

Geotermalni potencijal plinskih polja u Međimurskoj županiji

Matijaš, Tomislava

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:157126>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-26**



Repository / Repozitorij:

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



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

**GEOTERMALNI POTENCIJAL PLINSKIH POLJA U MEĐIMURSKOJ
ŽUPANIJI**

Diplomski rad

Tomislava Matijaš

N400

Zagreb, 2024.

GEOTERMALNI POTENCIJAL PLINSKIH POLJA U MEĐIMURSKOJ ŽUPANIJI

Tomislava Matijaš

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

Sažetak

Kontinuirani pad proizvodnje nafte i plina u Republici Hrvatskoj povećava potrebu za pronalaženjem alternativnih izvora energije. U ovom slučaju to je geotermalna energija. Geotermalni potencijal na području Panonske nizine jedan je od najvećih na području EU. Ta se prednost može iskoristi na području Murske, Savske, Dravske i Slavonsko – srijemske depresije. Na području Murske depresije i Međimurske županije trenutno se nalaze istražna područja Međimurje – 5 i Merhatovec za geotermalne vode koje je raspisala Agencija za ugljikovodike u 2022. godini. U blizini istražnih područja nalaze se tri plinska polja: Vukanovec, Zebanec i Vučkovec. Navedena plinska polja nalaze se već u kasnoj fazi eksploatacije ugljikovodika te je ovim radom ispitana mogućnost prenamjene plinskih bušotina u geotermalne bušotine. Prikazani su svi podaci o plinskom poljima i bušotinama (položaj eksploatacijskog polja, geološka osnova, litostratigrafskih podaci, položaj bušotine, konstrukcija i Drill Stem testovi). Na izdvojenim bušotinama Vukanovec – 1, Zebanec – 1 Jug, Međimurje – 1 i Vučkovec – 1 provedena je analiza osjetljivosti u programu WellPerform te je na taj način ispitan geotermalni potencijal Međimurske županije.

Ključne riječi: geotermalni potencijal, eksploatacija geotermalne vode, plinska polja, Vukanovec, Zebanec, Vučkovec

Diplomski rad sadrži: 79 stranica, 27 tablica, 32 slike i 23 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentori: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF

Pomagao pri izradi/komentorica: Dr. sc. Marija Macenić mag. ing. min

Ocjenjivači: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF
Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNF

GEOHERMAL POTENTIAL OF GAS FIELDS IN MEĐIMURJE COUNTY

Tomislava Matijaš

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

Abstract

The continuous decline in oil and gas production in the Republic of Croatia increases the need to find alternative sources of energy. In this case it is geothermal energy. Geothermal potential in the area of the Pannonian Basin is one of the largest in the EU. This advantage can be used in the Murska, Sava, Drava and Slavonsko-Srijem depressions. In the area of the Muar Depression and Međimurje County, there are currently Međimurje - 5 and Merhatovec exploration areas for geothermal waters, which were announced by the Hydrocarbons Agency in 2022. There are three gas fields near the research areas: Vukanovec, Zebanec and Vučkovec. The aforementioned gas fields are already in the late phase of hydrocarbon exploitation, and this work examined the possibility of converting gas wells into geothermal wells. All data on the gas field and wells are presented (position of the exploitation field, geological basis, lithostratigraphic data, position of the well, construction and Drill Stem tests). A sensitivity analysis was carried out in the WellPerform program on the selected wells Vukanovec – 1, Zebanec – 1 Jug, Međimurje – 1 and Vučkovec – 1, and thus the geothermal potential of Međimurje County was examined.

Keywords: geothermal potential, exploitation of geothermal water, gas fields, Vukanovec, Zebanec, Vučkovec

Thesis contains: 79 pages, 27 tables, 32 figures and 23 references.

Original in: Croatian

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

Supervisors: Full Professor Tomislav Kurevija, PhD

Tech. assistance: PhD Marija Macenić, mag.ing.min

Reviewers: Full Professor Tomislav Kurevija, PhD
Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD
Associate professor Luka Perković, PhD

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

Zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na podršci tijekom studiranja te mentoru na ukazanom povjerenju prilikom izrade diplomskog rada.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA	VI
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA	VIII
1. UVOD	1
2. GEOTERMALNI POTENCIJAL U REPUBLICI HRVATSKOJ	5
2.1. Murska depresija	7
3. EKSPLOATACIJSKO POLJE VUKANOVEC	11
3.1. Geološka osnova proizvodnog polja Vukanovec	12
3.2. Litološki stup	13
3.3. Bušotina Vukanovec – 1 (Vuk – 1)	14
3.3.1. Konstrukcija bušotine Vuk – 1	14
3.3.2. DST ispitivanja bušotine Vuk - 1	16
3.4. Bušotina Vukanovec – 2 (Vuk -2)	17
3.4.1. Konstrukcija bušotine Vuk – 2	17
3.4.2. DST ispitivanje bušotine Vuk - 2	17
3.5. Determiniranje geotermalnog potencijala plinskog polja Vukanovec	19
4. EKSPLOATACIJSKO POLJE ZEBANEC	21
4.1. Litološki stup	22
4.2. Geološka osnova proizvodnog polja Zebanec	23
4.3. Bušotina Zebanec – 1 (Zb – 1)	24
4.3.1. Konstrukcija bušotine Zb – 1	24
4.3.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 1	24
4.4. Bušotina Zebanec 2 (Zb – 2)	26
4.4.1. Konstrukcija bušotine Zb – 2.....	26
4.4.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 2	28
4.5. Bušotina Zebanec – 1 Jug (Zb – 1 Jug)	29
4.5.1. Konstrukcija bušotine Zb – 1J	29
4.5.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 1 Jug.....	29
4.6. Bušotina Zebanec -3 (Zb – 3)	31
4.6.1. Konstrukcija bušotine Zb-3	31
4.6.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 3	31
4.7. Bušotina Zebanec – 4 (Zb – 4)	33

4.7.1.	Konstrukcija bušotine Zb – 4.....	33
4.7.2.	DST ispitivanje bušotine Zb – 4	34
4.8.	Bušotina Zebanec – 6 (Zb – 6)	34
4.8.1.	Konstrukcija bušotine Zb – 6.....	34
4.8.2.	DST ispitivanje bušotine Zb – 6	35
4.9.	Bušotina Zebanec – 7 Alfa (Zb – 7 Alfa).....	36
4.9.1.	Konstrukcija bušotine 7 Alfa	36
4.10.	Bušotina Zebanec -8 (Zb – 8)	36
4.10.1.	Konstrukcija bušotine Zb-8	37
4.11.	Bušotina Međimurje 1 (Mđ – 1)	37
4.11.1.	Geološki profil istražne bušotine Mđ – 1.....	39
4.11.2.	Konstrukcija bušotine Mđ – 1	40
4.11.3.	DST ispitivanja bušotine Mđ – 1	40
4.12.	Determiniranje geotermalnog potencijala polja Zebanec.....	42
5.	EKSPLOATACIJSKO POLJE VUČKOVEC	45
5.1.	Geološka osnova proizvodnog polja Vučkovec	46
5.2.	Litološki stup	48
5.3.	Bušotina Vučkovec – 1 (Vuč – 1)	49
5.3.1.	Konstrukcija bušotine Vuč – 1.....	49
5.3.2.	DST ispitivanje bušotine Vuč -1	51
5.4.	Bušotina Vučkovec -2 (Vuč – 2).....	52
5.4.1.	Konstrukcija bušotine Vuč – 2.....	52
5.4.2.	DST ispitivanje bušotine Vuč – 2	52
5.5.	Bušotina Vučkovec – 3 (Vuč – 3)	53
5.5.1.	Konstrukcija bušotine Vuč – 3.....	53
5.5.2.	DST ispitivanje bušotine Vuč – 3	55
5.6.	Bušotina Vučkovec – 5 (Vuč – 5)	56
5.6.1.	Konstrukcija bušotine Vuč – 5.....	56
5.6.2.	Analiza hidrodinamičkih mjerenja na bušotini Vuč – 5	56
5.7.	Determiniranje geotermalnog potencijala plinskog polja Vučkovec	58
6.	PRORAČUN	60
6.1.	Vukanovec – analiza osjetljivosti	60
6.2.	Zebanec – analiza osjetljivosti	63
6.3.	Međimurje 1 – analiza osjetljivosti	67

6.4. Vučkovec – analiza osjetljivosti	70
6.5. Usporedba analiza osjetljivosti eksploatacijskih polja Vukanovec, Zebanec i Vučkovec	73
7. ZAKLJUČAK.....	76
8. LITERATURA	77

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Prikaz istražnih prostora predloženih za istraživanje geotermalnih vod u energetske svrhe	1
Slika 1-2. Istražna područja za eksploataciju ugljikovodika.....	3
Slika 1-3. Prikaz istražnog područja SZH-01, Međimurje 5 i Merhatovac zajedno s plinskim poljima Vučkovec, Vukanovec i Zebanec	4
Slika 2-1. Geotermalna karta Hrvatske	5
Slika 2-2. Stratigrafski prikaz Murske depresije	8
Slika 3-1. Karta bušotina naftnog polja Vukanovec	11
Slika 3-2. Geološka karta eksploatacijskog polja Vukanovec	12
Slika 3-3. Konstrukcija bušotine Vuk - 1 dubinskom proizvodnom opremom	15
Slika 3-4. Karta po krovini ležišta plinskog polja Vukanovec	19
Slika 4-1. Karta bušotina naftnog polja Zebanec	21
Slika 4-2. Geološki profil polja Zebanec	23
Slika 4-3. Konstrukcija Bušotine Zb – 2	27
Slika 4-4. Uzdužni geološki profil bušotine Mđ – 1 i Zb – 1	38
Slika 4-5. Strukturna karta po krovini polja Zebanec	42
Slika 5-1. Karta bušotina naftnog polja Vučkovec	45
Slika 5-2. Geološki profil plinskog polja Vučkovec	47
Slika 5-3. Konstrukcija bušotine Vuč – 1	50
Slika 5-4. Konstrukcija bušotine Vuč – 3.....	54
Slika 5-5. Strukturna karta po krovini ležišta "Vučkovec"	58
Slika 6-1. Graf analize osjetljivost eruptivne proizvodnje na bušotini Vuk – 1, varijanta A	61
Slika 6-2. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje na bušotini Vuk – 1, varijanta B	61
Slika 6-3. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje na bušotini Vuk – 1 , varijanta C	62
Slika 6-4. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb – 1 jug, Propusnost 46,09 mD	63
Slika 6-5. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb – 1 jug, varijanta D	65

Slika 6-6. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb - 1 jug, varijanta E	65
.....	65
Slika 6-7. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb - 1 jug, varijanta F	66
.....	66
Slika 6-8. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Mđ - 1, varijanta I ...	68
Slika 6-9. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Mđ - 1, varijanta J ...	68
Slika 6-10. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Mđ - 1, varijanta K.	69
Slika 6-11. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Vuč - 1, varijanta L	71
Slika 6-12. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Vuč - 1, varijanta M71	71
Slika 6-13. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Vuč - 1, varijanta N	72

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Prikaz litoloških formacija ležišta Vukanovec.....	13
Tablica 3-2. Bušotine plinskog polja Vukanovec.....	19
Tablica 3-3. Sistematizacija provedenih Drill Stem Testova na istražnom polju Vukanovec	20
Tablica 4-1. Prikaz litoloških formacija ležišta Zebanec	22
Tablica 4-2. Geološki profil istražne bušotine Mđ – 1	39
Tablica 4-3. Rezultati mjerenja porasta tlaka u statičkim uvjetima	40
Tablica 4-4. Očitani gradijenti tlaka i temperature u dinamičkim uvjetima.....	41
Tablica 4-5. Analiza slojne vode	41
Tablica 4-6. Bušotine plinskog polja Zebanec i istražna bušotina Međimurje 1	43
Tablica 4-7. Sistematizacija provedenih Drill Stem Testova na istražnom polju Zebanec i istražnoj bušotini Međimurje 1.....	44
Tablica 5-1. Prikaz litoloških formacija ležišta Vučkovec.....	48
Tablica 5-2. Rezultati analize HD mjerenja	57
Tablica 5-3. Bušotine plinskog polja Vukanovec.....	58
Tablica 5-4. . Sistematizacija provedenih Drill Stem Testova na istražnom polju Vučkovec	59
Tablica 6-1. Varijante analiza za eksploatacijsko polje Vukanovec	60
Tablica 6-2. Idealna davanje bušotine i dinamički tlak za eruptivnu proizvodnju bušotine Vuk – 1	62
Tablica 6-3. Usporedba točke protoka za eksploatacijsko polje Zebanec	64
Tablica 6-4. Varijante analiza za eksploatacijsko polje Zebanec	64
Tablica 6-5. Usporedba dinamičkog tlaka za propusnost ležišta 10 mD i GLR = 3	66
Tablica 6-6. Usporedba dinamičkog tlaka za propusnost ležišta 30 mD i GLR = 5	67
Tablica 6-7. Varijante analize eksploatacijske bušotine Mđ – 1	67
Tablica 6-8. Rezultati najmanje proizvodnje fluida bušotine Mđ – 1	69
Tablica 6-9. Rezultati najveće proizvodnje fluida bušotine Mđ – 1	70
Tablica 6-10. Varijante analize osjetljivosti eksploatacijskog polja Vučkovec	70
Tablica 6-11. Rezultati analize osjetljivosti varijanta N	72
Tablica 6-12. Rezultati najmanje proizvodnje na proizvodnim poljima Međimurske županije dobiveni analizom osjetljivosti	74

Tablica 6-13. Rezultati najveće proizvodnje na proizvodnim poljima Međimurske županije dobiveni analizom osjetljivosti	75
---	----

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
G_p	bar/10m	gradijent tlaka
G_t	°C/100m	geotermalni gradijent
H_v	m	vertikalna dubina bušotine
Δp	bar	depresija
P_{ext}	bar	ekstrapoliran tlak
T	°C	temperatura
P	Pa	tlak
k	mD	propusnost
IFP	bar	početni tlak protoka
FFP	bar	završni tlak protoka
CIP	bar	završni statički tlak
#	lb/ft	funta po stopi

1 atm = 1,01325 bar

1 PSI = 0,06895 bar

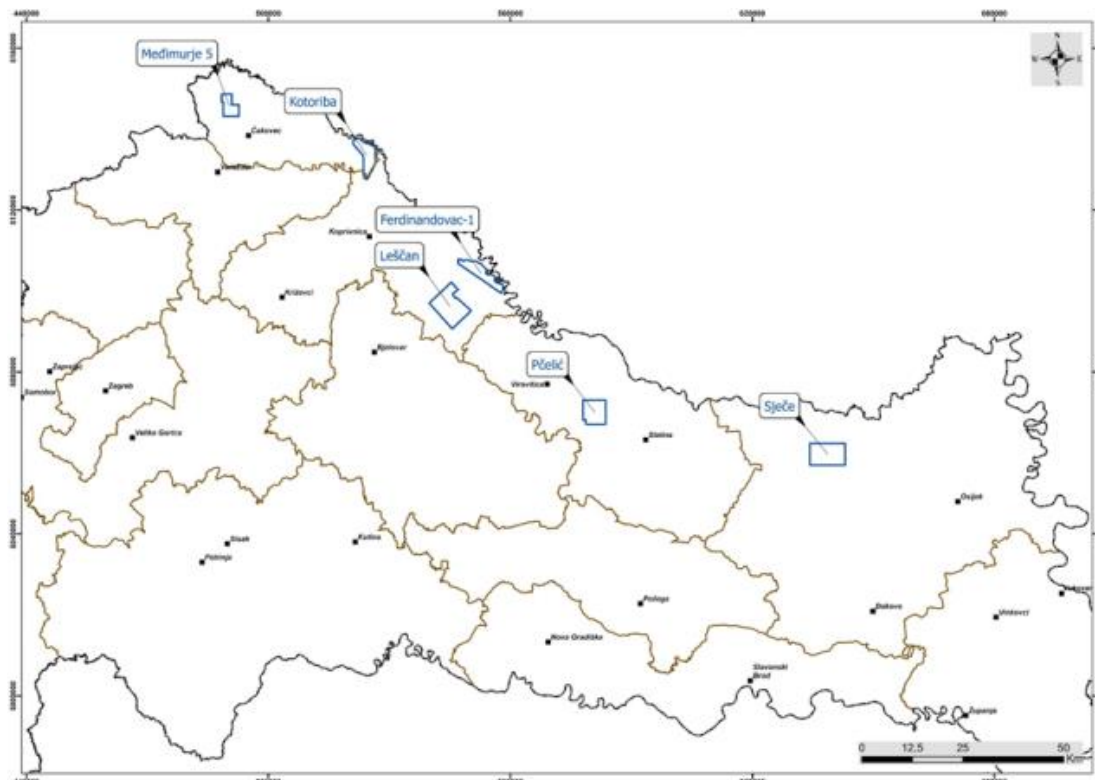
1 lb/ft = 1,48816 kg/m

1 inch = 2,54 cm

1. UVOD

Dio globalnih napora, u borbi protiv klimatskih promjena, promicanje korištenja geotermalne energije prepoznato je u strateškim dokumentima Europske Unije. U 2022. godini Agencija za ugljikovodike (AZU) radila je na jačanju promocije geotermalnih voda u energetske svrhe na regionalnoj, državnoj i međunarodnoj razini sukladno s Europskim direktivama o smanjenju upotrebe fosilnih goriva. S ciljem da se poveća interes za geotermalnu energiju, sukladno svojim ovlastima, AZU je provodila sve potrebne radnje u svrhu davanja prijedloga Ministarstvu za izdavanje dozvole za istraživanje geotermalnih voda za energetske svrhe. Te radnje uključivale su određivanje granica istražnih prostora, izrada preglednih zemljovida, suglasnosti i ograničenja za istraživanje geotermalnih voda, minimalne količine istražnih radova, određivanje kriterija za odabir najpovoljnijeg ponuditelja i pripreme setova geoloških, geofizičkih i bušotinskih podataka (Agencija za ugljikovodike [AZU], 2022).

Prema obrađenim podacima, Agencija je predložila šest istražnih prostora za istraživanje geotermalnih voda u energetske svrhe, a to su: Kotoriba, Lešćan, Međimurje 5, Pčelić, Ferdinandovac -1 i Sječce. Navedena istražna polja nalaze se na Slici 1-1.



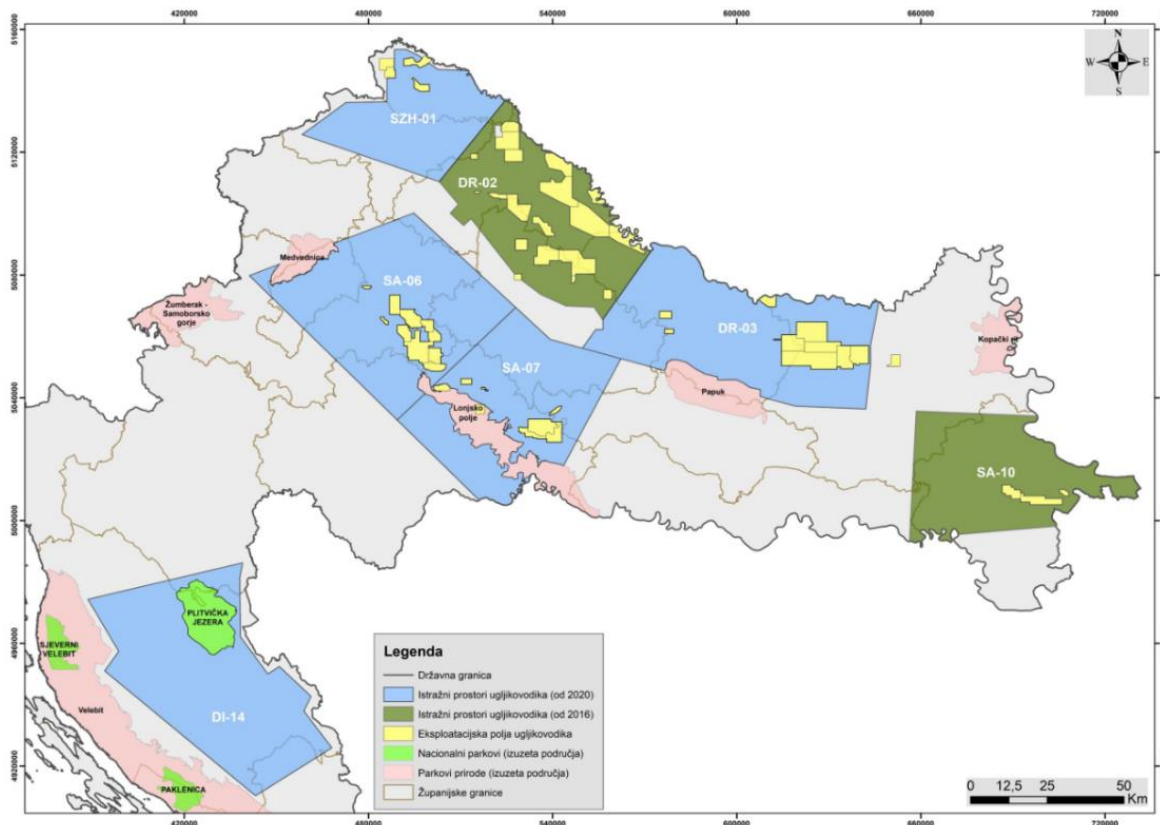
Slika 1-1. Prikaz istražnih prostora predloženih za istraživanje geotermalnih voda u energetske svrhe (AZU, 2022)

Tijekom 2022. godine, iskazan je veliki interes naftno-rudarskih gospodarskih subjekata za ulaganjem u geotermalne projekte za potrebe razvoja toplinarstva ili stakleničke proizvodnje poljoprivrednih kultura. Sukladno interesu AZU je u suradnji s Ministarstvom prostornog uređenja, na nadmetanje predložila još deset istražnih prostora geotermalnih polja a to su: Gajić, Kloštar Podravski, Kutina, Lipik, Novigrad Podravski, Sveta Nedelja 1, Sveta Nedelja 2, Sveta Nedelja-Genera, Tekić i Vukovar-2.

U travnju 2023. godine započeta su nadmetanja za istraživanje i eksploataciju geotermalnih voda u energetske svrhe na istražnim prostorima koje je u 2022. godini ponudila Agencija za ugljikovodike.

Prema navedenim podacima interes za istraživanje i iskorištavanje geotermalne energije na području Republike Hrvatske je značajan. Budući da je zemlja imala dugu povijest domaće proizvodnje nafte i plina, izbušeno je više od 4000 dubokih bušotina uglavnom u Panonskom bazenu. Istražna područja koja su dana na nadmetanje nalaze se na području Murske, Savske i Dravske depresije, gdje postoji tradicija istraživanja, eksploatacije i pridobivanje nafte i plina. Kako bi se potakla proizvodnja nafte i plina na tim prostorima, u srpnju 2014. godine, raspisano je nadmetanje za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika na kopnu, što uključuje šest istražnih prostora koja se protežu uz područje Drave, istočne Slavonije i Save. Temeljem ovog nadmetanja tijekom 2016. godine potpisano je pet ugovora gdje su se INA- Industrija nafte d.d. i kanadska kompanija Vermilion Zagreb Exploration d.o.o. obvezali na istraživanje navedenih područja.

Novo nadmetanje za sedam istražnih polja koja se nalaze na području središnje i sjeverozapadne Hrvatske raspisana su krajem 2018. godine te prikazana područja nalaze se na Slici 1-2.

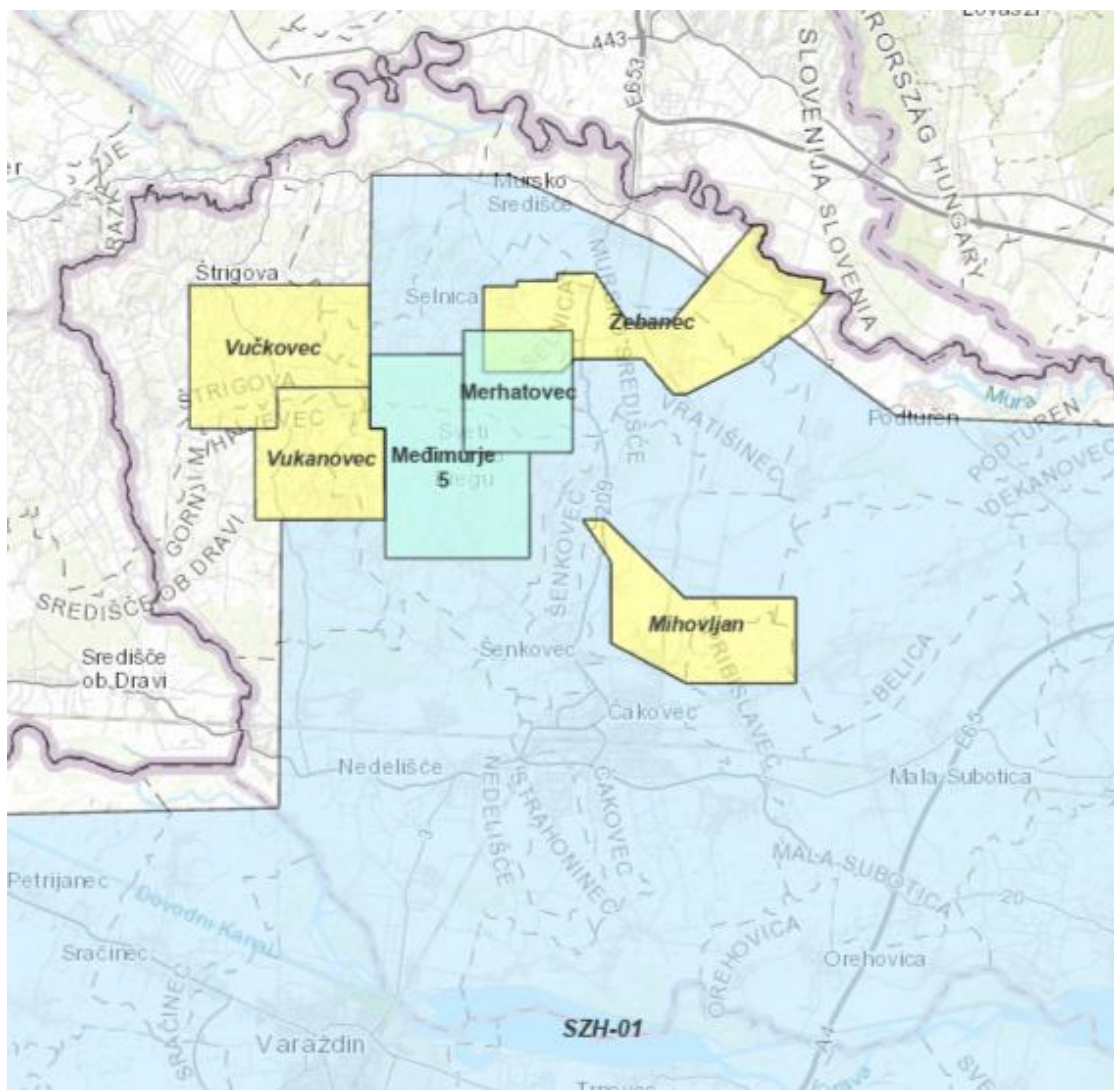


Slika 1-2. Istražna područja za eksploataciju ugljikovodika (AZU, 2018)

Kompanije koje su potpisale ugovore i obvezale se na istraživanje i eksploataciju prostora prikazanih na Slika 1-2. su INA- Industrija nafte d.d., Aspect Croatia Kft i Vermilion Zagreb Exploration d.o.o.

Prikazanim podacima koji se odnose na istraživanje i eksploataciju naftnih i plinskih polja te geotermalne vode i energije, možemo uočiti kako se neka od istražnih područja preklapaju. Tako istražno područje za geotermalne vode Međimurje 5 i Merhatovec se nalaze na istražnom području za ugljikovodike SHZ-01.

Osim novih geotermalnih istražnih polja Međimurje 5 i Merhatovec u blizini se nalaze tri plinska polja, Zebanec, Vučkovec i Vukanovec, koja su u vlasništvu INA- Industrija nafte d.d i prikazana su na Slici 1 – 3. Plinska eksploatacija polja Vučkovec i Zebanec puštena su u probnu proizvodnju 2016. godine. Plinsko polje Vukanovec je, prema najavama, trebalo biti pušteno u proizvodnju početkom 2017. godine (Energetika net, 2023).

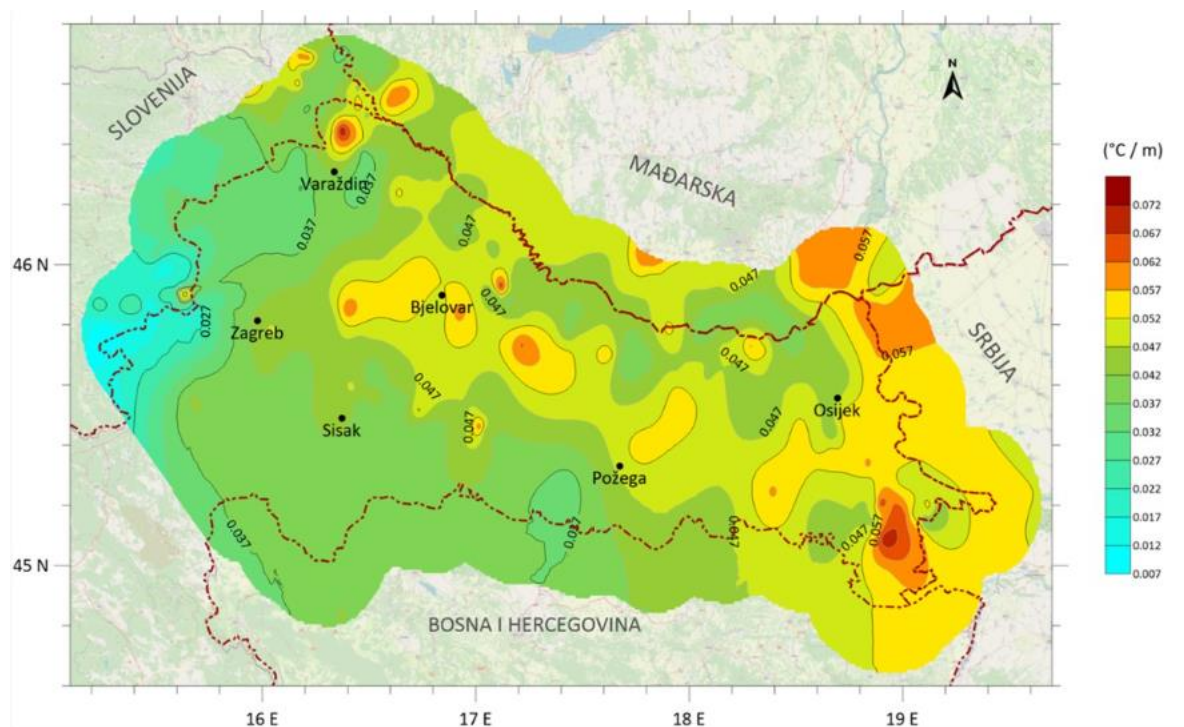


Slika 1-3. Prikaz istražnog područja SZH-01, Medimurje 5 i Merhatovac zajedno s plinskim poljima Vučkovec, Vukanovec i Zebanec (WEB GIS portal, 2023)

Glavna namjena i cilj ovog diplomskog rada je preispitati već postojeće bušotine koje se nalaze na plinskim poljima Vukanovec, Vučkovec i Zebanec mogu li se prenamijeniti za geotermalne bušotine kako bi se mogla iskorištavati geotermalna voda u energetske svrhe kada navedena ležišta budu zrela i spremna za napuštanje. Ova plinska polja odabrana su jer se nalaze već na istražnom području za ugljikovodike SZH – 01 te objedinjuju istražne prostore za geotermalne vode Medimurje 5 i Merhatovec što ih čini idealnim za preispitivanjem mogućnosti prenamijene i iskorištavanje u geotermalne svrhe. Bušotine na koje se to odnosi biti će duboke istražne bušotine s maksimalnom dubinom od oko 3000 metara.

2. GEOTERMALNI POTENCIJAL U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Hrvatskoj stvaraju se dvije vrlo različite geotermalne regije zbog Mohorovičićevog diskontinuiteta. Diskontinuitet u Panonskom bazenu varira od 20 do 30 kilometara dubine, dok je na području Dinarida i do 40 kilometara. Time se stvaraju različiti geotermalni gradijenti. Na području Dinarida geotermalni gradijent prosječno iznosi $0,018\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ što ne čini prosperitetni geotermalni potencijal. Za razliku od Dinarida, Panonski bazen ima prosječni geotermalni gradijent od $0,049\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ te stoga ima natprosječni geotermalni potencijal u Europi (Jelić et al, 1995). Panonski bazen karakterizira niska seizmičnost i visoka toplinska vodljivost. U 2020. godini, Macenić et al., predstavili su novu geotermalnu kartu Hrvatske na temelju prikupljenih podataka iz 154 duboke istražne bušotine.



Slika 2-1. Geotermalna karta Hrvatske (Macenić et al., 2020)

Panonski bazen predstavlja najveći miocensko-kvartarni bazen, koji je razvijen unutar alpsko-karpatsko-dinaridskog orogenong sustava (Prelogović et al., 1998). Razvijanje Panonskog bazena nastaje u trenutku kada dolazi do sudara Jadranske mikro ploče i Europske ploče. U ranom do kasnom Miocenu, subdukcija povlačenja europske ploče inducirala litosfersno proširenje i proširenje tipa povratnog luka.

Hrvatski dio Panonskog bazena je podijeljen na četiri glava dijela, a to su Murska, Savska, Dravska i Slavonsko-srijemska depresija.

Savska depresija nastavlja se duž Panonskog bazena.

Dravska depresija pokriva veći dio bazena koji se nalazi na prostoru Republike Hrvatske i proteže se preko teritorija rijeke Drave, a omeđen je državnom granicom s Mađarskom na sjeveru dok s istočne strane dopire do granice Republike Srbije. Južni dio Dravske depresije graniči s gorjem od Medvedice do Krndije.

Slavonsko – srijemska depresija nalazi se istočno od Slavanskog Broda i proteže se na teritorije susjednih zemalja, Republike Srbije i Bosne i Hercegovine te je najmanja od svih depresija.

Murska depresija, koja će detaljno biti proučena u nastavku, nalazi se na krajnjem sjevernom teritoriju Hrvatske i proteže se od granice sa Slovenijom i Mađarskom sjeverno, dok je na jugu omeđena planinama Žumberak, Medvednica i Kalnik. Geotermalni potencijal povezan je s predneogenskim temeljnim i donjeneogenim naslagama. Predneogena podloga je jedna od najvažnijih korelacija i vidljiva je u seizmičkim podacima, a karakterizirana je visokim temperaturama na gotovo cijeloj površini rasprostiranja. Razvitak Panonskog bazena, kojeg poznajemo u današnjem obliku, podijeljena je na sin – rift (rani do srednji miocen) i post – rift (kasni miocen do kvartarne) faze. Glavna geotermalna ležišta na prostorima RH razvijena su u fazi prije rascjepa (post – rifta) i nakon rascjepa (sin – rifta) i smatraju se ležišta s visokim geotermalnim potencijalom prema trenutnim istraživačkim aktivnostima u Hrvatskoj (Tuschl et al., 2022).

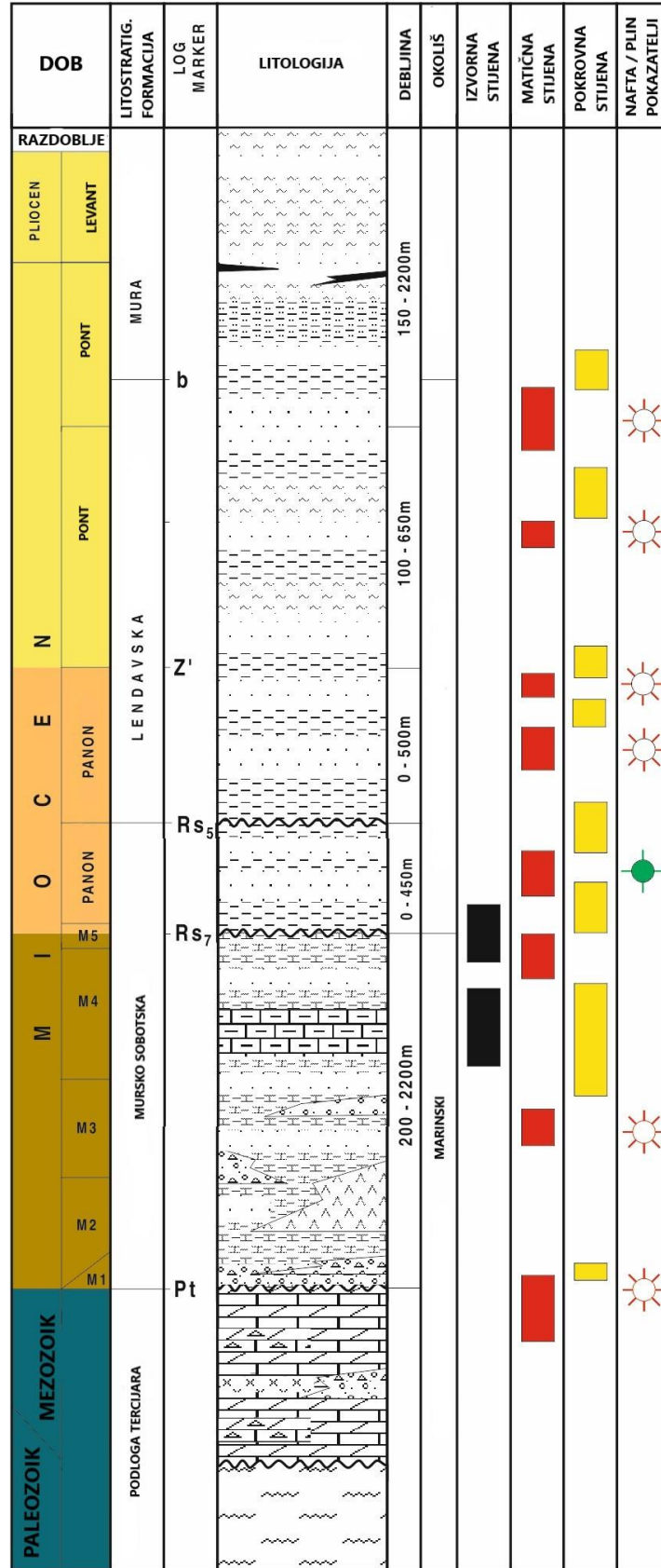
Geotermalni izvori, na većim dubinama, zarobljeni su unutar naslaga i stijena koje datiraju iz vremena paleozoika i mezozoika. Paleozoik, prema lokalno prihvaćenoj nomenklaturi „Kristalinska temeljna stijena“ općenito se sastoji od granita, intruzivnog gabra te intruziji raspucanih i metamorfornih stijena. Petrofizička se interpretacija temelji na podacima iz bušotina. Predneogene naslage se sastoje od karbonatnih naslaga mezozojske starosti, uglavnom trijasnih dolomita, dok se u zapadnom dijelu Panonskog bazena mogu pronaći jurski vapnenci i dolomiti. Mezozojske naslage najbolje su očuvane u nešto većim dubinama na zapadnom dijelu Panonske nizine. Sastoje se od vapnenačke dolomitne breče, konglomerata, laporastih i mramornih vapnenaca. Masivne raspucane stijene vapnenca istraživanjem su se pokazali kao odlični vodonosnici (Tuschl et al., 2022).

2.1. Murska depresija

Murska depresija nalazi se u slijevu rijeke Mure, odnosno na sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske. Dijelom su njene granice unutar Hrvatske određene državnom granicom prema Sloveniji i Mađarskoj, a dijelom je to gorski niz Žumberačka gora – Medvednica – Kalnik.

U podlozi neogensko-kvartarnih taložina (do 4500 m debljine) nalaze se trijaski dolomiti. Neogensko-kvartarne stijene razlučene su u tri formacije s više pješčenjačkih članova. Na ovom dijelu Panonskog bazena nositelji nafte i plina su naslage Mursko-sobotske formacije što uključuje breče, konglomerate i pješčenjače donjeg i srednjeg miocena te pješčenjake donjeg panona. Osim Mursko-sobotske formacije, moguć je pronalazak Levdivanske formacije što ih čini pješčenjaci gornjeg panona i donjeg pontona (Saftić et al., 2003).

Na području Murske depresije nalaze se tri velika polja: Mihovljan, Veliki otok i Legrad. Veliki otok i Legrad spadaju u deset najvećih plinskih polja Republike Hrvatske na osnovni prikupljenih podataka do 1998. godine. U novije vrijeme na području Murske depresije, otkrivena su tri značajna ležišta plina koja će biti obrađena u daljnjem tekstu, a to su Vučkovec, Vukanovec i Zebanec (Karasalihović et al., 2007). Navedena plinska ležišta nalaze se na području Međimurske županije gdje se proveo proces provođenja proizvodnje plina eksploatacijskih polja u sklopu izvedbe „Projekta Međimurje“ tvrtke INA d.d. – Industrija nafte, Segment djelatnosti istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Slika 2 – 2. prikazuje Mursku stratigrafiju.



Slika 2-2. Stratigrafski prikaz Murske depresije (Durn i Krpan, 2016)

Geološki odnosi u dubini Murske depresije rekonstruiraju se prema rezultatima istraživanja na naftu i plin. Najvećim se dijelom radi o elaboratima iz Fonda stručne dokumentacije INA-Naftaplina, dovršenim u razdoblju od 1966. do 1999. godine. Stijene raspona starosti od mezozoika do kvartara opisuju se na temelju litostratigrafske podjele prema podacima iz bušotina, odnosno prema srednjim profilima na naftnim i plinskim poljima. Prema najstarijem radu gdje je takva podjela napravljena, a to je rad J. Šimona (1966), tercijarne se stijene u Murskoj depresiji dijele na tri jedinice ranga formacije – Mursko-Sobotsku, Lendavsku i Mursku formaciju. Ove su jedinice u superpozicijskom odnosu i omeđene su regionalnim korelacijskim horizontima, te obuhvaćaju i po nekoliko kronostratigrafskih katova.

Podinsku granicu najstarije, formacije Murska Sobota, čini velika erozijska diskordancija prema starijim, uglavnom mezozojskim stijenama (ali ima i paleozojskih, posebno uz granicu s Republikom Slovenijom), pa se ovaj horizont u skladu s tim naziva ili “podloga tercijara” ili “temeljno gorje” i označava s “PTc (Tg)”. Prema objavljenim kartama (Pandžić, 1986), jednom recentnom elaboratu (Pikija i Šikić, 1999) i geološkim stupovima bušotina stijene podloge u Međimurju najvećim se dijelom sastoje od trijaskih vapnenačkih i dolomitnih “tektonsko - siparišnih breča” i brečokonglomerata. U zapadnom dijelu, uz granicu sa Slovenijom mogu se naći i nisko do srednje metamorfozirane stijene starijeg paleozoika, a približno na pola puta između Čakovca i Kotoribe nabušene su u podlozi i litološki raznovrsne stijene kredne starosti – vapnenci, dolomiti i klastiti (Pandžić, 1986). U istom području stijene u podlozi nisu samo sedimentne, već ima i vulkanskih, bolje reći piroklastičnih, a to su tufovi metaandezitnog i metariolitnog sastava koji su probušeni unutar trijaskog slijeda sedimenata u samo dvije bušotine, Hodošan - 1 i Lopatinec - 1.

Formacija Murska Sobota ima raznoliki litološki sastav. U zapadnom se Međimurju ovaj dio sedimentnog slijeda sastoji od izmjene siltita, siltovitih lapora, konglomeratičnih pješčenjaka i pješčenjaka (grauvaka i kalkarenita), te u vršnom dijelu od lapora s proslojcima pješčenjaka. Prema objavljenim podacima autora (Jovanić, 1976; Kisovar, 1979) raspon starosti sedimenata ove formacije je eger – donji panon.

Sljedeća jedinica, formacija Lendava, sastoji se od izmjene slojeva pješčenjaka, lapora i glinovitih lapora te je stoga podijeljena na više pješčenjačkih i laporovitih članova (Jovanić, 1976). Lećasti oblik pješčenjačkih tijela otežava prostornu korelaciju pojedinih slojeva i to važi za sve članove ove formacije osim za lapor Lenti. Već je u ranoj fazi istraživanja dokazana regionalna naftoplinonosnost propusnih slojeva u ovoj formaciji (na poljima Petišovci i Dolina u Sloveniji oko 1943. god.). Debljina ovog intervala na području polja

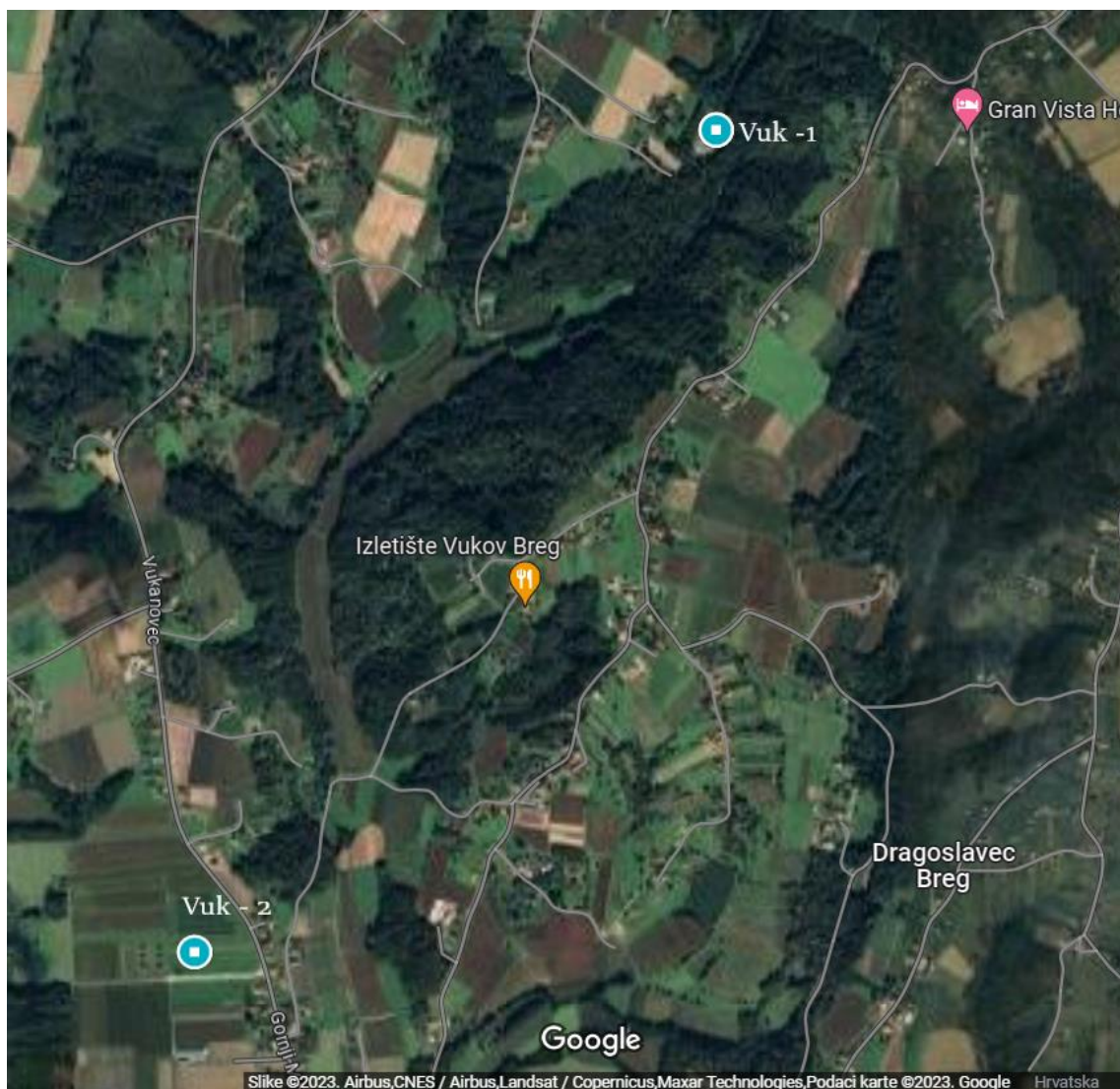
Vučkovec, Vukanovec i Zebanec je 450 - 500 m. Za sedimente formacije Lendava smatra se da imaju raspon starosti gornji panon – donji pont (Jovanić, 1976; Kisovar, 1979).

Formacija Mura, završna u litostratigrafskom profilu, prekriva Lendavsku formaciju i obuhvaća sve sedimente do površine terena (Šimon, 1966). Donji dio sastoji se od izmjene slojeva glinovitih i laporovitih pješčenjaka s proslojcima slabo pjeskovitih lapora i laporovitih glina, dok u gornjem dijelu prevladavaju glinoviti pješčenjaci i škriljave ugljevitte gline, te proslojci lignita. Sedimenti ovog intervala najdeblji su na polju Zebanec (prosječno 272 m) i raspona su starosti od gornjeg ponta do kvartara. Kako je već opisano u prethodnom poglavlju, ovi sedimenti izdanjuju po obodu Međimurskih gorica (Ormoško - selnička antiklinala), znači da se u zapadnom Međimurju svugdje nalaze u bitno reduciranim debljinama ili sasvim nedostaju u nekim bušotinama.

3. EKSPLOATACIJSKO POLJE VUKANOVEC

Eksploatacijsko polje Vukanovec nalazi se na krajnjem sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske u Međimurskoj županiji. Teritorijalno eksploatacijsko polje Vukanovec nalazi se na prostoru općina Gornji Mihaljevec, Sveti Juraj na Bregu i jedan manji dio na prostoru općine Štrigova. Zapadna granica polja je na najjužnijem dijelu udaljena samo 700 metara od državne granice s Republikom Slovenijom. Površina plinskog eksploatacijskog polja procjenjuje se na 11,30 km².

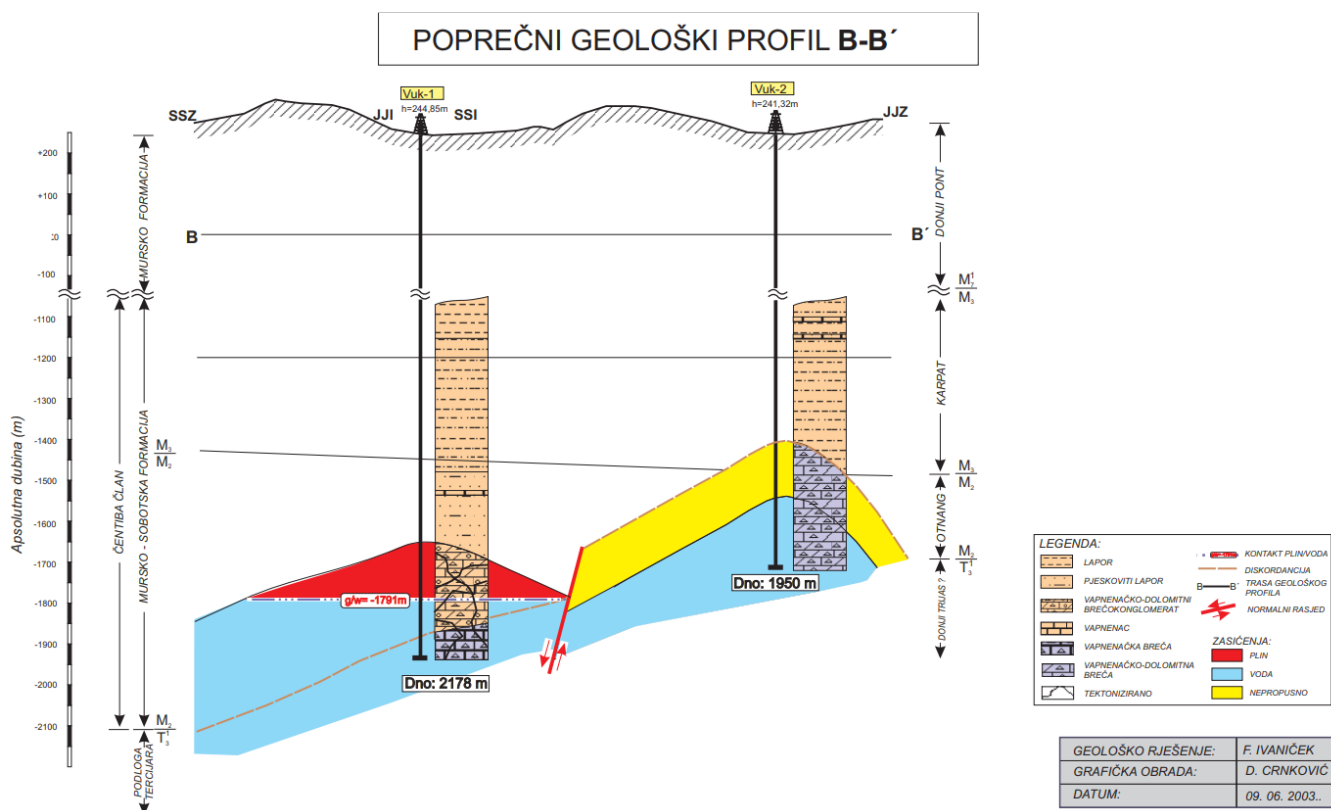
Proizvodno polje Vukanovec otkriveno je 1994. godine bušotinom Vukanovec – 1 (Vuk-1) kojom je probušeno plinsko ležište A u donjemiocenskim vapneno-dolomitnim brečokonglomeratima. U sklopu projekta Međimurje, razradni scenarij proizvodnog polja Vukanovec obuhvaća crpljenje plinskog ležišta A bušotinom Vuk-1 (Lazo, 2015).



Slika 3-1. Karta bušotina naftnog polja Vukanovec (Google Earth, 2023, Vlatita grafika)

3.1. Geološka osnova proizvodnog polja Vukanovec

Prema geološkoj karti, bušotina Vukanovec -1 (Vuk – 1) postavljena je u području horizontalnih pontskih slojeva. Ispod naslaga glinovitih i siltovitih lapora, zaliježu panonskiglinoviti lapori i sitnozrnati pješčenjaci, a ispod njih badenski lapori i pjeskoviti vapnenci. Prikazan je i donji dio stupa bušotine Vuk – 1 gdje se može vidjeti da karpatske i vršni dio otnanških naslaga čine klastične stijene s izolatorskim svojstvima (sitoviti lapori, kvarcarnit, biokalkarenit i biokalkurdit), dok ležište čine otnanški vapnenačko – dolomitni bračokonglomerati mjestimično proslojeni fino zrnatim klastičnim materijalom. Najstariju dosegnutu formaciju, s vodenim zasićenjem u podini ležišta čine srednjotrijaski mikrokristalasti raspucani dolomit i dolomitne tektonske breče. Ležište je omeđeno rasjedom pružanja Z – I, a s istočne strane djelomično je omeđen reverznim rasjedom pružanja S – J. Geološki je model ležišta temeljen samo na podacima jedne bušotine i iako se unutar ležišnih stijena mogu razdvojiti dva litofacijesa s različitim svojstvima (plići – brečokonglomerati iz obalne zone i dublji – litološki heterogeni marinski klastiti) o njihovom prostornom rasporedu se može samo nagađati. U ležištu ima međuzrnske i pukotinske poroznosti, ali najvažnijom se smatra potonja (Muvrin et al., 2006b).



Slika 3-2. Geološka karta eksploatacijskog polja Vukanovec (Muvrin et al., 2006b)

3.2. Litološki stup

Prema raspoloživim stratigrafsko – litološkim podacima i strukturnom rješenju, izgradnom bušotine Vuč – 1 očekuje se slijedeći razvoj stijena navedene litostratigrafske pripadnosti i litologije koji je prikazan u Tablici 3 – 1. (Agencija za ugljikovodike - Bušotinski fond plinskog polja Vukanovec [AZU], 1994).

Tablica 3-1. Prikaz litoloških formacija ležišta Vukanovec (AZU, 1994)

Dubina [m]	Litologija	Formacija	Član
0 – 185	Gline i glinovito-pjeskoviti lapori	Lendavska	Gorica-Doline lapor
185 – 270	Pješčenjaci i proslojci lapora	Lendavska	D.Ratka pješčenjaci
270 – 470	Lapori	Lendavska	Lenti – Pince lapor
470 – 550	Pješčenjaci i lapori	Mursko – sobotska	Petišovci pješčenjaci
550 – 600	Lapori	Mursko – sobotska	Benica lapor
600 – 1200	Izmjena silita, lapora i valutica biokalkarenita	Mursko – sobotska	Čentiba član
1200 – 1810	Izmjena silita, proslojaka pješčenjaka i kalkarenita	Mursko – sobotska	Čentiba član
1810 – 2400	Tektonizirana dolomitna breča	Podloga tercijara	Gornji trijas

3.3. Bušotina Vukanovec – 1 (Vuk – 1)

Koordinate bušotine Vuk - 1 su:

$$Y = 5\ 602\ 644$$

$$X = 5\ 146\ 448$$

$$H = \text{cca } 220\ \text{m}$$

Bušotina Vukanovec – 1 (Vuk – 1) dosegla je dubinu od 2178 metara. Na ušću nalazi se erupcijski uređaj i bušotinska glava koje mogu podržati tlak unutar kanala bušotine do 345 bar (5000 PSI) (AZU, 1994).

3.3.1. Konstrukcija bušotine Vuk – 1

Zacjevljenje

Uvodna kolona $D = 339,7\ \text{mm}$ (13 3/8")

Ugrađena od dubine 200,0 m do ušća u sastavu H-40; 71,48 kg/m (48#) te je cementirana do ušća.

Tehnička kolona $D = 244,5\ \text{mm}$ (9 5/8") ugrađena je do dubine 1200,0 m do ušća u sastavu J-55; 53,62 kg/m (36#) i kolona je zacementirana do vrha

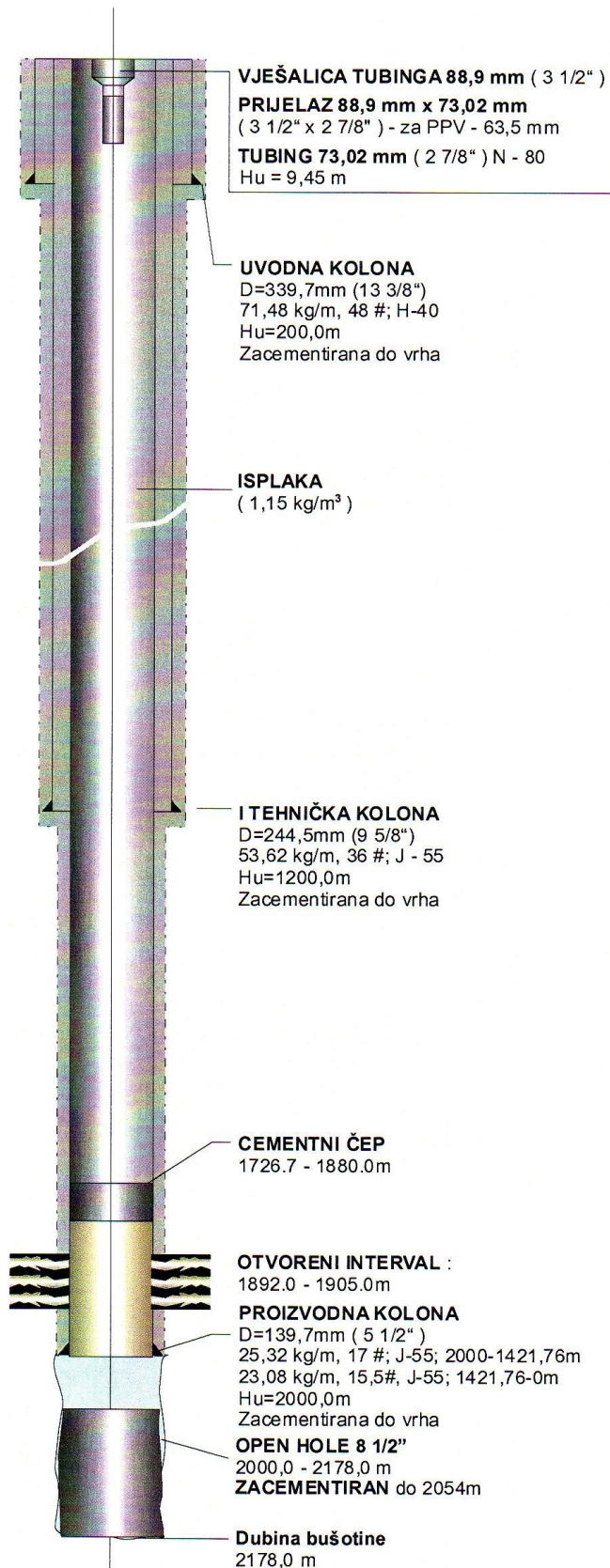
Proizvodna kolona promjera $D = 139,78\ \text{mm}$ (5 1/2")

Ugrađena je od dubine 2000,00 m do ušća u sastavu:

J-55; 25,32 kg/m (17#); 2000,00 – 1421,76 m

J-55; 23,08 kg/m (15,5#); 1421,76 – 0,00 m , kolona je zacementirana od 2000 m do vrha.

Open hole promjera 8 1/2" izbušen do 2178,0 i zacementirana od 2178,0 do 2000 m (AZU, 1994).



Slika 3-3. Konstrukcija bušotine Vuk - 1 dubinskom proizvodnom opremom (Muvrin et al., 2006b)

3.3.2. DST ispitivanja bušotine Vuk - 1

Prvi testirani interval nalazi se od 1889,50 do 1901 metara. Kolektorsku stijenu predstavljaju raspucani konglomerati. Testiranjem je dobiven gorivi plin. Prema dobivenim parametrima $P_u = 119$ bara, $T_u = 40^\circ\text{C}$ i gustoće plina, izračunata je proizvodnja plina (Q) i iznosi 112 000 m³/dan. Registrirana vrijednost temperature od 132°C vjerojatno nije mjerodavna zbog neispravnosti termometra. Slojni tlak ima vrijednost od 196,9 bara ($G_p = 1,036$ bara/10 m).

Drugi DST izvršen je u intervalu 1900,57 – 1919,50 m. Testirane su kolektorske stijene krupnoklastičnog sedimenta. Testom, dobivena je krivulja statičkog tlaka koja je iskorištena za ekstrapolaciju. Dobiveni su sljedeći parametri: $P_{\text{ext}} = 196,32$ bar, $G_p = 1,03$ bar/10 m. temperatura mjerena na 1917,3 m iznosi $115,6^\circ\text{C}$ što daje gradijent od $5,5^\circ\text{C}/100$ m. Iz ovog intervala dobivenim podacima zaključeno je kako se može dobiti značajna proizvodnja plina.

Treći DST izvršen je u intervalu 1921,80 – 1939,0 metara, a kolektorsku stijenu predstavljaju tektonizirani brečokonglomerati trijaskе starosti. Analizom dijagrama utvrđena je manifestacija plina na površini. Krivulja porasta trenutno je razvijena i ukazuje na povoljnu propusnost kolektora. Vrijednost slojnog tlaka ICIP iznosi 194,93 bara, a ekstrapolacijom krivulje porasta dobivena vrijednost slojnog tlaka iznosi 195,05 bara na dubini mjerenja od 1938 metara. Izmjerena temperatura na dubini 1937,5 m iznosi 115°C iz čega proizlazi da je $G_t = 5,39^\circ\text{C}/100$ m.

Četvrti DST ispitivanje provedeno je na intervalu 2076,75 – 2090,0 metara gdje se ispitivala kolektorska stijena tektoniziranih brečokonglomerata trijaskе starosti. Dobiveni dijagrami tlakova odgovaraju površinskim manifestacijama, a razvoj krivulja ukazuje na vrlo slabu propusnost kolektora. Tlakovi na protočnoj krivulji na nivou jastuka ($FFP = 62,67$ bar), a krivulja porasta se tek počela razvijati i njezina očitana vrijednost (ICIP) iznosi 93,6 bara. Izmjerena temperatura na dubini 2088 metara iznosi 126°C iz čega proizlazi temperaturni gradijent $G_t = 5,5^\circ\text{C}/100$ m. Ispitani interval je slabe propusnosti, a zasićenje i slojni tlak nisu utvrđeni.

Testirani interval nalazi se na dubini od 2150,40 do 2162,0 metara (ukupna duljina 11,60 m). Litostratigrafski, testirani su kolektori brečokonglomerata, podloge tercijara. Nakon testiranja i izmjerenog statičkog tlaka, izbačen je vodeni jastuk, a nakon toga počinje izbacivanje zapljinjene vode. Kemijskom analizom, utvrđena je gustoća vode od 1,014 kg/dm³, pH vrijednost 7,14 te salinitet 8,473 g/dm³ NaCl. Završni tlak protoka iznosi

1990,60 bara (FFP). Završni statički tlak iznosi 207, 23 bara (CIP). Razlika između navedenih tlakova omogućila je ekstrapolaciju statičkog tlaka koja iznosi : $P_{ext} = 211,4$ bara, $G_p = 0,978$ bar/10 m , $H_m = 2161$ m. Temperatura na dubini od 2159 m iznosi $114,5^{\circ}\text{C}$ ($G_t = 4,81^{\circ}\text{C}/100$ m gdje srednja godišnja temperatura iznosi $10,5^{\circ}\text{C}$). Testirani brečokonglomerati su slabe propusnosti, a slojni je tlak u granicama hidrostatičkog tlaka (AZU, 1994).

3.4. Bušotina Vukanovec – 2 (Vuk -2)

Koordinate bušotine Vuk – 2

$$Y = 5\ 601\ 583$$

$$X = 5\ 144\ 721$$

$$H = 241,32\ \text{m}$$

Bušotina Vukanovec – 2 (Vuk – 2) dosegula je dubinu od 1950,00 metara. Na ušću nalazi se erupcijski uređaj i bušotinska glava koje mogu podržati tlak unutar kanala bušotine do 345 bar (5000 PSI) (AZU, 1995).

3.4.1. Konstrukcija bušotine Vuk – 2

Zacjevljenje

Uvodna kolona $D = 339,7$ mm (13 3/8")

Ugrađena od dubine 197,3 m do ušća u sastavu H-40; 71,48 kg/m (48#) te je cementirana do ušća.

Tehnička kolona $D = 244,5$ mm (9 5/8")

Ugrađena je do dubine 1198,0 m do ušća u sastavu J-55; 53,62 kg/m (36#) 1198,00 – 0,00 m i kolona je zacementirana do vrha.

Proizvodna kolona promjera $D = 188,9$ mm (5 1/2") ugrađena je od dubine 1112,1 – 1789,0 m u sastavu J-55; 25,28 kg/m i kolona je cementirana do vrha.

Open hole promjera 8 1/2" izbušen do 1950,0 i zacementirana od 1950,00 do m (AZU, 1971).

3.4.2. DST ispitivanje bušotine Vuk - 2

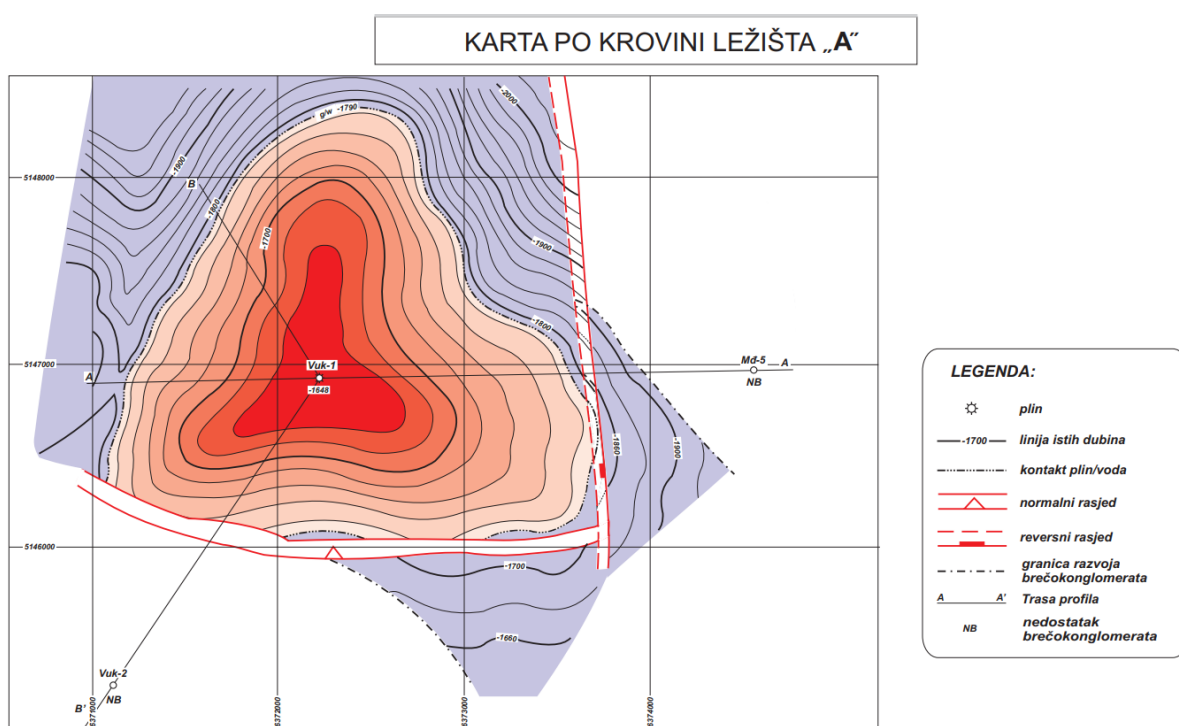
Prvi DST test napravljen je u intervalu 1737,75 – 1747 metara. Ležišnu stijenu čini intenzivno i nejednoliko tektonizirani rekristalizirani vapnenac srednjotrijaske starosti. Dijagrami tlakova ukazuju na vrlo slabu propusnost. Povećanje tlaka na protočnoj krivulji (FFP = 4,6 bar) odgovara količini dobivene isplake, a krivulja porasta tek se počela razvijati

i njezina očitana vrijednost ICIP = 32,5 bara, što je daleko od ostvarene vrijednosti u sloju. Izmjerena temperatura na dubini 1744,8 metara iznosi 98°C iz čega proizlazi da je $G_t = 5^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Srednja godišnja temperatura iznosi 10,5°C. Ispitani interval je slabe propusnosti.

Drugo ispitivanje provelo se na intervalu 1782,93 – 1810,0 metara. Ležišnu stijenu čine intenzivno tektonizirani i rekristalizirani vapnenac srednjetrojanske starosti, za razliku od bušotine Vuk – 1, gdje su prisutni brečokonglomerati miocena. Ostvaren je dotok od 15,5 m³ vode. Nivo vode dosegao je visinu od 1710 metara, ali ne radi se o slojnoj vodi već o filtratu isplake. Statički tlak je dovoljno razvijen i u granicama hidrostatičkog tlaka. Inicijalni slojni tlak iznosi 177,8 bara. Izmjerena temperatura na 1808 metara iznosi 86,6°C (AZU, 1995).

3.5. Determiniranje geotermalnog potencijala plinskog polja Vukanovec

U prethodnim poglavljima prikazan je položaj, dubina, konstrukcija te navedeni su DST testovi ukoliko su obavljeni na bušotinama na plinskom polju Vukanovec. Kontakt plin – voda nalazi se na dubini od 1791 metara što se može vidjeti prema Slici 3 – 2. dok se položaj bušotina u odnosu na plinsko polje i vodonosnik može vidjeti na Slici 3 – 4. u nastavku. Na Slici 3 – 4. prikazana je karta po krovini ležišta na kojem je prikazan položaj bušotine Vuk-1 u odnosu na plinsku kapu. Karta po krovini ležišta B nije napravljena jer se smatra da je interval od 1400 m do 1550 m nepropustan i ne sadržava plin, ali je zato interesantan za razmatranje geotermalnog potencijala (Muvrin et al., 2006b).



Slika 3-4. Karta po krovini ležišta plinskog polja Vukanovec, (Muvrin et al., 2006b)

Tablica 3-2. Bušotine plinskog polja Vukanovec (AZU, 1994 – 1995)

Bušotina	Dubina [m]	DST
Vuk – 1	2178	DA
Vuk – 2	1950	DA

Na navedenim bušotinama u Tablici 3 - 2. obavio se DST na dubinama koje su bile u zanimljive za eksploataciju ugljikovodika. Za geotermalni potencijal polja, ključni parametri

su: temperatura (°C), tlak (Pa), dubina (m), salinitet (g/l NaCl – g/dm NaCl) te propusnost (mD). Ovisno o već navedenim parametrima, te geološkom i litološkom smislu, ovisi potencijal polja da se iskoristi u geotermalne svrhe. Poželjno je da polje ima što veći geotermalni gradijent, propusnost te veći omjer otopljenog plina u vodi. U Tablici 3 – 3. sistematizirane su bušotine koje imaju DST analizu na poželjnoj dubini.

Tablica 3-3. Sistematizacija provedenih Drill Stem Testova na istražnom polju Vukanovec (AZU, 1994 – 1995)

Bušotina	Dubina (debljina sloja) [m]	Litostratigrafija	Temperatura [°C]	Tlak [bar]	Propusnost [mD]	Salinitet [g/dm ³]
Vuk – 1	2150 – 2162 (11,6)	Brečo konglomerati (Gornji trijas – podloga Tercijara	114,5	211,4	/	8,473
Vuk – 2	1782,93 – 1810,0 (27,07)	Rekristalizirani vapninci – srednji trijas	86,6	177,8	/	1,899

Rezultati koji su prikazani u Tablici 3-3. možemo zaključiti kako bi se na dubini od 1800 metara i više mogao iskoristiti geotermalni potencijal polja.

4. EKSPLOATACIJSKO POLJE ZEBANEC

Eksploatacijsko polje Zebanec nalazi se na krajnjem sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske u Međimurskoj županiji. Teritorijalno, eksploatacijsko polje Zebanec nalazi se na oko 10 km sjeverno od Čakovca na području istoimenog sela Zebanec te se prostire na području općina Selnica, Mursko Središće i Vratašinec. Površina plinskog eksploatacijskog polja procijenjena je na 19,90 km². Proizvodno polje Zebanec otkriveno je 1974. godine dubokom istražnom bušotinom Zebanec – 1 (Zb-1), koja je nabušila plinsko ležište B u karbonatima trijasko starosti. Bušotinom Zeb-2 potvrđeno je rasprostiranje plinskog ležišta B, ali otkriveno je naftno ležište A s primarnom plinskom kapom. Razradni scenarij eksploatacijskog polja Zebanec, u okviru Projekta Međimurje, uključuje crpljenje plinskog ležišta B, koji čini 92% ukupnih pridobivih rezervi plinskog polja Zebanec. Ostatak pridobivih rezervi čine rezerve plinske kape naftnog ležišta A (Lazo, 2015).



Slika 4-1. Karta bušotina naftnog polja Zebanec (Google Earth, 2023, Vlastita grafika)

4.1. Litološki stup

Na osnovi duboke istražne bušotine Selnica – 1, te strukturne karte po krovini Petišovci pješčenjaci, predviđene su sljedeće litosratigrafske jedinice prikazane u Tablici 4 – 1.

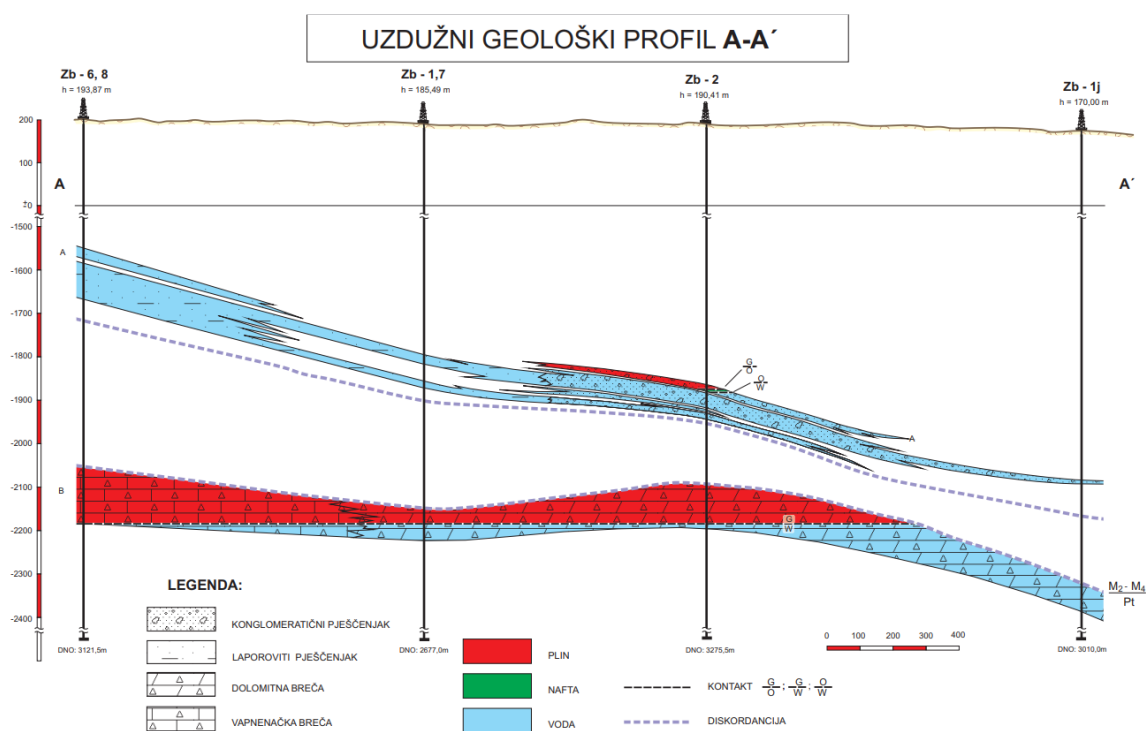
Tablica 4-1. Prikaz litoloških formacija ležišta Zebanec (AZU, 1974)

Dubina [m]	Litologija	Formacija	Član
0 - 30	Srednje čvrsti lapori i proslojci pješčenjaka	Lendevska	Gorice lapor
30 – 140	Pješčenjaci s proslojcima lapora	Lendevska	Paka pješčenjaci
140 – 185	Lapori s proslojcima pješčenjaka	Lendevska	Lendavčica lapor
185 – 340	Pješčenjaci s proslojcima lapora	Lendevska	G. Ratka pješčenjak
340 – 380	Pjeskoviti lapori i lapor, proslojci pješčenjaka	Lendevska	Dolina lapor
380 – 400	Vezani pješčenjaci, tvrdi lspor	Lendevska	D. Ratka pješčenjak
400 – 450	Tvrđi lapori, proslojci pješčenjaka	Lendevska	Lenti – Pime lapor
450 – 530	Srednje vezani pješčenjaci, srednje tvrdi lapori, kalkarentinske subgrauvake	Mursko – sobotska	/
530 – 570	Fino pjeskoviti/tvrđi lapori, litotamniski i biogeni vapnenci	Mursko – sobotska	Benica lapor
570 – 3035	Fino pjeskoviti lapori, laporoviti siltiti, sedimenti	Mursko – sobotska	Čentiba član
3035 – 3200+x	Vapnenci, dolomiti, paleozojski škriljci	Podloga tercijara	/

4.2. Geološka osnova proizvodnog polja Zebanec

Područje eksploatacijskog polja Zebanec probušene su stijene raspona starosti od trijasa do srednjeg miocena (badena). Najstariju formaciju čini podloga tercijskih stijena, a sastoji se od srednje do gornjotrijaskih ranodijagenetskih dolomita te kalcitnih i dolomitnih tektonskih breča. U tim se naslagama nalazi najveće ležište plina.

Struktura polja Zebanec izdužena je smjerom SZ – JI. Sastoji se od dvije antiklinale i strukturno sedlo između njih. Proizvodno polje presječeno je normalnim rasjedom s južne strane i jednim poprečnim normalnim rasjedom sa zapadne strane. Ovi rasjedi tvore granice plinskog ležišta (Muvrin et al., 2006c).



Slika 4-2. Geološki profil polja Zebanec (Muvrin et al., 2006c)

4.3. Bušotina Zebanec – 1 (Zb – 1)

Koordinate bušotine Zb - 1

$$Y = 5\ 609\ 620$$

$$X = 5\ 149\ 933$$

$$H = 185,49\ \text{m}$$

4.3.1. Konstrukcija bušotine Zb – 1

Bušotina Zb – 1 doseže dubinu od 2690,0 metara.

Zacjevljenje

Uvodna kolona $D = 339,7\ \text{mm}$ (13 3/8") ugrađena od dubine 242,34 m do ušća u sastavu H-40; 71,48 kg/m (48 #) te je zacementirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 244,5\ \text{mm}$ (9 5/8") ugrađena je do dubine 1759,00 m do ušća u sastavu:

N-80; (40 #) od 1759,00 do 1351,35 metara

J-55; (40 #) od 1351,35 do 436,67 metara

N-80; (40 #) od 436,67 do 0,00 i kolona je zacementirana do vrha.

Druga tehnička kolona $D = 177,8\ \text{mm}$ (7 #) ugrađena je do dubine 2455,00 m do ušća u sastavu:

N-80; (26 #) od 2455,00 do 1561,61 m

N-80; (23 #) od 1561,61 do 478,28 metara

N-80; (26 #) od 478,28 do 0,00 metara i kolona je cementirana do ušća.

Proizvodna kolona $D = 127,0\ \text{mm}$ (5") ugrađena je od dubine 2505,66 m do ušća u sastavu N-80; (15 #) te je cementirana do vrha (Agencija za ugljikovodike - Bušotinski fond plinskih polja Zebanec [AZU], 1974).

4.3.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 1

Prvo DST ispitivanje izvršeno je na intervalu 1220,0 – 1228,0 m i prema litostratigrafskoj korelaciji ispitivani sedimenti pripadaju Čentiba članu. U bušaćim šipkama dobiveno je svega 200 dm³ isplake bez ikakvih tragova plina ili nafte. Ustvrdilo se kako je testirana formacija potpuno nepropusna bez slojne energije.

Drugo testiranje izvršeno je u otvorenom kanalu bušotine u intervalu 1981,90 – 1993,0 m koji također pripada Čentiba članu. Pješčenjak je vizualno ocijenjen kao slabo propustan, a fizikalnim analizama 18 uzorka mehaničke jezgre utvrđena je permeabilnost od 5,58 mD. Maksimalna temperatura formacije je 116°C. Nakon 37 minuta, unutar bušaćih šipki nalazilo

se 1700 dm³ slane vode i 400 dm³ isplake. Voda je bila slabo zaplinjena, a najveći salinitet iznosio je 18,14 g/l NaCl. Krivulje I i II statičkog tlaka dovoljno su razvijene i omogućuju korektnu ekstrapolaciju. Uz depresiju od 48,5 at ostvarena je proizvodnost od 38,07 m³/dan. Efektivna permeabilnost iznosi 0,87 mD što je znatno manje od dobivenog fizikalnim analizama jezgre. Uslijed djelovanja hidrostatskog pritiska isplake, oštećena je pribušotinska zona (DR=3,52) te ukoliko se oštećenje ukloni, proizvodnost bi mogla porasti na 134 m³/dan. U toku mjerenja protoka zahvaćen je radijus od 7,04 m. Testirani je sloj relativno slabih kolektorskih svojstava i sadrži slanu slojnu vodu pod gotovo normalnim hidrostatskim pritiskom.

Treći DST test obavljen je u intervalu 2336,8 – 3345,2 m, a ispitane su sive dolomitno-vapnene breče koje pripadaju članu Čentiba. Manifestacija izlaženja zraka na površini bila je od samog te se na površini pojavio gorivi plin. Mjerenje protoka se iz razloga sigurnosti morao prekinuti. Tokom mjerenja drugog protoka zapaženo je prelijevanje isplake iz međuprostora zbog popuštanja šipki. Krivulje tlaka dobro su razvijene i omogućuju jasnu interpretaciju. Indiciraju neujednačen dotok, dok statički tlak odgovara slojnom tlaku od 239,9 at. Dnevna proizvodnja kompozitnog, koja je izračunata na bazi dobivenih podataka, iznosila bi 121608 – 127803 Nm³/dan. Radi se o perspektivnom kolektoru zasićenom ugljikovodicima. Nepovoljna okolnost je visoki udio CO₂ u sastavu plina.

Četvrta operacija DST-a napravljena je na intervalu 2455,0 – 2472,0 m. Potencijalni produktivni horizont u toku testiranja bio je opterećen sa 38,7 m stupca isplake. Tijekom mjerenja prvog protoka na površini su zamijećene slabe manifestacije dotoka, dok u drugom mjerenju nije bilo nikakvih znakova dotoka fluida u šipke. Pri izvlačenju alata na površinu konstatirano je da je u toku protoka u prazne bušaće šipke doteklo 320 dm³ isplake i 310 dm³ slabo slane vode (salinitet 4,09 g/l NaCl). Prvi statički tlak iznosi 220,26 at, dok završni statički tlak iznosi 172,29 at. Nadtlak je nastao zbog utjecaja hidrostatskog tlaka isplake. Kada je bušotina dosegla konačnu dubinu od 2690 metara odlučeno je ponovno ispitati već navedeni interval.

Prilikom otvaranja tester ventila, na površini je manifestiran dotok sa trendom slabljenja. Tijekom drugog protoka na površini nije bilo manifestacije dotoka. U šipkama je dobiveno 1200 dm³ teške vode kojom je bila napunjena bušotina bez tragova ugljikovodika (AZU, 1974).

4.4. Bušotina Zebanec 2 (Zb – 2)

Koordinate bušotine Zb - 2

Y = 5 610 274

X = 5 149 374

H = 190,41 m

4.4.1. Konstrukcija bušotine Zb – 2

Dubina bušotine Zebanec 2 (Zb – 2) nalazi se na dubini od 3276 metara. Na ušću nalazi se bušotinska glava i erupcijski uređaj koji mogu podržati tlak unutar kanala bušotine od 345 bar (5000 PSI).

Zacjevljenje

Uvodna kolona D = 508 mm (20") te je ugrađena do 78,8 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona D = 339,7 mm (13 3/8"), ugrađena je od dubine 793,04 m do ušća u sastavu i kolona je zacementirana do vrha.

H-40; 70,9 kg/m (48 #) 1200,00 – 0,00 m

Druga tehnička kolona D = 244,5 mm (9 5/8"), ugrađena od dubine 2444,0 m do ušća u sastavu:

N-80; 70,64 kg/m (47 #) – od 2444,0 do 1410,84 m

N-80; 65,64 kg/m (44 #) – od 1410,84 do 519,99 m

N-80; 70,64 kg/m (47 #) – od 519,99 do 0,0 m

Kolona je zacementirana do 234,0 od vrha.

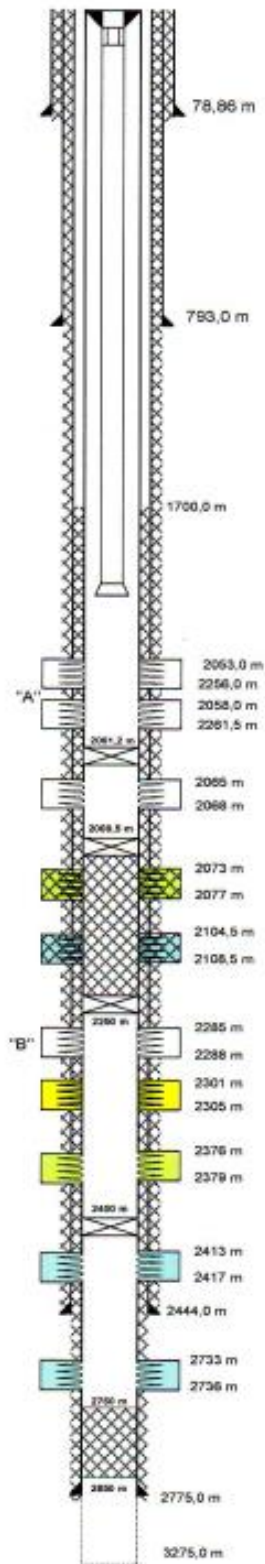
Proizvodna kolona promjera D = 139,78 mm (5 1/2")

Ugrađena je od dubine 2775,0 m do ušća u sastavu:

N-80; 25,32 kg/m (17 #); 2775,0 – 648,64 m

N-55; 29,79 kg/m (20 #); 648,64 – 0,0 m , kolona je zacementirana od 2775,0 do 1700 m do vrha.

Otvoreni kanal bušotine ima promjer od 8 1/2 " u intervalu od 2000 m do 2178 m. Zacjevljenje bušotine prikazano na Slici 4 – 3. (AZU, 1975).



ZAŠTITNE CIJEVI		DUB UGRAD. (m)	CEMENT (m)	OD (mm)	ID (mm)
Uvodna kolona	20"	0 - 78,86	0	508,00	
I Tehnička kolona	13 ^{3/8} " ; 48 [#] ; H-40	0 - 793,0	0	339,70	322,90
II Tehnička kolona	9 ^{5/8} "	47 [#] ; N-80	0 - 519,9	244,50	220,50
		43,5 [#] ; N-80	519,9 - 1410,8	244,50	222,40
Proizvodna kolona	5 ^{1/2} "	47 [#] ; N-80	1410,8 - 2444	244,50	220,50
		17 [#] ; N-80	0 - 648,6	139,70	124,30
		20 [#] ; N-55	648,6 - 2775	139,70	121,40

Slika 4-3. Konstrukcija Bušotine Zb – 2 (Muvrin et al., 2006c)

4.4.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 2

Prva DST operacija izvršena je otvorenom kanalu bušotine na intervalu 2053,6 – 2068,5 m što litostratigrafski pripada Čentiba članu. Temperatura bušotine u tom intervalu iznosi 109°C. Unutar šipki doteklo je 600 dm³ smjese vode i isplake saliniteta 1,56 g/l NaCl te 200 dm³ vrlo guste nafte. Ekstrapolacijom dobiva se vrijednost tlaka od 212,22 bara. Za proračun koristi se ustaljeni tlak izmjeren na kraju protoka od 66,1 at što na sapnicu od 9,52 mm daje proizvodnju od 66890 Nm³/dan. Efektivna propusnost formacije iznosi 4,4 mD, a u toku mjerenja je zahvaćen radijus 5,54 m od kanala bušotine. Prosječna propusnost izmjerena na uzorcima pješčenjaka iz jezgre je 10,6 mD. Prema proračunu formacija nije znatnije oštećena DR=1,24. Sloj ima povoljne kolektorske karakteristike za iskorištavanje ugljikovodika.

Drugo DST ispitivanje izvršeno je na intervalu 2284,00 – 2293,00 metara. Ispitani interval pripada Čentiba formaciji (izgrađen od šejla i dolomitnih breča). Zrak je na površini odmah manifestiran u tlak ispod površinske sapnice promjera 7,52 mm iznosio je 460 PSI-a. Porast drugog dinamičkog tlaka napreduje znatno brže i stabilizira se na 750 PSI-a površinske sapnice 9,52 mm. U prazne bušace šipke za vrijeme protoka doteklo je osim plina i 100 dm³ emulzije voda-nafta (gazolin).

Treće ispitivanje napravljeno je na intervalu 2350,9 – 2359,0 metara te pripada prema litostratigrafstkoj podjeli Čentiba članu. Prilikom otvaranja tester ventila, nakon 4 minute, na površini se manifestirao plin te je nakon 5 minuta tlak na sapnici promjera 9,52 mm iznosio 180 PSI-a. Pritisak je kontinuirano rastao te stagnira nakon što dosegne vrijednost od 96,5 bara. Daljnjim ispitivanjem dokazano je da se radi o čistom plinskom sloju, a za vrijeme protoka osim plina, u šipke je doteklo samo 350 dm³ isplake pomiješane sa slojnom vodom. Formacija ima jako dobru propusnost i u potpunosti je zasićena plinom koji ima visoki udio CO₂ (AZU, 1975).

4.5. Bušotina Zebanec – 1 Jug (Zb – 1 Jug)

Koordinate bušotine Zb - 1 Jug

$$Y = 5\ 611\ 340$$

$$X = 5\ 149\ 400$$

$$H = 177\ \text{m}$$

Ukupna duljina bušotine iznosi 3010 metara.

4.5.1. Konstrukcija bušotine Zb – 1J

Uvodna kolona $D = 340\ \text{mm}$ ($13\ 3/8''$); H-40; $70,0\ \text{kg/m}$ (48#) te je ugrađena do 270 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 244\ \text{mm}$ ($9\ 5/8''$), ugrađena je od dubine 1970,0 m do ušća u sastavu J-55; $53,37\ \text{kg/m}$ (36 #) 1850,0 – 0 i kolona je zacementirana do vrha.

Proizvodna kolona promjera $D = 140,0\ \text{mm}$ ($5\ 1/2''$)

Ugrađena je od dubine 2500,0 m do ušća u sastavu:

J-55; $25,38\ \text{kg/m}$ (17 #); 2500,0 – 1600,0 m

N-80; $25,38\ \text{kg/m}$ (17 #); 1600,0 – 0,0 m , kolona je zacementirana od 2500,0 do vrha (AZU, 1987).

4.5.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 1 Jug

Prvi *Drill Stem Test* (DST) - ispitan je otvoreni kanal bušotine promjera 216 mm u intervalu od 1970 m do 1995 m (ukupne duljine 25 m). Zadatak testiranja bio je utvrditi zasićenje ugljikovodicima u konglomeratičnim pješčenjacima Moslavačka Gora formacije Mosti član. Odmah nakon aktiviranja testera, na površinu počinje izlaziti zrak uz burne manifestacije. Testiranjem je dobiveno $0,35\ \text{m}^3$ isplake. Iz dijagrama dubinskih manometara i očitavanja tlakova, utvrđeno je da nema porasta tlaka za vrijeme prvog i drugog protoka. Temperatura mjerena na dubini od 1941,16 metara iznosi $74,4\ ^\circ\text{C}$, geotermalni gradijent $3,8\ ^\circ\text{C}/100\ \text{m}$, što je vrlo nizak za to područje. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da su testirani pješčenjaci vrlo slabe propusnosti, gotovo nepropusne.

Drugo DST testiranje provedeno na intervalu od 2200,55 m do 2217,00 m, s namjerom da se utvrdi zasićenje u konglomeratičnim pješčenjacima miocenske starosti. Dvostrukim mjerenjem (15 – 50 - 120 – 120) proteklo je uz manifestaciju izlaženja zraka jačeg intenziteta, bez tlaka na površini. U bušaćim šipkama dobiveno je $0,25\ \text{m}^3$ isplake. Dijagrami dobivenog testa odraz su praktički nepropusnog kolektora. Izmjerena je temperatura na dubini od 2193,66 metara i iznosi 109°C , geotermalni gradijent $4,9^\circ\text{C}/100\ \text{m}$.

Trećim DST testom ispitivao se interval 2240,70 – 2260 m (duljine 15,30 metara) s namjenom da se utvrdi zasićenje ugljikovodicima u krupnozrnatim pješčenjacima miocenske starosti. Nakon aktiviranja testera na površinu počinje izlaziti zrak uz burne manifestacije. Otkriven je dotok plina nakon šest minuta, a tlak na površini iznosio je 5,5 bar. Testiranjem je dobiven gorivi plin sa radnim tlakom 22,45 bara, 0,1 m³ gazolina i 0,35 m³ emulzije gaziolin + isplaka. Krivulja prvog statičkog tlaka zbog kratkoće mjerenja nije razvijena. Drugi statički tlak nakon 160 minuta mjerenja ima vrijednost od 211,238 bara. Ekstrapolirana vrijednost tlaka iznosi 234,52 bara, a dubina manometra je 2259 m. Temperatura izmjerena termometrom HT 500 na dubini od 2255 m iznosi 132 °C, gdje je geotermalni gradijent 5,8°C/100 m, dok je temperatura izmjerena termometrom BT-TE na dubini 2236,80 m iznosila 92,4°C ($G_t = 4,1^\circ\text{C}/100\text{ m}$) što ukazuje na neispravnost mjerenih instrumenata. Na osnovu testa možemo zaključiti kako u testiranim pješčenjacima postoji zasićenje plinom, ali su one slabe propusnosti.

Četvrtim DST testom testiranje je izvedeno u intervalu od 2488,73 m do 2505,0 m (16,27 m), a ispitana stijena je dolomitna breča miocenske starosti. Nakon aktiviranja testera na površinu počinje izlaziti plin uz osrednju manifestaciju i spaljuje se na baklju. Eruptivni dotok izmjeren za 10 minuta iznosio je 2 m³ slojne vode. Temperatura na površini je iznosila 43°C. Za to vrijeme tlak na površinskom manometru iznosio je 2 – 6 bara. Prema kemijskoj analizi dobiveni fluid pripada hidrokarbonatnom-natrijskom tipu. Krivulja porasta slojnog tlaka potpuno je razvijena i ima vrijednost ICIP = 248,96 bara. $P_{\text{ext}} = 249,74\text{ bara}$ ($G_p = 0,99\text{ bara}/10\text{m}$). Za izračunavanje slojnih karakteristika korištena je Hornerova metoda. Obujamski protok (Q) kod eruptivnog dotjecanja iznosi 288 m³/dan. Propusna sposobnost $k_{\text{he}} = 430,90 \cdot 10^{-3}\ \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$. Prosječna efektivna propusnost $k = 43,09 \cdot 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ (43,09 mD). Odnos oštećenja EDR = 0,78 sloj je neoštećen. Radijus ispitivanja $R_i = 88,63\text{ m}$. Temperatura izmjerena na dubini 2480,70 metara iznosi 136,9°C ($G_t = 5,5^\circ\text{C}/100\text{ m}$). Na osnovi dobivenih podataka može se zaključiti da su testirane dolomitne breče zasićene vodom i dobro propusne (AZU, 1987).

4.6. Bušotina Zebanec -3 (Zb – 3)

Koordinate bušotine Zb - 3

$$Y = 5\ 609\ 979$$

$$X = 5\ 150\ 931$$

$$H = 180,49\ \text{m}$$

4.6.1. Konstrukcija bušotine Zb-3

Dubina bušotine prema bušaćim šipkama iznosi 2983,0 m, a prema EK mjerenjima 3207,0 metara.

Uvodna kolona $D = 508,00\ \text{mm}$ (20"); H-40; 70,0 kg/m (94#) te je ugrađena do 72 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 339,7\ \text{mm}$ (13 3/8"), ugrađena je od dubine 659,5 m do ušća u sastavu:

J-55; (61 #); 672,50 – 294,30 m

J-55; (54,5 #); 294,30 - 0,00 m i kolona je zacementirana do vrha.

Druga tehnička kolona $D = 244,5\ \text{mm}$ (9 5/8"), ugrađena je do 2245 metara sastava:

N-80; (47 #); 2245 – 2086,21 m

C-75; (47 #); 2086,22 – 1724,90 m

N-80; (43,5 #); 1724,90 – 1503,72 m

N-80; (42,5 #); 1503,72 – 1213,39 m

Proizvodna kolona promjera $D = 177,8\ \text{mm}$ (7") te građena je od dubine 2836,0 m do ušća u sastavu:

N-80; (26 #); 2836,0 – 1967,20 m

C-75; (26 #); 1967,20 – 981,89 m

N-82; (26 #); 981,89 – 0,00 m, kolona je zacementirana od 2836,0 do vrha (AZU, 1976).

4.6.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 3

Prvo DST testiranje na dubokoj istražnoj bušotini Zb – 3 izvedeno je u intervalu 1795,02 – 1805,62 m, ali tehnički nije uspjelo zbog proširenja kanala bušotine. Navedeni interval je jezgrovan i utvrđena je 62% prisutnost plina.

Drugi DST test odnosio se na ispitivanje intervala 2381,9 – 2391 m uslijedilo je nakon erupcije plina, do koje je došlo na dubini od 2383 m popraćeno povećanjem napretka bušenja. U šipkama je dobiveno 100 litara isplake. Prema dijagramima, pritisak u ispitanom plinskom horizontu naglo opada. Prema dobivenim podacima ispitani je interval

pretpostavljeno male propusnosti s vrlo brzim gubitkom pritiska i barijerom unutar radijusa ispitivanja. Sa ekonomskog stajališta interval nije interesantan.

Treće DST testiranje na dubokoj istražnoj bušotini Zb-3 izvedeno je na intervalu 2424,4 – 2433,7 m. Litostratigrafski ispitani interval odgovara Čentiba članu. Litološku građu tog intervala i njegove krovine izgrađuje sivi hranišavi lapor, mjestimično raspucan. Akumulacija ugljikovodika vezana je za stijenu sa sekundarnom poroznošću i testiranju je prethodila kontrolirana erupcija plina na intervalu 2427 – 2432 m. Nakon petominutnog mjerenja protoka plin se pojavio na površini, dok se isplaka pojavila nakon 19 minuta. Testiranjem dobiveno je 3,9 m³ isplake. Ispitani interval je pretpostavljeno male propusnosti s naglim padom slojnog tlaka uvjetovan barijerom unutar drenažnog radijusa bušotine. Sa ekonomskog stajališta interval nije interesantan.

Četvrta operacija DST-a izvršena je iz kolone promjer 177,8 mm sa čeljustima i visećim ankerom (sidrom). Ispitani interval bušotine ispod kolone bio je od 2836 do 2853 m promjera 6 1/8". Prije ugradnje kolone bušotina je radila pod kontroliranom erupcijom i spuštanje kolone je bilo otežano. Cementacija je izvedena inverzno. Plin u isplaci tijekom bušenja vapnenca bio 25%, ali poslije stajanja u prvoj cirkulaciji dolazi do zapljinjena isplake i plinskih čepova sa preko 70% relativne koncentracije. Zbog toga je odlučeno testirati navedeni interval. Nakon aktiviranja testera na površini su zamijećene vrlo slabe manifestacije dotoka. U šipkama je dobiveno 1300 dm³ fluida od čega je bilo 250 dm³ isplake i 1050 dm³ zapljinjene vode onečišćene isplakom. Salinitet vode određen je na dva uzorka i iznosi 8,19 g/l NaCl do 9,36 g/l NaCl. Dijagrami dubinskih manometara ukazuju da je formacija pretrpjela oštećenja. Dotok u šipkama je za vrijeme prvog i drugog dotoka bio ujednačen. Na osnovu porasta stupca fluida u šipkama izvršen je proračun te postojećim uvjetima testirana formacija daje 20,45 m³/dan. Ispitani vapnenački sloj posjeduje relativno dobra kolektorska svojstva i znatnu slojnu energiju. U pukotinama je sadržana voda sa otopljenim plinom i nema indikacija na bližu vezu s naftnim ležištem. Uklanjanjem pretrpljenih oštećenja, produktivnost bušotine bi se višestruko uvećala.

Posljednja, peta operacija DST-a, izvršena je kao i prethodna operacija. Testiran je otvoreni kanal bušotine ispod kolone od 2836 do 2944,5 m. Aktivacijom testera na površini je zapažen intenzivan dotok zraka. Prema proračunu volumena ispod pakera, određeno je da je dobiveno 2170 dm³ isplake i 7580 dm³ slojne vode sa dosta otopljenog plina. Salinitet vode uzorka iznosi 21,8 – 23,0 g/l NaCl nakon korekcije saliniteta. Izmjerena ekstrapolirana vrijednost tlaka 281,7 bar. Izmjerena vrijednost završnog statičkog slojnog pritiska je 285,02 atm i jednaka je završnom dinamičkom pritisku. Obavljen je proračun kolektorskih osobina.

Pretpostavlja se da se radi o homogenom rezervoaru, prosječne efektivne propusnosti 190 mD. Formacija nije oštećena ($DR=0,74$) . Drenažni radijus testiranja je oko 150 m. Potenciometrička površina iznosi 239 m. Iz dobivenog DST testa može se zaključiti kako testirana formacija ima dobra kolektorska svojstva i znatnu slojnu energiju porni i pukotinski prostor zapunjen je slanom vodom s dosta plina. Ako je mjerenje točno izvršeno na ušću bušotine, kod dotoka čiste vode pritisak bi trebao iznositi 5 – 6 at. Ovaj je podatak interesantan za eventualnu eksploataciju vode (AZU, 1976).

4.7. Bušotina Zebanec – 4 (Zb – 4)

Koordinate bušotine Zb - 4

Y = 5 609 034

X = 5 151 211

H = 183,42 m

Dubina bušotine je 3019,5 metara nazivnog promjera 8 ½".

4.7.1. Konstrukcija bušotine Zb – 4

Zacjvljenje

Uvodna kolona D = 508 mm (20"); 94#, te je ugrađena do 79 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona D = 339,7 mm (13 3/8"), ugrađena je od dubine 882,46 m do ušća u sastavu i kolona je zacimentirana od 870,24 m do vrha. Sastav:

J-55; (61 #); 882,46 – 476,90 m

J-55; (54,5 #); 476,90 – 126,26 m

J-55; (61 #); 126,26 – 0,00 m

Druga tehnička kolona D = 244,5 mm (9 5/8"), ugrađena od dubine 2226,0 m do ušća u sastavu:

C-75; (47 #) – od 2226,0 do 1520,49 m

N-80; (40 #) – od 1520,49 do 433,67 m

N-75; (43,5 #) – od 433,67 do 0,0 m

Kolona je zacimentirana od 800 do 2207,04 metra.

Proizvodna kolona promjera D = 139,78 mm (5 ½"), ugrađena je od dubine 2850,0 m do ušća u sastavu:

C-75; (20 #); 2850,00 – 1967,05 m

C-75; (17 #); 1967,05 – 593,96 m

C-75; (20 #); 593,96 – 84,46 m

C-75; (17 #); 84,46 – 0,00 m , kolona je zacementirana od 2831,28 do 1500 m do vrha (AZU, 1977).

4.7.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 4

DST izvršen je u otvorenom kanalu bušotine na intervalu 2250,4 – 2260 m. Testirana formacija izgrađena je od konglomeratičnog pješčenjaka u krovini izolirana tamnosivim tvrdim laporom. Prilikom testiranja, došlo je do propuštanja pakera i unutar šipki ušlo je preko 3 m³ isplake te se testiranje ponavlja.

Testirano je iz kolone promjera 9 5/8" sa čeljustima i visećim sidrom. Otvoreni kanal ispod kolone bio je od 2226 do 2260 m. Nakon aktivacije čeljusti, pretpostavljeni ukupni volumen ispod pakera iznosio je 1400 dm³. Zbog teškoća s tubingom, ventil na površini se morao zatvoriti te je pritisak u šipkama porastao na 200 PSI-a. Nakon otvaranja ventila, pritisak brzo pada. Slab dotok plina na površinu ukazuje na slabu propusnost. Formacija je praktički nepropusna sa niskom slojnom energijom. Porast statičkog slojnog pritiska ne može se ekstrapolirati i jasno ukazuje da je formacija nepropusna. Osim plina u bušaću šipke doteklo je 2,6 m³ zapljinjene isplake. Formacija ima slabe kolektorske formacije i nema ekonomskog značaja (AZU, 1977).

4.8. Bušotina Zebanec – 6 (Zb – 6)

Koordinate bušotine Zb - 6

Y = 5 608 623

X = 5 150 201

H = 193,87 m

Dubina bušotine je 3121,5 metara, nominalnog promjera 8 ½".

4.8.1. Konstrukcija bušotine Zb – 6

Zacjevljenje

Uvodna kolona D = 339,7 mm (13 3/8"); N-80; 64#, te je ugrađena do 284,32 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona D = 224,5 mm (9 5/8"), ugrađena je od dubine 1916 m do ušća u sastavu i kolona je zacementirana do vrha. Sastav kolone:

N-80; (47 #); 1916,99 – 1632,49 m

J-55; (40 #); 1632,49 – 894,40 m

J-55; (36 #); 894,40 – 392,41 m

J-55; (40 #); 392,41 – 0,00 m

Proizvodna kolona promjera $D = 139,78$ mm (5 ½"), ugrađena je od dubine 3065,09 m do ušća u sastavu:

J-55; (17 #); 3065,09 – 3042,23 m

C-95; (23 #); 3042,23 – 2058,49 m

J-55; (17 #); 2058,49 – 0,00 m, kolona je zacementirana od 3042,75 do 1900 metara (AZU, 1980).

4.8.2. DST ispitivanje bušotine Zb – 6

Prvi DST test izvršen je u otvorenom kanalu bušotine s osloncem na dno u intervalu od 1245,20 do 1260,0 metara ukupne duljine 14,5 metara. Svrha testiranja bila je upoznavanje kolektorskih svojstava pješčenjaka i lapora Čentiba člana (utvrđeni tragovi pozitivnosti na ugljikovodike). Pregledom jezgre prije testiranja, utvrđeno je kako je interval slabo propustan. Na površini manifestacija tijekom mjerenja je loša, jedva primjetno izlaženje zraka. U šipkama je dobiveno 100 l isplake. Dinamički tlak dosegao je najveću vrijednost od 9,86 at, što je odraz veoma slabe propusnosti. Statički tlak iznosi 37,8 at. Svi dobiveni podaci ukazuju na rezultat veoma slabe propusnosti i niske slojne energije. Maksimalna temperatura iznosila je 72,2°C.

Drugi *Drill Stem Test* izvršen je u otvorenom kanalu bušotine u intervalu od 2247,3 do 2260,0 m (ukupna duljina od 12,7 m) s ciljem da se ispituju vapnenačke breče Čentiba člana. Paker je stavljen na osnovu operativnog geološkog dijagrama. Odmah nakon aktiviranja alatki, dolazi do izlaženja zraka i pojava slabo gorivog plina. Na kraju prvog protoka na površini se pojavila isplaka s plinskim čepovima. U toku drugog protoka izlazila je eruptivna isplaka i slabo gorivi plin. Maksimalni pritisak na površinskoj sapnici iznosio je 100 at s laganom tendencijom rasta. Bušotina je eruptivno izbacila 4 – 6 m³ zaplunjene isplake i filtrata isplake. U bušaćim šipkama dobiveno je 800 l filtrata isplake. Tlakovi protoka su visoki te zajedno s podacima o statičkim tlakovima ukazuju na veliku propusnost. Dijagrami tlaka dovoljno su razvijeni te je izvršena ekstrapolacija I i II statičkog slojnog tlaka. Drugi statički ekstrapoliran tlak iznosi 245,86 at. Dobiveni podaci svjedoče o visokoj propusnosti, ali nepovoljne karakteristika je visoki udio CO₂.

Posljednji DST izvršen je u intervalu od 2701 do 2715 m s ciljem da se ispituju vapnenačke naslage unutar Čentiba člana. Prije testiranja napravljeno je informativno elektrokarotžno mjerenje zbog određivanja prikladnijeg mjesta za stavljanje pakera.

Operacija je izvedena dvostruko. Iz dobivenih podataka dobiveno je da su naslage praktički nepropusne i bez slojne energije. Najveći izmjereni tlak je prvi statički tlak od 14,34 at dok je drugi statički tlak manji i iznosi 10,60 at. Temperatura izmjerena uređajem (HT – 500) iznosi 121,1°C (AZU, 1980).

4.9. Bušotina Zebanec – 7 Alfa (Zb – 7 Alfa)

Koordinate bušotine Zb - 7 Alfa

Y = 5 609 625

X = 5 149 940

H = 185,49 m

Bušotina Zb-7 Alfa pomaknuta je od bušotine Zb - 1 za 5 metara.

4.9.1. Konstrukcija bušotine 7 Alfa

Zacjevljenje

Uvodna kolona D = 339,7 mm (13 3/8"), te je ugrađena do 250,17 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona D = 244,5 mm (9 5/8"), ugrađena je od dubine 1504,0 m do ušća u sastavu:

N-80; (43,5#), 1504,0 – 0,0 m.

Proizvodna kolona promjera D = 139,78 mm (5 1/2"), ugrađena je do dubine 2405,0 m u sastavu:

L-80; (17 #); 2405,0 – 2380,13 m

L-80; (20 #); 2380,13 – 2298,12 m

L-80; (17 #); 2298,12 – 0,0 m, kolona zaštitnih cijevi je cementirana do ušća (AZU, 1986).

4.10. Bušotina Zebanec -8 (Zb – 8)

Koordinate bušotine Zb - 8

Y = 5 608 622

X = 5 150 196

H = 193,87 m

Bušotina Zb - 8 se nalazi na gotovo istoj lokaciji kao i bušotina Zb - 6, ali je udaljena za 5 metara prema jugu.

4.10.1. Konstrukcija bušotine Zb-8

Zacjevljenje

Uvodna kolona $D = 339,7 \text{ mm}$ ($13 \frac{3}{8}$ "), te je ugrađena do 254,94 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 244,5 \text{ mm}$ ($9 \frac{5}{8}$ "), ugrađena je od dubine 1538,5 m do ušća u sastavu:

N-80; (43,5 #), 1533,48 – 1382,39 m

N-80; (47 #), 1382,39 – 0,0 m te je cementirana do ušća.

Proizvodna kolona promjera $D = 139,78 \text{ mm}$ ($5 \frac{1}{2}$ "), ugrađena je od dubine 2420 m do ušća (AZU, 1986).

4.11. Bušotina Međimurje 1 (Mđ – 1)

Koordinate bušotine Mđ – 1

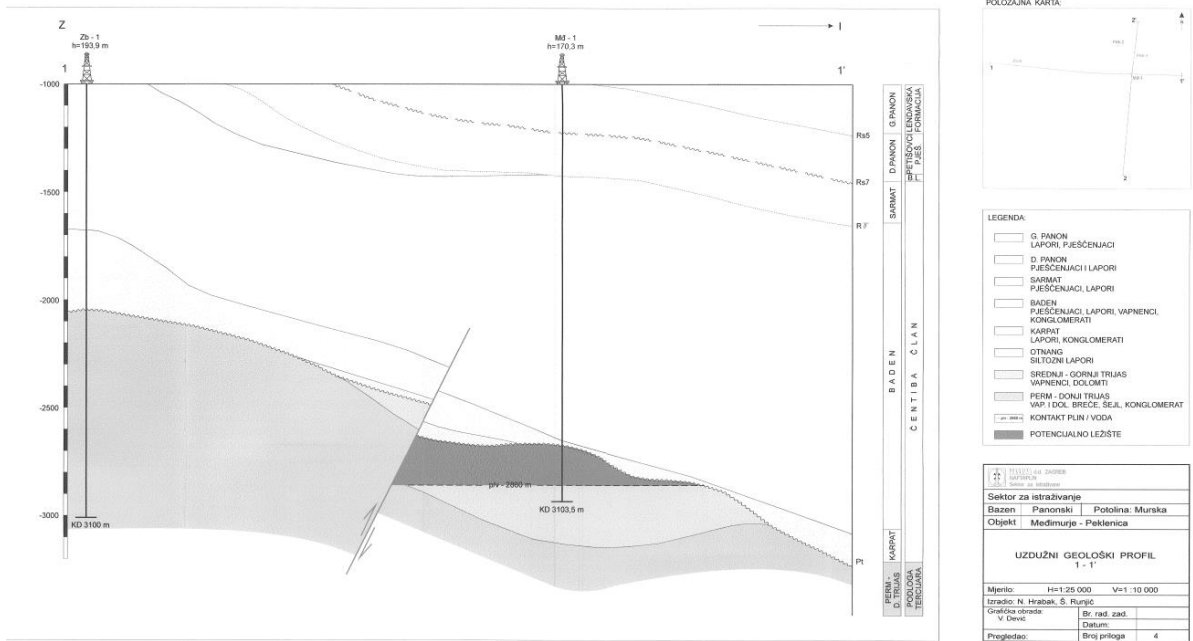
$Y = 5\ 614\ 097,78$

$X = 5\ 150\ 013,03$

$H = 170,33 \text{ m}$

Bušotina Mđ – 1 locirana je 20.06.1953. godine na temelju „geološke osnove“ od autora R. Filjaka. Lokacija bušotina Mđ-1 nalazi se cca 1200 m jugoistočno od sela Peklenica. Bušotina je izrađena 1954. godine do dubine 2890,7 metara, a ispitana je 1955. godine. Bušotina je bila napuštena kao negativna. Mđ-1 probušila je tercijarni kompleks sedimenta i ušla u karbonate Podloge tercijara. Tijekom bušenja utvrđeno je više pojava ugljikovodika u tercijarnim naslagama međutim ispitivanjem istih nisu utvrđene značajne količine. Pojave ugljikovodika u karbonatima Pt-a nisu registrirane. Konačna dubina bušotine iznosi 3103 metra koja je dosegnuta 2001. godine, a tada su ujedno napravljeni i *Drill Stem* testovi.

UZDUŽNI GEOLOŠKI PROFIL 1-1'



Slika 4-4. Uzdužni geološki profil bušotine Mđ – 1 i Zb – 1 (AZU, 2003)

4.11.1. Geološki profil istražne bušotine Mđ – 1

Tablicom 4 – 2, prikazan je geološki profil istražne bušotine Mđ – 1 (Agencija za ugljikovodike - Bušotinski fond plinskog polja Zebanec [AZU], 2001).

Tablica 4-2. Geološki profil istražne bušotine Mđ – 1 (AZU, 2001)

Dubina [m]	Litologija	Gološko razdoblje
0 – 15	Šljunak, pijesak	Siluvj
15 – 800	Pjeskovito glinoviti lapor, pijesci i pješčenjaci	Rhomboidea slojevi
800 – 1500	Tamnosivi lapori, pjeskoviti lapori i pješčenjaci	Abichi slojevi
1500 – 1700	Vapneni lapor s proslojcima pješčenjaka	Prevalencienezijski slojevi
1700 – 1900	Bitumnozni, škriljavi lapor i pješčenjaci	Sarmat
1900 – 2600	Vapneni pješčenjaci, konglomerati sa interkalcijama vapnenog lapora i vapnenca	Torton
2600 – 2950	Tvrđi lapor sa proslojcima pijeska i škriljavog lapora	Helvet
2950 – 3000	Glineni lapori, pješčenjaci i konglomerati	Oligocen

Istražna bušotina Mđ – 1 izbušena je do dubine 2890,7 m, a karbonatni kompleks podloge tercijara nabušen je na dubini 2837 m. Zadatak bušotine bio je nabušiti još dodatnih 15 metara u karbonatnim naslagama, te da se karbonatni kompleks ispita DST metodom (AZU, 2001).

4.11.2. Konstrukcija bušotine Mđ – 1

Zacjevljenje

Uvodna kolona $D = 339,7 \text{ mm}$ ($13 \frac{3}{8}$ "), te je ugrađena do 200 metara i cementirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 244,5 \text{ mm}$ ($9 \frac{5}{8}$ "), ugrađena je od dubine 1260,03 m do ušća u sastavu J – 55.

Proizvodna kolona promjera $D = 139,78 \text{ mm}$ ($5 \frac{1}{2}$ "), ugrađena je do dubine 2690,67 m u sastavu J-55, (17 #) te cementirana do vrha (AZU, 2001.).

4.11.3. DST ispitivanja bušotine Mđ – 1

Prva DST metoda istraživanja upotrijebljena je na intervalu 2907 – 2691,07 metara. Dobiveno je da je tijekom ispitivanja otvorenog kanala bušotine utvrđen redoviti dotok slojne vode iz perforiranih dijelova kolone u intervalima 2552 – 2582 m i 2388 – 2471 m. Obzirom da su perforacije iznad aktiviranog pakera dotok vode je registriran u zaštitnim cijevima. Za vrijeme mjerenja tlaka, dotok iz perforacija iznosio je $52,4 \text{ m}^3$ slojne vode. Rezultati mjerenja porasta tlaka prikazani su u Tablici 4 – 3. (AZU, 2001).

Tablica 4-3. Rezultati mjerenja porasta tlaka u statičkim uvjetima (AZU, 2001)

Dubina [m]	Tlak [bar]	Temperatura [°C]
0	174,3	-
500	197,7	-
1000	217,8	70
1500	235,8	94
2000	252,1	116
2500	267,7	137
2688	272,6	145
2799	275,4	149
2857	280,00	152

Drugi DST test napravljen je na intervalu 2929,77 – 2691,07 metara. Ukupni dotok slojne vode iz perforacija za vrijeme mjerenja bio je oko 63 m^3 . Nakon što je bušotina zatvorena mjerio se porast tlaka ameradom u statičkim uvjetima. Očitani tlak na dubini 2662 m prije

zatvaranja protoka $P_{\text{dinam}} = 259,9$ bar, a $P_{\text{stat}} = 273$ bar uz $T_{\text{max}} = 148,8$ °C. Gradijent porasta tlaka i temperature možemo pratiti prema Tablici 4 – 4. (AZU, 2001).

Tablica 4-4. Očitani gradijenti tlaka i temperature u dinamičkim uvjetima (AZU, 2001)

Dubina [m]	Tlak [bar]	Temperatura [°C]
500	189,8	94,5
1000	206,1	118,0
1500	220,5	127,1
2000	236,2	138,6
2500	250,4	147,3
2680	256,1	149,8

Treći DST test napravljen je na intervalu 2957 – 2691,07 metara je dobiveno kako je salinitet vode $2,81$ g NaCl/dm³ iz uzorka dotoka prilikom vađenja tubinga od $4,5$ m³ slojne vode iz perforacija. Izmjereni statički gradijent tlaka na 2824 metara uz $P=278$ bara bio je $1,13$ kg/dm³ uz maksimalnu temperaturu od $148,9$ °C na istoj dubini.

Četvrti DST ispitivanjem dobiven je dotok slojne vode iz perforiranih intervala kod ugradnje i vađenja proizvodne opreme te je iznosio $109,4$ m³ i 175 m³. Stalni dotok iz perforiranih intervala bio je oko 17 m³ zaplunjene slojne vode kroz 24 sata.

Petim DST ispitivanjem dobivena je maksimalna temperatura od $162,8$ °C na dubini od 2660 metara, dok tlak iznosi $262,1$ bar. Testirani interval bio je od 2996 do 3103,5 metara. Analiza vode prikaza je u Tablica 4 – 5. gdje se može iščitati gustoća, pH vrijednost i salinitet slojne vode (AZU, 2001).

Tablica 4-5. Analiza slojne vode (AZU, 2001)

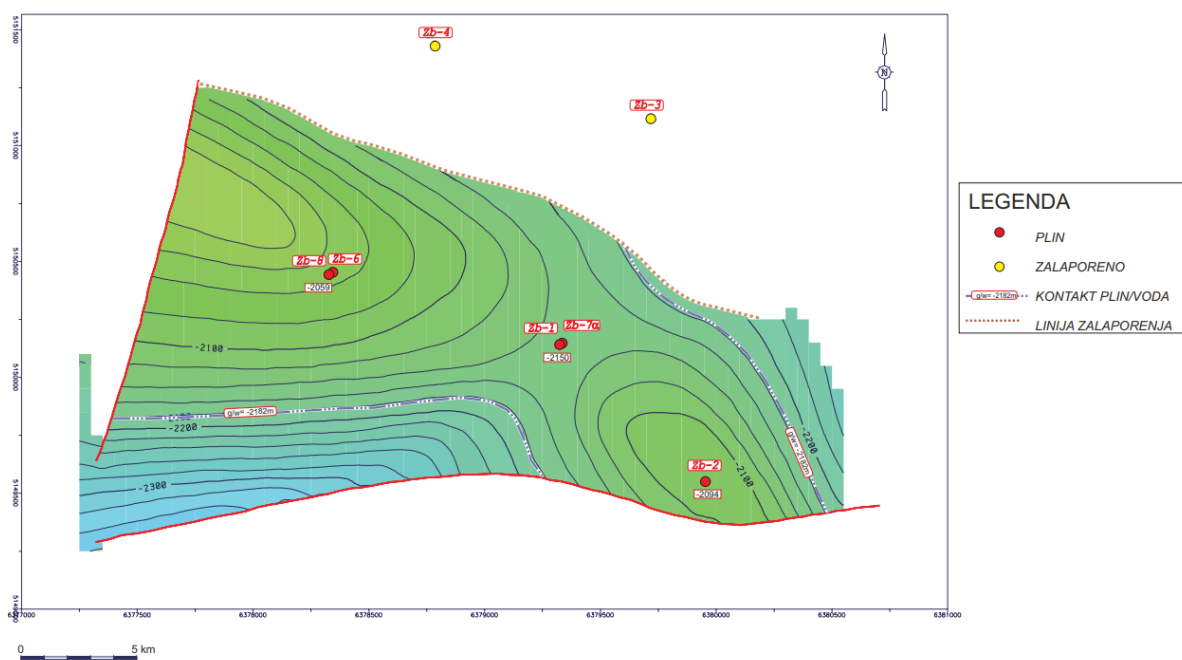
Gustoća [kg/dm ³]	pH	Salinitet [g NaCl/dm ³]
1,01	6,59	5,28
1,01	6,37	3,63

Prilikom vađenja proizvodne opreme, dotok slojne vode iz perforacija bio je $8,7$ m³, a tijekom spuštanja bušaćih šipki 27 m³ slojne vode.

Nakon izvedenih DST ispitivanja, utvrđeno je zasićenje plinom u nabušenim i ispitanim karbonatnim naslagama (vapnenci, dolomitični vapnenci, vapnenački dolomit i dolomit). Dnevna proizvodnja plina bi iznosila $Q_{\text{plina}} =$ do 199 812 m³ dok je proizvodnja kondenzata i vode $Q_{\text{kond}} =$ do 0,620 m³ i $Q_{\text{voda}} =$ do 8,8 m³. Bušotina je ocijenjena kao pozitivna, ali zbog tehničkih karakteristika, konačna odluka o proizvodnji se donosi naknadno. Zbog tih razloga postavljeni su cementni čepovi u intervalima: 2750 – 2550 m, 2400 – 2300 m, 150 – 50 m (AZU, 2001).

4.12. Determiniranje geotermalnog potencijala polja Zebanec

U prethodnim poglavljima prikazan je položaj, dubina, konstrukcija te navedeni su DST testovi ukoliko su obavljani na bušotinama na plinskom polju Zebanec. Kontakt plin – voda nalazi se na dubini od 2190 metara što se može vidjeti prema Slici 4 – 2. dok se položaj bušotina u odnosu na plinsko polje i vodonosnik može vidjeti na Slici 4 – 5. u nastavku (Muvrin et al., 2006c).



Slika 4-5. Strukturna karta po krovini polja Zebanec (Muvrin et al., 2006c)

Osim položaja bušotina, u Tablici 4 – 4. navedene su sve bušotine na proizvodnom polju Zebanec te njihove dubine i ukoliko je napravljen DST ispitivanje.

Tablica 4-6. Bušotine plinskog polja Zebanec i istražna bušotina Međimurje 1 (AZU, 1974 – 2003)

BUŠOTINA	DUBINA [m]	DST
Zb – 1	2178	DA
Zb – 2	1950	DA
Zb – 1 Jug	2550	DA
Zb – 3	3207,0	DA
Zb – 4	3019,5	DA
Zb – 6	3121,5	DA
Zb – 7 Alfa	2298,12	NE
Zb – 8	2420	NE
Mđ – 1	~3103	DA

Na navedenim bušotinama obavio se DST na dubinama koje su bile u zanimljive za eksploataciju ugljikovodika, dok će u slijedećoj tablici biti prikazane bušotine koje bi se mogle razmatrati za upotrebu u geotermalnom smislu uz pomoć iščitanih podataka iz navedenog testa.

Tablica 4-7. Sistematizacija provedenih Drill Stem Testova na istražnom polju Zebanec i istražnoj bušotini Međimurje 1 (AZU, 1974 – 2003)

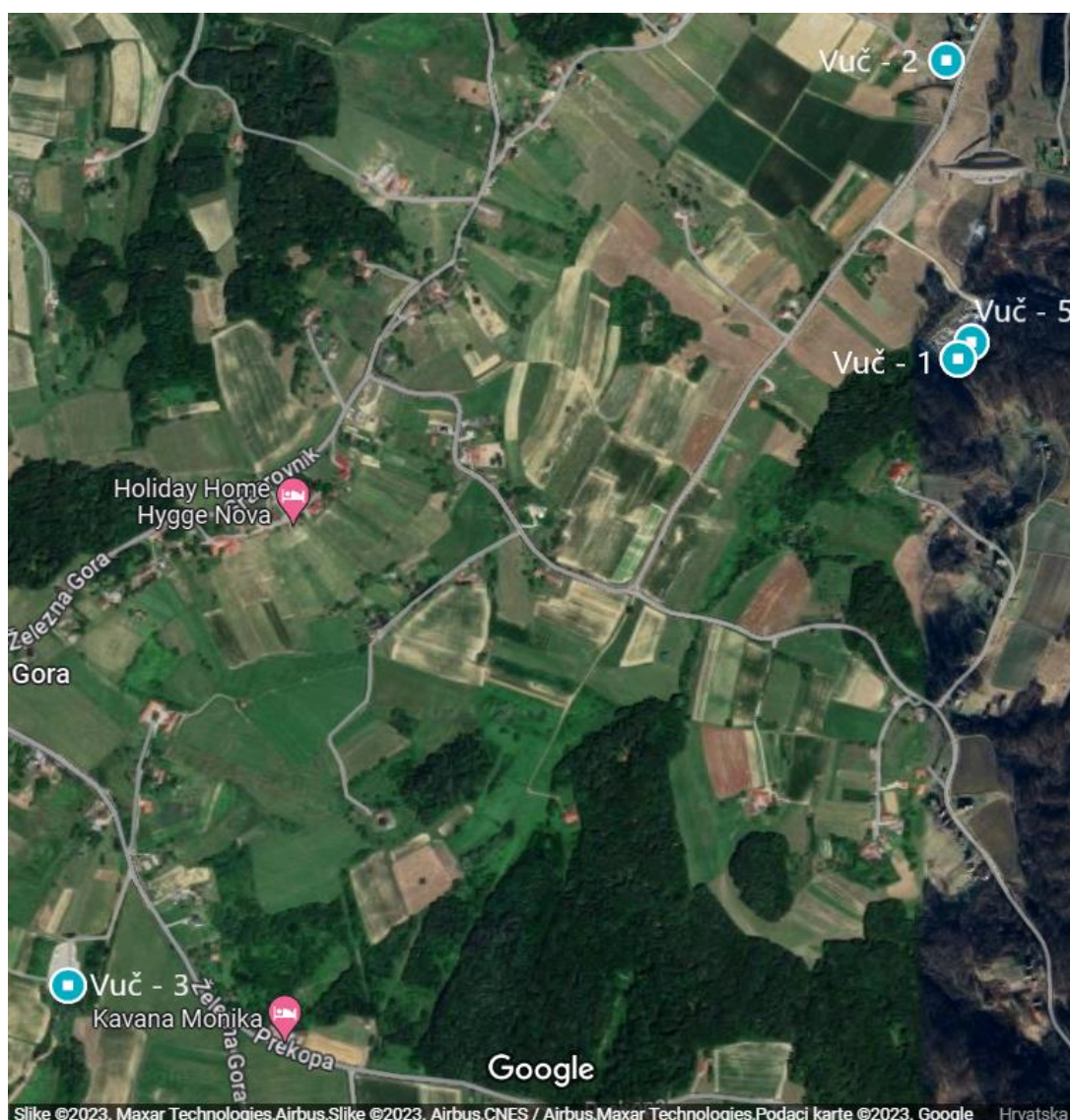
Bušotina	Dubina (debljina sloja) [m]	Litostratigrafija	Temperatura [°C]	Tlak [bar]	Propusnost [mD]	Salinitet [g/dm ³]
Zb – 1	2455 – 2472 (38,7)	Čentiba član	107*	168	/	4,09
Zb – 2	2350,9 – 2359 (8,1)	Čentiba član	126,4*	96,5	/	/
Zb – 1 Jug	2488,73 – 2505 (16,27)	Dolomitna breča miocenske starosti	136,9	249,74	43,09	/
Zb – 3	2836 – 2944,5 (108,5)	Čentiba član	134,5*	281,7	/	21,8 – 23,0
Zb – 6	2701 – 2715 (14)	Vapnenac – Čentiba član	121,1	10,39	/	/
Mđ – 1	2996 – 3103,5	Vapnenac	162,8	262,1	/	5,28

„*“ – Podaci o temperaturi koji nisu iščitani iz DST testova već iz karotažnih mjerenja, završnih izvješća ili izračunati prema geotermalnom gradijentu.

Izabrane bušotine predstavljaju potencijalne geotermalne bušotine. Većina njih, litostratigrafski pripada Čentiba članu, što je ujedno i dobar pokazatelj za ležišnu stijenu.

5. EKSPLOATACIJSKO POLJE VUČKOVEC

Eksploatacijsko polje Vučkovec nalazi se na krajnjem sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske u Međimurskoj županiji te je prikazano Slikom 5 – 1 . Teritorijalno eksploatacijsko polje Vučkovec nalazi se na prostoru općina Štrigova, Sv. Martin na Muri, Sv. Juraj na Bregu, Selnica i Gornji Mihaljevac. Zapadna granica polja nalazi se uz samu državnu granicu s Republikom Slovenijom. Površina plinskog eksploatacijskog polja procijenjena je na 15,90 km². plinsko polje Vučkovec otkriveno je 1993. godine bušotinom Vučkovec-1 (Vuč-1) koja je probušila plinsko ležište Vučkovec u tektoniziranim dolomitima podloge tercijara. Pridobive rezerve ležišta Vučkovec čine 70% ukupno procijenjenih pridobivih rezervi u okviru projekta Međimurje i planiraju se iscrpiti s tri proizvodne bušotine (Lazo, 2015).

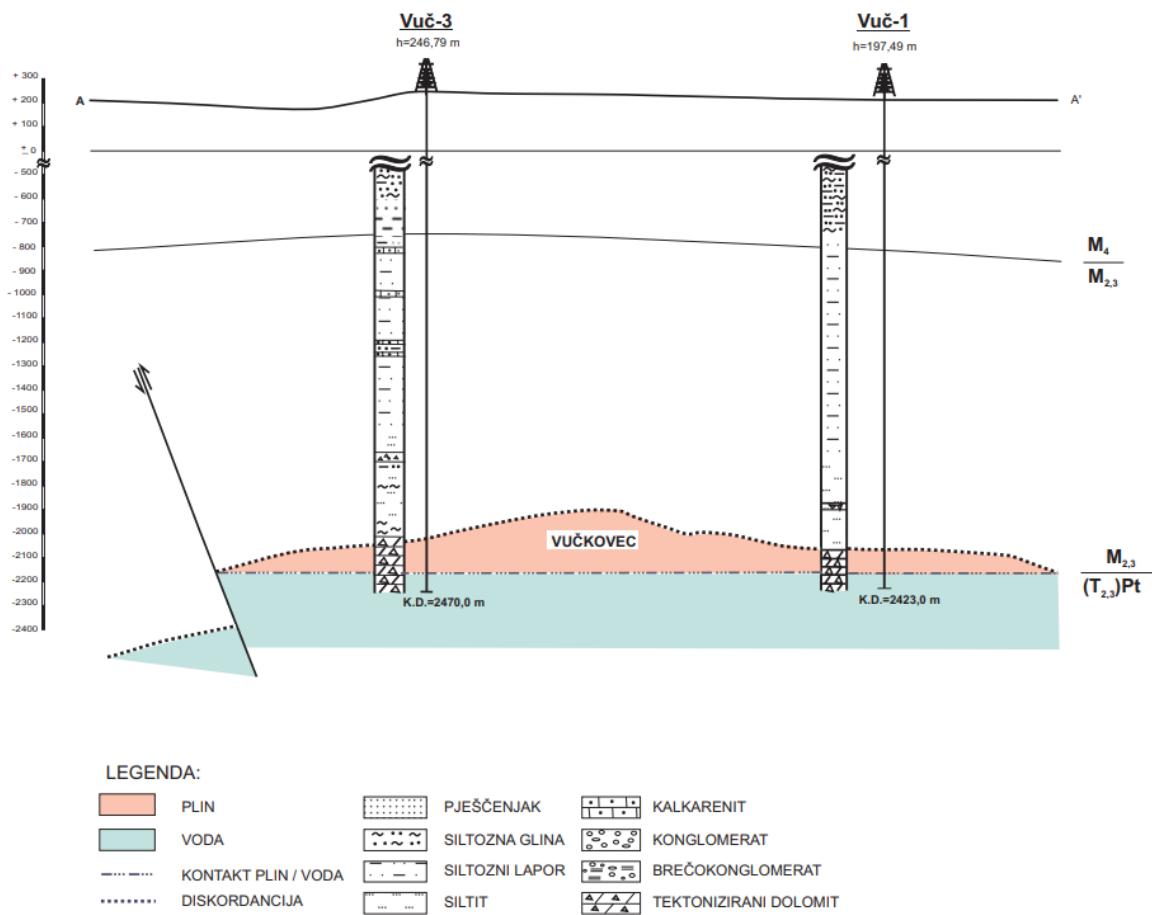


Slika 5-1. Karta bušotina naftnog polja Vučkovec (Google Earth, 2023, Vlastita grafika)

5.1. Geološka osnova proizvodnog polja Vučkovec

Na polju Vučkovec izrađeno je ukupno pet bušotina, ali su samo bušotine Vuč-1 i Vuč-3 probušene naslage stratigrafskog raspona od srednjeg trijasa do panona. Stijene u podlozi tercijarnih naslaga – srednje i gornjotrijaski tektonizirani i brečkoliki dolomiti (T_{2,3}) sadrže ležište plina prekriveno donjomiocenskim izolatorskim stijenama – otnanškim laporima i silitima na kojima naliježu otnanški konglomerati i karpatski pješčenjaci i lapori s ugljenom tvari (M_{2,3}). Ležišne stijene nisu probušene u cijelosti te se ne zna prava debljina ležišne formacije, ali se prema položaju kontakta plin – voda može pretpostaviti interval s plinski zasićenjem debljine do najviše 250 metara. Debljina izolatorske donjomiocenske formacije iznosi od 1000 do 1200 metara s tim da se pliće nalazi još oko 1000 metara pretežito nepropusnih srednjomiocenskih (badenskih i donjopanonskih) marinskih naslaga (Muvrin et al., 2006a)

Struktura polja Vučkovec je antiklinala izdužena smjerom ZJZ – ISI. Antiklina, a dijelom i ležište, je omeđena reverznim rasjedima i na sjevernom i na južnom krilu. Rasjedi su strmi, nagnuti prema osi antiklinale i imaju skokove od 50 do 100 metara. Plin se nalazi u stijenama s pukotinskom poroznošću tako da je bilo otežano napraviti trodimenzionalni geološki model ležišta. Na tom se modelu prema rezultatima interpretacije 3D seizmike predviđa znatno složenija struktura, barem 6 subparalelnih rasjeda i nekoliko pukotinskih sustava (Muvrin et al., 2006a).



Slika 5-2. Geološki profil plinskog polja Vučkovec (Muvrin et al., 2006a)

Prema prikazanom geološkom profilu plinskog polja Vučkovec, interesantne referentne dubine za proizvodnju geotermalne vode nalaziti će se u rasponu dubina od 2423 m do 2470 m, ako u obzir uzmemo u obzir bušotine Vuč – 1 i Vuč – 3, što se jasno može vidjeti na strukturalnoj karti prikazanoj na Slici 5 – 2.

5.2. Litološki stup

Litološki stup eksploatacijskog plinskog polja Vučkovec prikazano je u Tablici 5 – 1. (Agencija za ugljikovodike - Bušotinski fond plinskog polja Vučkovec [AZU], 1994).

Tablica 5-1. Prikaz litoloških formacija ležišta Vučkovec (AZU, 1994).

Dubina [m]	Litologija	Formacija	Član
0 – 210	Gline, glinoviti lapori, pješčenjaci	Mursko – sobotska	/
210 – 535	Glinoviti lapori, pješčenjak, kalkarenit-biokalkarenit	Mursko – sobotska	Čentiba
535 – 1085	Lapor, proslojci pješčenjaka	Mursko – sobotska	Čentiba
1085 – 1645	Lapor, proslojci vapnenca	Mursko – sobotska	Čentiba
1645 – 1883,5	Lapor – prelazak u silit	Mursko – sobotska	Čentiba
1883,5 – 1900	Vapnenačko - dolomitni brečokonglomerati	Mursko – sobotska	Čentiba
1900 – 2255	Siliti, pješčenjaci i šejlovi	Mursko – sobotska	Čentiba
2255 – 2470	Dolomiti	/	/

5.3. Bušotina Vučkovec – 1 (Vuč – 1)

Koordinate bušotine Vuč - 1

$$Y = 5\ 602\ 580$$

$$X = 5\ 149\ 985$$

$$H = 197,49\ \text{m}$$

5.3.1. Konstrukcija bušotine Vuč – 1

Dubina plinske bušotine Vuč – 1 nalazi se na 2423 metra. Na površini nalazi se bušotinska glava i erupcijski uređaj koji mogu podržati tlakove do 345 bar (5000 PSI).

Zacjvljenje

Uvodna kolona $D = 339,7\ \text{mm}$ (13 3/8"), J-55; (68 #) te je ugrađena do 229,0 metara i zacementirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 244,5\ \text{mm}$ (9 5/8"), ugrađena je od dubine 634 m do ušća u sastavu:

L-80; 70,6 kg/m (47 #), 1504,0 – 0,0 m.

Proizvodna kolona promjera $D = 177,8\ \text{mm}$ (7"), ugrađena je do dubine 2292,0 m u sastavu:

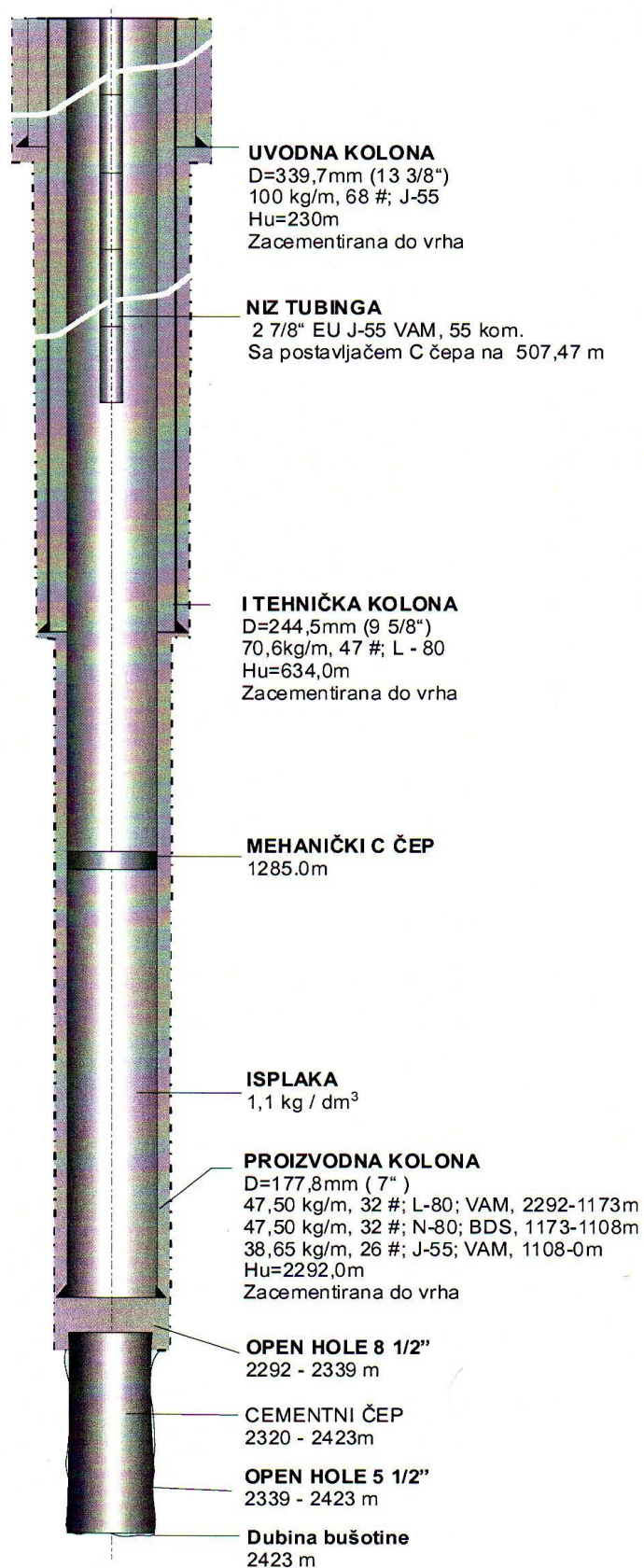
L-80; 47,50 kg/m (32 #); 2292,0 – 1173,0 m

N-80; 47,70 kg/m (32 #); 1173 – 1108 m

J-55; 38,65 kg/m (26 #); 1108 – 0,0 m, kolona zaštitnih cijevi je cementirana do ušća.

Otvoreni kanal bušotine je promjera 8 ½" i nalazi se na intervalu 2292 – 2320 m (AZU, 1994).

Slikom 5 – 3. prikazana je konstrukcija bušotine Vuč – 1 (Muvrin et al., 2006a).



Slika 5-3. Konstrukcija bušotine Vuč – 1 (Muvrin et al., 2006a).

5.3.2. DST ispitivanje bušotine Vuč -1

Prvo DST ispitivanje na bušotini Vuč – 1 izvedeno je na intervalu 482,15 – 540 metara. Tijekom mjerenja na površinu je izbačeno 13,3 m³ fluida, od čega je 7,8 m³ isplake i 5,5 m³ slojne vode, dok je u bušaćim šipkama prema tlaku protoka na kraju liftiranja ostalo još 6,1 m³ slojne vode. Ekstrapolacijom protočne krivulje dobiveni slojni tlak iznosi 54,15 bara ($G_p = 1,01 \text{ bar}/10 \text{ m}$). Izmjerena temperatura na dubini 538,4 m iznosi 39°C iz čega proizlazi da je gradijent $G_t = 5,3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Dobivenim je rezultatima zaključeno kako su kvarc-tinčasti pješčenjaci zasićeni vodom i slabe propusnosti.

Drugo DST ispitivanje bušotine napravljeno je na intervalu 2099,40 – 2110,0 metara. Testiranje nije uspjelo jer nakon aktiviranja testera izlaženje zraka na površini bilo je trenutno i burno. Zbog povećanog promjera bušotine, test se nije mogao ponoviti. Temperatura izmjerena na dubini od 2107 m iznosi 101,6°C, što uz srednju godišnju temperaturu područja od 10,5°C, daje geotermalni gradijent $G_t = 4,32^\circ\text{C}/100\text{m}$.

Daljnje testiranje obavljeno je na intervalu 2286,65 – 2300 metara. Testirani interval sastoji se od raspucanih dolomita do tektonskih dolomitnih breča. Odmah pri početku testiranja, dolazi do velike manifestacije dotoka na površini (plin + voda + gazolin). Temperatura izmjerena na izlaznoj cijevi iznosila je 40°C. Temperatura mjerena na dubini 2297,8 m ($H_v = 2291,9\text{m}$) iznosi 118,33°C što odgovara gradijentu od 4,7°C/100 m. srednji tlak na 2289 m iznosi 236,50 bara ($G_t = 1,033 \text{ bar}/10\text{m}$).

Četvrto DST testiranje obavljeno je na intervalu 2300,85 – 2311,50 metara. Za potrebe testiranja korišten je vodeni „jastuk“ visine stupca 994,61 m (voda + isplaka) ukupnog tlaka 98,7 bara. Nakon aktiviranja zabilježene su burne manifestacije dotoka koje traju čitavo vrijeme mjerenja protočnog perioda. Testiranjem dobivene su veće količine gorivog plina i tragovi kondenzata. Slojni tlak na dubini 2299 metara iznosi 234,29 bara, a temperatura 117,8 °C.

Posljednji testirani interval je 2372,50 – 2383,0 metara. Testiranje je izvedeno sa 975 m³ vodenog jastuka, a cilj je bio utvrditi vrste fluida kojim je kolektor zasićen. Testiranjem, dobivena je jako zapljinjena slojna voda. Ukupno je dobiveno oko 9 m³ slojne vode. U šipkama je dobiveno 6,5 m³, a eruptivni dotok je procijenjen na oko 2,5 m³. Početni tlak protoka iznosi IFP = 158,96 bara, a završni FFP = 187,21 bar. Dubinski gradijent iznosi $G_p = 0,999 \text{ bar}/10\text{m}$. Temperatura izmjerena na dubini 2363,61 m ($H_v = 2356,61 \text{ m}$) iznosi 131,1°C, što uz srednju godišnju temperaturu od 10,5°C daje geotermalni gradijent $G_t = 5,11^\circ\text{C}/100\text{m}$. Kontakt plin – voda izračunat je na dubini od 2368 metara ($H_v = 2361\text{m}$).

Dobivenim rezultatima zaključeno je da kolektor sadrži slojnu vodu i plin osrednje propusnosti (AZU, 1994).

5.4. Bušotina Vučkovec -2 (Vuč – 2)

Koordinate bušotine Vuč – 2

$$Y = 5\ 602\ 550$$

$$X = 5\ 150\ 500$$

$$H = 190\ \text{m}$$

5.4.1. Konstrukcija bušotine Vuč – 2

Dubina plinske bušotine Vuč – 2 nalazi se na 914,0 metra.

Zacjvljenje

Uvodna kolona $D = 339,7\ \text{mm}$ ($13\ 3/8''$), H-40; (48 #) te je ugrađena do 73,0 metara i zacementirana do vrha.

Proizvodna kolona promjera $D = 177,8\ \text{mm}$ (7"), ugrađena je do dubine 914,0 m u sastavu:

N-80; (26 #); 914,0 – 500,0 m

N-80; (23 #); 500,0 – 0,0 m, kolona zaštitnih cijevi je cementirana od 498,0 m do ušća (AZU, 1994).

5.4.2. DST ispitivanje bušotine Vuč – 2

Interval prvog DST-a je 562,3 – 576,0 metara. Litostratigrafski gledano, interval pripada miocenu, a testirana stijena je pješčenjak. Testiranjem dobiveno je 1400 l isplake i 1600 l zaplinjene vode.

Drugo DST ispitivanje izvršeno je u intervalu 779,0 – 914 metara. Litostratigrafski gledano ispitani interval pripada Miocenu, a ispitana ležišna stijena je lapor. Očekivao se dotok slojne vode i manje količine plina. Nakon aktiviranja pakera i otvaranja testera, došlo je do klizanja zidnog ankera. Test se pokušao ponoviti na dubini 767 – 780 metara, ali dolazi do ponovnog klizanja ankera. Prilikom testiranja na intervalu od 670 metara, događa se prvobitni slučaj (AZU, 1994).

5.5. Bušotina Vučkovec – 3 (Vuč – 3)

Koordinate bušotine Vuč - 3

$$Y = 5\ 601\ 076$$

$$X = 5\ 148\ 895$$

$$H = 246,79\ \text{m}$$

5.5.1. Konstrukcija bušotine Vuč – 3

Bušotina Vuč – 3 doseže dubinu od 2470 metara. Na ušću nalazi se bušotinska glava i erupcijski uređaj koji mogu podržati tlak od 345 bar (5000 PSI).

Zacjvljenje

Uvodna kolona $D = 339,7\ \text{mm}$ (13 3/8"), H-40; 70,9 kg/m (48 #) te je ugrađena do 201,8 metara i zacimentirana do vrha.

Prva tehnička kolona $D = 244,5\ \text{mm}$ (9 5/8"), ugrađena je od dubine 1341,0 m do ušća u sastavu i zacimentirana do vrha. Sastav kolone:

J-55; 60,18 kg/m (40 #), 1347,0 – 1071,46 m

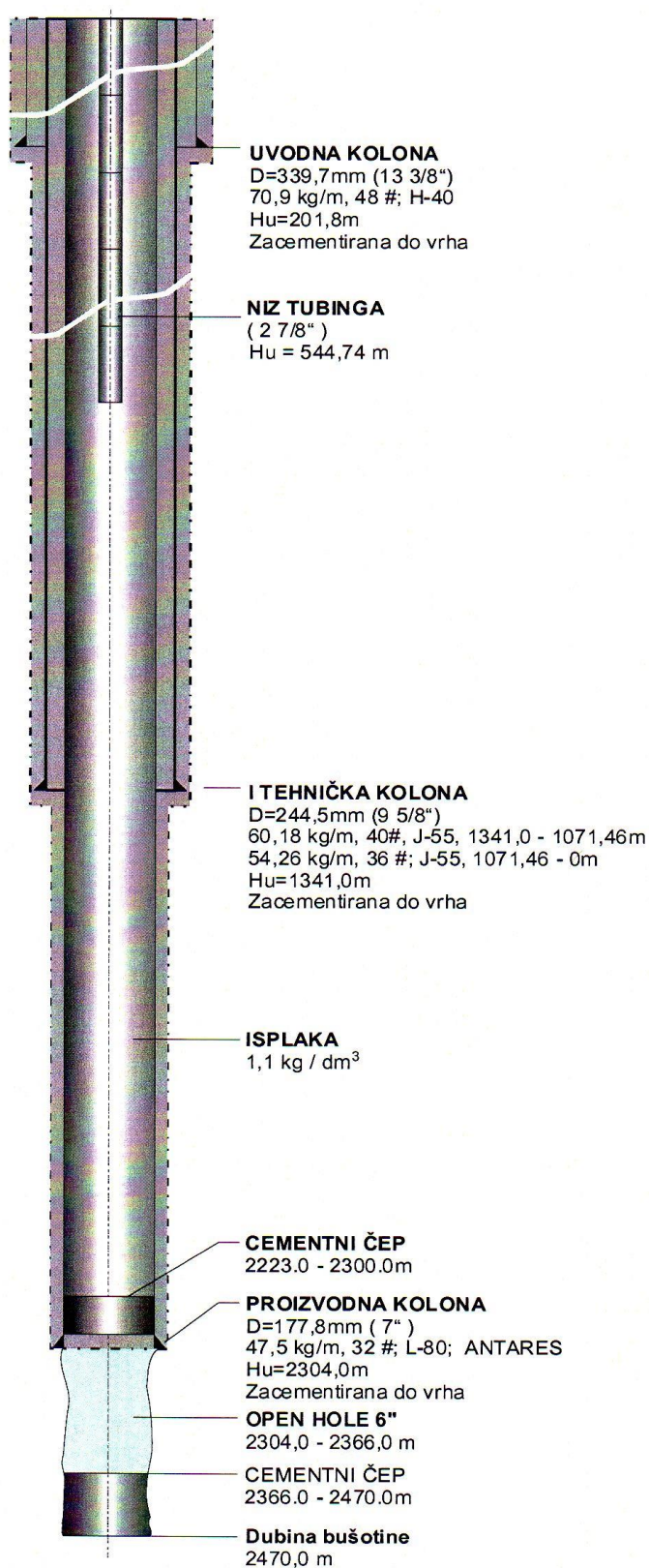
J-55; 54,26 kg/m (36 #), 1071,46 – 0,0 m

Proizvodna kolona promjera $D = 177,8\ \text{mm}$ (7"), ugrađena je do dubine 2304,0 m u sastavu:

L-80; 47,50 kg/m (32 #); 2304,0 – 0,0 m, kolona zaštitnih cijevi je cementirana do ušća.

Otvoreni kanal bušotine nalazi se na intervalu 2470,0 – 2366,0 m (AZU, 1995).

Prema navedenim podacima o konstrukciji bušotine, konstruirana je Slika 5 – 4. (Muvrin et al., 2006a).



Slika 5-4. Konstrukcija bušotine Vuč – 3 (Muvrin et al., 2006a)

5.5.2. DST ispitivanje bušotine Vuč – 3

Prvo DST ispitivanje izvršeno je na intervalu 1878,50 – 1887,0 metara, a radi se vapnenačkim brečokonglomeratima miocenske starosti. Korišten je vodeni „jastuk“ visine stupca 115,48 m (11,3 bar) te je simulirana depresija na sloj Δp iznosila 207,15 bara. Testiranjem dobivene su manje količine gorivog plina. Dotok tekuće faze nije registriran. Krivulja porasta tlaka je potpuno razvijena. Njezina očitana vrijednost ICIP = 217,5 bar i vrlo je blizu ekstrapoliranom tlaku $P_{ext} = 218,45$ bara na dubini mjerenja 1886 iz čega proizlazi $G_p = 1,16$ bar/10m. izmjerena temperatura na dubini 1886,8 m iznosi 110°C, $G_t = 5,32$ °C/100 m.

Daljnje testiranje obavljeno je na intervalu 2261,85 – 2269,0 m, a kolektorsku stijenu predstavlja tektonski raspucani dolomit koji postepeno prelazi u dolomitnu breču. Korišten je vodeni „jastuk“ visine stupca 603 m (59 bar) tako da je $\Delta p = 173$ bar. Nakon aktiviranja testera, zabilježena je trenutna manifestacija dotoka. Testiranjem dobiven je gorivi plin, a tekuća faza nije registrirana. Krivulja porasta trenutno je razvijena i njena očitana ekstrapolirana vrijednost ICIP = 232,47 bar je gotovo jednaka ekstrapoliranom slojnom tlaku $P_{ext} = 232,55$ bara, $G_p = 1,03$ bar/10 m. Očitana je temperatura na dubini 2267,8 m i iznosi 130°C, $G_t = 5,32$ °C/100 m.

Treći DST obavljen je na intervalu 2397,30 – 2405 metara, a ispitani interval pripada svijetlosivim raspucanim dolomitima. Korišten je vodeni „jastuk“ visine stupca 918 m (90 bara), tako da $\Delta p = 148$ bara. Manifestacija dotoka krenula je nedugo nakon početka testiranja. Testiranjem je dobiven gorivi plin bez tekuće faze. Očitani slojni tlak iznosu 234,88 bara, a ekstrapolirana vrijednost $P_{ext} = 235,15$ bara, iz čega proizlazi da je $G_p = 0,984$ bar/10m. Temperatura nije mjerena tokom DST-a već HDM-a te na dubini od 2290 m iznosi 117°C te je dobivena temperatura svedena na dubinu manometra 2389,2 iznosi 122°C.

Posljednji DST izveden je na intervalu 2408,3 – 2416,0 metara. Kolektorska stijena pripada raspucanim dolomitima i tektonskim dolomitnim brečama. Vodeni „jastuk“ iznosio je 600 m pa je ukupna $\Delta p = 177$ bar. Svrha testiranja je bilo utvrditi kontakt plin – voda. Odmah nakon aktiviranja tester ventila, manifestacija dotoka bila je intenzivna. Tijekom testiranja proizvedeno je oko 12 m³ vode s izvjesnom količinom plina. Tlak protoka je skokovit. Dobiveni ekstrapolirani tlak iznosi 235,2 bara na dubini 2397,1 m, a sveden na dubinu od 2412 m (unutar sloja) iznosi 236,6 bara. $G_p = 0,981$ bar/10 m. Temperatura mjerena je Burdovonom cijevi unutar DST uređaja te zbog dugog odziva, temperatura nije zabilježena (AZU, 1995).

5.6. Bušotina Vučkovec – 5 (Vuč – 5)

Koordinate bušotine Vuč – 5

Y = 6 372 311

X = 5 150 491

H = 197 m

5.6.1. Konstrukcija bušotine Vuč – 5

Bušotina Vuč – 5 smještena je u neposrednoj blizini bušotine Vuč – 1, a njeno ušće locirano je 30 metara od ušća postojeće bušotine. Proizvodna kolona prekriva ležište na dubini 2124 m do 2154 m te je koso usmjerena. Razmak između ulaza u ležište bušotine Vuč – 5 i koordinata ušća bušotine Vuč -1 iznosi 1065 m (devijacija). Početak skretanja bušotine je na 250 metara dubine. Općenito, dubina navedene bušotine iznosi 2430 metara.

Zacjvljenje

Uvodna kolona D = 339,7 mm (13 3/8"), N-80; 98,47 kg/m (68 #) te je ugrađena do 200,0 metara i zacimentirana do vrha.

Prva tehnička kolona D = 244,5 mm (9 5/8"), ugrađena je od dubine 1525 m do ušća u sastavu:

N-80; 68,73 kg/m (47 #), 1525,0 – 0,0 m.

Proizvodna kolona promjera D = 177,8 mm (7"), ugrađena je do dubine 2395,0 m u sastavu:

L-80; 42,74 kg/m (29 #); 2395,0 – 0,0 m, kolona zaštitnih cijevi je cementirana do ušća.

Otvoreni kanal bušotine je promjera 5 7/8" i nalazi se na intervalu 2430,0 – 2395,0 m (AZU, 2006).

5.6.2. Analiza hidrodinamičkih mjerenja na bušotini Vuč – 5

U svrhu određivanja proizvodnih karakteristika bušotine i ležišta tijekom srpnja 2007. godine izvršena su HD mjerenja u nezacjvljenom kanalu bušotine. Mjerio se protok, dinamički gradijent, dinamički tlak i porat tlaka u vapno-dolomitnoj breči. Dubina mjerenja iznosila je 2348 metara, a raskriveni se interval nalazi na dubini od 2371 do 2430 metra koji je ujedno i nezacjvljeni dio kanala bušotine.

Proizvedene količine mjerene su pokretnim visokotlačnim separatorom dok su vrijednosti tlaka zabilježene elektroničkim mjernim instrumentom. Tijekom ispitivanja izvršeno je uzorkovanje proizvedenog plina, kondenzata i vode. U sastavu plina bilo je približno 55% vol. CO₂. Proizvedena voda je kondenzat vodene pare.

Rezultati analize mjerenih podataka porasta tlaka prikazani su u Tablici 5-2. (AZU, 2007)

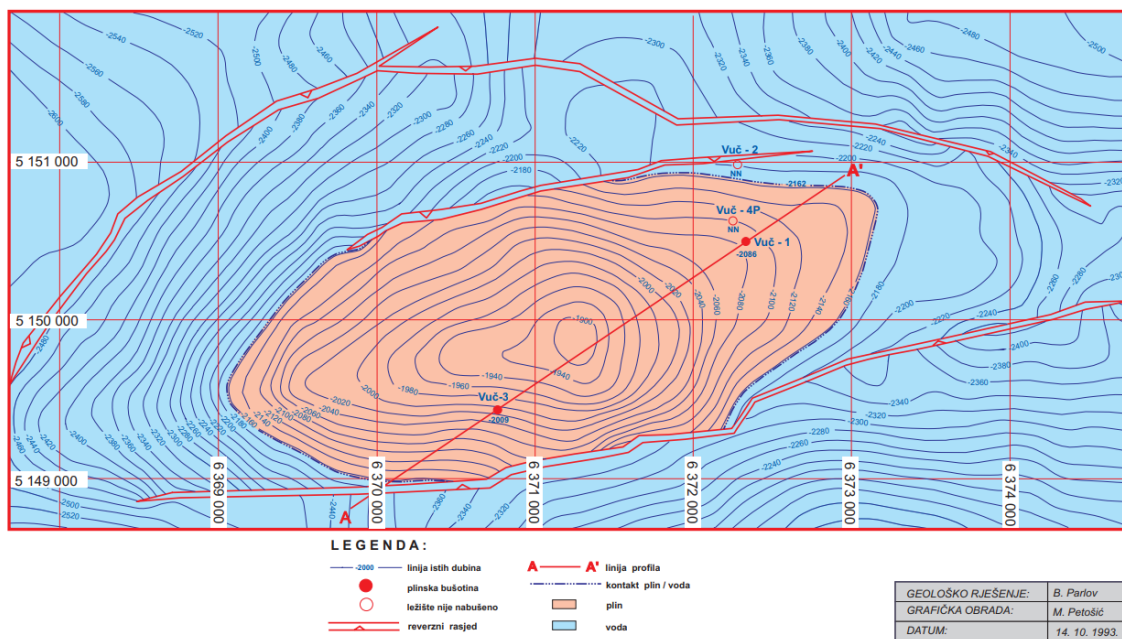
Tablica 5-2. Rezultati analize HD mjerenja (AZU, 2007.)

Srednji ležišni tlak (Psl)	226,7	bar
Dinamički tlak (Pd)	166,0	bar
Razlika tlaka (Δ)	60,7	bar
Mogućnost sloja k_h	157,5	mD*m
Propusnost za plin k_g	15	mD
Konstanta naknadnog dotoka, C	0,07127	m ³ /bar
Skin efekt	8	/
Omjer skladištivosti w	0,03	/
Koef međuporoznog protoka λ	5,4*10 ⁻⁹	/
Gubitak tlaka uslijed skina	28	bar
Radius istraživanja R_i	1341	m

Također, na bušotini Vuč – 5 napravljen je DST analiza. Istražni interval nalazi se na dubini između 2304 i 2344 metara. Na dubini od 2324 metra izmjeren je tlak od 231,93 bara i temperatura od 117,04 °C.

5.7. Determiniranje geotermalnog potencijala plinskog polja Vučkovec

U prethodnim poglavljima prikazan je položaj, dubina, konstrukcija te navedeni su DST testovi ukoliko su obavljeni na bušotinama na plinskom polju Vučkovec. Kontakt plin – voda nalazi se na dubini od 2470,0 metara što se može vidjeti prema Slici 5 – 2. dok se položaj bušotina u odnosu na plinsko polje i vodonosnik može vidjeti na Slici 5 – 5. u nastavku.



Slika 5-5. Strukturna karta po krovini ležišta Vučkovec (Muvrin et al., 2006a)

Na plinskom polju Vučkovec nalazi se 5 bušotina, dok je na Slici 5 – 6. prikazano četiri bušotine od kojih je Vuč – 4 plitka bušotina. U Tablici 5 – 3. navedene su bušotine s obavljenim DST analizama (AZU, 1994 – 2007).

Tablica 5-3. Bušotine plinskog polja Vučkovec (AZU, 1994 – 2007)

BUŠOTINA	DUBINA [m]	DST
Vuč – 1	2423	DA
Vuč – 2	914,0	DA
Vuč – 3	2470	DA
Vuč – 5	2430	DA

Na navedenim bušotinama obavio se DST na dubinama koje su bile u eksploatacijskom smislu zanimljive i isplative, a u Tablici 5 – 4. navedene su bušotine i izmjereni podaci.

Tablica 5-4. . Sistematizacija provedenih Drill Stem Testova na istražnom polju Vučkovec (AZU, 1994 – 2007)

Bušotina	Dubina (debljina sloja) [m]	Litostratigrafija	Temperatura [°C]	Tlak [bar]	Propusnost [mD]	Salinitet [g/dm ³]
Vuč - 1	2372,5 – 2383 (10,5)	Dolomiti	131,1	238,06	/	/
Vuč - 3	2408,3 – 2416,0 (7,7)	Raspucani dolomiti i dolomitne breče	121,2*	236,6	/	/
Vuč - 5	2304 – 2344 (40)	Vapneno- dolomitna breča	117,4	231,93	/	/

„ * “ – Temperatura nije očitana u DST analizi, izračunata je preko geotermalnog gradijenta

Bušotine koje su navede u Tablica 5 – 4. odabrane su kao potencijalne geotermalne bušotine zbog litostratigrafske klasifikacije i temperaturnog raspona te se očekuje moguće iskorištavanje slojne vode kao geotermalnog potencijala.

6. PRORAČUN

Uvjeti u ležištu, specifičnost sastava i svojstva fluida glavni su faktori proračuna budućeg proizvodnog ponašanja ležišta, dok načina opremanja bušotine i izgradnja površinskog transportnog sustava su sporedni faktori. Početni uvjeti su definirani temeljenjem mjerenja statičkih tlakova i temperatura unutar kanala bušotine i primjenom analitičkih izraza dobivenih obradom izmjerenih tlakova i temperatura. Navedeni parametri predstavljaju ovisnost vrijednosti o dubini zalijeganja ležišta.

Pregledom cjelokupne bušotinske dokumentacije plinskih polja Vukanovec, Zebanec i Vučkovec u Agenciji za ugljikovodike [AZU], vidljivo je kako postoje određeni geotermalni potencijal koji bi se mogao koristiti nakon prestanka eksploatacije plina. Prema dobivenim podacima u sljedećim će potpoglavljima biti predstavljena analiza osjetljivosti izrađena u programu *WellPerform* tvrtke *IHS Markit* koja je fakultetu ustupila akademsku licencu. Podaci koji su uneseni u program su podaci očitani iz *Drill Stem Testova* pojedine bušotine.

6.1. Vukanovec – analiza osjetljivosti

Eksploatacijsko plinsko polje Vukanovec detaljno je opisano u poglavlju 3, a u daljnjem tekstu prikazani su podaci koji su uzeti iz posljednjeg (petog) DST-a. Testirani se interval nalazi se na dubini od 2150,40 do 2162,0 metara gdje je očitani tlak 211,4 bar ($G_p = 0,978$ bar) i temperatura 114,5 °C ($G_t = 4,81/100$ m). Podaci o tlaku, temperaturi, debljini sloja i konstrukciji bušotine potrebni su za dobivanje sljedećih grafova prikazanih na slikama. Kako se iz navedenog testa nije očitala propusnost sloja, pretpostavljena je u analizama osjetljivosti.

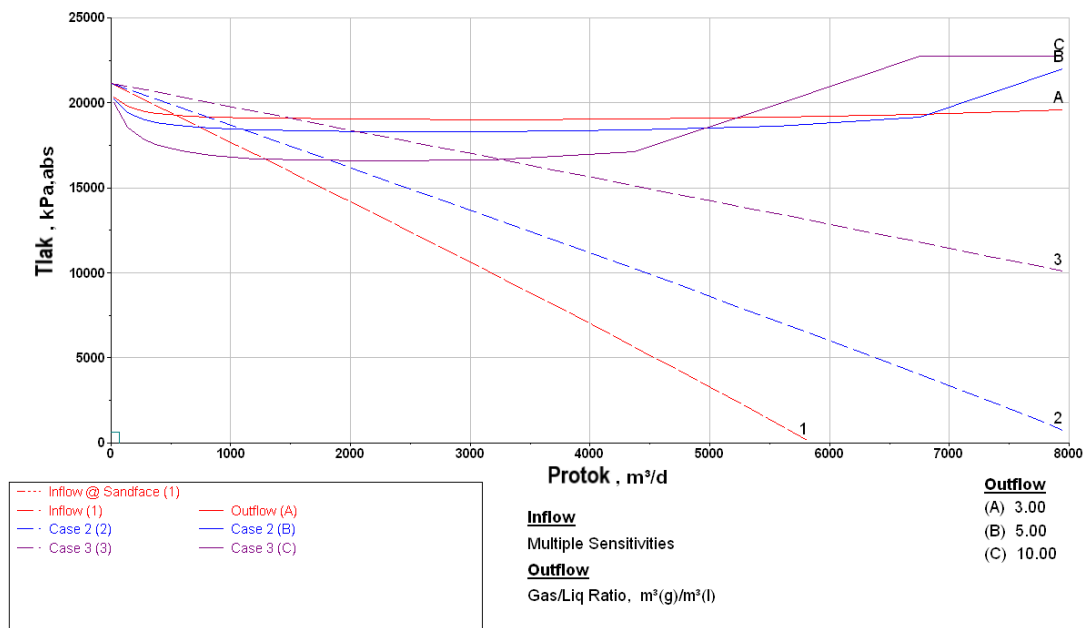
Vrijednosti GLR su: 3, 5, 10

Vrijednosti debljine ležišta su: 178 m, 250 m, 450m.

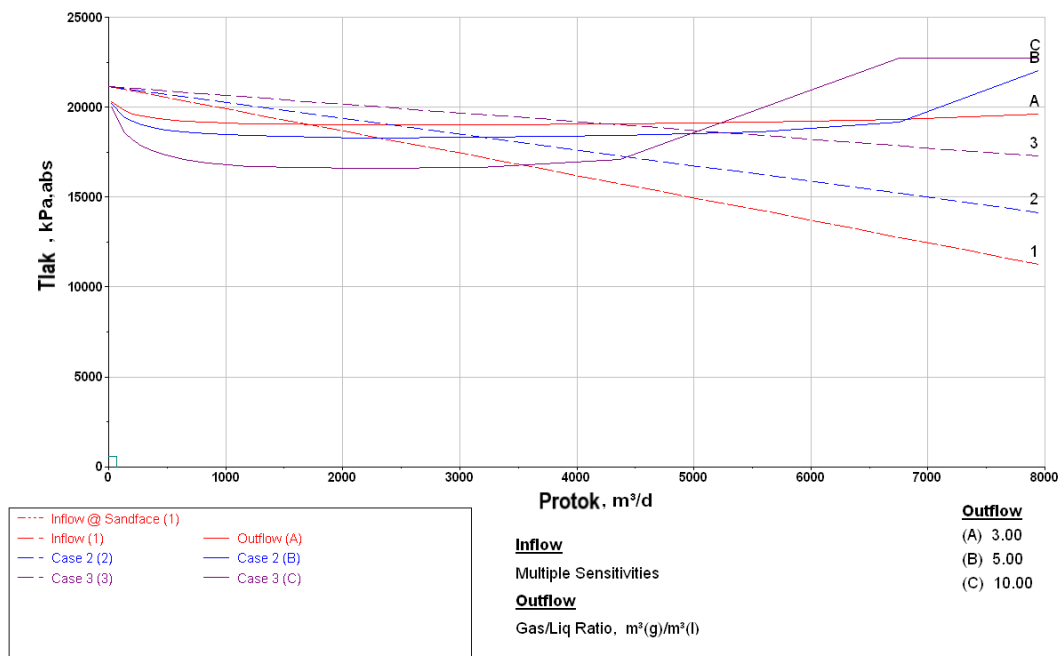
Tablica 6-1. Varijante analiza za eksploatacijsko polje Vukanovec (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

	FIKSNO	PROMJENJIVO
VARIJANTA A	Propusnost (10 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA B	Propusnost (30 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA C	Propusnost (50 mD)	GLR, Debljina ležišta

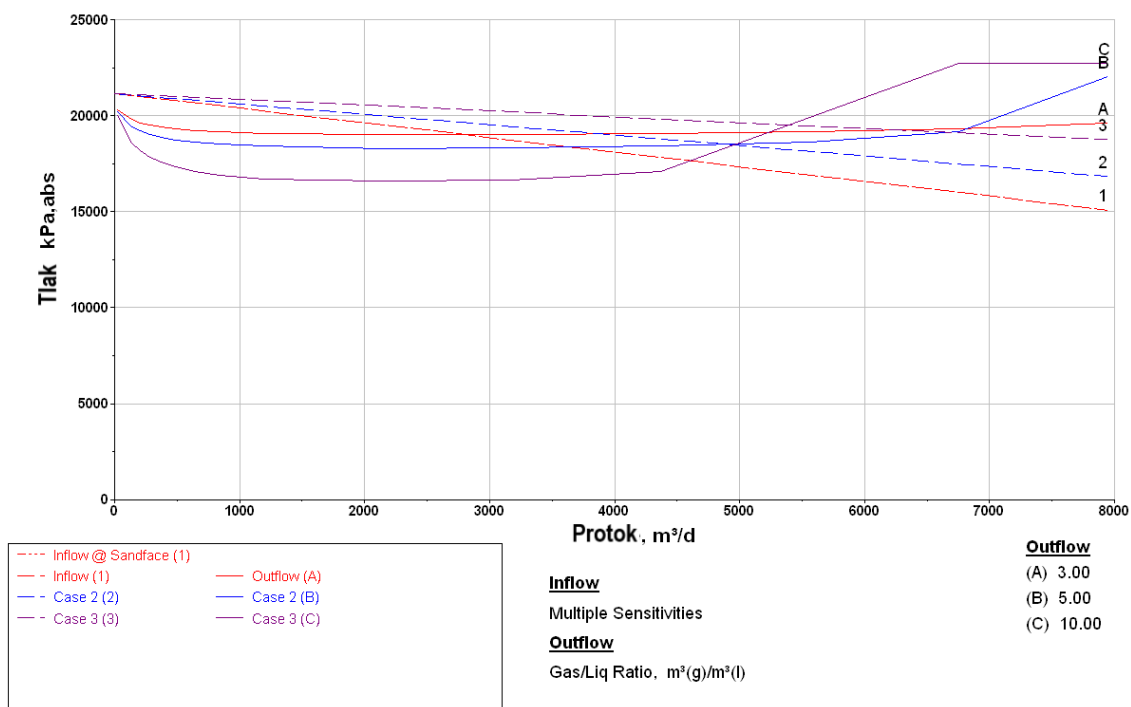
Zbog lakšeg snalaženja u nastavku je priložena Tablica 6 – 1. varijanti analiza. Prva varijanta odgovara Slici 6 - 1. , druga varijanta Slici 6 - 2. i treća varijanta Slici 6 - 2.



Slika 6-1. Graf analize osjetljivost eruptivne proizvodnje na bušotini Vuk – 1, varijanta A (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-2. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje na bušotini Vuk – 1, varijanta B (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-3. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje na bušotini Vuk – 1 , varijanta C (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Na prikazanim grafovima zapažamo kako se davanje bušotine i dinamički tlak pomiču u desno ukoliko se povećava propusnost ležišta prema varijanti A, B i C s promjenom debljine sloja ležišta. Najbolji izgledi davanja bušotine Vuk – 1 na eksploatacijskom polju Vukanovec će biti ukoliko je propusnost ležišta 50 mD i GLR = 5, a podaci davanja bušotine i dinamičkog tlaka prikazane su u Tablici 6 - 2.

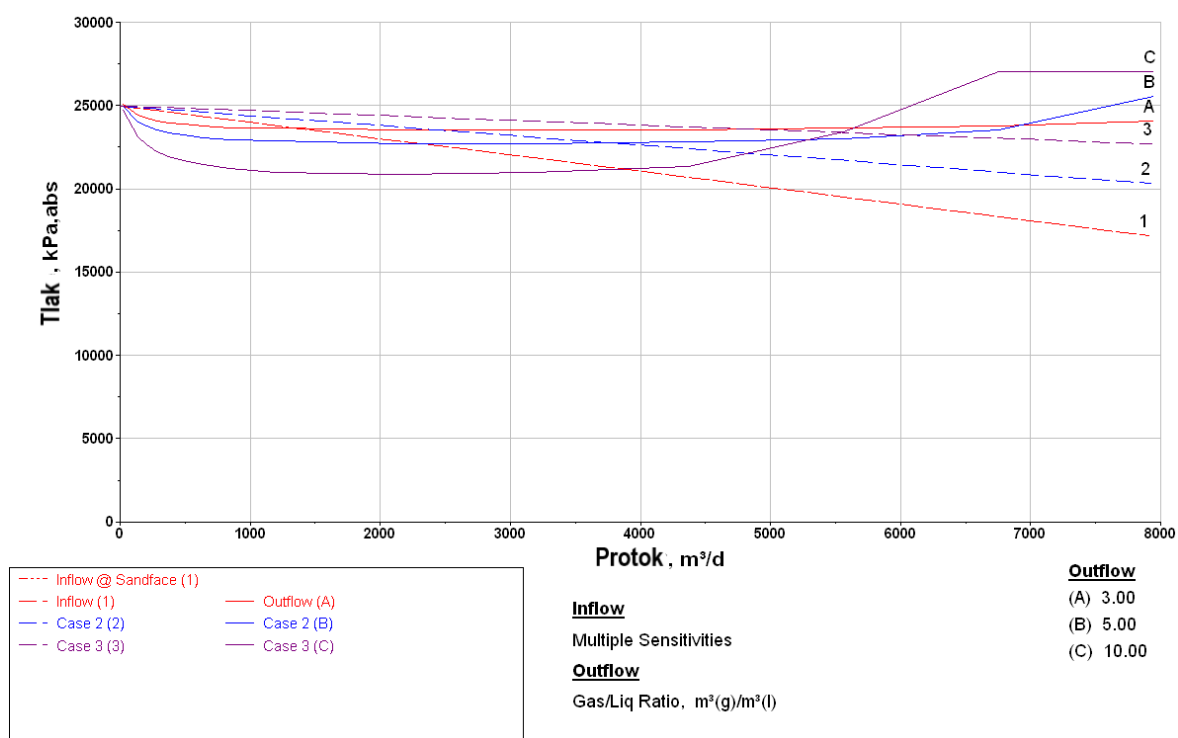
Tablica 6-2. Idealna davanje bušotine i dinamički tlak za eruptivnu proizvodnju bušotine Vuk – 1 (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 50 [mD] GLR = 5	Debljina sloja 450 [m]
Davanje bušotine [m³/dan]	6693,7
Dinamički tlak [bar]	191,27

6.2. Zebanec – analiza osjetljivosti

eksploatacijsko polje zebanec detaljno je opisano poglavlju 4. U daljnjem tekstu prikazani su podaci koji su uzeti s bušotine Zb – 1 jug iz četvrte DST analize koje je izvedeno u intervalu od 2488,73 m do 2505,0 m. Očitani tlak iznosi 249,74 bara ($G_p = 0,99/10$ m). Na ovom eksploatacijskom polju dobivena je prosječna efektivna propusnost (k) koja iznosi 43,09 mD. Temperatura dobivena testom iznosi 136,9 °C ($G_t = 5,5$ °C/100 m).

Prilikom testiranja bušotine očitana je efektivna propusnost te zbog toga na ovom plinskom polju mogla se napraviti nešto točnija analiza osjetljivosti. Na Slici 6-4. prikazano je davanje bušotine za $k = 43,09$ mD te promjenjivi parametri GLR (3 – 5 – 10) i debljina ležišta (150 m – 250 m – 510 m).



Slika 6-4. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb – 1 jug, Propusnost 46,09 mD (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Na Slici 6 - 4. uočljivo je kako najveće davanje bušotine će biti kada je debljina ležišta 510 metara i GLR = 5, a ne kada je GLR = 10. Razlika na prikazanom grafu nije znatna, ali prilikom očitavanja podataka iz *Data Report-a* u programu *WellPerform* mogu se iščitati točni podaci te su oni prikazani u Tablici 6 – 3.

Tablica 6-3. Usporedba točke protoka za eksploatacijsko polje Zebanec (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 43,09 [mD]	GLR = 5	GLR = 10
Davanje bušotine [m ³ /dan]	6086,2	5555
Dinamički tlak [bar]	232,17	233,70

Nadalje, napravljene su još tri analize osjetljivosti za eksploatacijsko polje Zebanec. Naime izračunata je efektivna propusnost ležišta, što u protivnom znači kako ona na svim intervalima nije ista, može biti veća ili manja. Zbog toga napravljene analize imaju fiksne propusnosti u iznosu od 10 mD, 30 mD i 50 mD.

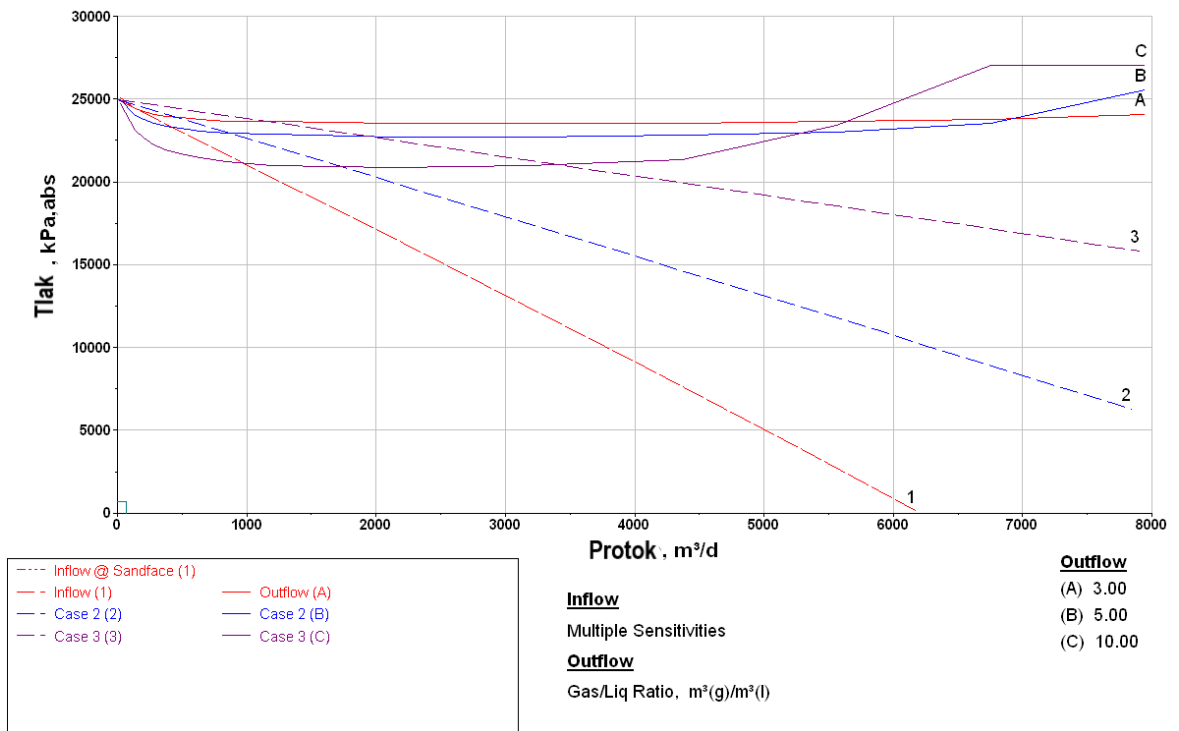
Zbog lakšeg snalaženja u nastavku je priložena Tablica 6 – 4. Prva varijanta odgovara Slici 6 – 5. , druga varijanta Slici 6 – 6. i treća varijanta Slici 6 – 7.

Vrijednosti GLR su: 3, 5, 10

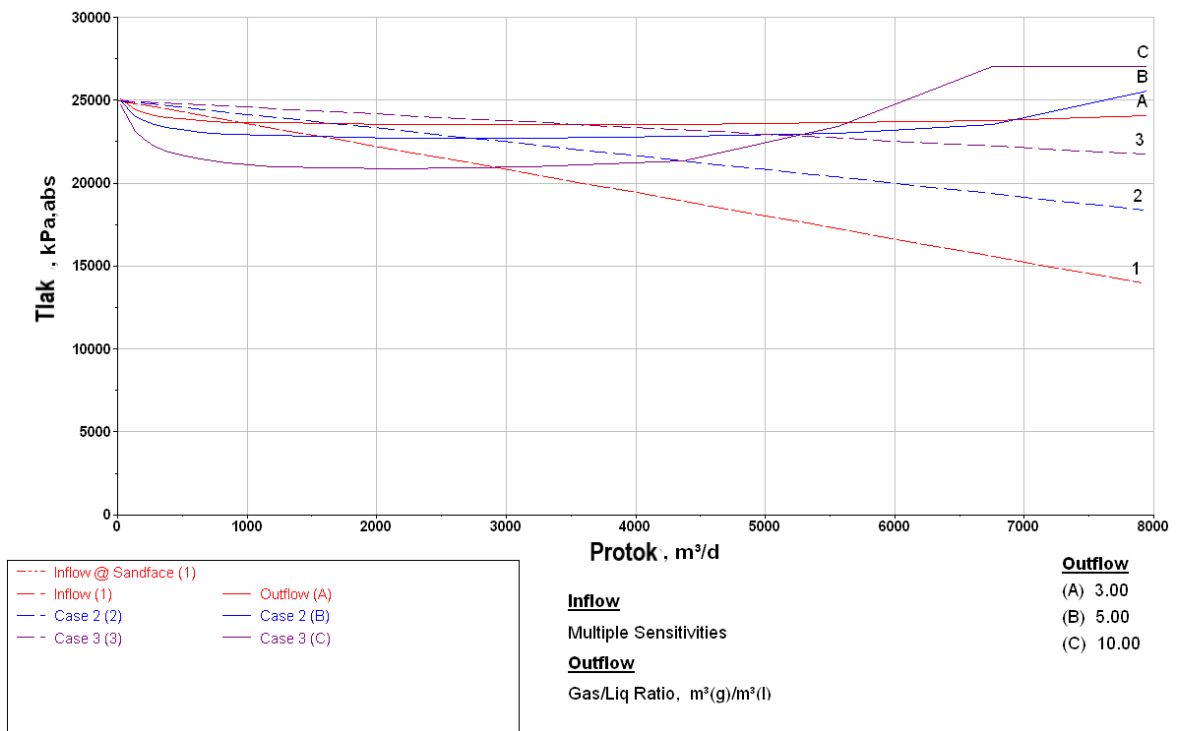
Vrijednosti debljine ležišta su: 150 m, 250 m, 510 m.

Tablica 6-4. Varijante analiza za eksploatacijsko polje Zebanec (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

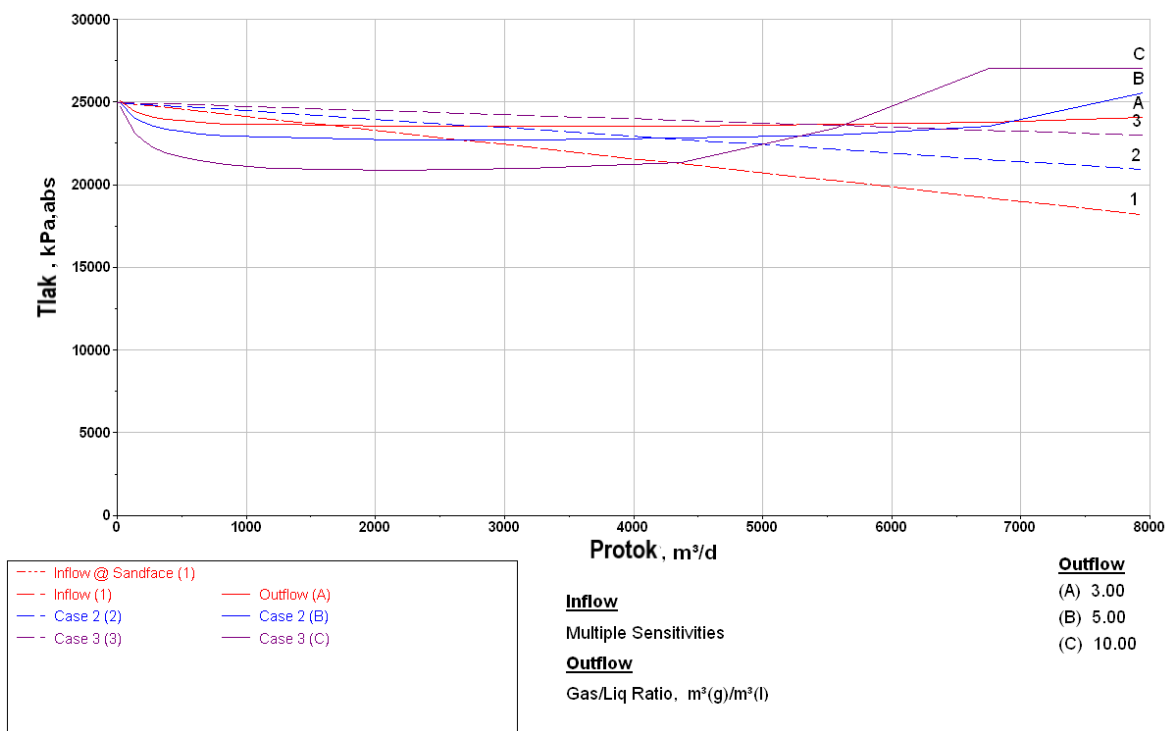
	FIKSNO	PROMJENJIVO
VARIJANTA E	Propusnost (10 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA F	Propusnost (30 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA G	Propusnost (50 mD)	GLR, Debljina ležišta



Slika 6-5. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb – 1 jug, varijanta D (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-6. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb - 1 jug, varijanta E (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-7. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Zb - 1 jug, varijanta F (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Prikazanim grafovima uočava se trend ukoliko je veća propusnost ležišta, veća debljina sloja i više otopljenog plina u fluidu, eruptivno davanje bušotine će biti veće. Najveći pad tlaka prilikom proizvodnje vidljiv je u varijanti D i E, kada je propusnost 10 mD i 30 mD za debljinu ležišta 150 m i 250 m. U Tablici 6 – 5. prikazani su numerički podaci sa Slike 6 – 5. te je time dobiven najgori mogući scenarij.

Tablica 6-5. Usporedba dinamičkog tlaka za propusnost ležišta 10 mD i GLR = 3 (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 10 [mD] GLR = 3	Debljina sloja 150 [m]	Debljina sloja 250 [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	150,6	464,7
Dinamički tlak [bar]	243,83	238,79

Tablicom 6 – 6. numerički su prikazani podaci varijante E.

Tablica 6-6. Usporedba dinamičkog tlaka za propusnost ležišta 30 mD i GLR = 5 (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 30 [mD] GLR = 5	Debljina sloja 150 [m]	Debljina sloja 250 [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	955,4	1694,8
Dinamički tlak [bar]	236,51	235,66

6.3. Međimurje 1 – analiza osjetljivosti

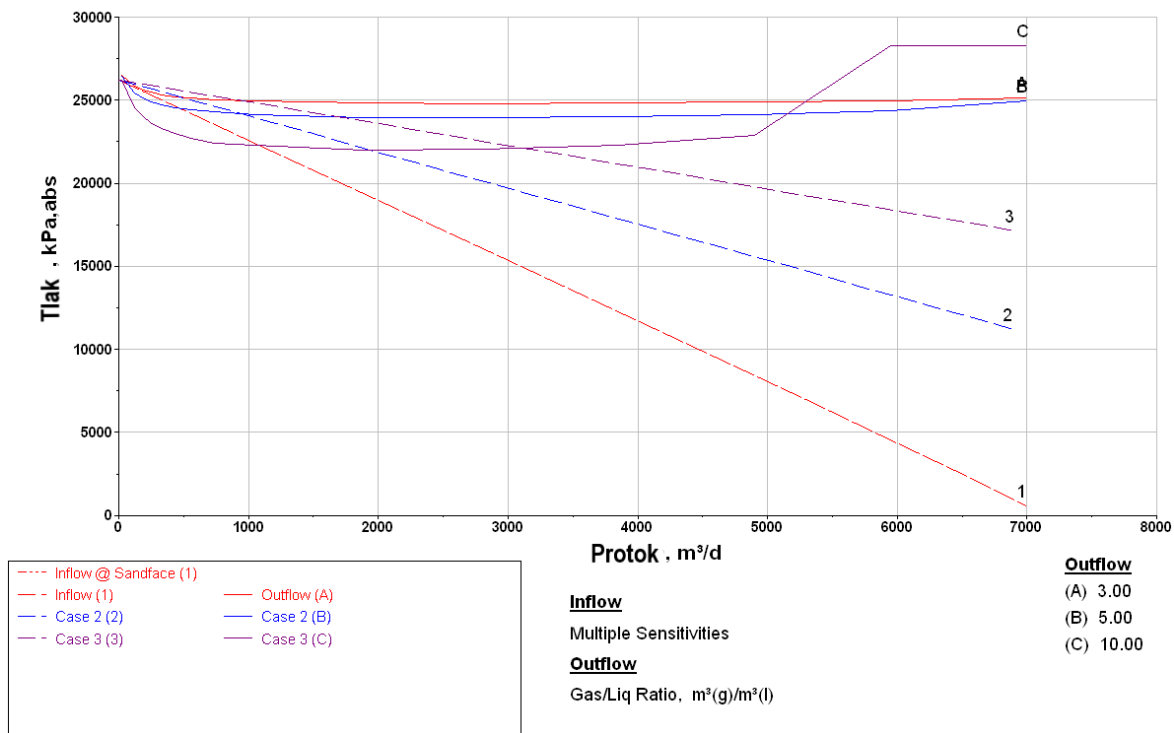
Podaci o bušotini Međimurje – 1, njenom položaju, litološkom sastavu i provedenim testovima, prikazani su u potpoglavlju 4.11. U daljnjem tekstu prikazani su podaci koji su uzeti s bušotine Mđ – 1 iz petog DST-a koje je napravljeno intervalu od 2996 m do 3103,5 m. Očitani tlak iznosi 262,1 bar, a maksimalna temperatura iznosi 162,8 °C. Ujedno to je i najveća izmjerena maksimalna temperatura na eksploatacijskim poljima Međimurske županije koje su obrađene u ovom diplomskom radu. Kako se iz navedenog testa nije očitala propusnost sloja, pretpostavljena je u analizama osjetljivosti. Tablica 6 – 7. prikazuje fiksne i promjenjive varijable koje su upotrijebljene za izračun analize osjetljivosti te varijante koje odgovaraju Slici 6 – 8., Slici 6 – 9., Slici 6 – 10.

Vrijednosti GLR su: 3, 5, 10

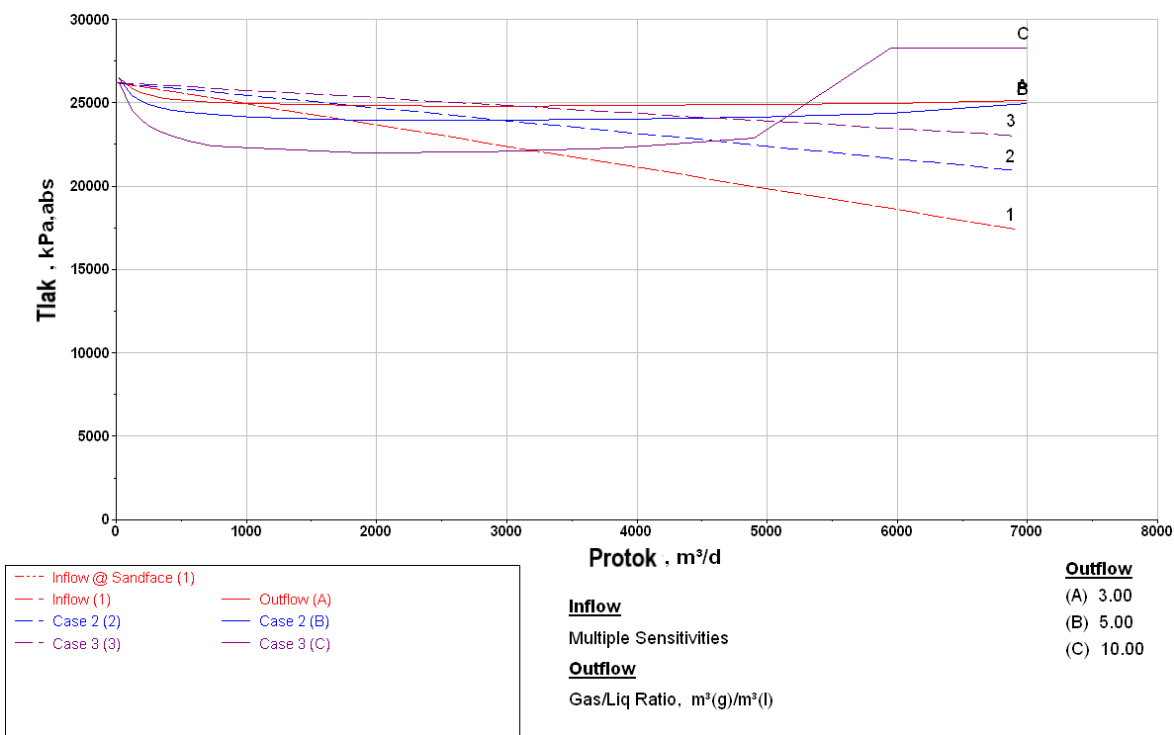
Vrijednosti debljine ležišta su: 150 m, 250 m, 450 m.

Tablica 6-7. Varijante analize eksploatacijske bušotine Mđ – 1 (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

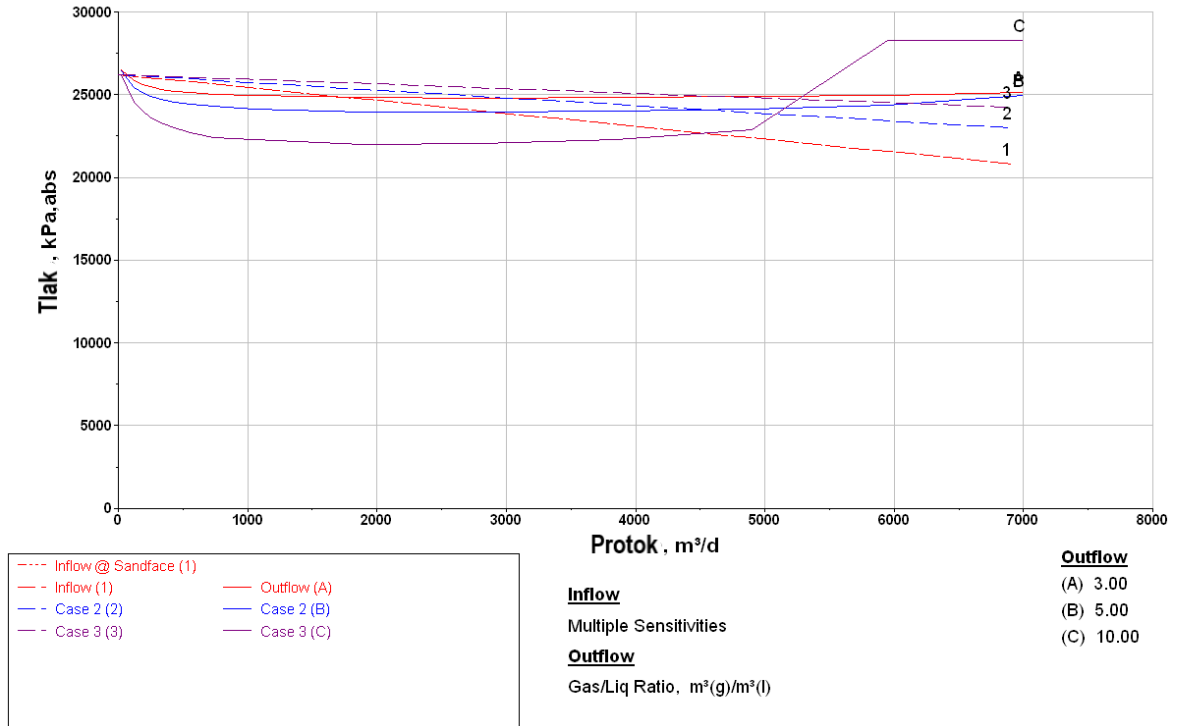
	FIKSNO	PROMJENJIVO
VARIJANTA I	Propusnost (10 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA J	Propusnost (30 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA K	Propusnost (50 mD)	GLR, Debljina ležišta



Slika 6-8. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Mđ - 1, varijanta I (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-9. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Mđ - 1, varijanta J (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-10. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Mđ - 1, varijanta K (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Na prikazanim slikama grafova uočljivo je kao i za ostala eksploatacijska polja kako najveću eruptivnu proizvodnju bušotina ima ukoliko ima veću debljinu sloja, veću propusnost i veću debljinu ležišnog sloja. Najmanja i najveća proizvodnja bušotine Mđ – 1 prikazana je u Tablici 6 – 8. i Tablici 6 – 9.

Tablica 6-8. Rezultati najmanje proizvodnje fluida bušotine Mđ – 1 (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 10 [mD] GLR = 3	Debljina sloja 150 [m]	Debljina sloja 250 [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	N.A*	476,7
Dinamički tlak [bar]	N.A*	251,76

N.A* - Nije moguća eruptivna proizvodnja

Tablica 6-9. Rezultati najveće proizvodnje fluida bušotine Mđ – 1 (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 50 [mD] GLR = 5	Debljina sloja 250 [m]	Debljina sloja 413 [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	4543,3	6136,2
Dinamički tlak [bar]	240,81	244,69

6.4. Vučkovec – analiza osjetljivosti

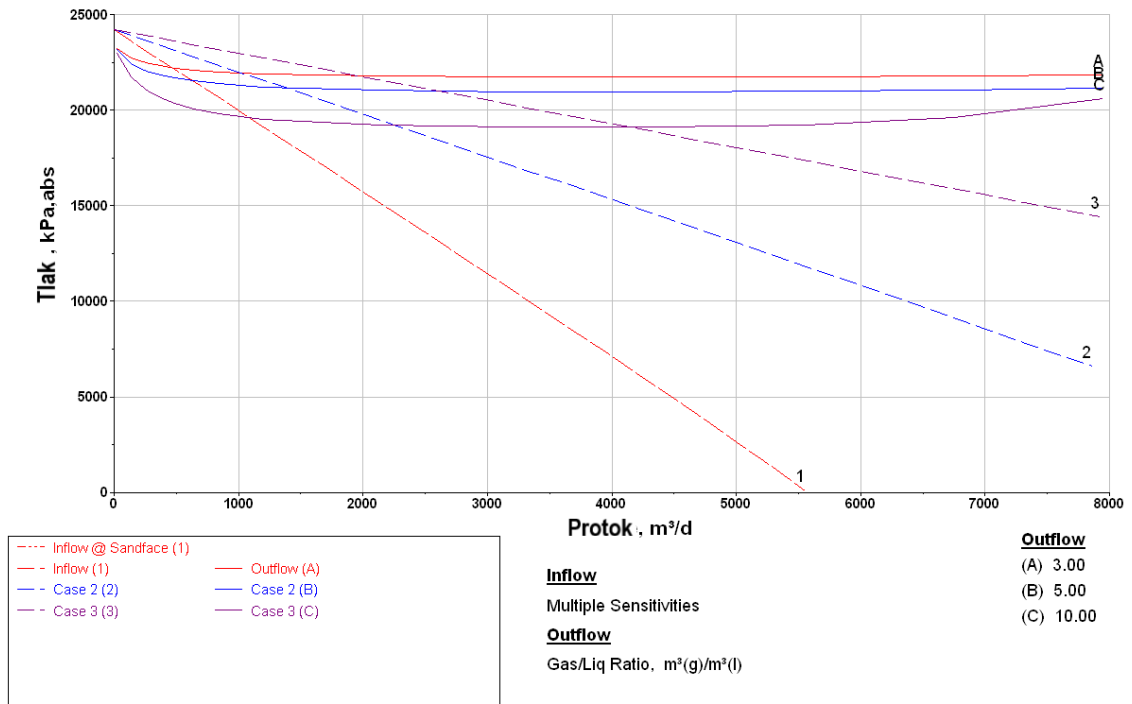
Eksploatacijsko polje Vučkovec detaljno je opisano poglavlju 5. U daljnjem tekstu prikazani su podaci koji su uzeti s bušotine Vuč – 1 iz pete DST analize koje je izvedeno u intervalu od 2372,5 m do 2383,0 m. Očitani tlak iznosi 238,6 bara ($G_p = 0,999/10$ m), dok izmjerena temperatura na ovom intervalu iznosi 131,1 °C ($G_t = 5,11/100$ m). Bušotina je odabrana za analize osjetljivosti jer se na dubini od 2368 metara nalazi kontakt plin – voda te kolektor sadržava slojnu vodu i plin osrednje propusnosti. Kako se iz navedenog testa nije očitala propusnost sloja, pretpostavljena je u analizama osjetljivosti. Tablicom 6 – 10. prikazani su fiksni i promjenjivi parametri koji su upotrijebljeni za analizu osjetljivosti.

Vrijednosti GLR su: 3, 5, 10

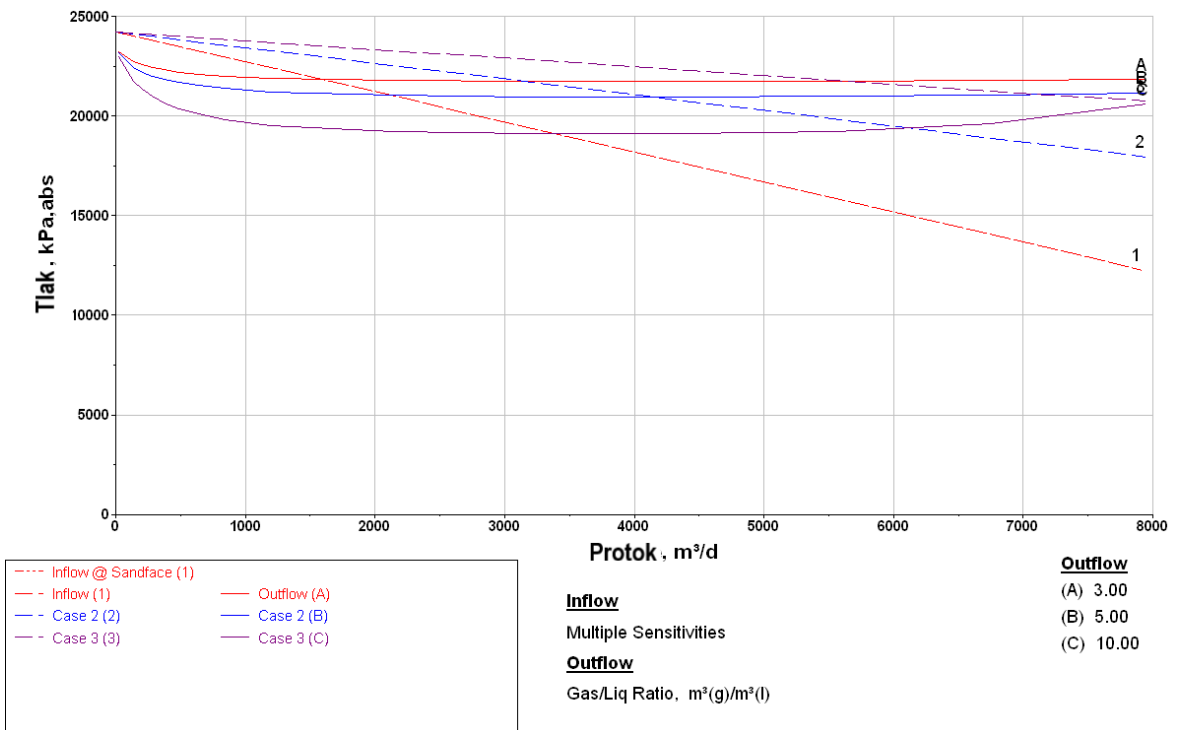
Vrijednosti debljine ležišta su: 131 m, 250 m, 450 m.

Tablica 6-10. Varijante analize osjetljivosti eksploatacijskog polja Vučkovec (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

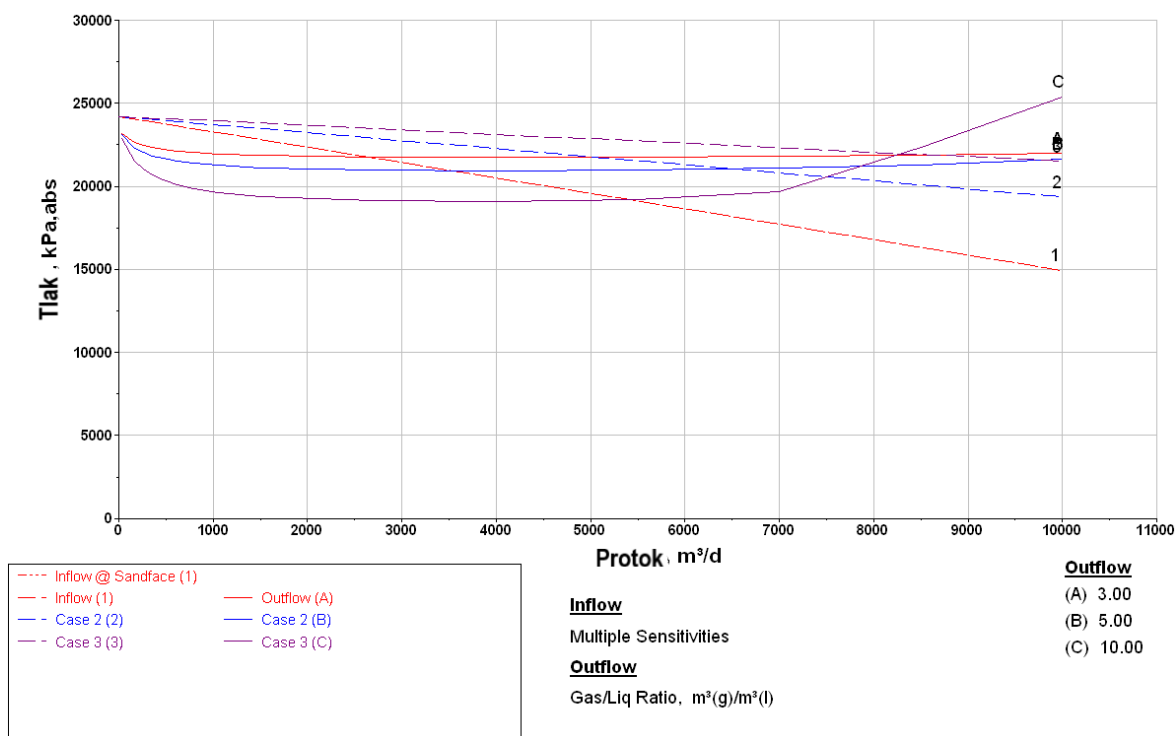
	FIKSNO	PROMJENJIVO
VARIJANTA L	Propusnost (10 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA M	Propusnost (30 mD)	GLR, Debljina ležišta
VARIJANTA N	Propusnost (50 mD)	GLR, Debljina ležišta



Slika 6-11. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Vuč - 1, varijanta L (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-12. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Vuč - 1, varijanta M (Vlastita izrada prema AZU, 2024)



Slika 6-13. Graf analize osjetljivosti eruptivne proizvodnje bušotine Vuč - 1, varijanta N (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Iz dobivenih grafova na Slici 6 – 11., Slici 6 – 12. i Slici 6 – 13. uočljivo je kako najveća eruptivna proizvodnja bušotine Vuč – 1 u varijanti N, kada je propusnost sloja 50 mD, ali za vrijednost GLR = 5. Podaci davanja bušotine i dinamičkog tlaka prikazane su u Tablici 6 – 11.

Tablica 6-11. Rezultati analize osjetljivosti varijanta N (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 50 [mD] GLR = 5	Debljina sloja 131 [m]	Debljina sloja 250 [m]	Debljina sloja 450 [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	3375	6063,1	7745,9
Dinamički tlak [bar]	191,34	194,32	208,19

6.5. Usporedba analiza osjetljivosti eksploatacijskih polja Vukanovec, Zebanec i Vučkovec

U prethodnim potpoglavljima prikazana je eruptivna proizvodnja na eksploatacijskim poljima Vukanovec (Vuk – 1), Zebanec (Zb – 1 Jug i Mđ – 1) i Vučkovec (Vuč – 1). Na odabranim bušotinama prethodno su napravljene DST analize iz kojih su iščitani podaci koji su se upotrijebili kao ulazni podaci u softveru *WellPerform*. Dobiveni rezultati prikazani su na slikama i tablicama.

Prilikom očitavanja rezultata uočljiv je ponavljajući uzorak, odnosno kada bušotina ima najmanju i najveću proizvodnju fluida eruptivnom metodom. Parametri koji utječu izravno na proizvodnju fluida, u ovom slučaju geotermalne vode, su propusnost ležišta, debljina sloja ležišta i postotak otopljenog plina u fluidu. Ukoliko je sloj nepropustan, fluid ostaje zarobljen unutar sloja i nema mogućnost protjecanja. Također ako je udio otopljenog plina u fluidu mali, mogućnost protjecanja fluida i njegova „snaga“ onemogućuje kretanje kroz sloj. Debljina sloja, ukoliko je neznatna, onemogućuje proizvodnju veće količine geotermalne vode. Tvrdnje koje su upravo iznesene mogu se uočiti na Slikama 6 - 1., 6 – 5., 6 – 8. i 6 – 11.

Na Slikama 6 - 1., 6 – 5., 6 – 8. i 6 – 11. propusnost ležišta iznosi 10 mD, a krivulja A označava $GLR = 3$ te pravac 1 debljinu sloja ležišta koja ovisno o bušotini se mijenjala (178 m, 150 m, 131 m). U Tablici 6 – 12. prikazana je najmanja proizvodnja na eksploatacijskim poljima Vukanovec, Zebanec i Vučkovec primjenom analize osjetljivosti što je ujedno najgori mogući scenarij te je izračunata dostupna toplinska snaga za MW_T za utis pri 30°C.

Tablica 6-12. Rezultati najmanje proizvodnje na proizvodnim poljima Međimurske županije dobiveni analizom osjetljivosti (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 10 [mD] GLR = 3	Vuk – 1 Debljina sloja 178 [m]	Zb – 1 Jug Debljina sloja 150 [m]	Mđ – 1 Debljina sloja 150 [m]	Vuč – 1 Debljina sloja 131 [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	537,6	150,6	N.A	470,9
Dinamički tlak [bar]	192,73	243,83	N.A	222,12
Dostupna toplinska snaga za MW _T (utis od 30°C)	2,19	0,78	N.A	2,31

N.A* - Nije moguća eruptivna proizvodnja

Najbolji mogući scenarij je ukoliko je propusnost ležišta 50 mD, GLR = 5, a debljina ležišta 450 m, 413 m i 510 m. Grafovi kretanja krivlja vidljivi su na Slikama 6 – 2., 6 – 6., 6 – 9. i 6 – 12. Razlog velike eruptivne proizvodnje na bušotinama je velika propusnost koja omogućava kretanje fluida kroz kolektorske stijene. Veći omjer otopljenog plina u geotermalnoj vodi stvara olakšani stupac kapljevine te omogućava veću brzinu protjecanja kroz sloj, a veća količina geotermalne vode može proći kroz deblji sloj ležišta. U Tablici 6 -13. prikazana je najveća eruptivna proizvodnja na eksploatacijskim poljima Međimurske županije primjenom analize osjetljivosti te je izračunata dostupna toplinska snaga za MW_T za utis pri 30°C.

Tablica 6-13. Rezultati najveće proizvodnje na proizvodnim poljima Međimurske županije dobiveni analizom osjetljivosti (Vlastita izrada prema AZU, 2024)

Propusnost 50 [mD] GLR = 5	Vuk – 1 Debljina sloja 450 [m]	Zb – 1 Jug Debljina sloja 510 [m]	Mđ – 1 Debljina sloja [m]	Vuč – 1 Debljina sloja [m]
Davanje bušotine [m ³ /dan]	6693,7	6422,1	6136,2	9733,3
Dinamički tlak [bar]	191,27	233,65	244,69	215,81
Dostupna toplinska snaga za MW _T (utis od 30°C)	27,33	33,37	39,61	47,84

Najgori i najbolji mogući scenarij napravljeni su analizom osjetljivosti koja ne uzima u obzir geološki rizik. Obzirom na iznimno veliku investiciju u iskorištavanje geotermalne toplinske energije i proizvodnju toplinske energije iz geotermalnog fluida, nužno ga je uvijek ukalkulirati. Ukoliko dođe do revitalizacije plinskih bušotina na plinskim poljima Vukanovec, Zebanec i Vučkovec nužno je uzeti u obzir geološki rizik Čentiba člana. Čentiba član može se sastojati od pješčenjaka, siltita, lapora, vapnenačko – dolomitnih breča i konglomerata. Slaganje slojeva Čentiba člana najčešće se kreće kako je i nabrojano. U nekim dijelovima kolektorske stijene ležišta propusnost se može mijenjati zbog slaganja slojeva. Potrebno je prije proizvodnje ispitati kolektorsku stijenu DST analizama, HD mjerenjima i karotažnim mjerenjima kako bi se ispitala točna propusnost sloja u željenom intervalu. Ukoliko se radi o debljim slojevima željene formacije, geološki rizik je manji jer šansa da je cijeli sloj nepropustan je mali.

7. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu analizirano su plinska polja Međimurske županije Vukanovec, Zebanec i Vučkovec s ciljem određivanja geotermalnog potencijala kolektorskih stijena Čentiba člana koji se nalazi na dubinama većim od 2000 metara. Analizom cjelokupne dostupne bušotinske dokumentacije navedenih plinskih polja utvrđen je geotermalni potencijal. Prosječni geotermalni potencijal Međimurske županije iznosi $5,07\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Uz pomoć već napravljenih DST analiza na bušotinama Vuk – 1, Zb – 1 Jug, Mđ – 1 i Vuč – 1 i podacima koji su dobiveni (tlak, temperatura, propusnost, kontakt plin – voda, debljina kolektorske stijene) ostvareni su svi preduvjeti za izradu analize osjetljivosti u programu *WellPerform*. Uz pomoć analiza osjetljivosti, dani su najbolji i najgori mogući scenarij za proizvodnju geotermalne vode u energetske svrhe odnosno toplinarstvo i proizvodnju električne energije. Navedena plinska polja nalaze na istražnom području za geotermalne vode Međimurje 5 i Merhatovec. Dobivenim podacima vidljivo je kako je moguća prenamjena plinskih bušotina u geotermalne svrhe. Naravno u obzir se mora uključiti i geološki rizik koji je velik jer ispitana polja se moraju ponovo podvrgnuti bušotinskim analizama propusnosti za intervale gdje kolektorska stijena sadržava geotermalnu vodu. Osim geološkog rizika, potrebno je neke od bušotina opremiti s novim proizvodnim kolonama koje su uobičajene za proizvodnju geotermalne vode. Osim na području Međimurske županije, mogućnost revitalizacije plinskih i naftnih bušotina u geotermalne bušotine je na cijelom prostoru Panonske nizine. Trenutačno u Republici Hrvatskoj postoji 57 eksploatacijskih polja ugljikovodika od kojih su neka u zreloj fazi eksploatacije te postoji veliki potencijal privođenja proizvodnji geotermalne energije na nekim od trenutno aktivnih polja.

8. LITERATURA

1. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE [AZU] (1974. - 2007.). Bušotinski fond plinskih polja Vukanovec, Zebanec, Vučkovec. Interna dokumentacija.
2. DURN, T., KRPAN, M. 2016. Onshore Croatia: Hydrocarbon opportunities at the crossroads of Europe. *GeoExPro - petroleum geoscience magazine*, 16
3. JELIĆ, K., KEVRIĆ, I., KRASIĆ, O. 1995. Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske. *First Croatian Geological Congress - Proceedings*, 1:245–249
4. JOVANIĆ, M., 1976. Prostorna litostratigrafska analiza kompleksa tercijara na području Murske depresije. Fond struč. dokum. INA Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb.
5. KARASALIHović, D., FUGAŠ, I. 2007. Economics of preliminary operations due to start of production of Vuckovec, Vukanovec and Zebanec exploration fields. *Petroleum Engineering Summer School*. Ed. Kirilov Z. Zagreb
6. KISOVAR, M., 1979. Prilog rješavanju strukturnih odnosa našeg dijela Murske depresije. *Zbornik radova 3. god. nauč. skupa Sekcije za primjenu geologije, geofizike i geokemije Znanstv. savjeta za naftu JAZU, Novi Sad 22-24. 3. 1977.*
7. LAZO, A., 2015. Projekt Međimurje – *Razrada plinskih ležišta polja Vučkovec, Vukanovec i Zebanec*. *Nafta i plin – Stručni časopis Hrvatske udruge naftnih inženjera i geologa*, 35 (142/2015), str 45. - 53.
8. 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. *Renew Sustain Energy Rev* 110069:132
9. MUVRIN, B., KARASALIHović, D., MAUROVIĆ, L., PERKOVIĆ, D., KRIŠTAFOR, Z., SAFTIĆ, B., KISIĆ, I., VIDIČ, S., 2006a. Studija o utjecaju na okoliš rudarskih objekata i eksploatacije plina na eksploatacijskom polju Vučkovec. *Studija*. Zagreb
10. MUVRIN, B., KARASALIHović, D., MAUROVIĆ, L., PERKOVIĆ, D., KRIŠTAFOR, Z., SAFTIĆ, B., KISIĆ, I., VIDIČ, S., 2006b. Studija o utjecaju na okoliš rudarskih objekata i eksploatacije plina na eksploatacijskom polju Vukanovec. *Studija*. Zagreb
11. MUVRIN, B., KARASALIHović, D., MAUROVIĆ, L., PERKOVIĆ, D., KRIŠTAFOR, Z., SAFTIĆ, B., KISIĆ, I., VIDIČ, S., 2006c. Studija o utjecaju na

- okoliš rudarskih objekata i eksploatacije plina na eksploatacijskom polju Zebanec. Studija. Zagreb
12. PANDŽIĆ, J. 1986. Pretercijar jugozapadnog dijela Panonskog bazena. INA-Naftaplin, Zagreb, posebno izdanje, 183 str.
 13. PIKIJA, M. i ŠIKIĆ, K. 1999. Stratigrafsko-facijesne odlike starijeg i srednjeg miocena Murske depresije i obodnih područja. Fond struč. dokum. INA Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb.
 14. PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M., LUČIĆ, D. 1998. Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. *Tectonophysics* 297:283–293
 15. SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANÓ, O., JUHÁSZ, G., IVKOVIĆ, Ž. 2003. Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). *Geol Croat* 56(1):101–122
 16. SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHASZ, G., IVKOVIĆ, Ž., 2003. Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary).– *Geologia Croatica*, 56/1, str. 101-122.
 17. ŠIMON, J. 1966. Litostratigrafske jedinice u tercijarnom kompleksu Murske potoline. Fond struč. dokum. INA Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb.
 18. ŠIMON, J. 1980. Prilog stratigrafiji i talonom sustavu pješćanih rezervoara Sava-grupe mlađeg tercijara u Panonskom bazenu Sjeverne Hrvatske. Dissertation, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb
 19. 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

WEB IZVORI:

1. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE [AZU]. URL: <https://www.azu.hr/hr/hr/geoterme/> (11.12.2023.)
2. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE - WEB GIS portal. URL : <https://gis.azu.hr/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6b2324ed725a4a2e9d1a5a665d23262a> (04.12.2023.)

3. ENERGETIKA NET 09.05.2023. *INA-i omogućeni radovi u svrhu eksploatacije ugljikovodika na polju Vukanovec*. URL : <https://www.energetika-net.com/plin/ina-i-omoguceni-radovi-u-svrhu-eksploatacije-ugljikovodika-na-polju-vukanovec>
(13.12.2023.)
4. GOOGLE EARTH URL:
<https://www.google.hr/maps/@45.840196,15.9643316,11z?hl=hr&entry=ttu>
(05.12.2023.)

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, reading "Tomislava Matijaš", is centered on the page. The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath it.

Tomislava Matijaš



KLASA: 602-01/24-01/08
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 14.02.2024.

Tomislava Matijaš, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/08, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 16.01.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

GEOTERMALNI POTENCIJAL PLINSKIH POLJA U MEĐIMURSKOJ ŽUPANIJI

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada prof. dr. sc. Tomislav Kurevija nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu dr. sc. Marija Macenić.

Mentor:



(potpis)

prof. dr. sc. Tomislav Kurevija

(titula, ime i prezime)

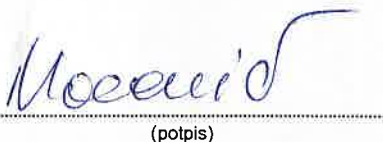
Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:



(potpis)

izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)



(potpis)

dr. sc. Marija Macenić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)