

Procjena geotermalnog potencijala naftnog polja Lupoglav

Bosiljevac, Ivor

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:169:457136>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**



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

PROCJENA GEOTERMALNOG POTENCIJALA NAFTNOG POLJA LUPOGLAV

Završni rad

Ivor Bosiljevac

N4569

Zagreb, 2024.

PROCJENA GEOTERMALNOG POTENCIJALA NAFTNOG POLJA LUPOGLAV

Ivor Bosiljevac

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

Sažetak

Naftna industrija u Republici Hrvatskoj, koja je povijesno imala važnu ulogu u gospodarskom razvoju, sada se suočava s izazovima zbog prelaska na održive izvore energije i smanjenja upotrebe fosilnih goriva. Energetska tranzicija, kao i pad proizvodnje nafte i plina iz postojećih polja, dovest će do zatvaranja mnogih polja koja će postati iscrpljena ili neprofitabilna za daljnje iskorištavanje. Međutim, ta polja, koja se često nalaze na dubinama s visokim temperaturama, pružaju potencijal za pretvaranje u geotermalna polja. Ova mogućnost postoji zato što se u ležištima nafte i plina često nalaze podzemne vodene rezerve, koje bi se mogle iskoristiti za proizvodnju geotermalne energije, nudeći održivu alternativu za budući razvoj energetskog sektora u Hrvatskoj. Cilj završnog rada je bilo istražiti naftno polje navedenih karakteristika, Lupoglav u Zagrebačkoj županiji, gdje se ležište nalazi na takvoj dubini da upućuje na geotermalni potencijal.

Ključne riječi: geotermalna energija, razrada ležišta, revitalizacija

Završni rad sadrži: 36 strana, 14 slika, 1 tablicu, 7 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: Dr.sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF-a
Dr.sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF-a
Dr. sc. Marija Macenić, docentica RGNF-a

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	I
1. UVOD	1
2. ANALIZA NAFTNOG I PLINSKOG POLJA LUPOGLAV	4
2.1. Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja Lupoglav	4
2.2. Litostratigrafske jedinice eksploatacijskog polja Lupoglav.....	4
2.2.1. Lonja formacija	4
2.2.2. Široko polje formacija.....	5
2.2.3. Kloštar-Ivanić formacija	5
2.2.4. Formacija Ivanić-Grad	5
2.2.5. Prkos formacija.....	5
2.2.6. Prečec formacija	5
2.3. Geološki opis ležišta.....	7
3. PREGLED BUŠOTINA NAFTNOG POLJA LUPOGLAV	8
3.1. Bušotina Lupoglav -1.....	8
3.1.1. Geološko-geofizički radovi	9
3.1.2. Konstrukcija bušotine Lup-1	9
3.2. Bušotina Lupoglav-1 Duboka	11
3.2.1. DST ispitivanja bušotine Lup-1Du	11
3.3. Bušotina Lupoglav-2	13
3.3.1. Geološko-geofizički radovi.....	13
3.4. Bušotina Lupoglav-3 (Jet Drilling)	14
3.4.1. DST ispitivanja bušotine Lup-3	14
3.4.2. Konstrukcija bušotine Lup-3	14
3.5. Bušotina Lupoglav-4 (Alfa).....	16
3.5.1. DST ispitivanje bušotine Lup-4a.....	16
3.6. Bušotina Lupoglav-5 (Alfa).....	16
3.6.1. DST ispitivanje bušotine Lup-5a	17
3.6.2. Konstrukcija bušotine Lup-5a.....	17
3.7. Bušotina Lupoglav-6.....	17
3.7.1. Geološko-geofizički radovi.....	17

3.8.	Bušotina Lupoglav-7 Alfa.....	18
3.8.1.	DST ispitivanje bušotine Lup-7	18
3.9.	Bušotina Lupoglav-8.....	19
3.9.1.	DST ispitivanje bušotine Lup-8	20
3.9.2.	Konstrukcija bušotine Lup-8	20
3.10.	Bušotina Lupoglav-9 Beta	22
3.10.1.	Konstrukcija bušotine Lup-9 β	23
3.11.	Bušotina Lupoglav-10 Alfa.....	24
3.11.1.	DST ispitivanje bušotine Lup-10 α	24
3.11.2.	Konstrukcija bušotine Lup-10 α	25
3.12.	Bušotina Lup-11	26
3.12.1.	Konstrukcija bušotine Lup-11	26
4.	MOGUĆNOST PRIDOBIVANJA GEOTERMALNE ENERGIJE NA POLJULUPOGLAV NAKON ZAVRŠETKA EKSPLOATACIJE NAFTE I PLINA	28
5.	ZAKLJUČAK.....	35
6.	LITERATURA	36

POPIS SLIKA

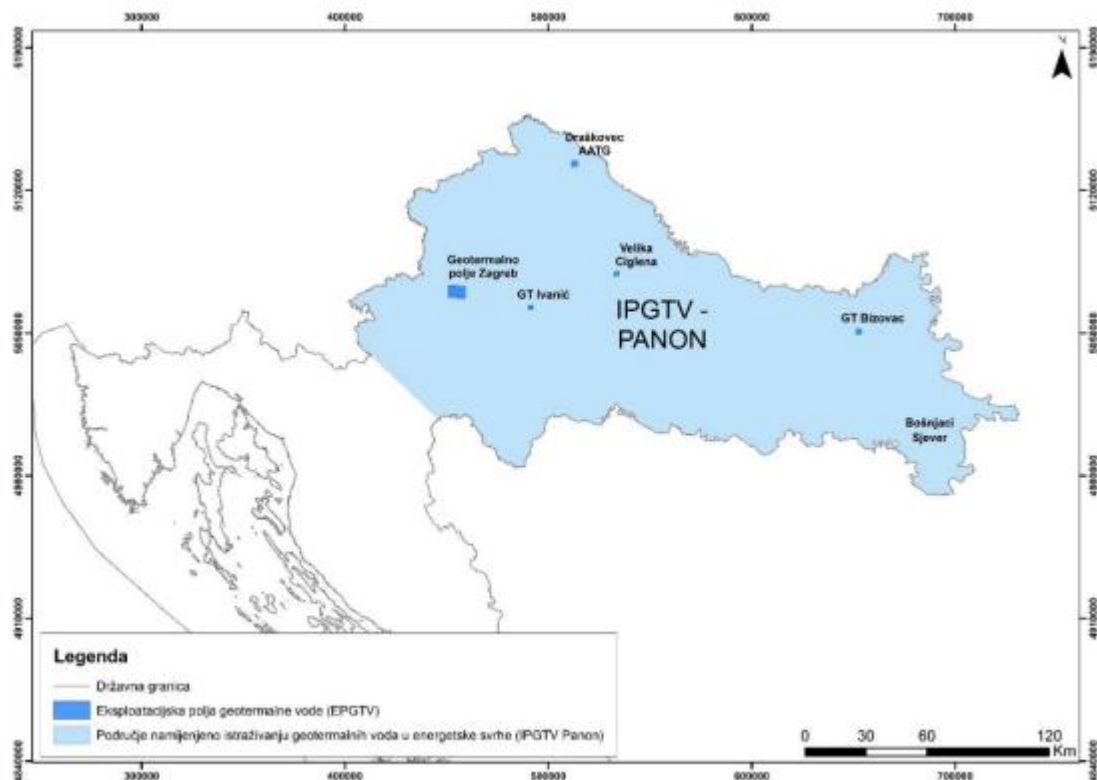
Slika 1-1. Područje namijenjeno istraživanju geotermalnih voda u energetske svrhe s postojećim eksploatacijskim poljima geotermalne vode Hrvatskoj	2
Slika 1-2. Naftna i plinska polja kontinentalnog dijela Hrvatske	3
Slika 2-1. Eksploatacijska polja ugljikovodika na području Savske potoline	4
Slika 2-2. Shematski korelacijski profil bušotina Lup-3 i LD-1	6
Slika 2-3. Strukturna karta polja Lupoglav po krovini miocena	7
Slika 3-1. Karta bušotina naftnog polja Lupoglav	8
Slika 3-2. Profil bušotine Lup-1	10
Slika 3-3. Grafička ekstrapolacija statičkog slojnog tlaka DST-1 za bušotinu Lup-1Du....	12
Slika 3-4. Tehnologija izrade vodoravnih bušotina primjenom Jet-Drilling	15
Slika 3-5. Montažni nacrt ušća bušotine Lup-7	19
Slika 3-6. Konstrukcija bušotine Lup-8.....	21
Slika 3-7. Vertikalna projekcija bušotine Lup-9 β	23
Slika 3-8. Grafička ekstrapolacija statičkog slojnog tlaka DST-1 bušotine Lup-10.....	25
Slika 3-9. Podzemna oprema bušotine Lup-11	27

POPIS TABLICA

Tablica 1-1. Zavodnjeni članovi polja Lupoglav i njihovi parametri	31
---	----

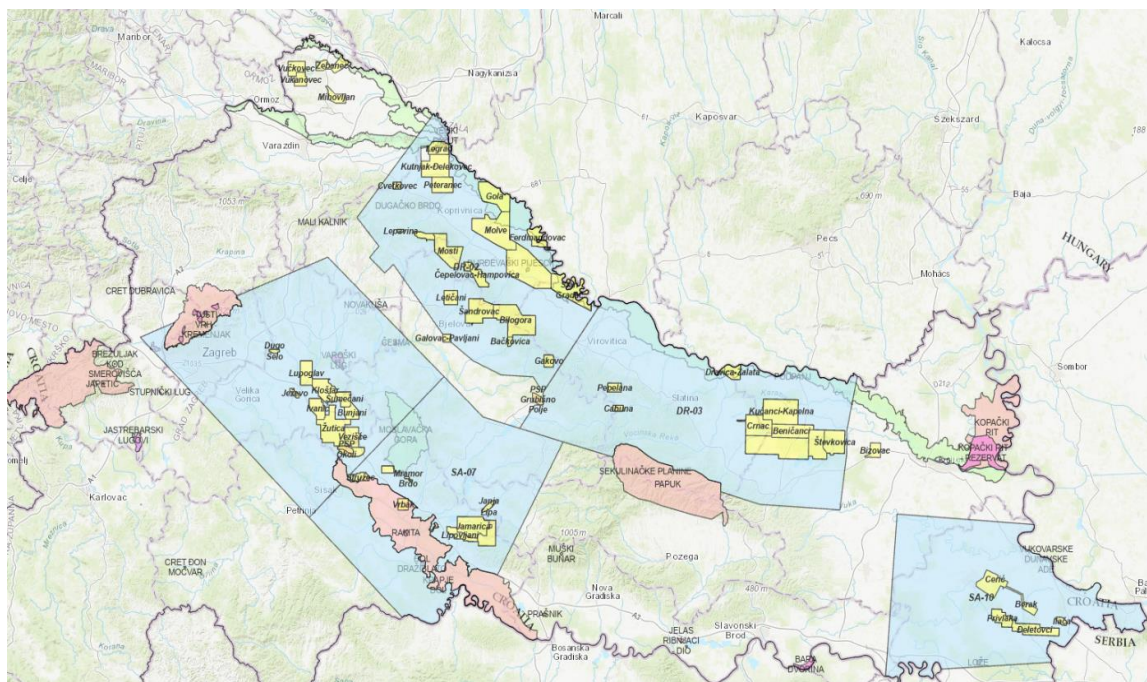
1. UVOD

Geotermalna energija predstavlja obnovljiv izvor energije baznog tipa što znači da je proizvodnja energije moguća 24/7 kroz cijelu godinu što pridonosi visokoj učinkovitosti geotermalnih energetske postrojenja. Također, kod geotermalne vode visoke entalpije moguće je kaskadno korištenje energije te je uz proizvodnju električne energije moguće kaskadnog korištenja preostale toplinske energije geotermalne vode u različite svrhe (toplinarstvo, grijanje prostora, sušare, akvakultura i dr.). Ovakvi sustavi povećavaju učinkovitost geotermalnih postrojenja, a time i ekonomičnost cjelokupnog geotermalnog projekta. Korištenjem geotermalne energije smanjuje se potrošnja konvencionalnih energenata (pr. fosilnih goriva) što rezultira pozitivnim utjecajem na okoliš. Na taj način geotermalne vode za energetske svrhe pridonose ciljevima Integriranog nacionalnog energetskog i klimatskog plana kroz mjeru povećanja učinkovitosti sustava toplinarstva. Geotermalni potencijal Republike Hrvatske identificiran je u mnogobrojnim bušotinama izrađenim u drugoj polovici dvadesetog stoljeća za potrebe istraživanja i eksploatacije nafte i plina. Podaci prikupljeni iz izrađenih bušotina koriste se kao osnova za projektiranje i planiranje geotermalnih projekata na području Republike Hrvatske. Hrvatski dio Panonskog bazena možemo promatrati kao geotermalnu regiju (Slika 1-1.) budući da prosječna vrijednost geotermalnog gradijenta iznosi $0,049\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (60 % viši geotermalni gradijent od europskog prosjeka) i kao takav predstavlja izrazito visok potencijal za iskorištavanje geotermalne energije (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja [MINGOR], n.d.).



Slika 1-1. Područje namijenjeno istraživanju geotermalnih voda u energetske svrhe s postojećim eksploatacijskim poljima geotermalne vode Hrvatskoj (IRES EKOLOGIJA, 2023.)

Po količini proizvedene nafte prednjači područje Savske potoline koje se nalazi na području Moslavine (Slika 1-2.), koja ima dugu tradiciju eksploatacije nafte. Iako se nafta počela vaditi 1854. godine i to ručno, sve do početka 20. st. nije došlo do značajnijih uspjeha u proizvodnji nafte u Moslavini. Na području Savske potoline nalazi se 18 naftnih polja, no sva polja nisu u funkciji. Eksploatiraju se slijedeća polja: Lupoglav, Bunjani, Ježevo, Ivanić, Dugo Selo, Kloštar, Mramor Brdo, Žutica, Stružec, Okoli, Voloder, Lipovljani, Jamarica i Kozarica, a polje Vezišće prestalo se eksploatirati 2003. godine. Sva navedena polja su ujedno i plinska polja osim polja Bunjani i Ježevo koja su samo naftna. Stružec je najveće moslavačko naftno-plinsko polje, ali i jedno od najvećih u Hrvatskoj. Uz Stružec najizdašnija polja u Savskoj potolini su Žutica i Ivanić. Sva naftna polja grupirana su u pet proizvodnih područja: PP Žutica sa sjedištem u Žutici, PP Stružec sa sjedištem u Popovači, PP Šumečani sa sjedištem u Ivanić Gradu, PP Lipovljani sa sjedištem u Novskoj te PP Dugo Selo sa sjedištem u Dugom Selu.



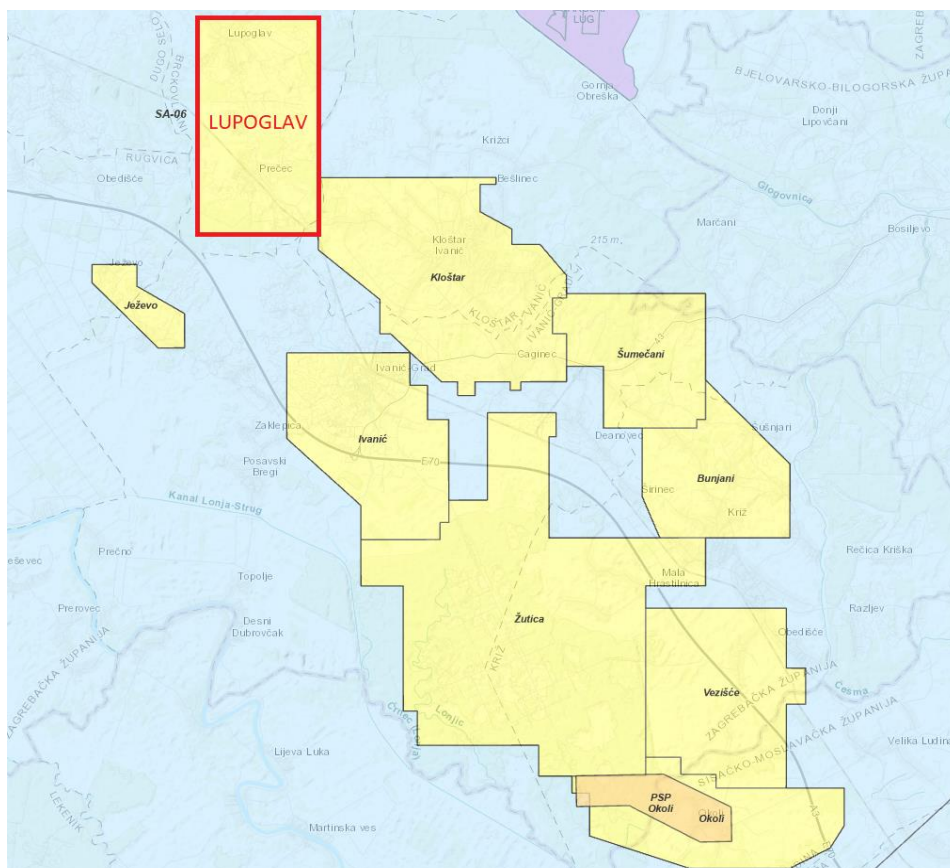
Slika 1-2. Naftna i plinska polja kontinentalnog dijela Hrvatske (AZU, n.d.)

Na području cijele Savske potoline najveća proizvodnja ostvarila se krajem 1970-ih i početkom 1980-ih godina kada se proizvodilo 3 milijuna tona nafte godišnje. Proizvodnja je znatno smanjena početkom 1990-ih godina zbog iscrpljenja zaliha nafte, no većina postojećih polja će se moći eksploatirati još 20-tak godina (Lončar, 2007), a velik potencijal imaju još neotkrivena ležišta nafte i plina. S obzirom da eksploatacija i proizvodnja nafte bitno utječu na razvoj i socio-ekonomsku strukturu stanovništva područja u kojem se odvija, i u Moslavini je došlo do znatnih promjena te je tako od nerazvijenog i slabo razvijenog područja postala jedna od razvijenijih regija u Hrvatskoj. Svrha ovog završnog rada je da se na temelju pridobivenih bušotinskih podataka od Agencije za ugljikovodike za Savsku potolinu, točnije naftno i plinsko polje Lupoglav, analizira i procjeni geotermalni potencijal polja Lupoglav.

2. ANALIZA NAFTNOG I PLINSKOG POLJA LUPOGLAV

2.1. Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja Lupoglav

Naftno polje Lupoglav nalazi se cca 30 km jugoistočno od Zagreba u Zagrebačkoj županiji, između Zagrebačke i Moslavačke gore, u dolini rijeke Lonje. Područje polja Lupoglav administrativno pripada općini Brckovljani i jednim malim dijelom općini Kloštar Ivanić. Osim polja eksploatacijskog polja Lupoglav, Savsku potolinu čine još i polja Ivanić, Žutica, Kloštar, Šumečani, Vezišće, Jezevo, Okoli i Bunjani (Slika 2-1.).



Slika 2-1. Eksploatacijska polja ugljikovodika na području Savske potoline (AZU, n.d.)

2.2. Litostratigrafske jedinice eksploatacijskog polja Lupoglav

Polje Lupoglav sastoji se od šest litostratigrafskih jedinica odnosno formacija, a to su: Lonja, Široko polje, Kloštar-Ivanić, Ivanić-Grad, Prkos i Prečec formacija (KOMUNALAC SISAK D.O.O.). U nastavku, svaka formacija bit će ukratko opisana pomoću shematskog korelacijskog profila bušotina Lup-3 i LD-1 koji je prikazan na Slici 2-2.

2.2.1. Lonja formacija

Formacija Lonja je najmlađa formacija koja obuhvaća naslage pliocena i kvartara. Lonja formacija je zastupljena karakterističnim raznobojnim glinama, mjestimično plastičnim, u

izmjeni sa šljunkom, krupnozrnim pjescima i slabo karboniziranim ugljenom. Podinu formacije određuje EK-marker α' , a krovinu formacije određuje površina terena.

2.2.2. Široko polje formacija

Široko polje formacija obuhvaća naslage gornjeg dijela donjeg pontaa i gornjeg pontaa. Ovu formaciju sačinjava slijed glinovitih, mjestimično pjeskovitih, mekanih lapora u izmjeni sa vrlo tankim proslojcima sitnozrnog, slabo vezanog pješčenjaka u krovinskom dijelu. Podinu formacije određuje EK-marker $R\phi$, a krovinu EK-marker α' .

2.2.3. Kloštar-Ivanić formacija

Kloštar-Ivanić formacija je zastupljena svjetlo sivim do sivim glinovitim laporima (krovinski dio) i srednje tvrdim, sivim laporima u izmjeni s tankim proslojcima sitnozrnog kvarc-tinjčastog pješčenjaka, koji je uglavnom prisutan u podinskom dijelu formacije. Formacija je ograničena EK-markerima Z' i $R\phi$.

2.2.4. Formacija Ivanić-Grad

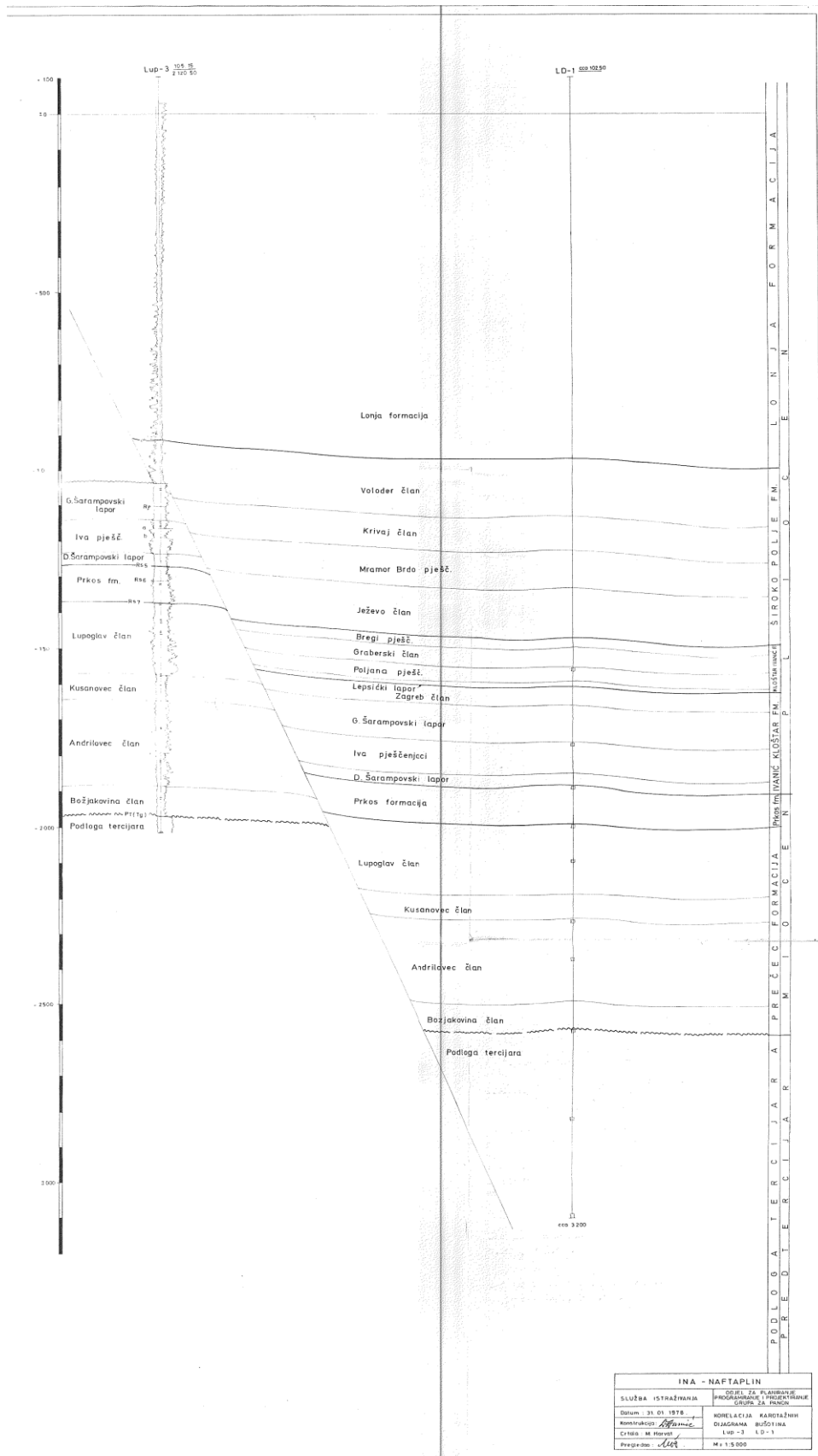
U plićem dijelu Ivanić-Grad formacije nalaze se sivi do tamnosivi, srednjetvrđi do tvrdi lapori s dva proslojka sitnozrnog pješčenjaka. Dublji dio formacije je zastupljen Iva pješčenjacima, a podinu formacije sačinjavaju tamnosivi, tvrdi i kompaktni D. Šarampovski lapori. Formacija je omeđena EK-markerima $Rs5$ i Z' .

2.2.5. Prkos formacija

Prkos formacija je litološki nastavak D. Šarampovskog lapora te pojava tankog sloja krupnozrnog kvarcnog pješčenjaka. Formacija je omeđena EK-markerima $Rs7$ i $Rs5$.

2.2.6. Prečec formacija

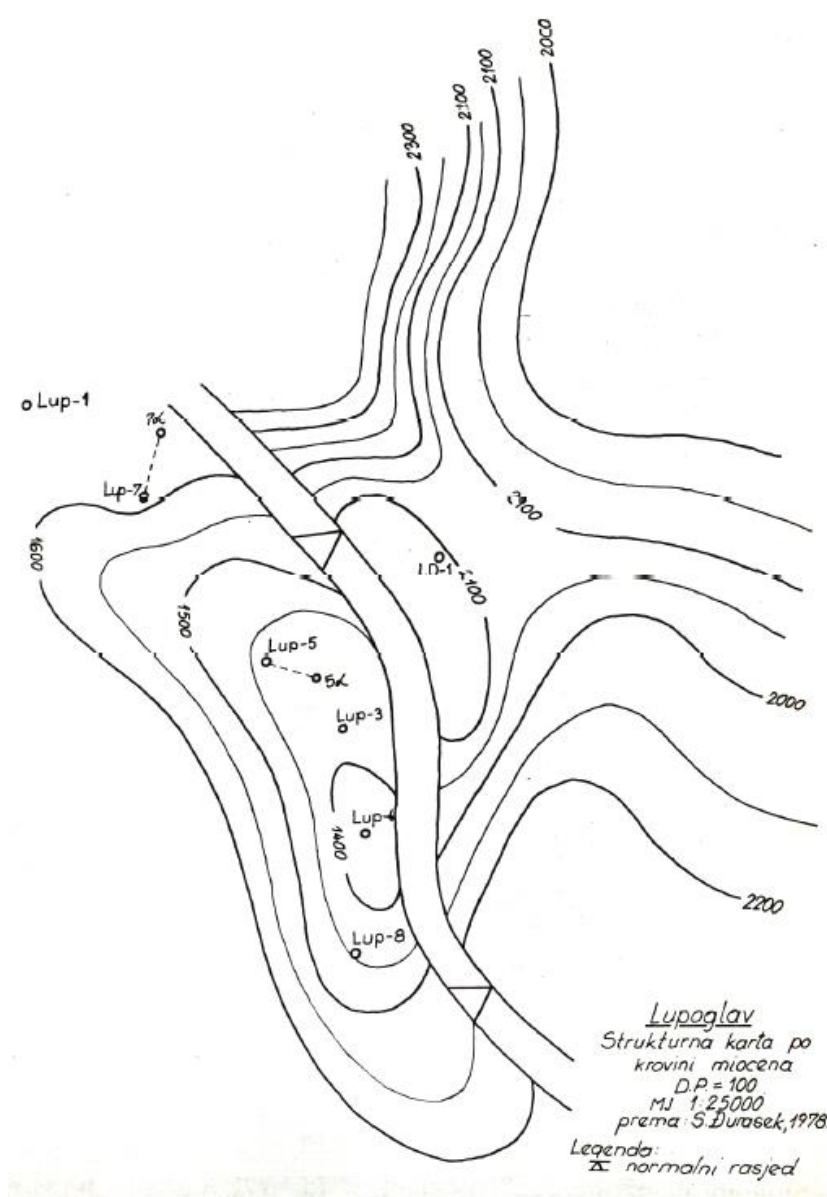
Prečec formacija najstarija je formacija koja se odlikuje heterogenim litološkim sastavom, a kronostratigrafski gledano obuhvaća stariji i srednji miocen. Najzastupljene stijene su: konglomerati, breče, laporoviti pješčenjaci, pjeskoviti pješčenjaci, kalčitični pješčenjaci, vapnenci te litotamnijski vapnenci. Formacija je ograničena tektonsko-erozijskom diskordancijom Pt/Tg u podini i EK-markerom $Rs7$ u krovini.



Slika 2-2. Shematski korelacijski profil bušotina Lup-3 i LD-1 (AZU, 1988)

2.3. Geološki opis ležišta

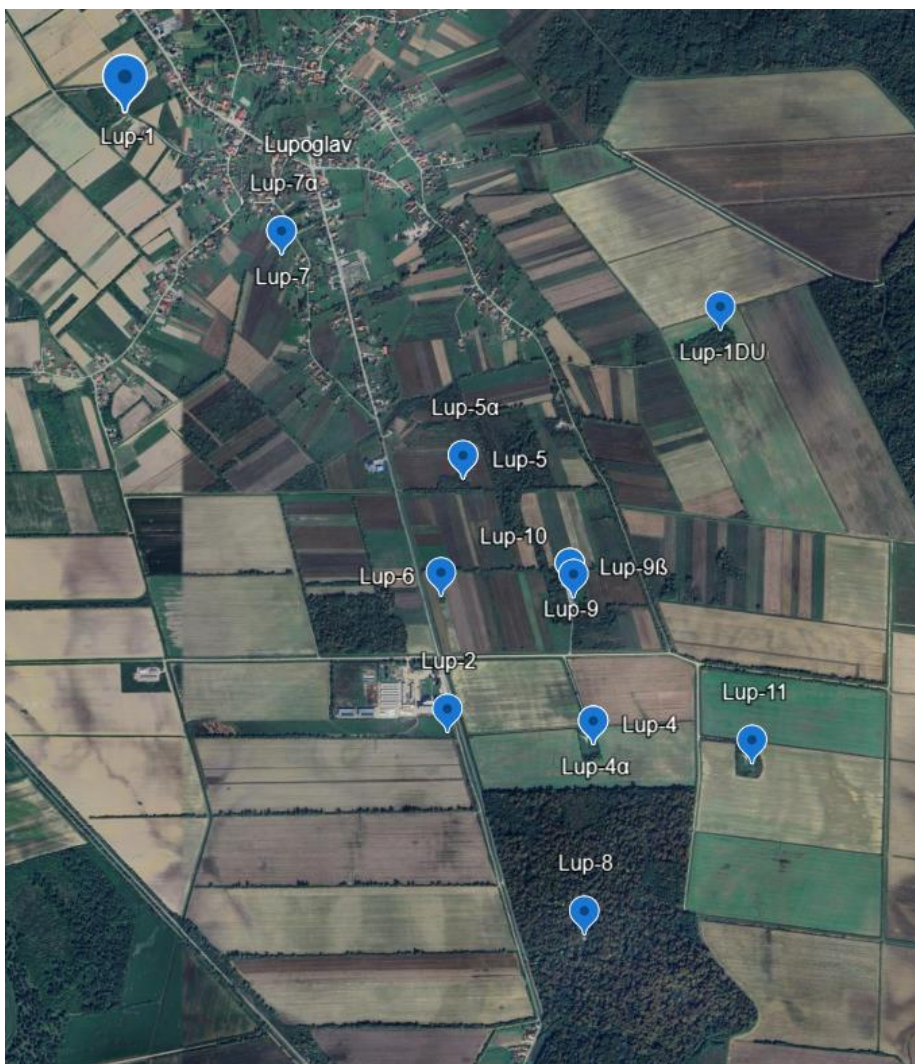
Strukturu Lupoglav čini izdužena antiklinala koja iza uzdužnog, normalnog rasjeda prelazi u strukturalno sedlo u smjeru sjeverozapada (Slika 2-3.). Na podignutom krilu rasjeda izbušeno je više bušotina (10 vertikalnih i 5 usmjerenih) od kojih je u nekima otkrivena nafta (npr. Lup-3, Lup-7). Usmjerenim bušotinama se pokušalo doseći do Iva pješčenjaka - Kloštar-Ivanić formacije iza rasjeda. Međutim, spomenuti rasjed je znatno većeg vertikalnog skoka od tada pretpostavljenog, tako da se nije uspjelo (usmjerenom bušotinom) nabušiti Iva pješčenjake.



Slika 2-3. Strukturalna karta polja Lupoglav po krovini miocena (AZU, 1978)

3. PREGLED BUŠOTINA NAFTNOG POLJA LUPOGLAV

Naftno polje Lupoglav otkriveno je 1971. godine bušotinom Lup-3 koja je nabušila Iva pješčenjake (panon) u naftnom zasićenju. Pridobivanje nafte na polju Lupoglav započelo je 1985. godine. Na polju je izrađeno 19 kanala bušotina (Slika 3-1.). U nastavku slijedi detaljan pregled svih bušotina koji uključuje opis konstrukcija bušotina, zadatak bušotina, geološko-geofizičke radove.



Slika 3-1. Karta bušotina naftnog polja Lupoglav (vlastita izrada pomoću Google Earth, n.d.)

3.1. Bušotina Lupoglav -1

Koordinate bušotine Je-1 su:

$$Y = 5\ 604\ 052,46$$

$$X = 5\ 073\ 407,98$$

$$h = 105,83\ \text{m}$$

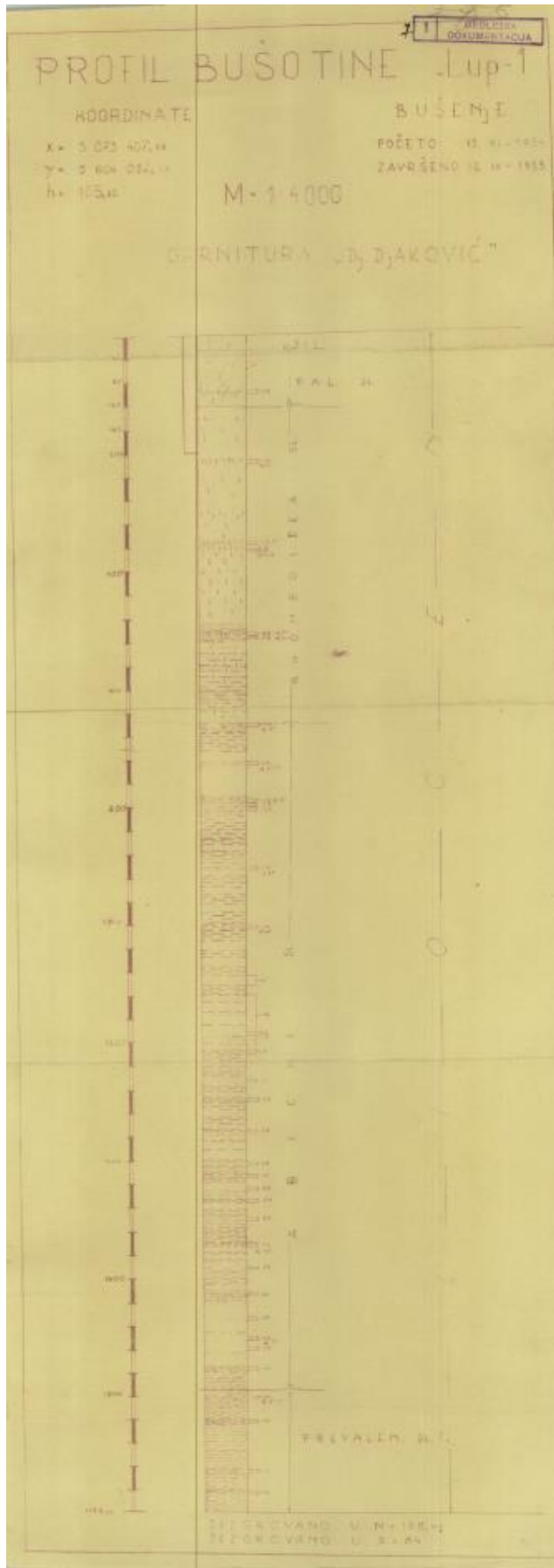
Glavni zadatak bušotine Lup-1 bio je da utvrdi karakter razvoja, protezanja i zalijeganja pješćanih kolektora koji su nosioci nafte u "Kloštarskom" polju, te da ispita akumulaciju nafte na ovom prelaznom području u odgovarajućim slojevima. Bušotina Lup-1 nalazi se na samom pravcu između bušotina Kloštar 5 i Glavničica 3, ali visinski je u svakom slučaju niža. Prema seizmičkim podacima može se zaključiti da će granice pojedinih formacija biti dublje no na spomenute dvije bušotine. Tokom bušenja nabušeno je pet pliocenskih slojeva: Diluvij, Paludinski slojevi, Rhomboidea slojevi, Abichi slojevi i Prevalencijenezijski slojevi. Pojave nafte ili plina možemo očekivati u Abichi, Prevalencijenezijskim slojevima i oligocenu. Bušenje je završeno na dubini 1988,44 metara i to u Prevalencijenezijskom sloju.

3.1.1. Geološko-geofizički radovi

Na bušotini Lup-1 izvedena su dva karotažna mjerenja. Prva mjerenja su izvedena do dubine 1262,5 metara i ona su se sastojala od elektrokarotaže, mjerenja temperature do navedene dubine te devijacije bušotine u intervalu od 200 do 1250 m. Druga mjerenja su izvedena od konačne dubine do dubine već snimljenog intervala. Druga mjerenja su se također sastojala od elektrokarotaže, devijacije cijele bušotine, izmjeren je pad slojeva u 6 nivo-a te je izvađena bočna jezgra s dva intervala. Maksimalna dubina prema EK mjerenjima iznosi 1988,4 m, a maksimalna temperatura 85 °C. Analizirani intervali dali su rezultate za poroznost koja iznosi 15-25 %, a zasićenje vodom iznosi 90-100 % što znači da su svi intervali zavodnjeni. Obzirom da je bušotina pokazala nezadovoljavajuće rezultate u pogledu naftonosnosti, proglašena je negativnom te je izvršena likvidacija cementnim čepom.

3.1.2. Konstrukcija bušotine Lup-1

U bušotinu su ugrađene tri kolone. Uvodna kolona (16") je ugrađena do dubine od 15 metara i ona se nije cementirala nego se izvadila nakon izvršene cementacije kolone (11 3/4"). Tehnička kolona (11 3/3") ugrađena je do 200 metara i zacementirana do ušća. U slučaju pozitivnih slojeva bila je određena i proizvodna kolona (6 5/8").



Slika 3-2. Profil bušotine Lup-1 (AZU, 1954)

3.2. Bušotina Lupoglav-1 Duboka

Koordinate bušotine Lup-1Du su:

$$Y = 5\ 606\ 250$$

$$X = 5\ 072\ 600$$

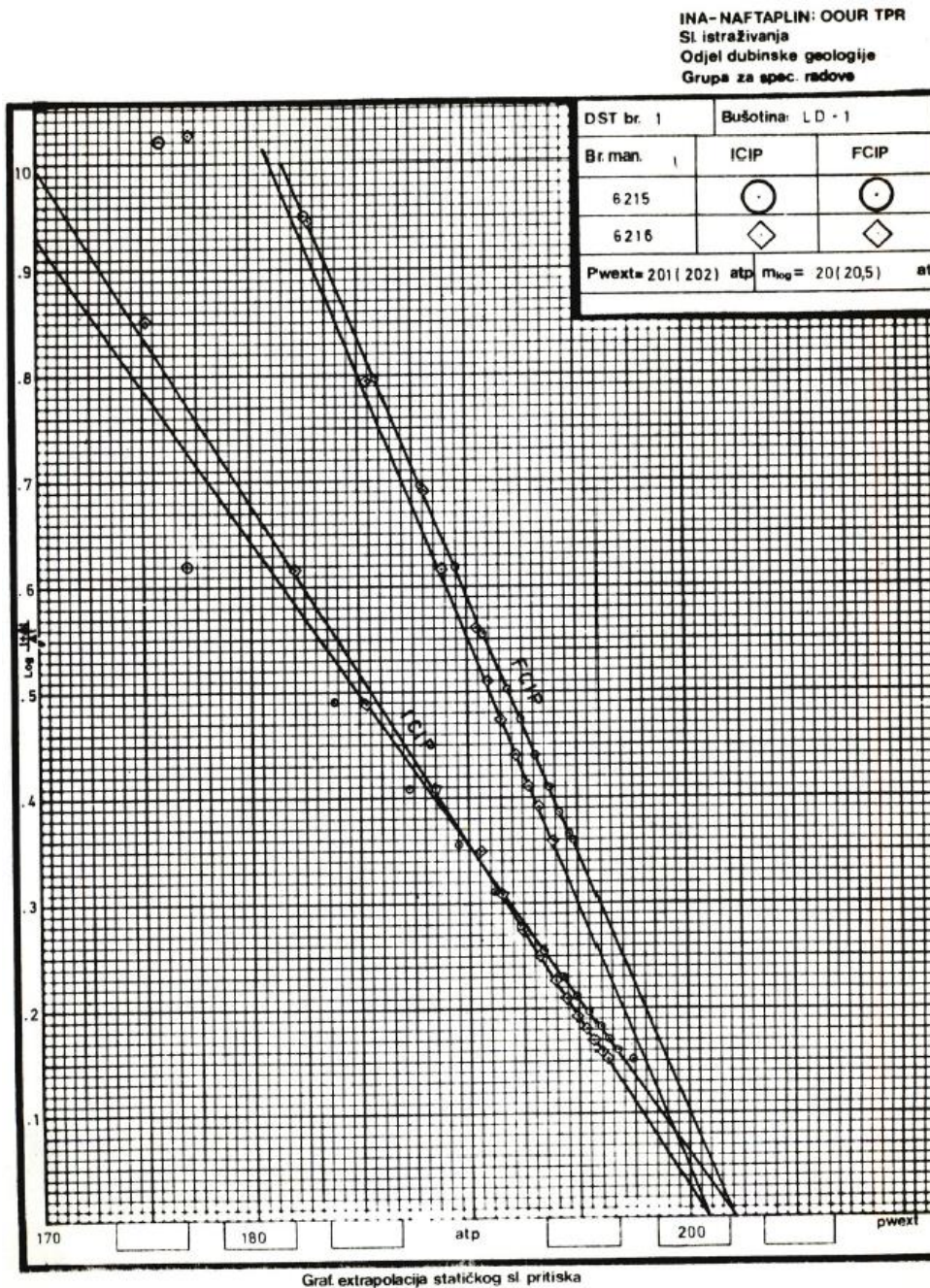
$$h = 102,5\ \text{m}$$

Lokacija duboke istražne bušotine Lup-1Du nalazi se 600 metara jugoistočno od mjesta Lupoglav i 700 metara zapadno od rijeke Lonje, a od duboke istražne bušotine Lup-3 udaljena je 1050 metara prema sjeveroistoku. Cilj ove bušotine je bio taj da se probuše i ispituju naslage pliocena, miocena i eventualno krovinski dio podloge tercijara. Dobiveni rezultati su poslužili za daljnje strukturno i naftno-geološko sagledavanje odnosa istražnog područja. Bušenje je obustavljeno u krupnozrnim-konglomeratičnim, kvarcnim pješčenjacima Prečec formacije. Bušotine nije upotpunosti ispunila zadatak pošto nije probušila predviđeni tercijarni kompleks sedimenata. Konačna dubina je 3181 m., a maksimalna temperatura iznosi 120 °C te je bušotina likvidirana kao negativna. Prosječna efektivna propusnost iznosi 7,25 mD, a poroznost se kreće između 3 % i 20 %. Debljina zavodnjelog intervala iznosi 188 metara.

3.2.1. DST ispitivanja bušotine Lup-1Du

Prvo ispitivanje (DST-1) izvršeno je na otvorenom kanalu bušotine neposredno ispod zaštitne kolone (9 5/8") na intervalu 1962-1986,7 m. Testiranje je izvedeno na temelju tragova pozitivnosti u uzorcima stijene iz isplake i povećanog napretka bušenja. U jezgri nisu zamijećene pozitivne indikacije na prisutnost nafte. U bušaće šipke doteklo je 6070 litara vode i 900 litara isplake. Dobivena voda prema Sulinu spada u biokarbonatsko-natrijski tip koji je direktna indikacija na prisutnost nafte kada je ukupna mineralizacija visoka što u našem slučaju nije tako.

Drugo ispitivanje (DST-2) izvršeno je u otvorenom kanalu na intervalu 2359,5-2374 m. Testirana formacija izgrađena je od gustog konglomerata koji prema litostratigrafskoj korelaciji pripadaju u Prečec formaciju. Na uzorcima mehaničke jezgre (2366-2367,3 m) i uzorcima sa sita uočena je pojava nafte. Podatke o pojavi plina u isplaci tokom bušenja sloja nemamo zbog toga što plinska stanica nije bila instalirana. Izmjerena temperatura na ovoj dubini je iznosila 125 °C što upućuje da je na ovom lokalitetu izražena geotermička anomalija najvjerojatnije vezana uz tekonski lom.



Slika 3-3. Grafička ekstrapolacija statičkog slojnog tlaka DST-1 za bušotinu Lup-1Du (AZU, 1978)

3.3. Bušotina Lupoglav-2

Koordinate bušotine Lup-2 su:

$$Y = 5\ 605\ 120$$

$$X = 5\ 071\ 200$$

$$h = 106\ \text{m}$$

Duboka istražna bušotina Lup-2 locirana je uz cestu Dugo Selo - Ivanić Grad, oko 1100 metara južno od zadnjih kuća sela Lupoglav. Oko 2400 metara jugoistočno od bušotine Lup-1 i oko 5700 metara sjeverozapadno od bušotine Pre-1. Bušotina Lup-2 bušena je sa zadatkom da nabuši i ispita sedimente starije od neogena. Na karti gravimetrijskog promjera jasno su izdvojena dva maksimuma, a lokacija bušotine Lup-2 nalazi se na jednom od njih. Pretpostavljalo se, da će se na dubini 1880 metara nabušiti temeljno gorje, koje bi moglo biti veoma interesantno zbog blizine naftnog polja Kloštar, gdje je temeljno gorje kolektor stijena. Bušenje je prekinuto na dubini 1964,8 m u Prečec formaciji te spomenuta pretpostavka bušenjem nije potvrđena.

3.3.1. Geološko-geofizički radovi

U duboko istražnoj bušotini Lup-2 provedena su pet karotažna mjerenja koja su se sastojala od: konvencionalne karotaže, mikrokalipera, devijacije, promjera, laterologa, mjerenja gama-neutrona, induktivne karotaže, vađenja bočnih jezgara, spuštanja geofona radi mjerenja brzine i kontinuiranog mjerenja pada sloja. Bušotina je završena u miocenskim konglomeratičnim pješčenjacima uz najveću izmjerenu temperaturu od 84 °C. Rezultati mjerenja ukazuju kako su izmjereni intervali zavodnjeni i bez prisutnosti nafte. Mjerenjem pandažmetrom na intervalu 1830-1475 m dobiveni su padovi slojeva koji se kreću između 25-50° u azimutu 220-250°. Poroznost iznosi 8-35 %, a propusnost 1,72 mD-a.

Također je izvršeno mjerenje brzine širenja elastičnih valova. Za potrebe mjerenja izbušeno je 14 seizmičkih bušotina na udaljenosti 150-200 m od bušotine Lup-2. Mjerenja su vršena na 7 stajališta koja su odabrana na temelju litoloških presjeka i EK dijagrama, a to su: 743, 1015, 1202, 1374, 1478, 1695 i 1822 m. Vršena su dva opažanja na svakom stajalištu, jednom prilikom spuštanja, a drugo prilikom izvlačenja geofona radi točnijeg i preciznijeg mjerenja. U prvom mjernom intervalu (do 743 m) izmjerena je relativno mala brzina od 2,047 m/s. U daljna tri intervala (743 – 1015 – 1202 – 1374 m) dolaze relativno laporovite stijene i brzina iznosi 3,000 m/s. U tri najdublja intervala (1374 – 1478 – 1695 – 1822 m) pojavljuju se vapneno laporovite stijene te je brzina 4,000 m/s. U zadnjem intervalu (od 1822 m) brzina se pomalo smanjuje zbog pojave glinovitog lapora.

3.4. Bušotina Lupoglav-3 (Jet Drilling)

Koordinate bušotine Lup-3 su:

$$Y = 5\ 605\ 610$$

$$X = 5\ 071\ 670$$

$$h = 106\ \text{m}$$

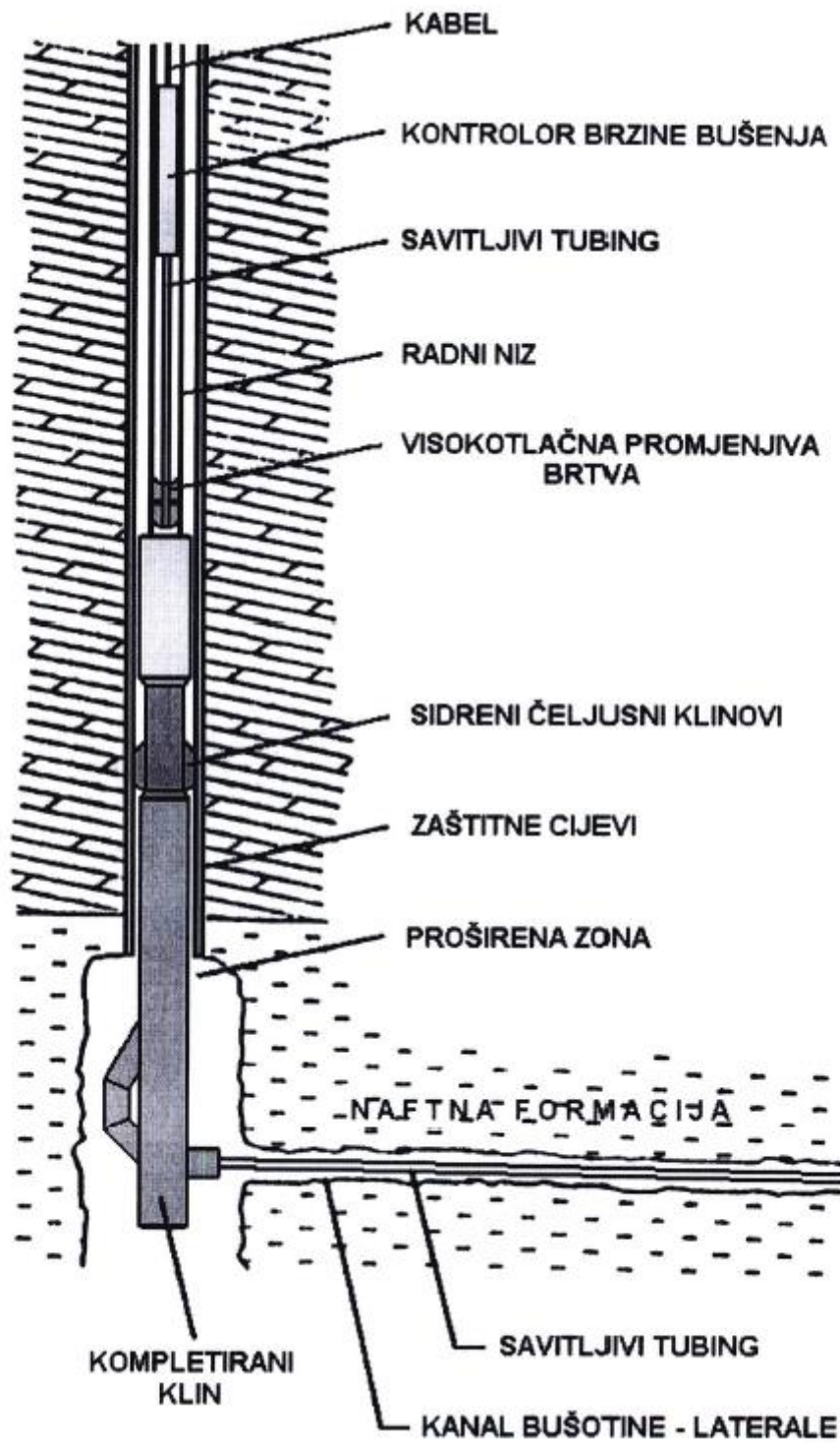
Lokacija duboke istražne bušotine Lup-3 nalazi se kod sela Lupoglav, na udaljenosti od 900 metara jugoistočno i od duboke istražne bušotine Lup-2 udaljena je 700 metara sjeveroistočno. Zadatak bušotine Lup-3 bio je da probuši i ispita kompletan profil tercijarnih naslaga i nabuši znatan dio njihove podloge. Također poseban zadatak bio je da utvrdi i ispita eventualno prisustvo ugljikovodika u pješćanim članovima produktivnog kompleksa u Savskoj potolini kao i u njihovoj podlozi. Utvrđivanjem zasićenja ugljikovodicima u naslagama Iva pješćenjaka i u Lupoglav članu, bušotina Lup-3 postaje prva bušotina na lokalitetu Lupoglav, koja je utvrdila industrijske rezerve ugljikovodika. Bušotina Lup-3 je upotpunosti ispunila svoj zadatak, koji je bio postavljen geološkom osnovom. Maksimalna dubina je 2120,5 metara, a maksimalna temperatura iznosi 93 °C. Propusnost na intervalu 1245,2 – 1260 m. iznosi 20,303 mD, a poroznost je 5-28 %.

3.4.1. DST ispitivanja bušotine Lup-3

Na bušotini su izvedene tri operacije metodom DST-a. Prvi ispitivani interval izveden je u kompleksu G. Šarampovskih lapora na dubini 1146,4-1177 metara te ispitivanje nije uspjelo zbog slabo propusnih intervala G. Šarampovskih lapora. Drugo ispitivanje DST-a izvedeno je u krovinskom dijelu Iva pješćenjaka na intervalu 1245,2-1260 m. Navedeno ispitivanje je potvrdilo veliku zasićenost ugljikovodicima tako da je u bušaće šipke ušlo 300 l isplake, 500 l emulzije isplake nafte i 2000 l čiste nafte, iz koje se izdvajao plin. Prisutnost ugljikovodika su potvrdile i dvije mehaničke jezgre koje su vađene u navedenom intervalu. Treće ispitivanje DST-a izvedeno je u krovini Prečec formacije na intervalu 1514,78-1531 m i dobiveno je 410 l isplake. Ispitivanjem je zahvaćen gornji dio jedinice, koji je uglavnom nepropustan.

3.4.2. Konstrukcija bušotine Lup-3

Uvodna kolona (13 3/8") postavljena je do 75,48 metara i zacementirana je do ušća, tehnička kolona (9 5/8") postavljena je na 809 metara i zacementirana je do ušća, proizvodna kolona (5 1/2") postavljena je do 1520 metara i cementni čep se nalazi u koloni na 1499,7 metara. Otvoreni interval je 1520-2120,5 metara.



Slika 3-4. Tehnologija izrade vodoravnih bušotina primjenom Jet-Drilling (AZU, 2003)

3.5. Bušotina Lupoglav-4 (Alfa)

Koordinate bušotine Lup-4 α su:

$$Y = 5\ 605\ 833,03$$

$$X = 5\ 071\ 094,39$$

$$h = 104,93\ \text{m}$$

Bušotina Lup-4 locirana je 1400 metara jugoistočno od sela Lupoglav, a 400 metara istočno od asfaltne ceste Lupoglav-Prečec. Od bušotine Lup-3 udaljena je 600 metara južno dok je od bušotine Lup-2 udaljena 570 metara istočno. Zadatak bušotine Lup-4 bio je bušenje i ispitivanje profila tercijskih naslaga do uključivši izvjesnog dijela Prečec formacije odnosno da nabuši Kusanovec član spomenute formacije. Također je zadatak bio da se ispita i utvrdi prisutnost ugljikovodika u spomenutom dijelu strukture, utvrđenih na bušotini Lup-3. Za vrijeme testiranja intervala 1288,7-1298,8 m došlo je do zaglave alatki, zbog čega su u bušotini ostala dva pakera, perforirana cijev između njih, pas teških šipki i peta koja je služila kao oslonac. Do zaglave alatki je došlo uslijed zarušavanja pješčenjaka u prostoru između dva pakera. Nakon neuspjelog vađenja alatki odlučeno je da se bušenje nastavi zasjecanjem novog kanala bušotine uz prethodno postavljenog cementnog čepa na dubini od 1183-1283 m. Novi kanal je označen kao Lup-4 α te je bušen do konačne dubine od 1650 metara gdje je maksimalna temperatura 72,2 °C.

3.5.1. DST ispitivanje bušotine Lup-4 α

DST metodom ispitan je krovinski dio Iva pješčenjaka, Ivanić Grad formacije, na dubini 1288,7-1298,8 m radi prethodno dobivenih rezultata iz bušotine Lup-3. Postignuti su zadovoljavajući rezultati, ali s gorkim okusom, radi zaglave testera koja je uslijedila za vrijeme samog testiranja. Radi toga nije bilo moguće točno procijeniti količinu pridobivene nafte, pa je račun slojnih karakteristika načinjen uz primjenu veličine 3000 litara nafte za 70 minuta. Ispitivani kolektor, nosioc nafte, karakteriziran je relativno dobrom propusnošću od 222,2 mD i poroznošću od 3 %.

3.6. Bušotina Lupoglav-5 (Alfa)

Koordinate bušotine Lup-5 α su:

$$Y = 5\ 605\ 150$$

$$X = 5\ 072\ 080$$

$$h = 105\ \text{m}$$

Bušotina Lup-5 izrađena je 220 metara jugoistočno od sela Lupoglav, smještena je s istočne strane ceste Lupoglav-Prečec te 600 metara sjeverozapadno od bušotine Lup-3. Cilj duboke istražne bušotine Lup-5 bio je probušiti i ispitati profil tercijarnih naslaga do uključivo izvjesnog dijela krovine Andrilovec člana Prečec formacije, također je bio cilj utvrditi prisutnost ugljikovodika koji su utvrđeni bušotinama Lup-3 i Lup-4. Pojave ugljikovodika su registrirane u malim količinama unutar Poljana i Iva pješčenjaka.

3.6.1. DST ispitivanje bušotine Lup-5 α

U bušotini Lup-5 provedeno je jedno DST ispitivanje u intervalu 1340,7-1365 m, taj interval zahvaća srednji dio člana Iva pješčenjaka. Ispitani interval ima malu propusnost od 2,5 mD, ali proizvodnost tih slojeva je vrlo slaba. Tokom ispitivanja dobiveno je 1000 litara isplake i 2200 litara slane vode maksimalnog saliniteta 25,97 g/l NaCl. Maksimalna temperatura iznosi 71 °C, poroznost 30-34 % te propusnost 432-829 mD za navedeni interval.

3.6.2. Konstrukcija bušotine Lup-5 α

Uvodna kolona (13 3/8") ugrađena do 93,17 m i zacementirana do ušća. Tehnička kolona (12 1/4") ugrađena do 612 m i zacementirana do ušća. Postavljena su dva cementna čepa na intervalima 1325-1225 m i 650-580 m.

3.7. Bušotina Lupoglav-6

Koordinate bušotine Lup-6 su:

$$Y = 5\ 605\ 120$$

$$X = 5\ 071\ 700$$

$$h = 105\ \text{m}$$

Duboka istražna bušotina Lup-6 nalazi se jugoistočno od sela Lupoglav, uz asfaltnu cestu Lupoglav-Prečec. Od bušotine Lup-3 udaljena je 500 metara zapadno, a od bušotine Lup-2 500 metara sjeverno. Cilj bušotine Lup-6 bio je da probuši i ispita naslage Iva pješčenjaka, Ivanić Grad formacije, i da utvrdi da li su prisutni ugljikovodici. Prilikom analize uzoraka nije utvrđena prisutnost ugljikovodika te je bušotina Lup-6 likvidirana kao negativna.

3.7.1. Geološko-geofizički radovi

Elektrokarotažna mjerenja vršena su u dva navrata, i to za ugradnju tehničke kolone i završna karotažna mjerenja do konačne dubine od 1405 metara. Elektrokarotažna mjerenja potvrdila su podatke dobivene geološkim praćenjem bušotine, odnosno negativnost duboke istražne bušotine Lup-6. Programom mehaničkog jezgrovanja bilo je predviđeno da se

jezgruju 4 intervala no zbog negativnosti bušotine odlučilo se da neće biti jezgrovanja. Maksimalna temperatura na dnu bušotine je 67°C.

3.8. Bušotina Lupoglav-7 Alfa

Koordinate bušotine Lup-7 su:

$$Y = 5\ 604\ 550$$

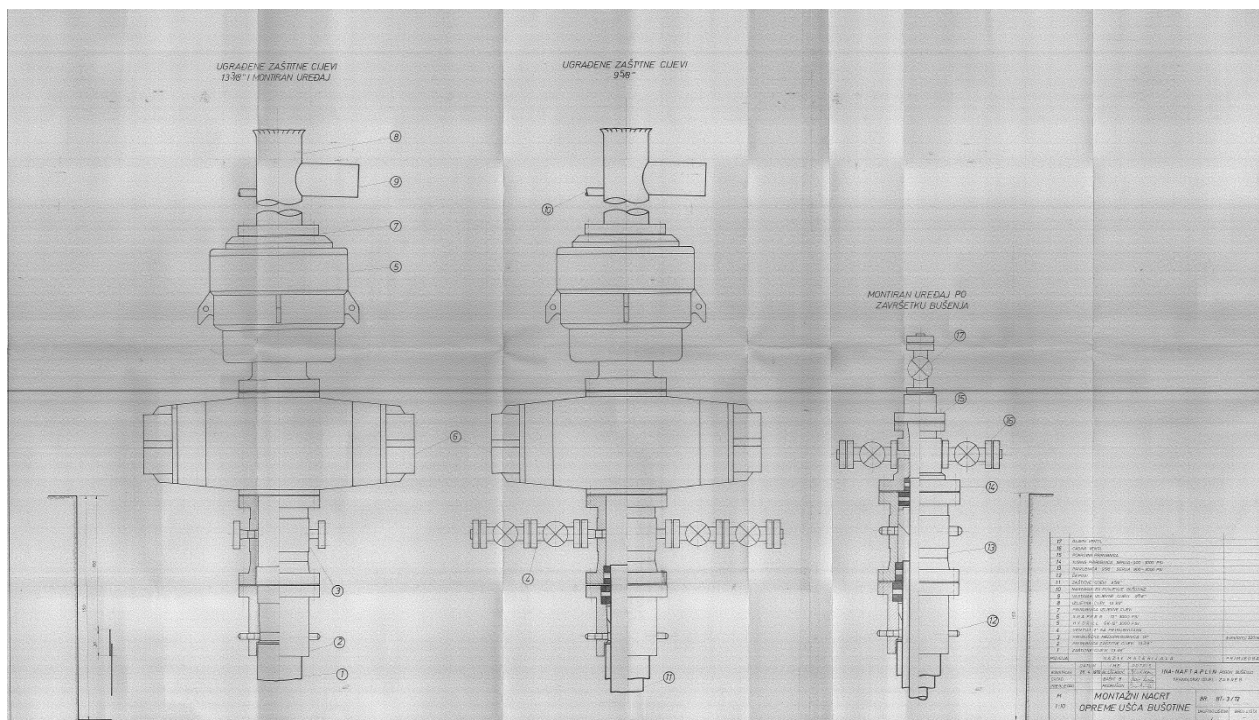
$$X = 5\ 072\ 950$$

$$h = 107\ \text{m}$$

Bušotina Lup-7 čiji je kanal ujedno korišten i za bušotinu Lup-7 α nalazi se gotovo u samom središtu sela Lupoglav, udaljena 650 metara od bušotine Lup-1 i 1100 metara od bušotine Lup-5. Zadatak bušotine Lup-7 bio je da probuši i ispita profil tercijarnih naslaga do Prečec formacije te da utvrdi eventualno prisustvo ugljikovodika. Kako se nisu utvrdila prisutstva ugljikovodika u bušotini Lup-7, odlučeno je da se bušotina orijentira. Skretanje kanala izvršeno je na dubini 837 metara, a na dubini 1450 metara postignuta je devijacija od 276,5 metara u srednjem azimutu 12°46'. Skretanje bušotine izvršeno je s namjerom, kako bi se Okoli i Iva pješčenjaci zahvatili na strukturno višem dijelu. Konačna dubina bušotine Lup-7 prema EK dijagramu je 1840 m i tu je temperatura iznosila 84 °C, a konačna dubina bušotine Lup-7 α prema EK dijagramu je 1615 m i temperatura je 69 °C. Poroznost bušotine Lup-7 α je 19-22 %, a propusnost je 22,6-43,1 mD.

3.8.1. DST ispitivanje bušotine Lup-7

Prilikom bušenja bušotine Lup-7 izvedeno je samo jedno ispitivanje DST metodom, radi dobivanja podataka o stanju i sadržaju kolektora u Okoli pješčenjacima, Ivanić Grad formacije. Ispitivanje je izvedeno na nezacijevljenom intervalu 1378,6-1384 m. Ispitivanjem je dobiveno 150 litara isplake s tragovima nafte, koja je bila slabo zaplinjena. Korelirajući ovu bušotinu sa susjednom bušotinom Lup-1, kojom su ispitane naslage istog bloka, a kojom su utvrđeni samo tragovi ugljikovodika, na Lup-7 konstatirano je nešto dublje zalijeganje naslaga Okoli pješčenjaka. Zbog prisutnosti ugljikovodika u tragovima bušotina Lup-7 je likvidirana kao negativna.



Slika 3-5. Montažni nacrt ušća bušotine Lup-7 (AZU, 1972)

3.9. Bušotina Lupoglav-8

Koordinate bušotine Lup-8 su:

$$Y = 5\ 605\ 796,81$$

$$X = 5\ 070\ 441,93$$

$$h = 104,53\ \text{m}$$

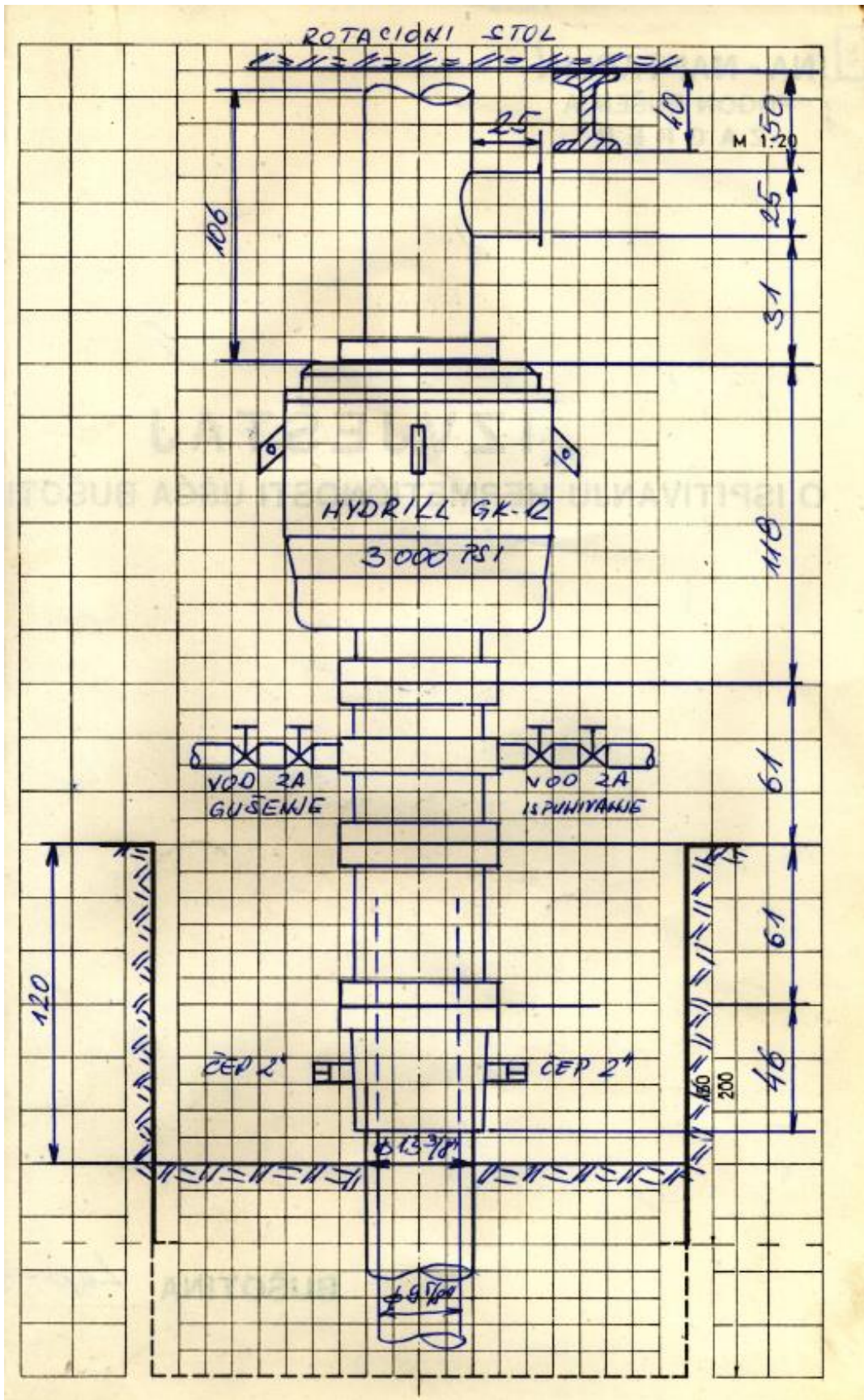
Bušotina Lup-8 nalazi se između sela Lupoglav i Prečec, a najbliža bušotina je Lup-4 koja je udaljena 600 metara sjeverno. Zadatak bušotine bio je da probuši i ispita kompletan profil tercijarnih naslaga i nabuši njihovu podlogu te da potvrdi prisutnost ugljikovodika u bloku III koji su ranije potvrđeni u bloku II. Najveća dubina prema EK dijagramu iznosi 2099 metara, a temperatura na toj dubini je 91 °C.

3.9.1. DST ispitivanje bušotine Lup-8

Tokom bušenja bušotine Lup-8 izvedena su 4 ispitivanja DST metodom. Prvo ispitivanje izvedeno je na intervalu 1479-1502,4 m gdje se nalaze Iva pješčenjaci. Ispitivanje je trajalo 44 minute i za to vrijeme dobiveno je 500 litara zapljinjene isplake i 3700 litara slane vode, iz koje se izdvajala izvjesna količina plina. Drugo ispitivanje izvedeno je na dubini 1621,44-1640 m, tu su ispitani sedimenti krovinskog dijela Prkos formacije. Ispitivanje je trajalo 49 minuta te je dobiveno 600 litara isplake emulgirane naftom i 200 litara nafte. Treće DST ispitivanje izvedeno je na intervalu 1718,7-1734,5 m, a ispitani su se sedimenti najnižeg dijela Prkos formacije. Ispitani sedimenti nisu u stanju proizvoditi ugljikovodike zbog nedovoljne slojne energije. Posljednje DST ispitivanje na dubini 1918-1927 m nije tehnički uspjelo zbog propuštanja postavljenog cementnog mosta te je kolektor konglomeratičnog pješčenjaka ostao neispitan. Dobivena je poroznost koja iznosi 17-27 % dok je propusnost 4,03 mD.

3.9.2. Konstrukcija bušotine Lup-8

Uvodna kolona (13 3/8") ugrađena je do 80 m i zacementirana do vrha, tehnička kolona (9 5/8") ugrađena je do 835 m i zacementirana do vrha, i proizvodna kolona (5 1/2") ugrađena je do 2200 m i zacementirana do vrha.



Slika 3-6. Konstrukcija bušotine Lup-8 (AZU, 1972)

3.10. Bušotina Lupoglav-9 Beta

Koordinate bušotine Lup-9 su:

$$Y = 5\ 605\ 744,52$$

$$X = 5\ 071\ 633,25$$

$$h = 104,61\text{ m}$$

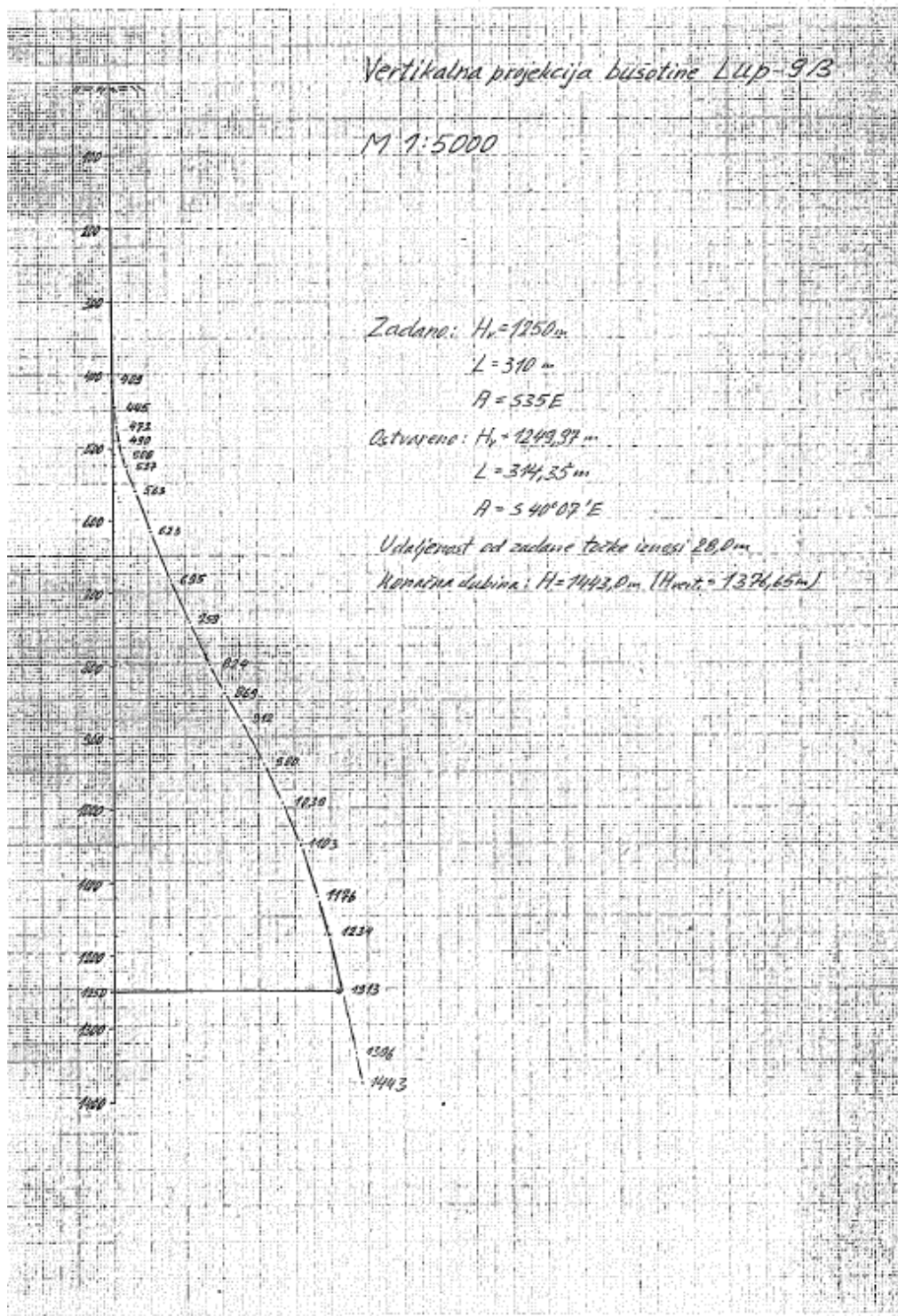
Bušotina Lup-9 prva je proizvodna bušotina na polju Lupoglav, nakon što je polje predano Službi proizvodnje na razradu. Bušotina se nalazi se u blizini asfaltne ceste Lupoglav-Prečec te neposredno pored bušotine Lup-3 i Lup-10. Bušotina Lup-9 bušena je usmjereno prema istoku, kako bi se ispitao istočni, rasjedom spuštenu blok strukture i kako bi potvrdila eventualno prisutstvo ugljikovodika u „gama“ seriji. Ostvareni elementi skretanja bili su: $H = 1300,24\text{ m}$, $L = 588,43\text{ m}$ i $A = 95^{\circ}04'$. Bušotinom Lup-9 probušene su naslage kvartara, levantijskog i dacijskog kata, gornjeg i donjeg pontata te je bušenje obustavljeno u naslagama gornjeg panona na konačnoj dubini 1631 m, a maksimalna temperatura je $71,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bušotina nije u potpunosti ispunila zadatak, jer su predviđena ležišta „gama“ serije, zalaporena pa je zbog toga odlučeno da se iz njenog kanala izbuši nova usmjerena bušotina Lup-9 α .

Skretanje kanala bušotine Lup-9 α počelo je na dubini 243 m s elementima skretanja: $H = 1250,27\text{ m}$, $L = 279,87\text{ m}$ i $A = 94^{\circ}25'$. Bušotinom su probušene naslage kvartara, levantijskog i dacijskog kata, gornjeg i donjeg pontata i bušenje je obustavljeno u naslagama gornjeg panona na konačnoj dubini 1578 m, a temperatura je $72,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bušotina nije ispunila zadatak, pošto je „gama“ serija nabušena u zalaporenim dijelima kao i bušotina Lup-9. Bušotina je likvidirana kao negativna te se postupilo polaganju čepova i ponovnom skretanju kanala bušotine prema jugoistoku.

Skretanje kanala nove bušotine Lup-9 β počelo je na dubini od 409 m. s ostvarenim elementima skretanja: $H = 1249,97\text{ m}$, $L = 314,35\text{ m}$ i $A = 139^{\circ}53'$. Bušotinom Lup-9 β probušene su naslage kvartara, levantijskog i dacijskog kata, gornjeg i donjeg pontata i dio gornjeg panona. Bušotina je ispunila zadatak probušivši „gama“ seriju na intervalu 1329,5-1320,9 m kojom je nakon ispitivanja dobiveno 800 litara zapljinjene nafte i 200 litara isplake. Bušotina je zacijevljena proizvodnom kolonom (5 1/2") do 1427,35 metara. U novoj bušotini Lup-9 β poroznost je 9-28 %, a propusnost iznosi 4-57 mD.

3.10.1. Konstrukcija bušotine Lup-9β

Uvodna kolona (9 5/8") ugrađena je do 192 m i zacementirana do vrha, proizvodna kolona (5 1/2") ugrađena je do 1427,35 m i zacementirana do vrha. Vrh cementa koloni je na 1408,35 m.



Slika 3-7. Vertikalna projekcija bušotine Lup-9β (AZU, 1985)

3.11. Bušotina Lupoglav-10 Alfa

Koordinate bušotine Lup-10 su:

$$Y = 5\ 605\ 745,61$$

$$X = 5\ 071\ 628,32$$

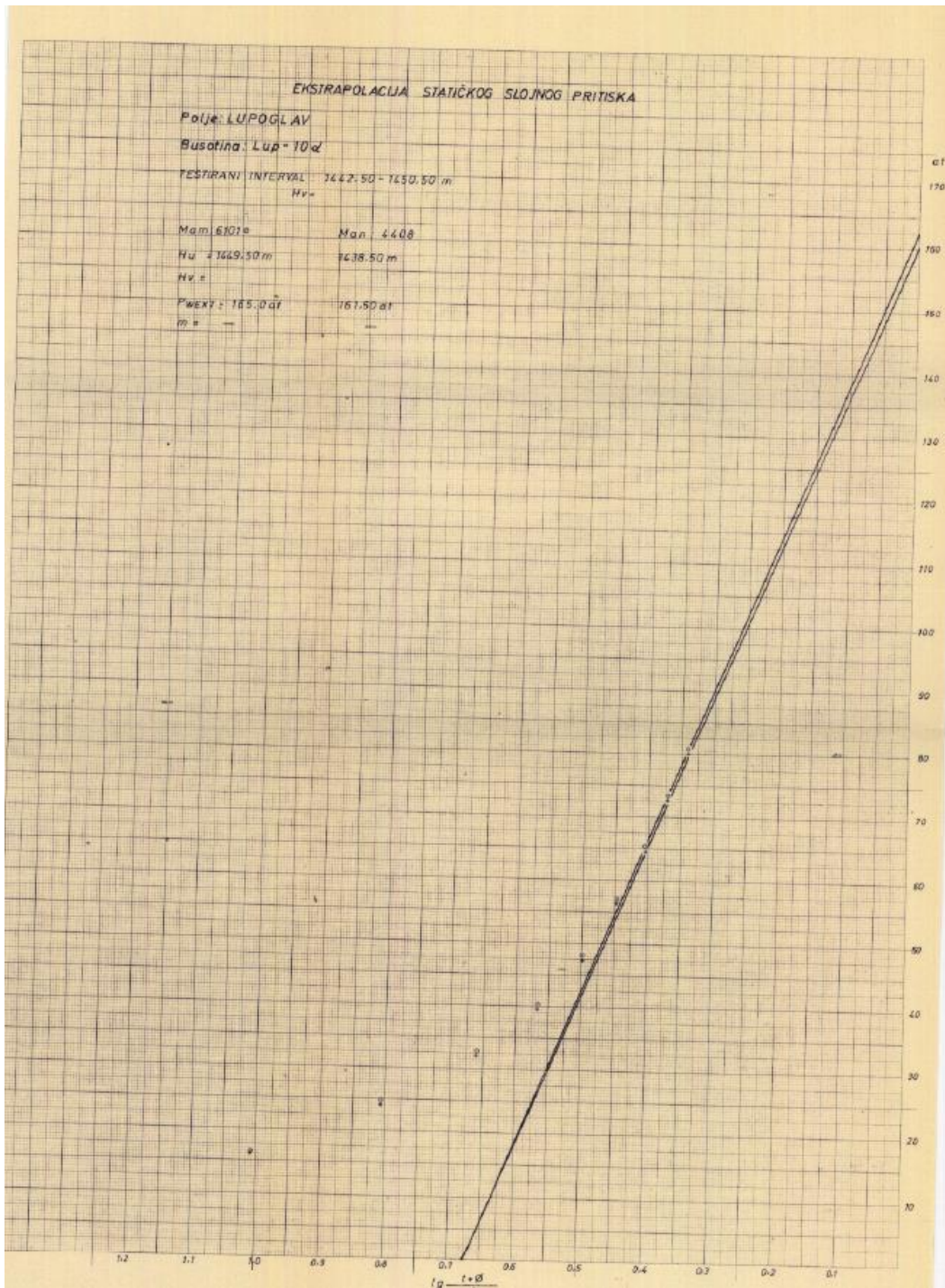
$$h = 104,61\text{ m}$$

Proizvodna bušotina Lup-10 je locirana neposredno uz bušotinu Lup-3, na zajedničkoj platformi s bušotinama Lup-9, Lup-9 α i Lup-9 β . Bušotina Lup-10 bušena je usmjereno u pravcu sjever-sjeveroistok i time se ispitao taj dio strukture, također je zadatak bio da se potvrdi prognozirano zasićenje ugljikovodicima u „gama“ seriji. Ostvareni elementi skretanja su: $H = 1249,99\text{ m}$, $L = 423,13\text{ m}$ i $A = 25^{\circ}30'$. Probušene su naslage kvartara, levantijskog i dacijskog kata, gornjeg i donjeg pontaa i bušenje je obustavljeno u naslagama gornjeg panona. Konačna dubina prema EK dijagramu iznosi 1608 m, a maksimalna temperatura 58,3 °C. Pristupilo se novom usmjeravanju kanala bušotine zbog toga što je ležište „gama“ serije zalaporeno.

Elementi skretanja nove usmjerene bušotine su: $H = 1275,61\text{ m}$, $L = 643,65\text{ m}$ i $A = 143^{\circ}42'$. Skretanje kanala bušotine počelo je na dubini 237 metara te su probušene naslage kvartara, levantijskog i dacijskog kata, gornjeg i donjeg pontaa. Bušenje je obustavljeno u gornjem panonu na dubini 1580 m, a maksimalna temperatura je 54,4 °C. Bušotina je u potpunosti ispunila zadatak probušivši prognozirana ležišta „gama“ serije u povoljnom zasićenju naftom. Raspon propusnosti iznosi 0,2-51 mD, poroznost je 18-26 % dok je efektivna debljina pješčenjaka samo 0,4 metra.

3.11.1. DST ispitivanje bušotine Lup-10 α

Izvršena su dva ispitivanja DST metodom. Prvo ispitivanje izvršeno je na intervalu 1442,5-1450,5 m. Plin se pojavio na površini 35 minuta nakon početka ispitivanja u malim, nemjerljivim količinama. U bušaćim šipkama dobiveno je 300 litara isplake s jačim tragovima nafte. Vršena je ekstrapolacija porasta statičkog slojnog pritiska, te je dobiven 161,5 at. Drugo ispitivanje izvršeno je na dubini 1484-1476 m, tu se plin pojavio na površini 10 minuta nakon početka ispitivanja, a u bušaćim šipkama je dobiveno 600 litara nafte i 400 litara emulzije ispaka – nafta, za 60 minuta protoka.



Slika 3-8. Grafička ekstrapolacija statičkog slojnog tlaka DST-1 bušotine Lup-10 (AZU, 1979)

3.11.2. Konstrukcija bušotine Lup-10 α

Uvodna kolona (9 5/8") ugrađena do 193,8 m i zacementirana do ušća. Proizvodna kolona (5 1/2") ugrađena do 1535 m i zacementirana do 300 m.

Otvoreni intervali u ležištu „gama 6“ su: 1500-1497 m

1494-1492 m

1491-1487,5 m.

Otvoreni intervali u ležištu „gama 5“ su: 1484-1481,5 m

1480,5-1479,5 m

1479-1475 m.

3.12. Bušotina Lup-11

Koordinate bušotine Lup-11 su:

Y = 5 606 409,89

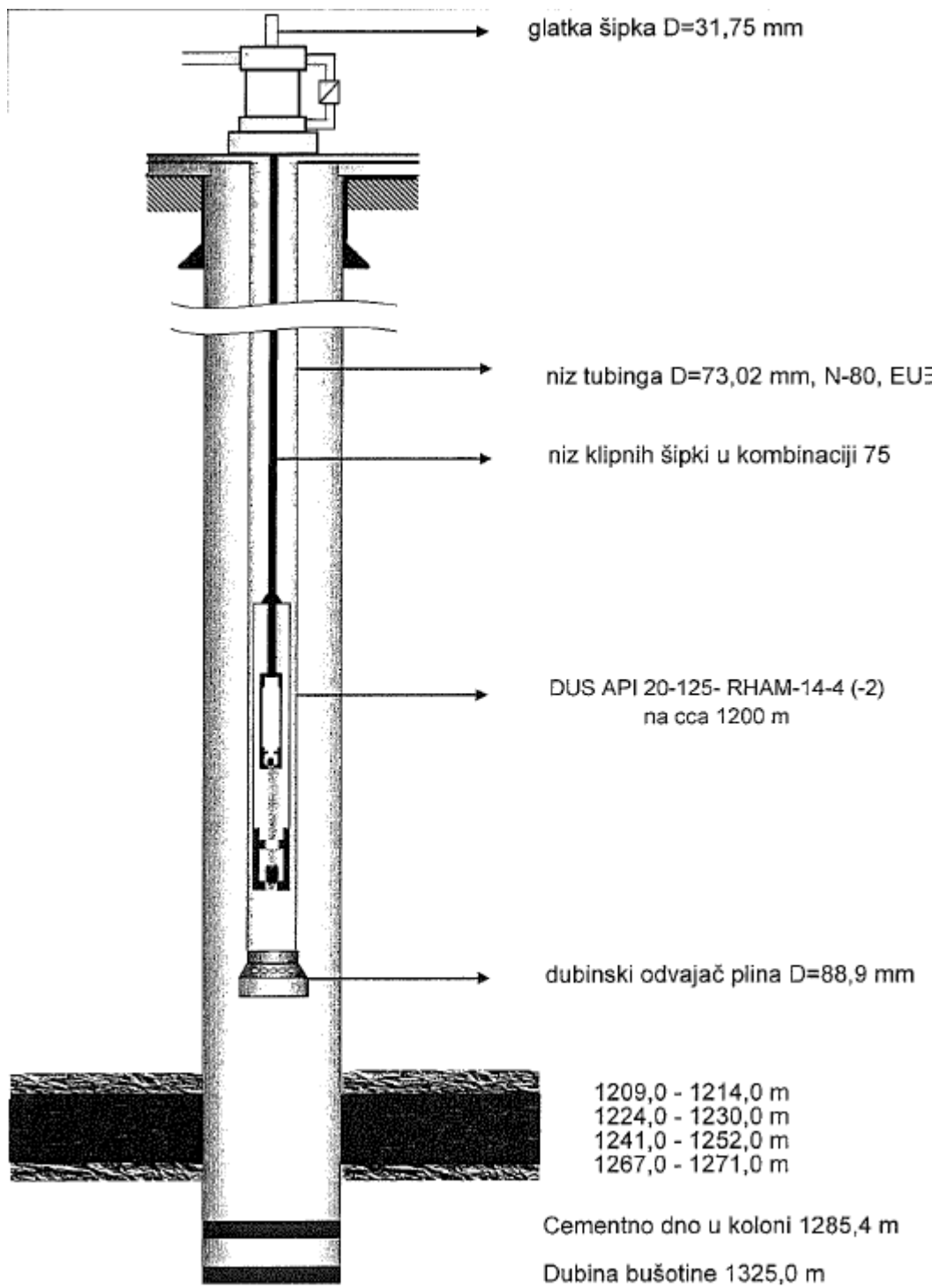
X = 5 071 042,41

h = 104,97 m

Bušotina Lup-11 locirana je na osnovu podataka dobivenih bušenjem bušotine Lup-10α i to na osnovu povoljnih rezultata ispitivanja ležišta „gama 5“. Tako je bušotina Lup-11 udaljena 650 metara istočno od bušotine Lup-4, 820 metara sjeveroistočno od Lup-8 i 850 metara jugoistočno od ušća bušotine Lup-10α. Bušotinom Lup-11 probušene su naslage kvartara, levantijskog i dacijskog kata, gornjeg i donjeg ponta i dijela gornjeg panona. Probušena je „gama“ serija u povoljnom zasićenju naftom i time je ispunila svoj zadatak. Konačna dubina bušotine prema EK dijagramu je 1329 metara i temperatura iznosi 60 °C. Ispitivanjem intervala 1242-1268 m zagvaćena su ležišta „gama 5“ i „gama 6“ koji su zasićeni naftom. Prilikom ispitivanja dobiveno je 200 litara nafte i 400 litara isplake.

3.12.1. Konstrukcija bušotine Lup-11

Uvodna kolona (9 5/8") ugrađena do 272,8 m i zacementirana do ušća. Proizvodna kolona (5 1/2") ugrađena do 1303 m i zacementirana. Vrh cementa u koloni je na 1285,36 m.



Slika 3-9. Podzemna oprema bušotine Lup-11 (AZU, 1998)

4. MOGUĆNOST PRIDOBIVANJA GEOTERMALNE ENERGIJE NA POLJU LUPOGLAV NAKON ZAVRŠETKA EKSPLOATACIJE NAFTE I PLINA

Naftno polje Lupoglav, koje se trenutno eksploatira, ima potencijal za daljnju upotrebu kroz eksploataciju geotermalne energije nakon završetka crpljenja nafte i plina. Pregledom bušotinske dokumentacije u Agenciji za ugljikovodike (AZU) identificirani su geološki slojevi s povoljnim uvjetima za geotermalnu proizvodnju, ali bez pristupa detaljnim podacima o povijesti proizvodnje i kretanjima ležišnog tlaka zbog trenutne eksploatacije, napravljena je samo inicijalna procjena na temelju dostupnih podataka. Bušotine na polju Lupoglav prolaze kroz nekoliko geoloških formacija, od kojih su najznačajnije pješčenjačke serije zasićene vodom. Proračuni temeljeni na postojećim istraživanjima pokazuju da postoji relativno stabilan gradijent temperature od oko $4,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, što rezultira temperaturama od 90 do 110°C na dubinama između 1800 i 2200 metara. Ove temperature su pogodne za korištenje geotermalne energije, posebno za toplifikaciju ili u industrijskim procesima. Na osnovu provedenih DST ispitivanja u bušotinama, utvrđeno je da pješčenjačke gama serije imaju propusnost u rasponu od 14 do 50 milidarcyja (mD), što ukazuje na umjerenu do nisku propusnost karakterističnu za pješčenjake. Dodatne analize jezgra i geofizička mjerenja pokazale su da je prosječna poroznost ovih pješčenjačkih slojeva 21% . Većina bušotina na polju Lupoglav opremljena je standardnom tehničkom kolonom promjera $9\ 5/8''$, no također su prisutne i proizvodne kolone promjera $5\ 1/2''$, koje bi u slučaju geotermalne eksploatacije predstavljale izazov zbog hidrauličkih gubitaka uslijed trenja prilikom prolaska većih količina geotermalne vode. S obzirom na to, revitalizacija polja za geotermalnu upotrebu zahtijevala bi modifikacije postojećih bušotina, uključujući uklanjanje proizvodnih kolona na određenim dubinama kako bi se omogućio nesmetan protok geotermalne vode.

Kada geotermalna voda struji od ležišta do površine, dolazi do prijenosa toplinske energije u okolne stijene, zbog čega temperatura vode na površini nije ista kao u ležištu. Naime, prilikom prolaska fluida kroz bušotinu dolazi do prijenosa topline iz fluida prema stijenama zbog temperaturne razlike između njih. Također, ako fluid sadrži značajne količine otopljenih plinova, može doći do dodatnog pothlađivanja tekućine uslijed ekspanzije plinova, jer pritisak opada kako se fluid približava površini.

U naftnom rudarstvu, gubitak topline tokom proizvodnje fluida iz bušotine obično se izračunava prema Ramey-evom modelu (1962), koji opisuje distribuciju temperature u bušotini i prijenos topline iz fluida prema okolnim stijenama. Ovaj model polazi od pretpostavke da fluid zadržava početnu temperaturu, te analizira gubitak topline tokom

beskonačnog protjecanja fluida. U slučaju geotermalnih bušotina, potrebno je uzeti u obzir vremenski ograničeno strujanje fluida i izračunati gubitak topline u skladu s karakteristikama fluida i brzinom protjecanja.

Kod izračuna ukupnog koeficijenta prijenosa topline, postoje tri ključne smjernice. Toplinska otpornost cijevi ili zaštitnih kolona (casing) se često zanemaruje, jer čelik ima veću toplinsku vodljivost u odnosu na druge materijale u bušotini, kao i u odnosu na stijene. Otpornost prijenosa topline tekuće vode ili pare također je često zanemariva zbog visokih koeficijenata prijenosa topline, što rezultira malim otporom. Modeli koji se koriste za izračun temperature fluida u cijevima pretpostavljaju da se fizička i toplinska svojstva stijene i fluida ne mijenjaju sa promjenom temperature, da se toplina prenosi radijalno prema stijenskoj formaciji i da je prijenos topline u bušotini brži nego u stijenama, što omogućava da se smatra ustaljenim procesom.

Geotermalna energija je održiva energija u određenim granicama za svaki slučaj zasebno i može se nazvati obnovljivom samo u za to povoljnim geološkim strukturama. Održivost se postiže kada za resurs u eksploataciji, unutar zadanih granica, postoji mogućnost očuvanja i obnavljanja njegovog znatnog dijela za daljnju upotrebu u budućnosti. Obnovljivost nasuprot, objašnjava se sposobnošću svojstvenoj samo prirodnim resursima, koja isključivo ovisi o kontinuiranim prirodnim procesima kao što je generirani toplinski tok iz zemljine unutrašnjosti koji djeluje regenerativno na pothlađeni dio stijenske mase. Stoga, omjer proizvodnje i obnovljivosti u određenom razdoblju, trebao bi biti jednak prirodnom procesu regeneracije početnih rezervi geotermalnog ležišta, pa se samo tada može govoriti o potpunoj održivosti proizvodnje. Omjer održivost/obnovljivost u kontekstu geotermalne energije ovisi o temperaturnim granicama, procesu prijenosa topline u ležištu (kondukcija, konvekcija, subdukcija, advekcija), vrsti resursa, rezervama i vremenskom faktoru, tehnologiji pridobivanja, vrsti (para, voda, mješavina) i kemizmu fluida, načinu reinjektiranja, vremenu obnovljivosti i slično. Može se pretpostaviti da omjer ukupne energije geotermalnoga ležišta i ukupno vrijeme eksploatacije ima najvišu vrijednost pri maloj proizvodnji. Također, iskustveno, za 30-godišnje razdoblje izotermne proizvodnje potrebno je održavati razmak između proizvodnih i utisnih bušotina od 1500 – 2000m.

Još jedan od problema je što u propusnim slojevima vladaju normalni tlakovi koji su vrlo blizu hidrostatskih tlakova pa je eruptivan način proizvodnje skoro pa nemoguć osim ako u dubljim dijelovima koji nisu testirani postoje značajnije količine otopljenog plina, pa je moguća eruptivna proizvodnja uslijed efekta gaslifta izdvajanjem prirodnog plina, no navedena proizvodna ispitivanja nisu odrađena. Time bi se dobila snažnija eruptivna

proizvodnja. U ovakvim slučajevima podrazumijeva se korištenje potopnih proizvodnih pumpi visokog radnog kapaciteta za dobivanje značajnijih proizvodnih količina. Osnovni tehnoekonomski kriterij projektiranja proizvodno-utisnih geotermalnih parova bušotina jest dimenzioniranje veličine protoka u funkciji dinamičke potenciometrijske površine u bušotini i potrošnje električne energije pumpe. Ako su proizvodni slojevi niske propusnosti potrebno je ostvariti veliku depresiju tlaka na dnu bušotine kako bi se proizvodile značajnije količine geotermalnog fluida. Ovo je mjera snage potopne pumpe i njezinog usisa, odnosno, što je veća proizvodnja fluida bit će i veća dubina dinamičke razine fluida u bušotini, a time i dublji smještaj potopne pumpe. Visina dizanja potopne pumpe diktira i snagu te potrošnju električne energije, no najbitnije i konstrukcijski rast vanjskog pomjera pumpe, gdje je unutrašnji promjer tehničke kolone ili proizvodne kolone faktor ograničenja.

Sama revitalizacija bušotine za geotermalnu energiju zahtijeva ispunjenje nekoliko ključnih uvjeta. Prvo, potrebno je provesti procjenu stanja bušotine, uključujući inspekciju opreme kao što su cijevi, pumpe i ventili, te analizu geoloških podataka kako bi se utvrdile karakteristike ležišta. Kvaliteta fluida također igra važnu ulogu; potrebno je provesti analizu kemijskog sastava geotermalne vode i testirati temperaturu kako bi se procijenio geotermalni potencijal. Tehnička oprema može zahtijevati zamjenu ili nadogradnju, a može se planirati i reinjektiranje ohlađene vode radi održavanja stabilnosti pritiska u ležištu. Osim tehničkih aspekata, važno je uzeti u obzir i ekološke i pravne aspekte, uključujući pripremu izvještaja o utjecaju na okoliš i pridržavanje zakonskih regulativa. Financijska procjena troškova revitalizacije i analiza isplativosti projekta također su ključne za osiguranje potrebnih sredstava. Razvoj operativnog plana i obuka osoblja za rad s novom opremom doprinose uspješnoj revitalizaciji. Nakon revitalizacije, potrebno je uspostaviti sustav za praćenje performansi bušotine i redovito izvještavati o njenom stanju.

Lup-1							Lup-1DU						
FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)	FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)
Ivanić-Grad formacija	Okoli pješčenjaka Iva pješčenjaci	1339-1512 1543-1781	173 238	68,2* 81,5*	37,2 15,8	19,2 15,2	Ivanić-Grad formacija	Ekv. Okoli pješčenjaka Iva pješčenjaci	1897-1903 1976-2195	6 219	- 78,9	- 7,27	- 14,1
Lup-2							Lup-3JD						
FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)	FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	K (mD)	Φ (%)
Ivanić-Grad formacija	Okoli pješčenjaci Iva pješčenjaci	1192-1218 1375-1487	26 112	58,8* 62	- 1,72	14,3 22	Ivanić-Grad formacija	Iva pješčenjaci	1247-1342	95	75	20,303	21,9
Lup-4a							Lup-5a						
FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)	FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)
Ivanić-Grad formacija	Iva pješčenjaci	1268-1348	80	61	95,25	25,9	Ivanić-Grad formacija	Iva pješčenjaci	1251-1385	134	64	2,504	23,4
Lup-6							Lup-7a						
FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)	FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)
Ivanić-Grad formacija	Iva pješčenjaci	1302-1405	103	67	-	-	Ivanić-Grad formacija	Iva pješčenjaci	1405-1534	129	75	32,9	20,5
Lup-8							Lup-9β						
FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)	FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)
Ivanić-Grad formacija	Iva pješčenjaci	1423-1582	159	63	4,028	25	Ivanić-Grad formacija	Gama ₁ Gama _{3,4,5,6}	1320-1328 1345-1386	8 41	68 68	20 39	23,5 25,7
Prkos formacija	-	1604-1737	133	72	-	-							
Lup-10a							Lup-11						
FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)	FORMACIJE	ČLANOVI	INTERVAL (m)	DEBLJINA INTERVALA (m)	TEMPERATURA (°C)	k (mD)	Φ (%)
Ivanić-Grad formacija	Gama _{2,3} Gama _{5,6,7}	1446-1458,5 1475-1509	12,5 34	78 79	1,75 5,85	20,1 22,7	Ivanić-Grad formacija	Gama ₂ Gama ₅ Gama ₆	1209-1215 1242-1251,5 1253-1273	6 9,5 20	64 64 64	- - -	- - -

Tablica 1-1. Zavodnjene članovi polja Lupoglav i njihovi parametri

U Tablici 1-1 prikazane su zavodnjene formacije polja Lupoglav i njihovi članovi, intervali odnosno dubine krovine i podine člana te njihovi parametri: temperatura, propusnost (k) i poroznost (Φ). Zavodnjene slojevi su ležišta „gama“ serije odnosno Iva pješčenjaci koji su omeđeni sa Šarampovskim laporima, poneki Okoli pješčenjaci i sloj Prkos formacije kao u bušotini Lup-8.

Zavodnjene intervale bušotine Lup-1 čine Okoli pješčenjaci koji su sastavljeni od sitnozrnato pješčenjaka, dok Iva pješčenjaci se sastoje od sitnozrnato vodenog pijeska i zalaporenog tinjčastog lapora. Temperature bušotine Lup-1 izračunate su pomoću temperaturnog gradijenta te je u Okoli pješčenjacima zamijećena srednja propusnost dok je u Iva pješčenjacima ona nešto manja. Intervali su zasićeni samo slojnom vodom.

Bušotina Lup-1Du je najzanimljivija bušotina na cijelom polju zbog svoje dubine (3181 metar) i njezinog raspona u temperaturi gdje je najveća temperatura zabilježena na samom dnu (120 °C). Od zavodjenih intervala tu dva proslojka sitnozrnato pješčenjaka koje predstavljaju ekvivalent Okoli pješčenjaka u sloju G. Šarampovskih lapora. Iva pješčenjaci se nalaze na puno dubljem položaju nego kao što je u drugim bušotinama te imaju relativno dobra kolektorska svojstva. Slojevi su zasićeni također samo slojnom vodom.

Bušotina Lup-2 također ima Okoli pješčenjake i Iva pješčenjake kao zavodnjene intervale. Okoli pješčenjaci su omeđeni G. Šarampovskim laporima na podini te EK-markerom Z' u krovini. Sastoji se od srednje tvrdog pjeskovito-tinjčastog lapora i sivog srednje vezanog pješčenjaka. Jedinica Iva pješčenjaka sastavljena je od srednje vezanih pješčenjaka, zalaporenih pješčenjaka i tvrdim vapnenim laporima. DST-metodom određena propusnost i poroznost za Iva pješčenjake. Intervali su zasićeni slojnom vodom.

Krovinski dio formacije Ivanić-Grad čine G. Šarampovski lapori koji su vrlo raspucani i zdrobljeni zbog potolinskog rasjeda, koji je bušotina Lup-3JD nabušila na 1140 metara. Kolektorskih parametara za ovaj interval nema zbog same zdrobljenosti lapora. Iva pješčenjake sačinjavaju srednje vezani pješčenjaci koji od ukupne debljine sloja čine 42 metra, dok ostalih 53 metra čine srednje tvrdi lapori. Na krovinskom dijelu pješčenjaka vađene su mehaničke jezgre iz kojih se može vidjeti da su pješčenjaci srednje do vrlo dobre poroznosti i slabe do srednje propusnosti. Slojevi su zasićeni naftom.

U bušotini Lup-4a debljina sloja kod Iva pješčenjaka je manja nego u prethodnim bušotinama, ovaj član je predstavljen uglavnom pješčenjacima s manjim proslojcima vapnovitih lapora. Fizikalnim analizama jezgre na intervalu 1322-1328 dobiveni su podaci o porozitetu i propusnosti gdje je utvrđeno da se propusnost kreće između 31,1 i 149,3

mildarcy-ja, a poroznost između 20,1 i 29,9 %. Intervali su zasićeni i naftom i vodom.

Iva pješčenjaci su upotpunosti probušeni u bušotini Lup-5 α s prividnom debljinom od 134 metra dok u bušotini Lup-5 nisu probušeni te im je prividna debljina 60 metara. Pješčenjaci su srednje do vrlo dobre poroznosti i srednje propusnosti. Svi slojevi su zasićeni samo slojnom vodom.

U bušotini Lup-6 bušenje je stalo u samom članu Iva pješčenjaka na dubini 1405 metara. Pješčenjaci su slabo vezani i sitnozrni, a lapori srednjjetvrđi do tvrdi s nešto debljim proslojcima pješčenjaka unutar samih lapora. Nema podataka o poroznosti i propusnosti samih slojeva no poznato je da su slojevi zasićeni slojnom vodom.

Bušenje je također obustavljeno u članu Iva pješčenjaka, u bušotini Lup-7 α gdje se pješčenjaci i lapori izmjenjuju s pojavom proslojaka lapora debljine 2-15 metara. Iz fizikalnih analiza mehaničke jezgre dobiveni su podaci o propusnosti, koja se kreće između 22,6 i 43,1 mildarcy-a, te o poroznosti 19-22 %. Članovi su zasićeni slojnom vodom.

Bušotina Lup-8 je jedina bušotina koja je probušila zasićeni interval u Prkos formaciji. Na osnovu prikupljenih testova, kao što su DST i jezgrovanje, zaključeno je da je u Prkos formaciji utvrđeno prisustvo ugljikovodika koji se nalaze pretežno u pukotinama raspucanih lapora te manjim udjelom u tankim proslojcima pješčenjaka. Kolektorska svojstva same Prkos formacije su veoma loša. Krovina Iva pješčenjaka čini sloj lapora debljine 50 metara te iza tih lapora pojavljuje se sloj pješčenjaka debljine 2 metra zatim opet se pojavljuje sloj lapora od 10 metara te su sve do podine opet pješčenjaci s proslojcima lapora. Pješčenjaci su slabih kolektorskih svojstva, pošto im je vrlo slaba propusnost. Prkos formacija je zasićena naftom dok su Iva pješčenjaci zasićeni slojnom vodom.

U bušotini Lup-9 β probušena su ležišta „gama“ serije gdje su ležišta „gama“₀ i „gama“₂ zalaporena, a ležište „gama“₇ je upotpunosti nepropusno. Ležište „gama“₁ se sastoji od srednje tvrdog do tvrdog lapora te od srednje vezanog kvarcnog tinjčastog pješčenjaka. Ležišta „gama“_{3,4,5,6} se sastoje od srednje tvrdog lapora, čvrsto vezanog zalaporenog pješčenjaka i slabo do srednje vezanog kvarcnog tinjčastog pješčenjaka. Navedena ležišta su zasićena naftom te imaju veoma dobra kolektorska svojstva.

Bušotina Lup-10 α također ima zalaporena ležišta kao što su: „gama“₀, „gama“₁, „gama“₄ i „gama“₈. Ležišta „gama“_{2,3} su načinjena od srednje tvrdog do tvrdog lapora te slabo do srednje vezanog kvarcnog tinjčastog pješčenjaka, koji djelomice prelazi u zalaporeni pješčenjak. Ležišta „gama“_{5,6,7} sastoje se od srednje tvrdog lapora, srednje do čvrsto vezanog zalaporenog pješčenjaka i slabo do srednje vezanog kvarcnog tinjčastog pješčenjaka, debljina sloja ovih ležišta je veća od ležišta „gama“_{2,3} kao što su i propusnost i

poroznost. Ležišta „gama“_{2,3,5,6} su zasićena naftom dok je ležišta „gama“₇ zasićeno slojnom vodom.

Ležišta u bušotini Lup-11 su velikim dijelom zalaporena osim ležišta „gama“₂, „gama“₅ i „gama“₆. Ležište „gama“₂ sastoji se od srednjetrovdog lapora i sitnozrnog tinjčastog srednje do čvrsto vezanog pješčenjaka, središnji dio je zasićen naftom dok su podinski i krovinski dio zalaporeni. Ležište „gama“₅ je veoma slično ležištu „gama“₂ samo što je dio zasićen naftom u podinskom dijelu ležišta dok su krovinski i središnji dio zalaporeni. Ležište „gama“₆ je također istog sastava te je krovinski dio zalaporen, a podinski je zasićen naftom.

Bušotine Lup-1DU, Lup-3JD, Lup-4 α , Lup-7 α , Lup-9 β i Lup-10 α odabrane su kao potencijalne geotermalne bušotine zbog litostratigrafske klasifikacije, temperaturnog raspona i fiziklanih parametara.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je procjena geotermalnog potencijala naftnog polja Lupoglav, s posebnim fokusom na mogućnost korištenja geotermalne energije iz kolektorskih stijena u sklopu formacije. S obzirom na to da su mnoga naftna polja u Hrvatskoj u podmakloj fazi eksploatacije, istražena je mogućnost njihove prenamjene za proizvodnju geotermalne energije.

Analiza dostupnih bušotinskih podataka i petrofizikalnih karakteristika za polje Lupoglav pokazala je da polje ima značajan geotermalni potencijal. Ispitani slojevi ukazuju na prisutnost vode, bilo kao potpuno zasićeni slojevi ili kao podinski akviferi u slojevima iz kojih se trenutno crpi nafta. To otvara mogućnost izravnog korištenja tople vode za energetske svrhe, kao što su grijanje ili čak proizvodnja električne energije.

Ipak, za precizniju procjenu ekonomske opravdanosti i mogućnosti revitalizacije, bilo bi potrebno pribaviti dodatne podatke, osobito one iz Elaborata o rezervama, kako bi se bolje razumjeli povijesni podaci o eksploataciji, veličina akvifera te promjene u ležišnom tlaku i razini vode i nafte. Unatoč ograničenju podataka, rezultati ove analize pokazuju da postoji geotermalni potencijal koji bi se mogao iskoristiti u okviru programa zatvaranja naftnih polja i njihove transformacije u geotermalne resurse.

Naftno polje Lupoglav, kao i druga slična polja, predstavlja perspektivan kandidat za razvoj geotermalne energije, što bi moglo doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i povećanju udjela obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj.

6. LITERATURA

1. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE [AZU] (1984-2000). Bušotinski fond naftnogpolja Lupoglav. Interna dokumentacija.
2. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE (AZU). n.d.
Službena Internet stranica. URL: <https://www.azu.hr/hr-hr> (11.8.2024.)
3. GOOGLE EARTH. n.d. URL: <https://earth.google.com> (11.8.2024.)
4. IRES EKOLOGIJA (2023). Strateška studija utjecaja na okoliš. IRES ekologija d.o.o.
5. KOMUNALAC SISAK D.O.O. n.d. Istraživanje geotermalnih voda. URL: <https://komunalac-sisak.hr/istrazivanje-geotermalnih-voda/>
6. LONČAR, J. (2007). Istraživanje, eksploatacija i proizvodnja nafte i plina u Moslavini. *Geografski horizont*, 53(1/2), 29-39.
7. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA [MINGOR] (n.d.). URL: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-energetiku-1999/naftno-rudarstvo-i-geotermalne-vode-za-energetske-svrhe/5403> (11.8.2024.)

IZJAVA

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

Ivor Bosiljevac



KLASA: 602-01/24-01/160
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 20. 9. 2024.

Ivor Bosiljevac, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/160, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 13.09.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PROCJENA GEOTERMALNOG POTENCIJALA NAFTNOG POLJA LUPOGLAV

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)