

# Analiza geotermalnog potencijala podinskih vodonosnika naftnoplinskog polja Gola

---

Nuić, Ana

Undergraduate thesis / Završni 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:169:251636>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**ANALIZA GEOTERMALNOG POTENCIJALA PODINSKIH VODONOSNIKA  
NAFTNO-PLINSKOG POLJA GOLA**

Završni rad

Ana Nuić

N4522

Zagreb, 2024.

ANALIZA GEOTERMALNOG POTENCIJALA PODINSKIH VODONOSNIKA NAFTNO-PLINSKOG  
POLJA GOLA

Ana Nuić

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

Sažetak

U Hrvatskoj postoji duga povijest eksploatacije ugljikovodika, ali posljednjih desetljeća bilježi pad proizvodnje, smanjenje rezervi i sve više napuštenih bušotina koje bi mogle biti pogodne za revitalizaciju. Panonski bazen ima relativno visok geotermalni potencijal, a kako se većina bušotina nalazi u tom području izrazito je zanimljivo za prikup podataka o mogućnostima prenamjene postojećih naftno-plinskih bušotina u geotermalne kad prestanu s proizvodnjom. Polje Gola je uzeto u razmatranje s ciljem prikupljanja što više petrofizikalnih svojstva ležišta i kako bi se odredila mogućnost njezine prenamjene u svrhu geotermalne energije.

Ključne riječi: geotermalna energija, revitalizacija, razrada ležišta

Završni rad sadrži: 28 stranica, 5 tablica, 10 slika, 8 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Prof. dr. sc. Tomislav Kurevija, RGNf

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Tomislav Kurevija, RGNf  
Doc. dr. sc. Marija Macenić, RGNf  
Izv. prof. dr. sc. Luka Perković, RGNf

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REGIONALNA PODJELA PANONSKOG BAZENA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Geotermalni potencijal .....</b>	<b>6</b>
<b>3. PREGLED RAZMATRANIH BUŠOTINA PODRUČJA GOLA.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Gotalovo-1.....</b>	<b>8</b>
3.1.1. DST ispitivanje bušotine Gotalovo-1.....	11
<b>3.2. Gola-3.....</b>	<b>12</b>
3.2.1. DST ispitivanje bušotine Gola-3 .....	14
<b>3.3. Gola-4.....</b>	<b>15</b>
3.3.1. DST ispitivanje bušotine Gola-4 .....	17
<b>3.4. Gola-5.....</b>	<b>18</b>
3.4.1. DST ispitivanje bušotine Gola-5 .....	20
<b>4. ODREĐIVANJE GEOTERMALNOG POTENCIJALA IZ VODONOSNIKA NAFTNO – PLINSKOG POLJA .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Određivanje radnih uvjeta – studija slučaja na bušotini Gotalovo-1.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Mikrolokacija Gotalovo.....</b>	<b>21</b>
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>27</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>28</b>

## POPIS SLIKA

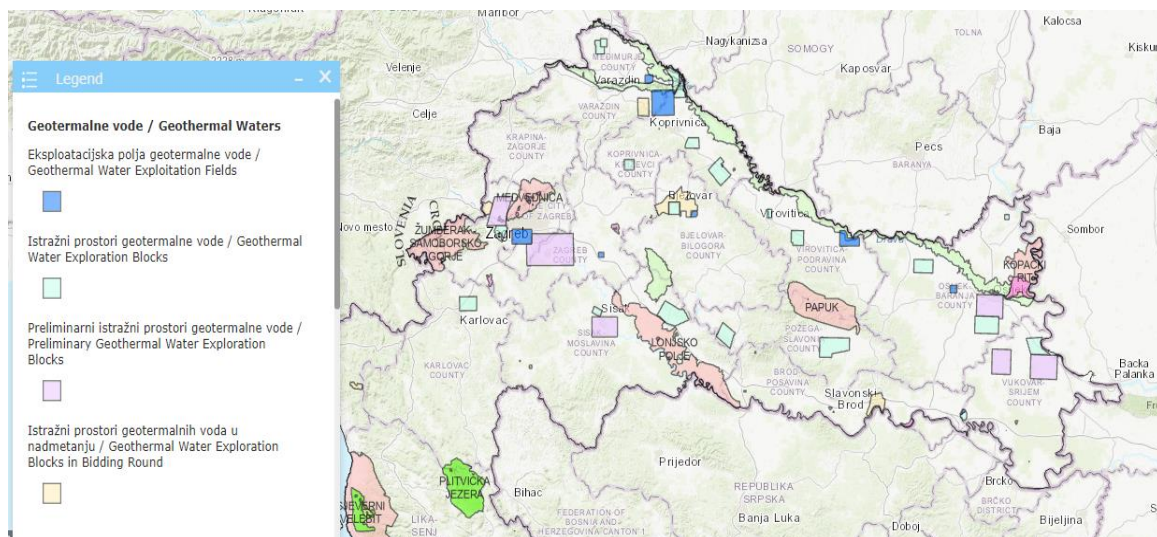
Slika 1-1. Pregled aktivnih ugovora o istraživanju i podjeli eksploatacije ugljikovodika ....	2
Slika 2-1. Shematski prikaz litološkog sastava i korelacije jedinice između hrvatskog i mađarskog dijela Dravske depresije .....	5
Slika 2-2. Prikaz geotermalnog potencijala Dravske depresije, prilagođena .....	6
Slika 3-1. Položaj bušotina na eksploatacijskom polju Gola .....	7
Slika 3-2. Pregled litologije bušotine Gotalovo-1 .....	10
Slika 3-3. Pregled litologije bušotine Gola-3 .....	13
Slika 3-4. Pregled litologije bušotine Gola-4 .....	16
Slika 3-5. Pregled litologije bušotine Gola-5 .....	19
Slika 4-1. Rezultati protočnog modela za novu proizvodnu geotermalnu bušotinu Gotalovo .....	25
Slika 4-2. Rezultati protočnog modela za novu utisnu geotermalnu bušotinu Gotalovo .....	26

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3-1. Prikaz razmatranih bušotina po dubinama.....	7
Tablica 3-2. Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gotalovo-1 .....	9
Tablica 3-3. Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-3 .....	12
Tablica 3-4. Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-4.....	15
Tablica 3-5. Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-5.....	18

## 1. UVOD

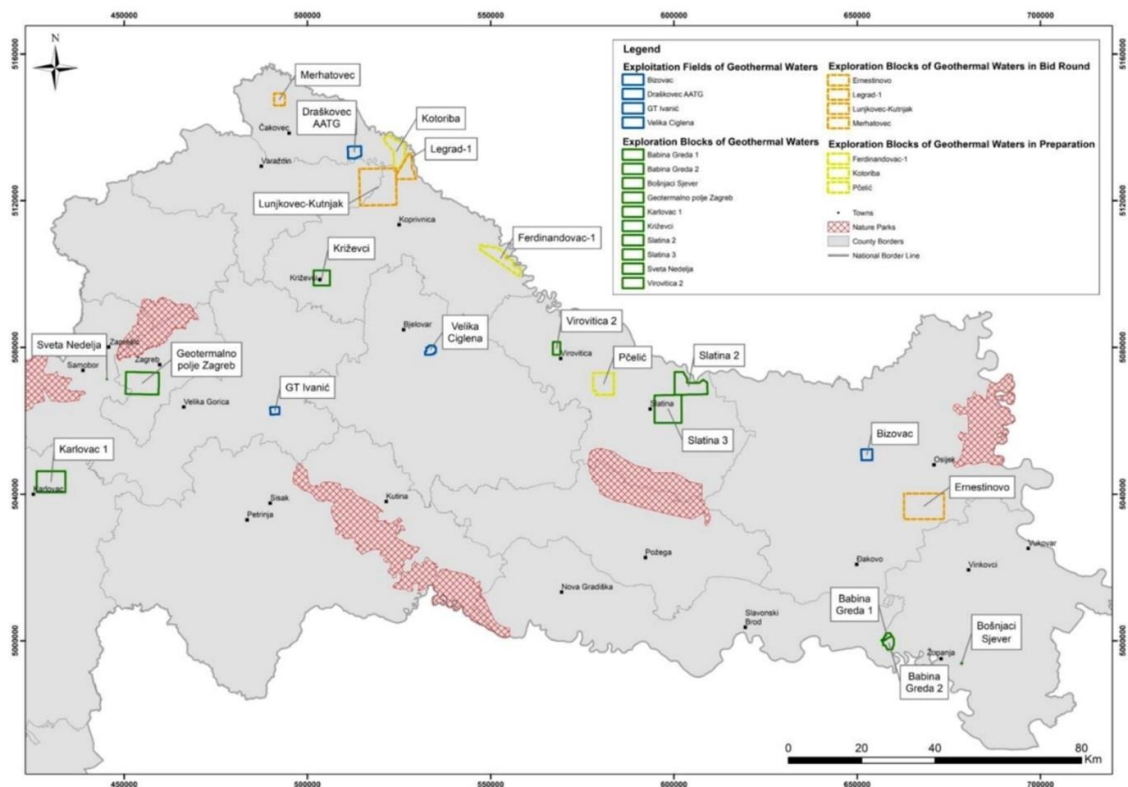
Proizvodnja nafte i plina u Hrvatskoj ima značajnu ulogu u energetske sektoru. Posljednjih desetak godina bilježi se pad proizvodnje nafte i plina, eksploatacijska polja stare, a rezerve se smanjuju. Trenutno u Hrvatskoj postoji 56 eksploatacijski polja od kojih su najveća naftna polja Stružec, Beničanci, Šandrovac, a od plinskih polja Molve, Okoli, Stari Gradac. Kroz prošlost u Hrvatskoj je izbušeno oko 4000 buština koje se uglavnom nalaze u Panonskom bazenu. U prilog istraživanju Panonskog bazena ide činjenica da je geotermalni gradijent  $0,049\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ , što je za otprilike 60% viši od europskog prosjeka čija je srednja vrijednost  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ . Za provedbu geotermalnih projekata u Hrvatskoj zadužena je Agencija za ugljikovodike (AZU). AZU je cilj omogućiti Hrvatskoj energetske stabilnost i iskoristiti potencijal, obavlja poslove prikupljanja, obrade i zbrinjavanja podataka dobivenih prilikom istraživanja i eksploatacije u Hrvatskoj. Prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika koncesija se dodjeljuje putem natječaja, kojeg raspisuje Agencija, a u proteklom razdoblju provedena su dva nadmetanja za izdavanje dozvola za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika na području Dinarida i Panonskog bazena te je sudjelovala u odabiru najpovoljnijeg ponuditelja za dodjelu dozvola za istraživanje geotermalnih voda u Panonskoj Hrvatskoj te i dalje analizira i prikuplja podatke o geotermalnom potencijalu Hrvatske. Definirano je s pet ugovora za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika (četiri sa podružnicom kanadske kompanije Vermilion Zagreb Exploration d.o.o. i jedan s INA – Industrijom nafte d.d.) šest istražnih područja koja se protežu uz istočnu Slavoniju, Savu i Dravu, a 2019. godine je potpisan ugovor s kompanijom INA – Industrija nafte d.d. za istraživanje i eksploataciju Dinarida, tj. prostor na području Ličko-senjske, Zadarske, Karlovačke, Splitsko-dalmatinske županije (AZU, n.d.). Pregled aktivnih ugovora o istraživanju i podjeli eksploatacije ugljikovodika prikazan je Slici 1-1.



**Slika 1-1.** Prikaz eksploatacijskih i istražnih polja geotermalne vode i ugljikovodika (AZU, n.d.)

AZU je dao koncesije za istraživanje geotermalnih polja: Virovitica-2, Slatina-2, Slatina-3, Babina Greda-1, Babina Greda-2, Karlovac-1 i Križevci, a raspisan je i natječaj za istraživačke koncesija za polja Merhatovec, Legrad-1, Kutnjak – Lunjkovec i Ernestinovo, prikazani na Slici 1-2. Većina aktualnih polja su podjeljena na natječajima, ali bitno je naglasiti da sve buštine koje su trenutno eksploatacijske u budućnosti imaju potencijal za prenamjenu i iskorištavanje u geotermalne svrhe.





**Slika 1-2.** Prikaz istražnih i eksploatacijskih polja geotermalne vode u Republici Hrvatskoj (Tuschl, et al 2020)

Glavni cilj ovog završnog rada je preispitati četiri postojeće naftno-plinske bušotine Gotalovo-1, Gola-3, Gola-4 i Gola-5 mogu li se prenamijeniti u geotermalne bušotine kada prestanu s proizvodnjom. Bušotine su zanimljive za analizu i prikup podataka jer su na području Dravske depresije koje karakterizira relativno visok geotermalni potencijal 0,045-0,065 °C/m, na velikoj dubini cca 3000 m s velikim nadtlakom.

## 2. REGIONALNA PODJELA PANONSKOG BAZENA

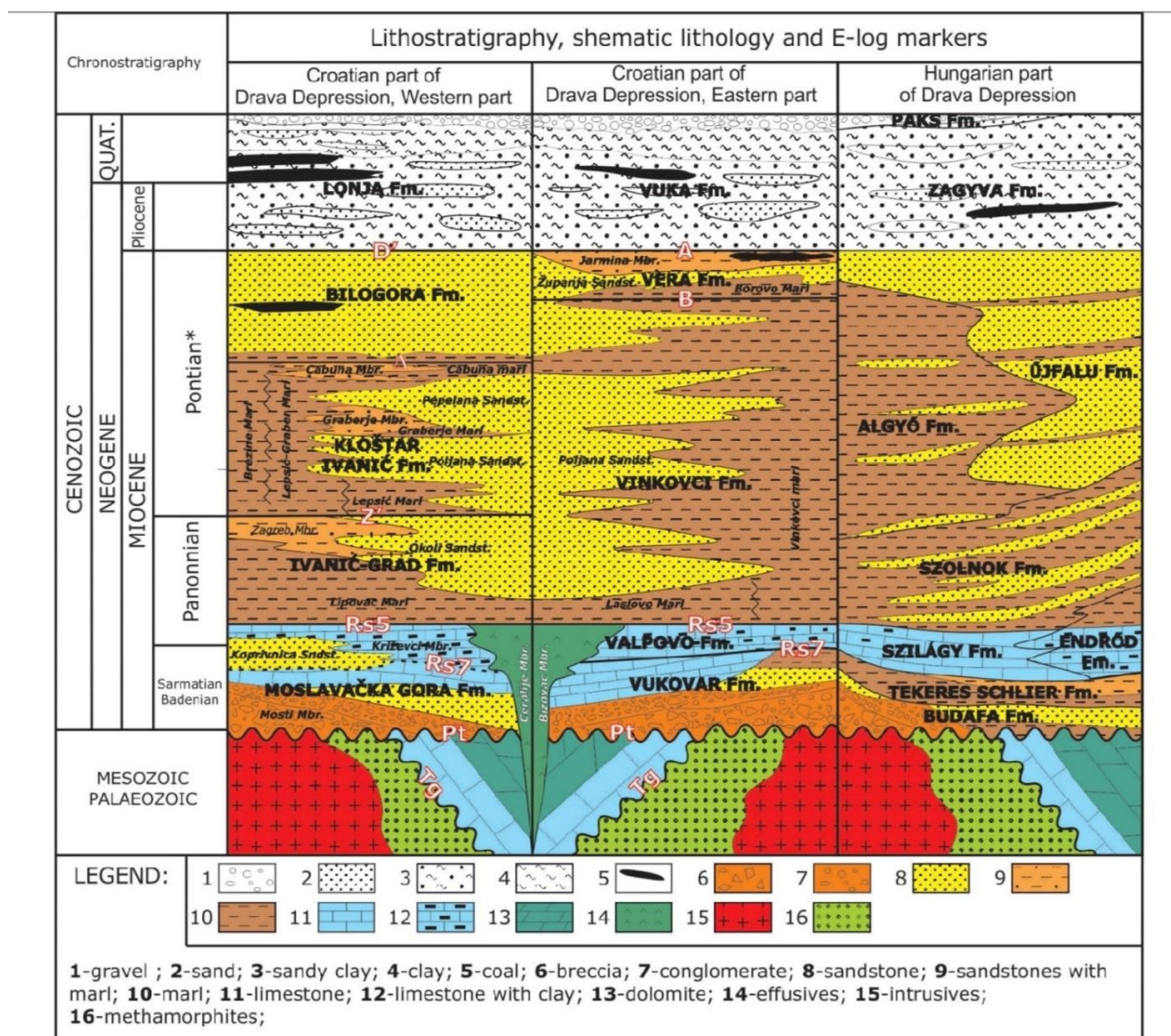
Počeci formiranja Panonskog bazena datiraju iz paleogenog do srednjeg miocena, razdoblje iznimne tektonske aktivnosti uključujući subdukciju, rastezanje Zemljine kore i stvaranje pukotina i rasjeda. Subdukcija Zemljine kore je proces u kojem jedna tektonska ploča klizi ispod druge što može rezultirati rastezanjem kore i formiranjem depresija. Panonski bazen leži na litosfernim mikropločama Tisiji (Europska ploča) i Adriji (Afrička ploča). Procesi rastezanja kore uzrokovali su postupno stvaranje pukotina u Zemljinoj kori na području sadašnjeg Panonskog bazena što je rezultiralo formiranjem dubokih depresija i nizina. Tijekom oligocena i miocena u Panonskom bazenu je bio intenzivan proces sedimentacije, tj. velike količine sedimenta prenijete su putem rijeka i tokova koji se taložio na dnu bazena, ti sedimenti uključivali su različite sedimente koji su se s vremenom pretvorili u stijene. Erozija je oblikovala površinu Panonskog bazena, dok su se sedimenti nastavili taložiti. Tektonski ovo područje karakteriziraju magmatsko-metamorfni sedimenti, manjim dijelom sedimenti paleozojske i mezozojske starosti te sedimentni pokrov (bazenska ispuna) kojeg čine stijene kenozojske starosti (pretežno neogena) i kvartara (Malvić i Velić, 2007). Panonski bazen se može podijeliti na četiri depresije: Mursku, Savsku i Dravsku depresiju i Slavonsko-srijemsku.

Murska depresija nalazi se na sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske, smještena je između Alpa na zapadu i Dinadira na jugu te planinskog lanca Karpata na sjeveroistoku, a obuhvaća uz Hrvatsku dijelove Slovenije, Mađarske, Austrije i Slovačke, uključujući riječnu dolinu rijeke Mure. Savska depresija proteže se duž donjeg toka rijeke Save, obuhvaća dijelove Hrvatske, Srbije, Bosne i Hercegovine, Slovenije te manje dijelove Austrije i Mađarske. Reljef Savske depresije karakteriziraju široke riječne doline s niskim brdskim planinskim područjima duž rubova. Slavonsko-srijemska depresija geografska je regija smještena u istočnom dijelu Hrvatske, obuhvaćajući Slavoniju i dio Srijema.

Dravska depresija proteže se duž rijeke Drave a obuhvaća dijelove Hrvatske, Slovenije, Austrije i Mađarske, obuhvaća područje oko 12000 km<sup>2</sup> od kojih otprilike 9000 km<sup>2</sup> pripada Hrvatskoj dok ukupna dubina može doseći i do 7000 metara u središnjem dijelu depresije. Veći dio depresije čine sedimenti srednjeg i gornjeg miocena i pliocena te sedimenti i naslage pleistocena i holocena. Podloga Dravske depresije se sastoji od stijena različitih litoloških skupina: karbonata, magmatita i metamorfita. Magmafske i metamorfne stijene u hrvatskom dijelu nazivaju se "temeljno gorje" što znači podloga, a to su uglavnom granit. Između

magmatskih i metamornih stijena nalazi se ispunjena, tj. "podloga tercijsara", uglavnom vapnenci i dolomiti. U razdoblju miocena naslage su se taložile na paleozojske ili mezozojske naslage, a dešavala se morska transgresija, debljine sedimenta dosezale su nekoliko stotina metara. Badenske naslage su uglavnom breče, konglomerati do srednjeznastih pješčenjaka. Donji miocen karakteriziraju vapnenci i gline, a u tom razdoblju vidljiva su i sitnija područja zastupljena pješčenjacima.

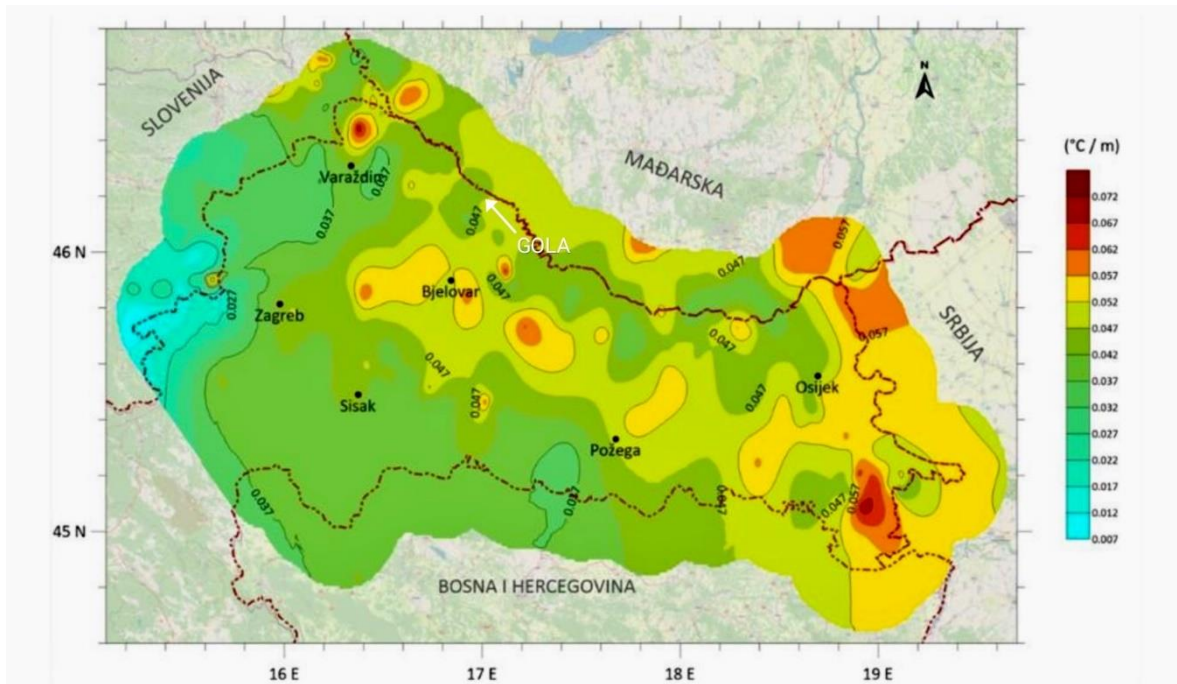
U istočnom dijelu Dravske depresije vidljivo je na Slici 2-1. granica s prekenozojskim podzemljem razdvaja Valprovsku formaciju od mlađe, gornjeg panona opisana je brečama i konglomeratima, a u gornjem dijelu sadrži pješčenjake i vapnence. Period gornjeg miocena opisan je kalcitnom glinom, glinastim vapnencom, muljevitom glinom itd. U pontijskom stadiju su vidljive izmjene pješčenjaka i glinovitog mulja. U periodu pliocena i kvartara su se strukture podignule i stvorile antiklinalne hidrokarbonske zamke, pretežno ispunjeni glinom s pješčenim interkalacijama. Vrh se sastoji od lesa, gline, šljunka i pijeska.



Slika 2-1. Shematski prikaz litoškog sastava i korelacije jedinice između hrvatskog i mađarskog dijela Dravske depresije (Malvić et al, 2013)

## 2.1. Geotermalni potencijal

Na temelju ove karte (Slika 2-2.) vidljivo je kako je prosječni geotermalni potencijal razmatranog područja između  $0,045^{\circ}\text{C/m}$  i  $0,053^{\circ}\text{C/m}$  što ukazuje na povišene vrijednosti u odnosu na prosječni geotermalni potencijal koji iznosi  $0,03^{\circ}\text{C/m}$  te ukazuje na mogućnost iskorištavanja geotermalnih resursa.



Slika 2-2. Geotermalna karta Hrvatske, prilagođena ( Macenić, et al 2020)

### 3. PREGLED RAZMATRANIH BUŠOTINA PODRUČJA GOLA

Za analizu završnog rada uzete su četiri naftno-plinske bušotine: Gotalovo-1, Gola-3, Gola-4 i Gola 5. U Tablici 3-1. su prikazane dubine bušotina, a na Slici 3-1. prikazane su sve bušotine na eksploatacijskom polju Gola s time da su odabrane bušotine zaokružene crvenom bojom.

**Tablica 3-1.** Prikaz razmatranih bušotina po dubinama

Bušotina	Dubina (m)
Gt-1	4318
Go-3	2875,8
Go-4	3554
Go-5	3046



**Slika 3-1.** Položaj bušotina na eksploatacijskom polju Gola (Google Earth, vlastita grafika n.d.)

### 3.1. Gotalovo-1

Bušotina Gotalovo-1 izbušena je 1984. godine. Litostratigrafske jedinice bušotine prikazane su u Tablici 3-2. i na Slici 3-2. Sloj koji je uzet za analizu je iz naslaga Podloge tercijara, u intervalu od 3660 – 4005 m. Prividna debljina Podloge tercijara iznosi 777 m, a litološki se sastoji od nekoliko intervala.

Prvi interval, 3410 - 3545 m čine vapnenci , a unutar sivih do tamnosivih vapnenaca utvrđene su krhotine šejla i zrna kvarca. Interval 3545 - 3853 m sastoji se od šejlova s proslojcima sitnozrnatog pješčenjaka. Od 3583 - 3660 m dolazi do litološke promjene te se radi o pjeskovitoj, konglomeratnoj pelitnoj stijeni.

Nadalje, od 3660 - 4055 m nalazi se serija dolomita i dolomitičnog vapnenca, a u donjem dijelu dolomitne serije postoje dva intervala proslojka vapnenaca 3995- 4005 m i 4010 - 4020 m. Ispitani dolomit pokazuje relativno dobru propusnost  $k = 6,172 \cdot 10^3 \text{ m}^2$  , slojnu temperaturu od  $T = 190 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $gt = 4,4^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ),  $p_{ext} = 512 \text{ bar}$  ( $gp = 1,27 \text{ bar}/10 \text{ m}$ ). Dolomitna serija proteže se sve do 4050 m kada se pojavljuju tragovi tinjaca, obojeni kvarc i pješčenjaci. Ovi dolomiti su se pokazali kao nepropusni,  $p_{ext} = 516,6 \text{ bar}$ . Na dubini od 4150 m nabušen je sivozeleni efuziv čime završava serija sedimenata Podloge tercijara i nabušeni su sedimenti Temeljnog Gorja, škriljci.

Rezultati za interval 4183,50 – 4196 m pokazali su da se radi o nepropusnim stijenama sa slabom slojnom energijom ( $p_{st} = 348,7 \text{ bar}$ ) uz slojnu temperaturu od  $193 \text{ }^\circ\text{C}$  na 4194 m.

Konačne koordinate:

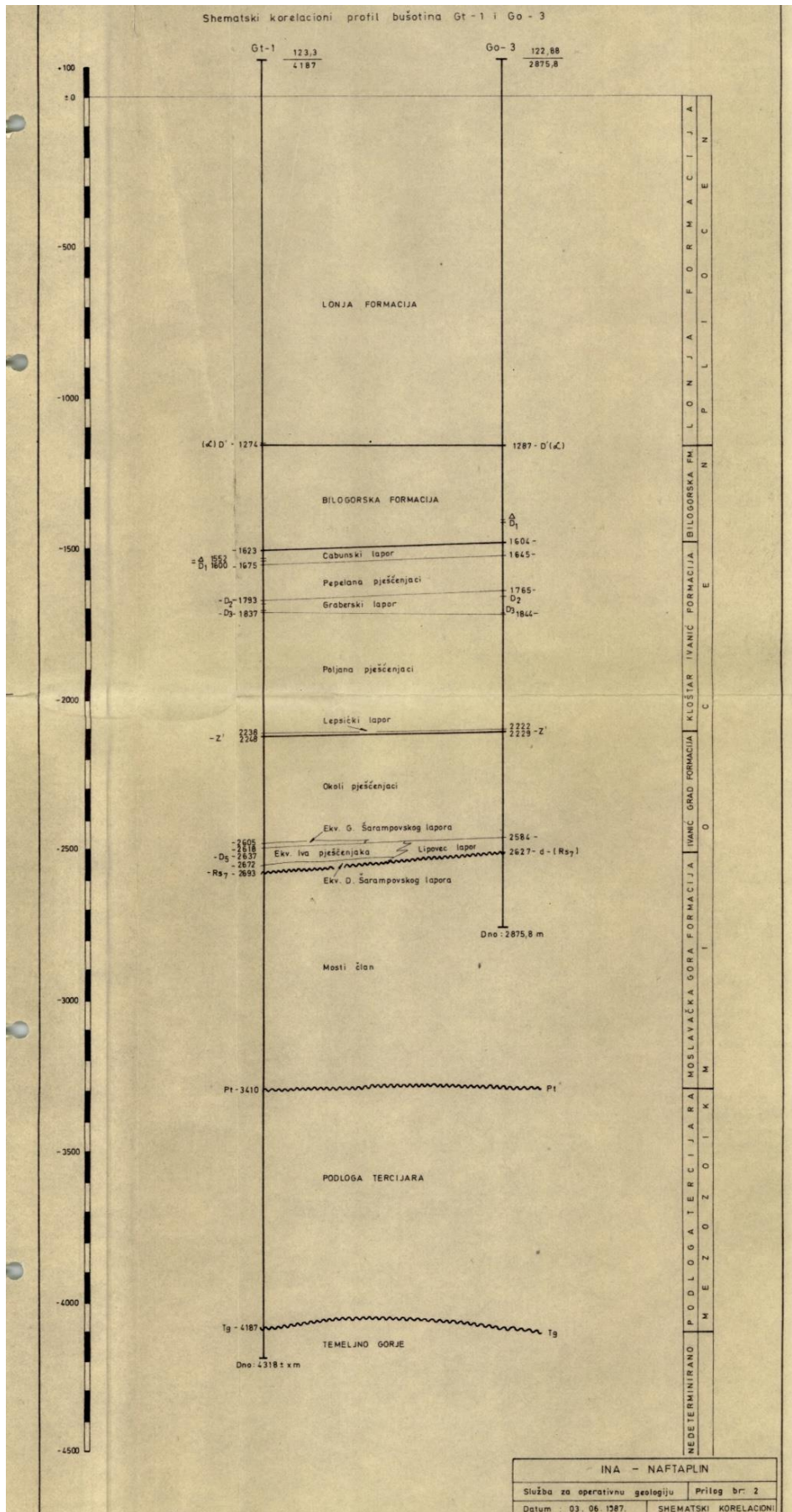
Y = 6 422 750

X = 5 118 025

H = 123 m

**Tablica 3-2.** Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gotalovo-1 (INA d.d., n.d.)

<b>Litostratigrafske jedinice</b>	<b>Dubina (m)</b>
Lonja formacija sitnozrnati šljunak, pjeskovita mekana i plastična glina	0-1274
Bilogorska formacija: glinoviti lapor s proslojcima kvarc tinjčastog pješčenjaka slabo do srednje vezan	1274 - 1623
Kloštar Ivanić formacija: sitnozrnati pješčenjak, glinoviti lapori,	1623 - 2248
Ivanić grad formacija: pješčenjaci i lapori	2248 - 2693
Moslavačka gora formacija (izdvojen Mosti član): krovina sitnozrnati pješčenjaci i lapori, polimiktni brečokonglomerat (kvarc, krhotine karbonata, tufa), polimiktni brečokonglomerat (silt i litični grauvak), vapnenac, dolomit, granit-gnajsne stijene	2693 - 3410
<b>Podloga tercijara:</b> vapnenci (šejl, kvarc), pješčenjaci, dolomiti i dolomitni vapnenci (3660 - 4005 m), tragovi tinjaca, 4150 m efuziv	3410 - 4187
Temeljno Gorje: škriljavci	4187 - 4218



Slika 3-2. Pregled litologije bušotine Gotalovo-1 (INA d.d., n.d.)



### 3.1.1. DST ispitivanje bušotine Gotalovo-1

Prvi DST izveden je u intervalu od 3007,80 - 3028 m (20,2 m) i tehnički nije uspio, došlo je do komunikacije isplake iza pakera, te je operacija prekinuta.

Drugi DST izveden je na intervalu 3134 - 3162 m (28 m) u raspucanim vapnenim brečama podloge tercijara, ugrađena je tehnička kolona promjera 244,5 mm na 3134 m, *dual* ventil na 3097 m, paker na dubini 3104 m promjera 244,5 mm tip RTTS. Prosječna efektivna propusnost iznosila je  $k = 0,129 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , izmjerena slojna temperatura iznosila je  $165,6^\circ\text{C}$  ( $G_t = 4,95^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ),  $p_{\text{ext}} = 419 \text{ bar}$ ,  $gP = 1,35 \text{ bar}/10 \text{ m}$ , salinitet  $0,0175 \text{ g/l NaCl}$ . Iz dobivenih podataka zaključeno je da se radi o plinskom ležištu.

Treći DST izveden je RTTS 80 D pakerom na dubini od 3102 m i promjera 244,5 mm, *dual* ventil ugrađen je na dubini od 3063 m, izveden na intervalu od 3134 - 3164 m (30 m), testiranjem je obuhvaćen i otvoreni dio kanala budući da se peta kolona nalazi na dubini od 3134 m. Izmjerena temperatura na dubini 3131 m iznosi  $161^\circ\text{C}$  ( $g_t = 4,80^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ),  $p_{\text{ext}} = 509 \text{ bar}$  ( $g_p = 1,63 \text{ bar}/10 \text{ m}$ ). Prema Hornerovoj metodi propusna sposobnost iznosi  $k_{\text{he}} = 0,83 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , prosječni efektivni permeabilitet  $k = 0,104 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , salinitet  $0,0584 \text{ g NaCl/l}$ .

Četvrti DST je izveden na intervalu od 3200,40-3214 m (13,60 m), paker je popustio nakon cca 3 minute, ponovljeno je testiranje petim DST-om. Paker je ugrađen na dubini 3191,8 m i na 3194 m, promjera 196,9 mm, *dual* ventil na 3185 m. Temperatura je iznosila  $160^\circ\text{C}$  na dubini od 3212 m ( $g_t = 4,9^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ), rezultati testiranja govore da se radi o kolektoru vrlo slabe propusnosti.

Šesti DST je izveden na intervalu od 3215,61 - 3240 m (24,39 m), iz rezultata proizlazi da se radi o slabo propusnom i oštećenom kolektoru, nije registriran nikakv dotok u bušaće šipke i nema potvrde slojnog fluida,  $p_{\text{ext}} = 545,22 \text{ bar}$ , paker je ugrađen na dubini 3213,31 m i 3215,61 m promjera 196,9 mm, *dual* ventil na 3206,11 m.

Sedmi DST izveden je liner kolonom promjera 177,8 mm ugrađenom do 4026 m, otvoreni kanal bušotine iznosio je 6 m od 4026-4032 m. Promjer tipa RTTS 80 D ugrađen je na dubini od 3984 m promjera 146,1 mm. Prema Horneru proizlazi propusnost od  $k = 6,172 \cdot 10^{-3}$ ,  $p_{\text{ext}} = 511,96 \text{ bar}$ , salinitet  $32,726 \text{ g/dm}^3 \text{ NaCl}$ .

Osmi DST test izveden je u otvorenom kanalu bušotine, liner, promjer 177,8 mm ugrađena do 4026 m, detektirana je kolektorska stijena pješčenjak. Temperatura je mjerena s dva maksimalna živina termometra koji su postavljeni na dubinu od 4063 m, na prvom termometru sa termoelementom od 200 - 500 °F temperatura je iznosila  $410^\circ\text{F} = 187^\circ\text{C}$ , tj. nisu zadovoljili u ovim uvjerima mjerenja. Rezultati iz dobivenih intervala iniciraju da je

testirani interval praktički nepropusan. Ugrađen je paker na dubini od 4054,05 m i 4057,13 m promjera 139,7 mm, a dual ventil na 4044,45 m.

Zadnji DST izveden je u otvorenom kanalu bušotine promjera 152,4 mm u intervalu 4183,50 - 4196 m (12,50 m), ugrađen je paker na dubini od 4181,1 m i 4183,50 m promjera 139,7 mm, dual ventil na 4173,98 m. testiranjem nije ostvaren nikakav dotok. Testiranja upućuju na dva sloja s različitom propusnosti i da je testirani interval zeleni škriljavac vrlo slabo propustan.

### 3.2. Gola-3

Bušotina Gola-3 izbušena je godine i nije u potpunosti ispunila zadatak jer nije nabušila podlogu tercijsara. Prikaz litostratigrafskih jedinica bušotine prikazan je u Tablici 3-3. i na Slici 3-3. Bušenje je obustavljeno u Moslavačka Gora formaciji na dubini 2875,8 m. Bušotinom je utvrđen plin u Poljana i Okoli pješčenjacima te prisutnost nafte u litotamnijском vapnencu Mosti član. Slab dotok indicira loša fizikalna svojstva ispitivanih intervala

Konačne koordinate:

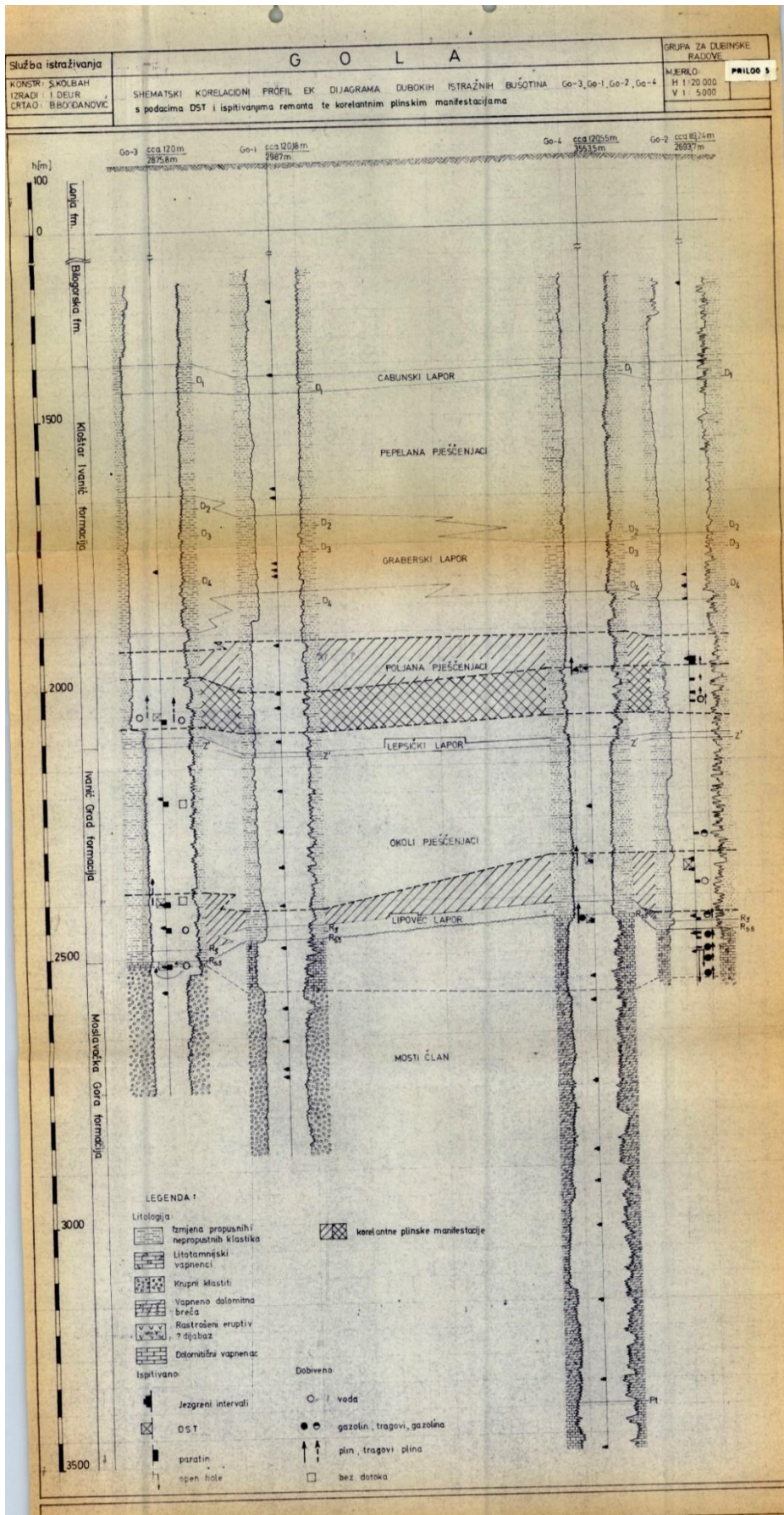
Y = 6 423 300

X = 5 118 800

H = cca 120 m

**Tablica 3-3.** Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-3 (INA d.d., n.d.)

Litostratigrafske jedinice	Dubina (m)
Lonja formacija: laporovita glina	0 - 1051
Bilogorska formacija: pjeskovite laporovite gline, porast dubine u glinoviti lapor, slabija zastupljenost tanji proslojci sitnozrnatog pješčenjaka	1051 - 1520
Kloštar Ivanić formacija: glinoviti lapori, sitnozrnati pješčenjaci	1520 - 2229
Ivanić Grad formacija (izdvojen Mosti član): pješčenjaci i slabo glinoviti lapori	2229 – 2627
Moslavačka Gora formacija: na krovini lapor, vapnenac	2627 – 2875,8



Slika 3-3. Pregled litologije bušotine Gola-3 (INA d.d., n.d.)

### 3.2.1. DST ispitivanje bušotine Gola-3

Prvo ispitivanje DST-om u otvorenom kanalu bušotine izvedeno je na intervalu od 2168,8 - 2176 m. U litološkom pregledu testirani intervali građeni su od slavo do srednje vezanog pješčenjaka, a unutar pješčanog sloja istaloženi su tanji slojevi pjeskovitog lapora. Analize pješčenjaka rezultirale su porozitetom od 16 - 20% i propusnosti od 1,4 - 21,8 mD i testiranjem je ispunjen zadatak jer se može sa sigurnošću utvrditi da je ispitivani ima loša kolektorska svojstva, gotovo nepropusan za tekućine. Porni prostor ispunjen je vodom malog saliniteta od 4,68 g/l NaCl. Ugrađen je paker na dubini 2168,8 m i 2166,6 m, zadnja ugrađena kolona do 345,3 m promjera 0,340 m. Dubina ugradnje manometra donjeg je 2175 m, a gornjeg 2162 m, završni statički pritisak (FCIP) na donjem manometru iznosi 174,9 atp, a na gornjem 186,36 atp. Završni hidrostatski pritisak na donjem manometru iznosi 270,5 atp, a na gornjem manometru 269,83 atp.

Drugo testiranje izvedeno je u otvorenom kanalu bušotine na intervalu 2510 - 2522,4 m. Ugrađena su dva pakera na dubini 2510,1 m i 2507,41 m, dual ventil, HT-500 i kolona cijevi do 2195,3 m promjera 0,219 m. Ugrađeni su manometri a dubini od 2521,4 m i 2504,22 m. Prema litologiji pripada podinskom dijelu Okoli pješčenjaka, kolektorsku stijenu čine sitnozrnasti do srednje i čvrsto vezani tinjčasti pješčenjaci. Prema analizama dobiveni su rezultati poroziteta od 6,5 - 10%, a propusnost 0 mD. U krovini pješčenjaka istaložen je tamnosivi čvrsti glinoviti lapor. Testiranjem je utvrđeno da pješčenjak nije pozitivan u smislu zasićenja ugljikovodicima, ali je tijekom bušenja zabilježeno 48% relativne koncentracije plina u isplaci, ponovljeno je ispitivanje koje nije uspjelo zbog popuštanja guma pakera. U drugom pokušaju ustanovljeno je mjerenje temperature i dobiven rezultat termometrom od 115 °C.

Zadnje tetiranje je izvedeno u otvorenom kanalu bušotine u intervalu 2628,6 - 2611 m, po litologiji ulazak u Mosti član, nabušavanje litotamnijskih vapnenaca. Zadnja ugrađena kolona zaštitnih cijevi do 2195,3 m promjera 0,244, dva pakera na dubini od 2628,6 m i 2626,2 m. Manometri su ugrađeni na dubini od 2632 i 2622 m. Završni statički pritisak (FCIP) na donjem manometru iznosi 73,6 atp, a na gornjem manometru 64,98 atp. Završni hidrostatski pritisak na donjem manometru iznosi 344,2 atp i 344,59 atp. Izmjerena je temperatura od 121 °C, dubinskim termometrom, salinitet vode iznosi 4,86 g/l NaCl. Rezultati ukazuju na nepropusnu formaciju, bušotina je nakon ispitivanja remonta likvidirana u negativne.

### 3.3. Gola-4

Bušotina Gola-4 izvršila je zadatak, nabušila je Podlogu tercijara i obustavljeno je bušenje na dubini 3554 m. Prikaz litostratigrafskih jedinica bušotine prikazan je u Tablici 3-4 i na Slici 3-4.

Konačne koordinate :

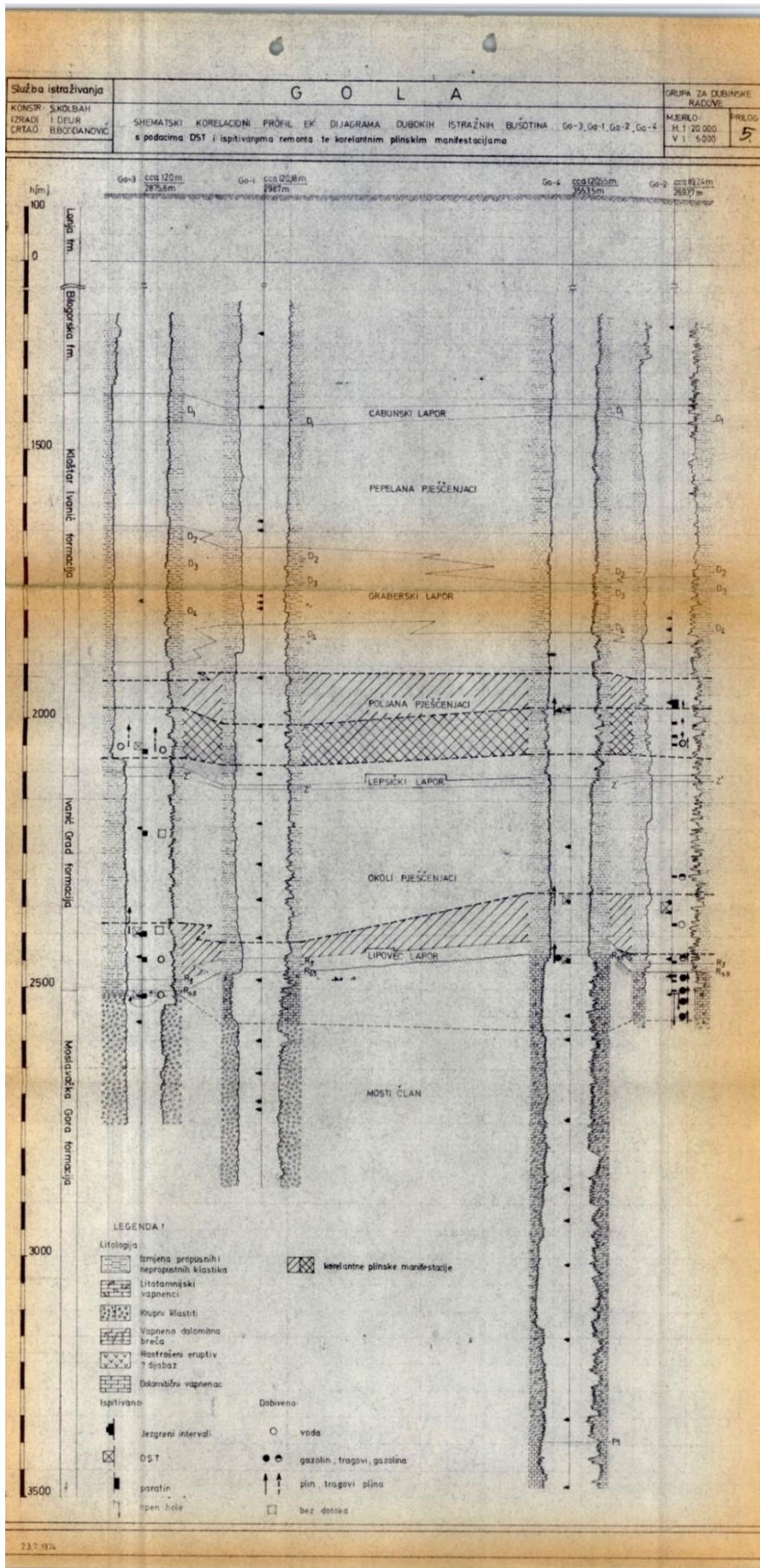
Y = 6 426 745,72

X = 5 116 676,37

H = 120,55 m

**Tablica 3-4.** Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-4 (INA d.d., n.d.)

Litostratigrafska jedinica	Dubina (m)
Lonja formacija: pjeskovita i šljunkovita glina šljunci i glinoviti lapori	0 - 1070
Bilogorska formacija: izmjena pjeskovitih lapora, sitnozrnatih pješčenjaka, glinoviti lapori, slabovezani pješčenjaci	1070 - 1534
Kloštar Ivanić formacija: glinoviti lapori, pješčenjaci,	1534 - 2243
Ivanić Grad formacija: pješčenjaci s intervalima lapora	2243 - 2557
Moslavačka gora formacija (Mosti član): vapnenci, vapneno dolomitne breče s eruptivima	2557 - 3463
Podloga tercijara: dolomitični vapnenci	3464 - 3554



Slika 3-4. Pregled litologije bušotine Gola-4 (INA d.d., n.d.)

### 3.3.1. DST ispitivanje bušotine Gola-4

Izveden je DST u intervalu 2097,70 - 2110 m (12,30 m), ispitani su slojevi pješčenjaka u pjeskovitom laporu. Zadnja ugrađena kolona do 289,50 m promjera 0,440 m, otvorenog kanala, ugrađen paker na 2094,74 m. Uzet je jedan uzorak jezgre i dobiven laboratorijski rezultat propusnosti iznosi 10 mD, a porozitet 18,3%, a propusnost izračunata iz radiusa dreniranja 0,173 mD govori o poboljšanju propusnosti i moguće je objasniti lateralnim promjenama propusnosti. Temperatura 366 K, psl = 3441,24 psi.

Drugi DST izveden je u intervalu 2451,35-2462 m, ispitan je deblji sloj Okoli pješčenjaka. Ugrađena kolona do 2231 m promjera 0,244 m, paker na 2451,35 m i 2449 m. Prema analizi jezgre dobiveni su podaci da je srednji porozitet paralelno slojevitosti 9,53%, a okomito na nju 9,03 %. Temperatura iznosi 117 °C.

Zadnji DST ispitan je u intervalu 2560,45-2569 m i ispitan je najviši dio litotamnijskih vapnenaca, koji pripadaju Mosti član u gornjem dijelu nalaze se proslojci lapora. Otvoreni kanal, kolona cijevi do 2232,5 m promjera 0,244 m, paker na 2560,45 i 2558,13 m. Dubina donjeg manometra iznosi 2568 m i gornjeg 2555,13 m. Dobiveni rezultati za završni hidrostatski pritisak na donjem manometru iznosi 400,5 atp, a na gornjem manometru 405,83 atp. Temperatura dna iznosi cca 120 °C. Dobiven rezultat analize saliniteta 4,58 g/l NaCl u intervalu 2675,5-2574,5 m.

### 3.4. Gola-5

Probušeni su svi potencijalni kolektori ugljikovodika do 3046 m. Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-5 prikazani su u Tablici 3-5. i na Slici 3-5.

Koordinate : Y = 6 428 280

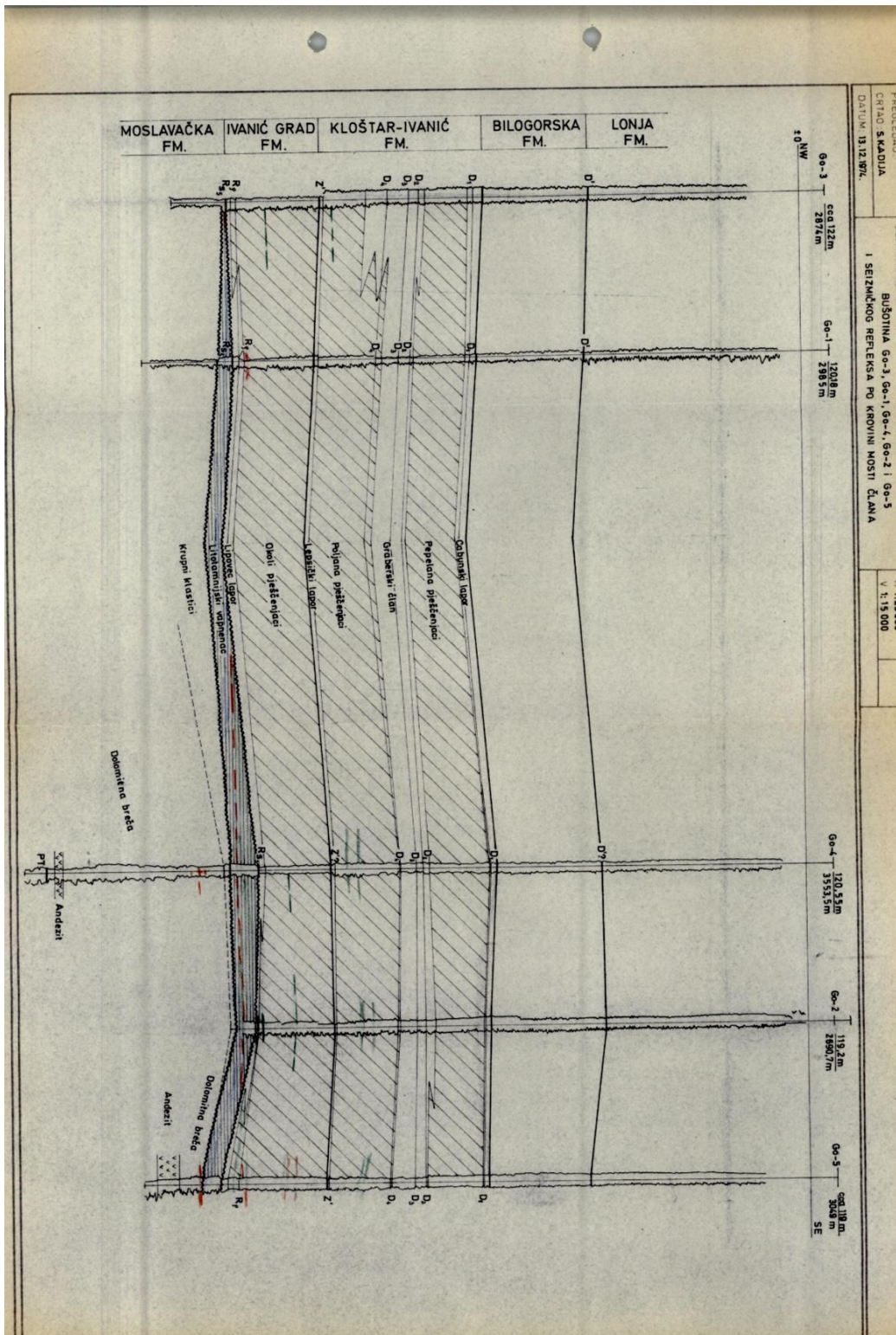
X = 5 116 230

H = cca 119 m

**Tablica 3-5.** Pregled litostratigrafskih jedinica bušotine Gola-5 (INA d.d., n.d.)

Litostratigrafska jedinica	Dubina (m)
Lonja formacija: pjeskovita, šljunkovita glina, šljunci i glinoviti lapori	0 - 1313
Bilogorska formacija: glinoviti lapori, sitnozrnati pješčenjaci, meki lapori	1313 - 1542
Kloštar Ivanić formacija: pješčenjaci, lapori	1542 – 2248
Ivanić Grad formacija: pješčenjaci i lapori naliježe na Mosti član	2248 - 2719
Moslavačka gora formacija (Mosti član): litotamnijski vapnenci, dolomiti, dolomitne breče	2719 - 3046





Slika 3-5. Pregled litologije bušotine Gola-5 (INA d.d., n.d.)

### 3.4.1. DST ispitivanje bušotine Gola-5

Prvo ispitivanje DST-om izvedeno je na intervalu 2543,5 - 2557 m u otvorenom kanalu bušotine. Ugrađena kolona zaštitnih cijevi do 2251 m promjera 0,244 m. Dubina ugradnje pakera iznosi 2543,5 m i 2541 m. Dubina ugradnje donjeg manometra iznosi 2556 m, a gornjeg 2537 m. Dobiveni rezultati hidrostatskog pritiska iznose na donjem manometru 378,2 atp, a na gornjem manometru 377,11 atp. Prosječni porozitet ispitanog kolektora pješčenjaka iznosi 13,23 %. Operacija tehnički nije uspjela zbog popuštenja pakera.

Druga DST operacija izvedena je u otvorenom kanalu u intervalu 2715,5 - 2728 m, testiranjem je zahvaćen najviši dio Mosti člana. Ugrađena je kolona zaštitnih cijevi do 2242 m promjera 0,244 m. Dubina ugradnje pakera iznosi 2715,5 m i 2713,1 m. Ugrađeni su manometri na dubini 2727 m i 2710,1 m, a dobiveni rezultati završnog hidrostatičkog pritiska iznose na donjem manometru 439,12 atp i gornjem 433,58 atp,  $p_{ex} = 421,4$  atp. Testiranjem je dobiveno 2500 dm<sup>3</sup> vode s neznom količinom plina. Salinitet iznosi na intervalu 2715,1 - 2728 m 2,34 g/l NaCl i temperatura  $T_{max} = 133$  °C.

## **4. ODREĐIVANJE GEOTERMALNOG POTENCIJALA IZ VODONOSNIKA NAFTNO – PLINSKOG POLJA**

### **4.1. Određivanje radnih uvjeta – studija slučaja na bušotini Gotalovo-1**

Obzirom na relativnu homogenost dolomitnih razmatranih slojeva kao potencijalnih kolektora za geotermalnu vodu, potrebno je napraviti analizu osjetljivosti proizvodnje fluida i dinamičkih tlakova na dnu bušotine, kako bi se pokušalo odrediti optimalne proizvodne i utisne kapacitete. Iz analize bušotinskih podataka vidljivo je da na mikrolokaciji Gotalovo vladaju uvjeti izuzetno visokog nadtlaka u slojevima koji su dokazano zasićeni vodom i osrednje propusnosti. Ovaj podatak je reprezentativan obzirom na ispitivanja koja su se provodila u istražnoj bušotini Gotalovo-1 (DST-7) u dijelu formacije Mezozoika, odnosno Podloge tercijara. Generalno govoreći, kod nadpritisnutih ležišta geotermalne vode (kao što je slučaj i na obližnjim poljima zapadnog dijela Dravske depresije – regionalni akviferi polja Kalinovac, Molve, Ferdinandovec, Stari Gradac) gradijenti tlaka se mogu kretati od 1,20 bar/10m, pa čak sve do 1,50 bar/10m (kao npr. mikrolokacije Ferdinandovec-Dravka i Leščan s visokim gradijentom tlaka). Kod ovakvih ležišta geotermalne vode (vapnenci i/ili dolomitni) pozitivan efekt je da se mogu očekivati vrlo visoki proizvodni obroci crpljenja u eruptivnom načinu rada, što anulira upotrebu korištenja potopnih proizvodnih pumpi. No, nužno je korištenje utisnih pumpi većih snaga za povrat geotermalnog fluida nazad u ležište, što može tehnoekonomski izuzetno loše djelovati na isplativost projekta obzirom da se značajniji udio proizvedene energije troši na utiskivanje. Kod ovakvih iznimno visokih početnih tlakova sloja, te uz dodatno narinute dinamičke utisne tlakove, na površini dolazi češće do kvara opreme zbog zamora materijala kroz duži niz godina, a u ležištu se može izazvati i lom stijene te je upravo proces utiskivanja ograničavajući faktor korištenja geotermalnih fluida kod ovakvih natpritisnutih ležišta. Ukoliko je debljina visoko propusnih slojeva zadovoljavajuća (sekundarno raspucane stijene dolomita/vapnenaca) moguće je sagledati i opciju korištenja sustava jedne proizvodne i dvije utisne bušotine, ili dvije proizvodne i tri utisne bušotine. No, odabir dodatnih utisnih bušotina prvenstveno ovisi o ekonomici cijene bušenja te novčanog toka pri proizvodnji električne energije i omjera korištenja energije za utiskivanje

### **4.2. Mikrolokacija Gotalovo**

Kod lokacija kao što je Gotalovo (mikrolokacije bušotine Gt-1) gdje vladaju iznimno visoki ležišni tlakovi u propusnim sredinama i to čak od 1,3 bar/10m, može se očekivati značajan eruptivni način rada bušotine, čak i uz vrlo male količine otopljenih plinova u vodi

(CO<sub>2</sub> i CH komponente uz efekt gaslifta). Analizom podataka bušotinskog fonda povezanih s testiranjem proizvodnih kapaciteta, vidljivo je da se tlak na Gt-1 kreće oko 512 bar na 4030 m, sukladno ležišnim parametrima i ispitivanjima koja je INA provodila na bušotini Got-1 kao relevantna za projekt geotermalnog iskorištavanja mikrolokacije. Sukladno tome, bušotina je dokazano radila eruptivno i izveden je DST-7 tijekom 05/1986. radi određivanja ležišnih karakteristika uz dobivenu propusnost od otprilike 6 mD, što je relativno niska propusnost, no uz značajniju debljinu slojeva i visok ležišni tlak može biti perspektivna geotermalna bušotina. Također, odrađeni su proizvodni testovi i testovi porasta tlaka 12/1986. do 05/1987. čime je dokazano zasićenje fluidom i ležišne karakteristike. Ovakva analiza odnosi se na radijus uokolo bušotine od nekoliko stotinjak metara te se ne može smatrati posve relevantnim podatkom za izradu proizvodno-utisnih parametara obzirom na mali dio površinski kvalitetno snimljenih parametara. Za reprezentativnost cijelog protočnog modela bilo bi neophodno imati na raspolaganju višednevni klasični protočni test i test porasta tlaka koji zahvaćaju velike polumjere ležišta uokolo testne bušotine, čime se značajno smanjuje geološki rizik istraživanja i pospješuje uspješnost novih bušotina. Obzirom da na cijeloj lokaciji Gotalovo-Gola ne postoje takvi testovi akvifera, daljnje istraživanje i određivanje protočnih uvjeta podrazumijeva da testirane vrijednosti s Gt-1 vrijede barem u radijusu 3 km uokolo testirane mikrolokacije. Također, potrebno je analizirati seizmičke profile kako bi se uočilo eventualne rasjede u blizini promatrane mikrolokacije i rasprostiranje naslaga dolomita podloge tercijara kako bi se smanjio geološki rizik za protočni model 2P + 2U, obzirom da otvoreni intervali sve četiri bušotine moraju biti udaljeni jedan od drugoga barem 1,5 – 2 km kako bi iskustveno postojala izotermna proizvodnja od barem 20-30 god.

Ovakva situacija visokog tlaka je iznimno česta u sedimentacijskim bazenima sa značajnijim tektonskim djelovanjem gdje je došlo do pojave natpritisnutih slojeva zasićenih fluidom. U ovakvim slučajevima podrazumijeva se korištenje jedino utisnih pumpi visokog radnog kapaciteta dok se proizvodnja odvija eruptivno uz dobivanje značajnijih proizvodnih količina. Osnovni tehnoekonomski kriterij projektiranja proizvodno-utisnih geotermalnih parova bušotina jest dimenzioniranje veličine protoka u funkciji tlaka ušća utisne bušotine, dinamičkog tlaka na dnu utisne bušotine, dinamičkog tlaka na ušću proizvodne bušotine i potrošnje električne energije utisne pumpe.

Naime, u funkciji fizikalnih parametara sloja (poroznost, propusnost, oštećenost sloja), te ležišnih uvjeta (debljina proizvodnog sloja zasićenog vodom, otvorenost i način otvaranja intervala) uvjetuje se odnos proizvodnog obroka crpljenja i dinamičkog tlaka geotermalne

vode, kao i osnovno projektiranje radnih uvjeta *inflow/outflow* analizom ugrađene bušotinske opreme. Na ovaj odnos također utječe i površina protjecanja te hrapavost površine, no u naftnom inženjerstvu najčešće se radi o standardnoj 9 5/8“ II tehničkoj koloni zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm, odnosno unutrašnjeg promjera 219 mm u ovom slučaju. Ukoliko su proizvodni slojevi niske propusnosti i malih debljina potrebno je ostvariti veliku depresiju tlaka na dnu bušotine kako bi se proizvodile značajnije količine geotermalnog fluida. Stoga se uvijek promatra umnožak propusnosti i debljine sloja, odnosno kapacitet sloja.

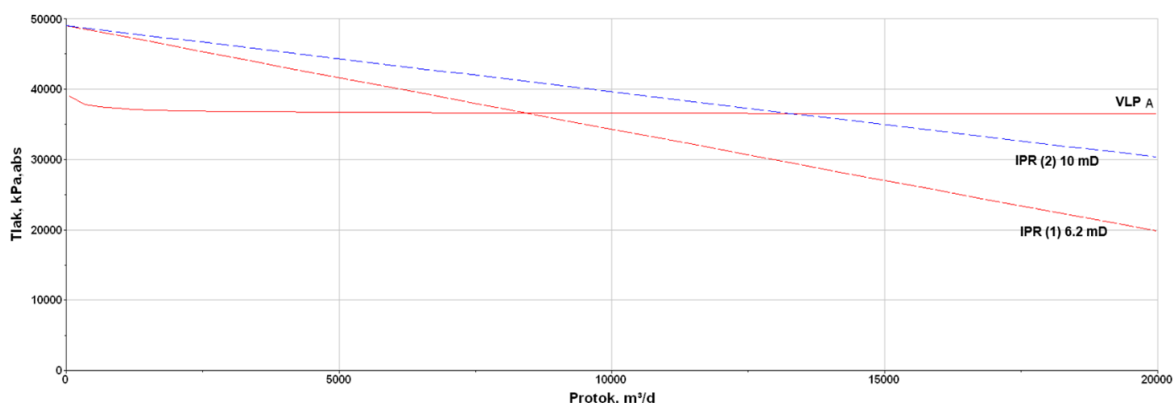
Potrebno je naglasiti da se analiza podataka bušotinskog fonda u procjeni propusnosti slojeva podloge tercijsara koji su *target play* oslanja isključivo na dobro odrađeno DST-7 ispitivanje na Gt-1 i testiranja porastom tlaka, ali nikako se ne može garantirati hidrodinamička povezanost većeg volumena stijene uokolo mikrolokacije Gotalovo/Gola obzirom na rasjedne zone i izraženu tektoniku, pogotovo ne na čitavom radijusu dva proizvodno-utisna para. Navedeno je moguće dokazati jedino testovima interferencije na dvije ili četiri bušotine, ili dugotrajnim proizvodnim testovima i testovima porasta tlaka na istražnoj bušotini kako bi se definirale granice ležišta i rasprostranjenost propusnih dijelova ležišta. Također, tijekom testiranja, pridobivena voda/isplaka u bušaćim šipkama je bila malo zapnjenjena plinom (uobičajeno mješavina većinskog CO<sub>2</sub> i eventualno manjeg dijela ugljikovodika) što donekle olakšava ionako problematično utiskivanje velikih obroka crpljenja u ležište s tako visokim početnim tlakom. Unatoč DST i testovima porasta tlaka i rezultatima o vrlo maloj zapljinjenosti tijekom pridobivanja geotermalne vode na površini moguće je očekivati određeni proizvodni faktor plina te je u svim kalkulacijama dinamičkih tlakova na dnu bušotine uzet minimalni plinski faktor  $GWR = 3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Obzirom na debljinu ciljanog propusnog intervala od 395 m, obavljeno je nekoliko remontnih radova unutar intervala 3660 – 4055 m te su isti testirani uzduž cijele debljine i pridobivena je voda na površini tijekom svakog testiranja što ukazuje na propusnost cijelog intervala. U proračunima dinamičkog tlaka uzeta je analiza osjetljivosti za efektivnu propusnu debljinu svih proslojaka. Proračun je odrađen za dobivenu propusnost preko DST-7 od 6 mD (konzervativna procjena efektivne propusnosti po cijeloj debljini analiziranog sloja dolomita podloge tercijsara) te za slučaj 10 mD kao povoljnijeg slučaja srednje propusnosti po cijeloj debljini intervala.

Proračun je obavljen analizom gradijenata tlaka u bušotini u funkciji tipa fluida, te za u potpunosti razvijeni tranzijentni tip protjecanja uz proizvodnju od 100 dana, te odabranih udjela otopljenog plina i tehničkih parametara bušotine. Detaljno su unošene vrijednosti

prikupljene analizom bušotinskog fonda, od konstrukcije bušotine, do planiranih remontnih radova i petrofizikalnih podataka. Cjelokupna analiza obavljena je na razini čvora (engl. node) na dubini 3660 m (krovina podloge tercijara otvorenog intervala) i težinske dubine ležišta od 3857 m. Interpretacijom rezultata dinamičkih tlakova pri određenoj proizvodnji (uz analizu pada tlaka i temperature strujanjem od dna bušotine do ušća) postavljen je tlak ušća uz pripadajući eruptivni protokna razinu od 40 bar. Što je veći tlak ušća (podešavanje promjera sapnice) smanjuje se i protok, no visoki tlak ušća diktira i smanjenje mogućnosti izdvajanja kamenca (scaling) u bušotini, no smanjuje se i efektivan tlak na utisnoj bušotini (utisna pumpa mora savladati manji gradijent razlike tlaka). Stoga, tehnoekonomski gledano, nije primaran interes raditi s izuzetno visokom eruptivnom proizvodnjom i malim tlakovima ušća, obzirom da će tlak koji mora podići utisna pumpa rasti do granica neisplativosti te će dolaziti do izdvajanja kamenca iz vode (*scaling*).

Za potrebe analize bilo je potrebno odabrati realne tržišno dostupne utisne pumpe kako bi se analiziralo s realnim podacima. Odabran je proizvoljno proizvođač Sulzer, obzirom na širok asortiman utisnih pumpi za korištenje u geotermalnom i naftnom inženjerstvu. Za tehničku analizu i proizvodnju na projektiranim bušotinama odgovara MSD serija aksijalno razdijeljena višestupanjska utisna pumpa, (Sulzer, n.d.). Za predviđene utisne količine i radne tlakove, vrijednosti maksimalnih projektnih snaga na pumpi kreću se od 800-1200 kWe za 300 bar tlak ušća, što je izuzetno visok omjer utrošene i proizvedene električne energije u ORC elektrani.

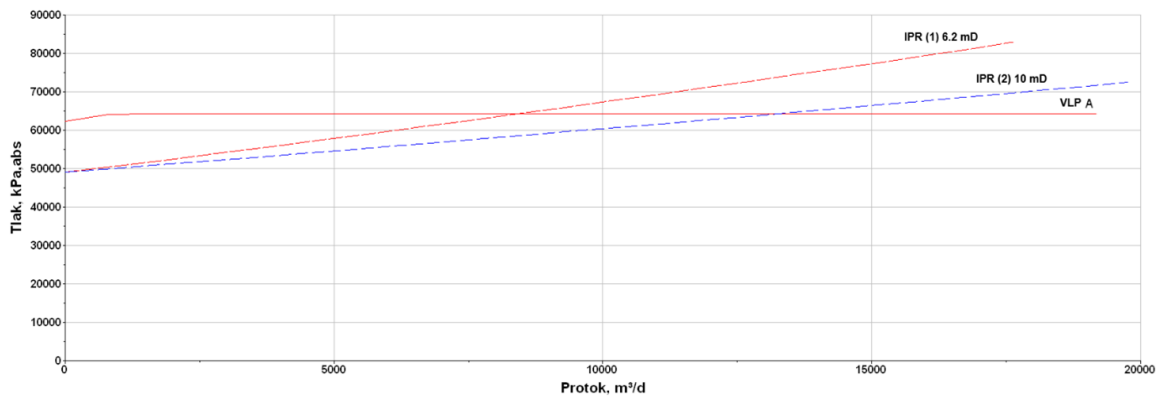
Za lokaciju Gotalovo-1 izvedeni su proračuni dinamičkog tlaka na dubini od 3857 m za težišnu dubinu dolomitnih slojeva podloge tercijara. Početni tlak na toj dubini u analizi iznosi 489 bar, uz temperaturu od 183 °C u ležištu. Analizirana debljina proizvodnih slojeva iznosi 395 m (3660 – 4055 m) uz opremanje perforacijama ugrađene kolone 9 5/8“ kolonu po cijeloj dubini do ušća bušotine ili open hole od krovine do podine intervala. Udio plina iznosi 3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (pretežno CO<sub>2</sub>), a za vertikalnu korekciju dvofaznog protoka korištena je korelacija MONA modified (1986.). Ležišna IPR krivulja izračunata je temeljem pretpostavke u potpunosti razvijenog tranzijentnog tipa protjecanje nakon 100 dana. Efektivna poroznost je sukladno analizi podešena na 15 %, a skin pribušotinske zone iznosi 1. Pretpostavljen je radijus ležišta od 2000 m, uz ukupnu kompresibilnost sustava od 7,25 x 10<sup>-4</sup> bar. Tlak ušća postavljen u analizi iznosi 40 bar uz projektiranu eruptivnu proizvodnju. Pad temperature pri protjecanju fluida od dna do ušća izračunat je unificiranim modelom Alvesa et al. (1992). Analiza osjetljivosti dinamičkih tlakova na dnu obavljena je za efektivne varijacije propusnosti intervala.



**Slika 4-1.** Rezultati protočnog modela za novu proizvodnu geotermalnu bušotinu Gotalovo

Na Slici 4-1. jasno je vidljivo da je moguća uspostava protoka od 8421 m<sup>3</sup>/d (97,5 l/s) za ovako postavljen ležišni i proizvodno/utisni model uz slučaj (1) s propusnošću sloja od 6 mD, obzirom na depresije tlaka za navedenu proizvodnju (dinamički tlak na dnu iznosi 366 bar), a time i proračunati dinamički tlak ušća geotermalne vode od 40 bar, odnosno usis pumpe na utisnoj bušotini (efektivni tlak utisne pumpe je potreban tlak utiskivanja umanjen za tlak ušća na proizvodnoj bušotini i pad tlaka u proizvodnoj opremi – izmjenjivač topline, cjevovodi). Obzirom na iznimno veliku investiciju u iskorištavanje geotermalne toplinske energije i proizvodnju električne energije iz geotermalnog fluida, nužno je ukalkulirati geološki rizik istražnih radova i prostornu rasprostranjenost cijelog propusnog dijela ležišta u podlozi tercijara. Ukoliko propusnost iznosi za cijelu debljinu dolomitnog naslaga 10 mD (slučaj 2) tada je moguća uspostava proizvodnje od visokih 13273 m<sup>3</sup>/d (153 l/s) uz dinamički tlak na dnu bušotine od 365 bar.

Projektiranje koje uključuje nodal analizu radi se i na utisnoj bušotini za iste parametre koji su dobiveni na proizvodnoj (fizikalne karakteristike ležište), no povećava se dinamički tlak na ušću bušotine dok se ne uspostavi *matching* dobivene proizvodnje od 8421 i 13273 m<sup>3</sup>/d. Za slučaj utisne bušotine navedeni tlak na ušću morao bi biti čak 285 bar što je izuzetno visoka vrijednost i podrazumijeva korištenje utisnih pumpi visokih snaga (primjer Sulzer, tip MSD). Na Slici 4-2. prikazani su ulazni podaci, podaci o dobivenim dinamičkim tlakovima sukladno nodal tipu analize, kao i dvofazne protočne karakteristike.



**Slika 4-2.** Rezultati protočnog modela za novu utisnu geotermalnu bušotinu Gotalovo

Obzirom da je nodal analizom izračunat potreban tlak utiskivanja od 285 bar na ušću, odnosno 642 bar dinamičkog tlaka na dnu bušotine za protoke od 8431 m<sup>3</sup>/d (slučaj (1) i propusnost 6 mD) i 13236 m<sup>3</sup>/d (slučaj (2) i propusnost 10 mD), snaga utisne pumpe mora zadovoljiti gradijent tlaka između proizvodne i utisne bušotine i pada tlaka u površinskoj opremi od 250 bar (285 bar umanjeno za tlak ušća proizvodne bušotine 40 bar i uvećano za 5 bar pada tlaka na površinskoj opremi), sukladno specifikacijama proizvođača, ali i prema osnovnoj fizikalnoj jednadžbi proračuna snage pumpe. Snaga za dizanje tlaka od 250 bar i protok 8431 m<sup>3</sup>/d (bazni slučaj 1) te učinkovitost pumpi od 0,8 iznosi 3,0 MWe, što je izuzetno visoka vrijednost i gotovo neprihvatljiva sa stanovišta tehnološke ekonomike projekta.

Ovakvom analizom prikazan je temeljni nedostatak razrade natpritisnutih geotermalnih ležišta s osrednjom propusnošću. Iako su proizvodne karakteristike kod ovakvih ležišta izuzetno povoljne, gdje se može zbog visokog početnog tlaka očekivati iznimno visok eruptivni protok, veliki nedostatak je izuzetno visoka potrebna energija za utiskivanje takvih protoka u ležište gdje već vlada visoki tlak. Također, narintim abnormalno visokim tlakovima na dno utisne bušotine može doći do slamanja stijene i frakturiranja te propuštanja kolona. Kod ovakvih natpritisnutih ležišta potrebno je obaviti usporednu proizvodnu analizu i tehnološku analizu za različite veličine protoka kod kojih projekt može biti pozitivan za razvoj, gdje je potrošnja energije na utisnim pumpama glavni ograničavajući faktor ležišne razrade polja i razvoja projekta.



## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirano je naftno-plinsko polje Gola s ciljem određivanja geotermalnog potencijala stijena Podloge tercijara mikrolokacije Gotalovo. Utvrđena je prisutnost izuzetno visokog nadtlaka u slojevima stijena sa osrednjom propusnosti, iako takvi uvjeti omogućavaju povoljnu proizvodnju eruptivnim načinom rada, postoje izazovi u slučaju vraćanja vode nazad u utisne bušotine zbog slabe propusnosti i visokog tlaka, što će izazvati visoke energetske zahtjeve. Analiza pokazuje da visoki tlakovi zahtjevaju korištenje snažnih utisnih pumpi, što može značajno povećati troškove projekta i samim time smanjiti njegovu isplativost. Treba uzeti u obzir razmatranje dodatnih utisnih bušotina no odluke o tome trebaju se temeljiti na ekonomskim analizama isplativosti i troškovima dodatnog bušenja bušotina. Osim toga, važno je provesti dodatna ispitivanja kako bi se smanjio rizik od slamanja stijena uslijed visokih tlakova. Zaključak je da geotermalni potencijal na polju svakako postoji i da postoji mogućnost prenamjene bušotine nakon napuštanja u geotermalne svrhe, ali uz izazove koji su navedeni ranije, što će na kraju ovisit o ekonomskoj isplativosti projekta.

## 6. LITERATURA

1. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE (AZU) (n.d.).  
URL:  
<https://gis.azu.hr/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6b2324ed725a4a2e9d1a5a665d23262a> (14.5.2024.)
2. GOOGLE EARTH URL (n.d.) URL: <https://earth.google.com/web/> (4.9.2024.)
3. INA d.d. n.d. Interna dokumentacija naftno-plinskog polja Gola
4. MALVIĆ, T., VELIĆ, J. 2007. Relations between effective thickness, gas production and porosity in heterogeneous reservoirs: an example from the Molve Field, Croatian Pannonian Basin
5. MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. 2013. Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji
6. MACENIĆ, M., KUREVIJA, T., MEDVED, I., 2020. Novel geothermal gradient map of the Croatian part of the Pannonian Basin System based on data interpretation from 154 deep exploration wells
7. TUSCHL, M., KUREVIJA, T., KRPAN, M., MACENIĆ, M., 2022. Overview of the current activities related to deep geothermal energy utilisation in the Republic of Croatia
8. Sulzer (n.d.) *MSD axially split multistage pump*.  
URL: <https://www.sulzer.com/en/shared/products/msd-axially-split-multistage-pump> (4.9.2024.)

# IZJAVA

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

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters, positioned above a horizontal line.



KLASA: 602-02/24-01/13  
URBROJ: 251-70-12-24-2  
U Zagrebu, 11. 9. 2024.

Ana Nuić, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-02/24-01/13, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 18.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### ANALIZA GEOTERMALNOG POTENCIJALA PODINSKIH VODONOSNIKA NAFTNO-PLINSKOG POLJA GOLA

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof. dr. sc. Tomislav Kurevija nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Prof. dr. sc. Tomislav Kurevija

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina  
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)