju s površine terena“[1].

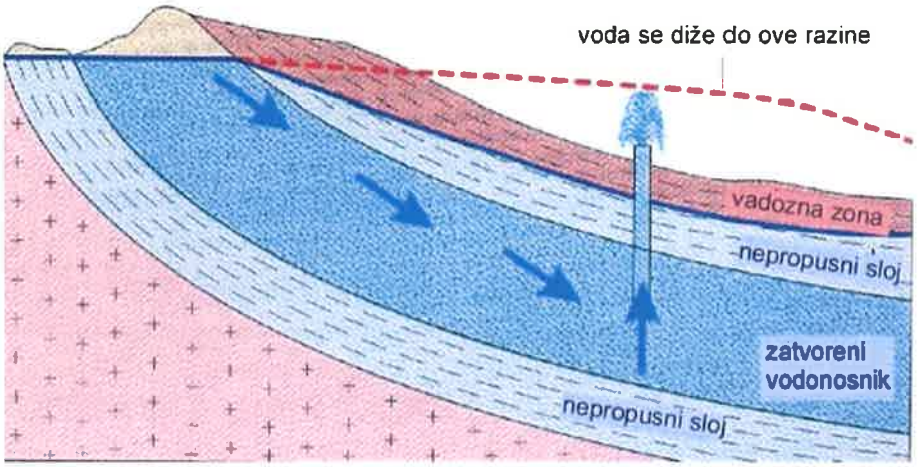
Naziva se još i arteškim vodonosnikom ili vodonosnikom pod hidrostatskim tlakom.

Voda ulazi u zatvoreni vodonosnik na mjestu gdje nepropusni sloj dolazi do površine terena, odnosno isklinjava. Kako je podzemna voda pod velikim tlakom, u slučaju bušenja bunara ta voda će se podići iznad krovine sloja.

„Ako se piezometarska razina nalazi u krovini vodonosnika, onda se radi o subarteškom vodonosniku, a ako se pijezometarski nivo nalazi iznad kote terena, onda se podzemna voda arteški može izlijevati na samu površinu terena“[5].

Arteški izvori-podzemna voda izbija iz zatvorenog vodonosnika na površinu pod utjecajem hidrostatskog i geostatskog tlaka [7].

Snižavanje piezometarske razine predstavlja smanjenje tlaka u vodonosniku. Zatvoreni vodonosnici imaju obično manji koeficijent uskladištenja. Takvi vodonosnici su u prirodi rijetki, jer potpuno nepropusnih naslaga u prirodi praktički nema [2].




Slika 5. Zatvoreni vodonosnik [5]

### 2.1.3. Poluotvoreni vodonosnik

„U slučaju da je propustan sloj pokriven sitnozrnim djelomično saturiranim slojem, a koji je relativno slabije propustan u odnosu na ispitivani vodonosnik, onda se takav vodonosnik naziva poluotvorenim vodonosnikom“[5]. Vodonosnik ovoga tipa u podini je omeđen nepropusnim naslagama, a u krovini se nalaze naslage manje propusnosti, međutim, koeficijent hidrauličke provodljivosti krovinskog sloja ipak je toliki da se horizontalna komponenta toka ne može zanemariti kao kod poluzatvorenog.

### 2.1.4. Poluzatvoreni vodonosnik

Vodonosnik ovog tipa potpuno je saturiran vodom koja je pod hidrostatskim i geostatskim tlakom. „U krovini i podini ili samo u krovini ili samo u podini nalazi djelomično saturiran polupropusni sloj. To je sloj koji ima slabu, ali ipak mjerljivu propusnost“[5].

Hidraulička vodljivost je veća od nule, ali puno manja od hidrauličke vodljivosti vodonosnog sloja.

## 3. GEOLOŠKA OBILJEŽJA

Tlo Hrvatskog zagorja izgrađuju stijene koje su prema geološkom mjerenju vremena nastajale od paleozoika do kvartara (približno tijekom 440 milijuna godina). Njihov litološki sastav ukazuje da su najvećim dijelom bile taložene u morima ili oceanima, manjim dijelom u slanim i slatkovodnim jezerima, a najmanje ih je nastalo na kopnu [8]. U morima i jezerima istaložene su velike količine klastičnog materijala, čijom su dijagenezom nastale raznovrsne sedimentne stijene.

„U pojedinim razdobljima bila je pojačana vulkanska aktivnost, te su se eruptivne stijene probijale kroz sedimentne ili su se razlijevale po morskom dnu"[8]. Najstarije stijene spuštane su na velike dubine, gdje su zbog povećanja tlaka i temperature bile zahvaćene regionalnom metamorfozom. Kasnije su uslijed tektonskih pokreta ponovno izbacivane na površinu [8].




Slika 6. Prikaz katastarske čestice (www.geoportal.dgu.hr)

Kopnene faze bile su rijetke i u geološkim mjerilima kratkotrajne, tako da najduže traje upravo današnja faza koja obuhvaća pliocen i kvartar [8]. Tijekom njezinog trajanja (približno oko 5 milijuna godina) iz Hrvatskog zagorja se je povuklo Panonsko more, a

izdignute su sve gore i stvoren čitav hidrografski sustav [8]. Zajedničkim djelovanjem denudacije i riječne erozije tijekom posljednjih 150000 godina (tijekom gornjeg pleistocena i holocena) nastao je današnji krajolik Hrvatskog zagorja.

Izvorište „Kostel" se nalazi između Pregrade i Huma na Sutli, udaljeno oko 4,5 km od Pregrade i oko 300 m sjeveroistočno od mjesta Kostel. "Voda se eksploatira iz bušenog zdenca koji se nalazi u uskoj morfološki usječenoj dolini brdovitog područja lokaliteta Straža, odnosno Kostelskih brega, koji su sjeverozapadni dio Kuna gore" [3].

Objekt se nalazi na kčbr 3119 k.o. Kostel.

Priljevno područje izvorišta „Kostel" nalazi se na sjevernim odnosno sjeverozapadnim obroncima Kuna gore. To je brdsko-planinsko područje sa visinama između 250 i 500 m n.m. Sa sjevera i istoka područje je omeđeno rijekom Kosteljinom, koja je ujedno jedini stalni površinski vodotok u razmatranom području [3]. Jedino naseljeno mjesto je Kostel.

Kao dijelovi masiva Kuna gore ističu se lokaliteti Tumplak, Straža i Bregi kostelski. Vegetacijski pokrov se sastoji od bjelogorične šume, livada i rijetkih obrađenih površina. Osim mjesta Kostel, koje se nalazi u rubnom zapadnom dijelu vodozaštitnog područja, ostatak je praktično nenaseljen.

Vodozaštitno područje izvorišta u geološkom smislu izgrađuju klastične stijene donjeg ($T_1$) i karbonatne naslage srednjeg trijasa ($T_2$), zatim pretežito klastične naslage oligomiocena (Ol,M), zatim sedimenti miocena (badena - $M_4^2$) i kvartarni ($alQ_2$) potočni sedimenti potoka Kosteljine [3].

Također na terenu nalazimo izdanke eruptiva, tipa dijabaza ($\beta\beta$) i njihovih tufova. Osim spomenutih, nalazimo lapore, glinovite lapore, pješčenjake i laporovite vapnence sarmata ($M_5$) i panona ($M_6$)[3].

„Teren je potpuno pokriven produktima površinskog trošenja, tako da se osnovna stijena može pronaći samo u usjecima i zasjecima"[3]. Produkti površinskog trošenja imaju različitu debljinu od 0,5- 2,0 m. U ovim su produktima površinskog trošenja, koji imaju pretežito klastični litološki sastav, registrirane pojave povremenih primitivno zahvaćenih fliških izvora. Ovi objekti su lokalnog značenja i u prošlosti su služili za lokalnu vodoopskrbu, napajanje stoke ili navodnjavanje malih površina U

sedamdesetim godinama prošlog stoljeća u zaleđu današnjeg izvorišta načinjena je vodna komora s pumpom u koju je dotjecala voda iz jednog od opisanih izvora. Ovo rješenje, zbog povremenog režima nije moglo zadovoljiti potrebe stanovništva u ljetnim mjesecima .

Osnovni geološki podaci su preuzeti prema Osnovnoj geološkoj karti Republike Hrvatske mjerila 1:100.000 list Rogatec, a upotpunjeni su podacima prikupljenim terenskim rekognosciranjem na topografskoj podlozi mjerila 1: 5.000 list Rogatec 46 [3].

### 3.1.1. Litološki sastav

Donji trijas – klastični razvoj ( $T_1$ )

Klastične naslage donjeg trijasa zastupljene su tanko uslojenim tinjčastim pješčenjacima te siltitima smeđe i crvene boje. Sadrže često rožnjake, tinjce i kvarc. U razmatranom području ove naslage nalazimo na sjevernim obroncima Brega kostelskih, zatim na više lokaliteta u središnjem dijelu terena uz rasjede koji ih odvajaju od karbonata [3].

Ove naslage u širem području Kuna gore čine jezgru antiklinalne strukture koja je sekundarno borana i rasjedana, pružanja od zapada prema istoku. U tjemenu antiklinale vidljiva je izmjena pločastih i tanko uslojenih dolomita sa škriljavim pješčenjacima i šejlovima. Klastični dio serije pripada donjem trijasu. Postojane ove strukture u opisanom litološkom razvitku ima značenje za tumačenje regionalnih hidrogeoloških odnosa [3].

Srednji trijas – karbonatni razvoj ( $T_2$ )

Karbonatne stijene srednjeg trijasa Kuna gore izgrađuju dolomiti i dolomitne breče. Dolomiti su sitnozrnati do srednjezrnati, pretežito gromadasti i neuslojeni, svijetle do tamno sive boje. Česta je pojava dolomitnih breča tektonskog porijekla. Intenzivna tektonika uzrokovala je kataklastičnu metamorfozu i dala dolomitima brečast habitus[3].

Karakteristična je pojava pirita (željeznog sulfida) u pukotinama jezgre bušotine KoZ-1. Dolomiti se u istraživanom području pojavljuju u istočnom i jugoistočnom dijelu terena. Uz ove stijene vezano je izvorište „Kostel"[3].

Srednji trijas – dijabazi i spilitizirani sijabazi (ββ)

Srednjetrijaski vulkanizam očitovao se pojavom eruptivnih stijena tipa dijabaza kojih izdanke nalazimo u rubnim sjevernim dijelovima terena u podnožju Brega kostelskih, kao i u dolini rijeke Kosteljine. Ove stijene su također nabušene u bušotini KoZ-1[3].

Oligomiocen ( Ol,M )

Na prijelazu gornji oligocen - donji miocen taloženi su diskordantno na stariju podlogu sitnozrnati i krupnozrnati klastični sedimenti. Protežu se južnim i zapadnim padinama Kuna gore. Zastupljeni su pretežito glinovitim i pjeskovitim laporima, šejlovima, kvarcnim i tinjčastim nevezanim pijescima s uloščima kvarcnog pješčenjaka, konglomerata, glina i pojavama ugljena [3].

Miocen - baden ($M_4^2$)

Na vodozaštitnom području također su razvijeni miocenski sedimenti badena. Zastupljeni su konglomeratima, pješčenjacima i organogenim litotamnijskim vapnencima, te laporima i laporovitim vapnencima i pjeskovitim laporima. Ove stijene i naslage su diskordantno taložene na stariju podlogu i okružuju trijaske stijene Kuna gore. Ove klastične naslage su litološki heterogene, ali kao kompleks u hidrogeološkom smislu predstavljaju cjelinu, pa nisu posebno razdvajane [3].

Kvartar – holocen ($alQ_2$)

Kvartarne naslage zastupljene su nevezanim do slabo vezanim recentnim nanosom vodotoka Kosteljine koji se sastoji od glina, praha i pijeska, te kršja, valutica i blokova ishodišnih stijena Kuna gore[3].

# 4. HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA

Prema klasifikaciji izvorišta, izvorište „Kostel" spada u kategoriju izvorišta izdašnosti do 20 l/s prema dinamici crpljenja [3]. Ovo izvorište spada u kategoriju izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti [3].

Na temelju litoloških i hidrogeoloških značajki stijena i naslaga, te njihove hidrogeološke funkcije u odnosu na podzemne vode izvorišta „Kostel", izdvojene su četiri hidrogeološke cjeline:

- **karbonatne stijene srednjeg trijasa** - dolomiti, vapnenci i breče s pukotinskom i kavernoznom poroznošću koja omogućuje infiltraciju oborina u podzemlje i formiranje **vodonosnika** podzemne vode izvorišta (ove su stijene na prilogu 1 prikazane nijansom zelene boje)

- **klastične naslage** donjeg do srednjeg trijasa, zatim oligomiocena i miocena - nepropusne stijene i naslage su **hidrogeološka barijera**; (na prilogu 1 su prikazane sivom bojom).

- **eruptivi – dijabazi,** spilitizirani dijabazi srednjeg trijasa i dijabazni tufovi srednjeg trijasa- slabo propusne do nepropusne, praktično bez hidrogeološke funkcije zbog malog površinskog rasprostranjenja; (na prilogu 1 su prikazane nijansom žute boje).

- **potočni nanos Kosteljine -** kršje, valutice i ulomci okolnih stijena, sa pijeskom, prahom i glinom. Ove su naslage heterogenog sastava, nalazimo ih u dolini rijeke Kosteljine. Vodopropusnost im je naizmjenična i ovisna o propusnosti stijena u podlozi. Ove naslage također zbog male rasprostranjenosti u rubnom dijelu vodozaštitnog područja nemaju značajnu hidrogeološku funkciju; (na prilogu 1 su prikazane nijansom svijetloplave boje).

## 5. TEHNIČKA OBILJEŽJA VODOZAHVATA

Analizom provedenih istraživanja dokazan je siguran eksploatacijski kapacitet zdenca od Q=2,0 l/s. Na osnovi ovih spoznaja načinjen je projekt izvedbe bušenog zdenca na istoj lokaciji[9][10].

Temeljem ovog projekta 2005. tvrtka FIl.B.IS. d.o.o. izvela je istražno eksploatacijski zdenac KoZ-1.

Prema prikupljenim podacima[3], vrh konstrukcije zdenca KoZ-1 se nalazi na koti + 299,36 m n.m[11]. Podzemna voda je subarteškog karaktera, a zahvaćena je u karbonatnom (dolomitnom) vodonosniku koji je sjeverni odnosno sjeveroistočni dio Kuna gore. Sam vodozahvat je smješten u ukopanoj vodonepropusnoj betonskoj komori sa dva odvojena prostora. Komora je povezana s površinskim objektom u kojem se u maloj prostoriji nalazi upravljačka ploča, dok je u drugoj smješteno malo priručno skladište.

Komora zdenca izvedena je od armiranog betona MB 30 s aditivom za postizanje vodonepropusnosti. Gornji rub nasipa nadvisuje okolni teren, a ulazni otvori izdignuti su iznad razine nasipa za oko 10 cm, čime je spriječen ulazak oborinskih voda u komoru zdenca. Pristup komori zdenca izveden je s lokalnog makadamskog puta. Plato oko zdenca izveden je u padu prema putu od uvaljanog tucanika debljine sloja 0,25 m, a ograđen je ogradom od pocinčanog žičanog pletiva visine 2,0 m s ulaznim vratima širine 2,5 m (2 x 1,25 m).

Za eksploataciju je ugrađena potopljena crpka kapaciteta Q = 17,0 l/s, snage P = 18 kW, s uređajem za usporeni zalet. Crpka je ugrađena na dubini od 127,0 m[12].

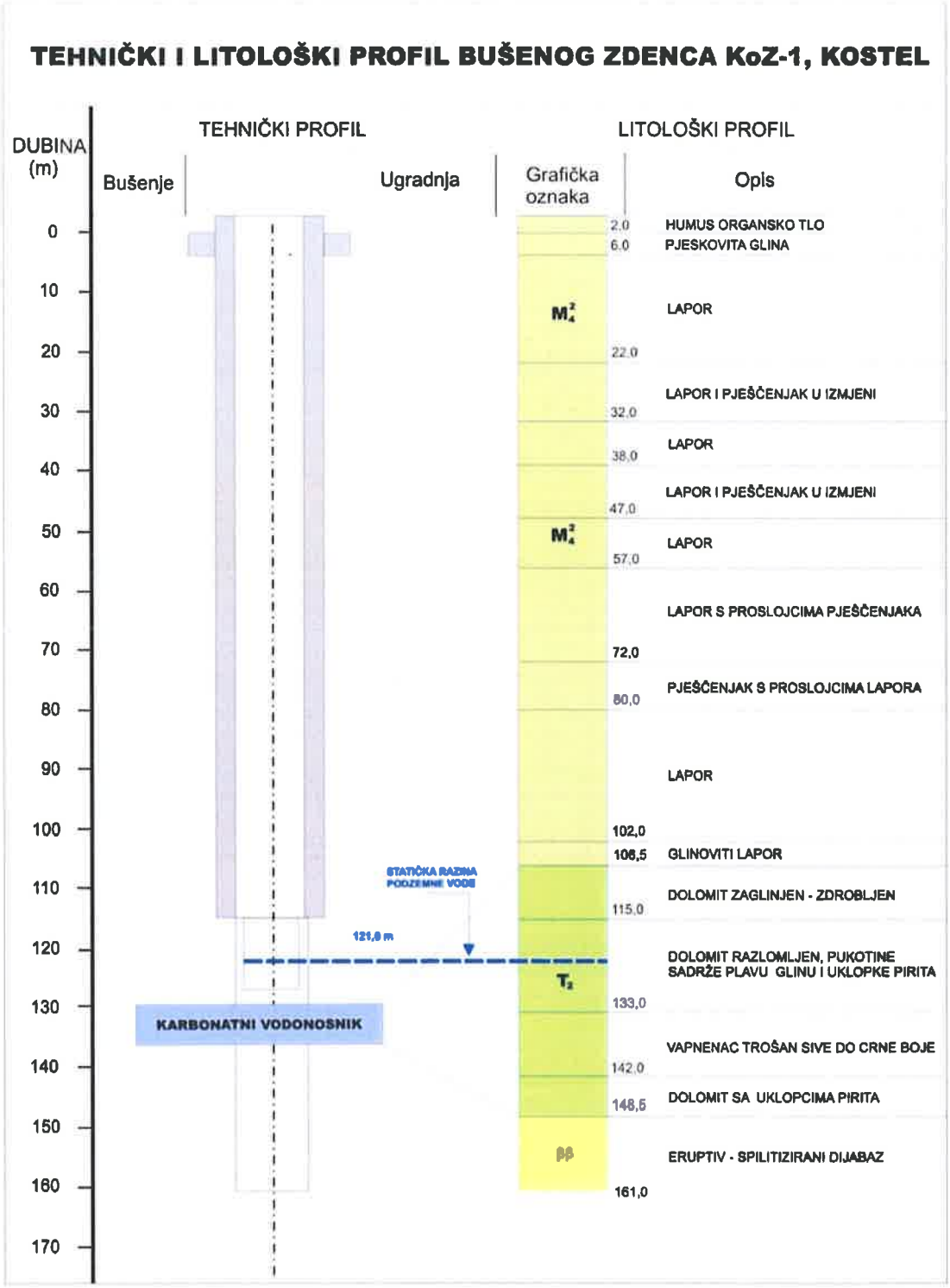
### Zdenac KoZ-1 – Bušenje i ugradnja

Bušenje zdenca započeto je 15.01.2005. godine i u cijelosti je izvedeno bušačkom garniturom Puntell PX-3/1000. Uvodni dio bušotine bušen je žrvanjskim dlijetom profila do dubine 5,0 m. U kanal je utisnuta i cementirana čelična uvodna kolona. Nastavljeno je bušenja kroz klastične miocenske naslage do dubine 106,5 m i dalje kroz

trošne dolomite do dubine od 115,0 m, uz korištenje bentonitne isplake u cilju iznošenja izbušenog materijala i održavanja stabilnosti stijenke bušotine.

Nakon dostignute dubine 115,0 m pristupilo se ugradnji konstrukcije zdenca čeličnih cijevi Ø 244,5 mm, ispiranje vodom i cementacije koja je zbog niskih temperatura morala biti ponovljena. Bušenje je nastavljeno u dolomitnim stijenama od 118,0 m (DTH) metodom upotrebom zračnog čekića s dlijetom (udarno bušenje). Kada je na 148,5 m nabušen eruptivni kompleks (dijabaz), nakon što se došlo do dubine od 161,0 m nadzor je obustavio bušenje. Po završetku bušenja izvedena su karotažna mjerenja (kaliper, gama i gama-gama karotaža do dubine od 155,0 m, gdje je registriran glinoviti talog [3][

Slika 7].




Slika 7. Tehnički i litološki profil zdenca KoZ-1 [3]

## Čišćenje i pokusno crpljenje

Nakon karotažnih mjerenja pristupilo se čišćenju i osvajanju zdenca metodom air-lifta. Ugrađen je tlačni vod Ø 168 mm do dubine 127,0 m i zračne cijevi Ø 54 mm iznad taloga. Za upumpavanje zraka korišten je kompresorski agregat ATLAS COPCO XRHS 350 radnog pritiska 21,0 bara i kapaciteta 21 $m^3$ zraka u minuti.

Tijekom čišćenja stalno je crpljena mutna voda s dosta pijeska u suspenziji. Nakon pet dana ustanovljen je interval zarušavanja, pa je ugrađena nova konstrukcija i time spriječeno novo zapunjavanje kanala bušotine.

Nakon toga je osvajanje nastavljeno i završeno dubinskom elektropumpom Caprari kapaciteta Q=11,0 l/s.

Pokusno crpljenje zdenca izvedeno je prema programu postupnim povećanjem kapaciteta (step test) s četiri različite količine u trajanju od po šest sati za svaku količinu.

Za ove pokuse korištena je ista crpka kao i za osvajanje zdenca. Crpljena voda je otjecala u kanal koji je povezan s Kosteljinom, kako bi se spriječila eventualna recirkulacija. Tijekom pokusa kontinuirano je mjerena razina podzemne vode u zdencu.

Step–test je izveden s količinama od $Q_1$ = 4,0 l/s; $Q_2$ = 6,0 l/s; $Q_3$ = 8,0 l/s i $Q_4$ = 11,0 l/s u ukupnom trajanju od 24 sata. Konstant-test izveden je s količinom od Q = 6,0 l/s u trajanju od 5940 min, uz koju količine nije uspostavljeno ustaljenje razine podzemne vode. Izračunom dozvoljeni crpni kapacitet zdenca iznosio je Q = 5 l/s.

Rezultati provedenog pokusnog crpljenja pregledno se mogu prikazati

Tablica 1.

Tablica 1. Rezultati provedenog pokusnog crpljenja[3]

| CRPNA KOLIČINA Q ( l/s) | SNIŽENJE s (m) | SPEC. IZDAŠNOST q(l/s/m) | ISCRPLJENA KOLIČINA ($m^3$) |
|---|---|---|---|
| 4,0 | 2,23 | 1,16 | 86,4 |
| 6,0 | 3,49 | 1,27 | 129,6 |
| 8,0 | 4,41 | 1,42 | 172,8 |
| 11,0 | 7,59 | 1,25 | 237,6 |
| | | | Σ 626,4 |

Statička razina podzemne vode registrirana je na dubini 121,0 m odnosno na apsolutnoj koti +178,24 m n.m. Treba istaknuti zaključak ovih pokusnih crpljenja, da je kod svih crpnih količina bio prisutan trend snižavanja razine podzemne vode, tj. nije postignuto ustaljenje dinamičke razine.

Glavnim projektom stoga je eksploatacijski kapacitet crpilišta „Kostel" određen sa Q = 2,0 l/s, kada je stabilizirana dinamička razina podzemne vode.

Prema rezultatima fizikalno-kemijske i mikrobiološke analize koje su učinjene u Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo u Zagrebu, sirova voda iz zdenca KoZ-1 nije odgovarala odredbama propisanim Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 182/04) zbog povećane koncentracije željeza (potencijalno iz pirita-željeznog sulfida), kojeg ima u pukotinskim sustavima karbonatnog vodonosnika [3]. Ostali parametri su ukazivali na vodu izuzetne kakvoće.

## 6. KAKVOĆA VODE

Ocjena i mišljenje o kakvoći vode sa izvorišta „Kostel“, bušotine i vodospreme donesena je na osnovi rezultata analitičkih ispitivanja koje je proveo Zavod za javno zdravstvo Krapinsko-zagorske županije (ZZJZKZŽ), Odjel za zdravstvenu ekologiju, Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba (ZJZGZ) i Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Laboratorij za geokemiju okoliša (GFV) [3].

Dio rezultata analiza prikazani su u tablicama 2, 3, 4 i 5.

Tablica 2. Kemijski parametri vode izvora "Kostel"

| | 24.03.2005. | 17.02.2014. | 10.02.2015. | MDK |
|---|---|---|---|---|
| | ZZJZGZ | ZZJZKZŽ | LGO_GFV | |
| Temperatura (mg/L °C) | | 10,2 | 10,4 | 25 |
| Boja | 0 | bez | bez | 20 |
| Mutnoća (NTU) | 1,7 | 2,7 | | 4 |
| Miris | bez | bez | bez | |
| Okus | | bez | bez | |
| pH pri 25°C | 7,59 | 7,3 | 7,31 | 6,5-9,5 |
| KPK (mg/L $O_2$) | | 0,77 | | 5,0 |
| Otopljeni kisik (mg/L O2) | 1,86 | | | |
| Zasićenost kisikom (% O2) | 18,7 | | | |
| Elektrovodljivost (µs/cm) | 702 | 927 | 780 | 2500 |
| $H_2S$ (mg/L) | | <0,005 | 0,1 | |
| Ukupna tvrdoća (mg/l $CaCO_3$) | 354,7 | 486 | | |
| Hidrogenkarbonati (mg/L HCO3-) | 361,1 | | 136,6 | |
| Amonij ion ($NH_4^+$ mg/L) | 0,2 | <0,1 | 0,03 | 0,5 |
| Nitriti (mg/L $NO_2^-$) | <0,02 | <0,1 | 0,003 | 0,5 |
| Nitrati (mg/L $NO_3^-$) | <1,3 | <0,1 | 0,1 | 50 |
| Fluoridi (µg/L $F^-$) | 50 | 140 | | 1500 |
| Cijanidi (µg/L $CN^-$) | <10 | <15 | | 50 |
| Kalcij ( mg/L $Ca^{2+}$) | 65,7 | 99 | 66,4 | |
| Kalij (mg/L $K^+$) | 1 | 1,5 | 1,3 | 12 |
| Natrij (mg/L $Na^+$) | 11,8 | 21 | 12,2 | |
| Magnezij (mg/L $Mg^{2+}$) | 45,7 | 58 | 33,4 | |
| Fenoli (mg/L) | <0,68 | <1 | | |
| Ukupne suspenzije (mg/L) | | 3,2 | | 10 |
| Fosfati (µg/L) | <100 | <70 | 50 | 300 |
| Anionski tenzidi (µg/L) | <1 | 44 | | 200 |
| Neionski tenzidi (µg/L) | <60 | <50 | | 200 |
| Silikati (mg/L $SiO_2$) | 6 | 7,2 | | 50 |
| Kloridi (mg/l $Cl^-$) | | 2,7 | 2,0 | 250 |
| Sulfati (mg/L $SO_4^{2-}$) | 0 | 117,1 | 128 | 250 |
| Tricij (Bq/L) | | <4 | | 6,8 |

Tablica 3. Kemijski parametri vode izvorišta "Kostel"-metali i nemetali

| | 24.03.2005. | 17.02.2014. | 10.02.2015. | MDK |
|---|---|---|---|---|
| | ZZJZGZ | ZZJZKZŽ | | |
| Cd (µg/L) | <1 | <0,25 | | 5,0 |
| Hg (µg/L) | <0,1 | <0,5 | | 1,0 |
| As (µg/L) | <0,5 | 1,54 | 3,75 | 10 |
| Zn (µg/L) | 209 | <100 | | 3000 |
| Fe (µg/L) | 396 | 365 | 72 | 200,0 |
| Ni (µg/L) | <5 | 1,73 | 0,31 | 20 |
| Cr (µg/L) | <2 | <0,5 | 1,27 | 50 |
| Mn (µg/L) | 12,6 | 29,7 | | 50 |
| Co (µg/L) | | <2 | | |
| Al (µg/L) | 7,3 | <3 | | 200 |
| Sb (µg/L) | | <5 | | 5,0 |
| Ba (µg/L) | | 34,3 | | 700 |
| Se (µg/L) | <0,1 | <0,5 | | 10 |
| Ag (µg/L) | | <4 | | |
| B (µg/L) | | 32,8 | | 1000 |
| V (µg/L) | | <2 | | |
| Be (µg/L) | | <0,1 | | |
| Cu (µg/L) | <10 | | | 2000 |
| Pb (µg/L) | <7 | | | 10 |
| Mo (µg/L) | 198 | | | |

Tablica 4. Mikrobiološki parametri vode izvora "Kostel"

| | 24.03.2005. | 17.02.2014. | MDK |
|---|---|---|---|
| | ZZJZGZ | ZZJZKZŽ | |
| Ukupno koliformi (broj/100mL) | 0 | | |
| Broj kolonija/1ml 37°C/48 h | 20 | | 100 |
| Broj kolonija/1mL 22°C/72 h | 100 | | 20 |
| Escherichia coli (broj/100 mL) | 0 | | 0 |
| Hepatitis A | neg. | neg. | neg. |
| Enterokoki (broj/100 mL) | 0 | | 0 |
| Norovirus | | neg. | neg. |
| Enterovirus | | neg. | neg. |
| Pseudomoas aeruginosa (broj/100 mL) | 0 | | |

Tablica 5. Kemijski parametri vode izvora "Kostel" -vodosprema i mreža

| | 16.07.2014. | 20.08.2014. | 17.09.2014. | 16.10.2014. | 13.11.2014. | 17.12.2014. | 21.01.2015. | MDK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ |
| Temperatura (mg/L °C) | 17,0 | 16,3 | 16,0 | 18,3 | 15,4 | 14,4 | 13,7 | 25,0 |
| Boja | bez | bez | bez | bez | bez | bez | <5 | 20 |
| Mutnoća (NTU) | 0,26 | 0,23 | 0,57 | 0,25 | 0,17 | 1,5 | 0,39 | 4 |
| Miris | bez | bez | bez | bez | bez | bez | bez | bez |
| Okus | bez | bez | bez | bez | bez | bez | bez | bez |
| pH (pri 25°C) | 7,3 | 7,4 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,4 | 7,5 | 6,5-9,5 |
| KPK (mg/L $O_2$) | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,65 | 0,51 | <0,5 | <0,5 | 5 |
| EC (µs/cm) | 1175 | 1056 | 998 | 946 | 926 | 900 | 863 | 2500 |
| Slobodni klor (mg/L Cl2) | 0,17 | 0,21 | 0,22 | 0,16 | 0,25 | 0,28 | 0,43 | 0,50 |
| Amonij ion ($NH_4^+$ mg/L) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,5 |
| Nitriti (mg/L $NO_2^-$) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,5 |
| Nitrati (mg/L $NO_3^-$) | 0,10 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,17 | 50 |
| Kloridi (mg/l $Cl^-$) | 3,3 | 3,5 | 3,4 | 3,3 | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 250 |

Tablica 6. Mikrobiološki parametri vode izvora "Kostel"-vodosprema i mreža

| | 16.07.2014. | 20.08.2014. | 17.09.2014. | 16.10.2014. | 13.11.2014. | 17.12.2014. | 21.01.2015. | MDK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ | ZZJZKZŽ |
| Ukupno koliformi (broj/100mL) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Broj kolonija/1ml 37°C/48 h | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 100 |
| Broj kolonija/1mL 22°C/72 h | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 20 |
| Escherichia coli (broj/100 mL) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Enterokoki (broj/100 mL) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Rezultati analiza koji se odnose na ispitivanje sadržaja pesticida, lakohlapljivih spojeva i ugljikovodika nisu detaljno navedeni budući da su dobivene vrijednosti iz analitičkih izvješća ispod granica detekcije.

Prema ispitnim parametrima (kemijskim, mikrobiološkim) prikazanim u Tablica 5. i Tablica 6. svi uzorci SUKLADNI su uvjetima propisanim Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analiza vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13) kao i Pravilniku o izmjenama Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 141/13), odnosno dobivene vrijednosti za većinu parametara su niže od maksimalno dopuštenim za vodu namijenjenoj ljudskoj potrošnji [3].

Jedina NESUKLADNOST odnosi se na uzorke sirove vode u kojima je dva puta ustanovljena koncentracija željeza viša od MDK vrijednosti propisanih spomenutim Pravilnikom (prikazao u Tablica 3. i naznačeno crvenom bojom).

Prema osnovnom ionskom sastavu voda sa izvorišta Kostel je CaMg-$HCO_3$ geokemijskog tipa što je odlika vodonosnika karbonatnog, pretežito dolomitnog sastava.

Postoji prirodno povišen sadržaj sumporovodika ($H_2S$) u podzemnoj vodi koji relativno brzo oksidira u sulfate u samoj bušotini tijekom crpljena. Porijeklo sumporovodika se još mora detaljno istražiti. Može biti vezano za staru vulkansku aktivnost ili nazočnost organogenih sedimenata[3].

Povremeno niska koncentracija otopljenog kisika u vodi, nazočnost amonijaka i nitrita upućuje da se vjerojatno povremeno kisik koji infiltracijom oborina dospijeva do podzemnih voda troši na oksidaciju sumporovodika. Stoga mogući reduktivni uvjeti također mogu biti posljedica povremeno povišenog sadržaja otopljenog željeza. Emanacija sumporovodika zajedno s visokim koncentracijama otopljenog željeza u reduktivnim uvjetima može uzrokovati taloženje pirita u pukotinama što je ustanovljeno tijekom bušenja zdenca. Međutim, izmjerena niska kemijska potrošnja kisika nije u skladu sa spomenutom mogućnošću te je stoga potrebno provesti detaljnije hidrokemijsko istraživanje.

Budući da u priljevnom području izvorišta „Kostel" osim nekoliko slabo naseljenih mjesta s tradicionalnom poljoprivredom, **nema ozbiljnijih izvora onečišćenja**[3] ne postoji mogućnost narušavanja kakvoće izvorišne vode. Međutim, potrebna je kontrola svih mogućih aktivnosti koje mogu narušiti postojeće povoljno stanje okoliša u slivu izvorišta.

## 7. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

„Prema klasifikaciji izvorišta, izvorište „Kostel“ spada u kategoriju izvorišta izdašnosti do 20 l/s prema dinamici crpljenja“[3]. Ovo izvorište spada u kategoriju izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika sa pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti. Dio vodozaštitnog područja izvorišta „Kostel“ prikazan je na

Slika 8.



Slika 8. Bregi kostelski - dio slivnog područja izvorišta „Kostel“ [3]

Istražni radovi te vodozahvati izvedeni su u svrhu određivanja granica zona sanitarne zaštite izvorišta „Kostel“ te određivanje kvalitete kakvoće vode na tom području.

Granica karbonatnog dolomitnog vodonosnika izvorišta „Kostel“ dosta je pouzdano definirana razvodnicom, odnosno antiklinalnom strukturom kojom je odvojen sliv izvorišta „Kostel“ od dijela sliva izvorišta „Pregrada“[3].

Pružanje dolomitnih vodonosnih stijena prema sjeveru i zapadu nije i ne može biti definirano bez dodatnih hidrogeoloških i geotehničkih (geofizika i istražno bušenje) radova. Za potrebe izrade ovog završnog rada vodonosnik je na osnovi geoloških i hidrogeoloških elemenata definiran na zadovoljavajućoj razini.

Kakvoća vode prema ispitnim kemijskim i mikrobiološkim parametrima potvrđuje da su svi uzorci SUKLADNI uvjetima propisanim Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analiza vode za ljudsku potrošnju (NN 125/17) kao i Pravilniku o izmjenama Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 141/13), odnosno dobivene vrijednosti za većinu parametara su niže od maksimalno dopuštenih za vodu namijenjenoj ljudskoj potrošnji.

Jedino odstupanje se odnosi na uzorke sirove vode u kojima je u dva navrata ustanovljen koncentracija željeza viša od MDK vrijednosti propisanih spomenutim Pravilnikom. Te postoji prirodno povećana količina $H_2S$ u podzemnoj vodi koji relativno brzo oksidira u sulfate u samoj bušotini tijekom crpljena. Porijeklo sumporovodika se još mora detaljno istražiti, ali može biti vezano za staru vulkansku aktivnost ili nazočnost organogenih sedimenata.

Treba naglasiti da se eventualno onečišćenje Kosteljine može negativno odraziti na kakvoću vode izvorišta „Pregrada" budući da vode ovog vodotoka imaju mogućnost infiltracije u podzemlje u dijelu kanjona zapadno od grebena (Pustači – Krči). U tom bi cilju trebalo rješavati kanalizacijsku mrežu svih naselja uzduž lijeve obale Kosteljine do ulaza vodotoka u Pregradu, gdje započinje debela serija nepropusnih miocenskih lapora ispod kvartarnog nanosa Kosteljine[3].

Aktivne mjere zaštite podrazumijevaju odgovarajući sustav praćenja prirodne kakvoće podzemne vode na priljevnom području izvorišta i režima rada izvorišta.

Praćenje kakvoće sirove vode na izvorištima potrebno je provoditi četiri puta godišnje putem ovlaštenog laboratorija Zavoda za javno zdravstvo u obimu C analize [3].

U okviru praćenja režima rada crpilišta potrebno je dnevno bilježiti količine vode zahvaćene na izvorištu i razinu podzemne vode u vodozahvatu – zdencu KoZ-1.

## 8. LITERATURA


[1] M. Dobranić, "ULOGA GIS-a U PRIPREMI ZAŠTITE PODZEMNIH VODA U ALUVIJALNIM VODONOSNICIMA," Sveučilište u Zagrebu,Geotehnički fakultet, 2017.

[2] M. Nejra, "Vodonosnici," Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Sarajevo, 2018.

[3] J. Kapelj, V. Mraz, S. Kapelj, and J. Loborec, "Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta 'Kostel' kod Pregrade," Sesvete, 2015.

[4] A. Bačani, *Hidrogeologija I.* Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2012.

[5] V. Štefanek, "PROBNO CRPLJENJE ZDENCA ZA POTREBE ODREĐIVANJA PARAMETRA VODONOSNIKA U MALOJ SUBOTICI," Sveučilište u Zagrebu,Geotehnički fakultet, 2011.

[6] B. Biondić, *Hidrogeologija.* Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2006.

[7] D. Aljinović and B. Tomljenović, "Podzemne i površinske vode," Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu, 2015.

[8] A. Šimunić, "Geološke osobitosti Hrvatskog zagorja," 2012.

[9] V. Mraz, T. Novosel, and M. Krsnik, "Hidrogeološki i geofizički istražni radovi na širem području Huma na Sutli. Inst. za geol. istraživanja i IGH," 1993.

[10] V. Mraz, T. Novosel, and M. Krsnik, "Hidrogeološki i geofizički istražni radovi za potrebe vodoopskrbe općine Hum na Sutli. Inst. za geol. istraživanja i IGH," 1994.

[11] FILBIS, "Izvještaj o izvedbi istražnoeksploatacijskog zdenca KoZ-1 na lokalitetu Kostel," 2005.

[12] T. Novosel, "Projekt izvedbe bušenog zdenca Kostel," 2004.

## POPIS TABLICA

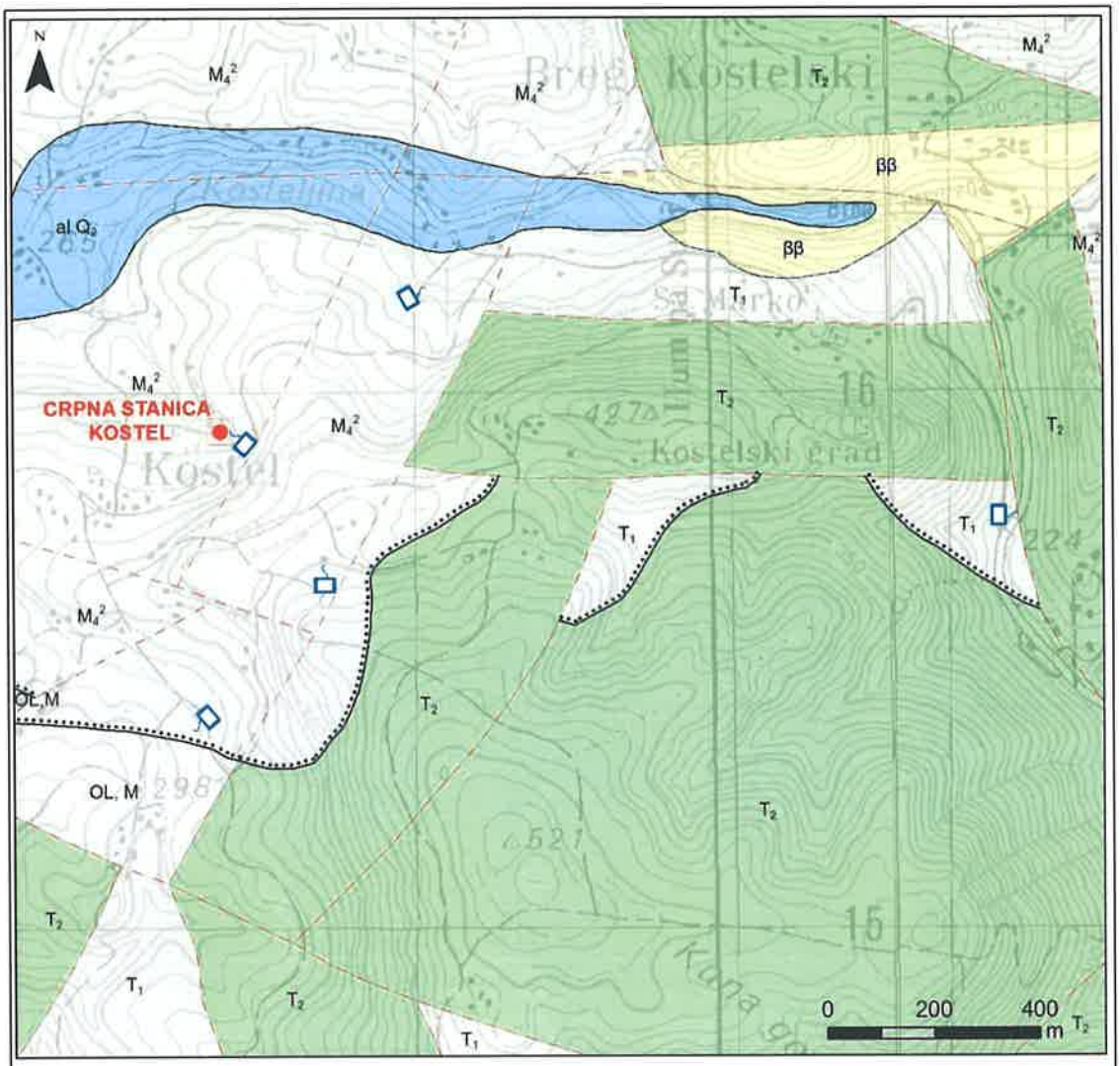
Tablica 1. Rezultati provedenog pokusnog crpljenja[3] ..... 18
Tablica 2. Kemijski parametri vode izvora "Kostel" ..... 19
Tablica 3. Kemijski parametri vode izvorišta "Kostel"-metali i nemetali ..... 20
Tablica 4. Mikrobiološki parametri vode izvora "Kostel" ..... 20
Tablica 5. Kemijski parametri vode izvora "Kostel" -vodosprema i mreža ..... 21
Tablica 6. Mikrobiološki parametri vode izvora "Kostel"-vodosprema i mreža ..... 21

## POPIS SLIKA

Slika 1. Lokacija vodoopskrbnog bušenog zdenca „Kostel" ..... 2
Slika 2. Prikaz zone saturacije i zone aeracije (hrv. nezasićena zona) ..... 3
Slika 3. Vodonosnici [5] ..... 5
Slika 4. Otvoreni vodonosnik [5] ..... 6
Slika 5. Zatvoreni vodonosnik [5] ..... 7
Slika 6. Prikaz katastarske čestice (www.geoportal.dgu.hr) ..... 9
Slika 7. Tehnički i litološki profil zdenca KoZ-1 [3] ..... 16
Slika 8. Bregi kostelski - dio slivnog područja izvorišta „Kostel" [3] ..... 23

PRILOG br.1

OSNOVNA GEOLOŠKA KARTA PODRUČJA KOSTEL




## Tumač oznaka

Crpna stanica "Kostel"

Povremeni privremeno zahvaćen fliški izvor
max. izdašnosti 0,1 l/s

**Geološke granice i tektonika**

Normalna geološka granica

Normalna geološka granica, pretpostavljena

Transgresivna geološka granica, pretpostavljena

Rasjed, pretpostavljen

**Litološke jedinice i propusnost**

krše, pijesak, prah i glina - potočni nanos - naizmjenična vodopropusnost

dolomiti i dolomitne breče,dolomitizirani vapnenci - propusno područje

splitizirani dijabazi i dijabazni tufovi - slabopropusne stijene

lapori, glinoviti lapori, pijesci, pješčenjaci, laporoviti vapnenci, škriljavci i tufovi - nepropusne stijene

**Napomena: geološki podaci preuzeti prema Osnovnoj geološkoj karti Republike Hrvatske mjerila 1.100 000, list Rogatec**