

# Specifičnosti projektiranja i opremanja geotermalnih bušotina

---

Velić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:364696>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij naftnog rudarstva

**SPECIFIČNOSTI PROJEKTIRANJA I OPREMANJA GEOTERMALNIH  
BUŠOTINA**

Diplomski rad

Ivan Velić

N401

Zagreb, 2024.

## SPECIFIČNOSTI PROJEKTIRANJA I OPREMANJA GEOTERMALNIH BUŠOTINA

Ivan Velić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Geotermalna energija uz energiju vjetra, solarnu energiju, hidroenergiju i biomasu pripada u skupinu obnovljivih izvora energije a predstavlja alternativu fosilnim gorivima. Izrada geotermalne bušotine je skup složenih operacija i procesa koje zahtijevaju detaljno planiranje. Plan izrade bušotine određen je *projektom istražne geotermalne bušotine* bez kojeg se ne može započeti bušenje, a isti mora biti odobren od nadležnih institucija. Sami projekt bušotine mora sadržavati geološki i geofizički pregled područja zahvata, tehničko-tehnološki projekt bušotine, plan sanacije ukoliko se istražna bušotina proglašeni negativnom i mjere sigurnosti i zaštite okoliša uz pomoć kojih se operacije izvode na siguran i ekološki prihvatljiv način. U radu je prikazan ogledni primjer tehničko-tehnološkog projekta istražne geotermalne bušotine X na istražnom području Z koji detaljno opisuje operacije koje se izvode prilikom izrade kanala bušotine, način na koji se iste provode te su navedeni materijali koji se planiraju koristiti.

Ključne riječi: geotermalna energija, projektiranje bušotina, opremanje, projekt  
Diplomski rad sadrži: 65 stranica, 18 tablica, 21 sliku, i 25 referenci.  
Jezik izvornika: Hrvatski  
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb  
Mentori: dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a  
Komentor: dr. sc. Damir Zadravec  
Ocjenjivači: dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a  
dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor u trajnom zvanju RGNF-a  
dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF-a

## SPECIFICS OF DESIGNING AND COMPLETION OF GEOTHERMAL WELLS

Ivan Velić

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Abstract

Geothermal energy, along with wind energy, solar energy, hydro energy and biomass, belongs to the group of renewable energy sources and represents an alternative to fossil fuels. The construction of a geothermal well involves a complex set of operations and processes that require detailed planning. A good construction plan is determined by the design of the exploratory geothermal well, and without it drilling cannot begin. It must also be approved by the competent authorities. The well project itself must include geological and geophysical surveys of the area, the technical and technological design of the well, a remediation plan if the exploratory well is deemed unsuccessful and measures for environmental safety and protection to ensure that operations are conducted in a safe and environmentally friendly manner. This thesis presents an exemplary technical and technological project of the exploratory geothermal well X in the research area Z, which describes operations performed during the construction of the wellbore, how they are carried out, and the materials planned for its construction.

Keywords: Geothermal energy, design, temperature, completion

Thesis contains: 65 pages, 18 tables, 21 figures, i 25 references.

Original in: Croatian

Archived at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Associate Professor Borivoje Pašić, PhD

Tech. assistance: Damir Zdravec, PhD

Reviewers: Associate Professor Borivoje Pašić, PhD  
Full Professor Zdenko Krištafor, PhD  
Associate Professor Vladislav Brkić, PhD

Defence date: February 22, 2024, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH JEDINICA.....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GEOTERMALNA LEŽIŠTA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. GEOTERMALNA ENERGIJA U REPUBLICI HRVATSKOJ .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Geotermalni potencijal Republike Hrvatske.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Trenutno stanje istraživanja i eksploatacije geotermalne vode u energetske svrhe u RH.....</b>	<b>13</b>
<b>4. PROJEKTIRANJE GEOTERMALNIH BUŠOTINA .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Tehničko-tehnološki projekt bušotine .....</b>	<b>22</b>
4.1.1. Konstrukcija bušotine .....	23
4.1.2. Izrada bušotinskog radnog prostora .....	23
4.1.3. Bušaće postrojenje .....	24
4.1.4. Rezultati proračuna naprezanja zaštitnih cijevi .....	24
4.1.5. Postojeće bušotine na istražnom području .....	25
4.1.6. Opis faza bušenja kanala bušotine različitih promjera .....	26
4.1.7. Predviđeni troškovi, vremenski plan izrade, izvođači radova .....	26
<b>5. OPREMANJE GEOTERMALNIH BUŠOTINA.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1. Specifičnosti opremanja geotermalnih bušotina.....</b>	<b>31</b>
<b>6. PRIMJER PROJEKTA ISTRAŽNE GEOTERMALNE BUŠOTINE .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1. Tehničko-tehnološki projekt istražne bušotine.....</b>	<b>33</b>
6.1.1. Konstrukcija bušotine .....	34
6.1.2. Priprema bušotinskog radnog prostora .....	37
6.1.3. Bušaće postrojenje .....	39
6.1.4. Rezultati proračuna naprezanja zaštitnih cijevi .....	42
6.1.5. Opis bušenja kanala .....	48
6.1.5.1. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,660 m (26").....	48
6.1.5.2. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,445 m (17 1/2") .....	51
6.1.5.3. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,311 m (12 1/4").....	53
6.1.5.4. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,216 m (8 1/2").....	55
6.1.6. Opremanje ušća bušotine .....	58

6.1.7. Vremenski plan izrade bušotine .....	59
6.1.8. Izvođači radova .....	60
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>62</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>63</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1-1.</b> Obnovljivi izvori energije .....	1
<b>Slika 2-1.</b> Prikaz sustava geotermalne elektrane s proizvodnom i utisnom bušotinom ....	6
<b>Slika 3-1.</b> Geografsko područje obuhvaćeno Planom razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske .....	8
<b>Slika 3-2.</b> Geotermalne regije u Republici Hrvatskoj .....	10
<b>Slika 3-3.</b> Prikaz korištenja geotermalne energije u poljoprivredi .....	12
<b>Slika 3-4.</b> Karta izmjerenih temperatura u ranije izrađenim bušotinama na teritoriju RH .....	13
<b>Slika 3-5.</b> Eksploatacijska polja geotermalne vode u RH .....	14
<b>Slika 3-6.</b> Prikaz preliminarnih istražnih i istražnih prostora u RH .....	17
<b>Slika 3-7.</b> Prikaz istražnih prostora u RH .....	17
<b>Slika 4-1.</b> Sadržaj projekta istražne bušotine .....	20
<b>Slika 5-1.</b> Shematski prikaz različitih načina opremanja bušotina .....	29
<b>Slika 5-2.</b> Bušotinska glava geotermalne bušotine .....	32
<b>Slika 6-1.</b> Opći geološki stup istražnog prostora geotermalne vode Z .....	35
<b>Slika 6-2.</b> Shematski prikaz konstrukcije bušotine X .....	37
<b>Slika 6-3.</b> Bušaće postrojenje EMSCO-605 .....	40
<b>Slika 6-4.</b> Troosna naprezanja .....	43
<b>Slika 6-5.</b> Grafički prikaz proračuna naprezanja uvedne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,508 m .....	45
<b>Slika 6-6.</b> Grafički prikaz proračuna naprezanja tehničke kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,339 m .....	46
<b>Slika 6-7.</b> Grafički prikaz proračuna naprezanja uvedne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,245 m .....	47
<b>Slika 6-8.</b> Grafički prikaz rezultata proračuna naprezanja lajnera s prorezima vanjskog promjera 0,178 m uslijed djelovanja očekivane vlačne sile u odnosu na vrijednost dopuštenog vlačnog opterećenja .....	48
<b>Slika 6-9.</b> Shematski prikaz bušotinske glave .....	59

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 2-1.</b>	Izrađene geotermalne bušotine u RH, temperatura na ušću i namjena .....	4
<b>Tablica 2-2.</b>	Klasifikacija geotermalnih ležišta prema Falcone-u i De Wittu .....	5
<b>Tablica 3-1.</b>	Eksploatacijska polja geotermalne vode u RH .....	14
<b>Tablica 3-2.</b>	Istražni prostori u RH .....	16
<b>Tablica 3-3.</b>	Preliminarni istražni prostori u RH .....	18
<b>Tablica 6-1.</b>	Dubine krovine formacija na istražnom prostoru geotermalne vode Z .....	35
<b>Tablica 6-2.</b>	Tehničke karakteristike bušačkog postrojenja EMSCO-605 .....	41
<b>Tablica 6-3.</b>	Promjeri, dubina ugradnje i kvaliteta čelika zaštitnih cijevi i lajnera s prorezima .....	44
<b>Tablica 6-4.</b>	Sastav niza bušačkog alata za izradu kanala bušotine promjera 0,660 m .....	49
<b>Tablica 6-5.</b>	Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,660 m .....	50
<b>Tablica 6-6.</b>	Sastav niza bušačkog alata za izradu kanala bušotine promjera 0,445 m .....	51
<b>Tablica 6-7.</b>	Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,445 m .....	53
<b>Tablica 6-8.</b>	Sastav niza bušačkog alata za izradu kanala bušotine promjera 0,311 m .....	54
<b>Tablica 6-9.</b>	Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,311 m .....	55
<b>Tablica 6-10.</b>	Sastav niza bušačkog alata za izradu kanala bušotine promjera 0,216 m .....	56
<b>Tablica 6-11.</b>	Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,216 m .....	57
<b>Tablica 6-12.</b>	Vremenski plan izrade bušotine .....	60
<b>Tablica 6-13.</b>	Izvođači radova bušotine .....	61



## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$g_T$	$^{\circ}\text{C}/\text{m}$	Geotermalni gradijent
$T_m$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura na dubini mjerenja ( $^{\circ}\text{C}$ );
$T_z$	$^{\circ}\text{C}$	Srednja godišnja temperatura zraka ( $^{\circ}\text{C}$ );
$H_m$	m	Dubina mjerenja (m)
$\sigma_a$	Pa	Aksijalno naprezanje
$\sigma_r$	Pa	Radijalno naprezanje
$\sigma_t$	Pa	Tangencijalno naprezanje
$\sigma_{(VME)}$	Pa	Rezultirajuće troosno naprezanje
AZU	/	Agencija za ugljikovodike
MD	m	Mjerena dubina (engl. <i>Measured depth</i> )
MINGOR	/	Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH
MWD	/	Mjerenja tijekom bušenja (engl. <i>Measuring while drilling</i> )
TVD	m	Stvarna vertikalna dubina (engl. <i>True vertical depth</i> )

## 1. UVOD

Veza između potrošnje energije i ljudske populacije ključna karakteristika je našeg modernog svijeta. Rastom globalne populacije raste i potražnja za energijom koja je ključna za različite aspekte ljudskog života, uključujući napajanje domova električnom energijom, transport, industriju i tehnologiju. Rast stavlja pritisak na postojeće energetske resurse što dovodi do istraživanja alternativnih i održivih izvora energije. Obnovljivi izvori energije poput: solarne energije, hidroenergije, energije biomase, energije vjetra i geotermalne energije (Slika 1-1.) zamjena su za fosilna goriva i doprinose smanjenju emisija stakleničkih plinova kao i diversifikaciji opskrbe energijom te smanjenju ovisnosti o nestabilnim tržištima fosilnih goriva.

Osim toga, distribucija i pristup energetske resursima varira diljem svijeta. Neke regije suočavaju se s energetske siromaštvom gdje nedostatak pristupa pouzdanim izvorima energije ograničava ekonomski razvoj i kvalitetu života. Napore za rješavanje ovog problema često čine poboljšanje infrastrukture i promicanje obnovljivih energetske rješenja, kako bi se osigurao sigurniji i lakši pristup energiji za sve. Balansiranje rastuće potražnje za energijom kod rastuće populacije uz istovremeno očuvanje okoliša predstavlja veliki izazov. Inovacije u energetske učinkovitosti, očuvanju resursa i usvajanje čistih izvora energije ključne su za zadovoljenje potreba sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje vlastite potrebe.



**Slika 1-1.** Obnovljivi izvori energije (Inspire celan energy, n.d.)

Energetska tranzicija predstavlja globalni prelazak s tradicionalnih fosilnih goriva prema obnovljivim izvorima energije i energetskej održivosti. Ova tranzicija ima ključnu ulogu u smanjenju emisija stakleničkih plinova, borbi protiv klimatskih promjena te osiguravanju energetske sigurnosti i pravednosti. Jedan od glavnih ciljeva energetske tranzicije je povećanje udjela obnovljivih izvora energije. Ovi izvori energije neiscrpni su i imaju znatno manji utjecaj na okoliš u usporedbi s fosilnim gorivima. Također, tehnološki napredak u proizvodnji i pohrani energije iz obnovljivih izvora čini ih sve konkurentnijima u usporedbi s tradicionalnim izvorima energije.

Geotermalna energija kao jedan od obnovljivih izvora energija ima nekoliko prednosti u usporedbi s drugim obnovljivim izvorima. Ono što geotermalnu energiju stavlja u takav položaj je konstantna dostupnost, dok npr. energija vjetra i solarna energija zahtijevaju određene vremenske uvjete pogodne za proizvodnju. Konstantna dostupnost omogućava stabilnu i neprekidnu proizvodnju. Također, geotermalnu energiju moguće je iskorištavati na više različitih načina kao što su: proizvodnja tople vode za kućanstva, proizvodnja električne energije, a široku primjenu ima i u poljoprivredi.

U radu je prikazan postupak projektiranja geotermalnih bušotina te što jedan takav projekt treba sadržavati, a bez kojeg se ne može započeti izrada bušotine. Također, objašnjeno je na koji način se opremaju bušotine i koje su specifičnosti opremanja geotermalnih bušotina. Cijeli postupak prikazan je kroz primjer projekta istražne bušotine X na istražnom prostoru Z.

## 2. GEOTERMALNA LEŽIŠTA

Izraz „geotermalno“ potječe od spajanja grčkih riječi: „geo“, što znači Zemlja, i „therm“, što znači toplina pa bi u doslovnom prijevodu značilo „Zemljina toplina“. Ležišta geotermalne energije dijelovi su Zemljine kore gdje je koncentrirana toplinska energija. Ona se nalazi na mjestima gdje je plašt Zemlje stanjen ili postoje tektonske anomalije u plaštu, omogućujući magmi da prodre dublje u Zemljinu koru. Toplina se prenosi na okolne stijene, formacije koja zatim prenosi toplinu nekom mediju, tj. fluidima unutar njihovih pora. Cilj je koristiti medij koji prenosi toplinu, preuzeti toplinu i iskoristiti ju za neku svrhu, a medij utisnuti natrag u formaciju (Capuano et al., 2008).

Dubina geotermalnih ležišta varira ovisno o geološkim karakteristikama područja i položaju ležišta unutar Zemljine kore. Geotermalna ležišta mogu se nalaziti na relativno malim dubinama do 1500 metara, kao i na znatno većim dubinama, sve do nekoliko kilometara ispod površine Zemlje. Različite dubine geotermalnih ležišta imaju različite temperature i tlakove koji utječu na iskoristivost geotermalnog ležišta. Temperature na dubinama do 1000 metara obično nisu vrlo visoke, ali su dovoljne da se mogu koristiti za grijanje ili hlađenje stambenih ili poslovnih prostora putem toplinskih pumpi. Ležišta s većom temperaturom nalaze se na većim dubinama, obično između 1500-5000 metara ispod površine Zemlje (Elezović et al., 2018). Na tim dubinama temperature su značajno više, što omogućuje proizvodnju pare ili vode visoke temperature. Ležišta s vrlo visokom temperaturom mogu se koristiti za proizvodnju električne energije ili u industrijske svrhe. Podatci nekih od izrađenih geotermalnih bušotina u RH kao i njihova namjena prikazane su u Tablici 2-1.

Temperatura geotermalne vode u ležištu ima ključnu ulogu prilikom projektiranja izrade geotermalnih bušotina. Ona predstavlja temperaturu koja će se obično pojaviti kao najviša tijekom procesa izrade bušotine, a svi dijelovi bušotine dimenzioniraju se prema njoj. Ova temperatura ovisi o geotermalnom gradijentu na razmatranom području, koji se definira kao porast temperature s porastom dubine i izražava se u  $^{\circ}\text{C}/\text{m}$  ili  $^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ . Geotermalni gradijent može varirati, na primjer, od  $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$  do  $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$  za određene vertikalne intervale kanala bušotine (Gaurina-Međimurec et al., 1994). Geotermalni gradijent definiran je formulom:

$$g_T = \frac{T_m - T_z}{H_m} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m} \quad (2-1)$$

Gdje su:

$g_T$  = geotermalni gradijent ( $^\circ\text{C}/\text{m}$ );

$T_m$  = temperatura na dubini mjerenja ( $^\circ\text{C}$ );

$T_z$  = srednja godišnja temperatura zraka ( $^\circ\text{C}$ );

$H_m$  = dubina mjerenja (m)

Tlak u geotermalnim ležištima ima važnu ulogu u potencijalnom iskorištavanju ležišta, ali nije ključan parametar kao što je to slučaj kod naftnih ležišta. U geotermalnim sustavima, temperatura je često važniji faktor. Tlak se često razmatra u kontekstu hidrogeoloških svojstava ležišta, ali sama njegova vrijednost nije presudna za određivanje iskoristivosti geotermalnog izvora.

**Tablica 2-1.** Izrađene geotermalne bušotine u RH, temperatura na ušću i njihova namjena (Elezović et al., 2018)

GEOTERMALNO POLJE (bušotina)	DUBINA BUŠOTINE (m)	TEMPERATURA NA UŠĆU ( $^\circ\text{C}$ )	NAMJENA
Velika Ciglena (VC-1A)	2460	166	proizvodnja el. energije
Draškovec (Dr-2)	1958	96	proizvodnja el. energije
Zagreb (Mla-3)	1362	80	grijanje objekata
Bizovac (Biz-4)	1862	85-90	toplice

U svijetu još uvijek ne postoji jasan i općeprihvaćen sustav klasifikacije geotermalnih ležišta. U ovom radu prikazane su dvije različite podjele. Prvi pristup proizlazi iz istraživanja Falcone-a i De Witt-a (2011) koji definiraju četiri različite vrste geotermalnih ležišta prema temperaturi i načinu korištenja topline. Podjela je prikazana u Tablici 2-2. Drugi pristup dijeli geotermalna ležišta na dvije skupine (Gaurina-Međimurec et al., 1994). Klasifikacija geotermalnih ležišta može se povezati s njihovim geotermalnim energetske potencijalom, koji se može procijeniti prema krajnjoj uporabi ili potencijalnoj vraćenoj toplini, izravno povezanoj s temperaturom geotermalnog ležišta. Prilikom procjene rezervi, treba

specificirati pretpostavljene ekonomske uvjete i tehnologiju, koji ovise o namjeni za koju se geotermalna toplina namjerava koristiti. Iako je moguće koristiti geotermalna ležišta u druge svrhe, obično je vrijednije proizvoditi električnu energiju iz njih, ako uvjeti u ležištu to omogućavaju.

**Tablica 2-2.** Klasifikacija geotermalnih ležišta prema Falcone-u i De Wittu (2011)

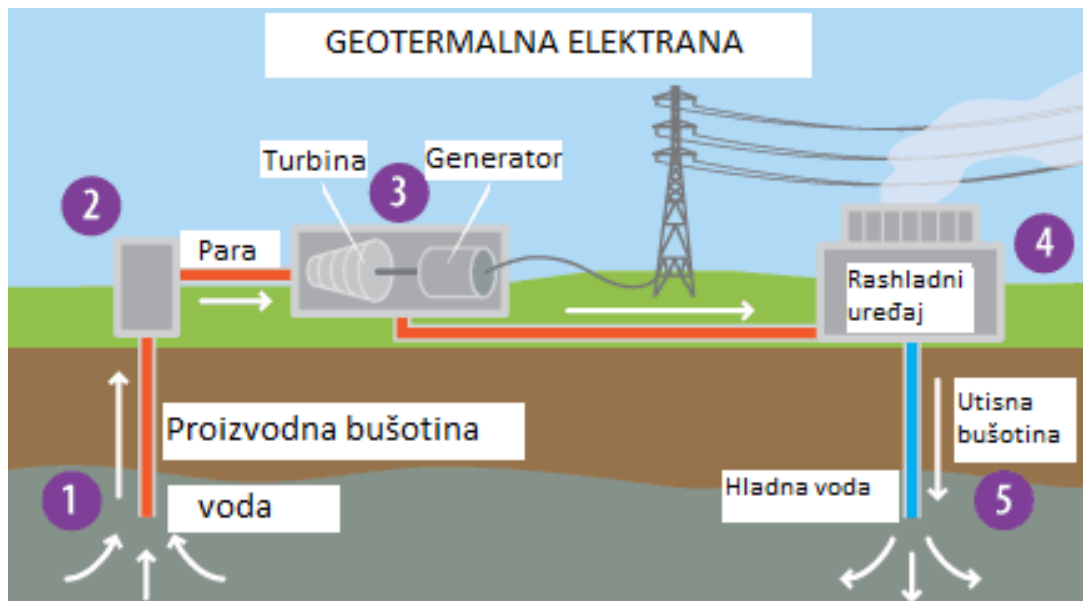
LEŽIŠTA	TEMPERATURA (°C)	NAMJENA
temperature površinskih voda	5-25	dizalice topline za kućanstva i zgrade
nisko-temperaturna	20-75	poljoprivreda, zdravstveno-rekreativne svrhe
srednje-temperaturna	75-150	proizvodnja električne energije
visoko-temperaturna	>150	proizvodnja električne energije

Prema Gaurina-Međimurec et al. (1994), geotermalna ležišta mogu se podijeliti u dvije skupine s obzirom na mogućnost iskorištavanja toplinske energije. Prva skupina obuhvaća ležišta s temperaturom vode manjom od 120°C koja se koriste za grijanje i rekreativno-zdravstvene svrhe. Druga skupina obuhvaća ležišta s temperaturom vode većom od 120°C koja su pogodna za iskorištavanje u energetske svrhe, uključujući proizvodnju električne energije.

Da bi se geotermalna voda ili vodena para iz ležišta dovela na površinu, potrebno je pažljivo projektirati i izraditi bušotinu, kako bi ona osigurala kontinuirano iskorištavanje geotermalne energije. Nakon projektiranja slijedi postupak izrade kanala bušotine a naposljetku i njeno opremanje. Prilikom opremanja bušotine važno je ugraditi odgovarajuće zaštitne cijevi i cementirati ih s adekvatno dizajniranom cementnom kašom. Ovaj proces omogućava bušotini da bude funkcionalna i proizvodi energiju tijekom duljeg vremenskog razdoblja, obično 20 do 30 godina (Gaurina-Međimurec et al., 1994).

Za proizvodnju električne energije iz geotermalnih ležišta uvijek se izrađuju najmanje dvije bušotine: proizvodna i utisna bušotina. Proizvodna bušotina služi za pridobivanje vruće vode ili vodene pare, dok utisna bušotina služi za utiskivanje ohlađene vode nakon što se iskoristi njezin toplinski potencijal, koja između ostalog i podržava tlak u ležištu (Cazin i

Jurilj, 2022). Ovaj proces stvara zatvoreni krug u kojem voda ili para iz geotermalnih ležišta pokreće turbine generatora električne energije ili služi za grijanje objekata prijenosom topline. Ohlađena geotermalna voda ili para utiskuje se natrag u geotermalno ležište kroz utisne bušotine. Kroz utisne bušotine može se vodu utisnuti u iste formacije iz kojih je pridobivena ili u druge podzemne strukture koje se smatraju prikladnijima za tu svrhu. Shematski prikaz sustava geotermalne elektrane može se vidjeti na Slici 2-1.



**Slika 2-1.** Prikaz sustava geotermalne elektrane s proizvodnom i utisnom bušotinom (U.S. Environmental Protection Agency, 2017)

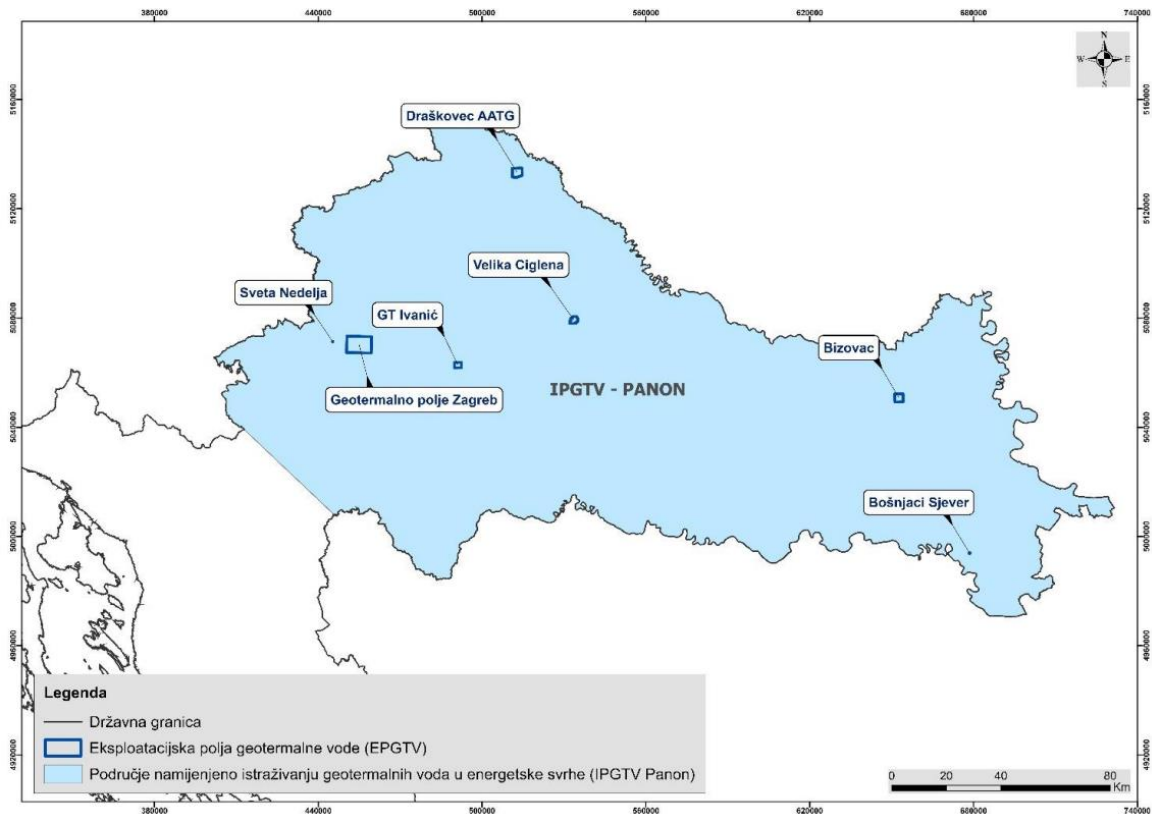
### 3. GEOTERMALNA ENERGIJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine (Narodne novine [NN], 52/18) napravljen je u skladu s odredbama *Zakona o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika*. Plan je usklađen sa Strategijom energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s perspektivom do 2050. godine (Narodne novine [NN], 25/18). Glavni razlozi donošenja Plana nalaze se u potrebi osiguravanja daljnjega razvoja i iskorištavanja geotermalne energije kao obnovljivog resursa. Taj potencijal je potrebno sveobuhvatno koristiti u procesima energetske tranzicije, bilo za proizvodnju električne energije ili za sustave grijanja i hlađenja (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja [MINGOR], 2023).

Plan obuhvaća širi geografski prostor, uključujući područje Panonskog bazena u Republici Hrvatskoj. Osim toga, planom su definirane metode istraživanja, razvoja i eksploatacije geotermalnog potencijala, tehnike i tehnologije pridobivanja geotermalne vode u energetske svrhe, način njezine upotrebe od strane krajnjih korisnika te usmjerenja energetskeg razvoja prema zelenoj energiji.

Županije koje su obuhvaćene Planom prikazane su na Slici 3-1., a uključuju Karlovačku županiju, Grad Zagreb, Zagrebačku županiju, Međimursku županiju, Krapinsko-zagorsku županiju, Varaždinsku županiju, Koprivničko-križevačku županiju, Sisačko-moslavačku županiju, Bjelovarsko-bilogorsku županiju, Virovitičko-podravsku županiju, Brodsko-posavsku županiju, Osječko-baranjsku županiju, Požeško-slavonsku županiju i Vukovarsko-srijemsku županiju.





**Slika 3-1.** Geografsko područje obuhvaćeno Planom razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske (MINGOR, 2023)

Geotermalna energija obuhvaća sve ključne elemente definirane u nacionalnoj strategiji za zelenu politiku: dekarbonizaciju, energetska učinkovitost, energetska sigurnost, unutarnje energetska tržište i istraživanje, inovacije te konkurentnost. Upotreba obnovljivih izvora energije, poput geotermalne energije, usklađena je s interesima Republike Hrvatske u sektoru energetike, posebno u ostvarivanju nacionalnoga cilja postizanja najmanje 36,6% udjela obnovljivih izvora energije u konačnoj potrošnji energije do 2030. godine u Republici Hrvatskoj (MINGOR, 2023). Osim proizvodnje električne energije, važno je poticati korištenje geotermalne energije za turističko-rekreacijske svrhe, grijanje prostora, pripremu potrošne tople vode, poljoprivrednu proizvodnju, industrijsku preradu poljoprivrednih proizvoda, uzgoj riba i druge svrhe.

Prema Direktivi 2018/2001 o promicanju korištenja energije iz obnovljivih izvora, sve članice Europske unije su obvezne postići godišnje povećanje udjela obnovljivih izvora energije za grijanje i hlađenje od 1,3%. Ovo povećanje odnosi se na prosječne vrijednosti tijekom razdoblja od 2021. do 2025. godine i od 2026. do 2030. godine, uspoređujući ih s udjelom u 2020. godini.

Osnovni dokument na razini Europske unije koji određuje strategiju učinkovitoga iskorištavanja prirodnih resursa je *Europski zeleni plan* (engl. *European Green Deal*). Prema zelenom planu glavni cilj je postizanje klimatske neutralnosti Europske unije do 2050. godine. Obnovljivi izvori energije, uključujući geotermalnu energiju, imaju ključnu ulogu u tranziciji prema čistoj energiji, omogućavajući smanjenje emisija stakleničkih plinova za više od 50% do 2030. u odnosu na 1990. godinu (Europska Komisija, 2019). Poticanjem snažnijeg integriranja obnovljivih izvora energije u sve sektore društva i gospodarstva, promiče se dekarbonizacija energetskega sektora.

Pored gore spomenutih direktiva, Europska unija aktivno podržava istraživanje i razvoj geotermalnih tehnologija kroz svoje inicijative. Financira projekte koji istražuju modele direktnog korištenja topline iz geotermalnih izvora, kao i neizravno korištenje geotermalne energije, gdje se toplina iz geotermalnih izvora koristi za proizvodnju električne energije. Ciljevi ovih projekata uključuju proučavanje utjecaja korištenja geotermalne energije na okoliš i društvo te stvaranje uvjeta za širenje i financijsku učinkovitost sustava korištenja geotermalne energije.

### **3.1. Geotermalni potencijal Republike Hrvatske**

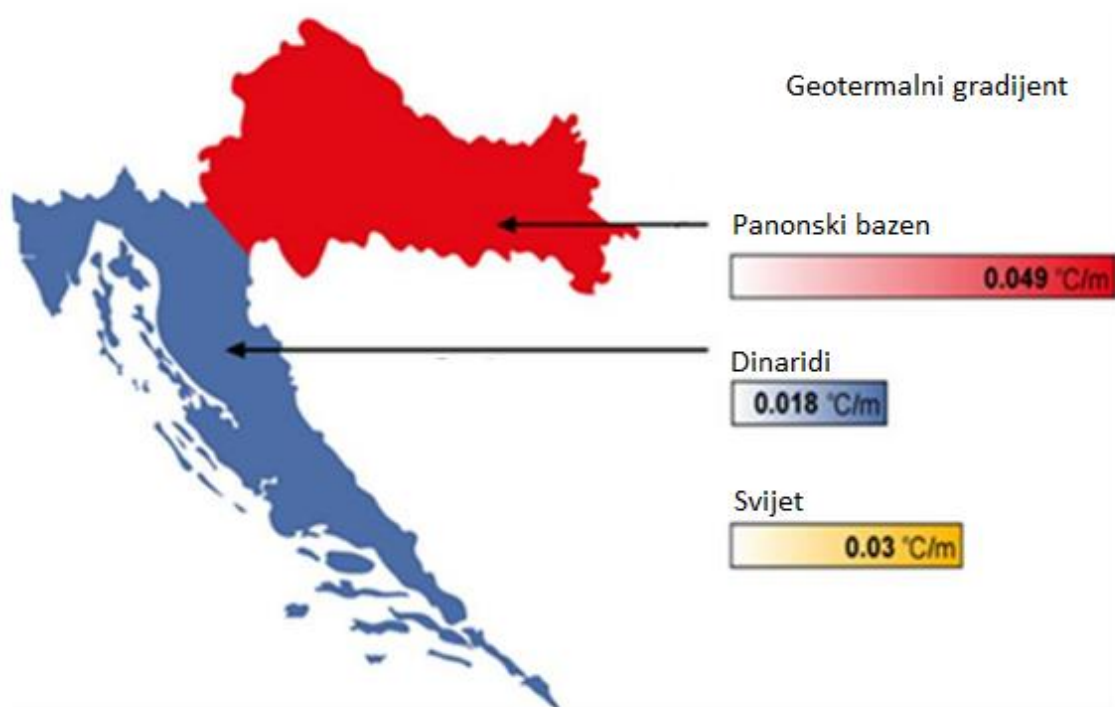
Razvoj energetske geotermalne projekata u Hrvatskoj započeo je u sedamdesetim godinama prošlog stoljeća. Ovaj početak bio je povezan s aktivnostima kompanije INA d.d. u istraživanju i proizvodnji ležišta nafte i plina te istraživanju i iskorištavanju geotermalnih ležišta (Elezović et al., 2018). U suvremenom kontekstu, pozitivna iskustva iz cijelog svijeta i prepoznavanje potencijala Hrvatske privukli su strane investitore, potičući rast interesa za korištenje geotermalne energije. Domaći stručnjaci su također izvukli korist iz svjetskih iskustava, što je rezultiralo pozitivnim usmjeravanjem u korištenju geotermalne energije.

Podaci prikupljeni iz tih bušotina danas se koriste kao temelj za planiranje i projektiranje geotermalnih projekata diljem zemlje. Petrofizičke karakteristike stijena u ležištima, kao što su: poroznost, propusnost i zasićenost vodom, određuju se putem laboratorijskih analiza uzoraka stijena i interpretacije geofizičkih mjerenja. Fizičke karakteristike ležišta, poput: geotermalnog gradijenta, početnog ležišnog tlaka i kemijskog sastava geotermalne vode, procjenjuju se analizom rezultata testiranja ležišta. Podatci o geotermalnom fluidu,

salinitetu, početnom tlaku, temperaturi i proizvodnim karakteristikama ležišta, koriste se prilikom razmatranja geotermalnih projekata i donošenja odluka o njihovoj provedbi.

Geotermalni potencijal određenoga područja proizlazi iz njegove geološke strukture. U svijetu, kao i u Republici Hrvatskoj, geotermalni potencijal uvelike ovisi o debljini kontinentalne kore, odnosno dubini Mohorovičićeva diskontinuiteta koji predstavlja granicu između Zemljine kore i plašta. Na Panonskom području, Mohorovičićev diskontinuitet ponegdje se nalazi na dubinama manjim od 20 km (Tumara i Pavlović, 2019).

Područje Republike Hrvatske može se podijeliti na dva osnovna dijela: Panonsko područje, koje karakterizira visoki geotermalni gradijent, te područje Dinarida s nižim vrijednostima (Slika 3-2.). Na području hrvatskog dijela Panonskog bazena geotermalni gradijent iznosi više od 4 °C na 100 m, dok u Dinaridima doseže vrijednost od svega 2 °C/100 m (Kolbah et al., 2019).



**Slika 3-2.** Geotermalne regije u Republici Hrvatskoj (Bošnjak et al., 1998)

Najznačajniji geotermalni potencijal identificiran je u karbonatnim stijenama, poput dolomita, vapnenaca mezozojske starosti, te u vapnenačko-dolomitnim brečama neogenske i mezozojske starosti. Karbonatna ležišta karakterizira visok geotermalni gradijent i visoka

propusnost, omogućujući znatan dotok geotermalne vode. Pored temperature, procjena geotermalnog potencijala uključivala je i analizu dotoka geotermalne vode, odnosno količine vode koja se može pridobiti u jedinici vremena (Tumara i Pavlović, 2019).

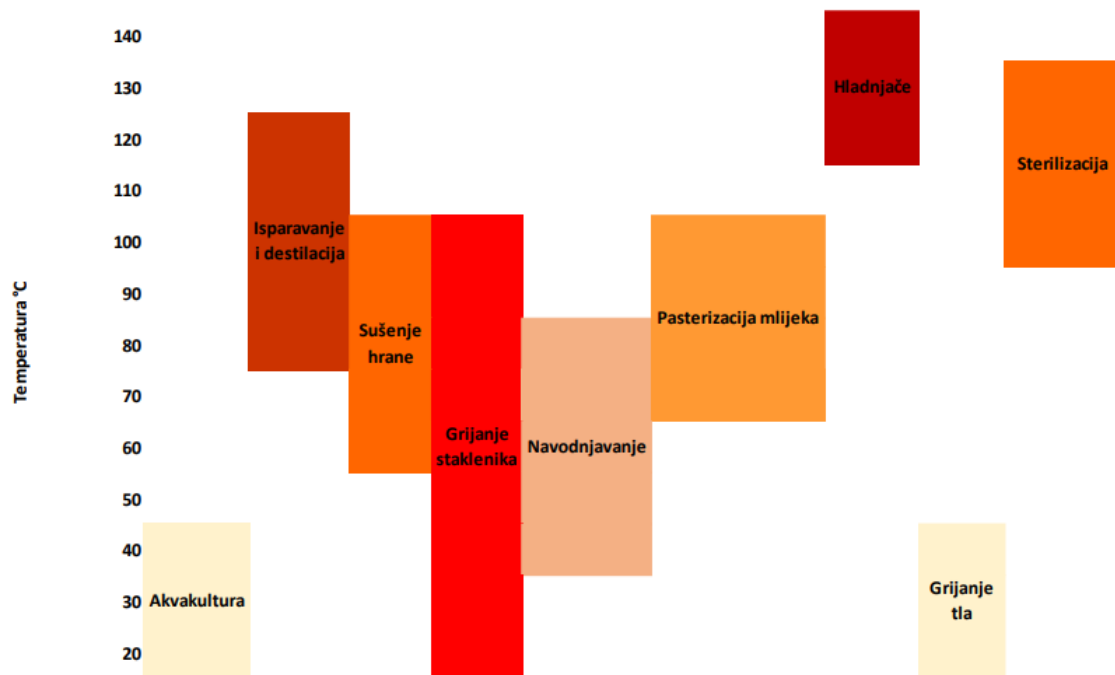
Karbonatna ležišta u Panonskom dijelu regije pojavljuju se kao velika vodna tijela, odnosno ležišta masivnog tipa. S druge strane, manji geotermalni potencijal utvrđen je u pješčenjacima i litotamnijskim vapnencima neogenske starosti zbog niže propusnosti, što rezultira manjim dotokom geotermalne vode. Ipak, takva ležišta često su prikladna za korištenje u područjima kao što su toplinarstvo i poljoprivreda.

Analiza visoko-temperaturnih geotermalnih ležišta ( $T > 100\text{ °C}$ ) usmjerena je prema procjeni instalirane snage za proizvodnju električne energije, dok se nisko-temperaturna geotermalna ležišta ( $T < 100\text{ °C}$ ) promatraju kroz potencijal izravne uporabe topline. Osim u proizvodnji električne energije, geotermalna energija ima značajan potencijal i u području toplinarstva. To obuhvaća grijanje stambenih zgrada, poslovnih prostora te bazena, a također koristi se u poljoprivredi, gdje geotermalna voda služi za grijanje plastenika, sušenje voća i povrća, kao i za potrebe ribogojilišta itd.. Geotermalni sustavi pružaju značajne prednosti u usporedbi s drugim obnovljivim izvorima energije i jedinstveni su po tome što omogućavaju hlađenje i grijanje iz iste instalacije (MINGOR, 2023).

Upotreba geotermalne energije u poljoprivredno-prehrambenom sektoru obuhvaća grijanje staklenika i sterilizaciju tla, stvarajući optimalno okruženje za uzgoj hrane čak i na mjestima gdje prirodni uvjeti ne bi bili povoljni. Osim toga, pruža zaštitu od bolesti i ekstremnih vremenskih uvjeta povećavajući produktivnost i dostupnost poljoprivrednih proizvoda izvan sezone. Primjena geotermalne energije u poljoprivredi ima širok spektar i obuhvaća cijeli lanac poljoprivredno-prehrambene industrije, uključujući uzgoj, obradu i skladištenje.

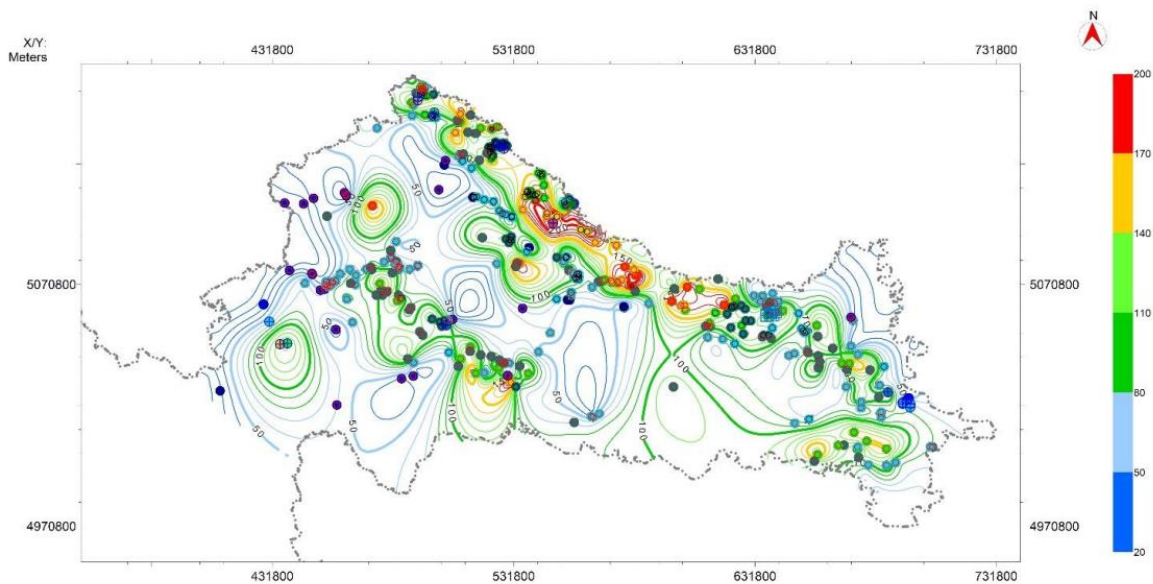
Kada se geotermalna energija koristi u poljoprivredne svrhe (Slika 3-3.), važno je istaknuti da postoji dva osnovna načina njezine primjene. Prvi način je direktna uporaba vode koja izlazi iz bušotine, dok se drugi način odvija putem dubokih toplinskih izmjenjivača instaliranih u bušotinu. U slučaju korištenja dubinskih izmjenjivača topline, voda kruži kroz proizvodnu kolonu bušotine i potiskuje se kroz prstenasti prostor. Na taj način, za dobivanje topline potrebna je samo jedna bušotina. Kada se geotermalna voda

koristi izravno iz bušotine, ovisno o njezinom sastavu, može biti potrebno ponovno je utisnuti u ležište, za što je potrebna dodatna bušotina. Ovaj pristup omogućuje dobivanje veće količine energije.



**Slika 3-3.** Prikaz korištenja geotermalne energije u poljoprivredi (MINGOR, 2023)

Preliminarnom analizom bušotinskih, geoloških i geofizičkih podataka izrađena je karta maksimalnih temperatura izmjerenih u bušotinama diljem RH (Slika 3-4.). Na temelju tih temperatura i analiza bušotinskih podataka, identificirano je preko 70 lokaliteta s geotermalnim potencijalom na području hrvatskog dijela Panonskoga bazena, gdje je moguće koristiti geotermalnu energiju u različite svrhe poput proizvodnje električne energije, grijanja/hlađenja ili u poljoprivredi. Preliminarne procjene ukazuju na potencijal geotermalne energije u Republici Hrvatskoj od 1 GW.



**Slika 3-4.** Karta izmjerenih temperatura u ranije izrađenim bušotinama na teritoriju RH (MINGOR, 2023)

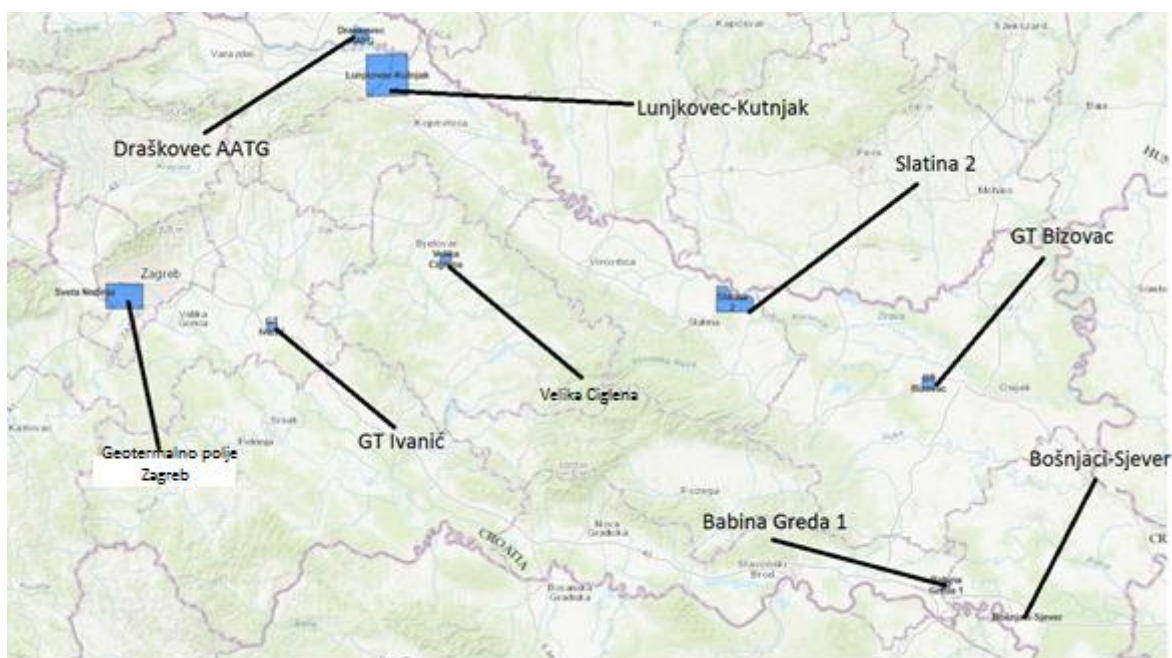
### **3.2. Trenutno stanje istraživanja i eksploatacije geotermalne vode u energetske svrhe u RH**

U Republici Hrvatskoj trenutno se uspješno eksploatira geotermalna voda iz devet geotermalnih ležišta (Tablica 3-1.), od kojih je osam fokusirano na energetske svrhe, dok se ležište Bošnjaci-Sjever ističe po svojoj upotrebi u poljoprivredi. Geotermalna energija iz sedam geotermalnih ležišta pridonosi diversifikaciji energetskeg portfolija zemlje. Kroz proizvodnju električne energije iz ovih ležišta, Hrvatska ostvaruje održiv i čist izvor energije, smanjujući ugljični otisak i doprinoseći globalnim naporima u borbi protiv klimatskih promjena.

Ležište Bošnjaci-Sjever, osim što je površinom najmanje ležište (Slika 3-5.), ima i specifičnu primjenu u sektoru poljoprivrede. Korištenjem geotermalne vode za potrebe grijanja staklenika, kao što je to u Bošnjacima, Hrvatska unapređuje uvjete za uzgoj povrća. Ova inovativna primjena geotermalne energije u poljoprivredi poboljšava produktivnost i kvalitetu usjeva, a pritom doprinosi održivosti poljoprivrednih gospodarstava.

**Tablica 3-1.** Eksploatacijska polja geotermalne vode u RH (Agencija za ugljikovodike [AZU], 2023)

<b>EKSPLOATACIJSKA POLJA GEOTERMALNE VODE</b>	<b>POVRŠINA (<math>km^2</math>)</b>	<b>OVLAŠTENIK</b>
GT Bizovac	9,00	INA d.d.
Slatina 2	38,77	Geo Power Zagocha
Velika Ciglena	5,94	Geoen d.o.o.
GT Ivanić	5,00	INA d.d.
Lunjkovec – Kutnjak	99,97	Bukotermal
Draškovec AATG	11,18	AAT Geothermae
Geotermalno polje Zagreb	54,00	GPC Instrumentation Process d.o.o.
Bošnjaci-Sjever	0,05	Ruris d.o.o. Županija
Babina Greda 1	2,60	Geo Power Babina Greda d.o.o.



**Slika 3-5.** Eksploatacijska polja geotermalne vode u RH (AZU, 2023)

Osim aktivnih eksploatacijskih polja, u Republici Hrvatskoj postoji 23 istražna prostora geotermalne vode (Tablica 3-2.). Uz navedene istražne aktivnosti, Agencija za ugljikovodike

(AZU), u ime Republike Hrvatske, provodi istražne radove s ciljem utvrđivanja geotermalnog potencijala. Ovi radovi proizlaze iz *projekta Razvoja geotermalnog potencijala za potrebe toplinarstva, uključenog u Nacionalni plan oporavka i otpornosti*. Istražno geotermalno područje označava područje koje se istražuje radi potencijalnog korištenja geotermalne energije. Istražno geotermalno područje je obično određeno na temelju preliminarnih istraživanja koja ukazuju na prisutnost geotermalnog potencijala, poput visokih temperatura ili drugih geoloških pokazatelja. Preliminarno istražno geotermalno područje je faza prije detaljnijih istraživanja koja uključuju bušenje, geološke analize i procjene ekonomske isplativosti. U ovoj fazi, područje se još uvijek ispituje radi potvrde prisutnosti geotermalnih ležišta i procjene njihovog potencijala za ekonomski održivo iskorištavanje. Ova preliminarna istražna područja mogu biti ključna za određivanje daljnjih koraka u razvoju geotermalne energije na tom području.

Preliminarni istražni prostori i istražni prostori prikazani su na Slikama 3-6. i 3-7.

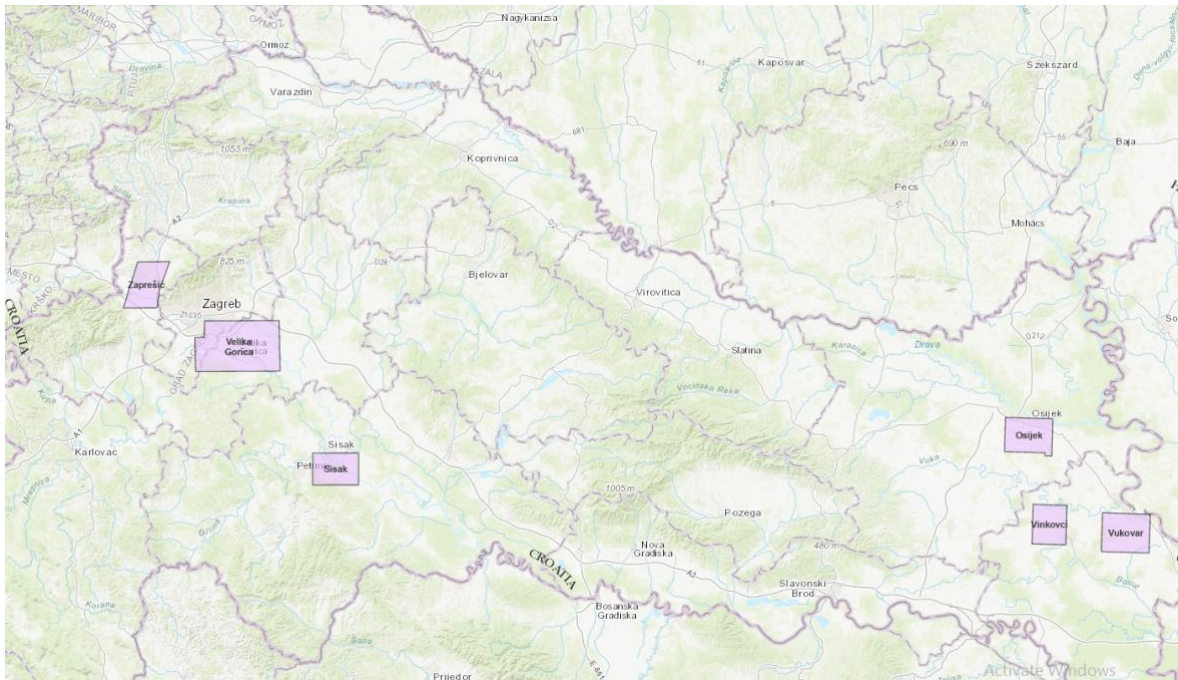
Agenciji je dodijeljeno 30 milijuna eura da provede istražne radove, a financiranje je namijenjeno za potvrđivanje geotermalnog potencijala. Od devet prvotno identificiranih lokacija s geotermalnim potencijalom, odabrano je šest preliminarnih istražnih područja prema određenim kriterijima (Tablica 3-3.). Na tim područjima provedena su geofizička snimanja, a Agencija će izraditi po jednu istražnu bušotinu na dva preliminarna istražna područja, to su Velika Gorica i Osijek.

Ovaj opsežni istraživački rad ima cilj smanjiti geološki rizik za buduće geotermalne projekte, istovremeno smanjujući visoka početna kapitalna ulaganja. Nakon završetka bušotina, prema zakonu, prostori bit će predmet javnoga nadmetanja, isključivo za potrebe toplinarstva. Na područjima gdje nisu izvršena istraživanja, dostupni su precizniji podatci i studije koje će poslužiti kao temelj za daljnji razvoj budućih geotermalnih projekata.

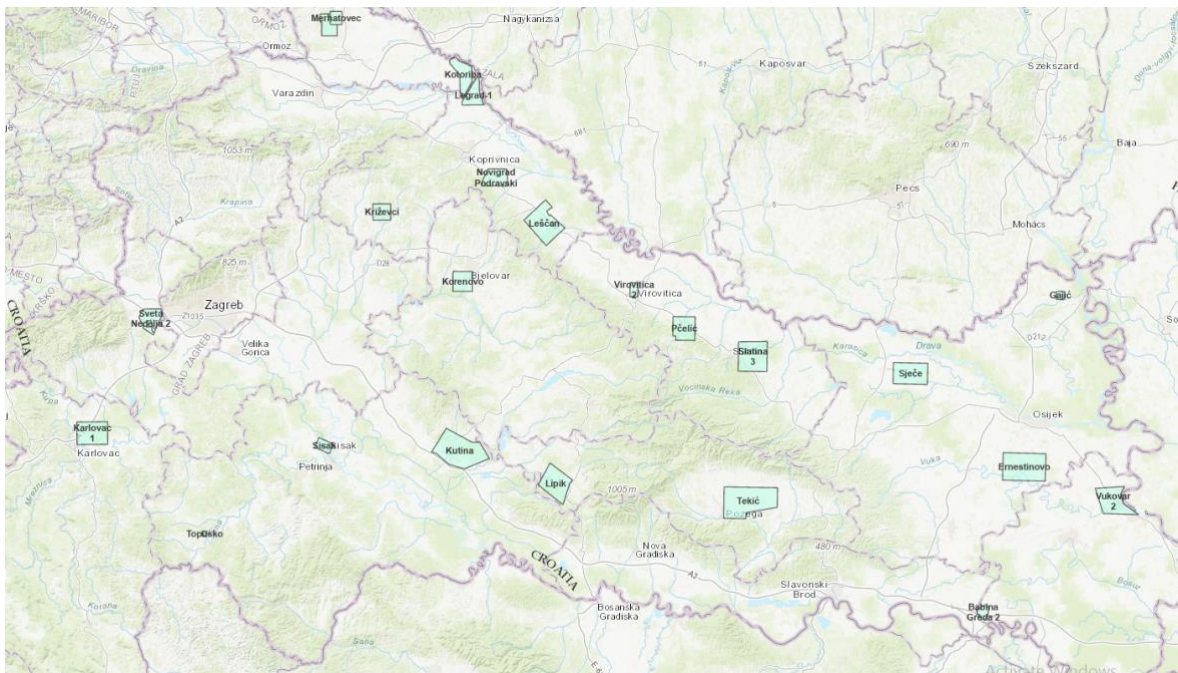


**Tablica 3-2.** Istražni prostori u RH (AZU, 2023)

<b>NAZIV ISTRAŽNOG PROSTORA</b>	<b>POVRŠINA (<i>km</i><sup>2</sup>)</b>	<b>OVLAŠTENIK</b>
Ernestinovo	76,66	IGeoPen d.o.o.
Vukovar 2	45,63	Vukovarska gospodarska zona d.o.o.
Babina Greda 2	7,70	Geotermalni izvori d.o.o.
Sječce	46,84	IGeoPen d.o.o.
Tekić	91,60	PANONSKI IZVOR d.o.o.
Slatina 3	55,26	EES Dravacel Energetika d.o.o.
Pčelić	32,83	IGeoPen d.o.o.
Virovitica 2	7,00	Poslovni park Virovitica d.o.o.
Lipik	47,53	Izvori Lipika d.o.o.
Kutina	84,77	RAZVOJNA AGENCIJA MRAV d.o.o.
Sisak	10,78	Komunalac Sisak d.o.o.
Korenovo	25,00	Terme Bjelovar d.o.o.
Leščan	55,65	INA d.d.
Novigrad Podravski	24,40	GEOTERMAL WATER d.o.o.
Legrad-1	20,89	Terra Energy Generation Company d.o.o.
Kotoriba	27,14	Viola Energy Generation d.o.o.
Merhatovec	9,59	Ensolx d.o.o.
Međimurje 5	17,39	INA d.d.
Križevci	18,45	Komunalno poduzeće d.o.o.
Sveta Nedjelja 2	22,95	Svenkom d.o.o.
Karlovac 1	45,00	GeotermiKA d.o.o.
Topusko	1,42	TOP-TERME d.o.o.
Gajić	4,00	DALIS d.o.o.



Slika 3-6. Prikaz preliminarnih istražnih i istražnih prostora u RH (AZU, 2023)



Slika 3-7. Prikaz istražnih prostora u RH (AZU, 2023)

**Tablica 3-3.** Preliminarni istražni prostori u RH (AZU, 2023)

<b>NAZIV PRELIMINARNOG ISTRAŽNOG PROSTORA</b>	<b>POVRŠINA (<i>km</i><sup>2</sup>)</b>	<b>OVLAŠTENIK</b>
Osijek	106,32	Agencija za ugljikovodike
Vinkovci	87,68	Agencija za ugljikovodike
Vukovar	121,01	Agencija za ugljikovodike
Velika Gorica	264,55	Agencija za ugljikovodike
Sisak	95,25	Agencija za ugljikovodike
Zaprešić	93,23	Agencija za ugljikovodike

#### 4. PROJEKTIRANJE GEOTERMALNIH BUŠOTINA

Projektiranje bušotina predstavlja ključni korak u procesu razrade i eksploatacije ležišta. Ležišta mogu biti naftna, plinska ili u ovom slučaju geotermalna, a sam projekt bušotine mora dokazati da će se bušotina izraditi na siguran, učinkovit i ekonomski isplativ način. Ovaj složeni proces ne može se provesti bez suradnje odnosno integriranja znanja geologa, naftnih inženjera i menadžera kompanije kako bi se osigurala pouzdana i ekonomična izrada bušotina. Prije nego što se započne s bušenjem, prvi korak u projektiranju bušotina odnosi se na temeljitu geološku analizu područja. Geolozi procjenjuju strukturu i karakteristike podzemlja kako bi otkrili potencijalna ležišta i procijenili je li ležište potencijalno prosperitetno za eksploataciju. Ova procjena uključuje analizu geoloških formacija, tlaka i temperature na temelju seizmičkih mjerenja ili analizom fluida iz već postojećih bušotina koje se nalaze u blizini istražnog prostora predviđenog za istraživanje.

Nakon što je potencijalno ležište potvrđeno i locirano, naftni inženjeri prelaze na izradu tehničko-tehnološkoga projekta izrade bušotine. To uključuje određivanje optimalnog položaja bušotine, dubine bušotine, konstrukcije itd. Tehnički projekt također obuhvaća odabir odgovarajuće bušotinske opreme, materijala i tehnologija koje će se koristiti tijekom bušenja, što će kasnije biti detaljnije opisano. Sigurnost je ključna stavka u procesu projektiranja bušotina, a planiranje i implementacija sigurnosnih mjera kako bi se osigurala zaštita osoblja, opreme i okoliša sastavni su dio ovog procesa. Važan aspekt projektiranja bušotina je i ekonomska analiza, odnosno inženjeri moraju procijeniti troškove bušenja, ugradnje opreme i naknadnog održavanja. Ova analiza pomaže procijeniti i osigurati ekonomsku isplativost projekta.

Važno je napomenuti da je s tehničke strane gledanja projekt izrade bušotine dinamičan proces koji se prilagođava različitim uvjetima i izazovima tijekom bušenja. Komunikacija između inženjera naftnog rudarstva i geološkog inženjerstva te ostalih struka ključna je za sigurnu izradu bušotine. U konačnici, dobro projektirana bušotina ne samo da osigurava ekonomsku dobit već i smanjuje rizik od incidenta, čime pridonosi održivom razvoju industrije.

Ono što projekt treba sadržavati ovisi o državi u kojoj se izvode radovi i zakonu koji je na snazi u vrijeme pripreme i izrade projekta. U Republici Hrvatskoj, Ministarstvo Gospodarstva i Održivog Razvoja dana 27.2.2022. je donijelo pravilnik na temelju članka 139. *Zakona o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika* koji propisuje potreban sadržaj naftno-rudarskih projekata. Prema pravilniku, projekt bušotine je potrebno izraditi za:

- a) izradu istražne bušotine u istražnom razdoblju,
- b) izradu „ocjenke“ bušotine u istražnom razdoblju,
- c) izradu eksploatacijske bušotine u razdoblju eksploatacije,
- d) trajno napuštanje bušotine u razdoblju istraživanja ili eksploatacije.

Prema donesenom pravilniku, projekt istražne bušotine izrađuje se za izradu istražne bušotine u istražnom razdoblju i mora sadržavati sljedeća poglavlja (Slika 4-1.):

- a) geološki i geofizički pregled lokacije istražne bušotine i okolnog područja,
- b) tehničko-tehnološki projekt bušotine,
- c) plan sanacije istražne bušotine i
- d) mjere sigurnosti i zaštita okoliša.

## PROJEKT ISTRAŽNE BUŠOTINE

GEOLOŠKI I GEOFIZIČKI PREGLED	TEHNIČKO- TEHNOLOŠKI PROJEKT	PLAN SANACIJE	MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE OKOLIŠA
-lokacija bušotine -geološka građa -geokemijska analiza -geološki profil -seizmička interpretacija	-program bušaćih radova -program ispitivanja hidrodinamičkim mjerenjima -troškovi izrade i vremenski plan	-trajno napuštanje -opis uređenja prostora -trošak sanacije	-zaštita na radu -zaštita od eksplozija i požara -zaštita okoliša i prirode -procjena rizika izrade

**Slika 4-1.** Sadržaj projekta istražne bušotine (MINGOR, 2022)

Prvo poglavlje posvećeno je geološkom i geofizičkom pregledu lokacije istražne bušotine, zajedno s okolnim područjem. Ono mora obuhvatiti opće podatke o lokaciji bušotine i pružiti koordinate ušća bušotine, nadmorsku visinu, tip trajektorije bušotine, prognoziranu konačnu dubinu, te očekivanu dubinu krovine ležišta. Također, detaljna analiza geološke građe podzemlja, koja uključuje opis stratigrafskih odnosa, omogućuje

dublje razumijevanje formacija na području bušenja. Strukturno-tektonski odnosi, vođeni seizmičkom interpretacijom, pružaju dodatnu razinu razumijevanja geoloških karakteristika podzemlja na lokaciji zahvata. Geokemijska analiza doprinosi boljem sagledavanju kemijskih svojstava podzemnih resursa. Prognozirani geološki profil bušotine, s litostratigrafskim jedinicama i prognoziranim dubinama, te program radova u kanalu bušotine, uključujući uzorkovanje krhotina, detekciju ugljikovodika i mjerenja, čine važan dio planiranja bušaćih operacija. Primarni i sekundarni ciljevi bušotine, tj. ciljani intervali podzemlja zajedno s proračunom potencijalno pridobivih resursa prospekta su ključne točke za postizanje uspjeha u istraživanju. Program radova u kanalu bušotine, koji uključuje jezgrovanje i elektrokarotazna mjerenja te ispitivanje ležišta, dodatno doprinosi cjelovitosti analize. Svako potpoglavlje mora biti popraćeno odgovarajućom grafičkom dokumentacijom u obliku tabličnih i slikovnih prikaza, pridonoseći preciznosti i preglednosti dostupnih informacija.

Poglavlje tehničko-tehnološkog projekta istražne bušotine obuhvaća ključne elemente nužne za provođenje bušaćih radova i izradu bušotine. To uključuje opsežan program po fazama izvođenja, gdje se između ostalog detaljno opisuju transport, montaža i demontaža odabranog naftno-rudarskog bušaćeg postrojenja za izvođenje bušenja. Svaka faza, s posebnim osvrtom na promjer kanala bušotine, obuhvaća prijedlog sastava bušaćeg alata, elektrokarotaznih mjerenja koja se planiraju provesti, te opis odabira i ugradnje zaštitnih cijevi, uključujući odabir kvalitete materijala i osnovni proračun naprezanja. Također, ovaj dio projekta definira tip bušotinskih glava za pojedinu fazu izrade kanala bušotine, vrstu, količinu i svojstva bušotinskih fluida koji se planiraju koristiti u procesu izrade kanala, zajedno s načinom ugradnje i cementiranja zaštitnih cijevi. Drugo potpoglavlje posvećeno je programu ispitivanja i hidrodinamičkih mjerenja, pružajući dublje razumijevanje parametara koji se prate tijekom procesa bušenja. Ovaj segment doprinosi kvaliteti i sigurnosti procesa bušenja, pružajući relevantne informacije o stanju bušotine tijekom svake faze bušenja. Također, tehničko-tehnološki projekt prikazuje predviđene troškove izrade bušotine u skladu s vremenskim planom. Kroz detaljan prikaz troškova i vremenskog rasporeda, ovaj dio projekta pruža jasnu sliku o financijskim aspektima i vremenskom okviru cijelog procesa. Kao i kod geološkog i geofizičkog pregleda, svaka navedena točka mora biti podržana odgovarajućom grafičkom dokumentacijom u obliku tabličnih i slikovnih prikaza kako bi se omogućila vizualna jasnoća i preciznost dostupnih informacija.

Dio projekta o sanaciji istražne bušotine obuhvaća detaljan opis trajnog napuštanja bušotine, organizaciju uređenja radnog prostora zahvaćenog naftno-rudarskim radovima tijekom i nakon njihovog izvođenja, kao i procjenu troškova sanacije u slučaju negativnih rezultata. Također, sadrži opis planiranog opremanja bušotine i smanjenja radnog prostora bušotine u slučaju postizanja pozitivnih rezultata testiranja na bušotini.

Posljednje poglavlje posvećeno je mjerama sigurnosti i zaštiti okoliša, a neophodno uključuje različite aspekte kako bi osiguralo sigurnost radnika i očuvanje okoliša tijekom izvođenja naftno-rudarskih radova. To obuhvaća zaštitu na radu, prevenciju od požara i eksplozija, očuvanje okoliša i prirode te analizu rizika povezanih s izradom istražne bušotine. Ovisno o vrsti fluida, obujmu i karakteru radova, poglavlje također treba sadržavati dodatne specifične mjere sigurnosti i zaštite i u ovom slučaju, navedene točke moraju biti popraćene odgovarajućom grafičkom dokumentacijom, a dio koji se odnosi na zaštitu okoliša i prirode treba sadržavati objašnjenje mjera zaštite te program praćenja stanja okoliša, sukladno važećim propisima.

#### **4.1. Tehničko-tehnološki projekt bušotine**

Tehničko-tehnološki projekt opisuje proces izrade bušotine za istraživanje i eksploataciju, u ovom slučaju, geotermalne vode. Radni proces mora biti siguran, pouzdan i tehnički učinkovit s ciljem zaštite okoliša. Ekonomičnost također igra ključnu ulogu u procjeni učinkovitosti cjelokupnog procesa izrade bušotine. Projekt istražne geotermalne bušotine obuhvaća različita tehničko-tehnološka rješenja za izvođenje naftno-rudarskih radova. Važno je napomenuti da se tijekom provođenja projekta mogu javiti različite promjene, posebice zbog nepredviđenih tehnoloških izazova uzrokovanih neodređenostima ulaznih parametara i stvarnih situacija tijekom bušenja.

Sve promjene odnosno odstupanja od odobrenog projekta, popu: promjene dubine ugradnje kolona zaštitnih cijevi, gustoće isplake, reoloških svojstava isplake, gustoće cementne kaše te konačne dubine kanala bušotine u pojedinoj fazi izrade bušotine, moraju se dokumentirati te o promjenama obavijestiti relevantne institucije, uključujući Sektor za naftno rudarstvo i geotermalne vode, Agenciju za ugljikovodike te Sektor za nadzor rudarstva, energetike i opreme pod tlakom. S obzirom na očekivane uvjete tlaka i

temperature tijekom izrade bušotine, svi konstruktivni elementi bušotine moraju zadovoljiti očekivane uvjete tlaka i temperature u podzemlju.

Nakon postizanja konačne dubine bušotine, operator izvođenja naftno-rudarskih radova provesti će program proizvodnog ispitivanja bušotine, koji uključuje detaljan raspored površinske opreme, način pridobivanja slojnog fluida i čišćenja bušotine s ciljem definiranja maksimalnog protoka geotermalne vode. Ove odluke bit će temeljene na analizama elektrokarotaznih mjerenja i evidentiranim ležišnim tlakovima i temperaturama.

Svi ovi obvezni, tj. traženi dijelovi projekta od strane ministarstva, imaju u cilju održavanje sigurnosti zaposlenika, integriteta bušotine, zaštite okoliša i opreme te postizanje najboljih ekonomskih rezultata izrade bušotine.

#### 4.1.1. Konstrukcija bušotine

U dijelu tehničko-tehnološkog projekta pod naslovom "Konstrukcija bušotine" detaljno se razmatra dubina do koje će se bušiti, temeljem prethodno prikupljenih podataka u fazi pripreme projekta. Ovi podaci mogu se pronaći u drugom poglavlju projekta, u prikazu geoloških podataka. U skladu s postavljenim ciljevima, određeni su promjeri dlijeta kojima će se bušiti, kao i ciljevi kanala bušotine koja će se bušiti sa svakim od njih. Ovaj dio projekta nužan je kako bi se osigurala preciznost i učinkovitost bušenja te kako bi se prilagodila tehnička oprema potrebna za svaku fazu bušenja. Nakon svake faze bušenja, međuprostor između ugrađenih zaštitnih cijevi i otvorenog kanala bušotine popuniti će se cementnom kašom, osiguravajući stabilnost kanala bušotine.

#### 4.1.2. Izrada bušotinskog radnog prostora

Bušotinski radni prostor obuhvaća prostor za smještaj bušaćega postrojenja s pripadajućom opremom te glavnom i pomoćnom jamom za proizvodno ispitivanje (lagune). U segmentu posvećenom izradi bušotinskog radnog prostora potrebnom za smještaj bušaćeg postrojenja, projekt detaljno razmatra potrebnu površinu te identificira katastarske čestice obuhvaćene planiranim radom, prateći precizne koordinate vršnih točaka područja zahvata. Sadrži i tehničke specifikacije, dimenzije, kao i način izrade ušća bušotine, temelja postrojenja, temelja za spremnike i gorivo, isplaćne lagune za odlaganje nabušenog materijala i parkirališta.



Posebna pažnja posvećena je izradi piezometara, bitnih za kontrolu kvalitete vode. Ti bunari predstavljaju ključni aspekt očuvanja čistoće vodnih resursa, a u projekt su uključeni kao sastavni dio strategije zaštite okoliša. Osim njihove izrade, u sklopu pripreme bušotinskog radnoga prostora, buši se „početni“ kanal bušotine, smješta i cementira konduktor kolona bušotine koja je potrebna za smještanje sigurnosne opreme i ventila bez kojih početak bušenja nije moguć.

Razmatrajući nedostatke pristupnih cesta u područjima predviđenim za bušenje, projekt detaljno analizira potrebu za izgradnjom kvalitetnih pristupnih cesta do bušotinskog radnog prostora kako bi se na lokaciju zahvata dopremilo bušaće postrojenje i prateći tereti.

#### 4.1.3. Bušaće postrojenje

U ovom dijelu projekta opisano je i specificirano bušaće postrojenje koje će se koristiti za izradu bušotine, a osim tehničkih specifikacija, točno je navedeno što treba obaviti prije samog transporta postrojenja. Među ostalim, opisan je proces montaže i demontaže bušaćeg postrojenja, naglašavajući važnost pridržavanja uputa proizvođača. Ključni izvođači ovih operacija su vođe smjene, a nadzor i organizacija povjereni su voditelju postrojenja. Voditelji postrojenja imaju odgovornost određivanja poslova voditeljima smjena, pridržavajući se smjenskih ograničenja iz sigurnosnih razloga. Osim toga, određuju redoslijed montiranja i demontiranja sklopova postrojenja te prate postavljanje istih prema projektu i uputama proizvođača. Funkcionalno ispitivanje bušaćega postrojenja provodi se prije podizanja tornja nakon završetka montaže i prije početka radova u bušotini. Važnu stavku prilikom izrade bušotine predstavlja isplaka i isplačni sustav koji su također opisani u ovom segmentu projekta.

#### 4.1.4. Rezultati proračuna naprežanja zaštitnih cijevi

Proračun troosnih naprežanja kolona zaštitnih cijevi u geotermalnim bušotinama najčešće se temelji se na proračunima provedenim sofisticiranim računalnim programima poput npr. Landmark StressCheck™ (Halliburton, 1996). Ovaj pristup omogućava preciznu analizu naprežanja u kolonama zaštitnih cijevi koja se mogu pojaviti tijekom ključnih faza bušenja i eksploatacije ležišta. Program uzima u obzir trajektoriju bušotine, kombinirana troosna naprežanja te primjenjuje minimalne koeficijente sigurnosti za različite vrste opterećenja. Za

unutarnji tlak, vanjski tlak, uzdužna naprezanja i kombinirana naprezanja, postoje minimalni koeficijenti sigurnosti koje definira operator odnosno projektant u njegovo ime. Sve navedene analize provode se uzimajući u obzir najnepovoljnije uvjete koji se mogu javiti prilikom izrade kanala bušotine, uključujući ugradnju i cementaciju kolona zaštitnih cijevi.

Prilikom odabira kolona zaštitnih cijevi, razmatra se Huber-Hencky-von Misesova teorija analize troosnog naprezanja, koja se široko primjenjuje u naftnom inženjeringu. Analiza uključuje aksijalna, radijalna i tangencijalna naprezanja kako bi se odredilo ekvivalentno rezultirajuće troosno naprezanje ( $\sigma_{VME}$ ). Ovo rezultirajuće naprezanje uspoređuje se s najmanjim opterećenjem kod kojeg bi došlo do plastične deformacije materijala od kojeg je izrađena kolona zaštitnih cijevi. Ovaj precizan proračun omogućuje optimalan odabir i dimenzioniranje kolona zaštitnih cijevi, osiguravajući integritet bušotine i sigurnost cijelog bušotinskog sustava.

#### 4.1.5. Postojeće bušotine na istražnom području

Pri projektiranju bušotina, važno je temeljito analizirati podatke iz postojećih bušotina već izbušenih u istom istražnom području. Detaljna analiza ovih postojećih bušotina pruža dragocjene informacije za precizno planiranje novih bušotina. Podatci o ležišnom tlaku, dubinama bušenja s različitim promjerima dlijeta te korištenim isplakama čine važnu stavku projekta buduće bušotine.

Postojeće bušotine služe kao pokazatelj geoloških i tehničkih uvjeta u području na kojem slijede istražni radovi, omogućujući inženjerima da prilagode projekt specifičnostima istražnog područja. Analizom karakteristika korištenih isplaka, izmjerenih ležišnih tlakova te dubina do kojih su bušotine izbušene, inženjeri dobivaju uvid u optimalne strategije bušenja i mogućnosti proizvodnje fluida u konkretnom slučaju geotermalne vode. Ove informacije pridonose racionalnom odabiru dlijeta, isplaka i drugih parametara, osiguravajući učinkovitost, sigurnost i ekonomske prednosti tijekom izrade planiranih bušotina.

#### 4.1.6. Opis faza bušenja kanala bušotine različitih promjera

U ovom potpoglavlju tehničko-tehnološkog projekta, naglasak je stavljen na metodologiju bušenja pojedinih dionica kanala bušotine različitog promjera. Pripreme za izradu svake dionice kanala obuhvaćaju, prije svega, opis koraka koji se poduzimaju prije početka samog bušenja. Analiziraju se rizici koji se mogu pojaviti tijekom izrade pojedine dionice, a posebna pažnja posvećena je odabiru dlijeta i specifikacijom zaštitnih cijevi za svaku dionicu. Promjeri dlijeta i zaštitnih cijevi precizno se određuju kako bi se osigurao integritet bušotine tijekom cijelog procesa. Detaljan opis isplaka koje će se koristiti za različite dijelove kanala pruža informacije o isplačnim materijalima koji će biti potrebni tijekom bušenja. Također, detaljno je objašnjen proces ugradnje kolona zaštitnih cijevi, uključujući i cementaciju kako bi se osigurala stabilnost i hermetičnost bušotine, njen hidraulički odnosno mehanički integritet.

Grafički prikazi pružaju vizualni uvid u konstrukcijski planirani izgled ušća bušotine tijekom izrade pojedinog dijela kanala bušotine. Posebno se ističe značaj testa hermetičnosti, koji je ključan za potvrdu integriteta bušotine. Ovaj test služi za procjenu sigurnosti i funkcionalnosti bušotine te služi kao ključni element zaštite od potencijalnih rizika i održavanje propisanih standarda koji se moraju primjenjivati u industriji. Sve navedene mjere i postupci zajedno čine cjelovitu tehničku strategiju koja omogućuje uspješnu izradu kanala bušotine uz minimalne rizike i visok stupanj efikasnosti.

#### 4.1.7. Predviđeni troškovi, vremenski plan izrade, izvođači radova

U projektu izrade bušotine, potrebno je prikazati predviđene troškove vezane uz izradu bušotine. Ovaj aspekt projekta pruža detaljan pregled financijskih zahtjeva potrebnih za provedbu planiranih radnji, uključujući nabavu materijala, angažiranje radne snage, opreme i drugih resursa. Troškovna analiza obuhvaća sve relevantne aspekte, od istražnih i inženjerskih faza do finalne izrade bušotine.

Vremenski plan izrade je element projekta koji definira kronologiju svih aktivnosti od početka izrade do završetka bušotine. Ovaj plan daje jasan pregled faza bušenja, pripremnih radnji, ispitivanja i drugih ključnih događaja koji se vežu uz izradu bušotine. Pravilno strukturiran vremenski raspored omogućuje učinkovito upravljanje projektom, smanjenje rizika od zastoja ili kašnjenja te optimizaciju resursa.

Izvođači radova koji su neophodni i ključni čimbenici u realizaciji projekta, također su integralni dio tehničko-tehnološkog projekta. U projektu moraju biti precizno definirani izvođači, njihove uloge i odgovornosti koji pružaju stručnost i kvalitetu izvedbe. Ovaj dio projekta uključuje procjene kapaciteta izvođača, reference njihovih prethodnih radova te sve potrebne informacije o suradnji i komunikaciji.

U konačnici, integracija previđenih troškova, vremenskog plana i odabranih izvođača radova čini sveobuhvatni pristup koji osigurava uspješnu implementaciju tehničko-tehnološkog projekta i izradu same bušotine. Ovaj integrirani pristup doprinosi transparentnosti, učinkovitosti i kvaliteti, ključnim faktorima za uspjeh u kompleksnim tehničkim projektima kao što je izrada geotermalne bušotine.

## 5. OPREMANJE GEOTERMALNIH BUŠOTINA

U proces izrade bušotine ubraja se i njezino proizvodno opremanje nakon što je kanal bušotine dosegnuo ciljano ležište i nakon što je bušotina proglašena pozitivnom odnosno valjanom i isplativom za eksploataciju fluida iz ležišta. Opremanjem bušotine se ostvaruje komunikacija između proizvodne zone i površinskog sustava za obradu, sabiranje i transport odnosno omogućuje se pridobivanje ugljikovodika ili geotermalne vode. Dakle, nakon završetka bušenja u bušotinu se ugrađuje proizvodna oprema i pokreće se proizvodnja. Dokazano je da varijacije u opremanju bušotine mogu značajno utjecati na vremenski interval crpljenja ležišta, drenažni radijus, kapacitet proizvodnje fluida kao i troškove svih aktivnosti koje slijede nakon bušenja (King, 1998). Razmatranjem svih tih varijabilnih čimbenika, bolji pristup opremanju bušotine povećava ukupnu proizvodnju na polju. Pravilnim i sustavnim pristupom opremanju kanal bušotine može se povećati ukupna ekonomska korist i životni vijek polja. Moguća tehnička rješenja za opremanje bušotina znatno su poboljšane daljnjim razvojem tehnologije kao i istraživanjima koja se provode od strane različitih kompanija i istraživačkih centara diljem svijeta.

Pod opremanjem bušotina spada niz različitih operacija kao što je ugradnja tubinga, ugradnja pakera, perforiranje, ugradnja pješanog zasipa, postavljanje erupcijskog uređaja, ugradnja plinskih ventila ili nekih drugih uređaja za prinudno podizanje kapljevine. Bez navedenih operacija, odnosno opreme, pridobivanje fluida iz ležišta ne bi bilo moguće.

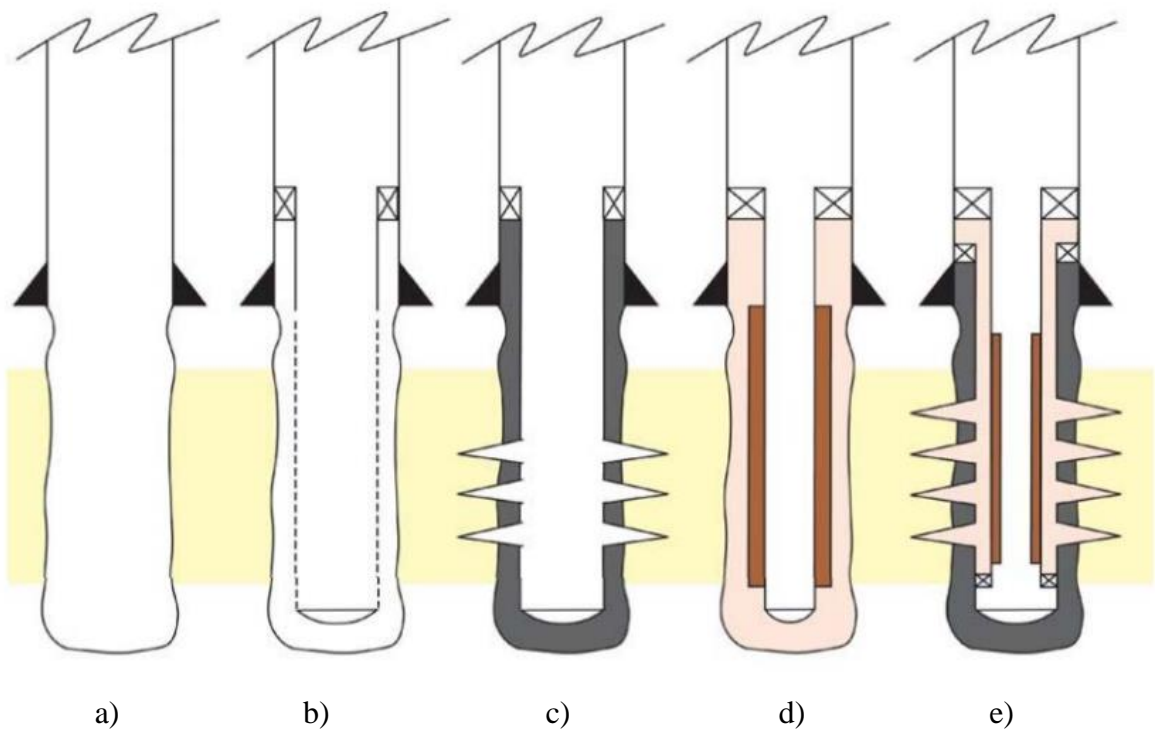
Glavni ciljevi inženjera koji je zadužen za proizvodno opremanje bušotine koje slijedi nakon završetka izrade kanala bušotine su (Renpu, 2011):

- 1) minimizirati oštećenje ležišta i osloboditi njegov prirodni potencijal ležišta;
- 2) odabirom proizvodne opreme omogućiti učinkovitu proizvodnju fluida iz ležišta;
- 3) povećati protok i povećati drenažni radijus, što rezultira povećanjem proizvodnje;
- 4) osigurati odgovarajuće uvjete za primjenu različitih tehnologija i metoda proizvodnje fluida;
- 5) kombinirati sadašnje i buduće ciljeve kako bi se poboljšala ekonomska učinkovitost iskorištavanja ležišta;
- 6) zaštititi tubing od korozije, smanjiti potrebu za remontnim radovima i produljiti životni vijek bušotine;

- 7) Projektirati opremanje bušotine uz maksimalnu ekonomsku korist i uz minimalne troškove.

Postoje različiti načini opremanja bušotina, a potrebno ih je pažljivo razmotriti i odabrati onaj način opremanja koji će najmanje naštetiti ležištu, a s kojim će ekonomska korist biti najveća. Slikom 5-1. prikazani su najčešći načini opremanja bušotina (Bellarby, 2009):

- a) otvoreni kanal bušotine,
- b) necementirani slotirani lajner,
- c) cementirane i perforirane zaštitne cijevi/lajner,
- d) otvoreni kanal bušotine s pješčanim zasipom,
- e) zacijevljeni kanal bušotine s pješčanim zasipom.



**Slika 5-1.** Shematski prikaz različitih načina opremanja bušotina (Bellarby, 2009)

Najjednostavniji pristup opremanju bušotine je ostaviti otvoreni kanal bušotine, što znači da se kroz raskriveno ležište ne postavlja proizvodni tubing ili zaštitne cijevi. Bušotine sa otvorenim kanalom bušotine imaju neke vrlo korisne karakteristike, odnosno postižu se uštede u ukupnim troškovima privođenja bušotine proizvodnji i vremenu. Kako bi se riješili problemi nestabilnosti i urušavanje stijenki kanala bušotine koji se javljaju kod bušotina kod

kojih je ostavljen otvoren kanal, moguće je u bušotinu ugraditi slotirani lajner koji ima proreze određene širine i duljine preko cijele cijevi. Lajner se ne cementira već predstavlja dodatan element koji stabilizira stijenke kanala bušotine. Treća opcija je ugradnja lajnera i njegova cementacija nakon koje slijedi perforiranje. Perforacijama koje prolaze kroz zaštitne cijevi, cementni kamen i ležište omogućava se povezivanje ležišta i bušotine, tj. proizvodne opreme. Ako je ležište načinjeno od nekonsolidiranih pješčenjaka i postoji opasnost od velikog udjela pijeska u proizvedenom fluidu, u bušotinu se ugrađuje pješčani zasip koji onemogućava prolazak pijeska iz ležišta u uzlazni niz cijevi. Postoje dvije vrste korištenja pješčanog zasipa, u prvom slučaju pješčani zasip je ugrađen u necementirani kanal bušotine, a u drugom slučaju, zasip se nalazi u cementiranom dijelu kanala bušotine, a komunikacija sa ležištem je ostvarena prethodnim perforiranjem (Renpu, 2011).

Osim načina ostvarivanja komunikacije ležišta i dna kanala bušotine, važan segment u opremanju je i postavljanje ušća bušotine. Ušće bušotine podrazumijeva svu opremu postavljenu na vrhu bušotine s ciljem vješanja svih cijevnih alatki uz kontrolirano brtvljenje i nesmetano protjecanje fluida. Najmanje što ušće bušotine sadrži je (Matanović i Moslavac, 2011) :

- 1) prirubnica za odsjedanje zaštitnih cijevi,
- 2) prirubnica za vješanje proizvodnog/uzlaznog niza,
- 3) erupcijski uređaj.

Oprema ušća bušotine treba omogućavati sprječavanje neželjenoga dotjecanja fluida iz bušotine, kontrolu dotjecanja iz bušotine tijekom testiranja i faze proizvodnje, obavljanje mjerenja, održavanje djelovanja tlaka i temperature tijekom proizvodnje/gušenja ili posebnih postupaka kao što su npr. frakturiranje i kemijske obrade. Erupcijski uređaj uključuje proizvodnu opremu koja se nalazi iznad prirubnice za vješanje tubinga i u pravilu sadrži jedan ili dva glavna ventila koji služe za zatvaranje ušća bušotine i onemogućavanje bilo kakvog protjecanja kroz sami erupcijski uređaj, križnu glavu, ventil za klipovanje i pokrovnu prirubnicu.

Proizvodni/uzlazni niz odnosno niz tubinga omogućava protok fluida od dna bušotine do površine, a može se postavljati kao slobodno obješen niz cijevi u bušotini ili u kombinaciji sa izolacijskom alatkom, tj. pakerom. Za ostvarivanje optimalnih proizvodnih parametara pri crpljenju fluida potrebno je odabrati zadovoljavajući unutarnji promjer niza cijevi, a sam

odabir prvenstveno ovisi o proizvodnim karakteristikama ležišta. Osim toga, izbor cijevnih alatki podrazumijeva i odabir kvalitete materijala, debljine stjenki i tipa navojnih spojeva. Odabrane cijevi moraju izdržati sva naprezanja u sustavu koja se javljaju, a posljedica su vlačnih opterećenja, tlaka unutar cijevi kao i tlaka izvan cijevi odnosno tlak koji djeluje između zaštitnih cijevi i proizvodnog tubinga (Matanović i Moslavac, 2011).

### **5.1. Specifičnosti opremanja geotermalnih bušotina**

U geotermalnim bušotinama očekuju se veći protoci fluida u usporedbi s naftnim ili plinskim bušotinama jer su potrebne velike količine vode iz koje se preuzima toplinska energija koja se kasnije pretvara u električnu. Kako bi se adekvatno riješio ovaj problem, koristi se proizvodni niz cijevi većeg promjera, što je ključno za učinkovitu eksploataciju geotermalne energije iz ležišta. U slučaju geotermalnih bušotina, proizvodnja ili komunikacija između podzemnih ležišta i površine odvija se u pravilu kroz zaštitne cijevi. Ova komunikacija između dna bušotine i ležišta često se ostvaruje kroz lajner s prorezima ili tzv. slotiranih lajnera.

Za proizvodnju električne energije iz geotermalnih izvora potrebno je osigurati znatan protok vode, minimalno 70 litara u sekundi. Zato se proizvodnja odvija kroz cijevi velikih promjera. Temperatura u geotermalnim ležištima koja su namijenjena za proizvodnju električne energije mora bit veća od 140 °C (Capuano et al., 2008). Visoke temperature mogu uzrokovati termalno naprezanje cijevi, što može dovesti do produljenja cijevi i potencijalnog oštećenja. Kako bi se izbjegli problemi povezani s termalnim naprezanjima cijevi, na površini se ugrađuje produžena spojnica koja omogućava produljenje niza cijevi koje se javlja uslijed ekstremnih temperatura. Ovaj sustav omogućuje stabilnu i pouzdanu eksploataciju geotermalne energije bez izloženosti riziku od oštećenja opreme ušća bušotine.

Primarna zadaća bušotinske glave kontrola je i zadržavanje tlaka iz bušotine, omogućuje potporu za sve zaštitne cijevi koje su ovješene u pripadajućim vješalicama, te osigurava mjesto za spajanje erupcijskog uređaja. Svaka pojedina kolona zaštitnih cijevi ima svoju vlastitu prirubnicu i brtvenu komponentu unutar kućišta bušotinske glave, te one predstavljaju važan element sekundarne barijere za održavanje integriteta bušotine. Na bušotinskoj glavi nalazi se nekoliko bočnih ventila koji imaju svrhu provođenja mjerenja tlaka u prstenastom prostoru i za gušenje bušotine kad je to potrebno (Slika 5-2.). Većina



geotermalnih bušotina obično ne uključuje bočne ventile ispod glavnog ventila, već se gušenje bušotine izvodi putem ventila smještenih između glavnog ventila i radnog ventila.



**Slika 5-2.** Bušotinska glava geotermalne bušotine (Schlumberger, 2020)

Kontrola protoka obično se obavlja putem nepomične prigušnice ili putem upravljačkog ventila koji se nalazi na bušotinskoj glavi. Kontrolni ventil često se koristi kako bi se osigurao potreban protok za proizvodnju električne energije. Također, obično se postavlja mala cijev oko ventila kako bi omogućila protok iz bušotine kada je ventil zatvoren. Osim toga, postoji cijev koja vodi iz bušotine do separatora manjih dimenzija kako bi se očuvala temperatura bušotinske glave kada je bušotina zatvorena. Na bušotinskoj glavi također se nalaze mali ventili koji služe za uzimanje uzoraka i postavljanje manometara (Thorhallsson, 2003).

## **6. PRIMJER PROJEKTA ISTRAŽNE GEOTERMALNE BUŠOTINE**

Nakon analize, obrade i interpretacije podataka iz već postojećih 19 snimljenih 2D seizmičkih profila, 80 snimljenih točaka magnetotelurike te geoloških informacija iz okolnih bušotina, u istražnom prostoru Z locirana je istražna bušotina X te je izrađena geološka osnova za odabranu mikro lokaciju.

Područje istražnog prostora geotermalne vode Z u strukturnom pogledu pripada rubnoj strukturnoj jedinici Dravskog bazena. Struktura praga oblikovana je uz rasjed, koji uz Dravski rasjed, kao dominantnu strukturu u stvaranju Dravskog bazena, predstavlja najvažniju strukturu u promatranom području.

### **6.1. Tehničko-tehnološki projekt istražne bušotine**

Izrada bušotine u svrhu istraživanja i eksploatacije geotermalne vode predstavlja kompleksan inženjerski proces koji se može definirati kao dinamički sustav tj. može se mijenjati u određenim vremenskim intervalima u zavisnosti od rezultata iz pojedine faze izrade bušotine, kao što je već prije spomenuto. Ključni faktori za procjenu uspješnosti cijelog procesa izrade bušotine obuhvaćaju sigurnost, pouzdanost, tehničku učinkovitost, zaštitu okoliša i prirode, te ekonomsku efikasnost. Važno je naglasiti da se sustav može suočiti s neizvjesnostima zbog nepredvidivih svojstava geotermalnih ležišta i pokrovnih stijena. Rješavanje takvih situacija zahtijeva primjenu odgovarajuće tehnike i tehnologije bušenja.

Projekt izrade istražne geotermalne bušotine X predviđa promjenjiva rješenja u izvedbi naftno-rudarskih radova, koja se mogu dokumentirano mijenjati tijekom izvođenja. Ovim promjenama, poput promjene dubine ugradnje zaštitnih cijevi ili reoloških svojstava isplake, trebaju biti obaviještene relevantne institucije kao što je to ranije navedeno.

S obzirom na očekivane uvjete visokoga tlaka i temperature tijekom izrade bušotine, konstruktivni elementi bušotine i pripadajuća oprema prilagođeni su tim uvjetima. Korištenje alatki za telemetriju odnosno mjerenje tijekom bušenja i dubinski motori doprinose povećanju mehaničke brzine bušenja i održavanju vertikalnosti kanala bušotine.

Konačno, program ispitivanja bušotine biti će izrađen nakon postizanja konačne dubine bušotine i analize elektrokarotaznih mjerenja. Ovaj program obuhvatit će raspored površinske opreme, strategiju podizanja kapljevine i čišćenja bušotine te količine protoka geotermalne vode, prilagođene ležišnim tlakovima i temperaturama. Procjena temperature istražne geotermalne bušotine X temelji se na izmjerenim temperaturama u već ranije izrađenih bušotina. Naime, u blizini planiranog zahvata, u bušotini Y na dubini od 3217 m izmjerena je temperatura od 145 °C, a na dnu kanala bušotine D, koja je također u blizini, izmjerena je temperatura od 155 °C na 3000 m dubine kanala bušotine. Izradom bušotine X očekuje se nailazak na naslage stijena visoke propusnosti zasićene geotermalnom vodom temperature više od 190 °C, s tlakom nešto nižim od hidrostatskog.

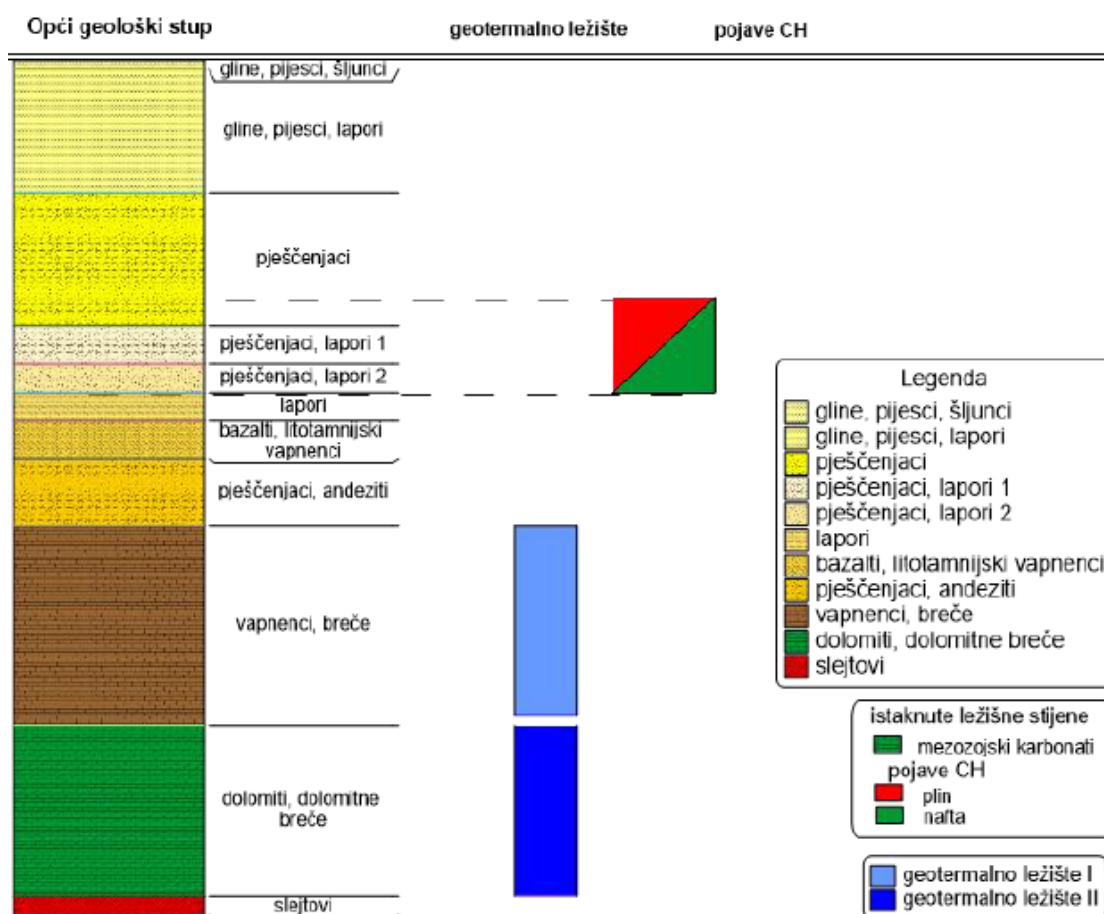
Temperatura vode dovoljno je visoka za upotrebu bušotine u svrhu pridobivanja električne energije. Nakon bušačkih radova, provest će se testna mjerenja koja će dati točne podatke o ležištu na temelju kojih će se planirati iskorištavanje ležišta, npr. kolike nazivne snage u GW će biti geotermalna elektrana.

#### 6.1.1. Konstrukcija bušotine

Na istražnom prostoru Z, planira se bušenje vertikalne istražne geotermalne bušotine X do predviđene dubine od 4500 m mjerene duljine (*engl. Measured depth – MD*) ujedno i stvarne vertikalne dubine (*engl. Total vertical depth – TVD*) s namjerom utvrđivanja i istraživanja pretpostavljenog ležišta geotermalne vode u mezozojskim karbonatima. Osnovni podaci (Tablica 6-1.) o očekivanom litološkom profilu (Slika 6-1.), tlakovima i temperaturama nalaze se u geološkom dijelu projekta. Projektirane dimenzije i kvaliteta kolona zaštitnih cijevi, bušotinske glave i erupcijskog uređaja odabrane su u skladu s predviđenim potencijalom ležišta za dobivanje geotermalne vode.

**Tablica 6-1.** Dubine krovine formacija na istražnom prostoru geotermalne vode Z (Zadravec, 2023)

Dubina krovine litografske jedinice (m)	Litološki opis
0	Izmjena šljunka, pijeska, slabovezanih pješčenjaka, glina i ugljena
670	Izmjena slabo vezanih pješčenjaka s proslojcima glina i pjeskovitih lapora
1255	Izmjena srednje vezanih pješčenjaka s pjeskovitim laporima
1590	Dobro vezani sitnozrni pješčenjaci u izmjeni s čvrstim laporima
2185	Gusti, čvrsto vezani pješčenjaci, siltiti I siltozni lapori
2400	Pjeskoviti vapnenac, vapnoviti brečokonglomerat, pješčenjak, konglomerat, šejl
3280	Rekristalizirani dolomit, karbonatna breča, tektonski djelomično

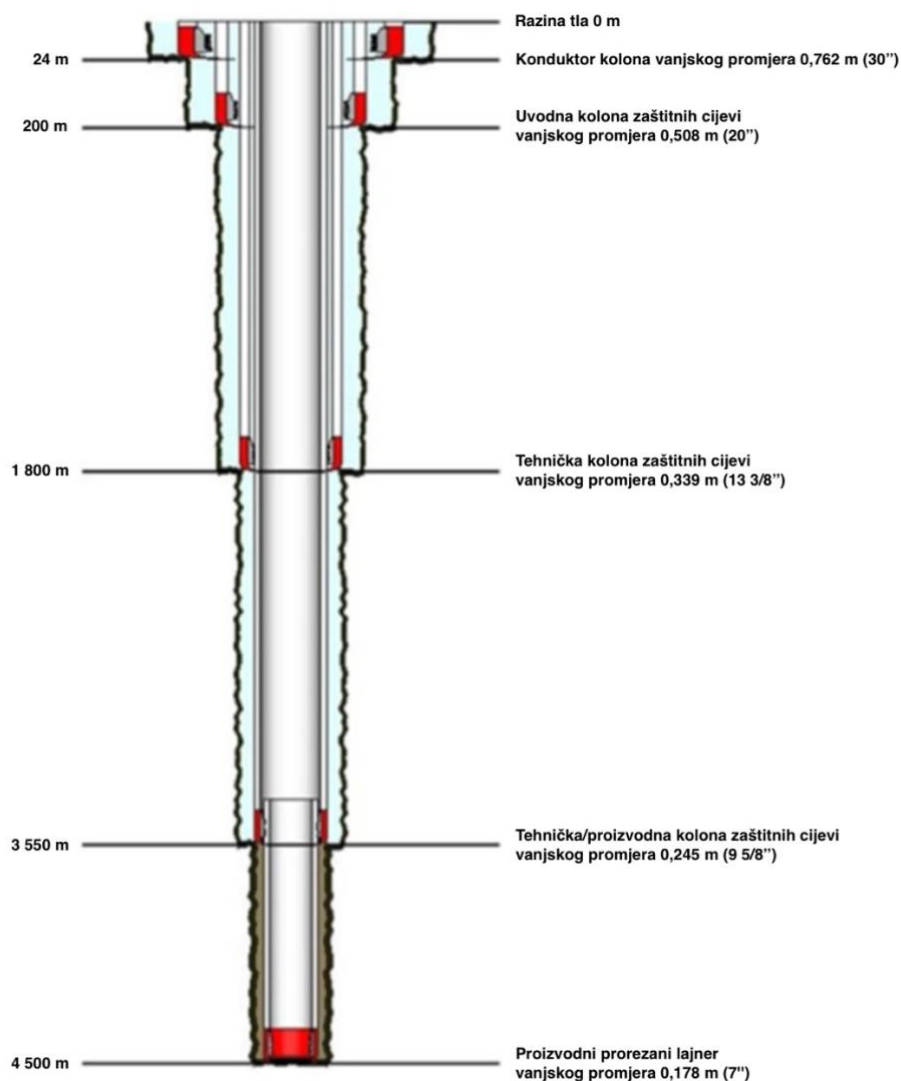


**Slika 6-1.** Opći geološki stup istražnog prostora geotermalne vode Z (Zadravec, 2023)

Detaljan slijed operacija prikazan je u programu bušenja prema pojedinim fazama izrade bušotine, a način izvođenja bušotine ovisit će o rezultatima istraživanja u pojedinoj fazi. U slučaju komercijalnog otkrića ležišta geotermalne vode na predviđenoj dubini, bušotina će se pripremiti za eksploataciju ugradnjom proizvodnog lajnera s prorezima. Ako se utvrdi da ležište nije komercijalno ili ako protoci tijekom ispitivanja nisu zadovoljavajući, bušotinu X može se prenamijeniti u utisnu ili trajno napustiti nakon izrade (uz pretpostavku da je negativna). S obzirom na sve navedeno, izrada ove bušotine uključit će izradu različitih promjera kanala bušotine kako slijedi:

- 1) Izrada kanala bušotine promjera 0,660 m (26") do dubine od 205 m za postavljanje uvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,508 m (20") od 200 do 0 m;
- 2) Izrada kanala bušotine promjera 0,445 m (17 ½") do dubine od 1805 m MD/TVD za postavljanje tehničke kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,339 m (13 ⅜") od 1800 do 0 m;
- 3) Izrada kanala bušotine promjera 0,311 m (12 ¼") do dubine od 3550 m MD/TVD za postavljanje tehničke/proizvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,245 m (9 ⅝") od 3550 m MD/TVD do 0 m;
- 4) Izrada kanala bušotine promjera 0,216 m (8 ½") do dubine od 4500 m MD/TVD) za postavljanje proizvodnog lajnera s prorezima vanjskog promjera 0,178 m (7") od 4500 m MD/TVD do 3500 m MD/TVD.

Nakon izrade svake pojedine dionice kanala bušotine i postavljanja kolone zaštitnih cijevi u njega, izuzev proizvodnog lajnera vanjskog promjera 0,178 m (7") s prorezima, prstenasti prostor ispunit će se cementnom kašom. Ovim postupkom osigurava se stabilnost kanala bušotine u petrofizikalnom i geomehaničkom smislu, omogućava ravnoteža troosnih naprezanja i sprječava migracija ležišnih fluida između slojeva. Određivanje dubina postavljanja kolona zaštitnih cijevi, odabir jediničnih masa i kvaliteta materijala za njihovu izradu, te cementiranje, definiraju konstruktivne elemente bušotine. Kriteriji za odabir i definiranje temelje se na litološkom profilu, gradijentu pornoga tlaka, gradijentu tlaka frakturiranja, prisutnim slojnim fluidima, sigurnosnim koeficijentima, proračunima naprezanja, programiranim tehnološkim zahtjevima u najnepovoljnijim bušotinskim uvjetima te položaju i svojstvima ležišta geotermalne vode. Projektirana konstrukcija bušotine X prikazana je na Slikom 6-2.



**Slika 6-2.** Shematski prikaz konstrukcije bušotine X (Zadravec, 2023)

### 6.1.2. Priprema bušotinskog radnog prostora

Ukupni zahvat u prostoru koji obuhvaća bušotinski radni prostor i pristupne puteve zauzima površinu od približno  $34\,300\text{ m}^2$ . Bušotinski radni prostor obuhvaća površinu za smještaj bušaćeg postrojenja s pripadajućom opremom i lagune za proizvodno ispitivanje bušotine.

Bušotinski radni prostor mora imati mjesto za smještaj bušaćeg postrojenja s pripadajućom opremom dimenzija 150 x 110 m (ukupne površine 16 500 m<sup>2</sup>) i u sklopu kojeg se nalaze:

- 1) ušće bušotine – dimenzija 4,0 x 3,0 x 3,0 m (širina x duljina x dubina),
- 2) temelji postrojenja površine 1620 m<sup>2</sup>,
- 3) temelji spremnika za gorivo površine 250 m<sup>2</sup>,
- 4) isplaćna laguna za odlaganje nabušenog materijala volumena 3500 m<sup>3</sup>,
- 5) sabirna laguna,
- 6) parkiralište,
- 7) glavna laguna za proizvodno ispitivanje bušotine, iskoristivog volumena oko 19 000 m<sup>3</sup>.

Uređenje bušotinskoga radnog prostora za smještaj bušaćeg postrojenja i odvijanje tehnološkog procesa izrade i proizvodnog ispitivanja istražne geotermalne bušotine podrazumijeva:

- 1) uređenje bušotinskog radnog prostora, odnosno platoa na kojem se odvijaju sve aktivnosti izrade bušotine. Plato će biti izgrađen od nasipa kamenog materijala na prethodno niveliranom terenu s osiguranom stabilnošću kosina. Kameni materijal se zbija do propisanog modula zbijenosti;
- 2) izradu ušća bušotine odnosno armirano betonskog otvorenog bazena, unutarnjih dimenzija 4,0 x 3,0 m, dubine 3,0 m, od dna spomenutog bazena ugradit će se konduktorska čelična cijev, promjera 0,762 m (30") do dubine od 24 m i zacementirati do vrha;
- 3) izradu temelja podkonstrukcije tornja prema specifikaciji za bušaće postrojenje, oko kojeg se na propisano zbijenu podlogu prema potrebi izrađuju armirano-betonski temelji;
- 4) izradu isplaćne lagune za odlaganje nabušenog materijala;
- 5) uređenje prostora za smještaj skladišnih kontejnera i kontejnera za smještaj radnika;
- 6) uređenje prostora za smještaj spremnika goriva;
- 7) iskop jame s bedemima koja služi za postavljanje horizontalne baklje na kojoj se spaljuje eventualno pridobiveni plin;

- 8) izradu lagune za proizvodno ispitivanje bušotine iskoristivog volumena 19 000 m<sup>3</sup> koja će poslužiti za prihvat geotermalne vode pridobivene tijekom proizvodnog ispitivanja bušotine;
- 9) izradu piezometara, tj. bunara koji služe za definiranje nultog stanja kvalitete podzemnih voda, uzimanje uzoraka za kemijsku analizu te praćenje kvalitete podzemnih voda tijekom izrade istražne bušotine.

Pripremni radovi na bušotini obuhvaćaju dovoz strojeva, opreme i kontejnera za organizaciju gradilišta, a obveza su izvođača radova. Nakon geodetskih mjerenja te iskolčenja neophodnih za praćenje i nadzor izvedbe građevinskih radova, započinje se s radovima na uređenju bušotinskog radnog prostora što je detaljno opisano u samom projektu.

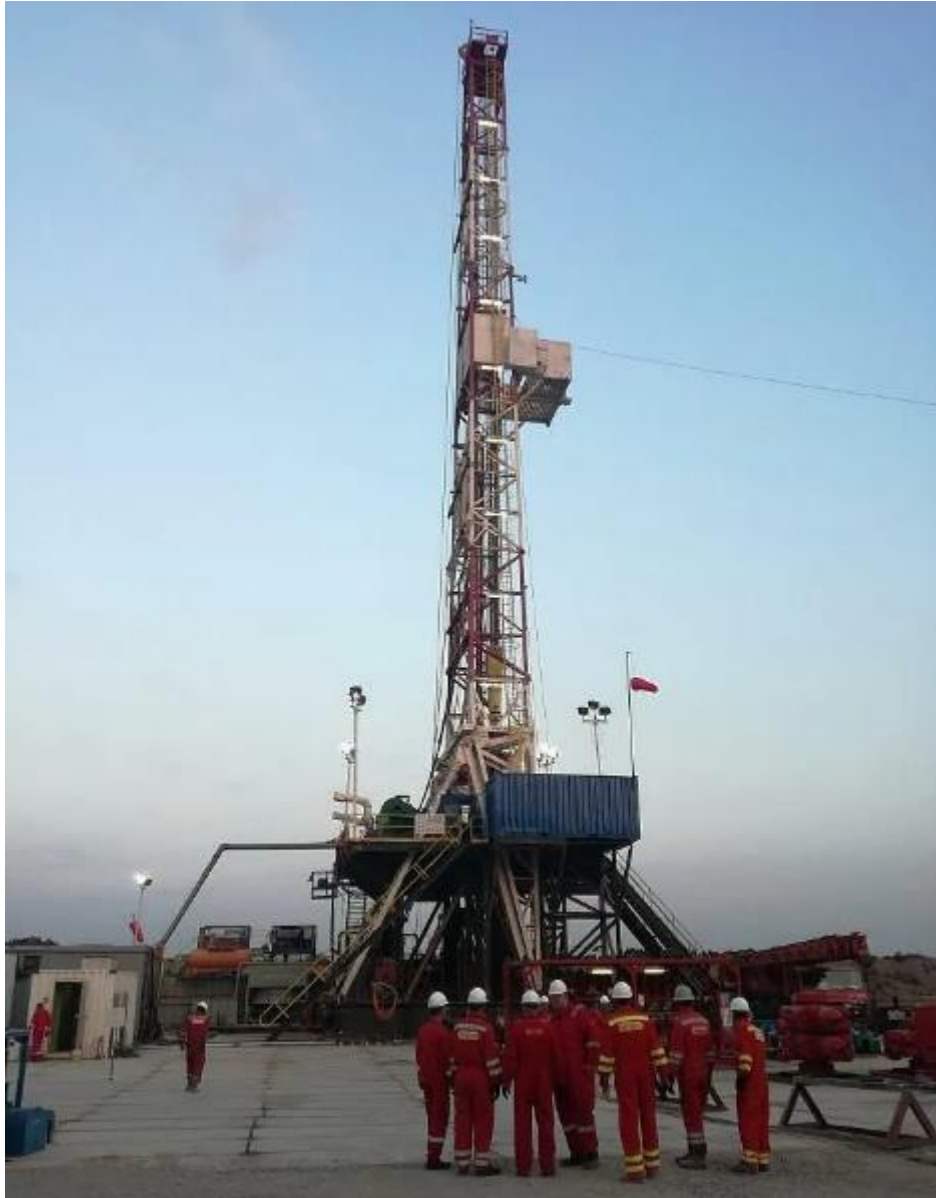
#### 6.1.3. Bušaće postrojenje

Za izradu istražne geotermalne bušotine X koristit će se bušaće postrojenje EMSCO-605 u vlasništvu kompanije CROSCO, naftni servisi, d.o.o. Bušaće postrojenje EMSCO-605 ima sljedeće operative karakteristike:

- 1) radna nosivost tornja – 4,45 MN (454 t),
- 2) snaga postrojenja – 1491 kW (2000 KS),
- 3) visina tornja uključujući podkonstrukciju – 55 m (vrh tornja),
- 4) postrojenje je rastavljivog tipa što znači da se montira/demontira na samoj lokaciji.

Postrojenje se sastoji od: noseće strukture, koloturnog sustava, dizalice, pogonskih motora, prijenosnika, vrtaćeg stola, isplačnih sisaljki, isplačne glave, sustava za pripremu i pročišćavanje isplake, cijevnih alatki te drugog alata. Bušotina će se izrađivati uporabom dubinskog bušaćeg alata ovješnog o kuku tornja uz trajnu rotaciju pogonjenu vršnim pogonom (engl. *Top Drive*). Prije početka bušenja, potrebno je provesti kontrolni pregled bušaćeg postrojenja EMSCO-605 (Slika 6-3.) s pripadajućom opremom te pregled opreme i materijala koji će se koristiti tijekom izrade kanala bušotine. Prije početka bušenja potrebno je održati sigurnosni sastanak na kojem moraju sudjelovati svi izvođači radova. Tablica 6-2. prikazuje osnovne tehničke karakteristike dizel-električnog bušaćeg postrojenja EMSCO-605.





**Slika 6-3.** Bušaće postrojenje EMSCO-605 (Automania, 2017)

**Tablica 6-2.** Tehničke karakteristike bušaćeg postrojenja EMSCO-605 (Zadravec, 2023)

<b>BUŠAĆI TORANJ</b>	
Proizvođač	EMSCO
Duljina rešetkaste konstrukcije tornja	47,55 m
Nazivna nosivost	4,45 MN (454 t)
Nosivost kuke	4,45 MN (454 t)
Najveći broj užnica	12
Skladišni prostor za bušaće šipke vanjskog promjera 0,127 m (5")	6000 m
<b>BUŠAĆA DIZALICA</b>	
Proizvođač	EMSCO
Snaga	1491 kW (2 000 hp)
<b>ISPLAĆNE PUMPE</b>	
Proizvođač	EMSCO
Model	FB 1600; Triplex
Stalna snaga motora	560 kW po motoru
Promjer cilindra	146,1 mm – 0,178 mm (5 3/4 " – 7 ")
<b>VRTAĆI STOL</b>	
Proizvođač i tip	EMSCO T-3750
Nosivost vrtaćeg stola	5,79 MN (590 t)
<b>POGONSKI MOTORI I GENERATORI</b>	
Dizel motori	4 x CAT D 3512, 1030 kW po motoru
Generatori	4 x CAT SR-4, 1500 kVA po generatoru

Osim tehničkih karakteristika postrojenja, bitan je isplaćni sustav koji je karakterističan za pojedino bušaće postrojenje. Tijekom procesa bušenja kanala bušotine, kanal se kontinuirano ispiru isplakom. Ispiranje kanala obavlja se pomoću zatvorenog isplaćnog sustava čiji su sastavni elementi:

- 1) isplaćni bazeni,
- 2) isplaćne pumpe,
- 3) tlačni vodovi,
- 4) bušaći niz,
- 5) dlijeto,

- 6) prstenasti prostor kanala bušotine,
- 7) izljevna cijev,
- 8) sustav za pročišćavanje isplake.

Sustav za pročišćavanje isplake od krhotina razrušenih stijena na bušačem postrojenju EMSCO-605 sastoji se od dva vibratora King Cobra, dvostrukog uređaja za čišćenje isplake (engl. *mud cleaner*), odvajača pijeska (engl. *desander*), odvajača mulja (engl. *desilter*), te centrifuge za izdvajanje barita i fino pročišćavanje isplake. Krhotine razrušenih stijena koje se sustavom pročišćavanja izdvajaju iz isplake, sakupljaju se u betonskom bazenu, dok se tekuća faza prelijeva u isplačnu lagunu. U isplačnoj laguni se preostali dio krute faze odvaja od tekuće faze iskorištenog radnoga fluida gravitacijskim putem (sedimentacijom). Pročišćena tekuća faza iskorištene isplake predaje se ovlaštenom sakupljaču, dok se kruta faza solidificira i propisno odlaže na prethodno pripremljenu vodonepropusnu podlogu (PEHD foliju) na prostoru za odlaganje nabušenog materijala.

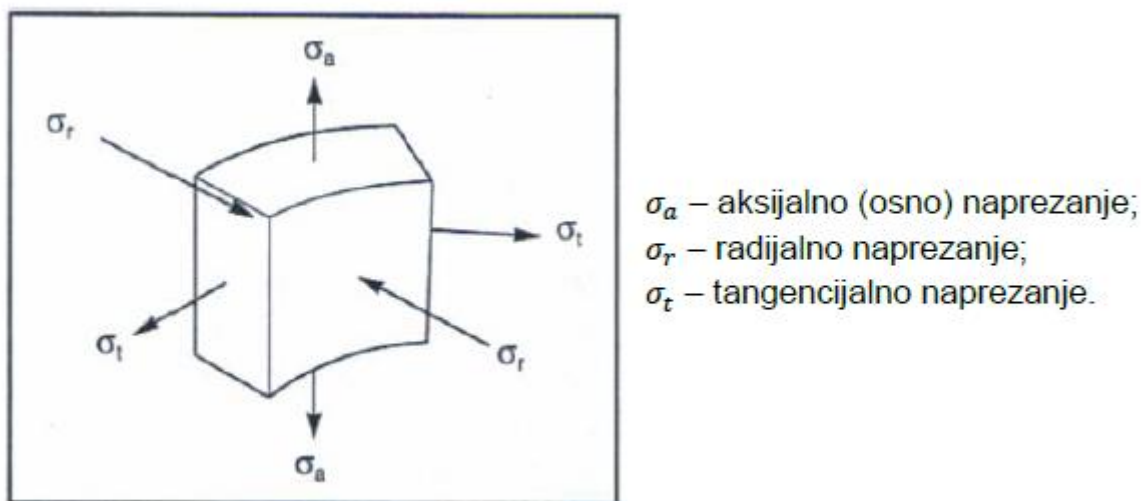
Za pripremu isplake i cementne kaše koristi se dopremljena tehnološka voda koja se skladišti u zatvorenim spremnicima (bazenima) koji su sastavni dio opreme bušačkog postrojenja. Dio vode koristi se i za sanitarne potrebe.

#### 6.1.4. Rezultati proračuna naprezanja zaštitnih cijevi

Proračun troosnih naprezanja kolona zaštitnih cijevi izveden je u računalnom programu Landmark odnosno modelu Landmark StressCheck™. Kriteriji za proračun prikladnosti odabira kolona zaštitnih cijevi određeni su iz najnepovoljnijih mogućih tehničko-tehnoloških uvjeta i naprezanja koji se mogu pojaviti tijekom ugradnje i cementacije pojedine kolone zaštitnih cijevi, tijekom bušenja sljedeće dionice kanala bušotine kroz razmatranu kolonu te uvjeta i naprezanja koji se mogu pojaviti tijekom proizvodnje ležišnih fluida. Program funkcionira na način da uzima u obzir trajektoriju bušotine i kombinirana troosna naprezanja, sa sljedećim zadanim minimalnim koeficijentima sigurnosti (K) za pojedinu vrstu opterećenja:

- 1) za unutarnji tlak: 1,100;
- 2) za vanjski tlak: 1,125;
- 3) za uzdužna naprezanja: 1,800;
- 4) za kombinirana naprezanja: 1,250.

Nadalje, program analizira troosna naprezanja koja djeluju na kolone zaštitnih cijevi tj. kombinirana naprezanja (engl. *triaxial stress*) u skladu sa široko primijenjenoj Huber-Hencky-von Misesovom teorijom analize troosnog naprezanja (American Petroleum Institute [API], 2009). Analiza podrazumijeva određivanje ekvivalentnog rezultirajućeg troosnog naprezanja ( $\sigma_{VME}$ ) koje se uspoređuje s najmanjim opterećenjem kod kojeg će uslijediti plastična deformacija materijala kolone zaštitnih cijevi (Slika 6-4.).

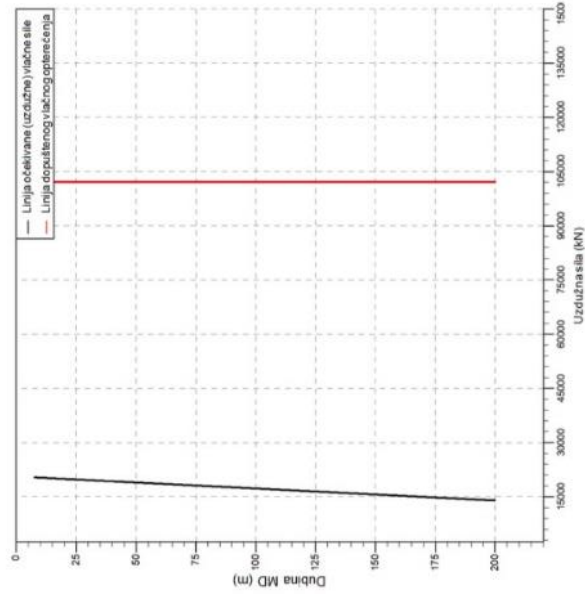


**Slika 6-4.** Troosna naprezanja (API, 2009)

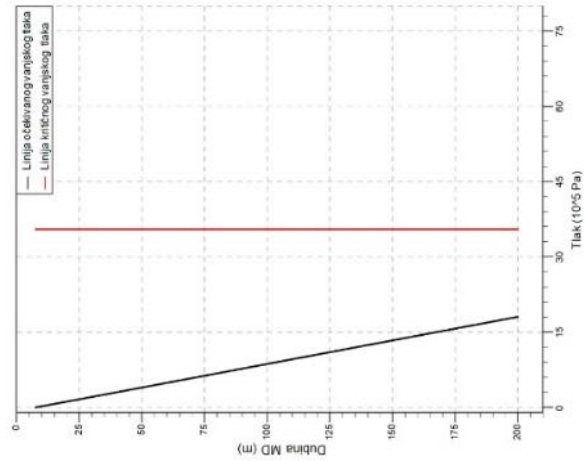
Provjera troosnih naprezanja utječe na moguće promjene odabira zaštitnih cijevi u pogledu jedinične težine i kvalitete čelika pokusno odabranih zaštitnih cijevi prema prethodnim kriterijima (rasprskavanje, gnječenje i uzdužna opterećenja). Provjera se provodi za sve uvjete promjena naprezanja tijekom bušenja, promjene geometrijskog oblika trajektorije bušotine, ugradnje zaštitnih cijevi, cementacije ili proizvodnje iz ležišta, a s obzirom na predviđenu dubinu ugradnje zaštitnih cijevi. U Tablici 6-3. prikazane su koje zaštitne cijevi se planiraju ugraditi prilikom izrade bušotine X, a Slike 6-5., 6-6., 6-7. i 6-8. prikazuju grafičke prikaze proračuna naprezanja uslijed djelovanja očekivanog unutarnjeg i vanjskog tlaka te vlačne sile u odnosu na vrijednost kritičnog tlaka odnosno dopuštenog vlačnog opterećenja.

**Tablica 6-3.** Promjeri, dubina ugradnje i kvaliteta čelika zaštitnih cijevi i lajnera s prorezima koji se planiraju ugraditi na bušotini X (Zadravec, 2023)

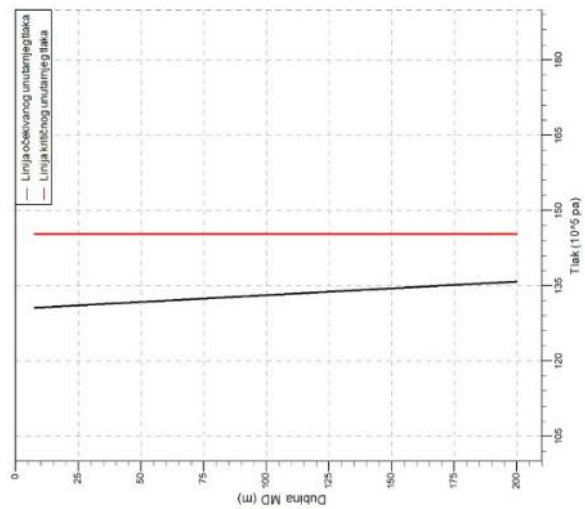
Naziv kolone zaštitnih cijevi	Uvodna kolona	Tehnička kolona	Tehnička/proizvodna kolona	Proizvodni lajner s prorezima
Vanjski promjer niza, m (in)	0,508 (20)	0,339 (13 3/8)	244,5 (9 5/8)	0,178 (7)
Početna dubina ugradnje, m	0	0	0	3500
Konačna dubina ugradnje, m	200	1800	3550	4500
Kvaliteta čelika	K-55	P-110	L-80	L-80



Grafički prikaz očekivane uzdužne (vlačne sile) u odnosu na dopušteno vlačno opterećenje.

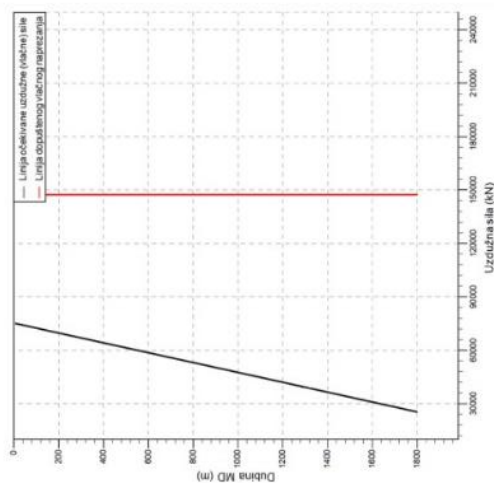


Grafički prikaz očekivanih vrijednosti vanjskog tlaka u odnosu na vrijednost kritičnog vanjskog tlaka.

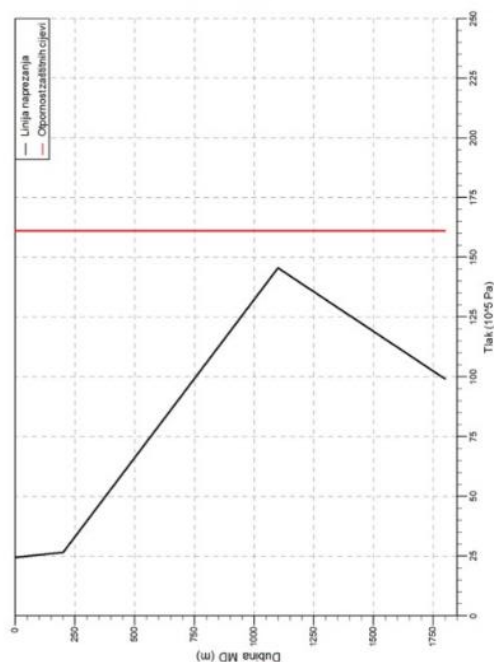


Grafički prikaz očekivanih vrijednosti unutarnjeg tlaka u odnosu na vrijednost kritičnog unutarnjeg tlaka.

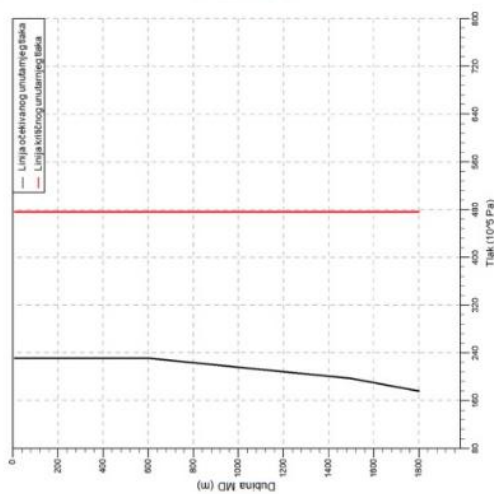
**Slika 6-5.** Grafički prikaz proračuna naprezanja uvedne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,508 m (Zadavec, 2023)



Grafički prikaz očekivane uzdužne vlačne sile u odnosu na dopušteno vlačno opterećenje.

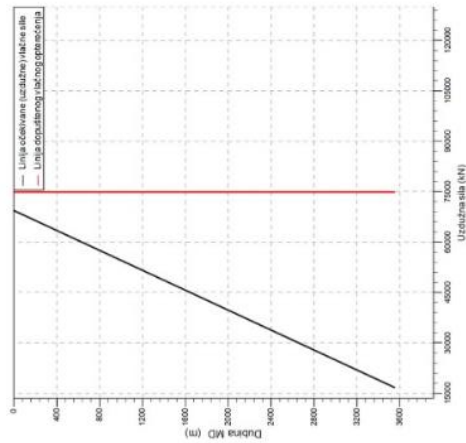


Grafički prikaz očekivanih vrijednosti vanjskog tlaka u odnosu na vrijednost kritičnog vanjskog tlaka.

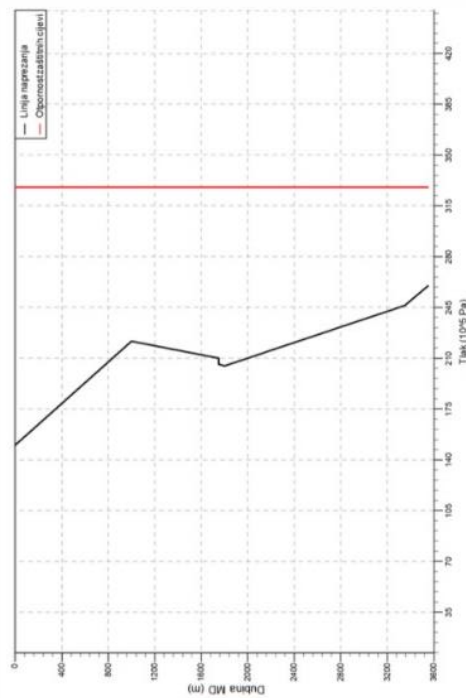


Grafički prikaz očekivanih vrijednosti unutarnjeg tlaka u odnosu na vrijednost kritičnog unutarnjeg tlaka.

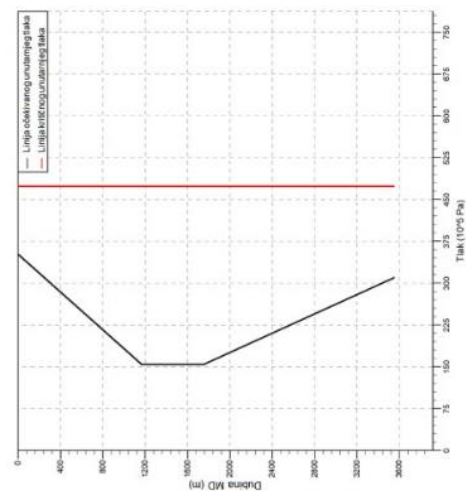
**Slika 6-6.** Grafički prikaz proračuna naprezanja tehničke kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,339 m (Zadavec, 2023)



Grafički prikaz očekivane uzdužne (vlačne sile) u odnosu na dopušteno vlačno opterećenje.



Grafički prikaz očekivanih vrijednosti vanjskog tlaka u odnosu na vrijednost kritičnog vanjskog tlaka.

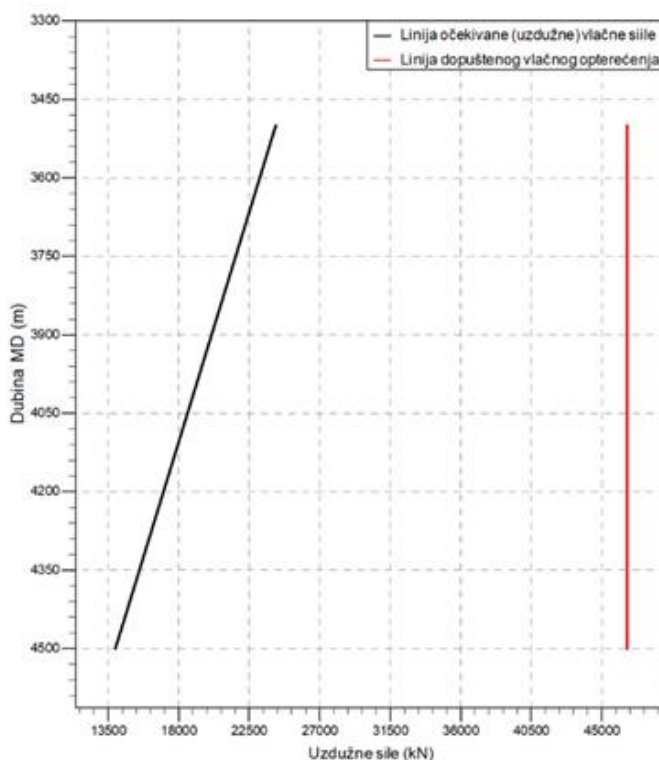


Grafički prikaz očekivanih vrijednosti unutarnjeg tlaka u odnosu na vrijednost kritičnog unutarnjeg tlaka.

**Slika 6-7.** Grafički prikaz proračuna naprezanja tehničke/proizvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,245 m (Zadravec, 2023)



Obzirom da lajner ima proreze cijelom svojom duljinom, unutarnji i vanjski tlak djeluju na manju površinu te nije potrebno računati vrijednosti spomenutih tlakova već samo proračunati očekivanu vlačnu silu.



**Slika 6-8.** Grafički prikaz rezultata proračuna naprezanja lajnera s prorezima vanjskog promjera 0,178 m uslijed djelovanja očekivane vlačne sile u odnosu na vrijednost dopuštenog vlačnog opterećenja (Zadravec, 2023).

#### 6.1.5. Opis bušenja pojedine dionice kanala bušotine

U tehničko-tehnološkom dijelu projekta, kao što je ranije spomenuto, određeno je s kojim nazivnim promjerima dlijeta će se bušiti svaka dionica kanala bušotine, odnosno određen je promjer dlijeta kojim se buši, promjeri teških i bušačkih šipki te ostalih alatki u nizu bušačkih alatki. Osim toga, određen je sastav i raspored bušačkih alatki u nizu.

Isplaka koja će se koristiti također je određena i naveden je njen sastav za pojedinu dionicu kanala bušotine.

##### 6.1.5.1. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,660 m (26")

Bušenje za ugradnju uvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,508 m (20") obaviti će se dlijetom promjera 0,660 m (26"). Predviđena dubina ugradnje kolone je 200 m. Njome će se prekriti slabo konsolidirane površinske naslage pijeska i šljunka, osigurati

vodonosnici, te omogućiti montaža preventerskog sklopa i siguran nastavak bušenja dlijetom promjera 0,445 m (17 ½"). Plitke naslage pijeska i šljunka moraju se prekriti uvodnom kolonom, stoga treba voditi računa da se konačna dubina ugradnje uvodne kolone zaštitnih cijevi uskladi s dnevnikom zacjevljenja te geološkim zahtjevima. Sastav niza bušačeg alata za izradu dionice kanala bušotine promjera 0,660 m (26") prikazan je Tablicom 6-4.

**Tablica 6-4.** Sastav niza bušačeg alata za izradu kanala bušotine promjera 0,660 m (Zadravec, 2023)

Komponente	Broj komp.	Vanjski promjer, mm	Unutarnji promjer, mm	Jedinična težina, N/m	Jedinična duljina, m	Ukupna duljina, m
Dlijeto		660,4			0,60	0,60
Prijelaz	1	244,5	76,8	3170,6	1,50	2,10
Teška šipka	1	240,2	80,3	3170,6	9,00	11,10
Stabilizator	1	660,4	77,2	3170,6	2,50	13,60
Teška šipka	2	240,2	80,3	3170,6	9,00	31,60
Prijelaz	1	241,3	76,2	2347,5	0,80	32,40
Teška šipka	3	203	77,7	2347,5	9,00	59,40
Prijelaz	1	209,6	71,4	720,1	0,80	60,20
Teške bušaće šipke	15	168,3	75,9	720,1	9,30	199,70
Bušaće šipke	2	127	108,0	319,8	9,30	218,30

Rizici koji se mogu pojaviti tijekom izrade dionice kanala bušotine promjera 0,660 m (26") su:

- 1) frakturiranje plitkih naslaga, te posljedično tome dotok isplake na površinu - kako bi se to spriječilo potrebno je prilagoditi parametre režima bušenja (dobavu, opterećenje na dlijeto, broj okretaja dlijeta) u prvih 50 metara;
- 2) ispiranje/erozija kanala bušotine - za prevenciju je potrebno pratiti iznošenje nabušenog materijala i po potrebi prilagoditi parametre režima bušenja, a u slučaju da izlazi previše materijala reducirati parametre režima bušenja;
- 3) povećanje gustoće isplake u prstenastom prostoru kao posljedice slabog iznošenja nabušenih krhotina stijena iz bušotine;

- 4) povećanje gustoće isplake zbog dispergiranih glina, u isplaci;
- 5) eventualne pojave plitkih plinova geološkim projektom nisu predviđene;
- 6) obljepjivanje krutog alata (engl. *Bottom-Hole Assembly – BHA*) te posljedično tome pojava efekta klipovanja - kako bi se izbjeglo klipovanje potrebno je pažljivo vaditi alat iz bušotine te nadopunjavati bušotinu isplakom i pratiti volumen isplake u isplačnim bazenima.

Za ispiranje dionice kanala bušotine promjera 0,660 m (26"), koji će se bušiti u intervalu od 0 do 205 m, koristi će se bentonitna isplaka gustoće 1150 kg/m<sup>3</sup>. Projektirana svojstva isplake za ispiranje ove dionice kanala bušotine promjera 0,660 (26") prikazana su Tablicom 6-5.

**Tablica 6-5.** Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,660 m (Zadavec, 2023)

Svojstvo isplake	Mjerna jedinica	Vrijednost
Vrsta isplake	-	Bentonitna isplaka
Gustoća isplake	kg/m <sup>3</sup>	1150
Marshova viskoznost	s	80 – 140
Plastična viskoznost	mPa * s	Što niža
Naprezanje pri pokretanju (YP, engl. <i>Yield pressure</i> )	Pa	10 - 20
Čvrstoća 10 s gela	Pa	3 – 5
Čvrstoća 10 min gela	Pa	7 – 20
API filtracija	cm <sup>3</sup> /30 min	-
Debljina isplačnog obloga	mm	-
pH vrijednost	-	8,0 – 9,5
Količina Cl <sup>-</sup> iona	mg/dm <sup>3</sup>	< 2000
Udio pijeska	% volumena	< 2
Ukupni udio čvrstih čestica	% volumena	-
Količina glina	kg/ 1 m <sup>3</sup>	< 50

### 6.1.5.2. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,445 m (17 1/2")

Bušenje kanala bušotine za ugradnju tehničke kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,339 m (13 3/8") izvodit će dlijetom promjera 0,445 m (17 1/2"). Predviđena dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,339 m (13 3/8") je 1800 m. Planirano je da kanal bušotine bude vertikaln po cijeloj duljini. Cilj ove faze je ugraditi tehničku kolonu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,339 m (13 3/8") na dubinu koja omogućava stabilne i sigurne uvjete u bušotini tijekom nastavka bušenja dlijetom promjera 0,311 m (12 1/4"). Na taj način će se prekriti glinovite formacije čime će se osigurati stabilnost kanala bušotine 0,445 m (17 1/2") te onemogućiti potencijalni dotok plina i komunikacija sa plinonosnim naslagama visokog slojnog tlaka. Duž cijelog kanala bušotine promjera 0,445 m (17 1/2") očekuje se blago povišeni gradijenti slojnog tlaka. Sastav niza bušačega alata za izradu dionice kanala bušotine promjera 0,445 m (17 1/2") prikazan je Tablicom 6-6.

**Tablica 6-6.** Sastav niza bušačega alata za izradu kanala bušotine promjera 0,445 m (Zadravec, 2023)

Komponente	Broj komp.	Vanjski promjer, mm	Unutarnji promjer, mm	Jedinična težina, N/m	Jedinična duljina	Ukupna duljina
Dlijeto		444,5			0,50	0,50
Dubinski motor	1	244,5	76,2	3044,7	9,35	9,85
Stabilizator	1	444,5	76,2	3170,6	1,65	11,50
Nemagnetska teška šipka	1	241,3	76,2	3170,6	9,23	20,73
MWD	1	241,3	76,2	3170,6	0,95	21,68
Teška šipka	3	241,3	76,2	3170,6	9,14	49,10
Prijelaz	1	209,6	69,9	1241,9	0,48	49,58
Teška šipke	3	209,6	71,4	2347,5	9,14	77,00
Udarač	1	203,2	69,9	720,1	6,1	83,1
Teške šipke	3	209,6	71,4	2347,5	9,14	110,52
Prijelaz	1	203,2	76,2	720,1	0,8	111,32
Teške bušaće šipke	12	127	76,2	720,1	9,14	221,00
Bušaće šipke	174	127	108,61	305,1	9,14	1811,36

Rizici koji se mogu pojaviti tijekom izrade dionice kanala bušotine promjera 0,445 m (17 ½") su:

- 1) dotok slojnog fluida u bušotinu do kojeg može doći uslijed pada hidrostatskog tlaka u bušotini, klipovanja ili snažnog zaplinjenja isplake;
- 2) pojave plinova u isplaci tijekom cirkulacije;
- 3) obljepljivanje krutog alata (BHA) i posljedično klipovanje;
- 4) povećanje gustoće isplake u prstenastom prostoru uslijed slabog iznošenja nabušenog materijala;
- 5) povećanje gustoće isplake zbog dispergiranih glinovitih naslaga;
- 6) gubici isplake u sloj;
- 7) otklon kanala bušotine od vertikale;
- 8) povećanje promjera kanala bušotine.

Za ispiranje kanala bušotine promjera 0,445 m (17 ½"), koji će se bušiti u intervalu od 200 do 1805 m, koristi će se polimerna isplaka gustoće 1250 kg/m<sup>3</sup>. Projektirana svojstva isplake za ispiranje dionice kanala bušotine promjera 0,445 m prikazana su Tablicom 6-7.

**Tablica 6-7.** Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,445 m (Zadavec, 2023)

Svojstvo isplake	Mjerna jedinica	Vrijednost
Vrsta isplake	-	Polimerna
Gustoća isplake	$kg/m^3$	1250
Marshova viskoznost	s	50 – 80
Plastična viskoznost	mPa * s	Što niža
Naprezanje pri pokretanju (YP, engl. <i>Yield pressure</i> )	Pa	10 – 18
Čvrstoća 10 s gela	Pa	2 – 5
Čvrstoća 10 min gela	Pa	6 – 15
API filtracija	$cm^3/30$ min	7 – 8
Debljina isplačnog obloga	mm	0,5 – 1,0
pH vrijednost	-	9,0 – 9,5
Količina Cl- iona	$mg/dm^3$	< 6000
Udio pijeska	% volumena	< 1
Ukupni udio čvrstih čestica	% volumena	9 – 10
Količina glina	$kg/1 m^3$	< 40

#### 6.1.5.3. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,311 m (12 ¼")

Bušenje kanala bušotine za ugradnju proizvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,245 m (9 ⅝") obavit će se dlijetom promjera 0,311 m (12 ¼"). Predviđena dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,245 m (9 ⅝") je 3550 m. Naslage stijena iznad ležišta geotermalne vode izolirat će se navedenom tehničkom/proizvodnom kolonom zaštitnih cijevi kako bi se onemogućila njihova komunikacija s kanalom bušotine promjera 0,216 m (8 ½"). Tijekom izrade kanala bušotine dlijetom promjera 0,311 m (12 ¼") očekuju se visoki gradijenti pornih tlakova. Sastav niza bušaćeg alata za izradu dionice kanala bušotine promjera 0,311 m (12 ¼") prikazan je Tablicom 6-8.

**Tablica 6-8.** Sastav niza bušačeg alata za izradu kanala bušotine promjera 0,311 m (Zadravec, 2023)

Komponente	Broj komp.	Vanjski promjer, mm	Unutarnji promjer, mm	Jedinična težina, N/m	Jedinična duljina, m	Ukupna duljina, m
Dlijeto					0,40	0,40
Dubinski motor	1	203,2	76,2	1629,4	8,26	8,66
Stabilizator	1	203,2	70,7	2174,8	2,32	10,98
Nemagnetska TŠ	1	203,2	88,9	2019,3	9,02	20,00
MWD	1	203,2	88,9	1471,5	0,94	20,94
Teške šipke	9	209,6	71,4	2347,5	9,14	103,20
Udarač	1	203,2	69,85	2099,7	6,1	109,30
Teške šipke	3	209,6	71,4	2347,5	9,14	136,72
Prijelaz	1	209,6	76,2	1340,0	0,84	137,56
Teške bušaće šipke	12	127	76,2	720,1	9,14	247,24
Bušaće šipke	363	127	108,6	305,1	9,14	3565,06

Rizici koji se mogu pojaviti tijekom izrade dionice kanala bušotine promjera 0,311 m (12 ¼") su:

- 1) dotok slojnog fluida u bušotinu do kojeg može doći uslijed pada hidrostatskog tlaka u bušotini, klipovanja ili snažnog zapljinjenja isplake. Stoga hidrostatski tlak stupca isplake uvijek mora biti veći od slojnog tlaka, a to se postiže reguliranjem gustoće isplake za bušenje;
- 2) pojave plinova u isplaci tijekom cirkulacije;
- 3) klipovanje;
- 4) gubici isplake;
- 5) povećanje momenta torzije i trenja u kanalu bušotine;
- 6) promjena kuta odklona i azimuta kanala bušotine;
- 7) kolebanja tlakova u kanalu bušotine.

Za ispiranje kanala bušotine promjera 0,311 m (12 ¼"), koristit će se aditivima poboljšana inhibirajuća HT (visoka temperatura, engl. *High temperature*) polimerna isplaka gustoće 1800 kg/m<sup>3</sup>. Projektirana svojstva isplake za ispiranje ove dionice kanala bušotine promjera 0,311 m (12 ¼") prikazana su Tablicom 6-9.

**Tablica 6-9.** Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,311 m (Zadavec, 2023)

Svojstvo isplake	Mjerna jedinica	Vrijednost
Vrsta isplake	-	Inhibirajuća polimerna HT isplaka
Gustoća isplake	kg/m <sup>3</sup>	1800
Marshova viskoznost	s	50 – 80
Plastična viskoznost	mPa * s	Što niža
Naprezanje pri pokretanju (YP, engl. <i>Yield pressure</i> )	Pa	7 – 17
Čvrstoća 10 s gela	Pa	2 – 5
Čvrstoća 10 min gela	Pa	6 – 17
API filtracija	Cm <sup>3</sup> /30 min	< 6
Debljina isplačnog obloga	mm	0,5 – 1,0
pH vrijednost	-	9,0 – 9,5
Količina Cl- iona	mg/dm <sup>3</sup>	< 35 000
Udio pijeska	% volumena	< 1
Ukupni udio čvrstih čestica	% volumena	8 – 9
Količina glina	kg/ 1 m <sup>3</sup>	< 30

#### 6.1.5.4. Opis bušenja dionice kanala bušotine promjera 0,216 m (8 ½")

Bušenje za ugradnju lajnera vanjskoga promjera 0,178 m (7") s prorezima izvest će se dljetom promjera 0,216 m (8 ½"). Tijekom bušenja kanala bušotine promjera 0,216 m (8 ½") raskrit će se primarni cilj bušotine, tj. potencijalno ležište geotermalne vode te sekundarni cilj bušotine koji na određenim povoljnim strukturnim pozicijama mogu biti povoljnih ležišnih karakteristika za pridobivanje geotermalne vode. Navedeni kanal zacijevit će se lajnerom s prorezima čime će biti omogućena stabilnost kanala bušotine tijekom



proizvodnog ispitivanja i eventualnog proizvodnog vijeka bušotine. Sastav niza bušačeg alata za izradu dionice kanala bušotine promjera 0,216 m (8 1/2") prikazan je Tablicom 6-10.

**Tablica 6-10.** Sastav niza bušačeg alata za izradu kanala bušotine promjera 0,216 m (Zadravec, 2023)

Komponente	Broj komponenti	Vanjski promjer, mm	Unutarnji promjer, mm	Jedinična težina, N/m	Jedinična duljina, m	Ukupna duljina, m
Dlijeto		215,90			0,30	0,30
Dubinski motor	1	165,10	57,15	1277,40	8,69	8,99
Stabilizator	1	165,10	73,03	1326,10	1,36	10,35
Nemagnetska TŠ	1	158,75	71,45	1236,50	9,27	19,62
MWD	1	165,10	82,55	437,90	0,92	20,54
Prijelaz	1	165,10	69,85	720,10	1	21,54
Teška šipka	12	165,10	71,40	720,10	9,14	131,22
Udarač	1	165,10	76,20	1368,10	5,08	136,30
Teška šipka	3	165,10	71,40	720,10	9,14	163,72
Prijelaz	1	165,10	69,85	720,10	1	164,72
Teške bušaće šipke	12	127	76,20	720,10	9,14	274,40
Bušaće šipke	469	127	108,60	305,10	9,14	4561,10

Rizici koji se mogu pojaviti tijekom izrade ove dionice kanala bušotine promjera 0,216 m (8 1/2") su:

- 1) dotok slojnog fluida u bušotinu do kojeg može doći uslijed pada hidrostatskog tlaka bušotini, uslijed klipovanja ili snažnog zaplinjenja isplake;
- 2) pojave plinova u isplaci tijekom cirkulacije;
- 3) klipovanje;
- 4) gubici isplake u sloj;
- 5) povećanje momenta torzije i trenja u kanalu bušotine;

- 6) otklon kanala bušotine od vertikale;
- 7) kolebanja tlakova u kanalu bušotine.

Za ispiranje kanala promjera 0,216 m (8 ½"), koji će se bušiti u intervalu od 3550 m do 4500 m korist će se polimerna isplaka za visokotemperaturne uvjete gustoće 1050 kg/m<sup>3</sup>. Projektirana svojstva isplake za ispiranje dionice kanala bušotine promjera 0,216 m prikazana su Tablicom 6-11.

**Tablica 6-11.** Svojstva isplake za ispiranje kanala bušotine promjera 0,216 m (8 ½") (Zadravec, 2023)

Svojstvo isplake	Mjerna jedinica	Vrijednost
Vrsta isplake	-	polimerna HT isplaka
Gustoća isplake	kg/m <sup>3</sup>	1050
Marshova viskoznost	s	40 – 53
Plastična viskoznost	mPa * s	Što niža
Naprezanje pri pokretanju (YP, engl. <i>Yield pressure</i> )	Pa	6 – 16
Čvrstoća 10 s gela	Pa	1 – 2
Čvrstoća 10 min gela	Pa	2 – 5
API filtracija	cm <sup>3</sup> /30 min	-
Debljina isplačnog obloga	mm	0,3 – 0,7
pH vrijednost	-	9,5 – 10,5
Količina Cl- iona	mg/dm <sup>3</sup>	< 2000
Udio pijeska	% volumena	< 1
Ukupni udio čvrstih čestica	% volumena	2 – 3
Količina glina	kg/ 1 m <sup>3</sup>	< 30

#### 6.1.6. Opremanje ušća bušotine

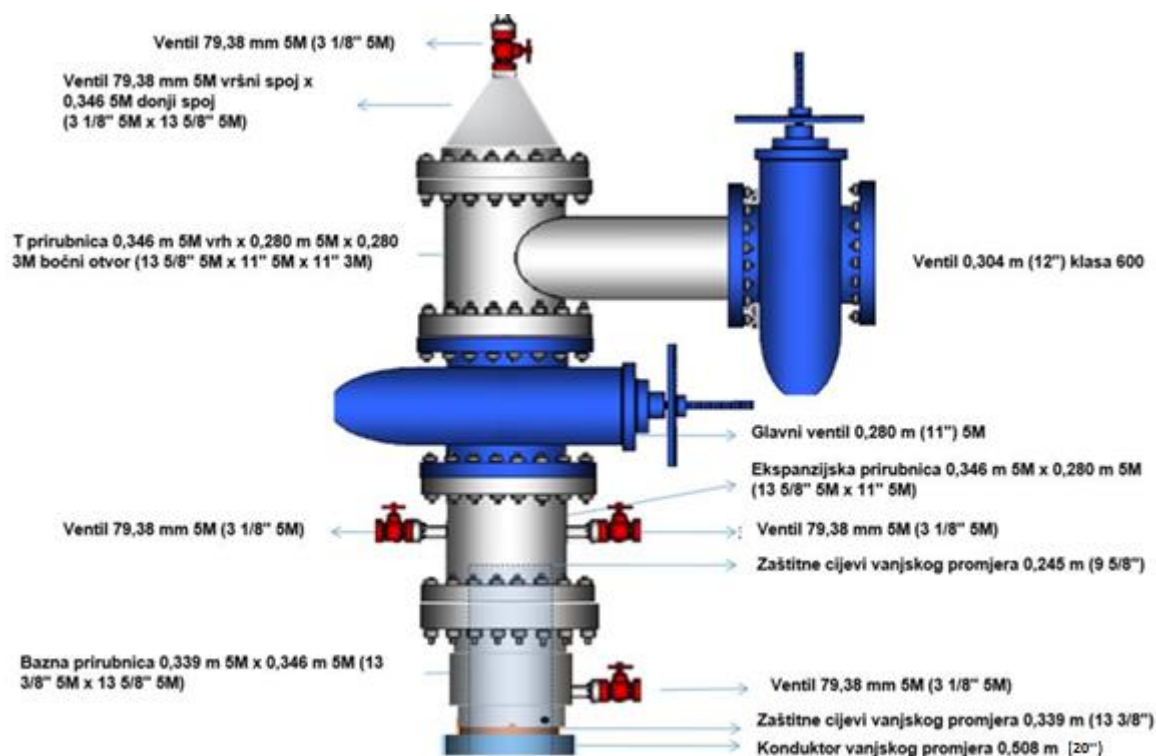
Bušotinska glava sastavljena je od:

- 1) glavnog ventila koji je centralni element i omogućuje kontrolu protoka vode unutar sustava, a njegovo zatvaranje pruža sigurnosnu mjeru, sprječavajući neželjeno ispuštanje vode i minimizirajući potencijalne rizike;
- 2) radnog ventila koji pruža operativnu fleksibilnost omogućujući regulaciju manjih protoka vode tijekom održavanja i kalibracije sustava;
- 3) razdjelnika s pokrovnim ventilom koji predstavlja čvorište povezivanja proizvodnih linija s erupcijskim uređajem, a njegova funkcija je osigurati efikasnu distribuciju fluida na odgovarajuće proizvodne linije (površinske vodove prema pripadajućoj nadzemnoj opremi);
- 4) pokrovnog ventila postavljenog na razdjelniku koji omogućuje izolaciju ili kontrolu protoka na svakoj pojedinačnoj liniji, osiguravajući precizno upravljanje procesom. Dodatno, bočni ventil na razdjelniku pruža dodatnu razinu kontrole na pojedinačnim proizvodnim linijama, doprinoseći tako operativnoj fleksibilnosti i sigurnosti sustava. Ovi elementi zajedno omogućuju stabilno i sigurno funkcioniranje erupcijskog sustava dok istovremeno osiguravaju kontrolu protoka vode i minimiziraju potencijalne rizike.

Bušotinska glava koja će se ugraditi na razmatranoj bušotini X (Slika 6-9.) sastojat će se od:

- 1) bazne prirubnice koja će se montirati na zaštitne cijevi vanjskog promjera 0,339 m (13  $\frac{3}{8}$ " )
- 2) ekspanzijske prirubnice,
- 3) glavnog ventila (*engl. Master Valve*)
- 4) T-prirubnice (*engl. T-spool*).

Ekspanzijska prirubnica omogućit će eventualno termalno istezanje proizvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,245 m (9  $\frac{5}{8}$ " ) bez prenošenja naprezanja na ostale sklopove ušća bušotine. Uz to, u konstrukciju ekspanzijske prirubnice bit će ugrađen i mehanizam za usmjeravanje kolone zaštitnih cijevi tijekom njezina istezanja. Erupcijski uređaj sastojat će se od glavnog i radnog ventila te razdjelnika s pokrovnim ventilom i bočnim ventilom na koji se spajaju proizvodne linije.



**Slika 6-9.** Shematski prikaz bušotinske glave (Zadravec, 2023)

#### 6.1.7. Vremenski plan izrade bušotine

Vremenski plan izrade bušotine ključan je za uspješnu provedbu projekta bušenja. Ovaj plan precizno definira svaku fazu procesa, od transporta bušaćeg postrojenja i njegove montaže pa sve do demontaže istog, između kojih se odvija cjelokupni proces izrade bušotine, tj. bušenja.

Ovaj vremenski plan ne samo da osigurava dosljednost i transparentnost u izvedbi projekta bušenja, već i omogućuje pravovremeno prepoznavanje i rješavanje eventualnih kašnjenja ili problema koji bi mogli utjecati na konačni rezultat. Vremenski plan izrade bušotine X prikazan je Tablicom 6-12.

**Tablica 6-12.** Vremenski plan izrade bušotine (Zadravec, 2023)

<b>Operacija</b>	<b>Trajanje (dana)</b>	<b>Dubina MD (m)</b>	<b>Dana (ukupno)</b>
Transport bušaćeg postrojenja	8	0	8
Montaža bušaćeg postrojenja	5	0	13
Bušenje kanala bušotine promjera 660 mm (26")	2	200	15
Ugradnja i cementacija uvodne kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 508 mm (20")	2	200	17
Bušenje kanala bušotine promjera 444,5 mm (17 1/2")	7	1800	24
Ugradnja i cementacija tehničke kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 339,7 mm (13 3/8")	3	1800	27
Bušenje kanala bušotine promjera 311,2 mm (12 1/4")	9	3550	36
Ugradnja i cementacija tehničke/proizvodne kolone zaštitnih cijevi 244,5 mm ( 9 5/8")	4	3550	40
Bušenje kanala bušotine promjera 215,9 mm (8 1/2")	5	4500	45
Ugradnja lajnera s prorezima promjera 177,8 mm (7")	3	4500	48
Napuštanje bušotine	4	4500	52
Demontaža postrojenja	5	4500	57

#### 6.1.8. Izvođači radova

Izvođači radovi su ključni čimbenici u realizaciji bilo kojeg građevinskog projekta iz više razloga. Prvo, njihova stručnost i iskustvo osiguravaju kvalitetnu izgradnju prema zadanim specifikacijama i standardima. Njihova vještina u implementaciji dizajna i tehničkih planova ključna je za postizanje funkcionalnosti, sigurnosti i trajnosti objekta.

Osim toga, izvođači radova pružaju kontinuiranu radnu snagu tijekom svih faza projekta, što omogućava napredak radova prema unaprijed definiranom vremenskom rasporedu.

Njihova organizacija i koordinacija s ostalim sudionicima projekta, poput naftnih inženjera ključni su za efikasno upravljanje projektom. Izvođači radova prikazani su Tablicom 6-13.

**Tablica 6-13.** Izvođači radova bušotine (Zadravec, 2023)

<b>Usluga</b>	<b>Izvođač</b>
Priprema lokacije i pristupnog puta	SKIMT d.o.o.
Bušenje i ugradnja konduktor kolone	CROSCO, naftni servisi, d.o.o.
Bušenje piezometara	SPP d.o.o.
Najam bušaće garniture	CROSCO, naftni servisi, d.o.o.
Operator za isplaku i centrifugu	MI SWACO
Operator za flokulacijsku jedinicu	MI SWACO
Cementacija	CROSCO, naftni servisi, d.o.o.
Elektrokarotažna mjerenja	CROSCO, naftni servisi, d.o.o.
Operator za bušotinsku glavu	Gemini
Operativni geološki nadzor/plinska karotaža	n/a
Usmjereno bušenje	Cougar drilling services

## 7. ZAKLJUČAK

Geotermalna energija, kao obnovljiv izvor energije, pruža značajan potencijal za održivi razvoj i diversifikaciju energetskeg portfolija. Kroz analizu geotermalnih ležišta, identificirane su specifičnosti kojima se pristupa prilikom projektiranja i opremanja geotermalnih bušotina. Podjela ležišta pruža temelj za optimizaciju procesa eksploatacije geotermalne energije.

Geotermalna energija ima mnogobrojne primjene, od toplinarstva do poljoprivrede i proizvodnje električne energije. Raznovrsnost korištenja ovog resursa naglašava njegovu važnost u različitim sektorima društva te potiče interdisciplinarni pristup prilikom razvoja projekata iskorištavanja geotermalnih ležišta.

Projektiranje istražne bušotine u skladu s zakonima Republike Hrvatske ključno je za osiguravanje sigurnosti, zaštite okoliša i optimalne eksploatacije geotermalnog potencijala. Propisane smjernice i standardi pružaju okvir za strukturirano planiranje i izvođenje bušotinskih radova, čime se osigurava usklađenost s propisanim normama i regulativama.

Specifičnosti opremanja geotermalnih bušotina dodatno naglašavaju kompleksnost ovog procesa. Veći promjeri uzlaznog niza cijevi, poput slotiranih lajnera i specifičnosti bušotinske glave koja omogućuje termalnu ekspanziju, predstavljaju ključne komponente prilagođene posebnostima geotermalnih sustava. Ove karakteristike odražavaju potrebu za inovativnim rješenjima prilikom projektiranja proizvodnog opremanja bušotina, s naglaskom na dugoročnoj učinkovitosti i održivosti.

Prikazani projekt istražne bušotine u Republici Hrvatskoj ilustrira praktičnu primjenu teorijskih i tehničkih aspekata razmatranih u radu. Uvođenje novih tehnologija i pristupa u istraživanju geotermalnih resursa doprinosi jačanju pozicije Hrvatske u domeni obnovljivih izvora energije.

Kroz sve navedene aspekte, ovaj rad potvrđuje važnost detaljnog istraživanja i planiranja prilikom realizacije geotermalnih projekata. Sveobuhvatan pristup, od istraživanja ležišta do opremanja bušotina, ključan je za ostvarivanje potencijala geotermalne energije kao održivog i ekonomski isplativog izvora energije u Republici Hrvatskoj.

## 8. LITERATURA

1. American Petroleum Institute [API], 2009. Hydraulic Fracturing Operations – Well Construction and Integrity Guidelines. Washington: API Publishing Services.
2. BELLARBY, J., 2009. Well completion design (Vol. 56).Aberdeen: Elsevier.
3. BOŠNJAK, R. et al., Program korištenja geotermalne energije-prethodni rezultati i buduće aktivnosti, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 1998.
4. CAPUANO, L., HUH, M., SWANSON, R., WAYNE, R., 2008. Enhanced Geothermal Systems (EGS) well construction technology evaluation. Tehnical report.
5. CAZIN, V., JURILJ, Ž., 2022. Realizirana i planirana buduća priključenja korisnika na „Geotermalno polje Zagreb“ kao pouzdan i stabilan izvor grijanja. Nafta i plin, Vol. 41, br. 170.-171., str. 47-56
6. ELEZOVIĆ, I., ŠKRLEC, M., KOLBAH, S., 2018. Konstrukcije proizvodnih geotermalnih bušotina u Hrvatskoj. Nafta i Plin, Vol. 38. br. 155. str. 60-78
7. FALCONE, G., DE WITT, G.J., 2011. Worldwide Classification and Reporting Requirements for Geothermal Resources. Texas A&M University; C. Teodoriu, Clausthal University of Technology.
8. GAURINA-MEĐIMUREC, N., MATANOVIĆ, D., KRKLEC, G., 1994. Cement slurries for geothermal wells cementing. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 6, str. 127-134.
9. KING, G., 1998. An Introduction to the Basics of Well Completion: 2nd edition. Tulsa.



10. KOLBAH, S., ŠKRLEC, M., ŽIVKOVIĆ, S., TUMARA, D. 2019. Korištenje resursa geotermalne energije u Republici Hrvatskoj. Nafta i plin, Vol. 39, br. 159.-160., str. 51-56
11. MATANOVIĆ, D., MOSLAVAC, B., 2011. Opremanje i održavanje bušotina. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
12. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA [MINGOR], 2023. Plan razvoja geotermalnog potencijala RH
13. NARODNE NOVINE [NN], br. 52/18., Pravilnik o naftno-rudarskim projektima i postupku provjere naftno-rudarskih projekata. Zagreb: Narodne novine d.d.
14. NARODNE NOVINE [NN], br. 25/18., Strategija energetske razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu. Zagreb: Narodne novine d.d.
15. RENPU, W., 2011. Advanced well completion engineering: 3rd Edition. Gulf professional publishing.
16. THORHALLSSON, S., 2003. Geothermal Well Operation and Maintenance. The United Nations University, Geothermal Training Programme, IGC2003 Short Course, Rujan 2003., str. 1-3, 11-12, 23.
17. TUMARA, D., PAVLOVIĆ, D., 2019. Geotermalna energija i njezin potencijal u vremenu energetske diversifikacije i tranzicije republike hrvatske. Nafta i plin, Vol. 39, br. 161.-162., str. 53-62
18. ZADRAVEC, D., 2023. Projekt izrade istražne geotermalne bušotine X s bušotinskim radnim prostorom za smještaj bušačkog postrojenja na istražnom prostoru Z. Zagreb: FIKA ECO d.o.o., TE-2023-01

Web izvori:

19. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE, Geoterme, 2023.

URL: <https://www.azu.hr/geoterme/> (22.11.2023.)

20. EUROPSKA KOMISIJA: European Green Deal, 2019

URL: <https://commission.europa.eu> (17.11.2023.)

21. HALLIBURTON, Managing Well Casing, 2015.

URL: <https://www.halliburton.com/en/software> (20.11.2023.)

22. INSPIRE CLEAN ENERGY: Types of Renewable Sources of Energy, n.d.

URL: <https://www.inspirecleanenergy.com> (10.11.2023.)

23. MAGAZIN AUTOMANIA, 2017.

URL: <https://automania.hr/> (28.01.2024.)

24. SCHLUMBERGER: Geothermal wellhead systems, 2020.

URL: <https://www.slb.com/> (28.01.2024.)

25. UNITED STATES PROTECTION ENVIRONMENTAL AGENCY: Geothermal plant, 2017.

URL: <https://archive.epa.gov> (12.11.2023.)

## **IZJAVA**

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na  
Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.*

*Ivan Velic'*

Ime Prezime



KLASA: 602-01/24-01/37  
URBROJ: 251-70-12-24-2  
U Zagrebu, 19.02.2024.

Ivan Velić, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/37, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 16.02.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### SPECIFIČNOSTI PROJEKTIRANJA I OPREMANJA GEOTERMALNIH BUŠOTINA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora dr. sc. Damir Zdravec.

Mentor:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Karolina  
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

(potpis)

dr. sc. Damir Zdravec

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)