

# OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE U VODNOM GOSPODARSTVU

## 19. POGLAVLJE VODOISTRAŽNI RADOVI

NARUČITELJ: HRVATSKE VODE

IZRADILI: CENTAR GRAĐEVINSKOG FAKULTETA d.o.o.  
INSTITUT IGH d.d., Zagreb  
GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Voditelj projekta: prof. dr. sc. Anita Cerić, dipl. ing. građ.

Voditelj izrade: Damir Grgec, dipl. ing. rud.

Suradnici: Mladen Gizdavec, struč. spec. ing. aedif.  
Krešimir Pavičić, dipl. ing. geol.  
dr. sc. Marijan Babić, dipl. ing. građ.

Zagreb, lipanj 2022.



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj

**19. POGLAVLJE**  
**VODOISTRAŽNI RADOVI**

# SADRŽAJ

<b>19-00</b>	<b>OPĆE NAPOMENE.....</b>	<b>19-1</b>
19-00.1	UVOD .....	19-1
19-00.2	REGULATORNI OKVIR.....	19-1
19-00.3	OPĆI UVJETI PROVEDBE .....	19-2
19-00.4	DEFINICIJE.....	19-3
<b>19-01</b>	<b>HIDROGEOLOŠKO KARTIRANJE .....</b>	<b>19-4</b>
<b>19-02</b>	<b>GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>19-5</b>
19-02.1	SEIZMIČKE METODE ISTRAŽIVANJA.....	19-5
19-02.1.1	Plitka refrakcijska seizmika .....	19-5
19-02.1.2	Plitka refleksijska seizmika.....	19-5
19-02.2	GEOELEKTRIČNE METODE .....	19-5
19-02.2.1	Geoelektrično sondiranje i profiliranje.....	19-6
19-02.2.2	Geoelektrična tomografija .....	19-7
19-02.3	MJERENJE FIZIKALNIH OBILJEŽJA STIJENSKE MASE U BUŠOTINAMA - KAROTAŽA.....	19-7
<b>19-03</b>	<b>IZVEDBA ISTRAŽNIH BUŠOTINA MALOG PROMJERA (UOBIČAJENO RADIJUSA DO 146 mm) .....</b>	<b>19-9</b>
19-03.1	OPĆE NAPOMENE .....	19-9
19-03.2	PROGRAM ISTRAŽNIH RADOVA .....	19-9
19-03.3	METODE BUŠENJA.....	19-10
19-03.3.1	Ručno bušenje.....	19-10
19-03.3.2	Udarno bušenje .....	19-10
19-03.3.3	Rotacijsko bušenje .....	19-11
19-03.4	PIEZOMETARSKA KONSTRUKCIJA.....	19-19
19-03.5	OSVAJANJE I ČIŠĆENJE BUŠOTINA .....	19-20
19-03.6	TESTIRANJE BUŠOTINA .....	19-21
19-03.7	ZAŠTITA I OSIGURANJE BUŠOTINE.....	19-21
19-03.8	UTJECAJ NA DRUGE VODOZAHVATE.....	19-21
19-03.9	ZAVRŠNO IZVJEŠĆE O IZVEDBI BUŠOTINE.....	19-21
19-03.10	NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA .....	19-22
<b>19-04</b>	<b>IZVEDBA POKUSNO-EKSPLOATACIJSKIH BUŠOTINA-ZDENACA (UOBIČAJENO RADIJUSA VEĆEG OD 146 mm) .....</b>	<b>19-23</b>
19-04.1	OPĆE NAPOMENE .....	19-23
19-04.2	PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA.....	19-23
19-04.3	BUŠENJE.....	19-24
19-04.3.1	Direktne rotacijske metode .....	19-24
19-04.3.2	Reverzne rotacijske metode .....	19-25

19-04.3.3	Metode utiskivanja zaštitne kolone .....	19-25
19-04.3.4	Metode udarnog i udarno-rotacijskog bušenja .....	19-26
19-04.3.5	Primjenjivost metoda bušenja .....	19-27
19-04.3.6	Fluidi za ispiranje.....	19-29
19-04.4	KONSTRUKCIJA.....	19-29
19-04.5	OSVAJANJE I ČIŠĆENJE BUŠOTINA .....	19-30
19-04.6	TESTIRANJE BUŠOTINA .....	19-30
19-04.7	ZAŠTITA I OBILJEŽAVANJE BUŠOTINE .....	19-31
19-04.8	UTJECAJ NA DRUGE VODOZAHVATE.....	19-31
19-04.9	ZAVRŠNO IZVJEŠĆE O IZVEDBI BUŠOTINE.....	19-31
19-04.10	NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA .....	19-32
<b>19-05</b>	<b>ODRŽAVANJE BUŠOTINA (REVITALIZACIJA EKSPLOATACIJSKIH ZDENACA).....</b>	<b>19-33</b>
19-05.1	OPĆE NAPOMENE .....	19-33
19-05.1.1	Starenje zdenaca.....	19-33
19-05.1.2	Revitalizacija zdenaca.....	19-33
19-05.2	PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA.....	19-33
19-05.3	SNIMANJE, ČIŠĆENJE I REVITALIZACIJA ZDENCA.....	19-34
19-05.4	TESTIRANJE ZDENCA .....	19-35
19-05.5	ZAVRŠNO IZVJEŠĆE .....	19-35
19-05.6	NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA .....	19-36
<b>19-06</b>	<b>TRAJNO NAPUŠTANJE BUŠOTINA.....</b>	<b>19-37</b>
19-06.1	OPĆE NAPOMENE .....	19-37
19-06.2	PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA.....	19-37
19-06.3	IZVEDBA ZATVARANJA BUŠOTINA .....	19-37
19-06.4	ZAVRŠNO IZVJEŠĆE .....	19-39
19-06.5	NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA .....	19-40
<b>19-07</b>	<b>MIKROZONIRANJE .....</b>	<b>19-41</b>
19-07.1	OPĆE NAPOMENE .....	19-41
19-07.2	PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA.....	19-41
19-07.3	PROVEDBA MIKROZONIRANJA.....	19-42
19-07.4	ZAVRŠNO IZVJEŠĆE .....	19-42
19-07.5	NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA .....	19-43
<b>19-08</b>	<b>ZAKONI, PROPISI I NORME .....</b>	<b>19-44</b>
19-08.1	Zakoni i propisi .....	19-44
19-08.2	Norme .....	19-44

## 19. POGLAVLJE

### VODOISTRAŽNI RADOVI

#### 19-00 OPĆE NAPOMENE

##### 19-00.1 UVOD

Istraživanja podzemnih voda postala su vrlo značajna u posljednjim desetljećima zbog naglog povećanja potrošnje vode kako u industriji, poljoprivredi tako i opskrbi stanovništva vodom za piće. Od ukupnih količina vode na Zemlji najveći dio količina vode za piće osigurava se korištenjem vode iz podzemlja. Istraživanja usmjerena na otkrivanje novih izvora vode kao najvažnijeg resursa sastoje se od nekoliko faza.

Istraživanja počinju hidrogeološkim istraživanjima terena na širem području kako bi se prikupili osnovni podatci o geološkoj građi terena te o mogućnostima zahvaćanja vode iz podzemlja. Nakon hidrogeoloških istraživanja na površini terena geofizičkim istraživanjima istražuju se stijene u podzemlju opažanjem fizikalnih obilježja kako bi se otkrila geološka građa i sastav terena. Kao rezultat hidrogeoloških i geofizičkih istraživanja daje se lokacija na površini terena gdje se istraživanja nastavljaju istražnim bušenjem s ciljem utvrđivanja vode u podzemlju.

Istražnim bušenjem prikupljaju se detaljni podatci o geološkoj građi i fizikalnim obilježjima stijena u podzemlju te prisustvu podzemne vode. Osim ovih podataka raznim pokusima i postupcima utvrđuju se i hidrogeološka obilježja stijena koje u svojim porama i pukotinama sadrže vodu. Kao rezultat svih istraživanja bušenjem se izvodi zdenac kao objekt kojim se osiguravaju značajnije količine pitke vode namijenjene opskrbi stanovništva.

##### 19-00.2 REGULATORNI OKVIR

Prema Članku 95. Zakona o vodama (NN 66/19, 84/21) vodoistražni radovi su regulirani kako slijedi:

*Korištenje voda iz tijela podzemnih voda, osim za opće korištenje voda i slobodno korištenje voda, može se odobriti samo ako su prethodno obavljani vodoistražni radovi.*

*Vodoistražnim radovima smatraju se radovi i ispitivanja radi utvrđivanja postojanja, rasprostranjenosti, količine, kakvoće i pokretljivosti podzemnih voda na određenom području.*

*Svaka bušotina koja se izvodi bilo za potrebe korištenja voda ili za vodoistražne radove mora se izvesti na način da se ne promijeni postojeća kakvoća voda u pojedinim, međusobno nepropusnim slojem tla odvojenim vodonosnim slojevima, njihovim miješanjem ili ispuštanjem u njih voda s površine ili površinskog propusnog tla. Nakon napuštanja bušotine korisnik je dužan zapuniti bušotinu na način da se uspostavi prvobitno stanje (obnovi nepropusnost u punoj visini nepropusnih slojeva).*

*Osoba koja provodi vodoistražne radove dužna je, prije ishoda vodopravnih uvjeta, izraditi elaborat koji sadržava snimak prvobitnoga stanja te način uspostave prvobitnoga stanja nakon napuštanja bušotine.*

Prema Članku 209. Zakona o vodama (NN 66/19, 84/21) posebne djelatnosti za potrebe upravljanja vodama obuhvaćaju vodoistražne radove druge hidrogeološke usluge. Prema Članku 210. Zakona o vodama (NN 66/19, 84/21) za obavljanje posebnih djelatnosti za potrebe upravljanja vodama moraju biti ispunjeni i posebni uvjeti, a osobito tehnička opremljenost, brojnost i stručnost zaposlenika. Posebni uvjeti su definirani Pravilnikom o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodoistražnih radova i drugih hidrogeoloških usluga, poslova preventivne obrane od poplava te poslova i mjera redovite i izvanredne obrane od poplava te održavanja građevina za melioracijsku odvodnju i građevina za navodnjavanje (NN 26/20).

Sukladno Pravilniku o izdavanju vodopravnih akata (NN 9/20), za vodoistražne radove za korištenje voda iz tijela podzemnih voda potrebno je ishoditi vodopravne uvjete.

Uz zahtjev za izdavanje vodopravnih uvjeta za vodoistražne radove za korištenje voda iz tijela podzemnih voda, između ostalog, potrebno je dostaviti:

- iskaz svrhe predmetnih radova te planirani opseg korištenja
- podatke o lokaciji vodoistražnih radova (opis lokacije, pregledna situacija s ucrtanom postojećim vodnim građevinama, HTRS96/TM koordinate ili označeno na katastarskoj podlozi)
- iskaz podataka o prethodnim istražnim radovima ako su provedeni i lokacijom provedenih istraživanja ucrtanom na geodetskoj ili drugoj odgovarajućoj podlozi
- program vodoistražnih radova izrađen od pravne ili fizičke osobe-obrtnika ovlaštene za obavljanje hidrogeoloških istražnih radova
- dokaz o riješenim imovinsko-pravnim odnosima za zemljišne čestice na kojima se planiraju izvesti vodoistražni radovi, gdje je primjenjivo
- dokaz o suglasnosti upravitelja zaštićenim područjem za izvođenje vodoistražnih radova, gdje je primjenjivo.

Sadržaj i oblik programa vodoistražnih radova određuju Hrvatske vode smjericama iz ovog Pravilnika. Smjernice se objavljuju na mrežnim stranicama Hrvatskih voda (<https://www.voda.hr/hr/forms%20>). Smjernice se sastoje od sadržaja i oblika programa vodoistražnih radova o provedenim vodoistražnim radovima za sljedeće vrste vodoistražnih radova:

- ispitivanje postojećeg zdenca
- izvedba istražno-piezometarskih bušotina (uobičajeno radijusa do 146 mm)
- izvedba istražno-eksploatacijskih (upojnih) zdenaca (uobičajeno radijusa većeg od 146 mm)
- revitalizacija eksploatacijskih zdenaca
- trajno napuštanje bušotine
- mikrozoniranje.

### 19-00.3 OPĆI UVJETI PROVEDBE

Investitor/izvođač je obavezan prije početka vodoistražnih radova najaviti njihov početak i zatražiti imenovanje osobe za vodni nadzor.

Generalno, s vodoistražnim radovima može se početi tek nakon što na radilište budu dopremljeni svi radni strojevi, kompletan pribor i oprema predviđena svakom fazom radova u Programu vodoistražnih radova te se u dnevnik bušenja upiše dozvola za početak radova od strane nadzornog inženjera.

Sve faze radova (bušenje, osvajanje, crpljenje) moraju biti unaprijed najavljene ovlaštenoj osobi za stručni nadzor naručitelja (nadzornom inženjeru) i ne smiju početi prije upisanog odobrenja istog u dnevnik bušenja koji se mora ažurno voditi.

Izvođač vodoistražnih radova treba izvesti strukturno-piezometarske bušotine i zdence u skladu s pozitivnim propisima i pravilima struke, sa Zakonom o vodama (NN 66/19, 84/21) i u potpunosti u skladu s izdanim vodopravnim uvjetima. Radni stroj (motorna bušača garnitura), radni alat, pribor, kompresor, pomoćni strojevi, crpke, agregati i vozila te ostala radna i pomoćna oprema mora biti ispravna. Iz radnih strojeva ne smiju curiti ugljikovodici, gorivo, mazivo, pogonska hidraulična ulja, opasne i agresivne tekućine kojima bi se moglo zagaditi zemljište, prostor i podzemne vode. Radni i pogonski strojevi i agregati, kojima će se izvoditi vodoistražni radovi, moraju biti smješteni na vodonepropusnoj foliji i to na način da se onemogući miješanje tekućine za ispiranje s opasnim i agresivnim tekućinama strojeva, a istovremeno omogućiti prikupljanje i odstranjivanje istih.

Za vrijeme izvedbe osvajanja i testiranja zdenca, nužno je isti zaštititi od površinskih voda. Također treba onemogućiti miješanje površinske vode s tekućinom za ispiranje kod bušenja kao i onečišćenim vodama kod ispiranja, osvajanja i testiranja bušotine.

Sva ostala pitanja i nejasnoće u vezi izvedbe, izvođač radova treba uskladiti s imenovanim nadzornim inženjerom.

#### 19-00.4 DEFINICIJE

**Bušača kruna** – alat namijenjen dobivanju jezgre iz bušotine na površinu jednom od metoda bušenja.

**Bušaće šipke** – alati namijenjeni prenosu rotacije na dlijeto, prenosu opterećenja na bušaće dlijeto, cirkulaciji isplačne tekućine prilikom bušenja te vađenju nabušenog uzorka iz bušotine.

**Bušenje** – postupak izrade bušotine u bilo kojoj geološkoj formaciji odabranom metodom bušenja i u bilo kojem smjeru u odnosu na toranj.

**Bušotina** – objekt u tlu određene dubine i promjera u podzemlju namijenjen dobivanju i identifikaciji uzorka tla i stijena, utvrđivanju njihove debljine i nagiba, utvrđivanje nivoa podzemne vode te određivanju ostalih fizičko-mehaničkih obilježja.

**Filter** - dio konstrukcije piezometra ili zdenca koji omogućuje ulazak vode u konstrukciju a zadržava krute čestice.

**Filterski zasip** – ispuna prstenastog prostora između filtera i stjenke kanala bušotine.

**Isplačni sustav** – sustav namijenjen cirkulaciji isplačne tekućine prilikom bušenja.

**Jezgrene cijevi** - alati od čelika namijenjeni prikupljanju uzorka bušene stijene.

**Nepropusnik ili nepropusni sloj** – svi slojevi ili općenito stijene kroz koje ili iz kojih voda ne može u zamjetnoj količini dotjecati u vodonosnik ili iz njega istjecati.

**Otvoreni vodonosnik** – vodonosnik u krovini omeđen vodnom plohom koja u većim šupljinama predstavlja slobodnu plohu vode u porama. Naziva se još i slobodnim vodonosnikom jer je tlak vode na slobodnoj plohi jednak atmosferskom tlaku.

**Piezometar** - opažačka bušotina u koju je ugrađena cijev sa sitom u relativno kratkom intervalu debljine vodonosnika.

**Piezometarska razina ili piezometarski potencijal** – ukupna visina potencijalne energije u vodonosniku, zbroj tlačne i i geometrijske visine.

**Svijetli otvor filtera** - postotak otvora filtera u odnosu na ukupnu površinu filtera.

**Vodonosnik ili vodonosni sloj** – općenito je stijena, odnosno propusni sloj ili skupina slojeva koja sadrži vodu i kroz koju u prirodnim uvjetima mogu protjecati znatne količine vode.

**Zaštitne kolone** – alati namijenjeni zaštititi istražne bušotine od zarušavanja te gubitka isplačne tekućine prilikom bušenja.

**Zatvoreni vodonosnik** – potpuno zasićeni propusni sloj koji se nalazi između relativno nepropusnih slojeva. Voda je u zatvorenom vodonosniku pod tlakom koji je i na krovini vodonosnika veći od atmosferskog.

## 19-01 HIDROGEOLOŠKO KARTIRANJE

Hidrogeološko kartiranje spada u površinska hidrogeološka istraživanja i generalno predstavlja prvi korak u planiranju i provedbi vodoistražnih radova. Hidrogeološko kartiranje se, između ostalog, koristi za određivanje lokacija za detaljne podzemne vodoistražne radove, odnosno istražna bušenja, kao i za planiranje i projektiranje istražnih bušotina.

Za hidrogeološko kartiranje nije potrebno ishoditi vodopravne uvjete.

Hidrogeološke karte izrađuju se temeljem podataka iz topografskih karata, geoloških karata, drugih relevantnih karata i podataka, prethodnih hidrogeoloških istraživanja i po potrebi dodatnih terenskih istraživanja područja.

Hidrogeološke karte se izrađuju se na topografskim podlogama različitih mjerila. Postoje pregledne hidrogeološke karte krupnog mjerila (M 1 : 100.000 ili krupnijeg), hidrogeološke karte srednjeg mjerila (M 1 : 25.000 do 1 : 100.000) i detaljne hidrogeološke karte sitnog mjerila (M 1 : 10.000 ili sitnijeg).

Međunarodno udruženje hidrogeologa (International Association of Hydrogeologists, IAH) objavilo je smjernice i standardnu legendu za hidrogeološko kartiranje (Struckmeier, W. F. i Margat, J., Hydrogeological Maps: A Guide and a Standard Legend, IAH, 1995), koje se sastoje od sljedećeg:

### Dio I.

1. Uvod
2. Osnovne informacije za hidrogeološke karte
3. Kartografski prikaz i mjerilo
4. Komponente i karakteristike hidrogeoloških karata
5. Tipovi i klasifikacije hidrogeoloških karata
6. Metode za izradu i objavljivanje hidrogeoloških karata
7. Razvoj hidrogeoloških prikaza
8. Bibliografija
9. Prilozi

### Dio II.

1. Standardna legenda za hidrogeološke karte
2. Međunarodna standardna legenda (engleski)
3. Međunarodna standardna legenda (francuski)
4. Međunarodna standardna legenda (njemački)

Hidrogeološke karte za potrebe vodoistražnih radova treba izrađivati u skladu s navedenim smjericama i standardnom legendom te drugim pravilima struke.



## 19-02 GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

Geofizička istraživanja koriste se za određivanje geološke strukture, litološkog sastava i kvalitete stijena mjerenjem njihovih pojedinih fizičkih značajki.

Korelaciju i interpretaciju geofizičkih mjerenja olakšavaju rezultati dobiveni bušenjem i interpretacijom rezultata strukturnih bušenja.

Osnovne geofizičke metode čine seizmička, geoelektrična, gravimetrijska i magnetska ispitivanja stijena.

Za geofizička istraživanja nije potrebno ishoditi vodopravne uvjete.

### 19-02.1 SEIZMIČKE METODE ISTRAŽIVANJA

#### 19-02.1.1 Plitka refrakcijska seizmika

Plitka refrakcijska seizmika spada u skup seizmičkih geofizičkih metoda koje se primjenjuju pri geomehaničkim, inženjerskogeološkim i hidrogeološkim istraživanjima. Refrakcijska metoda temelji se na refrakciji longitudinalnih elastičnih valova na granici dviju sredina čije brzine zadovoljavaju uvjet  $V_2 > V_1$  ( $V_1$ -brzina u gornjoj sredini,  $V_2$ -brzina u donjoj sredini). Osnovni princip metode polazi od toga da se elastični valovi pobuđeni na površini počinju širiti brzinom prve sredine. Za ovu metodu najvažniji je val koji na granicu sredina dolazi pod kritičnim kutom ili kutom totalne refrakcije. On se dalje širi duž granice brzinom donjeg medija  $V_2$  i vraća na površinu (prema Hygensovom načelu), gdje pobuđuje postavljene geofone. Iz geometrije rasporeda geofona i točaka paljenja na površini terena te registriranih vremena prvih nailazaka elastičnog vala formiraju se s-t dijagrami (s-udaljenost, t-vrijeme), tzv. dromokrone. Primjenom direktnih metoda i metoda inverznog modeliranja iz dromokrona određuju se dubine i prostorni rasporedi elastičnih diskontinuiteta te brzine seizmičkih valova u podzemlju.

Seizmička refrakcijska istraživanja provode se duž seizmičkih profila. Refrakcijsko ispitivanje obično se izvodi u kombinaciji 12 i 24 kanalnih dispozitiva, s prekrivanjima jednog ili više geofonskih mjesta, s konstantnim razmakom između geofona. Snimanje se obavlja digitalnim 12- ili 24-kanalnim seizmografima. Kao izvor vala na točkama obično se koriste udarci čekićem po metalnoj ploči. Za prijem signala koriste se vertikalni geofoni rezonantnih frekvencija, 4,5 Hz i 10 Hz.

Najčešća primjena refrakcijske seizmike u okviru hidrogeoloških istraživanja je za kartiranje pukotinskih i rasjednih zona, trošnih zona te površinskog okršavanja u karbonatnim terenima te ostalim kompaktnim i čvrstim stijenama.

#### 19-02.1.2 Plitka refleksijska seizmika

Metoda se temelji na zakonu refleksije elastičnog vala na granici sredina koje imaju različite seizmičke impedancije. Seizmička impedancija je produkt gustoće i brzine elastičnog vala. Svoju primjenu u inženjersko geološkim i hidrogeološkim istraživanjima našla je pod nazivom HRS (eng. *High Resolution Seismic Method* – seizmička metoda visoke rezolucije). Danas se mjerenja izvode metodom višestrukog prekrivanja CDP metodom (eng. *Common Depth Point*-zajednička dubinska točka)

U hidrogeološkim istraživanjima daje dobre rezultate u modelu uslojenog podzemlja jer daje razmjerno veliku rezoluciju i velike dubinske zahvate u bazenskim uvjetima.

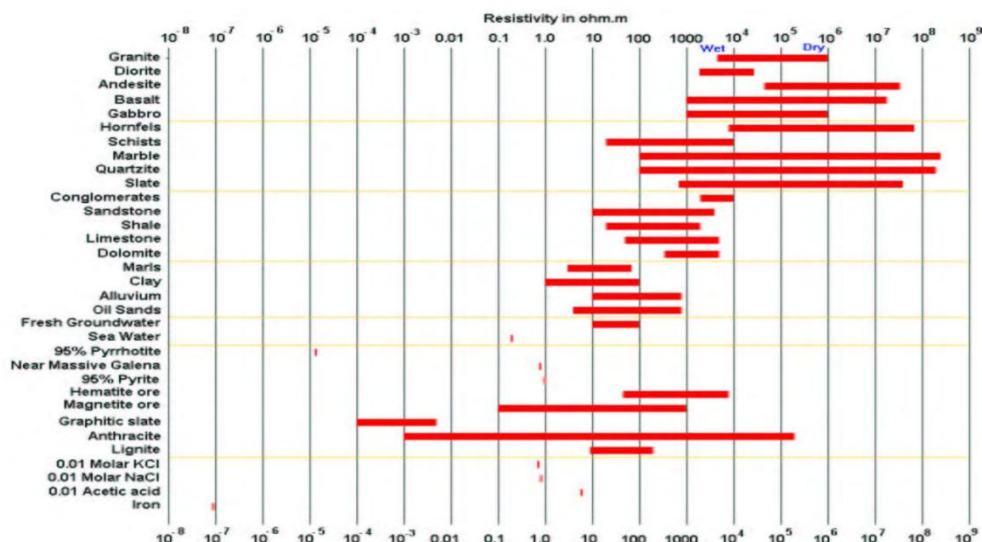
Terenska mjerenja izvode se duž profila na kojima su postavljeni izvori valova i geofoni. Snimanje se obavlja digitalnim 24 kanalnim seizmografima.

### 19-02.2 GEOELEKTRIČNE METODE

Geoelektrične metode zasnivaju se na mjerenju površinskih efekata i anomalija dobivenih tokom struje u podzemlju. Metoda mjerenja otpornosti najčešće je korištena geoelektrična metoda. Metoda mjerenja otpornosti mjerenjem na površini terena nastoji odrediti raspodjelu otpornosti u

podzemlju. Otpornost potpovršinskih formacija ovisi o različitim geološkim parametrima kao što su mineralni sastav, razlomljenost, porozitet, ispunjena pukotina, sadržaj fluida, stupanj saturacije vodom, koncentracija otopljenih soli i temperatura. U tabeli je dan prikaz otpornosti za različite vrste stijena i materijala.

Tablica 19-02.2-1: Prikaz otpornosti za različite vrste stijena i materijala



Metoda se zasniva na uvođenju struje u podzemlje pomoću dvije elektrode koje se nazivaju strujne te mjerenju električnog potencijala pomoću druge dvije elektrode koje se zovu potencijalne.

Oprema za mjerenja metodom otpornosti sastoji se od uređaja za mjerenje otpora u tlu, kablova s konstantnim razmakom između izlaza za elektrode, elektroda od nehrđajućeg čelika s vezicama.

Rezultati dobiveni mjerenjem na terenu obrađuju se programom za inverzno modeliranje. Rezultat obrade je presjek raspodjela otpornosti u podzemlju.

Metode otpornosti našle su veliku primjenu u hidrogeološkim istraživanjima i u modelu uslojenog podzemlja te u krškim terenima.

### 19-02.2.1 Geoelektrično sondiranje i profiliranje

Geoelektrična sonda predstavlja svojevrsnu geoelektričnu strukturnu bušotinu pa su rezultati sondiranja relevantni za promjene specifičnog električnog otpora ispod određene točke na površini terena. Kod ovih mjerenja razmak elektroda različit je za svako mjerenje, dok centar elektrodnog polja, u kojem se mjere razlike potencijala, ostaje fiksna te se prikazuju razlike potencijala u odnosu prema onom izmjenenom u centru elektrodnog polja.

Dubina sondiranja ovisi o međusobnoj udaljenosti strujnih i naponskih elektroda pa što je veći međusobni razmak elektroda, veća je dubina ispitivanja. Elektrode se obično postavljaju u ravnoj liniji s time da se strujne elektrode nalaze izvan naponskih elektroda. Mjeri se jakost struje između strujnih elektroda pa se iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda, pomoću konstante geometrijskih odnosa svih elektroda, određuje prividna otpornost. Interpretacijom se određuju debljine i specifični električni otpor pojedinih geoelektričnih sredina.

Za geoelektrično sondiranje najčešće se koriste dva načina rasporeda elektroda. Najjednostavniji je način, u smislu geometrijskog rasporeda elektroda, Wennerov raspored, dok je najbrži raspored, u smislu terenskog rada, Schlumbergerov način geoelektričnog sondiranja.

Geoelektrično profiliranje podrazumijeva niz mjerenja prividnih otpornosti tla uz uzastopno pomicanje cijelog elektrodnog rasporeda duž nekog pravca, tj. profila uvijek s istim dubinskim zahvatom. Primjena određenog rasporeda sondiranja ovisi o konkretnom zadatku i zahtjevu istraživanja.

Postoje dvije grupe rasporeda elektroda. U prvu grupu spadaju Schlumbergerov, Wennerov i dipolni (simetrični) raspored dok u drugu grupu spadaju dvoelektrodni i troelektrodni (asimetrični) rasporedi.

Kod mjerenja simetričnim rasporedom elektroda potrebno je pomicati sve elektrode duž nekog profila, što uz veći broj radnika ima i uzrok u lomovima krivulja koje treba interpretirati kod prelaska preko nekih nehomogenosti. Kod mjerenja asimetričnim rasporedom elektroda pojedine su elektrode uzemljene, dok se pojedine razmiču.

Geoelektrično profiliranje se u najviše slučajeva koristi za istraživanje kontakata, strmih slojeva, rudnih tijela, rasjeda i sl.

Primjena geoelektričnog sondiranja i profiliranja daje dobre rezultate u istraživanjima vertikalnih promjena otpornosti kakve se nalaze u sredinama s horizontalnim ili vrlo blago nagnutim slojevima. Geoelektrično profiliranje koristi se i u istraživanju uzdužnih promjena otpornosti, kao što su vertikalni rasjedi, strmi slojevi i sl. Dakle, geoelektrično sondiranje i profiliranje su metode koje se mogu primijeniti gdje su potrebni jednodimenzionalni geološki modeli. Kako se u takvim 1D istraživanjima pretpostavlja da nema promjena u ostale dvije dimenzije geomedija, u složenim geološkim modelima njihova primjena nije odgovarajuća.

### 19-02.2.2 Geoelektrična tomografija

2D-električna tomografija je površinska geoelektrična metoda kojom se istražuju električne otpornosti stijena te se najčešće ubraja u metode prividne otpornosti.

Mjerenja električnih otpornosti 2D-električnom tomografijom izvode se s više dubinskih zahvata, ali se pri tome mijenjaju i središta mjerenja, odnosno 2D-tomografija na neki način kombinira metode sondiranja i profiliranja. Mjerenja se uglavnom izvode sofisticiranim višeelektrodnim sustavima koji su razvijani usporedno s teorijskim razvojem električne tomografije. Wennerov raspored daje najmanji broj mogućih mjerenja u odnosu na ostale rasporede elektroda korištene u 2D-tomografiji.

2D istraživanja daju bolji i precizniji model podzemlja nego 1D istraživanja jer uzimaju u obzir i vertikalne i horizontalne promjene otpornosti. 2D-električnom tomografijom mogu se vrlo uspješno istraživati izdužene geološke strukture, ali pri tome treba profil postaviti što više okomito na pružanje struktura.

U izrazito kompleksnim i kompliciranim geološkim modelima najbolje bi bilo primijeniti 3D istraživanja jer ona uzimaju u obzir promjene otpornosti u sve tri dimenzije geomedija. 3D istraživanja su vrlo skupa i iziskuju više vremena, posebnu opremu i velik broj mjerenja, pa zasad nemaju toliko čestu primjenu u geoelektričnim istraživanjima.

### 19-02.3 MJERENJE FIZIKALNIH OBILJEŽJA STIJENSKE MASE U BUŠOTINAMA - KAROTAŽA

Da bi se dobile detaljnije spoznaje o geološkoj građi, u istražnim bušotinama rade se snimanja različitim sondama – karotaža. Dijagrami dobiveni mjerenjem u bušotini koriste se za utvrđivanje ili procjenu fizikalnih obilježja medija u kojem je izvedena bušotina. Koristi se u okviru geomehaničkih, inženjersko geoloških i hidrogeoloških istraživanja. Podatci dobiveni snimanjem koriste se za detaljno in-situ upoznavanje geološkog presjeka bušotine i to:

- karakteristike formacija – litološka obilježja, fizikalna obilježja – porozitet i gustoću, ocjenu učestalosti i ispune pukotina
- granice pojedinih formacija ili slojeva
- fizikalna obilježja formacije – temperaturu, pritisak, PH, redoks potencijal, saturiranost kisikom, vodljivost
- odrediti kvalitetu cementacije
- odrediti otklon bušotine i nagib
- snimiti bušotinu i odrediti nagib i smjer pukotinskih sistema i slojeva

Karotažna mjerenja možemo podijeliti u nekoliko podgrupa ovisno fizikalnoj veličini koja se mjeri:

- Elektrokarotaža – mjerenje otpornosti
  - mala normala 16“
  - velika normala 64“
  - elektro fokusirajuća
  - spontani potencijal (mjerenje spontanog potencijala).

Metoda se primjenjuje u bušotinama koje su nezacjevljena i ispunjena fluidom, minimalnog promjera 60 milimetara.

- Radioaktivne karotaže
  - gama (mjerenje prirodna radioaktivnost-zaglinjenja)
  - gama – gama (mjerenje gustoće)
  - neutron – neutron (mjerenje poroziteta, kvalitativnog odnosa poroziteta).

Metoda se primjenjuje u bušotinama koje su zacijevljene ili nezacjevljene, ispunjena fluidom ili bez ispune, minimalnog promjera 70 milimetara.

- Specijalističke karotaže
  - induktivna (elektromagnetska – mjerenje vodljivosti)
  - kaliper (mjerenje promjera bušotine)
  - inklinacija (mjerenje otklona i smjera otklona bušotine)
  - mjerenje kvalitete fluida u bušotini (temperatura, pritisak, količina kisika, PH i redoks potencijal), minimalni promjer bušotine 50 milimetara.
  - akustična (detekcija i odrediti nagib i smjer pukotinskih sistema i slojeva)
  - kamera (snima bušotinu s dvije kamere – jedna u smjeru bušotine, a druga bočno).

U hidrogeološkim istraživanja najčešće se koriste radioaktivna mjerenja u bušotinama te elektrokarotaže i mjerenje promjera te temperature.

## **19-03 IZVEDBA ISTRAŽNIH BUŠOTINA MALOG PROMJERA (UOBIČAJENO RADIJUSA DO 146 mm)**

### **19-03.1 OPĆE NAPOMENE**

Ovisno o geološkim uvjetima i vrsti stijene koja je na pojedinom području vodonosnik razvijene su različite metode istražnog bušenja. Odabrana metoda bušenja na pojedinoj lokaciji istraživanja ovisi o geološkim formacijama koje će se istraživati, dubini i promjeru istraživane bušotine, konstrukciji bušotine te konačnoj namjeni bušotine.

Izvedba vodoistražne bušotine sastoji se od nekoliko postupaka tijekom izvođenja a to su: istražno bušenje, zacijevljenje bušotine ukoliko je bušenje u nevezanim sedimentnim stijenama, ugradnje piezometarske konstrukcije, osvajanja bušotine, cementacije prstenastog prostora ukoliko je potrebno te pokusnog crpljenja. Kao najčešća metoda istražnog bušenja za izvedbu vodoistražne bušotine malog promjera primjenjuje se metoda rotacijskog bušenja s kontinuiranim jezgrovanjem.

Za provođenje istražnog bušenja potrebno je ishoditi vodopravne uvjete.

### **19-03.2 PROGRAM ISTRAŽNIH RADOVA**

Hidrogeološka istraživanja kao i geofizička istraživanja provedena prije izvođenja istražne bušotine kao rezultat istraživanja daju podatke o geološkoj građi terena. Na temelju izrađene geološke karte, rezultata geofizičkih istraživanja (ukoliko su provedena) i prognoznog geološkog presjeka određuje se lokacija istražne bušotine kao nastavak hidrogeoloških istraživanja. Svi potrebni parametri za izvođenje bušotine dani su u programu istražnih radova, koji generalno mora sadržavati sve relevantne podatke za provedbu istraživanja kako slijedi:

- poziciju istražne bušotine zadanu u HTRS96/TM koordinatnom sustavu
- podatke o geološkoj građi terena dobivene prethodnim geološkim i geofizičkim istraživanjima
- podatke o geološkoj građi terena dobivene iz najbližih izvedenih bušotina i prethodnih istraživanja ako postoje na istraživanom području
- odabranu metodu istražnog bušenja te načinu uzorkovanja stijena u podzemlju
- dubinu bušotine
- najmanji završni promjer bušotine
- način zacijevljenja nestabilnih dijelova stijenske kanala bušotine
- predviđenu ugradnju konstrukcije piezometra u izvedenu istražnu bušotinu
- podatke o ispuni prstenastog prostora između konstrukcije piezometra i stijenske kanala bušotinic
- način osvajanja i čišćenja bušotine
- podatke potrebne za pokusno crpljenje
- način uzorkovanja vode za kemijske i mikrobiološke analize
- način odvođenja crpljene količine vode prilikom testiranja bušotine
- način osiguranja i označavanja ušća bušotine na površini terena

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj programa vodoistražnih radova. Sadržaj programa vodoistražnih radova izvedbe istražno-piezometarskih bušotina do 146 mm je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-prograd-izvedba-istr-piez-busotina-r-do-146-mm>)

1. UVOD
2. CILJ I NAMJENA ISTRAŽIVANJA
3. PRETHODNO PROVEDENI VODOISTRAŽNI RADOVI (ako je provedeno: detaljna hidrogeološka karta, geofizička istraživanja, ...)
4. TEHNIČKI UVJETI IZVOĐENJA RADOVA

- 4.1. Lokacija istražno-piezometarske bušotine (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
- 4.2. Bušenje (s kontinuiranim jezgrovanjem)
- 4.3. Zacjevljenje piezometra
- 4.4. Zasipavanje, tamponiranje i osiguranje
- 4.5. Osvajanje piezometra
- 4.6. Pokusno crpljenje
- 4.7. BFK analize uzorka podzemne vode
5. IZVJEŠTAJ O IZVEDENIM RADOVIMA (sadržaj izvještaja i broj primjeraka)
6. POSEBNI UVJETI IZVEDBE
7. ROK IZVOĐENJA RADOVA
8. SPECIFIKACIJA RADOVA I TROŠKOVNIK (bez jediničnih cijena radova)
9. OBVEZNI PRILOZI:
  - 9.1. karta mjerila M 1:5000 ili krupnijeg, s lokacijom bušotine/a na podlozi s ucrtanim katastarskim česticama
  - 9.2. potvrda o položenom stručnom ispitu izrađivača programa radova ili rješenje nadležnog ministarstva o ispunjenju posebnih uvjeta za obavljanje djelatnosti bušenja istražnih bušotina i zdenaca za tvrtku

### 19-03.3 METODE BUŠENJA

Bušenje je postupak prodiranja bušaćeg pribora u tlo ili stijenu do određene dubine. Izvođenje bušenja po potrebi uključuje uzimanje poremećenih i neporemećenih uzoraka za laboratorijska ispitivanja.

Postoji niz metoda za izvođenje bušotina u tlu i stijeni, od bušenja ručnim alatima do dubine od nekoliko metara u tlu, do složenih i teških strojeva za bušenje u stijeni do dubine od nekoliko kilometara. Prema principu rada bušaćeg pribora istražno bušenje se izvodi udarnom, rotacijskom ili kombiniranom metodom.

#### 19-03.3.1 Ručno bušenje

Ručni pribor za bušenje koristi se kod istraživanja manjih klizišta, za potrebe temeljenja manjih objekata te u uvjetima ograničene radne visine. Oprema je laka i jednostavna, a sastoji se od svrdla i šipki dužine oko 1 metar koje se jednostavno nastavljaju tijekom napredovanja bušenja po dubini. Bušenje se vrši rotiranjem i pritiskom preko T ručice, s vađenjem uzoraka tla u kratkim intervalima. Dubina bušenja u sitnozrnatim tlima ograničena je na oko 6 m, a u nevezanom tlu kao što su pijesak i šljunak ispod razine podzemne vode, bušenje je veoma ograničeno ili gotovo nemoguće. Stijenke bušotine u takvim uvjetima potrebno je dodatno oblagati zaštitnom kolonom.

#### 19-03.3.2 Udarno bušenje

Udarno bušenje je najstarija metoda bušenja. Prilikom bušenja u sitnozrnatim tlima koristi se posebno oblikovana teška bušača glava u obliku šupljeg cilindra, koji ima prsten za pridržavanje tla na unutarnjoj konturi donjeg kraja. Glava se pogonskim strojem podiže na određenu visinu i pušta da slobodno pada na dno bušotine.

Za pijesak i šljunak cilindru se dodaje poklopac (pločasti ventil) na dnu koji sprječava ispadanje materijala prilikom podizanja glave. Prilikom udara na dno bušotine, poklopac se otvara kako bi uzorak ulazio u cilindar. Bušotine u pijesku i šljunku treba zaštititi zaštitnom cijevi (kolonom) kako se ne bi urušila. Bušotina se ponekad puni vodom radi dodatnog osiguranja stabilnosti njenih stijenki.

Postupak je vrlo grub, teško je uočiti fine detalje uslojenosti, a uzorci tla su poremećeni i mogu koristiti samo za klasifikacijska ispitivanja. Koristi se zbog svoje jednostavnosti i niske cijene.

### **19-03.3.3 Rotacijsko bušenje**

Rotacijsko bušenje izvodi se nanošenjem okretnog momenta na bušači pribor. Postoji veliki broj tipova rotacijskih bušačkih garnitura, a najjednostavnija je podjela na garniture koje pri bušenju koriste spiralna svrdla, na garniture koje koriste metodu bušenja s jezgrovanjem i one bez jezgrovanja.

#### **19-03.3.3.a Bušenje spiralnim svrdlima**

Svrđlanje je postupak koji koristi čeličnu plosnatu spiralu učvršćenu na bušaču šipku. Šipka sa spiralom strojno se uvrće u tlo. Prilikom vađenja spirala iznosi pregnječene uzorke tla.

Moguće je i svrdlanje sa šupljom cijevi i na nju pričvršćenom spiralom. Šuplja cijev svrdla tijekom svrdlanja je na dnu zatvorena, a kad se želi izvaditi uzorak tla, svrdlanje se zaustavlja i otvara se čep cijevi kroz koju se spušta cilindar za vađenje uzoraka. Cilindar se utiskuje u tlo, vadi se uzorak, cijev se ponovno začepi i svrdlanje se nastavlja do sljedećeg položaja za vađenje uzorka tla.

Prilikom vađenja šipke sa spiralom u pijesku i šljunku može doći do urušavanja bušotine, a kod meke gline do njenog istiskivanja u otvor bušotine. Iz tog se razloga tada koristi zaštita bušotine čeličnom obložnom cijevi (zaštitna kolona) kroz koju prolazi svrdlo i koja se utiskuje rotacijom kroz nestabilne zone tla. Umjesto zaštitne cijevi može se koristiti i isplaka, voda otežana primjesom visoko plastične gline. Povećani tlak isplake osigurava stabilnost stijenke bušotine.

Postupak svrdlanja relativno je ekonomičan i pruža mogućnost vađenja poremećenih i neporemećenih uzoraka tla. Poteškoće su moguće kod krupnozrnatog tla gdje veliko kamenje može onemogućiti rad svrdla. Svrdlanjem se mogu doseći dubine bušotina od 60 m.

#### **19-03.3.3.b Bušenje bez jezgrovanja**

Koristi se kod istražnog bušenja u stijenama kada uzorci mogu biti poremećeni, odnosno važno je samo identificirati uzorak stijene. Bušenje bez jezgrovanja puno je brže i jeftinije od bušenja s jezgrovanjem.

Na dnu šipki pričvršćeno je bušaće dlijeto koje je većeg promjera od promjera bušačkih šipki kako bi se uz vanjske stijenske šipki na površinu mogle iznositi nabušene čestice stijene. Za iznošenje nabušenih čestica na površinu koristi se voda, pjena ili komprimirani zrak.

Nabušene čestice potrebno je uzimati na svaki 1 metar bušenja, a u horizontima pijeska svakih 0,5 metara bušenja uz odlaganje na obilježenu ravnu podlogu (uzorci za determinaciju).

#### **19-03.3.3.c Bušenje s jezgrovanjem**

Najčešće korištena metoda istražnog bušenja je rotacijska metoda uz kontinuirano jezgrovanje, tako da će se ova metoda detaljnije obraditi u nastavku.

Istražno bušenje rotacijskom metodom ostvaruje se rotacijom niza bušačkih alata na vrhu kojih je bušača kruna koja rotacijom i rezanjem odvaja dio iz stijenske mase formacije. Pri tome bušenje može biti bez cirkulacije isplačne tekućine tzv „bušenje na suho“ ili bušenje s cirkulacijom isplačne tekućine. Pri tome bušača kruna vrši rezanje i odvajanje uzorka stijena u jezgre ili sržnu cijev iz geološke formacije. Najpouzdaniji podatci o litološkoj građi dobivaju se kontinuiranim jezgrovanjem jer se jezgra nabušena u tijeku bušenja pohranjuje u sanduke za jezgru duljine 1 metar tako da dubinski ekvivalent jezgre od 1 metra bude u 1 odjeljku sanduka, nakon čega se vrši determinacija nabušenog materijala i iz istog se uzimaju uzorci za laboratorijska ispitivanja. Na kvalitetu izbušene jezgre najveći utjecaj imaju promjer jezgre, oblik i konstrukcija jezgrene cijevi, oblik i izrada krune i odabrana metoda bušenja.

### Krone za bušenje

Jedan od najvažnijih dijelova pribora za bušenje prilikom rotacijskog bušenja s jezgrovanjem je kruna za bušenje. Prema materijalu od kojeg su izrađene krune za bušenje možemo podijeliti u sljedeće skupine:

- TC krune izrađene od kompozitnih materijala koji se sastoje od karbida i nitrida (najčešće wolfram) pa odatle i oznaka za ovu skupinu dlijeta (Tungsten carbide). Ova dlijeta najčešće se koriste kod geotehničkih istraživanja i bušenja u tlu.
- PDC krune (Poly-crystalline Diamond Composite) dlijeta kod kojih su dijamaniti u kompozitu i namijenjeni su za bušenje mekših sedimentnih stijena.
- Impregnirane dijamantne krune (Impregnated bits) prvenstveno namijenjene bušenju tvrdih i vrlo tvrdih stijena.
- Krune s dijamantima na površini (surface bits) najčešće su korištene krune za bušenje od mekih do srednje tvrdih formacija prilikom bušenja s jezgrovanjem. Razlikujemo ih prema veličini dijamanta izraženih preko ekvivalentne veličine SPC (eng. Stones per carat). Vrijednosti SPC faktora su od 20 do 100 dok su u upotrebi najčešće dlijeta s vrijednostima SPC 20/25 i SPC 30/35.

Dijamantne krune dostupne su u različitim profilima od kojih se najčešće koriste W profil (Slika 19-03.1), poluokrugli profil (Slika 19-03.2) i profil s više stupnjeva (Slika 19-03.3).

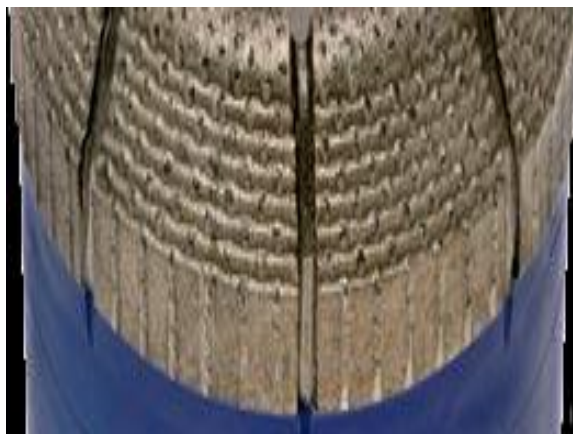


Slika 19-03.1: *W profil*



Slika 19-03.2: *Poluokrugli profil*





Slika 19-03.3: Profil s više stupnjeva.

Za odabir krune prilikom istražnog bušenja potrebno je poznavati podatke o:

- geološkoj građi terena, odnosno vrsti stijene koja se buši
- tipu jezgrene cijevi koja se koristi kod bušenja
- svojstvo tekućine za ispiranje bušotine.

Osim ovih parametara na učinak krune kod bušenja utječu i sljedeći parametri:

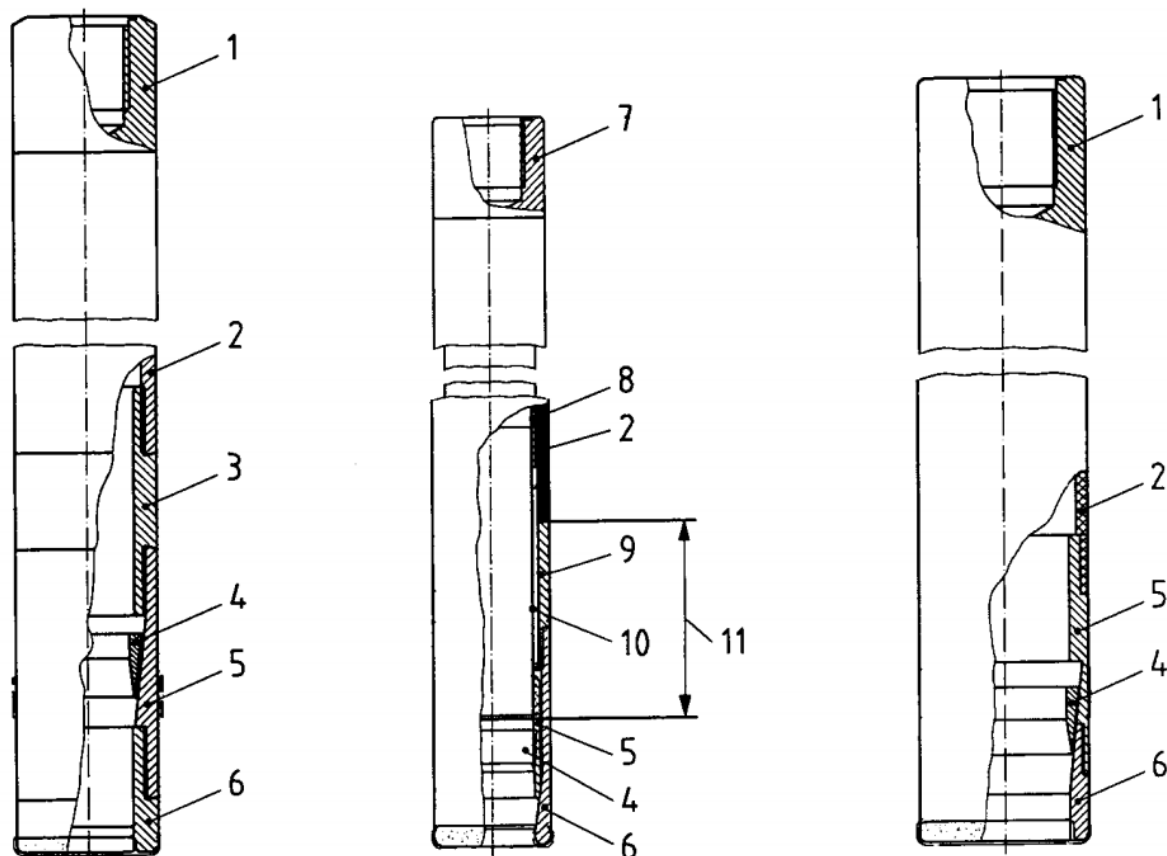
- opterećenje na krunu
- brzina, odnosno napredak bušenja izražen u centimetrima/minuta
- broj okretaja bušaćih alata u minuti
- protok tekućine za ispiranje bušotine koja pri tome hladi krunu, podmazuje krunu i iznosi nabušene čestice na površinu

Za odabir krune prilikom bušenja može poslužiti i tabela dana u nastavku, a preuzeta iz hrvatske norme HRN EN ISO 22475-1.



Prema načinu izvedbe jezgrene cijevi možemo podijeliti na

- jednostruka jezgrena cijev
- dvostruka jezgrena cijev
- rasklopna jezgrena cijev.



Jednostruka jezgrena cijev tipa Z  
(lijevo) ili B (desno)

- 1 - glava jezgrene cijevi
- 2 - vanjska cijev
- 3 - spojnica hvatača jezgre
- 4 - hvatač jezgre
- 5 - kućište hvatača jezgre
- 6 - kruna

Dvostruka jezgrena cijev tipa T

- 7 - glava jezgrene cijevi
- 8 - unutarnja cijev
- 9 - stabilizator jezgrene cijevi
- 10 - cijevni nastavak
- 11 - projekcija unutarnje cijevi

Slika 19-03.4: Shematski prikaz jednostruke i dvostruke jezgrene cijevi (preuzeto iz hrvatske norme HRN EN ISO 22475-1)

Jednostruka jezgrena cijev najjednostavnije je izvedbe i sastoji se samo od vanjske jezgrene cijevi. Namijenjena je prvenstveno za bušenje rotacijskom metodom bez ispiranja isplačnom tekućinom.

Dvostruka jezgrena cijev osim vanjske cijevi ima i unutarnju jezgrenu cijev čija je namjena sprječavanje kontakta uzorka jezgre te ispiranje uzorka cirkulacijom isplačne tekućine prilikom bušenja. Dvostruka jezgrena cijev namijenjena je za bušenje stijena različite tvrdoće i razlomljenosti.

Rasklopna jezgrena cijev je u suštini dvostruka jezgrena cijev koja u unutarnjoj cijevi ima djeljivu ili cjevastu oblogu te tako omogućuje učinkovitije rukovanje nabušenom jezgrom.

Ovisno o izvedbi i proizvođaču sržne cijevi možemo ih podijeliti u serije koje su standardizirane prema vrsti stijene koja se uzorkuje i izvedbi pojedinih sastavnih dijelova.

Oprema za istražno bušenje rotacijskom metodom standardizirana je s 2 ISO standarda ovisno o zahtjevima bušenja na pojedinim lokacijama istraživanja..

ISO 3551-1 Rotary core diamond drilling equipment- System A Part 1 Metric unit

ISO 3552-1 Rotary core diamond drilling equipment- System B Part 1 Metric unit

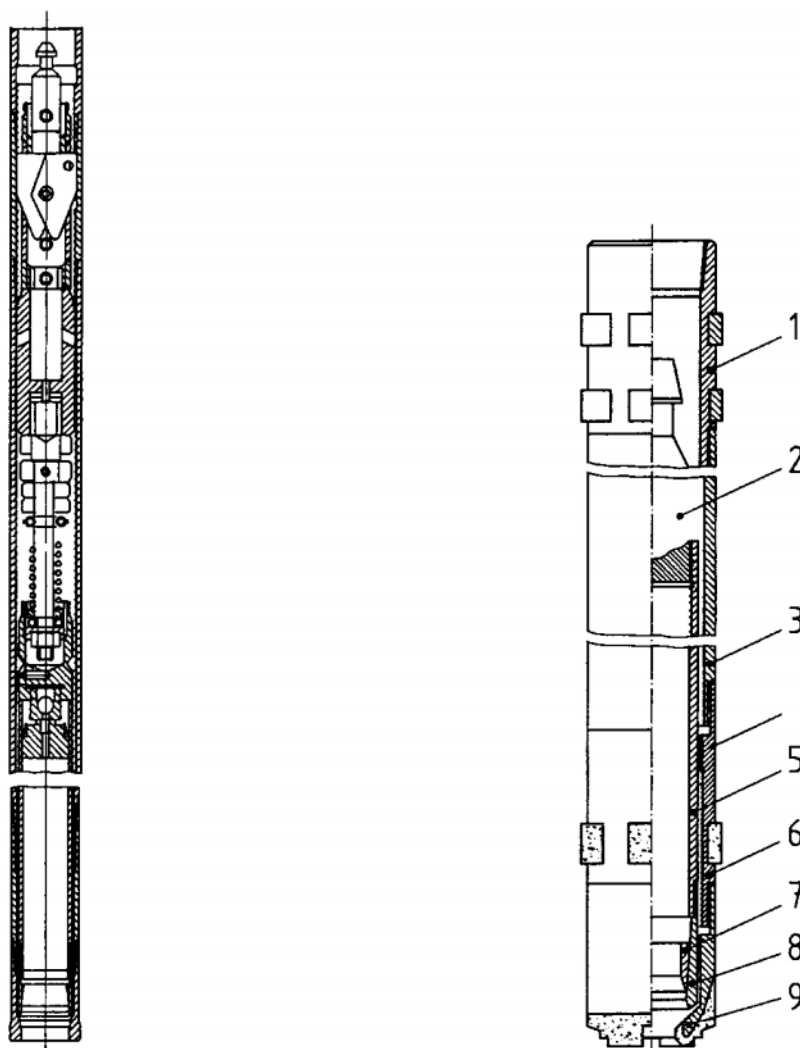
Jezgrene cijevi su standardizirane prema svojoj izvedbi. Tablica 19-03.3-2 prikazuje standard i oznake jezgrenih cijevi prema ISO 3552-1 normi za „metričku“ seriju.

Tablica 19-03.3-2: Tablica standarda i oznaka jezgrenih cijevi za „metričku“ seriju

Tip jezgrene cijevi			Kruna		Stabilizator	Širina reza krune	Površina reza krune	Površina uzorka jezgre	Površina otvora bušotine	Postotak površine jezgre u odnosu na bušotinu
B	T	Z	Set OD	Set ID	Set OD	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	%
36	46		21,80	36,10	36,40	7,15	6,55	3,80	10,35	36,50
			21,60	35,90	36,20					
46	46		31,80	46,10	46,40	7,15	8,80	8,04	16,84	47,80
			31,60	45,90	46,20					
		46	27,80	46,10	46,40	9,15	10,68	6,16	16,84	36,50
			27,60	45,90	46,20					
56	56		41,80	56,10	56,40	7,15	11,04	13,85	24,89	55,90
			41,80	55,90	56,20					
		56	33,80	56,10	56,40	11,15	15,81	9,08	24,89	36,50
			33,60	55,90	56,20					
66	66		51,80	66,10	66,40	7,15	13,28	21,24	34,52	61,60
			51,60	65,90	66,20					
		66	43,80	66,10	66,40	11,15	19,31	15,21	34,52	44,10
			43,60	65,90	66,20					
76	76		61,80	76,10	76,40	7,15	15,53	30,19	45,72	66,70
			61,60	75,90	76,20					
		76	53,80	76,10	76,40	11,15	22,83	22,90	45,72	50,00
			53,60	75,90	76,20					
86	86		71,80	86,10	86,40	7,15	17,78	40,71	58,49	69,80
			71,60	85,90	86,20					
		86	61,80	86,10	86,40	11,15	28,30	30,19	58,49	53,00
			61,60	85,90	86,20					
101			86,80	101,10	101,40	7,15	21,25	59,45	80,60	72,70
			86,60	100,90	101,20					
		101	74,80	101,10	101,40	13,15	36,42	44,18	80,60	54,90
			74,60	100,90	101,20					
116			101,80	116,10	116,40	7,15	24,52	81,71	106,23	76,80
			101,60	115,90	116,20					
		116	89,80	116,10	116,40	13,15	42,61	63,62	106,23	59,70
			89,60	115,90	116,20					
131			116,80	131,10	131,40	7,15	27,89	107,51	135,40	79,40
			116,60	130,90	131,20					
		131	104,80	131,10	131,40	13,15	48,81	86,59	135,40	64,00
			104,60	130,90	131,20					
146			131,80	146,10	146,40	7,15	31,26	136,85	168,11	81,40
			131,60	145,90	146,20					
		146	119,80	146,10	146,40	13,15	55,01	113,10	168,11	67,30
			119,60	145,90	146,20					

Posebnu skupinu bušaćih alata za jezgrovanje čini skupina jezgrenih cijevi namijenjena za „Wireline“ bušenje. Wireline sustav konstruiran je tako da su bušaće šipke uklonjene iz niza alata za bušenje i zamijenjene nizom cjevnih alata na čijem početku se nalazi kruna za bušenje. Unutarnja jezgrene cijev pri tome ostaje slobodna te se nabušeni uzorak vadi iz bušotine bez vađenja niza bušaćih alata pomoću posebnog vitla smještenog na postolju. Wireline sustav bušenja

namijenjen je bušenju čvrstih stijena na većim dubinama. Kao krune koriste se impregnirane dijamantne krune ili dijamantne krune s dijamantima na površini krune. Wireline metoda bušenja tako ima značajnije prednosti pred konvencionalnim načinom bušenja i jezgrovanja uzorka.



1 - glava jezgrene cijevi  
 2 - kućište ležaja  
 3 - vanjska cijev  
 4 - stabilizator jezgrene cijevi  
 5 - unutarnja cijev  
 6 - stabilizator jezgrene cijevi  
 (reaming shell)

7 - hvatač jezgre  
 8 - kućište hvatača jezgre  
 9 - kruna

Slika 19-03.5: Shematski prikaz Wireline jezgrene cijevi (preuzeto iz hrvatske norme HR EN ISO 22475-1)

Jezgrene cijevi prema ovim standardima izrađene su u duljinama 1,5 i 3,0 metara.

Oznake i dimenzije Wireline pribora za jezgrovanje dane su u sljedećoj tablici:

Tablica 19-03.3-3: Tablica oznaka i dimenzija Wireline pribora za jezgrovanje

Tip jezgrene cijevi				Kruna		Stabili- zator	Širina reza krune	Povr- šina reza krune	Povr- šina uzorka jezgre	Povr- šina otvora bušotine	Postotak površine jezgre u odnosu na bušotinu	Prom- jer jezgre	Prom- jer bušotine
WF	WG	WM	WT	Set OD	Set ID	Set OD	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	%		
			RWT	18,80	29,59	29,97	5,59	4,25	2,74	6,99	39,10	18,50	30
				18,54	29,34	29,72							
	EWG	EWM		21,59	37,46	37,85	8,13	7,55	3,62	11,17	32,40	21,50	38
				21,34	37,21	37,59							
			EWT	23,11	37,46	37,85	7,37	7,03	4,15	11,17	37,10	23,00	38
				22,86	37,21	37,59							
	AWG	AWM		30,23	47,75	48,13	8,94	10,99	7,12	18,10	39,30	30,00	48
				29,97	47,50	47,88							
			AWT	32,66	47,75	48,13	7,72	9,79	8,32	18,10	45,90	32,50	48
				32,41	47,50	47,88							
	BWG	BWM		42,16	59,69	60,07	8,94	14,34	13,88	28,22	49,10	42,00	60
				41,91	59,44	59,82							
			BWT	44,58	59,69	60,07	7,75	12,70	15,52	28,22	55,00	44,50	60
				44,32	59,44	59,82							
	NWG	NWM		54,86	75,44	75,82	10,46	21,46	23,53	44,99	52,20	54,50	76
				54,61	75,18	75,56							
			NWT	58,88	75,44	75,82	8,46	17,88	27,11	44,99	60,00	58,50	76
				58,62	75,18	75,56							
HWF	HWG			76,33	98,98	99,36	11,51	31,74	45,61	77,34	59,00	76,00	99
				76,07	98,60	99,11							
			HWT	81,08	98,98	99,36	9,14	25,88	51,46	77,34	66,50	81,00	99
				80,82	98,60	99,11							
PWF				92,33	120,27	120,78	14,22	47,53	66,68	114,21	58,40	92,00	121
				91,95	119,76	120,40							
SWF				112,95	145,57	146,18	16,61	67,52	99,86	167,39	59,70	112,50	146
				112,57	145,16	145,80							
UWF				140,08	174,12	174,75	17,32	85,59	153,56	239,15	64,20	140,00	175
				139,57	173,36	174,24							
ZWF				165,48	199,52	200,15	17,32	99,43	214,41	313,84	68,30	165,00	200
				164,97	198,76	199,64							

OD - vanjski promjer, ID - unutarnji promjer, WT, WG - jednostruke jezgrene cijevi WF, WG, WM - dvostruka jezgrene cijevi

#### Bušaće šipke

Bušaće šipke su alati namijenjeni za prijenos rotacije s rotirajuće glave bušaćeg postrojenja na jezgrene cijev i krune, vađenje uzorka nabušene jezgre kod standardnog načina jezgrovanja, cirkulaciji i iznošenju nabušenih čestica kod bušenja isplačnom tekućinom. Sastoje se od tijela šipke izrađenog od čelika i spojnice koja se na tijelo šipke spaja navojem ili varenjem.

#### Zaštitne kolone

Zaštitne kolone namijenjene su stabilizaciji i sprječavanju zarušavanja stjenke kanala bušotine te gubitka isplačne tekućine tijekom istražnog bušenja rotacijskom metodom. Ugradnja kolone tijekom izvođenja bušotine često se koristi prilikom bušenja materijala kao što su šljunak i pijesak koji sadrže vode te u površinskom dijelu bušotine gdje se kolonom sprječava gubitak isplačne tekućine iz sustava. Zaštitne kolone također se često koriste i kod bušenja u čvrstim stijinama da bi se omogućilo bušenje kroz intervale zdrobljene stijenske mase.

Moguće je bušenje sa zaštitnim kolonama kada se ne zahtijeva dobivanje jezgre uzorka jezgre iz bušotine. Pri tome se na kolonu stavlja dijamentna kruna za kolone. Kao zaštita za navoj kolona koriste se zaštitne kape pri radu s kolonama u postupku bušenja. Tablica 19-03.3-4 prikazuje dimenzije bušaćih šipki i zaštitnih kolona „W“.

Tablica 19-03.3-4: Dimenzije bušaćih šipki i zaštitnih kolona „W“serije prema standardu ISO 3551-1

Veličina bušaće šipke	Tijelo šipke	Spojnica šipke	Stranica kolone	Zaštitna kolona		Navoj kolone		Zaštitna kapa	
	V,P,	U,P,		V,P,	U,P,	Set V,P,	Set U,P,	Set V,P,	Set U,P,
33	33,7	15,14	46	44,35	37,4	46,1	35,1	46,1	37,1
	33,3	14,86		43,95	36,9	45,9	34,9	45,9	36,9
42	42,2	22,16	56	54,35	47,4	56,1	45,1	56,1	47,1
	41,8	21,84		53,95	46,9	55,9	44,9	55,9	46,9
50	50,2	22,16	66	64,55	57,5	66,1	55,1	66,1	57,1
	49,8	21,84		63,95	57,0	65,9	54,9	65,9	56,9
			76	74,55	67,5	76,1	65,1	76,1	67,1
				73,95	67,0	75,9	64,9	75,9	66,9
			86	84,65	77,5	86,1	75,1	86,1	77,1
				83,85	77,0	85,9	74,9	85,9	76,9
			101	98,4	88,7	101,1	86,6	101,1	88,1
				97,6	87,9	100,9	86,4	100,9	87,9
			116	113,5	103,8	116,1	101,6	116,1	103,1
				112,5	102,8	115,9	101,4	115,9	102,9
			131	128,5	118,8	131,1	116,6	131,1	118,1
				127,5	117,8	130,9	116,4	130,9	117,9
			146	143,5	134,2	146,1	131,6	146,1	133,1
				142,5	132,8	145,9	131,4	145,9	132,9

V,P, = vanjski promjer, U,P, = unutarnji promjer

#### 19-03.4 PIEZOMETARSKA KONSTRUKCIJA

Nakon istražnog bušenja istražni radovi se nastavljaju ugradnjom piezometarske konstrukcije u istražnu bušotinu. Za ugradnju piezometarske konstrukcije potrebno je vrlo dobro poznavati podatke o litološkoj građi vodonosnika i slojeva u krovini i podini. Pri tome se koriste podatci dobiveni determinacijom nabušene jezgre, iz podataka koji se bilježe prilikom bušenja te mjerenjem fizikalnih obilježja stijena u bušotini-karotaže.

Piezometarska konstrukcija se, kada je moguće, sastoji od PVC (*Polyvinyl chloride*) punih i filterskih cijevi. Filterske cijevi omogućuju ulaz vode u unutrašnjost piezometra te sprječavaju ulaz sitnih čestica dok pune cijevi služe za tok vode od vodonosnika do površine terena te za smještaj potopne pumpe kojom se vrši crpljenje vode iz vodonosnika..

Veličine koje se uzimaju u obzir prilikom konstrukcije piezometra su:

- dubina bušotine
- duljina filtarske sekcije
- promjer i materijal od kojeg se izvodi piezometar
- površina svijetlog otvora kod filtarske sekcije
- debljinu i svojstva filterskog zasipa
- brzina ulaza vode u filter.

Dubina bušotine - podatci o dubini bušotine poznati su iz podataka dobivenih bušenjem i karotažnih mjerenja. U pravilu svaka istražna bušotina trebala bi završiti u podini vodonosnika. Iznimka iz ovog pravila su bušotine gdje je poznata velika debljina vodonosnika pa nema potrebe za bušenjem do podine.

Duljina filtarske sekcije – optimalna duljina filtarske sekcije ugradnje određuje se u ovisnosti o debljini i karakteristikama vodonosnika. Određivanje dijela vodonosnika najpogodnijeg za crpljenje može se odrediti iz:

- podataka dobivenih iz parametara bušenja kao što su napredak bušenja, gubitak isplaćne tekućine kod bušenja, propadanje bušaćeg alata

- determinacijom nabušenih naslaga gdje se izdvajaju najpovoljnije hidrauličke provodljivosti
- granulometrijskom analizom uzetih uzoraka nabušenih naslaga
- laboratorijskim ispitivanjem hidrauličke provodljivosti na uzorcima iz bušotine
- karotažnim mjerenjem u bušotini.

Ovisno o tipu vodonosnika za pojedini tip može se preporučiti duljina filtarske sekcije:

- za otvoreni homogeni vodonosnik filtarskom sekcijom potrebno je zahvatiti 80 % vodonosnika. Filtarska sekcija postavlja se u donjem dijelu vodonosnika jer sniženjem prilikom crpljenja gornji dio vodonosnika ostaje bez vode.
- za otvoreni nehomogeni vodonosnik filtarska sekcija se ugrađuje u hidraulički napovoljnije dijelove u donjem dijelu vodonosnika
- za zatvoreni homogeni vodonosnik filtarskom sekcijom treba zahvatiti 80-90 % debljine vodonosnika
- za zatvoreni nehomogeni vodonosnik filtarskom sekcijom potrebno je zahvatiti 80-90% hidraulički najpovoljnijih dijelova vodonosnika.

Filtarska sekcija i pune cijevi uobičajeno se izrađuju od PVC materijala..

Iza filtra gdje su bušenjem uklonjeni materijali geološke formacije prostor se ispunjava dobro graduiranim materijalom kao filtarskim zasipom. Zadatak filtarskog zasipa je da zadrži 90 posto materijala iz vodonosnika. Materijal je dobro graduiran kako bi osigurao dobru poroznost i povećao hidrauličku vodljivost u području bušotine.

Na osnovu svih poznatih podataka i zahtjeva za konstrukciju, odredi se konstrukcija piezometra koja se sastoji od filtarske sekcije, punih cijevi i taložnika koji se ugrađuje ispod filtra. Konstrukcija se spušta u izvedenu bušotinu, izvede se obloga filtra, odnosno zasip u području filtra. Ostali dio krovinskih naslaga odvoji se od piezometra punim cijevima, a prstenasti prostor se ispunjava bentonitnom ispunom do vrha bušotine. Stabilizacija ušća bušotine izvodi se betonskim blokom odgovarajućih dimenzija te čeličnom zaštitnom kapom na površini terena.

### 19-03.5 OSVAJANJE I ČIŠĆENJE BUŠOTINA

Poslije ugradnje konstrukcije piezometra istražni radovi se nastavljaju osvajanjem istražne bušotine. Osvajanje bušotine ima za cilj povećanje izdašnosti bušotine proširivanjem i čišćenjem pukotina u čvrstim stijenama od prirodne zapunjenosti ili od začepjenja i poremećaja nastalih prilikom bušenja na stijenama kanala bušotine. Kod nekonsolidiranih naslaga šljunka i pijeska osvajanjem se odstranjuje mulj od isplake te sitnozrne frakcija iz prstenastog prostora iza filtra uz povećanje sadržaja krupnijih čestica čime se povećava poroznost i hidraulička vodljivost u toj zoni a samim time i izdašnost bušotine.

Najčešće korištena metoda kod osvajanja kanala bušotine je metoda air lifta. Konstrukcija air lift sastoji se od odvodne cijevi u kojoj se nalazi zračna cijev. Komprimiranim zrakom koji se utiskuje kroz zračnu cijev air lifta stvara se emulzija vode i zraka čija je gustoća manja od gustoće vode u prstenastom prostoru. Uslijed toga stupac vode u prstenastom prostoru potiskuje stupac emulzije prema izljevu na ušću bušotine te tako dolazi do crpljenja vode iz bušotine. Pri tome razlikujemo dva različita postupka. U prvom se odvodna cijev spušta u područje filtra a zračna cijev unutar odvodne se nalazi malo iznad donjeg kraja odvodne cijevi. Naglim puštanjem komprimiranog zraka u zračnu cijev on ulazi u područje filtarske zone. Zatvaranjem dovoda komprimiranog zraka i uvlačenjem zračne cijevi u prostor odvodne cijevi dolazi do naglog povrata vode iz injektiranog područja koja za sobom povlači i sitne čestice dok se krupne zadržavaju na filtru. Ovaj postupak čišćenja zove se „šutiranje“. Nakon šutiranja nastavlja se postupak crpljenja bušotine air liftom s proračunatim radnim tlakom kompresora.

Osim postupka air lifta osvajanje i čišćenje bušotine može se još uraditi pomoću crpljenja pri čemu se bušotina crpi znatno većim količinama nego što će se crpiti u tijeku eksploatacije. Zatim se osvajanje može uraditi mehaničkim postupkom pri čemu se unutar konstrukcije mehanički alat, koji najčešće zovemo“ klip“, spušta na nizu alata u bušotinu te kretanjem gore-dolje u vodenom



stupcu izaziva kretanje sitnozrnih čestica u konstrukciji filtra i zasipa te omogućuje iznošenje sitnih čestica i njihovo taloženje u taložniku.

### 19-03.6 TESTIRANJE BUŠOTINA

Testiranje (pokusno crpljenje) uobičajeno se provodi metodom i „konstant-testa“.

Za provedbu pokusnog crpljenja potrebno je osigurati potopnu crpku odgovarajućeg kapaciteta i visine dizanja te agregat odgovarajuće snage, sukladno programu vodoistražnih radova.

Nakon prestanka crpljenja potrebno je pratiti povrat razine podzemne vode do statičke razine koja je bila prije početka pokusnog crpljenja.

Tijekom provedbe pokusnog crpljenja potrebno je mjeriti protoke i pratiti promjene razine podzemne vode na piezometru i po potrebi drugim lokacijama, sukladno Programu vodoistražnih radova.

Mjerenje protoka tijekom crpljenja potrebno je provesti mjeračem protoka ili „blendom“ odgovarajućeg promjera. Mjerenja razine podzemne vode, na svim opažaćkim mjestima, preporučljivo se provode korištenjem automatskih mjerača (loggera), a kontrolna mjerenja na svim objektima ručnim mjeračima podzemne vode s točnošću +/- 1 cm.

Vremenski intervali mjerenja na loggerima uobičajeno su svakih 1 (jednu) minutu, a kontrolna mjerenja ručnim mjeračima potrebno je provesti u standardnim vremenskim intervalima.

Crpljenu vodu tijekom provedbe pokusnog crpljenja treba odvesti privremenim cjevovodom na odgovarajuću udaljenost, da ne bi došlo do recirkulacije.

Na kraju pokusnog crpljenja metodom konstant testa ovlaštenu predstavnik ovlaštene ustanove – laboratorija treba uzeti uzorak za kompletnu (nekadašnju C analizu) biološko- fizikalno-kemijsku (BFK) analizu podzemne vode, a analizu napraviti u ovlaštenom laboratoriju.

Pokusnim crpljenjem treba utvrditi sniženje i stalnu dinamičku razinu kod određenog radnog kapaciteta. Na temelju podataka pokusnog crpljenja treba izračunati hidrogeološke parametre vodonosnika.

### 19-03.7 ZAŠTITA I OSIGURANJE BUŠOTINE

Donji dio piezometarske cijevi uobičajeno se zalijeva u betonski blok. Gornji dio gornje zaštitne cijevi uobičajeno se osigurava kapom i lokotom.

### 19-03.8 UTJECAJ NA DRUGE VODOZAHVATE

Utjecaj na druge vodozahvate po potrebi se procjenjuje temeljem odgovarajućih hidrogeoloških analiza ili modeliranja koristeći podatke o vodonosniku izvedene iz rezultata testiranja.

### 19-03.9 ZAVRŠNO IZVJEŠĆE O IZVEDBI BUŠOTINE

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj elaborata vodoistražnih radova. Sadržaj elaborata vodoistražnih radova izvedbe istražno-piezometarskih bušotina do 146 mm je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-elaborat-izvedba-istr-piez-busotina-r-do-146-mm>)

1. UVOD
2. RJEŠENJE NADLEŽNOG MINISTARSTVA O ISPUNJENJU POSEBNIH UVJETA ZA OBAVLJANJE DJELATNOSTI BUŠENJE ISTRAŽNIH BUŠOTINA I ZDENACA
3. IZRADA ISTRAŽNO-PIEZOMETARSKJE BUŠOTINE
  - 3.1. Lokacija istražno-piezometarske bušotine (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 3.2. Bušenje istražno-piezometarske bušotine
  - 3.3. Zaccjevljenje istražno-piezometarske bušotine

- 3.4. Zasipavanje, tamponiranje i osiguranje istražno-piezometarske bušotine
- 3.5. Osvajanje istražno-piezometarske bušotine
- 3.6. Pokusno crpljenje istražno-piezometarske bušotine
- 3.7. Interpretacija podataka pokusnog crpljenja
4. KAKVOĆA VODE
5. ZAKLJUČAK
6. OBVEZNI PRILOZI:
  - 6.1. Karta mjerila M 1:5000 ili krupnijeg s lokacijom zdenca na podlozi s ucrtanim katastarskim česticama
  - 6.2. Tehnički profil istražno-piezometarske bušotine
  - 6.3. Podatci pokusnog crpljenja
  - 6.4. Biološko-kemijska analiza vode
  - 6.5. Atesti ugradbenog materijala

#### **19-03.10 NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA**

Obračun troškova radova i usluga vrši se sukladno troškovniku koji je sastavni dio ugovora koji su sklopljeni s izvođačima nakon provedenog postupka javne nabave.

## **19-04 IZVEDBA POKUSNO-EKSPLOATACIJSKIH BUŠOTINA-ZDENACA (UOBIČAJENO RADIJUSA VEĆEG OD 146 mm)**

### **19-04.1 OPĆE NAPOMENE**

Ovisno o geološkim uvjetima i vrsti stijene koja je na pojedinom području vodonosnik razvijene su različite metode izvedbe pokusno-eksploatacijskih bušotina - zdenaca. Odabrana metoda bušenja na pojedinoj lokaciji istraživanja ovisi o geološkim formacijama koje će se istraživati, dubini i promjeru istraživane bušotine, konstrukciji bušotine te konačnoj namjeni bušotine.

Izvedba bušotine sastoji se od nekoliko postupaka tijekom izvođenja a to su: istražno bušenje, zacjevljenje bušotine ukoliko je bušenje u nevezanim sedimentnim stijenama, osvajanja bušotine, cementacije prstenastog prostora ukoliko je potrebno te pokusnog crpljenja i biološko-fizikalno-kemijske (BFK) analize.

Za provođenje metode izvedbe pokusno-eksploatacijskih bušotina - zdenaca potrebno je ishoditi vodopravne uvjete.

### **19-04.2 PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA**

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj programa vodoistražnih radova. Sadržaj programa vodoistražnih radova izvedbe istražno-eksploatacijskih zdenaca je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-prograd-izvedba-istr-eksploatacupojnih-zdenaca-r-veceg-od-146-mm>)

1. UVOD
2. CILJ I NAMJENA ISTRAŽIVANJA
3. PRETHODNO PROVEDENI VODOISTRAŽNI RADOVI (ako je provedeno: detaljna hidrogeološka karta, geofizička istraživanja, istražno bušenje, ...)
4. TEHNIČKI UVJETI IZVOĐENJA RADOVA
  - 4.1. Lokacija zdenca (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 4.2. Prognozni litološki profil
  - 4.3. Bušenje zdenca
  - 4.4. Zacjevljenje zdenca
  - 4.5. Zasipavanje, tamponiranje i osiguranje
  - 4.6. Osvajanje zdenca
  - 4.7. Pokusno crpljenje (ispitivanje upojnosti upojnih zdenaca ukoliko se podzemna voda koristi kao izvor za obnovljive izvore energije)
  - 4.8. BFK analize uzorka podzemne vode
5. IZVJEŠTAJ O IZVEDENIM RADOVIMA (sadržaj izvještaja i broj primjeraka)
6. POSEBNI UVJETI IZVEDBE
7. ROK IZVOĐENJA RADOVA
8. SPECIFIKACIJA RADOVA I TROŠKOVNIK (bez jediničnih cijena radova)
9. OBAVEZNI PRILOZI:
  - 9.1. Karta mjerila M 1:5000 ili krupnijeg s lokacijom zdenca na podlozi s ucrtanim katastarskim česticama

- 9.2. Potvrda o položenom stručnom ispitu izrađivača Programa radova, ili rješenje nadležnog ministarstva o ispunjenju posebnih uvjeta za obavljanje djelatnosti bušenja istražnih bušotina i zdenaca za tvrtku.

### 19-04.3 BUŠENJE

Promjer, dubina i metoda bušenja definiraju se u programu vodoistražnih radova.

Odabir metode izvedbe bušotine prvenstveno ovisi o litološko-petrografskom sastavu stijena. Dimenzije bušotine ovise o vrsti i značajkama stijena vodonosnika te konačnoj namjeni bušotine.

Postoje različite metode bušenja zdenaca, koje omogućuju bušenje u različitim geološkim uvjetima, od tvrdih stijena do nekonsolidiranih sedimenata. Nijedna metoda bušenja nije najbolja za sve geološke uvjete, tako da metode i oprema za bušenje variraju ovisno o potrebama na terenu.

U nastavku su ukratko opisane neke od najčešće korištenih metoda bušenja zdenaca uz naznake njihovih prednosti i nedostataka. Na kraju je tablično prikazana primjenjivost pojedinih metoda za različite geološke uvjete.

#### 19-04.3.1 Direktne rotacijske metode

Rotacijsko bušenje razvijeno je kako bi povećalo brzinu bušenja i omogućilo dosezanje velikih dubina u većini formacija. Za bušenje se koristi dlijeto koje je postavljeno na donji kraj bušaćih šipki. Krhotine se iznose protokom zraka (eng. *Air Rotary Drilling*) ili tekućine za ispiranje (eng. *Mud Rotary Drilling*) kroz prostor između kanala bušotine i bušaćih šipki. Na površini mehanička oprema omogućava izdvajanje krhotina i ponovo cirkuliranje fluida. Rotaciono bušenje sa zrakom ograničeno je na polu-konsolidirane i dobro-konsolidirane materijale.

Kod rotacijskog bušenja, najčešće se koriste dvije vrste dlijeta – lopatasta i žrvanjska. Lopatasta dlijeta imaju kratke rezače i čiste se i hlade mlazom bušaćeg fluida. Ova dlijeta su efektivna prilikom bušenja pješčenjaka, gline i mekih formacija. Žrvanjska dlijeta su efektivna u tvrdim materijalima. Specijalna vrsta dlijeta, polikristalinska dijamantna dlijeta, na licu imaju sintetičke dijamante. Mogu se koristiti u tlima koja su previše mekana ili ljepljiva za konvencionalna dijamantna dlijeta te za formacije koje su previše tvrde za lopatasta ili žrvanjska dlijeta.

Tablica 19-04.3-1 prikazuje prednosti i nedostatke direktnih rotacijskih metoda s tekućinom, a Tablica 19-04.3-2 prednosti i nedostatke direktnih rotacijskih metoda sa zrakom.

Tablica 19-04.3-1: Prednosti i nedostaci direktnih rotacijskih metoda s tekućinom.

Prednosti	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> <li>• brzina bušenja je relativno velika u svim vrstama materijala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bušaća postrojenja zahtijevaju visoku razinu održavanja</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• minimalna zaštita je potrebna za vrijeme operacije bušenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mobilnost postrojenja može biti ograničena</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mobilizacija i demobilizacija bušaćeg postrojenja je brza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• većina postrojenja zahtijeva posadu od najmanje dvije osobe</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• filteri se mogu jednostavno postavljati u sklopu ugradnje zaštitnih cijevi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prikupljanje uzoraka zahtijeva specijalne procedure</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• korištenje isplake može uzrokovati začepljenje određenih formacija</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• metoda bušenja složenija je i manje ekonomična pri vrlo niskim temperaturama</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• upravljanje isplačnim sustavom zahtijeva dodatno znanje i iskustvo</li> </ul>

Tablica 19-04.3-2: Prednosti i nedostaci direktnih rotacijskih metoda sa zrakom.

Prednosti	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> <li>uklanjanje krhotina ekstremno je brzo</li> <li>vodonosnik se ne može začepiti isplačnom tekućinom</li> <li>pumpe za isplaku ne moraju se koristiti, što smanjuje troškove</li> <li>životni vijek dlijeta je dulji</li> <li>operacija bušenja nije otežana za vrijeme ekstremno niskih temperatura</li> <li>brzine bušenja su velike u visoko-otpornim stijinama kao što su dolomit ili bazalt</li> <li>moguća je procjena izdašnosti vodonosnika za vrijeme bušenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ograničena na korištenje u polu-konsolidiranim i dobro-konsolidiranim materijalima</li> <li>visoki inicijalni troškovi i troškovi pogona velikih zračnih kompresora</li> </ul>

### 19-04.3.2 Reverzne rotacijske metode

Kod reverznog rotacijskog bušenja tok isplake je obrnut, tako da isplaka s krhotinama ide kroz bušaću šipku do površine. Sisaljka je spojena na radnu i bušaću šipku preko isplačne glave. Isplačna tekućina gravitacijski se vraća u bušotinu kroz prstenasti prostor do dna te ponovno ulazi s prikupljenim krhotinama kroz otvore na dlijetu.

Tablica 19-04.3-3 prikazuje prednosti i nedostatke reverznih cirkulacijskih metoda.

Tablica 19-04.3-3: Prednosti i nedostaci reverznih rotacijskih metoda.

Prednosti	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> <li>poroznost i permeabilnost formacije u blizini bušotine su relativno nepromijenjeni (u odnosu na druge metode)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ne može se koristiti kad je razina podzemne vode plitko ispod površine terena, osim ako se izradi "rampa" iznad površine terena</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>bušotine velikog promjera mogu se bušiti brzo i ekonomično</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>velike količine vode su potrebne za vrijeme bušenja</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>cijevni sustav nije neophodan za vrijeme operacije bušenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bušaća postrojenja su obično veća i skuplja</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>filtri se mogu jednostavno postavljati u sklopu ugradnje zaštitnih cijevi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>veliki bazeni za isplačnu tekućinu su potrebni</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>većina geoloških formacija se može bušiti (osim magmatskih i metamorfnih stijena)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nekim lokacijama nije moguće pristupiti zbog veličine postrojenja</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>mali rizik ispiranja u bušotini zbog male brzine isplačne tekućine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>za efikasne operacije potrebna je posada sa većim brojem osoba u odnosu na druge metode</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>moguća je bušenja bušotina velikog promjera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dodatni troškovi za bušaću cijev, specijalni swivel i kompresor zraka (ako nije ugrađen u postrojenje)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>brzina bušenja je velika u nekonsolidiranim sedimentima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>trajanje manipuliranja bušaćom cijevi produljuje se za dublje bušotine</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>manje aditiva je potrebno u isplačnoj tekućini</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>smanjeno vrijeme osvajanja</li> </ul>	

### 19-04.3.3 Metode utiskivanja zaštitne kolone

Metode utiskivanja zaštitne kolone koriste se u nekonsolidiranim materijalima i težim geološkim uvjetima, kada je poželjno da se zaštitni sustav ugrađuje tijekom bušenja. Utiskivanje se može vršiti bez rotacije ili s rotacijom (zakretanjem) zaštitne kolone („laviranjem“). Za zakretanje bušaća postrojenja opremljeno je stezaljkom oko zaštitne kolone da bi ju rotiralo i utiskivalo u tlo

Na dno zaštitne kolone može biti ugrađen nastavak s rezaćim zubima. Rotacija može biti u oba smjera po potrebi. Krhotine se iznose fluidom za ispiranje kroz prstenasti prostor između kanala bušotine i bušačkih šipki.

Tablica 19-04.3-4 prikazuje prednosti i nedostatke metoda utiskivanja zaštitne kolone.

Tablica 19-04.3-4: Prednosti i nedostaci metoda utiskivanja zaštitne kolone.

Prednosti	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> <li>• može se koristiti i kada je razina podzemne vode vrlo blizu površini terena</li> <li>• bušenje je moguće u nekonsolidiranim geološkim materijalima</li> <li>• bušotina je u potpunosti stabilizirana tijekom operacije bušenja</li> <li>• brzina bušenja može biti velika čak i u teškim uvjetima</li> <li>• problemi cirkulacije su eliminirani</li> <li>• precizni uzorci formacije i vode se mogu prikupiti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dodatna cijena opreme</li> <li>• bušne operacije</li> <li>• gline ili ljepljivi šejl mogu smanjiti dubinu bušenja</li> </ul>

### 19-04.3.4 Metode udarnog i udarno-rotacijskog bušenja

Udarno bušenje je najstarija metoda bušenja. Glava se pogonskim strojem podiže na određenu visinu i pušta da slobodno pada na dno bušotine. Tijekom procesa bušenja, povremeno se iz bušotine izvlači bušača glava i spušta se košara za prikupljanje krhotina (bailer). Bailer je alat nalik kanti s poklopcem u bazi. Ako je bušotina suha, dodaje se voda kako bi se krhotine slijevale u bailer. Kada se podiže, bailer se zatvara, a krhotine se zatim u njemu podižu i na površini iz njega uklanjaju.

Postupak je vrlo grub, teško je uočiti fine detalje uslojenosti, a uzorci tla su poremećeni i mogu koristiti samo za klasifikacijska ispitivanja.

Udarno bušenje najčešće se koristi prilikom izrade plitkih bušotina u nekonsolidiranim sedimentima ili relativno mekim stijenama. Ova metoda je i dalje optimalna metoda za bušenje zdenaca (i dubokih) u vodonosnicima s pukotinsko-kavernoznom poroznosti, ali se zbog sporog napredovanja vrlo rijetko koristi (samo za zdence velikog promjera).

Osim klasičnog udarnog bušenja, razvijene su i udarno-rotacijske metode bušenja, uključujući bušenje s vanjskim čekićem („top hammer“) i bušenje s dubinskim čekićem („down-the-hole (DTH) hammer“).

Proces bušenja kod bušilica s čekićem na površini odvija se na način da čekić, koji je smješten na vodilici, pogonjen komprimiranim zrakom ili hidrauličkim uljem generira udar i rotaciju. Udarni impuls postiže se ubrzavanjem klipa u bušačem čekiću koji udara na usadnik bušaće šipke. Niz bušačkih šipki ili cijevi prenosi udarnu energiju sve do bušaće krune, koja preko umetaka od vrlo tvrde legure razbija stijensku masu na dnu bušotine. Bušaće šipke ili cijevi također prenose i rotaciju kojom rotira usadnik na čekiću. Potisak na bušaču krunu osigurava vodilica na način da sistemom čeličnih užadi, lanaca ili hidraulički vuče ili gura čekić na koji je prikopčan niz bušačkih cijevi i to u smjeru bušenja. Kod ovih izvedbi bušilica sve tri potrebne komponente za razbijanje stijene (perkusija, rotacija i potisak) generiraju se na površini. Iznošenje krhotina iz bušotine odvija se pomoću komprimiranog zraka. Bušilice s čekićem na površini pogodne za korištenje u srednje tvrdim do tvrdim stijenama i to za bušotine promjera do 230 mm i do dubine od 20 m.

Kod bušilica s dubinskim čekićem, čekić se nalazi u bušotini na kraju bušačkih cijevi. Kruna kojom se razbija stijena na dnu bušotine usađena je izravno na čekić. Udar, koji generira čekić ubrzavanjem klipa pod djelovanjem komprimiranog zraka, predaje se izravno na krunu. Na taj se način ne gubi energija udara kroz bušaće cijevi ili šipke. Dodatna ušteda energije postiže se korištenjem istrošenog zraka, koji izlazi iz čekića, za iznošenje nabušenih čestica iz bušotine. Rotacija se postiže na površini preko rotacijskog motora. Motor za rotaciju smješten je na vodilici, na njega se nastavlja niz bušačkih cijevi te se kliznim pomicanjem po vodilici osigurava i potrebni

potisak na bušaći alat. Iznošenje krhotina iz bušotine odvija se pomoću komprimiranog zraka. Bušilice s dubinskim čekićem primjenjuju se za bušenje bušotina u različitim vrstama stijena i pridruženih materijala i to za razne namjene bušotina.

*Tablica 19-04.3-5: Prednosti i nedostatci metoda udarnog bušenja.*

Prednosti	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> <li>• postrojenja su relativno jeftina, imaju niske potrebe za energijom i ne zahtijevaju sofisticirano održavanje</li> <li>• zbog njihove manje veličine, postrojenja se mogu koristiti na zahtjevnom terenu ili lokacijama gdje je ograničen prostor ili pristup teškoj mehanizaciji</li> <li>• bušotina je stabilizirana tijekom operacije bušenja, što omogućava bušenje u uvjetima gdje je izgubljena cirkulacija problem</li> <li>• zdenci se mogu bušiti u područjima gdje je količina zamjenske vode ograničena</li> <li>• moguće je prikupljanje pouzdanih uzoraka sa svih dubina (osim ako dođe do zasipanja)</li> <li>• moguća je procjena izdašnosti na svakoj dubini</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• male brzine bušenja</li> </ul>

#### **19-04.3.5 Primjenjivost metoda bušenja**

Tablica 19-04.3-6, prema prikazuje procjene primjenjivosti, odnosno brzine bušenja za razne metode bušenja u ovisnosti o geološkoj formaciji.

Tablica 19-04.3-6: Primjenjivost metoda bušenja ovisno o geološkoj formaciji (prema Groundwater and Wells, Johnson Screens, New Brighton, MN (2007)).

Formacija	Udarno bušenje	Rotacijsko s tekućinom	Rotacijsko sa zrakom	DTH Rotacijsko sa zrakom	Utiskivanje zaštitne kolone			Reverzno s tekućinom	
					Potiskivač	Krilasti	Rotacijski		
Pijesak i šljunak	4	5	0	0	6	2	5	2	4
Blokovi u nanosu	2.5	1.5	0	0	5	4	5	3	1.5
Glina i prah	4	5	0	0	5	3	5	2	5
Čvrsti šejl	4	5	4	5	5	5	5	5	5
Ljepijivi šejl	4	5	3	4	5	5	5	5	3
Krhki šejl	4	5	3	3	5	5	5	5	5
Pješčenjak, slabo cementiran	4	4	0	0	4	5	5	5	4
Pješčenjak, dobro cementiran	3	4	5	4	4	6	4	6	3
Grudice rožnjaka	3	3	3	5	0	5	0	5	3
Vapnenac	3	5	5	6	0	6	3	4	5
Vapnenac s grudicama rožnjaka	3	3	5	6	0	5	3	4	3
Vapnenac, razlomljen	3	3	5	6	0	5	3	4	2
Vapnenac, raspuknut	3	2	2	5	0	4	3	4	1
Dolomit	3	4	4	6	0	5	0	3	5
Tanki bazalt u sedimentnoj stijeni	3	3	5	6	0	5	0	3	3
Bazalti u debelim slojevima	3	3	4	5	0	4	0	3	3
Bazalt, razlomljen	3	1	3	3	0	3	0	2	1
Metamorfne stijene	3	3	4	5	0	4	0	3	3
Granit	3	3	4	5	0	4	0	3	3

0 Nije preporučljivo

1 Nemoguće

2 Teško

3 Sporo

4 Srednje

5 Brzo

6 Vrlo brzo

Brzina bušenja



### 19-04.3.6 Fluidi za ispiranje

Određene metode bušenja zahtijevaju korištenje fluida za ispiranje (isplake) za iznošenje krhotina i druge funkcije. Za bušenje zdenaca generalno se koriste dvije vrste isplake – isplake bazirane na vodi i isplake bazirane na zraku. Isplake bazirane na ulju, koje se koriste u naftnoj industriji, ne koriste se za bušenje zdenaca za vodu.

Isplake bazirane na vodi uključuju:

- čistu vodu
- vodu sa dodacima gline
- vodu sa dodacima polimera
- vodu sa dodacima gline i polimera.

Isplake bazirane na zraku uključuju:

- čisti zrak
- rosa (kapljice vode suspendirane u mlazu zraka)
- pjena (mjehurići zraka formirani filmom koji sadrži stabilizirajući surfaktant)
- čvrsta pjena (pjena koja sadrži materijale za očvršćivanje filma, kao što su polimeri i bentonit).

Ovim osnovnim vrstama isplake dodaju se razni aditivi (flokulanti, disperzivi, lubrikanti i dr.).

Odabir fluida za ispiranje prvenstveno ovisi o geološkim materijalima i raspoloživoj opremi. Lokacija bušenja, raspoloživost opreme, raspoloživost vode, zaštita okoliša te iskustvo posade su također elementi koji utječu na odabir.

U nekonsolidiranim ili visoko-bentonitskim formacijama najčešće se koriste fluidi za ispiranje na bazi vode s dodacima gline ili polimera. U polu-konsolidiranim ili dobro-konsolidiranim formacijama obično se koristi zrak ili sustavi sa čistom vodom.

### 19-04.4 KONSTRUKCIJA

Konstrukcija zdenca preliminarno se definira projektnim zadatkom i/ili programom vodoistražnih radova, a konačno na temelju rezultata strukturno- piezometarskih bušenja ako su predviđena u sklopu programa vodoistražnih radova.

Tehnička konstrukcija istražno-eksploatacijskih zdenaca se uobičajeno sastoji od "slijepih" cijevi odgovarajućih promjera i debljina, "sita" odgovarajućih promjera, debljina i otvora, dna "taložnika", "centralizera" i "kape" zdenca.

Konstrukcije zdenca najčešće su od čeličnih, pocinčanih, inox, PVC (polivinilklorid) ili PEHD (polietilen-high-density) cijevi.

Sito je konstrukcija koja odvaja čestice određene veličine od velike količine zrnatog rastresitog materijala. Glavni dio sita izrađen je od žice, žičane mreže ili perforirane ploče s kružnim ili pravokutnim otvorima. Sito omogućuje protok vode u zdenac te sprječava da pijesak i neki drugi sitniji materijali oštete pumpu ili začepi bušotinu. Svrha sita je omogućiti učinkovit protok vode u bušotinu i uz nju, a istovremeno spriječiti - u kombinaciji s šljunčanim zasipom začepljenje zdenca ili oštećenja pumpe.

Sita zdenca potrebna su u svim izvedbama zdenaca u nekonsolidiranim vodonosnicima, a također se ugrađuju i u mnoge zdence u konsolidiranim vodonosnicima kada je geološka građa na području izvedbe zdenca nešto složenija.

Izbor određene vrste sita za zdenac ovisit će o više faktora: svojstvima vodonosnika, čvrstoći i otpornosti na koroziju, dizajnu utora, svjetlom otvoru utora, kritičnim ulaznim brzinama i cijeni. Prva dva faktora ovise o materijalima koji se koriste za proizvodnju sita - koji uključuju čelik, plastiku i stakloplastiku. Sita od običnog čelika podložna su koroziji dok su sita od nehrđajućeg čelika otporna na koroziju, ali su zato i skuplja. Najčešći stupanj nehrđajućeg čelika koji se koristi za sito je tip 304 Američkog instituta za željezo i čelik.

Postoje razne vrste sita, uključujući mostićava sita, V-motana sita, slotirana sita i dr.

Mostićava sita imaju otvore u redovima paralelnim s osi sita. Otvori su izbušeni u stijenci cijevi (ili ravnoj ploči koja se mota u cijev). Mogućnost korištenja ove vrste sita je ograničena u uvjetima kada podzemna voda ima značajnu koncentraciju sitnih čestica. Primjenjuju se uglavnom u zdencima s filtarskim zasipom.

V-motana sita se izrađuju na način da se oko kružno postavljenih uzdužnih šipki namotava hladnolana žica trokutastog profila. Žica se zavaruje na šipke čime se dobiva čvrsta konstrukcija minimalne težine. Veličina otvora ovisi o razmaku navoja kreće se od 0,15 mm do 6 mm. Moguća je izvedba sita različitih veličina otvora duž sita u skladu s stratigrafijom formacije. Ova vrsta sita ima najveći omjer otvorene ulazne površine u odnosu na ukupnu površinu. Jedna od najznačajnijih prednosti ove vrste sita je efikasnije osvajanje zdenaca. Značajna prednost je također smanjenje pada razine vode za vrijeme crpljenja, čime se smanjuju i troškovi eksploatacije.

Slotirana čelična sita se izrađuju urezivanjem uzdužnih proreza u cijevi pilama ili drugim alatom. Mane su im podložnost koroziji, neefikasnost osvajanja i veći troškovi održavanja.

#### **19-04.5 OSVAJANJE I ČIŠĆENJE BUŠOTINA**

Osvajanje zdenaca uobičajeno se izvršava "rutinskim postupkom", koji obuhvaća ispiranje "čistom" vodom te čišćenje otvorenim "air liftom" sa "šutiranjem" i "air liftom" sa sektorskim brtvama. Previđeno vrijeme ispiranja i čišćenja zdenca se definira u Programu vodoistražnih radova.

#### **19-04.6 TESTIRANJE BUŠOTINA**

Testiranje (pokusno crpljenje) uobičajeno se provodi metodom „step-testa“ i „konstant-testa“.

Za provedbu pokusnog crpljenja potrebno je osigurati potopnu crpku odgovarajućeg kapaciteta i visine dizanja te agregat odgovarajuće snage, sukladno Programu vodoistražnih radova.

Pokusno crpljenje potrebno je provesti s više (uobičajeno tri) različitih kapaciteta crpljenja u odgovarajućem trajanju, sukladno Programu vodoistražnih radova. Na temelju rezultata crpljenja u više koraka, određuje se radni kapacitet uronjene crpke i trajanje crpljenja za "konstant-test" - crpljenje stalnim kapacitetom.

Nakon prestanka crpljenja potrebno je pratiti povrat razine podzemne vode do statičke razine koja je bila prije početka pokusnog crpljenja.

Tijekom provedbe pokusnog crpljenja potrebno je mjeriti protoke i pratiti promjene razine podzemne vode na zdencu i po potrebi drugim lokacijama, sukladno Programu vodoistražnih radova.

Mjerenje protoka tijekom crpljenja potrebno je provesti mjeračem protoka ili „blendom“ odgovarajućeg promjera. Mjerenja razine podzemne vode, na svim opažačkim mjestima, moraju se provesti korištenjem automatskih mjerača (loggera), a kontrolna mjerenja na svim objektima ručnim mjeračima podzemne vode s točnošću +/- 1 cm.

Vremenski intervali mjerenja na loggerima uobičajeno su svakih 1 (jednu) minutu, a kontrolna mjerenja ručnim mjeračima je potrebno provesti u standardnim vremenskim intervalima.

Crpljenu vodu tijekom provedbe pokusnog crpljenja treba odvesti privremenim cjevovodom na odgovarajuću udaljenost da ne bi došlo do recirkulacije.

Na kraju pokusnog crpljenja metodom konstant testa ovlaštenu predstavnik ovlaštene ustanove – laboratorija treba uzeti uzorak za kompletnu (nekadašnju C analizu) biološko- fizikalno-kemijsku (BFK) analizu podzemne vode, a analizu napraviti u ovlaštenom laboratoriju.

Pokusnim crpljenjem treba utvrditi Q-H krivulju, sniženje i stalnu dinamičku razinu kod određenog radnog kapaciteta. Na temelju podataka pokusnog crpljenja treba izračunati hidrogeološke parametre vodonosnika, kao i optimalni eksploatacijski kapacitet zdenca.

### 19-04.7 ZAŠTITA I OBILJEŽAVANJE BUŠOTINE

Šljunčanje perforirane i vodoprijemne sekcije zdenaca uobičajeno se izvršava od dna bušotine do dubine 1,0 m iznad gornjeg ruba filtra, duplo pranim kvarcnim separiranim šljunkom odgovarajuće veličine, određene na temelju analize i determinacije nabušenih čestica u vodonosniku, otvora sita i kritičnih ulaznih brzina.

Iznad šljunka, do površine terena, uobičajeno se ugrađuje glineno–bentonitski tampon od kvalitetne opekarske gline pomiješane s bentonitom. Ugradnja glineno-bentonitskog tampona se izvodi tek nakon osvajanja zdenca i eventualno potrebnog dosipavanja šljunčanog zasipa.

Gornji dio tehničke konstrukcije uobičajeno se osigurava betonskim blokom odgovarajućih dimenzija s kapom zdenca.

### 19-04.8 UTJECAJ NA DRUGE VODOZAHVATE

Utjecaj na druge vodozahvate po potrebi se procjenjuje temeljem odgovarajućih hidrogeoloških analiza ili modeliranja koristeći podatke o vodonosniku izvedene iz rezultata testiranja.

### 19-04.9 ZAVRŠNO IZVJEŠĆE O IZVEDBI BUŠOTINE

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj elaborata vodoistražnih radova. Sadržaj elaborata vodoistražnih radova izvedbe istražno-eksploatacijskih/upojnih zdenaca je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-elaborat-izvedba-istreksploatac-upojnih-zdenaca-r-veceg-od-146-mm>)

1. UVOD
2. RJEŠENJE NADLEŽNOG MINISTARSTVA O ISPUNJENJU POSEBNIH UVJETA ZA OBAVLJANJE DJELATNOSTI BUŠENJE ISTRAŽNIH BUŠOTINA I ZDENACA
3. IZRADA ISTRAŽNO-EKSPLOATACIJSKOG/UPOJNOG ZDENCA
  - 3.1. Lokacija istražno-eksploatacijskog/upojnog zdenca (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 3.2. Bušenje istražno-eksploatacijskog/upojnog zdenca
  - 3.3. Zaciepljenje istražno-eksploatacijskog/upojnog zdenca
  - 3.4. Zasipavanje, tamponiranje i osiguranje istražno-eksploatacijskog/upojnog zdenca
  - 3.5. Osvajanje istražno-eksploatacijskog/upojnog zdenca
  - 3.6. Pokusno crpljenje istražno-eksploatacijskog zdenca i ispitivanje upojnosti upojnog zdenca ukoliko se podzemna voda koristi kao izvor za obnovljive izvore energije
  - 3.7. Interpretacija podataka pokusnog crpljenja
  - 3.8. Određivanje optimalne izdašnosti zdenca (određivanje upojnosti zdenca)
4. KAKVOĆA VODE
5. ZAKLJUČAK
6. OBVEZNI PRILOZI:
  - 6.1. Karta mjerila M 1:5000 ili krupnijeg, s lokacijom zdenca na podlozi s ucrtanim katastarskim česticama
  - 6.2. Tehnički profil istražno-eksploatacijskog/upojnog zdenca
  - 6.3. Podatci pokusnog crpljenja i ispitivanja upojnosti (ukoliko se provodi)
  - 6.4. Biološko-kemijska analiza vode
  - 6.5. Atesti ugradbenog materijala

**19-04.10 NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA**

Obračun troškova radova i usluga vrši se sukladno troškovniku koji je sastavni dio ugovora koji su sklopljeni s izvođačima nakon provedenog postupka javne nabave.

## 19-05 ODRŽAVANJE BUŠOTINA (REVITALIZACIJA EKSPLOATACIJSKIH ZDENACA)

### 19-05.1 OPĆE NAPOMENE

#### 19-05.1.1 Starenje zdenaca

Starenje zdenca definira se kao pogoršanje hidrauličkih i/ili konstrukcijskih karakteristika zdenca tijekom eksploatacije. Starenje zdenca uključuje sve procese vezane za pogoršanje materijala zbog pojave korozije te mehanička i kemijska začepljenja otvora filtra.

Starenje se manifestira kao smanjenje specifičnog kapaciteta zdenca, povećanje sniženja razine vode u zdencu, pjeskarenje zdenca, pogoršanje stanja materijala (korozija) ili kolaps (urušavanje).

Kod zdenaca se tijekom eksploatacije može pojaviti pet glavnih problema:

1. smanjenje kapaciteta zdenca, uobičajeno uslijed stvaranja kemijskih inkrustacija ili biofilma na filtru i okolnom dijelu vodonosnika
2. začepljenje vodonosnika oko zdenca sitnim česticama (mehanička kolmacija)
3. pjeskarenje zdenca, do čega može doći zbog neadekvatnog projekta ili izvedbe zdenca. Korozija filtra ili punih cijevi može prouzročiti veće brzine toka vode kroz ostale površine filtra. Zrnca pijeska nošena tim većim brzinama mogu erodirati i povećati otvore na filtru te tako omogućiti ulaz u zdenac i većim česticama
4. strukturni kolaps zacjepljenja ili filtra, koji se javlja zbog vode s niskim pH (kisele vode), koja sadrži veliku koncentraciju ukupno otopljenih tvari i ugljičnog dioksida, što uzrokuje elektrolitičku koroziju dijela zacjepljenja koje se nalazi ispod razine vode.

#### 19-05.1.2 Revitalizacija zdenaca

Revitalizacija zdenca podrazumijeva sve postupke kojima je cilj poboljšanje hidrauličkih svojstava zdenca, čija su svojstva narušena starenjem. Općenito obuhvaća tri koraka:

- odvajanje inkrustata i čestica s pune cijevi, filtra i taložnika
- uklanjanje odvojenih inkrustata i čestica iz zdenca
- nadgledanje postupka revitalizacije i mjerenje rezultata.

Nužnost revitalizacije ovisi o programu održavanja i njegovom provođenju.

Hidrauličko stanje zdenca utvrđuje se provođenjem pokusnog crpljenja, a stanje konstrukcije zdenca snimanjem podvodnom kamerom. Kod toga je poželjno imati podatke o step testu provedenom nakon izrade zdenca na temelju čega se dobiva uvid u početno stanje. Uspoređivanjem podataka dobiva se slika o trenutnom stanju zdenca.

### 19-05.2 PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj programa vodoistražnih radova. Sadržaj programa vodoistražnih radova revitalizacije eksploatacijskih zdenaca je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-prograd-revitalizacija-eksploatacijskih-zdenaca>)

1. UVOD
2. POSTOJEĆI PODATCI O IZVEDBI I ISPITIVANJU ZDENCA
3. TEHNIČKI UVJETI IZVOĐENJA RADOVA
  - 3.1. Lokacija zdenca (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 3.2. Metoda revitalizacije
  - 3.3. Snimanje postojećeg stanja podvodnom kamerom

- 3.4. Pokusno crpljenje prije revitalizacije zdenca
- 3.5. Program revitalizacije s dinamikom izvođenja
- 3.6. Snimanje zdenca podvodnom kamerom nakon provedbe revitalizacije
- 3.7. Pokusno crpljenje nakon provedbe revitalizacije zdenca
- 3.8. Obrada rezultata pokusnog crpljenja i utvrđivanje efekata revitalizacije
4. IZVJEŠTAJ O IZVEDENIM RADOVIMA (sadržaj izvještaja i broj primjeraka)
5. POSEBNI UVJETI IZVEDBE
6. ROK IZVOĐENJA RADOVA
7. SPECIFIKACIJA RADOVA I TROŠKOVNIK (bez jediničnih cijena)
8. OBVEZNI PRILOZI:
  - 8.1. Karta s lokacijom bušotine u mjerilu M 1:5000, ili krupnijeg, s lokacijom zdenca
  - 8.2. Tehnički profil zdenca (ako postoji)

### 19-05.3 SNIMANJE, ČIŠĆENJE I REVITALIZACIJA ZDENCA

Osnovni proces rehabilitacije trebao bi se sastojati od sljedećih glavnih faza ovim redoslijedom:

- prikupljanje informacija o projektu bušotine i rezultatima testiranja
- snimanje zdenca podvodnom kamerom prije rehabilitacije
- testiranje (pokusno crpljenje) prije rehabilitacije
- identifikacija problema
- čišćenje filtra
- razbijanje i uklanjanje inkrustacija
- čišćenje nanosa i taloga
- dezinfekcija bušotine
- snimanje zdenca podvodnom kamerom nakon rehabilitacije
- testiranje (pokusno crpljenje) nakon rehabilitacije.

#### Čišćenje zaslona

Filtri se mogu čistiti rotirajućom žičanom četkom ili grebačem, ali su možda oslabljeni korozijom pa treba paziti da se njihovo stanje ne pogorša. Metode sanacije bušotina slične su onima koje se koriste u izradi, osim što se inkrustacije moraju razbiti i ukloniti.

Postoje razne metode razbijanja i uklanjanja inkrustacija. Odabir metode ovisi o svojstvima bušotini i problemu koji treba riješiti. Generalno, postoje fizikalne, kemijske i fizikalno-kemijske metode. Neke su od češće korištenih metoda, koje su ukratko opisane u nastavku, ispiranje vodom, air-burst tehnologija i acidizacija.

#### a. Ispiranje vodom

Ako se provodi sustavno, ispiranje mlazom vode pod visokim tlakom može biti učinkovito sredstvo za odčepljenje i čišćenje unutarnjih površina bušotine. Potrebna je mlaznica za mlaz na kraju duljine visokotlačnog crijeva za vodu. Uobičajeni potrebni izlazni tlak mlaznice od 4 do 5 cm, smještene oko 3 cm od filtra, iznosi 17 000 kPa. U nezacijevljenim bušotinama, granica tlaka mlaza je oko 40 000 kPa. Kako bi se izbjegla oštećenja plastičnih filtra, treba izbjegavati tlakove veće od 20 000 kPa jer bi moglo doći do oštećenja materijala. Čelične cijevi mogu izdržati tlakove do najmanje 55 000 kPa, a filtri koji najbolje reagiraju na obradu mlazom su oni s velikim otvorenim površinama i neprekidnim prorezima.

#### b. Air-burst tehnologija

Air-burst tehnologija relativno je nova metoda sanacija bušotina koja podrazumijeva korištenje malih količina inertnog plina za generiranje 'tlačnih impulsa' visokog intenziteta u odabranim zonama unutar bušotine. Impulsi, iz posebnog alata, stvaraju mjehuriće plina i visokofrekventne

akustične udare koji razbijaju mineralne i organske filmove i inkrustacije na zidovima i filtrima bušotine. Plinski mjehurići potiskuju vodu u i iz formacije koja se nalazi uz alat istiskujući sediment, ostatke inkrustacije i fragmente biofilma, koji se ispiru u bušotinu, a kasnije se mogu očistiti konvencionalnim *air-lift* postupkom.

#### c. Acidizacija

Acidizacijom je moguće ukloniti karbonatne inkrustacije i naslage željeznog hidroksida u ranoj necementiranoj fazi. U ovom postupku 30% otopina sulfaminske kiseline na volumen prosijanog ili otvorenog dijela koji se čisti, može se koristiti 15 do 24 sata, s tim da se voda u bušotini periodično miješa zrakom koji se upuhuje.

#### Čišćenje nanosa i taloga

Čišćenje nanosa i taloga uobičajeno se provodi konvencionalnom *air-lift* metodom.

#### Dezinfekcija

Bušotine zahvaćene inkrustacijom treba dezinficirati kloriranjem između pumpanja za čišćenje i testiranja metodom „step-testa“, kako bi se uništile prisutne bakterije i odgodila ponovna infekcija bušotine. Zrnati HTH klor može se otopiti i dodati tako da ostane oko 50 miligrama po litri zaostalog slobodnog klora u vodi iz bušotine. Miješanje otopine u bušotini može se obaviti puhanjem zračnom cijevi koja se koristi za *air-lift* pumpanje. Koncentraciju treba pratiti pomoću kompleta za ispitivanje vode.

### **19-05.4 TESTIRANJE ZDENCA**

Testiranje (pokusno crpljenje) zdenca provodi se prije i nakon revitalizacije. Pokusno crpljenje se uobičajeno provodi metodom „step-testa“ i „konstant-testa“.

Za provedbu pokusnog crpljenja potrebno je osigurati potopnu crpku odgovarajućeg kapaciteta i visine dizanja te agregat odgovarajuće snage, sukladno Programu vodoistražnih radova.

Pokusno crpljenje potrebno je provesti s više (uobičajeno tri) različitih kapaciteta crpljenja u odgovarajućem trajanju, sukladno Programu vodoistražnih radova. Na temelju rezultata crpljenja u više koraka, odredit će se radni kapacitet uronjene crpke i trajanje crpljenja za "konstant-test" - crpljenje stalnim kapacitetom.

Nakon prestanka crpljenja potrebno je pratiti povrat razine podzemne vode do statičke razine koja je bila prije početka pokusnog crpljenja.

Tijekom provedbe pokusnog crpljenja potrebno je mjeriti protoke i pratiti promjene razine podzemne vode na zdencu i po potrebi drugim lokacijama, sukladno Programu vodoistražnih radova.

Mjerenje protoka tijekom crpljenja potrebno je provesti mjeračem protoka ili „blendom“ odgovarajućeg promjera. Mjerenja razine podzemne vode, na svim opažajkim mjestima, moraju se provesti korištenjem automatskih mjerača (loggera), a kontrolna mjerenja na svim objektima ručnim mjeračima podzemne vode s točnošću +/- 1 cm.

Vremenski intervali mjerenja na loggerima moraju biti svakih 1 (jednu) minutu, a kontrolna mjerenja ručnim mjeračima potrebno je provesti u standardnim vremenskim intervalima.

Crpljenu vodu tijekom provedbe pokusnog crpljenja treba odvesti privremenim cjevovodom na odgovarajuću udaljenost da ne bi došlo do recirkulacije.

Pokusnim crpljenjem treba utvrditi Q-H krivulju, sniženje i stalnu dinamičku razinu kod određenog radnog kapaciteta. Na temelju podataka pokusnog crpljenja treba izračunati hidrogeološke parametre vodonosnika i parametre zdenca.

### **19-05.5 ZAVRŠNO IZVJEŠĆE**

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj elaborata vodoistražnih radova. Sadržaj elaborata vodoistražnih radova

revitalizacije eksploatacijskih zdenaca je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-elaborat-revitalizacija-eksploatacijskih-zdenaca>)

1. UVOD
2. REVITALIZACIJA ZDENCA
  - 2.1. Lokacija zdenca (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 2.2. Snimanje postojećeg stanja podvodnom kamerom
  - 2.3. Pokusno crpljenje prije revitalizacije zdenca
  - 2.4. Izvedeni radovi tijekom revitalizacije zdenca
  - 2.5. Snimanje zdenca podvodnom kamerom nakon provedbe revitalizacije
  - 2.6. Pokusno crpljenje nakon provedbe revitalizacije zdenca
  - 2.7. Obrada rezultata pokusnog crpljenja i utvrđivanje efekata revitalizacije
3. ZAKLJUČAK
4. OBAVEZNI PRILOZI:
  - 4.1. Karta s lokacijom bušotine u mjerilu M 1:5000, ili krupnijeg s lokacijom zdenca
  - 4.2. Tehnički profil zdenca (ako postoji)
  - 4.3. Podatci pokusnog crpljenja prije i nakon revitalizacije zdenca

#### **19-05.6 NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA**

Obračun troškova radova i usluga vrši se sukladno troškovniku koji je sastavni dio ugovora koji su sklopljeni s izvođačima nakon provedenog postupka javne nabave.



## 19-06 TRAJNO NAPUŠTANJE BUŠOTINA

### 19-06.1 OPĆE NAPOMENE

Nezatvorene napuštene bušotine i bunari predstavljaju opasnost za javno zdravlje, sigurnost, dobrobit i očuvanje resursa podzemne vode. Brtvljenje takvih bušotina predstavlja niz problema, čiji karakter ovisi o konstrukciji bušotine, geološkim formacijama i hidrološkim uvjetima. Da bi se napuštena bušotina pravilno zatvorila, mora se postići: (1) uklanjanje fizičke opasnosti; (2) sprječavanje onečišćenja podzemnih voda; (3) očuvanje izdašnosti i održavanje piezometarske visine vodonosnika i (4) sprječavanje miješanja voda.

Osnovni koncept koji diktira pravilno zatvaranje napuštenih bušotina je obnova, koliko je to izvedivo, geohidroloških uvjeta koji su postojali prije bušenja i izgradnje bušotine, jer bi nepropisno napuštena bušotina mogla poslužiti kao nekontrolirano mjesto invazije kontaminirane vode. Svaki bunar koji treba trajno napustiti, treba biti u potpunosti ispunjen na način da se učinkovito i trajno spriječi vertikalno kretanje vode unutar bušotine uključujući okomito kretanje vode unutar prstenastog prostora koji okružuje kućište bušotine.

Za pravilno zatvaranje napuštenog bunara potrebno je uzeti u obzir karakteristike podzemne vode. Ako se podzemna voda javlja u vodonepropusnim uvjetima, glavni problem je brtvljenje bunara nepropusnim materijalom kako bi se spriječilo prodiranje površinske vode kroz izvorni otvor bunara, ili duž vanjske strane kućišta, do podzemne vode. Ako se podzemna voda javlja u arteškim uvjetima, operacija brtvljenja mora ograničiti vodu na vodonosnik u kojem se događa, čime se sprječava gubitak tlaka, u formaciju koja ne sadrži vodu ili na formaciju koja sadrži vodu ispod nižeg vrha od onog u vodonosniku koji treba zapečatiti.

### 19-06.2 PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj programa vodoistražnih radova. Sadržaj programa vodoistražnih radova trajnog napuštanja bušotina je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-prograd-trajno-napustanje-busotine>)

1. UVOD
2. POSTOJEĆI PODATCI O IZVEDBI I ISPITIVANJU BUŠOTINE
3. TEHNIČKI UVJETI IZVOĐENJA RADOVA
  - 3.1. Lokacija bušotine (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 3.2. Odabir materijala i način zapunjavanja bušotine
  - 3.3. Sanacija ušća bušotine
  - 3.4. Dovođenje lokacije u prvobitno stanje
4. IZVJEŠTAJ O IZVEDENIM RADOVIMA (sadržaj izvještaja i broj primjeraka)
5. POSEBNI UVJETI IZVEDBE
6. ROK IZVOĐENJA RADOVA
7. SPECIFIKACIJA RADOVA I TROŠKOVNIK (bez jediničnih cijena)
8. OBAVEZNI PRILOZI:
  - 8.1. Karta s lokacijom bušotine u mjerilu M 1:5000 ili krupnijeg

### 19-06.3 IZVEDBA ZATVARANJA BUŠOTINA

#### BRTVLJENJE

Kako bi se smanjili troškovi nepotrebnog zatrpavanja dugih dijelova bušotine, često je poželjno postaviti privremeni čep u bušotini na koji se može postaviti trajni čep na bazi cementa. Ni u

privremenom ni trajnom čepu ne smiju se koristiti nikakvi organski materijali, osim što su prihvatljivi posebno proizvedeni uređaji kao što su alati za cementno čepljenje u kojima se koristi neoprenska guma ili plastika, koji uvelike olakšavaju rad. Neki od ovih uređaja dopuštaju postavljanje trajnog čepa bez prethodnog postavljanja privremenog.

Poseban problem predstavlja protočna arteška bušotina s nepropisno zatvorenom oblogom i s vodom koja izlazi oko vanjske strane obloge ili na površinu ili u drugu formaciju. Neophodan prvi korak u dovođenju protoka pod kontrolu uspostavljanje je trajne cementne brtve između kućišta i točke ili točaka iz kojih voda izlazi.

Za učinkovito postavljanje ove brtve potrebno je zaustaviti protok i spustiti razinu vode u bušotini. To se može postići na nekoliko načina: (1) pumpanje vode u bušotinu, čime se proizvodi potrebno povlačenje; (2) crpljenje obližnjih bunara koje proizvodi isti učinak i (3) uvođenje tekućina visoke specifične težine na dno bušotine i punjenje rupe tekućinom dok sav protok ne prestane. Metoda ili metode koje se koriste, ovisit će dijelom o tlaku u bunaru i dubini na koju se razina vode mora spustiti.

Kretanje vode može biti dovoljno da brtvljenje običnim materijalima i uobičajenim metodama učini nepraktičnim. U takvim bušotinama treba koristiti velike kamene agregate (ne više od 1/3 promjera rupe),

### VRSTE BRTVI

Tri osnovne vrste brtvi, koje se razlikuju po svojim funkcijama, mogu se koristiti za ispravno napuštanje bušotina. Oni su:

1. trajna brtva - najdublja cementna brtva koja se postavlja u bušotinu, koja ima dvije svrhe: tvori trajni čep ispod kojeg može ostati znatna nepopunjena rupa i na koji se materijal za punjenje može sigurno odložiti i zatvara gornje vodonosnike od svih vodonosnika koji mogu postojati ispod točke brtvljenja.
2. međubrta - ova brtva se postavlja između vodonosnih formacija koje imaju, ili se vjeruje da imaju, različite piezometarske visine. Njezina je funkcija spriječiti prijenos vode između vodonosnika.
3. brtva na najgornjem vodonosniku - ova brtva se postavlja neposredno iznad najvišeg vodonosnika kroz koju probija bušotina. Njezina je funkcija zatvaranje vode s površine i iz plićih formacija.

Metode i materijale treba odabrati tek nakon detaljnog proučavanja kako konstrukcije tako i geohidrologije. Izbor materijala i postupaka trebao bi biti onaj koji pruža najveću vjerojatnost za uspješno brtvljenje.

### DEZINFEKCIJA

Vodonosnici se popunjavaju dezinficiranim, dimenzijski stabilnim materijalima, i po potrebi, mehanički zbijaju kako bi se izbjeglo kasnije slijeganje (cement, cement i pijesak i beton ne zahtijevaju dezinfekciju).

Dezinfekcija materijala za punjenje vodonosnika mora se postići upotrebom spojeva klora kao što su natrijev hipoklorit ili kalcijev hipoklorit. Materijali za punjenje vodonosnika moraju biti čisti (relativno bez gline i organskih materijala) prije postavljanja u bunar. Dezinfekcija se mora postići otapanjem dovoljnog spoja klora da se dobije izračunata koncentracija od najmanje 100 ppm raspoloživog klora u dvostrukom volumenu vode u bunaru. Materijal za punjenje stavlja se u bunar nakon što se voda u bušotini tako tretira.

### TRAJNI ČEPOVI

Mogu se koristiti trajni čepovi kako bi se izbjeglo popunjavanje vrlo dubokih rupa ispod najdublje točke na kojoj je potrebno trajno brtvljenje. Trajni čepovi moraju biti sastavljeni samo od cementa ili minerala koji sadrže cement. Privremeni čepovi, koji se koriste kao podloga za trajni čep, sastoje se samo od anorganskih materijal, osim što su prihvatljivi uređaji koji sadrže ekspanzirani neopren, plastiku i druge elastomere, a posebno dizajnirani za upotrebu u izgradnji bunara.

### INJEKTIRANJE

Beton, pješčano-cementna žbuka ili cementna žbuka koja se koristi kao materijal za brtvljenje u operacijama napuštanja, mora se uvesti na dno bušotine ili intervala koji se zabrtvi (ili napuni) i postavlja postupno prema gore prema vrhu bunara. Svi takvi materijali za brtvljenje postavljaju se korištenjem cijevi za injektiranje na način da se izbjegne segregacija ili razrjeđivanje materijala za brtvljenje.

Brtve namijenjene sprječavanju vertikalnog pomicanja vode u bušotini moraju se sastojati od cementa, pijeska i cementa ili betona, osim ako se takve brtve moraju postaviti unutar kućišta ili košuljica, smije se koristiti samo čista cementna žbuka. Cementne brtve se postavljaju pumpanjem kroz ispusnu cijev ili korištenjem bajlera, pri čemu ispunjavanje počinje odozdo i nastavlja se prema gore. Uobičajena duljina cementne brtve, gdje god to dimenzije dopuštaju, mora biti minimalno 3 m.

Međubrtve od cementa, pijeska i cementa ili betona postavljaju se u nepropusne slojeve između vodonosnika za koje se može identificirati ili se sumnja da su hidraulički odvojeni u prirodnim, neometanim uvjetima. Nakon što je postavljena potrebna cementna brtva, ostatak nepropusne zone mora se ispuniti pijeskom, pijeskom i šljunkom ili mineralnim materijalom koji sadrži cement.

Brtva na najgornjem vodonosniku. Brtva od cementa, pijeska i cementa ili betona mora se postaviti u najmanje propusnu zonu neposredno iznad najviše zone za proizvodnju vode.

Brtve smještene unutar kućišta, obloga, filtra itd. Brtve koje se moraju postaviti u kućište, obloge ili filtre zahtijevaju posebnu pozornost. Materijal između bušotine i čeone strane bušotine mora biti temeljito perforiran, rastrgan ili na drugi način dezintegriran kao nužni prvi korak. Samo čisti cement ili čisti cement s najviše 5 posto mase obrađene bentonitne gline koristi se kao brtva.

Izračunata količina materijala potrebna za popunjavanje intervala bunara plus prstenasti prostor izvan obloge stavlja se unutar prostora koji se cementira, provlačeći cement kroz poseban cement. paker proizveden za tu namjenu i postavljen neposredno iznad perforirane zone. Cement se ubrizgava pod tlakom većim od normalnog hidrostatskog tlaka unutar bušotine na mjestu ubrizgavanja.

### ZAPUNJAVANJE

Neproizvodne zone iznad vodonosnika moraju biti ispunjene stabilnim materijalima kao što su pijesak, pijesak i šljunak, cement, cement i pijesak ili beton. Neproizvodne zone iznad najgornje brtve vodonosnika moraju biti ispunjene materijalima manje propusnim od okolnih neporemećenih formacija. Gornji sloj se mora ispuniti materijalom koji odgovara namjeni zemljišta.

### SANACIJA UŠĆA BUŠOTINE

Nakon završenih radova na trajnom napuštanju bušotine, provodi se sanacija ušća bušotine, što obuhvaća demontažu ušća bušotine uz odrezivanje zaštitnih cijevi na odgovarajućoj dubini (uobičajeno najmanje 1,5 m) ispod razine okolnog zemljišta i zavarivanje pokrovne prirubnice.

### DOVOĐENJE LOKACIJE U PRVOBITNO STANJE

Nakon završenih radova na trajnom napuštanju i sanaciji ušća bušotine, potrebno je dovesti lokaciju u prvobitno stanje uključujući uklanjanje sve opreme, uklanjanje i zbrinjavanje otpada, poravnavanje zemljišta i sađenje vegetacije koja je bila prisutna u prvobitnom stanju.

Uobičajeno se izvođač radova obvezuje troškovnikom radova za uspostavu prvobitnog stanja a isto prati nadzor nad izvođenjem radova.

## **19-06.4 ZAVRŠNO IZVJEŠĆE**

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj elaborata vodoistražnih radova. Sadržaj elaborata vodoistražnih radova trajnog napuštanja bušotina je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-elaborat-trajno-napustanje-busotine>)

1. UVOD
2. NAPUŠTANJE BUŠOTINE
  - 2.1. Lokacija bušotine (koordinate u HTRS96/TM projekciji)
  - 2.2. Odabir materijala i način zapunjavanja bušotine
  - 2.3. Sanacija ušća bušotine
  - 2.4. Dovođenje lokacije u prvobitno stanje
3. ZAKLJUČAK
4. OBAVEZNI PRILOZI:
  - 4.1. Karta s lokacijom bušotine u mjerilu M 1:5000, ili krupnijeg, s lokacijom bušotine
  - 4.2. Tehnički profil bušotine s prikazom izvedenih radova
  - 4.3. Fotodokumentacija po fazama izvedbe

### **19-06.5 NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA**

Obračun troškova radova i usluga vrši se sukladno troškovniku koji je sastavni dio ugovora koji su sklopljeni s izvođačima nakon provedenog postupka javne nabave.

## 19-07 MIKROZONIRANJE

### 19-07.1 OPĆE NAPOMENE

Mikrozoniranje se provodi u dvije osnovne svrhe: (1) određivanja mogućnosti izrade novog vodozahvata i (2) određivanja mogućnosti gradnje novih objekata. U oba slučaja potrebno je provesti opsežne vodoistražne radove uključujući izradu detaljne hidrogeološke karte, određivanje hidrogeoloških karakteristika podzemlja i određivanje utjecaja na zone sanitarne zaštite.

Za potrebe određivanja mogućnosti izrade novog vodozahvata naglasak vodoistražnih radova je na pokusnom crpljenju i određivanju kapaciteta i utjecaja novog vodozahvata. Za potrebe određivanja mogućnosti gradnje novih objekata naglasak je na istraživanju pokrovnih naslaga. Za vodoistražne radove hidrogeoloških istraživanja, geofizičkih istraživanja i istražnih bušenja koriste se metode prikazane u prethodnim poglavljima. Za vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernožnom poroznošću dodatno se provode istražni radovi trasiranja, koji se provode po posebnim programima i pod posebnim uvjetima koji se neće obrađivati u sklopu ovih Općih tehničkih uvjeta.

### 19-07.2 PROGRAM VODOISTRAŽNIH RADOVA

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj programa vodoistražnih radova. Sadržaj programa vodoistražnih radova mikrozoniranja je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-prograd-mikrozoniranje>)

1. UVOD
2. CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA
3. PROGRAM DETALJNIH ISTRAŽIVANJA
4. ELABORAT MIKROZONIRANJA
5. POSEBNI UVJETI IZVEDBE
6. ROK IZVOĐENJA RADOVA
7. SPECIFIKACIJA RADOVA I TROŠKOVNIK
8. OBAVEZNI PRILOZI
  - 8.1. Karta s lokacijom mikrozone, zaštitnih zona izvorišta i predviđenih mjesta opažanja u prikladnom mjerilu
  - 8.2. Rješenje nadležnog ministarstva o ispunjenju posebnih uvjeta za obavljanje djelatnosti hidrogeoloških istraživanja

Programi detaljnih istraživanja razlikuju se za vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernožnom poroznošću i za vodonosnike s međuzrnskom poroznošću.

Za vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernožnom poroznošću program detaljnih istraživanja obuhvaća:

1. izrada detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije mjerila M 1:5.000
2. odabir mjesta za upuštanje trasera u podzemlje
3. ispitivanje upojnosti jame/pukotinske zone/bušotine
4. utvrđivanje hidroloških uvjeta za provedbu trasiranja
5. određivanje vrste i količine trasera
6. program provedbe trasiranja, određivanje mjesta uzorkovanja, definiranje dinamike i trajanja uzorkovanja
7. obrada rezultata trasiranja i određivanje kojoj zoni sanitarne zaštite pripada istraživana mikrolokacija.

Za vodonosnike s međuzrnskom poroznošću, program detaljnih istraživanja za mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti gradnje novih objekata obuhvaća:

1. izrada detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije mjerila M 1:5.000
2. utvrđivanje debljine pokrovnih naslaga (geofizička istraživanja, istražno bušenje)
3. određivanje hidrogeoloških karakteristika pokrovnih naslaga
4. određivanje brzine vertikalnog toka vode kroz pokrovne naslage
5. određivanje kojoj zoni sanitarne zaštite pripada istraživana mikrolokacija.

Za vodonosnike s međuzrnskom poroznosti, program detaljnih istraživanja za mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti izrade novog vodozahvata obuhvaća:

1. izrada detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije mjerila M 1:5.000
2. pokusno crpljenje potencijalnog novog vodozahvata
3. određivanje hidrogeoloških karakteristika vodonosnika i novog zdenca, te utvrđivanje radiusa utjecaja novog vodozahvata
4. utvrđivanje utjecaja novog vodozahvata na izvorište za koje su proglašene zaštitne zone
5. definiranje mogućnosti formiranja novog vodozahvata i maksimalno mogućeg kapaciteta crpljenja na novom vodozahvatu.

### 19-07.3 PROVEDBA MIKROZONIRANJA

Mikrozoniranje se provodi u skladu s Programom vodoistražnih radova definiranim u prethodnom potpoglavlju. Detaljna istraživanja provode se u skladu s programom ovisno o tipu vodonosnika i ovisno o svrsi istraživanja (mogućnost gradnje novih objekata ili mogućnost izrade novog vodozahvata). Za vodoistražne radove hidrogeoloških istraživanja, geofizičkih istraživanja i istražnih bušenja koriste se metode prikazane u prethodnim poglavljima. Za analize rezultata i zaključke istraživanja koriste se odgovarajuće hidrogeološke analize i/ili modeli temeljeni na znanstveno-stručnoj literaturi.

### 19-07.4 ZAVRŠNO IZVJEŠĆE

Hrvatske vode temeljem Članka 55. Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (NN:9/20) donose, između ostalog, sadržaj elaborata o provedenim vodoistražnim radovima.

Sadržaj elaborata o provedenim vodoistražnim radovima mikrozoniranja je kako slijedi: (<https://www.voda.hr/hr/vr-elaborat-mikrozoniranja>)

1. UVOD
2. RJEŠENJE NADLEŽNOG MINISTARSTVA O ISPUNJENJU POSEBNIH UVJETA ZA OBAVLJANJE DJELATNOSTI HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA
3. CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA
4. DETALJNA HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
5. ZAKLJUČAK
6. OBVEZNI PRILOZI

Sadržaj Poglavlja 4. 'Detaljna hidrogeološka istraživanja' razlikuje se za vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti i za vodonosnike s međuzrnskom poroznosti.

Za vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti, sadržaj poglavlja obuhvaća:

1. izrada detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije
2. odabir mjesta za upuštanje trasera u podzemlje
3. ispitivanje upojnosti jame/pukotinske zone/bušotine
4. utvrđivanje hidroloških uvjeta za provedbu trasiranja
5. određivanje vrste i količine trasera
6. trasiranje tokova podzemne vode

7. obrada rezultata trasiranja i određivanje kojoj zoni sanitarne zaštite pripada istraživana mikrolokacija.

Za vodonosnike s međuzrnskom poroznosti sadržaj poglavlja razlikuje se za mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti gradnje novih objekata i za mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti izrade novog vodozahvata.

Sadržaj poglavlja za mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti gradnje novih objekata obuhvaća:

1. izrada detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije mjerila M 1:5.000
2. utvrđivanje debljine pokrovnih naslaga (geofizička istraživanja, istražno bušenje)
3. određivanje hidrogeoloških karakteristika pokrovnih naslaga
4. određivanje brzine vertikalnog toka vode kroz pokrovne naslage
5. određivanje kojoj zoni sanitarne zaštite pripada istraživana mikrolokacija.

Sadržaj poglavlja za mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti izrade novog vodozahvata obuhvaća:

1. izrada detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije mjerila M 1:5.000
2. pokusno crpljenje potencijalnog novog vodozahvata
3. određivanje hidrogeoloških karakteristika vodonosnika i novog zdenca, te utvrđivanje radiusa utjecaja novog vodozahvata
4. utvrđivanje utjecaja novog vodozahvata na izvorište za koje su proglašene zaštitne zone
5. definiranje mogućnosti formiranja novog vodozahvata i maksimalno mogućeg kapaciteta crpljenja na novom vodozahvatu.

Obvezni prilozi se sastoje od slijedećeg:

1. karta s lokacijom mikrozone, zona sanitarne zaštite izvorišta, svih mjesta opažanja i utvrđenih smjerova toka podzemne vode u prikladnom mjerilu\*
2. detaljna hidrogeološka karta mikrolokacije s lokacijom mjesta upuštanja trasera u mjerilu M 1:5.000\*
3. fotodokumentacija postupka upuštanja trasera u podzemlje\*
4. tablični prikaz podataka svih analiza s prikazom koncentracija trasera\*
5. detaljna hidrogeološka karta mikrolokacije u mjerilu M 1:5.000\*\*
6. prikaz utvrđivanja debljine pokrovnih naslaga (geofizička istraživanja, istražno bušenje)\*\*
7. podaci geomehaničkih ispitivanja karakteristika pokrovnih naslaga\*\*
8. tehnički profil novog zdenca/zdenaca\*\*
9. podaci crpljenja potencijalnog novog vodozahvata\*\*

\* za vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti

\*\* za vodonosnike s međuzrnskom poroznosti

## 19-07.5 NAČIN OBRAČUNA RADOVA I USLUGA

Obračun troškova radova i usluga vrši se sukladno troškovniku koji je sastavni dio ugovora koji su sklopljeni s izvođačima nakon provedenog postupka javne nabave.

## 19-08 ZAKONI, PROPISI I NORME

### 19-08.1 Zakoni i propisi

1. Zakon o vodama (NN 66/19, 84/21)
2. Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodoistražnih radova i drugih hidrogeoloških usluga, poslova preventivne obrane od poplava te poslova i mjera redovite i izvanredne obrane od poplava te održavanja građevina za melioracijsku odvodnju i građevina za navodnjavanje (NN 26/20)
3. Pravilnik o izdavanju vodopravnih akata (NN 9/20)

### 19-08.2 Norme

HRN EN ISO 14688-1:2018	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Identifikacija i klasifikacija tla -- 1. dio: Identifikacija i opis (ISO 14688-1:2017; EN ISO 14688-1:2018)
HRN EN ISO 14688-2:2018	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Identifikacija i klasifikacija tla -- 2. dio: Načela klasifikacije (ISO 14688-2:2017; EN ISO 14688-2:2018)
HRN EN ISO 14689:2018	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Identifikacija, opis i klasifikacija stijene (ISO 14689:2017; EN ISO 14689:2018)
HRN EN ISO 17892-4:2016	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 4. dio: Određivanje granulometrijskog sastava (ISO 17892-4:2016; EN ISO 17892-4:2016)
HRN EN ISO 17892-11:2019	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 11. dio: Ispitivanja propusnosti (ISO 17892-11:2019; EN ISO 17892-11:2019)
HRN EN ISO 18674-1:2015	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geotehničko opažanje terenskom mjernom opremom -- Opća pravila (ISO 18674-1:2015; EN ISO 18674-1:2015)
HRN EN ISO 22282-1:2012	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geohidrauličko ispitivanje -- 1. dio: Opća pravila (ISO 22282-1:2012; EN ISO 22282-1:2012)
HRN EN ISO 22282-2:2012	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geohidrauličko ispitivanje -- 2. dio: Ispitivanje vodopropusnosti u bušotini otvorenim sustavom (ISO 22282-2:2012; EN ISO 22282-2:2012)
HRN EN ISO 22282-3:2012	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geohidrauličko ispitivanje -- 3. dio: Ispitivanje vodopropusnosti stijenske mase tlakom vode u bušotini (ISO 22282-3:2012; EN ISO 22282-3:2012)
HRN EN ISO 22282-4:2021	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geohidrauličko ispitivanje -- 4. dio: Ispitivanje crpenjem vode (ISO 22282-4:2021; EN ISO 22282-4:2021)
HRN EN ISO 22282-5:2012	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geohidrauličko ispitivanje -- 5. dio: Infiltrometrijsko ispitivanje (ISO 22282-5:2012; EN ISO 22282-5:2012)
HRN EN ISO 22282-6:2012	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Geohidrauličko ispitivanje -- 6. dio: Ispitivanje vodopropusnosti u bušotini zatvorenim sustavom (ISO 22282-6:2012; EN ISO 22282-6:2012)
HRN EN ISO 22475-1:2021	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Metode uzorkovanja i mjerenja podzemne vode -- 1. dio: Tehnička načela za uzorkovanje tla, stijena i podzemne vode (ISO 22475-1:2021; EN ISO 22475-1:2021)
HRS CEN ISO/TS 22475-3:2012	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Metode uzorkovanja i mjerenja razine podzemne vode -- 3. dio: Neovisna ocjena sukladnosti organizacije i osoblja (ISO/TS 22475-3:2007; CEN ISO/TS 22475-3:2007)



HRN EN ISO 22476-15:2016	Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Terensko ispitivanje -- 15. dio: Mjerenje tijekom bušenja (ISO 22476-15:2016; EN ISO 22476-15:2016)
ASTM D2487	Standardna praksa za klasifikaciju tla za inženjerske svrhe (jedinstveni sustav klasifikacije tla - USCS)
ISO 3551-1	Rotary core diamond drilling equipment- System A Part 1 Metric unit
ISO 3552-1	Rotary core diamond drilling equipment- System B Part 1 Metric unit

---

**Poveznica:**

Više informacija o EU fondovima možete pronaći na stranici Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova  
Europske unije: **[www.strukturnifondovi.hr](http://www.strukturnifondovi.hr)**

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost Hrvatskih voda