

# Konstrukcije proizvodnih geotermalnih bušotina u Hrvatskoj

## Construction of geothermal production wells in Croatia

mr. sc. Slobodan Kolbah  
HUNIG, Zagreb  
skolbah@gmail.com

Ivica Elezović, dipl. ing.  
HUNIG, Zagreb  
ivica.elezovic@gmail.com

Mladen Škrlec, dipl. ing.  
HUNIG, Zagreb  
mladen.skrlec@gmail.com



**Ključne riječi:** konstrukcija geotermalnih bušotina, korištenje geotermalne energije, Hrvatska

**Key words:** geothermal well construction, geothermal energy use, Croatia

### Sažetak

Za korištenje geotermalne energije u Republici Hrvatskoj od brojnih indiciranih objekata u članku se razmatraju četiri koja imaju Rješenja o utvrđivanju eksploatacijskog polja: Velika Ciglena, Draškovec, Zagreb i Bizovac.

Početak razvoja energetskih geotermalnih projekata u Hrvatskoj, datira od sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a bio je vezan uz aktivnosti INA d.d. na istraživanju i proizvodnji ležišta nafte i plina, a i na istraživanju i privođenu korištenja geotermalnih ležišta. U novije vrijeme, pozitivna svjetska iskustva i prepoznavanje našeg potencijala, doveli su strane investitore i oživjela porast zanimanja za privođenju korištenja geotermalne energije. Naša i svjetska iskustva posebno su se odrazila na pozitivno profiliranje projektiranja konstrukcija potrebnih dubokih bušotina.

Ovim radom želi se prikazati tehnička rješenja za zadovoljavanje kritičnih geološko- rezervoar- inženjerskih značajki i zahtjeva pojedinih geotermalnih ležišta te uvjeta pouzdanog i za okoliš prihvatljivog korištenja geotermalne energije. Na ovim načelima proizlazi

pouzdanu projektiranje i konstrukcija eksploatacijskih bušotina. Ujedno se želi dati preporuke za projektiranje novih proizvodnih geotermalnih bušotina, koje se zasniva na dosadašnjem iskustvu tijekom razrade i proizvodnje geotermalne energije na našim eksploatacijskim geotermalnim poljima.

### Abstract

This paper deals with four geothermal sites in Croatia for which respective Decisions on exploitation field determination have been issued: Velika Ciglena, Draškovec, Zagreb and Bizovac.

Development of geothermal projects in Croatia began in the seventies of the last century, and it was related to INA activities undertaken for the purpose of exploration and production of oil and gas reservoirs, and exploration and bringing into production of geothermal reservoirs. Recently, positive experiences on a global scale and recognition of domestic potential, have brought foreign investors and revived interest in bringing geothermal energy to use. Croatian and worldwide experience have in particular reflected in positive profiling of the design of necessary deep wells.

This paper intends to show technical solutions for meeting critical geological and reservoir engineering characteristics and requirements of geothermal reservoirs and conditions of reliable and environmentally-friendly

use of geothermal energy. These principles are the basis for reliable design and construction of production wells. In addition, the paper provides recommendations for designing new geothermal production wells, based on previous experience in development and production of geothermal energy in our geothermal exploitation fields.

## 1. Uvod

Za korištenje geotermalne energije u Republici Hrvatskoj od brojnih indiciranih objekata u članku se razmatraju četiri koja imaju Rješenja o utvrđivanju eksploatacijskog polja, a to su

Velika Ciglena i Draškovec koja su pred puštanjem u proizvodnju te Zagreb i Bizovac, koja su u proizvodnji.

U članku će se prikazati način tehničkih rješenja za zadovoljavanje kritičnih geološko-rezervoar-inženjerskih značajki i zahtjeva pojedinih geotermalnih ležišta. Na ovim načelima proizlazi pouzdano projektiranje i konstrukcija eksploatacijskih bušotina. Ujedno se želi dati preporuke za projektiranje novih proizvodnih geotermalnih bušotina, koje se zasniva na dosadašnjem iskustvu tijekom razrade i proizvodnje geotermalne energije na našim eksploatacijskim geotermalnim poljima.

## 2. Geotermalno ležište Velika Ciglena

Geotermalno ležište Velika Ciglena otkriveno je u sklopu istraživanja ugljikovodika, koje je izvodio INA-Naftaplin u Bjelovarskoj depresiji Podravske potoline, odnosno, Panonskog sedimentnog bazena. Istražno bušenje je izvedeno na osnovi prethodnih geofizičkih istraživanja (gravimetrija, magnetometrija, seizmika). Prva istražna bušotina izrađena je 1990.

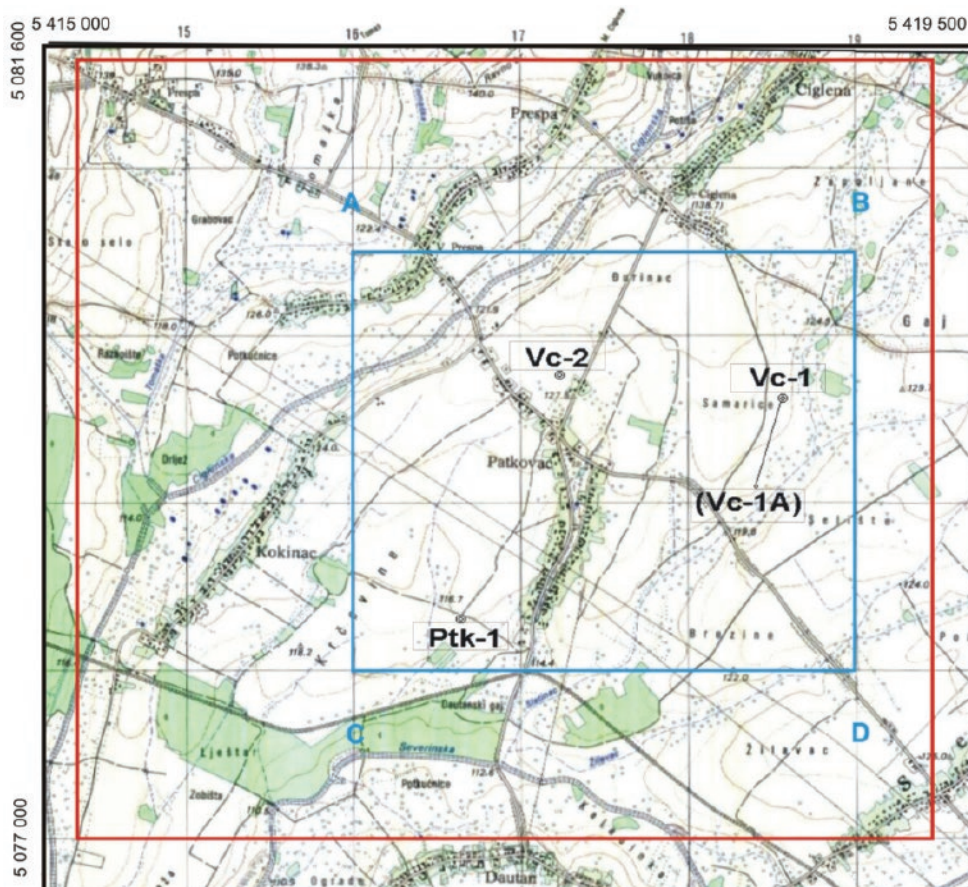
Nakon što su nabušene karbonatne breče krovine trijasa registrirani su značajni gubici isplake.

Fond bušotina geotermalnog polja Velika Ciglena čine ove četiri bušotine VC-1, VC-1A, VC-2 i Ptk-1.

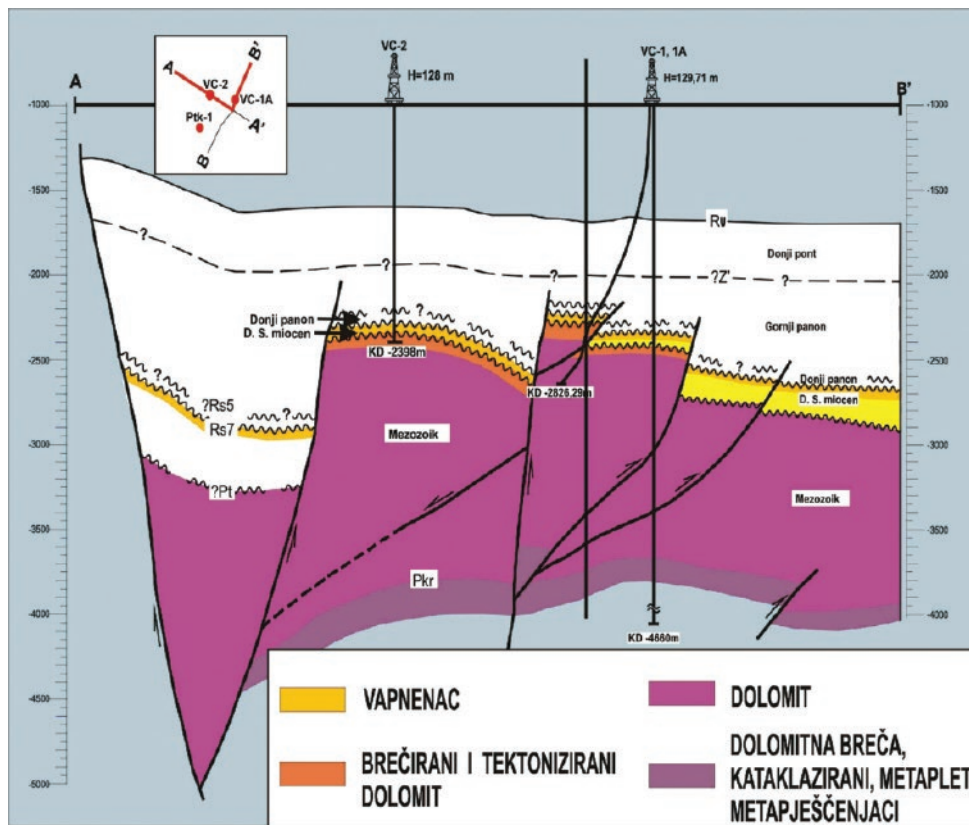
Ležište Velika Ciglena predstavljeno je debelim karbonatnim pukotinskim kompleksom na dubini 2585 - 3835 m. Ležište je otkriveno bušotinom VC-1, čiji je cilj bio istraživanje ugljikovodika. Izmjerena ležišna temperatura u bušotini VC-1 na dubini 3400 m iznosi 177,6°C.

U cilju provjere tog potencijala i njegove buduće eksploatacije izrađena je, s lokacije u neposrednoj blizini bušotine VC-1, koso usmjerena geotermalna bušotina VC-1A (1991. godine). Najveća vrijednost temperature vršnog dijela ležišta izmjerena na dubini 2543 m (VC-1A), iznosi 174,6°C.

Proizvodni geotermalni potencijal ležišta Velika Ciglena procijenjen je na temelju geoloških i geofizičkih



Slika 1. Eksploatacijsko polje Velika Ciglena s označenim vršnim točkama i ucrtanim bušotinama



Slika 2. Geološki profil kroz ležište Velika Ciglena

istraživanja te na temelju ostvarene proizvodnje geotermalnog fluida tijekom proizvodnih ispitivanja bušotina VC-1 i VC-1A, koje će tijekom eksploatacije biti proizvodne bušotine.

Ranija ispitivanja i mjerenja provedena su cjelovito samo u bušotinama VC-1 i VC-1A koje su raskrile ležište Velika Ciglena

Novim ispitivanjima 2016. potvrđena je dobra hidrodinamička povezanost između bušotina Ptk-1 i VC-1, ustanovljena visoka injektivnost bušotina VC-2 i Ptk-1 te je potvrđena visoka proizvodnost bušotina VC-1 i VC-1A. Sukladno novom konceptu eksploatacije geotermalnog polja Velika Ciglena, određeno je da će bušotine VC-1 i VC-1A biti proizvodne, dok će bušotine VC-2 i Ptk-1 biti utisne.

Proračunom je dobivena ukupna vrijednost proizvodnje od 19 621 m<sup>3</sup>/d (227,1 l/s) pri tlaku ušća od 26 bar i temperature ušća od 166°C. Geotermalna voda će svoju toplinu u izmjenjivačima topline predati sekundarnom radnom fluidu (izo-butanu) koji će u sekundarnom krugu pogoniti turbinu spoenu na generator električne energije, a ohlađena geotermalna voda će utisnim cjevovodom biti dopremljena do utisnih bušotina VC-2 i Ptk-1 te će biti utisnuta natrag u ležište.

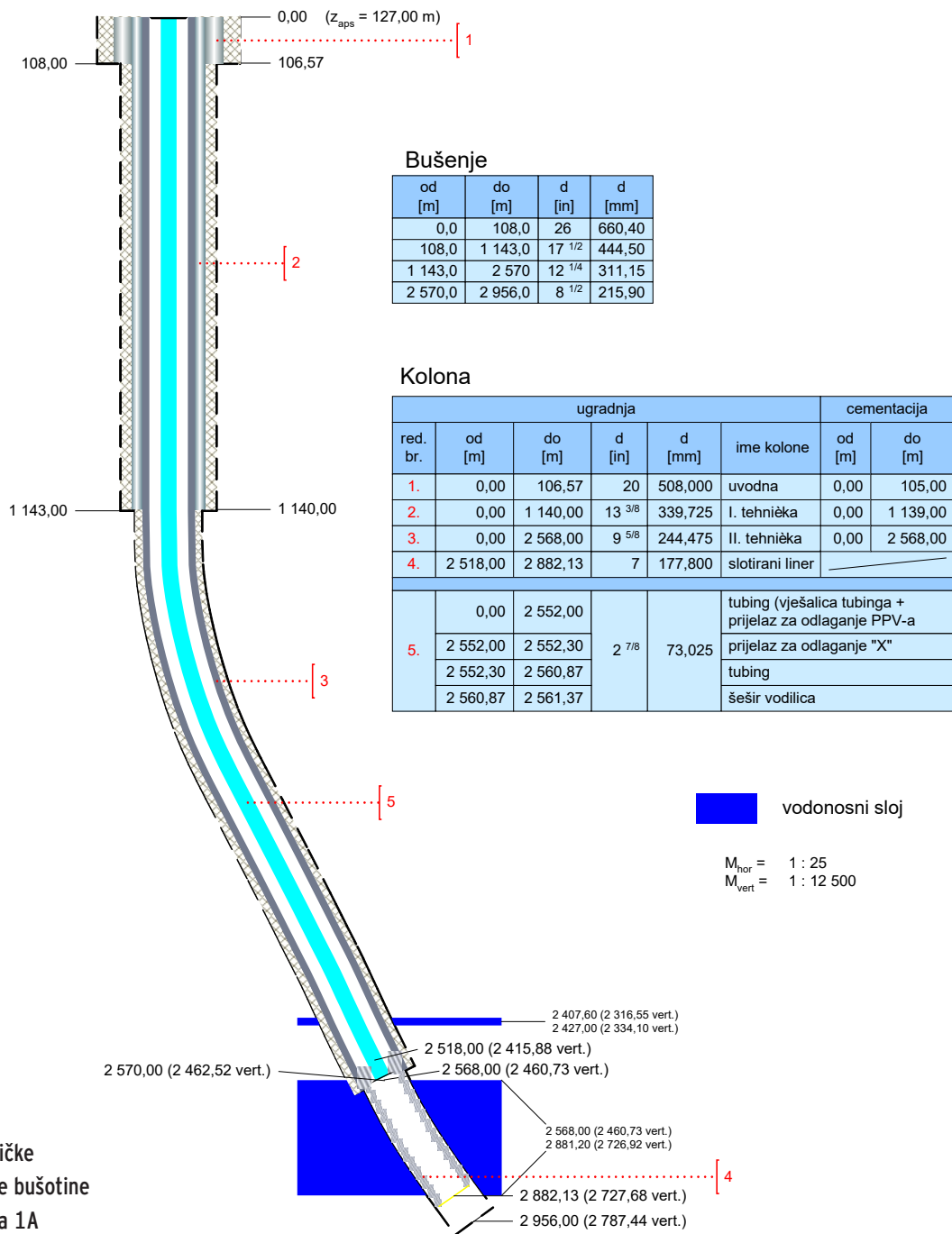
## 2.1 Konstrukcija proizvodne bušotine

Bušotina VC 1A projektirana je kao geotermalna proizvodna bušotina. Kod rješavanja zahtjevnih tehnoloških rješenja korištena su iskustva INA.d.d. na prethodnim geotermalnim i plinskim bušotinama. Dolaskom turskog investitora, s velikim iskustvom izrade i upotrebe geotermalnih bušotina, usvojene su neke konstrukcije erupcijskog uređaja, postupci inhibicije protiv korozije i kamenca, gušenje u slučaju nekontroliranog istjecanja. Odabir promjera niza proizvodnih cijevi je adekvatan za eruptivnu proizvodnju. Termičko rastezanje proizvodne kolone zaštitnih cijevi je eliminirano.

Cementacija zaštitnih cijevi 9 5/8" nije do vrha – kolona se uklinjava u bušotinsku glavu i veći dio naprezanja preuzimaju klinovi.

Bušotinska glava i erupcijski uređaj su konstruirani tako da se omogući nesmetana kretanja erupcijskog uređaja, a da je hermetičnost osigurana.

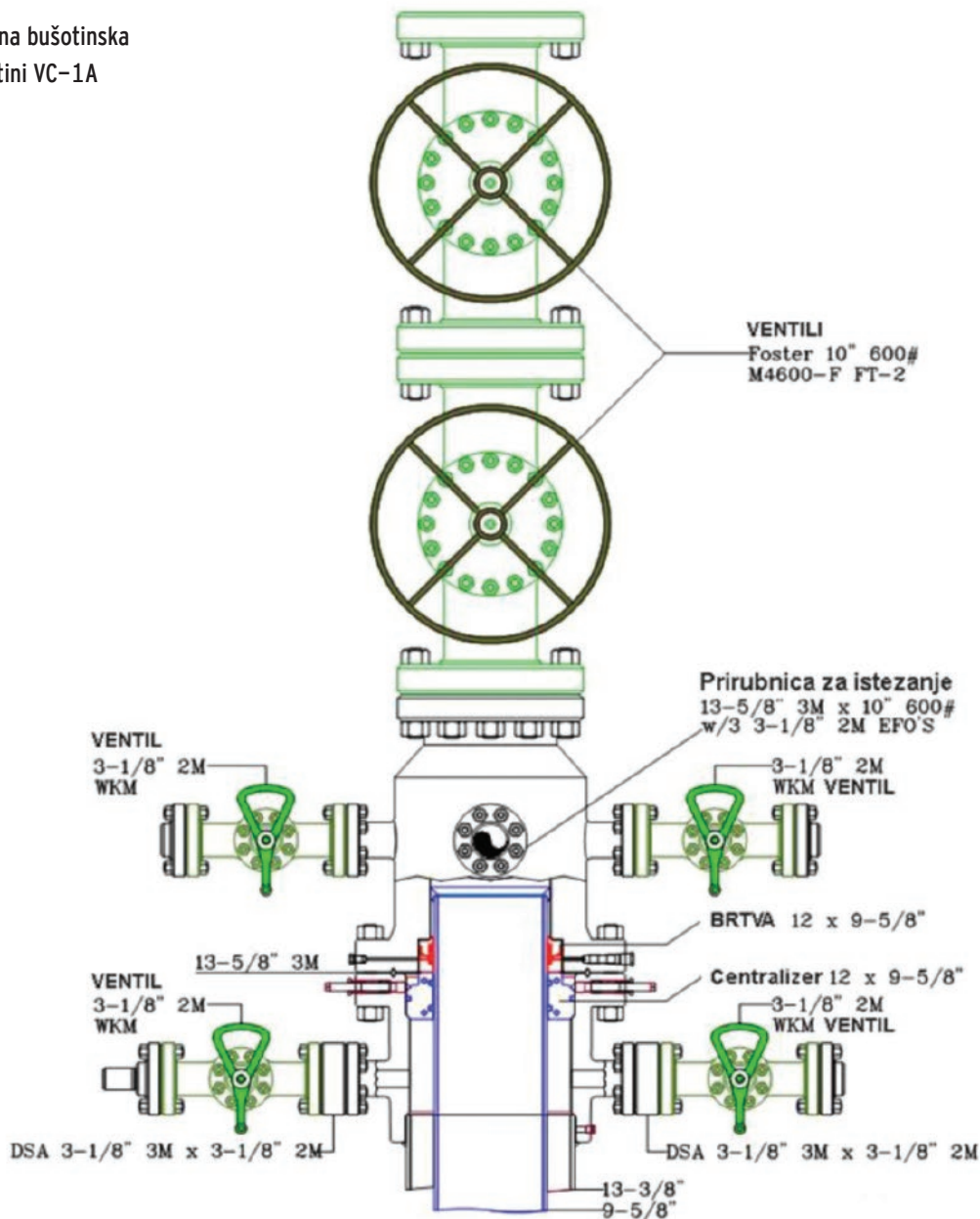
Cement nije tretiran dodatnim aditivima za regulaciju čvrstoće cementnog kamena „Latex 3000“, ali je izuzetno dobro tehničko rješenje da se dio kolone zaštitnih cijevi ostavi necementiran kako bi omogućio preuzimanje termičkih naprezanja u klinovima bušotinske glave.



Slika 3. Tehničke karakteristike bušotine Velika Ciglana 1A

UGRADNJA										CEMENTACIJA	
red.br.	od (m)	do(m)	Promjer (in)	Promjer (mm)	Ime kolone	kvaliteta	Težina	Navoj	unutarnji tlak do granice elastičnost (bar)	od (m)	do (m)
1	0,00	106,57	20	508.000	uvodna	K-55	94#	Butt.	148	0,00	105,00
2	0,00	1140,00	13 3/8	339.725	I. Tehnička	J-55	68#	BTC	238	0,00	1139,00
3	0,00	2568,00	9 5/8	244.475	II. Tehnička	L-80	47#	BTC	474	0,00	2568,00
4	2518,00	2882,13	7	177.800	slotirani liner	J-55	46#	NEW VAM	-		
5	0,00	2552,00	2 7/8	73.025	tubing (vješalica tubinga + prijelaz za odlaganje PPV-a)						
	2552,00	2552,30			prijelaz za odlaganje						
	2552,30	2560,87			tubing						
	2560,87	2561,37			šešir vodilica						

Slika 4. Nadzemna bušotinska oprema na bušotini VC-1A



## 2.2 Cementacija niza zaštitnih cijevi

Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 473,1 mm ( 20") izvodi se po metodi „Stub In” cementom tipa „G”, gustoća cementne kaše 1920 kg/m<sup>3</sup>, u jednom stupnju.

Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm ( 13 3/8") izvodi se po metodi „Perkins” cementom tipa „G”, gustoća cementne kaše 1820 kg/m<sup>3</sup>, u jednom stupnju.

Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 5/8") izvodi se po metodi „Perkins” cementom tipa „G”, u dva stupnja do visine DV uređaja na 1000 m.

Gustoća cementne kaše I stupnja je 1860 kg/m<sup>3</sup>, gustoća cementne kaše II stupnja je 1890 kg/m<sup>3</sup>. Cementna kaša obrađena je dodatnim aditivima za regulaciju čvrstoće cementnog kamena -kvarcnim pijeskom.

Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm ( 7 ") izvodi se po metodi „Perkins” cementom tipa „G”, u jednom stupnju. Cementna kaša obrađena je dodatnim aditivima za regulaciju čvrstoće cementnog kamena - kvarcnim pijeskom.

## 2.3 Proizvodno opremanje

Proizvodnja je eruptivna kroz kolonu zaštitnih cijevi - proizvodni liner promjera 177,8 mm (7") i proizvodnu kolonu zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 5/8"). Erupcijski uređaj je dizajniran tako da se može tijekom rada i grijanja linearno izvlačiti, ali je brtvljenje i dalje aktivno. Zasuni na erupcijskom uređaju su unutarnjeg promjera većeg od unutarnjeg promjera kolone zaštitnih cijevi. Radi pojave „kamenca” u sistem

EU će se, preko voda za utiskivanje i dozirno-pumpnim agregatom, ubrizgavati inhibitor za suzbijanje taloženja. Vod se može koristiti i za aditive za sprečavanje korozije i za eventualno brzo gušenje bušotine u slučaju propuštanja niza zaštitnih cijevi i erupcijskog uređaja, tijekom proizvodnog rada bušotine.

### 3. Eksploatacijsko polje geotermalne vode Draškovec

Eksploatacijsko polje geotermalne vode Draškovec smješteno je u sjevernom dijelu Republike Hrvatske, u Međimurskoj županiji, a administrativno pripada Gradu Prelogu. Izrađene su i ispitane bušotine Dr-1(1977.) i Dr-2 (2016.) Tijekom izrade kanala bušotine Dr-1 izvađeno je nekoliko jezgri i izvedeno nekoliko testiranja u otvorenom kanalu i kasnije u zacijevljenom kanalu. Bušotina je dosegla dubinu 2710 m.

Bušotina Draškovec-2 (2016.) potvrdila je geotermalni lokalitet Draškovec.

Ležišna temperatura u težištu ležišta pješčenjaka na totalnoj vertikalnoj dubini (TVD) -1958 m je 105 °C, a u krovini litotamniskog vapnenaca TVD – 2130,5 m je 110,1 °C (početna temperatura). U bušotini Dr-2, izvršeno je testiranje u „open-hole“ naprednom RDT (engl. *Reservoir Description Tool* ) i proizvodnom dubinskom pumpom. Prema rezultatima kemijskih analiza salinitet ležišne vode se kreće od 11,92 do 12,82 g NaCl/dm<sup>3</sup>. Otopljeni plin sastava 87 Mol % CH<sub>4</sub> i

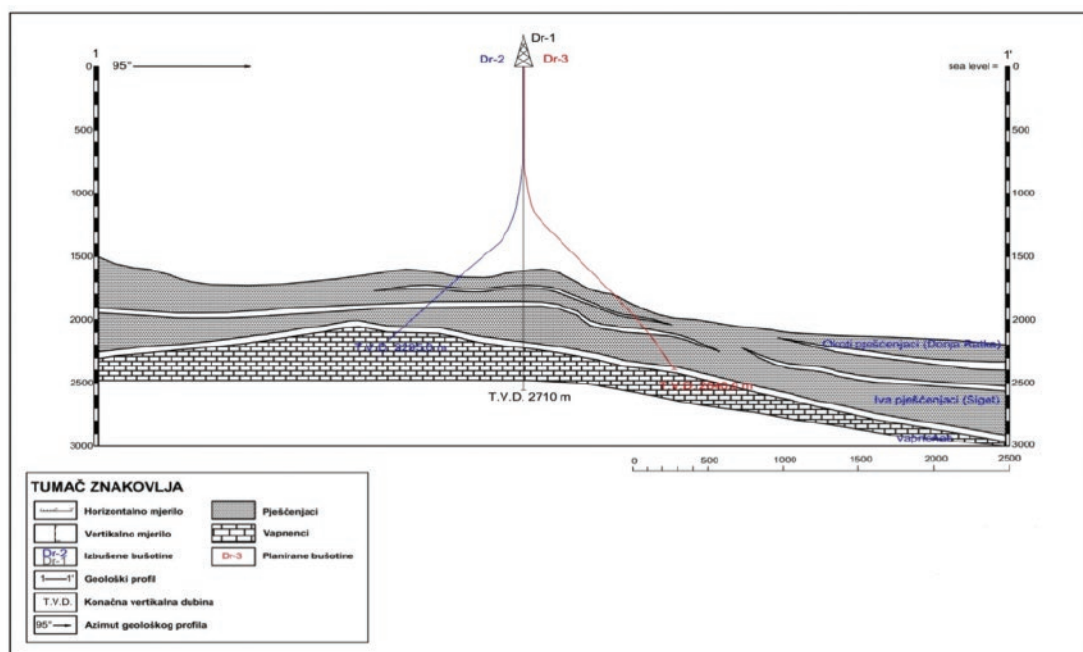
10,47 Mol % CO<sub>2</sub> u pješčenjacima i 76,61 Mol % CH<sub>4</sub> i 18,43 Mol % CO<sub>2</sub> u litotamniskim vapnencima.

Geotermalna voda se ubraja u kategoriju srednje toplih s otopljenim kiselim plinom, što će značajno utjecati na procese kaskadne uporabe toplinske energije nakon proizvodnje električne energije u geotermalnoj elektrani.

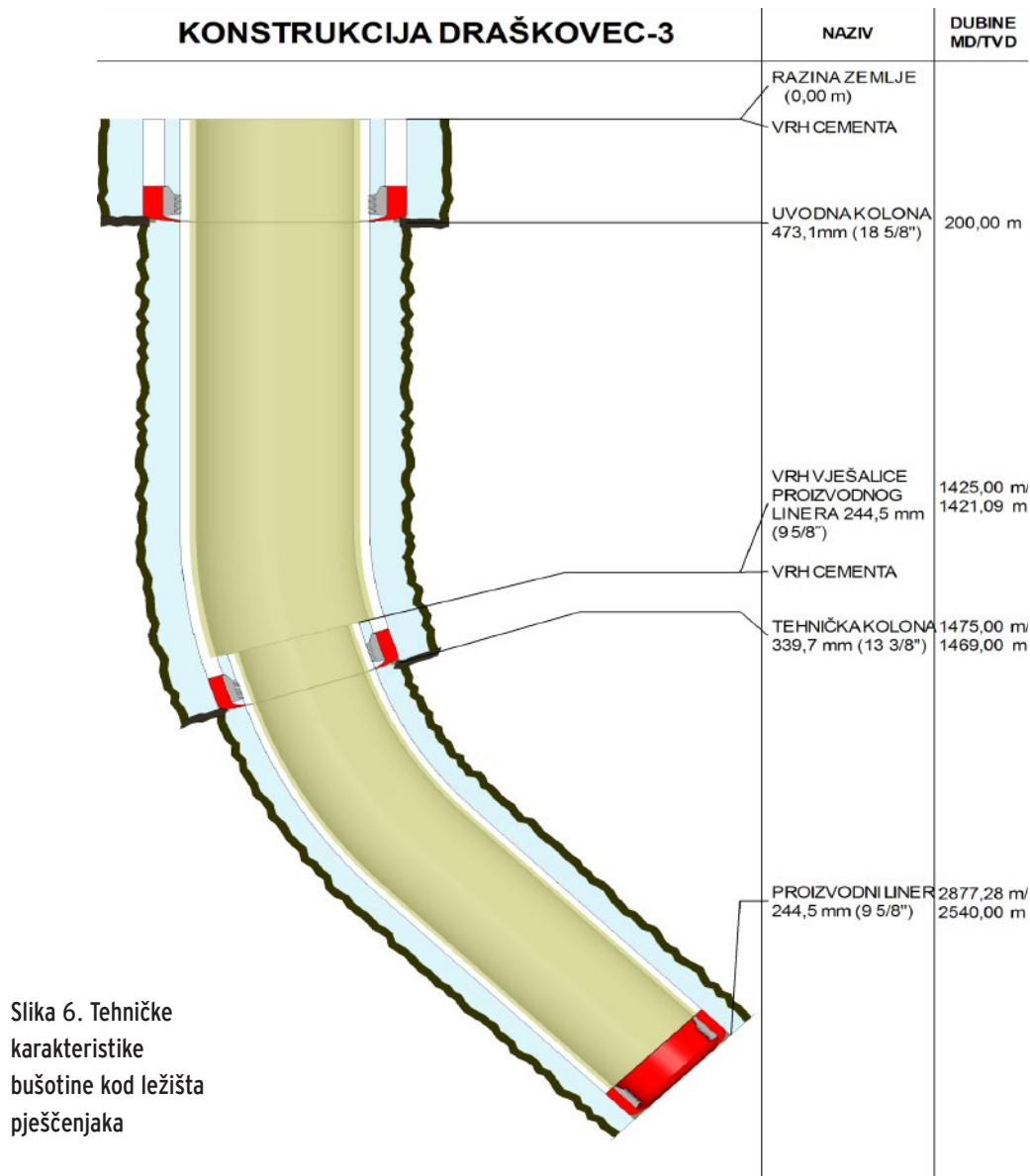
Projekt proizvodnje električne energije predviđa korištenje energije vruće vode i otopljenog plina. Nakon iskorištenja topline, ohlađena geotermalna voda se vraća u ležište radi održavanja ležišnog tlaka i zadovoljavanja ekoloških kriterija. Produkti izgaranja plina čiste se, CO<sub>2</sub> se utiskuje u ležište, a ostatak se ispušta u atmosferu.

Proizvodni geotermalni potencijal ležišta Draškovec procijenjen je na temelju proizvodnje vode tijekom hidro dinamičkih mjerenja iz bušotina Dr-1 i Dr- 2. Utvrđena ležišta geotermalne vode su u miocenskim pješčenjacima i vapnencima. Zbog kvalitete mjerenja, rezerve geotermalne vode u pješčenjacima su B kategorije, a u vapnencima C1 kategorije.

Ležišta geotermalnog polja Draškovec do sada nisu crpljena. U planu je pridobivanje vode iz ležišta Pješčenjaci bušotinom Dr-2. Voda će se pridobivati uz pomoć električne potopne crpke, uz depresiju na sloj od 60 bar. Uz navedeni uvjet, pridobivanje geotermalne vode iz bušotine Dr-2 iznosit će 4354 m<sup>3</sup>/dan vode, odnosno 50,4 l/s. U planu je privremeno utiskivanje vode u ležište kroz bušotinu Dr-1, a trajno kroz planiranu bušotinu Dr-3. Time će se održavati tlak u ležištu, kako bi ostao približno konstantan, a budući



Slika 5. Uzdužni geološki profil



da se planira utiskivati voda pridobivena iz ležišta, ne bi trebalo doći do promjene u mineralizaciji vode. Također, time će biti zadovoljeni ekološki standardi.

Temperatura pridobivene geotermalne vode bušotinom Dr-2, iz ležišta Pješčenjaci, iznosit će 96 °C, odnosno 369,15 K. Geotermalna voda sadrži 2,62 m<sup>3</sup> otopljenog plina na 1 m<sup>3</sup> vode (0,223% masenog udjela) koji će zajedno s vodom predstavljati korisnu sirovinu (geotermalni fluid) za proizvodnju energije. Primijenjenim inovativnim tehnološkim postupkom postiže se cjelovito korištenje geotermalnog resursa čime trgovačko društvo AAT Geothermae d.o.o. planira pristupiti racionalnom iskorištavanju ležišta na način da će se energetske potencijal geotermalnog ležišta na ekonomski učinkovit način koristiti u cijelosti i to postupkom bez emisija ugljikovih spojeva.

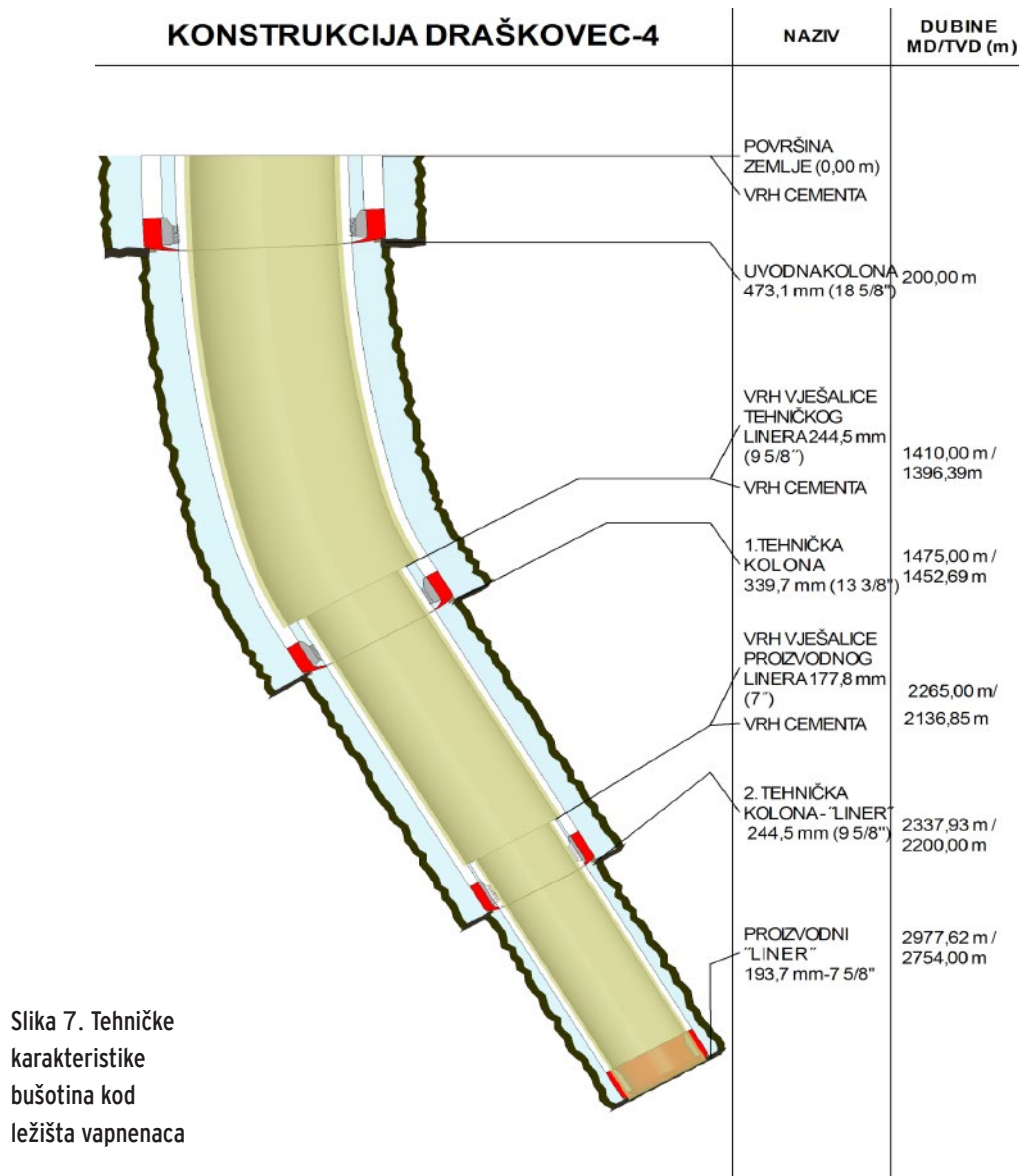
Dinamički tlak ušća na proizvodnoj bušotini Dr-2 iznosit će 4 bar. U planu je izrada još tri proizvodne

i četiri utisne bušotine, nakon toga će bušotina Dr-1 postati kontrolna za sve promjene koje će se događati u ležištima tijekom pridobivanja.

### 3.1 Konstrukcija proizvodne bušotine

Kod projektiranja proizvodnih geotermalnih bušotina s otopljenim plinom, kao što je na geotermalnom polju Draškovec, posebnu pažnju treba posvetiti kakvoći plina u smislu kiselosti-korozije. Taj uvjet je bitan za određivanje kakvoće – materijala za niz zaštitnih i uzlaznih proizvodnih cijevi, bušotinsku glavu i erupcijski uređaj kao i za odabir aditiva za korozivno otporne cimente.

Zbog visoke cijene kroma i drugih legiranih čelika, pojedini investitori se odlučuju za nelegirane, meke čelike zaštitnih cijevi s većom debljinom stjenke. Na taj način produžuju vrijeme upotrebe zaštitnih cijevi



radi neizbježne korozije. Treba naglasiti da je opcija inhibiranja aditivima za sprečavanje korozije zahtijeva posebnu dvofaznu proizvodnu opremu koja je uz visoku cijenu aditiva, redizajna erupcijskog uređaja, sistema za utiskivanje i stručnog nadzora daleko skuplja od opcije upotrebe adekvatnog legiranog čelika.

Zacjevljenje proizvodnih bušotina kod ležišta pješčenjaka i vapnenaca prikazano je na Slici 6. i 7.

Opremanje ušća proizvodnih bušotina kod ležišta pješčenjaka i vapnenaca prema standardu API Specification 6A, prikazano je u Tablici 1.

### 3.2 Cementacija niza zaštitnih cijevi

Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 473,1 mm (18 5/8") izvodi se po metodi „Stub In” cementom tipa „G”, gustoća cementne kaše 1920 kg/m<sup>3</sup>, u jednom stupnju.

- Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 3/8") izvodi se po metodi „Perkins” cementom tipa „G”, gustoća vršne cementne kaše 1510 kg/m<sup>3</sup> i repne 1880 kg/m<sup>3</sup>, u jednom stupnju.
- Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 5/8") izvodi se po metodi „Perkins” cementom tipa „G”, gustoća cementne kaše repne 1900 kg/m<sup>3</sup> i vršne 1650 kg/m<sup>3</sup>, u dva stupnja. Radi CO<sub>2</sub> korozije repna cementna mješavina obrađena je dodatnim aditivima za regulaciju čvrstoće cementnog kamena „Latex 3000”.
- Cementacija kolone zaštitnih cijevi promjera 193,7 mm (7 5/8") izvodi se po metodi „Perkins” cementom tipa „G”, gustoća cementne kaše repne 1900 kg/m<sup>3</sup>, u jednom stupnju. Radi CO<sub>2</sub> korozije cementna mješavina obrađena je dodatnim aditivima za regulaciju čvrstoće cementnog kamena „Latex 3000”.

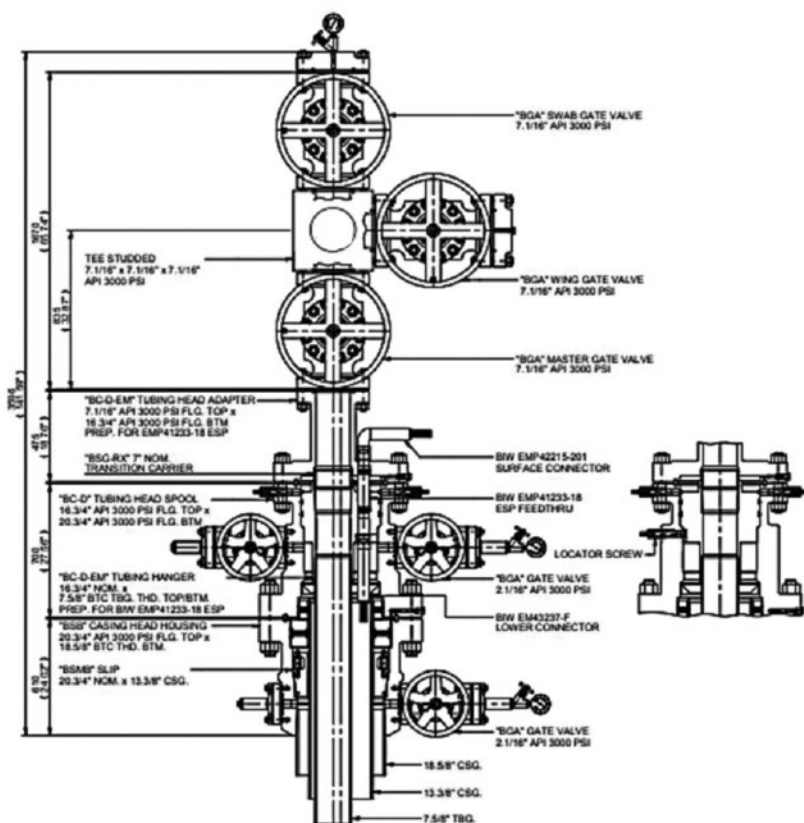


Tablica 1: Bušotinska glava s erupcijskim uređajem za proizvodne bušotine geotermalnog polja Draškovec

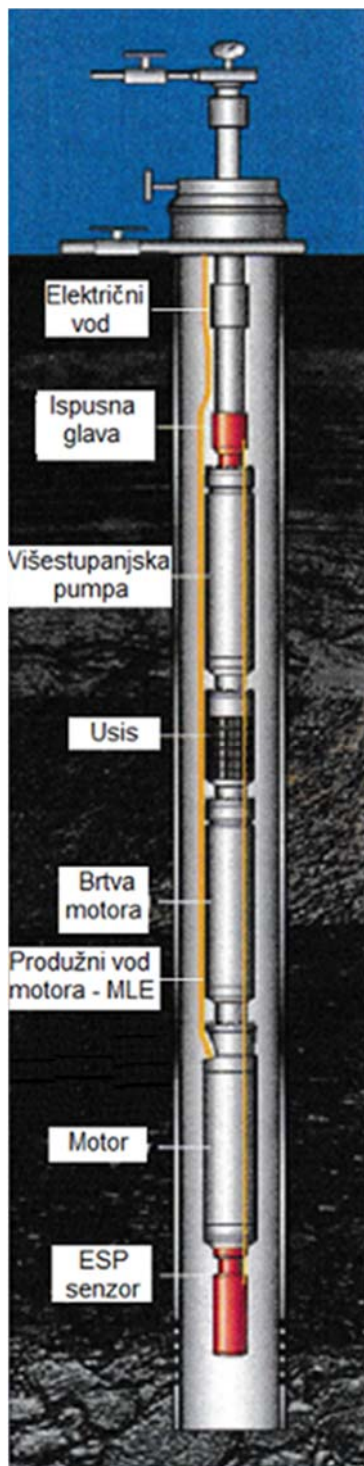
R. br.	Opis sekcije	Nazivna dimenzija		Radni tlak		Klasa materijala	Temp. klasa	Kvaliteta izrade min zahtjev PSL
		mm	inch	MPa	PSI			
1.	Bazna prirubnica w/2 x 55,0 mm (2 1/6") 3M zasuni ZC 18 5/8"	Gore: 527,05 Dolje: ZC 473,1	Gore: 20 3/4« API prirubnica Dolje: 18 5/8« Navoj BTC Ž	20,7	3.000	AA	U	1
2.	Tubing prirubnica w/2 x 55,0 mm (2 1/16") 3M zasuni ZC 13 3/8	Gore: 425,45 Dolje: ZC 339,7 BTC	Gore: 16 3/4« API prirubnica Dolje: 13 3/8« API prirubnica	20,7	3.000	FF	U	2
3.	Tubing vješalica	425,45/ 177,8	16 3/4« API prirubnica x 7 5/8« BTC	20,7	3.000	FF	U	2
4.	Erupcijski uređaj T	179,39/ 179,39	7 1/16« / 7 1/16« API	20,7	3.000	FF	U	2

### Objašnjenje bušotinske glave:

1. Bazna prirubnica se spaja navrtanjem na zaštitne cijevi promjera 473,1 mm (18 5/8"). Izlazi za bočne zasune su tipa prirubnice (preporučuju se) ili s usadnim vijcima. Funkcija joj je oformiti ušće bušotine i omogućiti vješanje i primarno brtvljenje I tehničke kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 3/8").
2. Tubing prirubnica – omogućava sekundarno brtvljenje I tehničke kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 3/8"). Izlazi za bočne zasune su tipa prirubnice (preporučuju se) ili s usadnim vijcima. Ujedno treba biti tako izvedena da se kroz nju može provući energetski kabel za dubinsku pumpu.
3. Tubing vješalica omogućava vješanje i brtvljenje niza cijevi promjera 193,67 mm (7 5/8") koje nose dubinsku pumpu. Ujedno treba biti tako izvedena da se kroz nju može provući energetski kabel za dubinsku pumpu.
4. Erupcijski uređaj je sklop glavnih (master) zasuna i kocke 179,39 mm (7 1/16"). Jedan glavni zasun ide okomito na tubing prirubnicu, a drugi bočno na kocku.



Slika 8. Skica bušotinske glave i erupcijskog uređaja na proizvodnim bušotinama geotermalnog polja Draškovec



Slika 9. Proizvodna bušotina opremljena električnom dubinskom pumpom

### 3.3 Proizvodno opremanje

Proizvodno ležište „pješčenjaka” nema dovoljno energije za podizanje i transport geotermalnog fluida. U svrhu podizanja fluida, u bušotinu će se ugraditi električna dubinska pumpa (*engl. electrical submersible pump, ESP*) na proizvodnim nizu uzlaznih cijevi (*engl. tubing*) u skladu sa zahtijevanim potrebama proiz-

vodnje fluida i konstrukcije zacijevljenja bušotine. Na erupcijskom uređaju je dovoljno prostora da se u slučaju pojave kamenca može doraditi otvor za vod za utiskivanje inhibitora.

**Glavni dijelovi ESP – električne uronjive centrifugalne pumpe (odozdo prema gore) su:**

- Senzor u kućištu učvršćen na dnu motora, za praćenje parametara rada pumpe i motora;
- Geotermički ESP motor;
- Pumpa;
- Izljev pumpe (izljevna glava) za spoj na uzlazni niz cijevi – tubing;
- MLE (*engl. Motor Lead Extension*) – produžni priključak za električni vod na motor;
- AWG Glavni električni vod, 5 kV (1200 m):
- Obujmice električnog voda;
- Penetratorski sistem bušotinske glave.

## 4. Geotermalno polje Zagreb

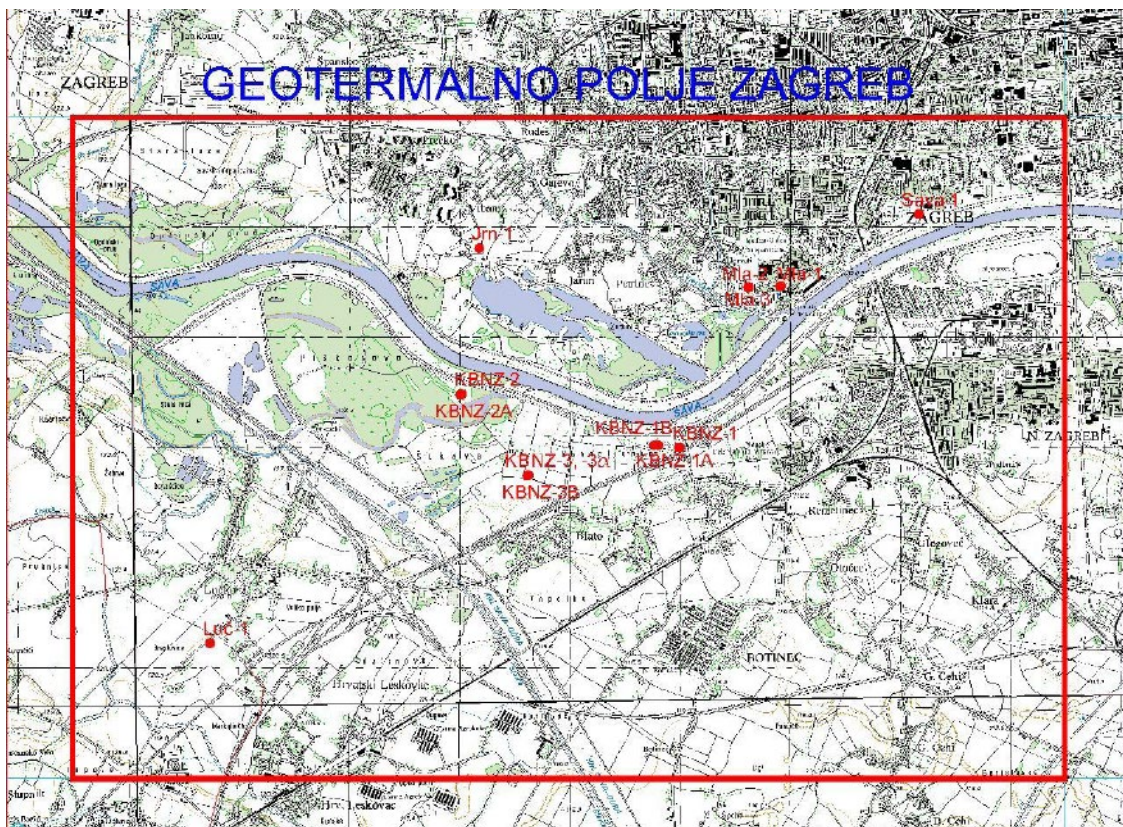
Geotermalno polje Zagreb nalazi se većim dijelom na području grada Zagreba na njegovom jugozapadnom dijelu, a manjim dijelom u Zagrebačkoj županiji (općina Stupnik). Položaj polja s ucrtanim bušotinama i vršnim točkama eksploatacijskog polja prikazan je na Slici 10.

Polje obuhvaća prostor od oko 54 km<sup>2</sup>. Za njegovu interpretaciju radila su se gravimetrijska i magnetometrijska mjerenja, interpretacija seizmičkih profila i geološke karte šireg područja.

Polje je otkriveno 1977. ispitivanjem negativne naftne bušotine Stupnik 1 (Stu-1) koja

je izrađena 1964. Polje je razrađeno s ukupno 14 kanala bušotina, od kojih tri bušotine imaju oznaku Mladost (Mla), njih sedam oznaku Klinička bolnica Novi Zagreb (KBNZ), a po jedna ima oznaku Jarun (JRN), Sava (Sava), Lučanka (Luč) i Stupnik (Stu). Utvrđen je normalan stratigrafski slijed stijena i taložina Savske depresije.

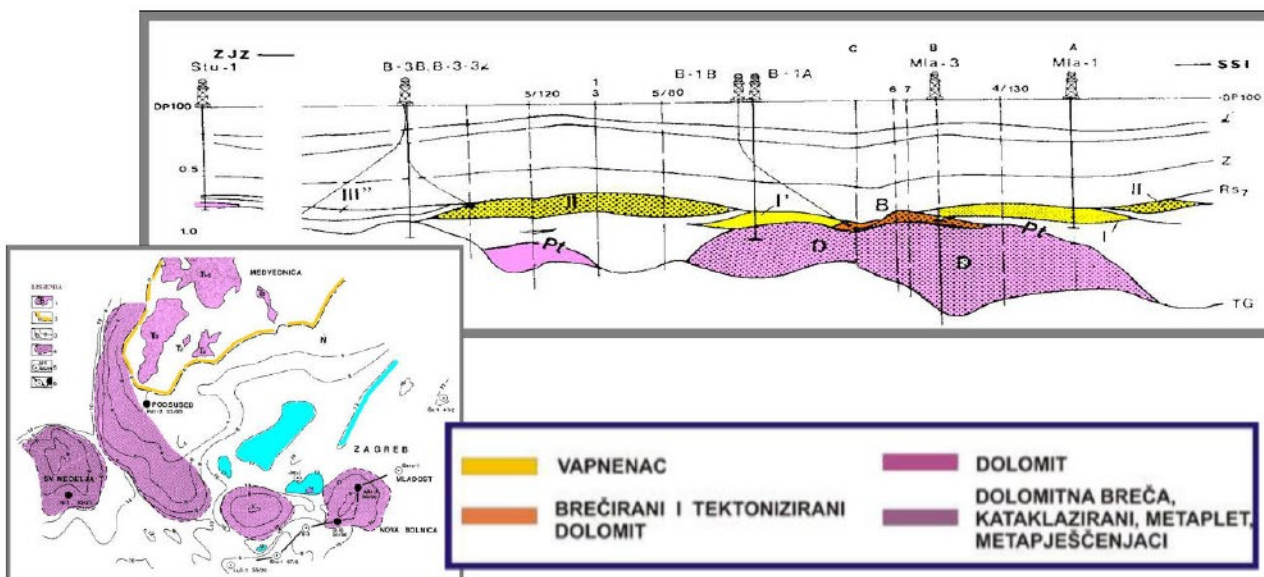
- Paleozoik koji je neformalno nazvan Temeljno gorje, a građen je od gnajsa i škriljavaca;
- Mezozoik neformalno nazvan Podloga tercijara, a izgrađen od dolomita;
- Srednji miocen: baden, sastavljenih od vapnenaca, pješčenjaka, breča, konglomerata, brečokonglomerata i lapora;
- Gornji miocen: - donji i gornji panon predstavljenih pješčenjacija, pjeskovitim laporima i laporima;



Slika 10. Položaj polja s ucrtanim bušotinama i vršnim točkama eksploatacijskog polja

- Donji i gornji pont izgrađenih od pješčenjaka, pjeskovitih lapora i lapora;
- Pliocen: dacij, romanij, sastavljenih od pijesaka i pjeskovite gline;
- Pleistocen, holocen, izgrađenih od raznobojne gline, tinjčastog zaglinjenog pijeska te šljunka s pijeskom.

Na Slici 11. na geološkom profilu preko geotermalnih ležišta polja Zagreb prikazan je odnos glavnog dijela ležišta u masivnom rezervoaru u dolomitima i sekundarnom rezervoaru u lećama litotamnijskih vapnenaca te njihov međusobni hidrodinamski kontakt. Vidljivo je dohvaćanje glavnog vodo-nosnika kanalom bušotine KBNZ-1B, dok je



Slika 11. Geološki profil geotermalnih ležišta polja Zagreb

drugi važan usmjereni kanal bušotine Mla-3 prikazana u prikrazi. Na indeks karti prikazana je trasa profila ali i ostali potencijalni geotermalni vodo-nosnici Zagreb uključujući i onaj kod Svete Nedjelje. Ležišta pripadaju masivnom tipu formirana u dolomitnim stijenama mezozoika „Podloge tercijara” (ležište „dolomiti“) te litotamnijskim vapnencima (ležišta „vapnenci I” i „vapnenci II”) srednjeg miocena (baden) s izraženom vertikalnom propusnošću te šupljikavošću (6 - 14 %).

Ležišta čine jednu hidrodinamičku cjelinu. Vrijednost geotermijskog gradijenta unutar eksploatacijskog polja Zagreb promjenjiva je i kreće se u rasponu od 5,7 do 7,8 °C/100 m i veća je od prosječnog gradijenta savske depresije koji iznosi 4,8 °C/100 m.

Na geotermalnom polju Zagreb koristi se geotermalna energija kroz dva tehnološka sustava i jedan podsustav:

- Tehnološki sustav Mladost, s jednom proizvodnom i jednom utisnom bušotinom;
- Tehnološki sustav Klinička bolnica Novi Zagreb, s jednom proizvodnom i jednom utisnom bušotinom;
- Tehnološki podsustav na lokalitetu Lučko s jednom proizvodnom bušotinom.

Na sve tri lokacije geotermalna voda koristi se za grijanje objekata. Tehnološki sustav na lokalitetima Mladost i KBNZ je zatvoreni sustav cjevovoda, a na lokalitetu Lučko se sastoji od retencijskog bazena i odvodnog kanala. Ni jedan od sustava nema negativan utjecaj na okoliš.

Geotermalni potencijal pridobivanja polja Zagreb procijenjen je na 77,14 l/s. Temperatura vode na ušću iznosi 80 °C. Ukupne rezerve ležišta svrstane su u kategoriju B.

#### 4.1 Konstrukcija proizvodne bušotine

Konstrukcija i opremanje geotermalnih bušotina na polju Zagreb bili su pionirski iskorak prelaska projektiranja naftnih i plinskih bušotina na geotermalne bušotine. Iskustva koja su imale tvrtke za projektiranje proizvodnje voda (zdenci) korištena su na ovom projektu. Proizvodnja je eruptivna. Vodonosni sloj prekriven je slotiranim linerom. Slotirane zaštitne cijevi ne omogućuju kemijske i dr. ciljane obrade sloja, već je čitavi interval predmet obrade. Cementirane i perforirane proizvodne kolone omogućuju ciljane obrade pojedinih intervala. Kao proizvodna kolona zaštitnih cijevi koriste se cijevi promjera 244,5 mm (9 5/8”), 32#, H-40. To se pokazalo dvojako: promjer

koji je potreban za maksimalni protok je dobro dimenzioniran, ali materijal (H-40) i debljina stjenke nisu odgovarajući. Iako je bušotina Mla-3 (izrađena 1985.) radila s manje od 10% maksimalnog kapaciteta 2010. je došlo do propuštanja proizvodne kolone. Erupcija vruće vode izuzetno teško je sanirana. Na postojećem erupcijskom uređaju nije predviđena mogućnost gušenja kroz sigurnosni niz zaštitnih cijevi (obično TB do cca 150 m), nego samo preko zasuna na erupcijskom uređaju.

Zasuni na erupcijskom uređaju promjera 6” i radnog tlaka 3000 psi (Mla-2) su dobro odabrani jer zadovoljavaju minimalno potrebni promjer i ne rade „sapnicu” na ušću bušotine (unutarnji promjer 7” liner približno promjeru zasuna). Tu treba naglasiti da je geotermalni fluid nestlačiv i za proizvodnju bi trebalo zadržati logiku konstantnog protoka (ista površina poprečnog presjeka proizvodnog liner i zasuna na ušću bušotine). Zasuni na erupcijskom uređaju promjera 2 9/16” i radnog tlaka 3000 psi (Mla-3 i KBNZ-1B) nisu zadovoljavajući jer rade „sapnicu” na ušću bušotine, ako bi one radile pod optimalnim uvjetima. Kako te bušotine ne rade s optimalnim kapacitetima ti zasuni za sada zadovoljavaju.

#### 4.2. Cementacija niza zaštitnih cijevi

Program cementacija kolona zaštitnih cijevi nije arhiviran. Iz skica je vidljivo da su sve kolone zaštitnih cijevi cementirane do vrha. Za očekivati je da se radi o cementima tipa „G”.

#### 4.3. Proizvodno opremanje

Proizvodnja je eruptivna kroz slotirani liner promjera 177,8 mm (7”), proizvodnu kolonu zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 5/8”). Erupcijski uređaj krajnje je jednostavan. Za bušotinu Mladost 2 korišteni su zasuni promjera 6” i radnog tlaka 3000 psi-a. Na ostalim proizvodnim bušotinama (KBNZ-1B i Mla-3) ti su zasuni promjera 2 9/16” i radnog tlaka 3000 psi-a.

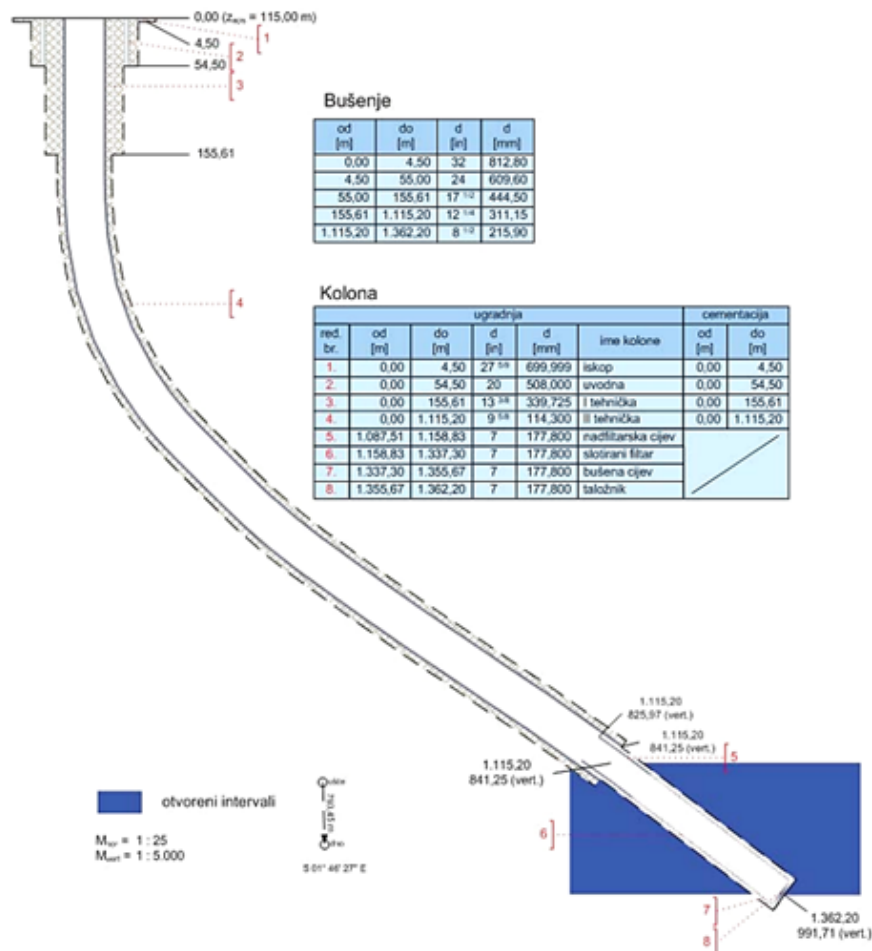
### 5. Geotermalno polje Bizovac

Geotermalno polje Bizovac nalazi se u istočnoj Slavoniji. Administrativno pripada Osječko-baranjskoj županiji (općina Bizovac). Ušća bušotina termalnih voda nalaze se u mjestu Bizovac. Položaj polja s ucrtanim bušotinama i vršnim točkama eksploatacijskog polja prikazan je na Slici 18.

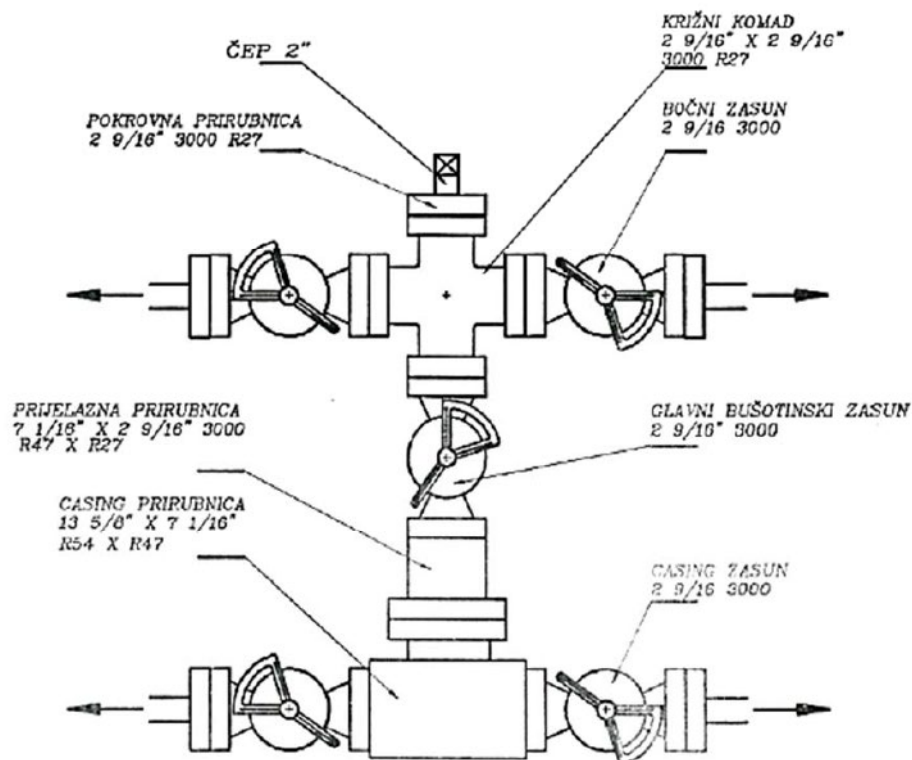
Status: proizvodna

koordinate: y (E) (m): 456.593,03; x (N) (m): 5.071.664,01; z (m): 115,00

Početak bušenja: 25.9.1985.; Kraj bušenja: 18.11.1985.

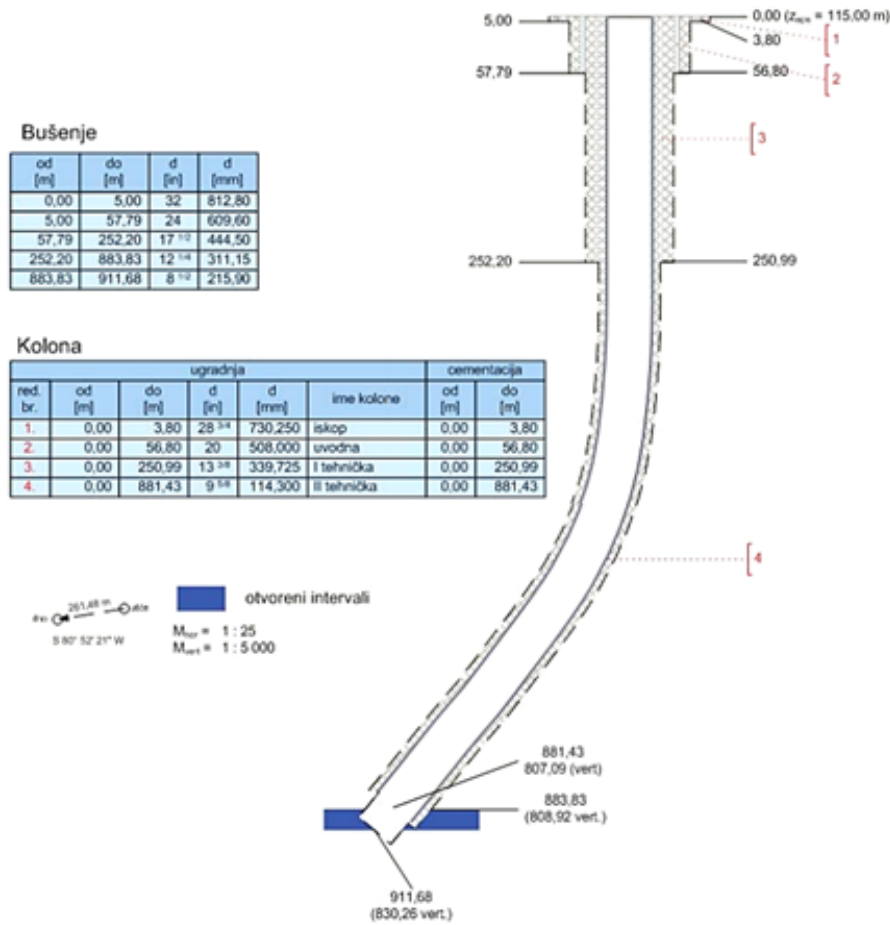


Slika 12. Tehničke karakteristike bušotine Mla-3

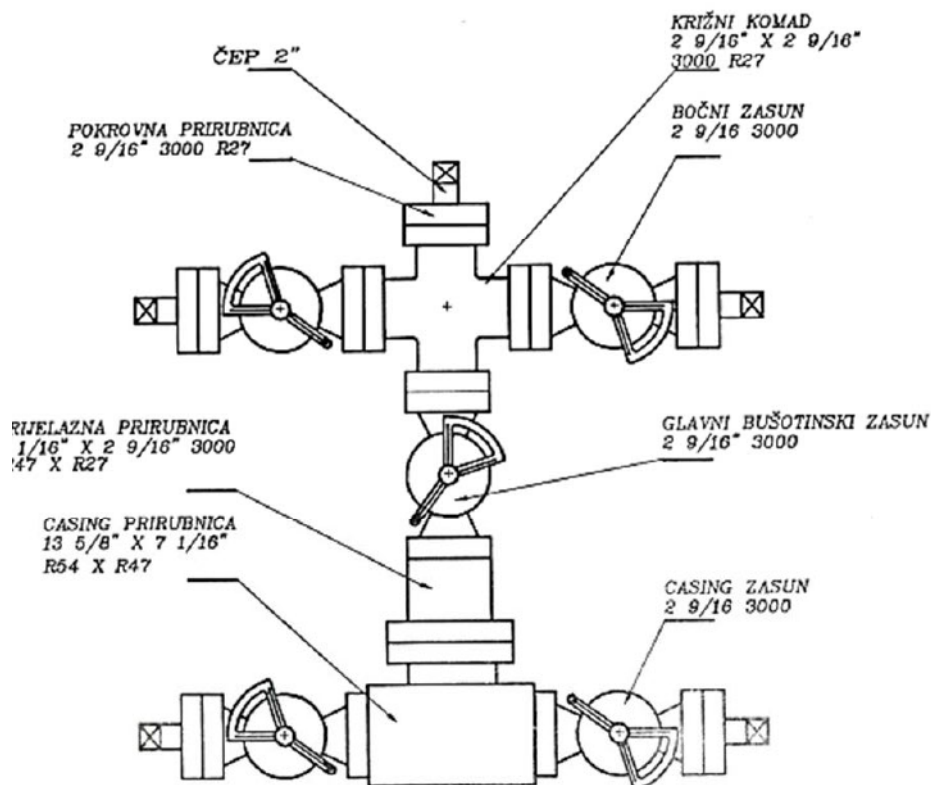


Slika 13. Nadzemna bušotinska oprema za bušotinu Mla-3

Status: utisna  
 koordinate: y (E) (m): 456.593,03; x (N) (m): 5.071.664,01; z (m): 115,00  
 Početak bušenja: 1.7.1985.; Kraj bušenja: 17.8.1985.



Slika 14. Tehničke karakteristike bušotine Mla-2

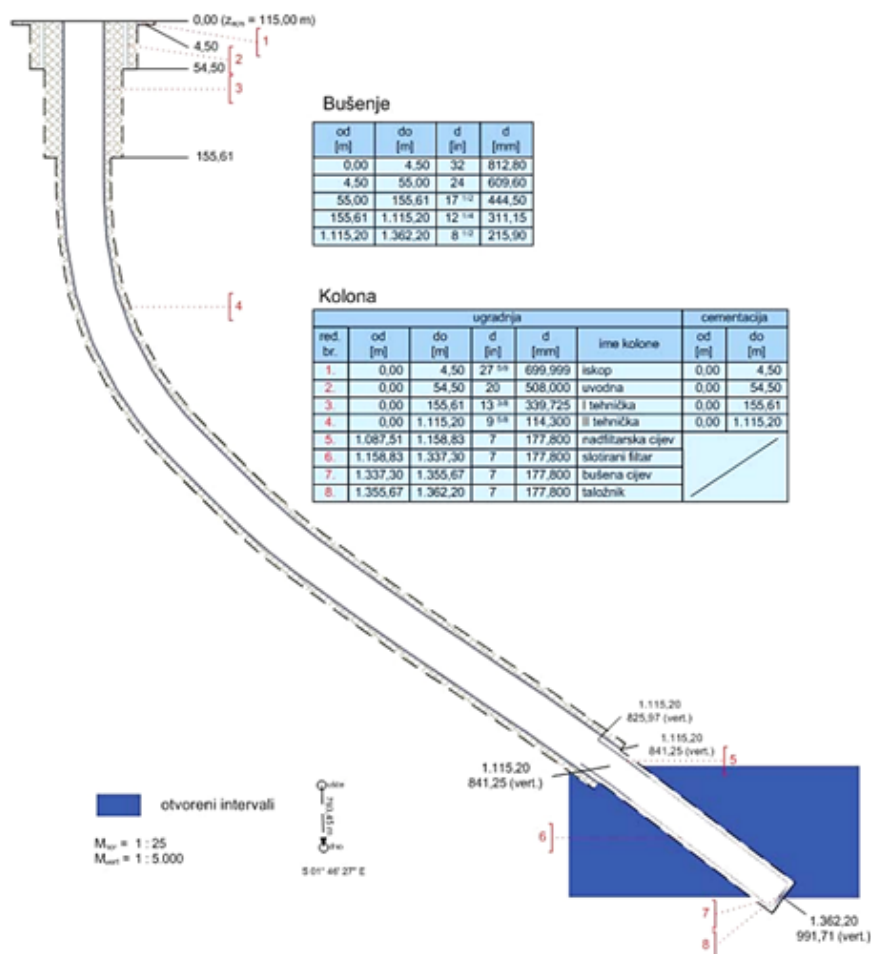


Slika 15. Nadzemna bušotinska oprema za bušotinu Mla-2

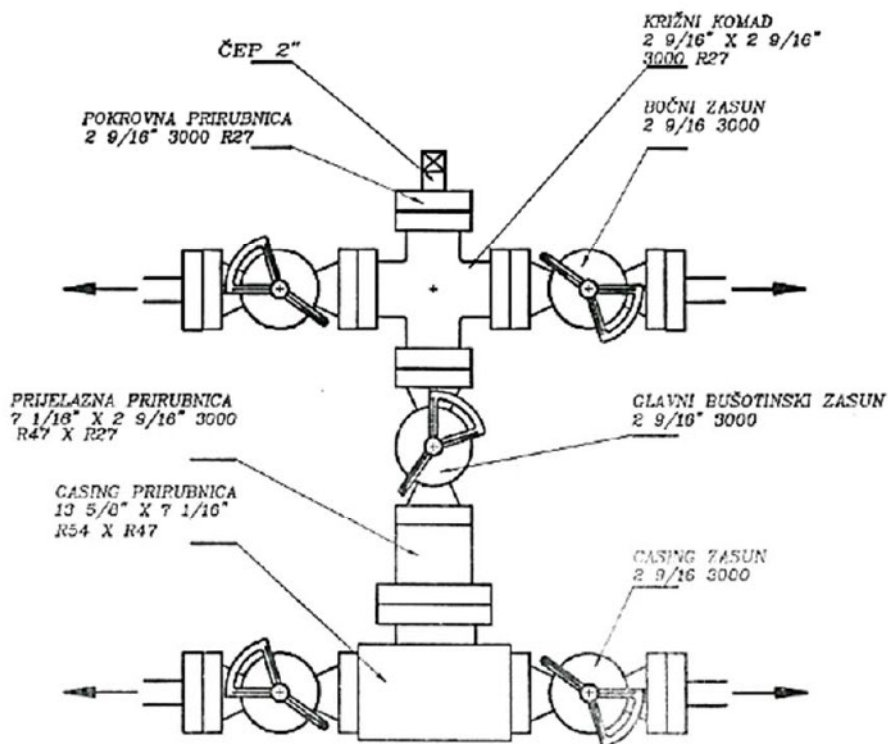
Status: proizvodna

koordinata: y (E) (m): 456.593,03; x (N) (m): 5.071.664,01; z (m): 115,00

Početak bušenja: 25.9.1985.; Kraj bušenja: 18.11.1985.



Slika 16. Tehničke karakteristike bušotine KBNZ-1B



Slika 17. Nadzemna bušotinska oprema za bušotinu KBNZ-1B

Naftno polje Bizovac otkriveno je 1967. istražnom bušotinom Biz-1 na osnovi opsežnih geološko-geofizičkih radova. Iste godine izrađene su još dvije bušotine od kojih su bušotinom Biz-2 otkrivene veće zalihe geotermalne vode.

Na lokalitetu Bizovac u procesu crpljenja geotermalne vode koriste se tri bušotine, od kojih su dvije proizvodne Biz-4 (ležište „Terme”) i Slk-1 (ležište „A3+A4”) te jedna utisna Biz-2 (ležište Terme). Tijekom godina proizvodnja geotermalne vode je prilično ravnomjerna i kreće se od 6 do 9 l/s, te s 85 do 90 °C na površini. Budući da u vodi ima otopljenog plina (od 1,3 do 1,6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> vode), u separatoru se on izdvaja.

Ležište Terme nalazi se u krovinskom dijelu predkenozojskog temeljnog gorja (muskovitski gnajsevi) te u pojedinim dijelovima brečkonglomerata i krupnozrnastih pješčenjaka nedeterminirane starosti. Salinitet u ležištu iznosi 24 - 26 g NaCl/l. Količina vode od 1 m<sup>3</sup> sadrži 1,6 m<sup>3</sup> otopljenog plina koji se sastoji od 92,5 % metana i 7,28 % ugljikovog dioksida. Ležište Terme nalazi se na južnom dijelu strukture Bizovac.

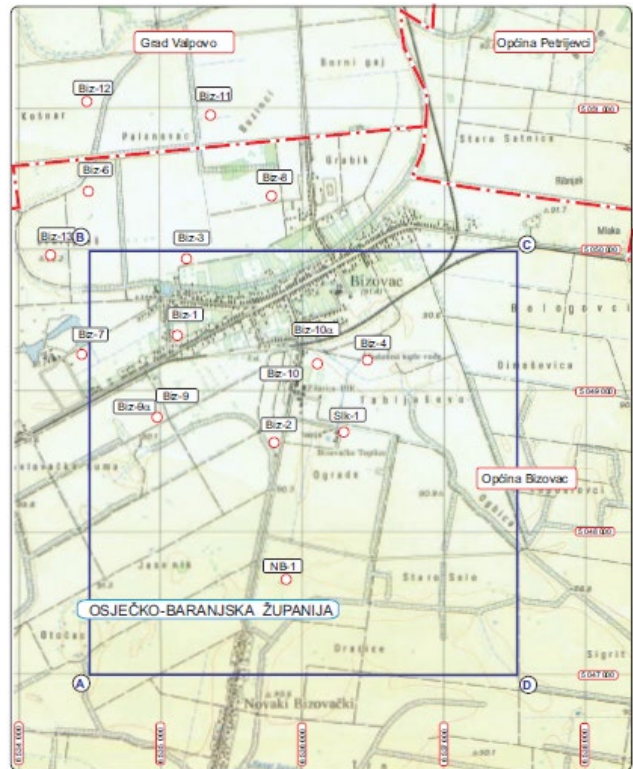
Pješčenjačka ležišta slabomineralizirane vode „A3” i „A4” nalaze se iznad ležišta nafte. Imaju veliko arealno rasprostiranje. Formirana su u slabo do srednjovezanim pješčenjacima donjeg pontaa. Količina vode od 1 m<sup>3</sup> sadrži 1,3 m<sup>3</sup> otopljenog plina. Sastav plina prema analizama sadrži 87 % metana i 13 % ugljikovog dioksida. Salinitet vode iznosi 1,2 - 1,3 g NaCl/l, a gradijent tlaka 0,96 bar/10 m.

Ukupne rezerve svrstane su u kategoriju B i iskazane u l/s, i to za ležište Terme

3,17 l/s te za ležište „A3+A4” 3,05 l/s.

### 5.1 Konstrukcija proizvodne bušotine

Proizvodnja je eruptivna. Vodonosni sloj prekriven je linerom promjera 127 mm (5"). Kao proizvodna kolona zaštitnih cijevi koriste se cijevi promjera 177,8 mm (7"), 32#. Na postojećem erupcijskom uređaju predviđena mogućnost gušenja kroz sigurnosni niz zaštitnih cijevi i inhibicija protiv kamenca. Zasuni na erupcijskom uređaju promjera 2 1/2" i radnog tlaka 5000 psi-a nisu dobro odabrani jer ne zadovoljavaju minimalno potrebi promjer i rade sapnicu na ušću bušotine. Zasuni na erupcijskom uređaju trebali bi biti promjera 4 1/16" i radnog tlaka 3000 psi. Kako te bušotine rade s malim kapacitetima i ti ugrađeni zasuni zadovoljavaju. Postavlja se projektno-ekonomsko pitanje: da li se moglo ići i na manje promjere niza zaštitnih cijevi?



Slika 18. Položaj polja s ucrtanim bušotinama i vršnim točkama eksploatacijskog polja

Na slikama 20., 21., i 22. prikazane su tehničke karakteristike bušotina Biz-4 i Slk-1, kao i njihova nadzemna oprema.

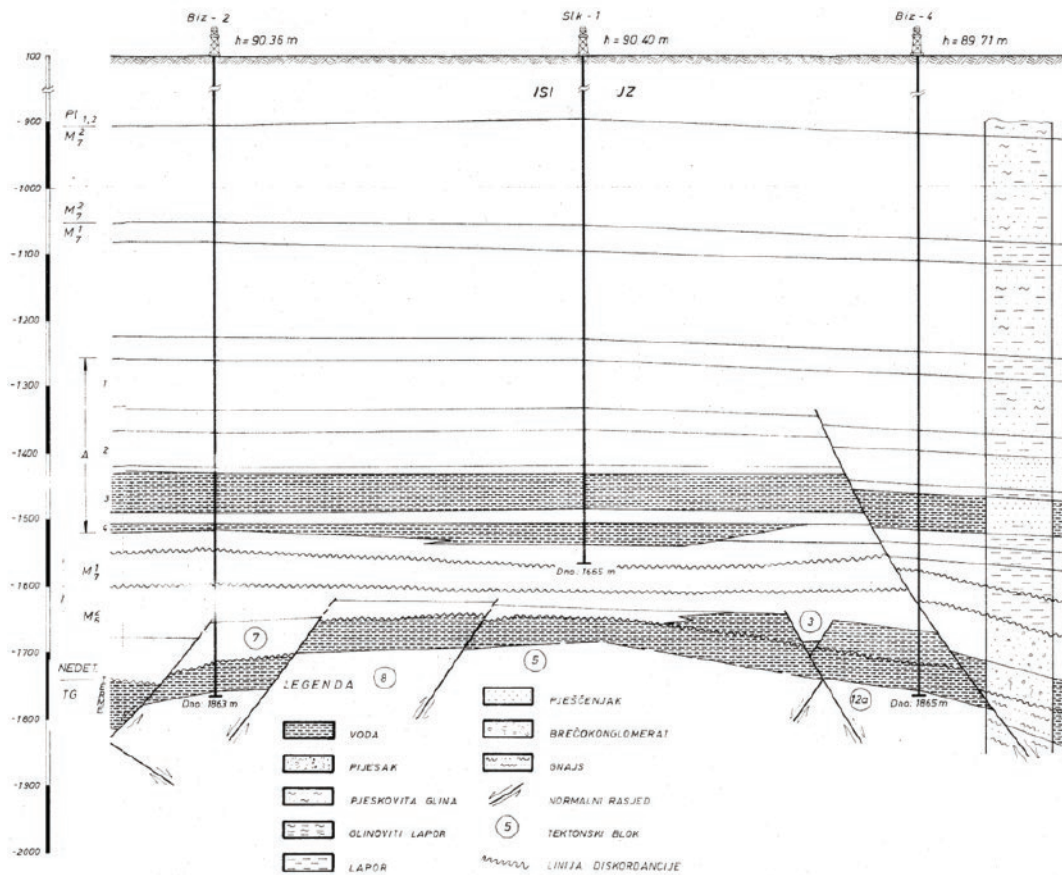
### 5.2 Cementacija niza zaštitnih cijevi

Program cementacija kolona zaštitnih cijevi nije arhiviran. Iz skica je vidljivo da su sve kolone zaštitnih cijevi cementirane do vrha. Za očekivati je da se radi o cementima tipa „G”.

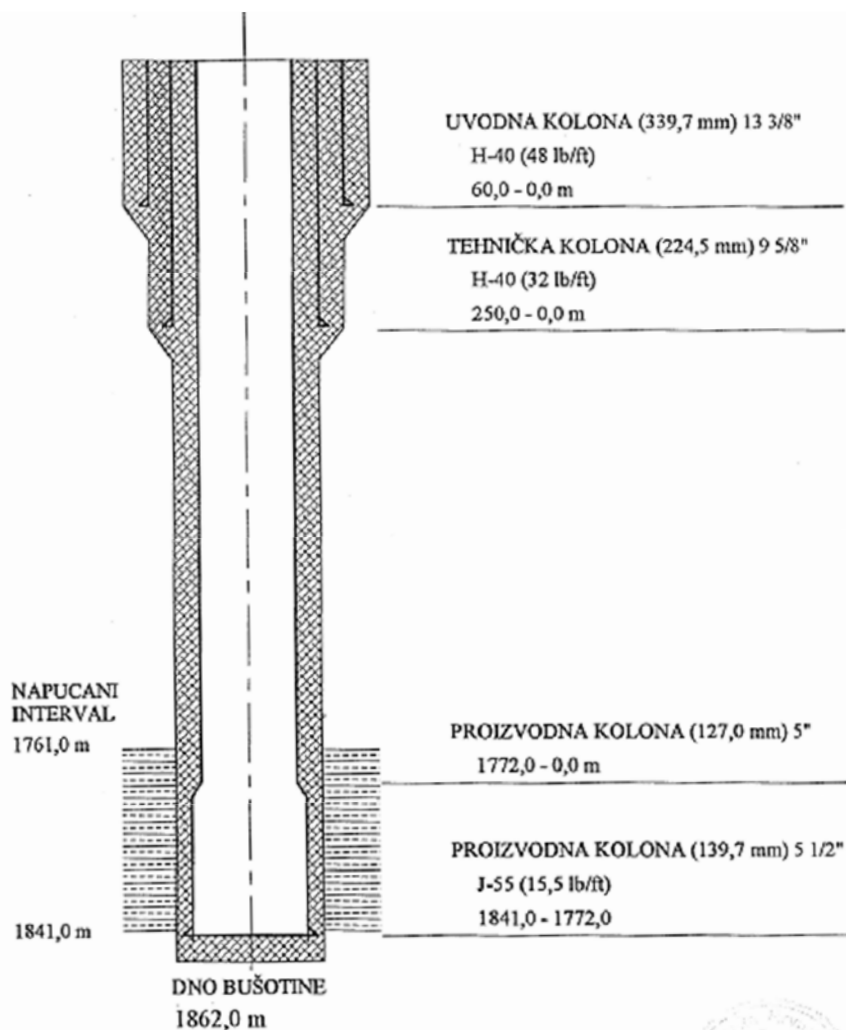
### 5.3 Proizvodno opremanje

Proizvodnja je eruptivna kroz slotirani liner promjera 127,0 mm (5"), proizvodnu kolonu zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7"). Erupcijski uređaj krajnje jednostavan radnog tlaka 5000 psi sa zasunima promjera 2 1/2". U erupcijskom uređaju predviđena je TB vješalica. U TB vješalicu moguće je objesiti TB promjera 76,0 mm (3") ili s redukcijom TB promjera 35,05 mm (1,66"). Radi pojave kamenca, tijekom proizvodnje, naknadno je ugrađen vod za doziranje inhibitora do dubine 300 m.



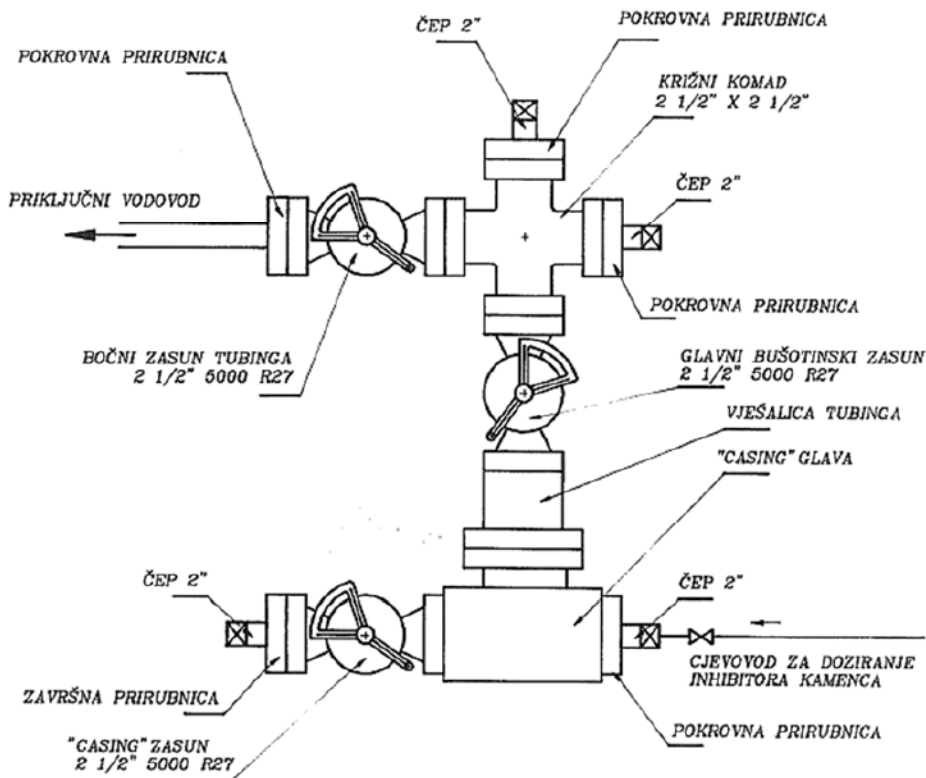
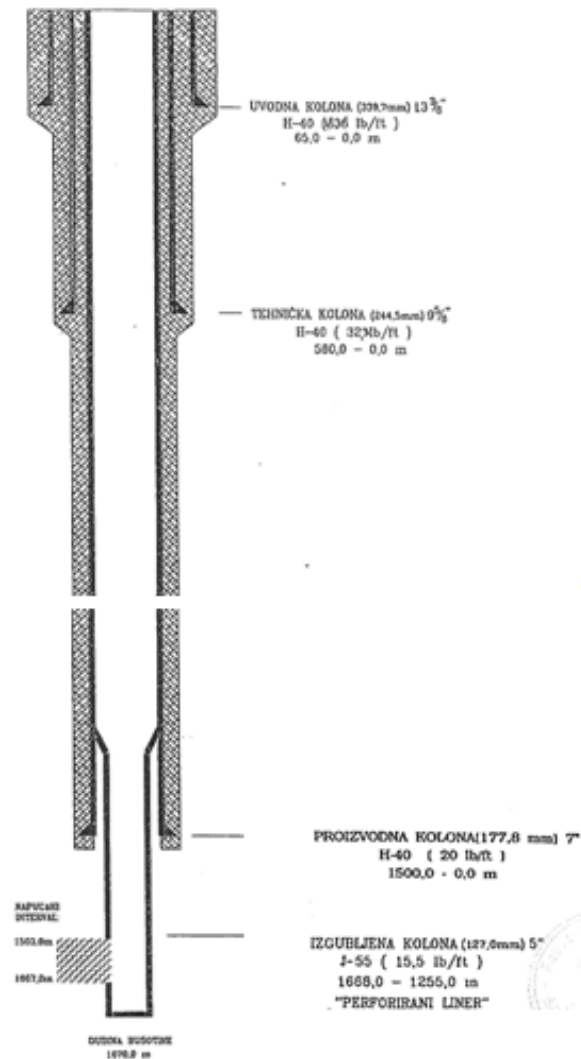


Slika 19. Geološki profit GTP Bizovac prema F. Ivaniček 1993.



Slika 20. Tehničke karakteristike bušotine Biz-4

Slika 21. Tehničke karakteristike bušotine Slk-1



Slika 22. Nadzemna bušotinska oprema za bušotine Biz-4 i Slk-1

## 6. Zaključak

Kod projektiranja treba posvetiti naročitu pažnju sljedećim pokazateljima:

- Kemijskom sastavu proizvodnog fluida radi odabira materijala bušotinske glave i erupcijskog uređaja, niza zaštitnih cijevi i cementne kaše;
- Temperaturi proizvodnog fluida radi uvjeta termičkog rastezanja na ušću bušotine;
- Maksimalno mogućem protoku proizvodnog fluida;
- Tipu proizvodnog opremanja;
- Praćenju korozije i pojave silta tijekom proizvodnje.

Preporuka je da se dio rastezanja preuzme u klinove bušotinske glave, a ako je temperatura veća od 120°C projektira se mogućnost vertikalnog gibanja proizvodne kolone u odnosu na tehničku.

Podatak o maksimalno mogućem protoku proizvodnog fluida je vrlo važan za odluku o odabiru unutarnjeg promjera proizvodnog niza zaštitnih cijevi i minimalnom promjeru zasuna na ušću bušotine. Treba naglasiti da je geotermalni fluid nestlačiv i za proizvodnju bi trebalo zadržati logiku konstantnog protoka (ista površina poprečnog presjeka proizvodnog linera i zasuna na ušću bušotine).

Kada je riječ o proizvodnom opremanju, bez obzira da li se radi o eruptivnom ili nekom drugom načinu proizvodnje, prvo treba odrediti stabilnost proizvodnih intervala. Ako je stijena čvrsta i može osigurati radne uvijete proizvodnje (vapnenci i dolomiti) može se bušotina projektirati kao nezacijevljena. U slučaju da je proizvodni sloj nestabilan (pijesci, nevezani pijesci i dr.) obavezno je zacijevljenje. Za izuzetno nestabilne slojeve potrebno je projektirati filtre. Filteri zahtijevaju veće promjere proizvodnih cijevi i u pravilu smanjuju

proizvodnost. U slučaju da se radi o opremanju bušotine za eruptivni rad proizvodni niz zaštitnih cijevi treba osigurati protok s minimalnim hidrauličkim gubicima. Za uvijete proizvodnje fluida koji je izaziva koroziju (H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> i dr.) treba predvidjeti mogućnost inhibicije proizvodnog fluida, ako to nije riješeno izborom odgovarajućeg materijala. Isto tako treba posvetiti posebnu pažnju odlaganja kamenca. Radi sigurnosti rudarskog objekta tijekom eruptivne proizvodnje dobro je u proizvodni niz ugraditi sigurnosni niz cijevi malog promjera koje služe za brzu intervenciju u slučaju nekontroliranog istjecanja fluida iz bušotine.

U slučaju da ležište nema dovoljnu energiju za iznošenje fluida na površinu bušotina se oprema dubinskom centrifugalnom pumpom. Da bi se pumpa postavila na potrebnu dubinu ona zahtijeva veći promjer proizvodne kolone koji će omogućiti ugradnju pumpe na uzlaznim cijevima adekvatnog promjera i imati prostor za energetski vod.

Dubinsku centrifugalnu pumpu treba ugrađivati na dubinu gdje nema slobodnog plina. Tlak pri kojem se plin izdvaja iz vode pri radnim temperaturama ležišta (tlak zasićenja „bubble point“) treba laboratorijski odrediti. Neke svjetske kompanije izrađuju pumpe koje mogu „progutati“ i do cca 15% slobodnog plina. Kad se radi o protocima većim od 75 l/s u Europi se često, za ovaj način opremanja, koriste proizvodne zaštitne cijevi promjera 273,0 mm (10 ¾”).

Naposljetku, tijekom proizvodnje je važno redovito pratiti koroziju i pojave silta. Koroziju je neophodno pratiti pomoću odgovarajućeg instrumenta (sonde) priključenog u površinskom sustavu u proizvodni vod neposredno iza ušća bušotine, koji bilježi sve parametre. Svakako je važno u tom slučaju pratiti i moguću pojavu silta i pijeska u dotoku, koji uzrokuju abraziju kako u podzemnoj tako i u površinskoj opremi.