

DELINEACIJA I KARAKTERIZACIJA TIJELA GEOTERMALNIH PODZEMNIH VODA U REPUBLICI HRVATSKOJ



Broj: 6/20

Predstojnik Zavoda:

Ravnatelj:

Dr.sc. Josip Terzić, dipl.inž.geol.

Dr.sc. Slobodan Miko, dipl.inž.geol.

Zagreb, studeni 2020



NARUČITELJ: HRVATSKE VODE
Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

BROJ UGOVORA: KLASA: 325-01/19-10/0000051,
UBROJ: 374-1-6-19-7 (Hrvatske vode)
Br. 2805/19 (Hrvatski geološki institut)

IZVRŠITELJ: HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju
Milana Sachsa 2, Zagreb

GeoDA Consulting d.o.o.
Zvonimirova 13
10 000 Zagreb

VODITELJ PROJEKTA: Dr.sc. Tamara Marković, dipl.inž.geol.

AUTORI IZVJEŠĆA: Dr.sc. Tamara Marković, dipl.inž.geol.

Mr.sc. Željka Sladović

Dr.sc. Ozren Larva, dipl.inž.geol.

Dr.sc. Željka Brkić, dipl.inž.geol.

SURADNICI: Igor Karlović, mag.inž.geol.
Zoran Mikić, dipl. inž. elektr.
Zvonimir Martić, mag.inž.petrol.

Sadržaj:

Predgovor	3
1. Uvod	4
2. Pregled dosadašnjih istraživanja vezano za korištenje geotermalnih vodonosnika	11
3. Pregled europskih i svjetskih metodologija za izdvajanje tijela geotermalnih voda	13
4. Strukturno-geološke, geotermijske i hidrogeološke značajke potencijalnih i dokazanih geotermalnih vodonosnika	15
4.1. Geološka građa – regionalne postavke	15
4.2. Geotermalna obilježja prostora	28
4.3. Pregled potencijalnih područja i dokazanih geotermalnih vodonosnika	31
5. Metodologija	51
5.1. Postupak definiranja tijela geotermalnih voda	51
5.2. Postupak ocjene stanja tijela geotermalnih voda	52
5.3. Postupak ocjene rizika na tijela geotermalnih voda	55
6. Tijela geotermalnih vodonosnika	57
6.1. Istarsko geotermalno tijelo	57
6.2. Ciglensko geotermalno tijelo	62
6.3. Zagorsko geotermalno tijelo	68
6.4. Varaždinsko geotermalno tijelo	84
6.5. Konjščinsko geotermalno tijelo	89
6.6. Daruvarsko geotermalno tijelo	94
6.7. Lipičko geotermalno tijelo	101
6.8. Bizovačko geotermalno tijelo	106
6.9. Topusko geotermalno tijelo	110
6.10. Zagrebačko geotermalno tijelo	115
6.11. Svetonedjeljsko geotermalno tijelo	121
6.12. Sveojansko geotermalno tijelo	126
6.13. Ivanić gradsko geotermalno tijelo	130
6.14. Županjsko geotermalno tijelo	133
6.15. Gornjo Međimurko geotermalno tijelo	137
6.16. Donjo Međimurko geotermalno tijelo	142
6.17. Požeško geotermalno tijelo	146
6.18. Lešćansko geotermalno tijelo	149
7. Ocjena kemijskog stanja	155
8. Ocjena količinskog stanja	157
9. Ocjena rizika od nepostizanja cilja za „sprječavanje pogoršanja kemijskog stanja tijela geotermalnih voda“	159
10. Ocjena rizika od nepostizanja cilja za „sprječavanje pogoršanja količinskog stanja tijela geotermalnih voda“	161
11. Ocjena rizika od nepostizanja cilja „postići dobro stanje geotermalnih voda“	163
12. Prijedlog monitoringa	164
13. Literatura	169

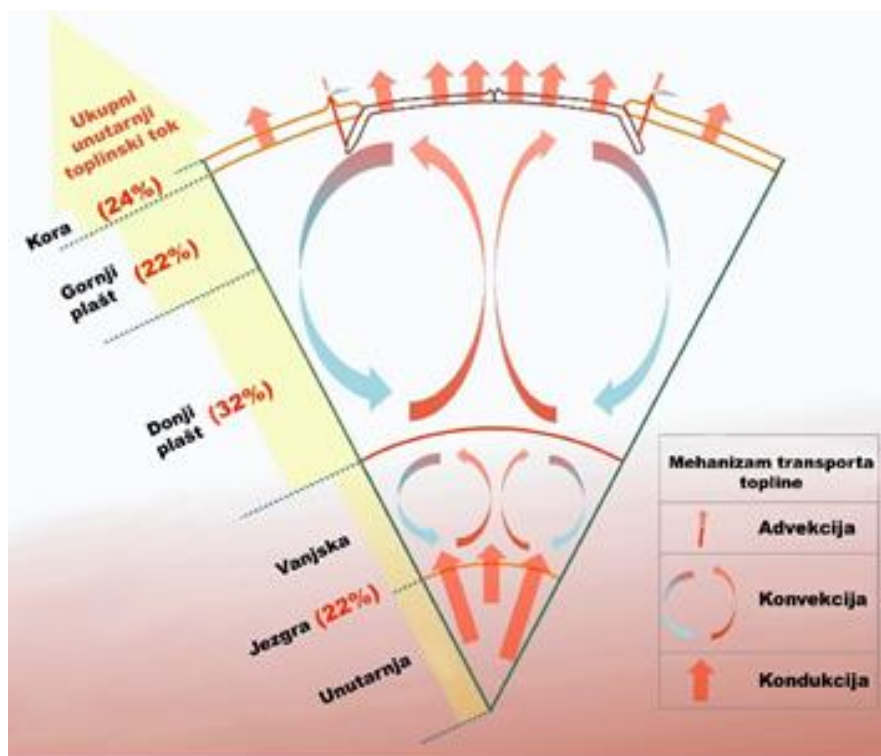
Predgovor

Prema Ugovoru o uslugama, KLASA: 325-01/19-10/0000051, UBROJ: 374-1-6-19-7 (Hrvatske vode) od 02.08.2019. i UBROJ: 2805/19 (Hrvatski geološki institut) od 12.08.2019. zajednica izvršitelja Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju i GeoDA Consulting d.o.o. preuzeli su obvezu izrade projekta Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj u okviru kojega je načinjeno sljedeće:

- Dan je pregled europske i svjetske metodologije za izdvajanje tijela geotermalnih voda i ocjene njihovog stanja prema količinskom i kemijskom stanju zajedno s prijedlogom metodologije izdvajanja tijela geotermalnih i mineralnih voda
- Dan je pregled relevantnih objavljenih materijala vezano za genezu, kemijsko stanje i korištenje pojedinih geotermalnih pojava na području Republike Hrvatske.
- Iz arhivskih podataka Agencije za ugljikovodike odabrani su relevantni seizmički i bušotinski podaci te je načinjena interpretacija strukturno-geoloških cjelina potencijalnih i dokazanih geotermalnih vodonosnika i njihovih hidrogeoloških i geokemijskih značajki
- Načinjene su kemijske i izotopne analize kako bi se ustanovilo kemijsko stanje, ali i da li postoji utjecaj "hladnih" podzemnih voda na geotermalne vodonosnike
- Na potencijalnim područjima je izrađena karta geotermalnog gradijenata
- Predložene su metodologije izdvajanja geotermalnih tijela, te ocjene njihovog stanja s obzirom na kemizam i količinu geotermalne vode
- Na temelju metodologija i obrađenih podataka izdvojena su tijela geotermalnih vodonosnika, te načinjena ocjena njihovog stanja
- Predložen je monitoring geotermalnih vodonosnika

1. Uvod

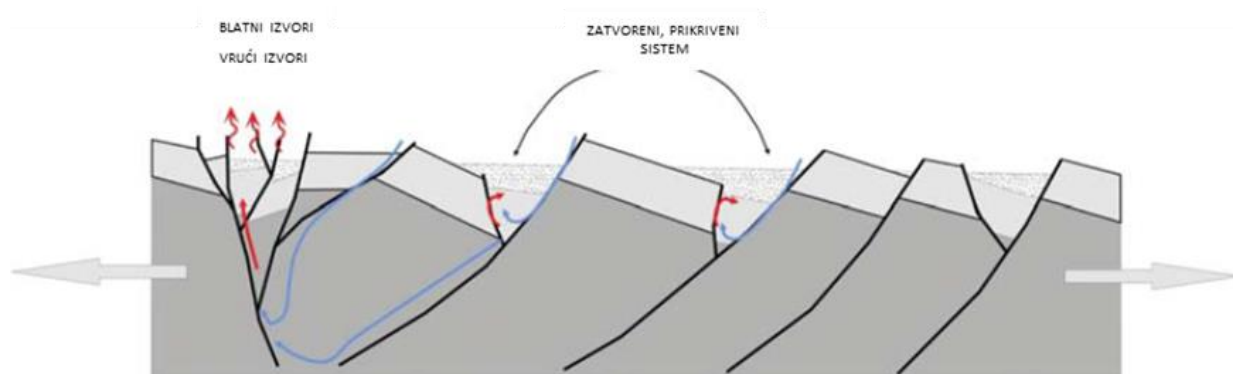
Geotermalna energija je toplina koja je pohranjena u unutrašnjosti Zemlje i obnovljiv je izvor koji se može održivo koristiti. Prema istraživanjima Dye, 2012 te Aravelo et al., 2009, 22% ukupnog volumena Zemlje zauzima energija nastala u jezgri, a 24% ukupnog volumena Zemlje zauzima energija nastala u kori, dok je najveći udio iz plašta 54% (slika 1.1). Obzirom na takvu distribuciju topline, procjenjuje se da je globalni geotermalni potencijal od 125 do 1793 EJ na godinu (Limberger et al., 2018).



Slika 1.1. Raspodjela topline unutar planeta Zemlje i mehanizmi prijenosa topline (modificirano prema Dye, 2012 i Aravelo et al., 2009).

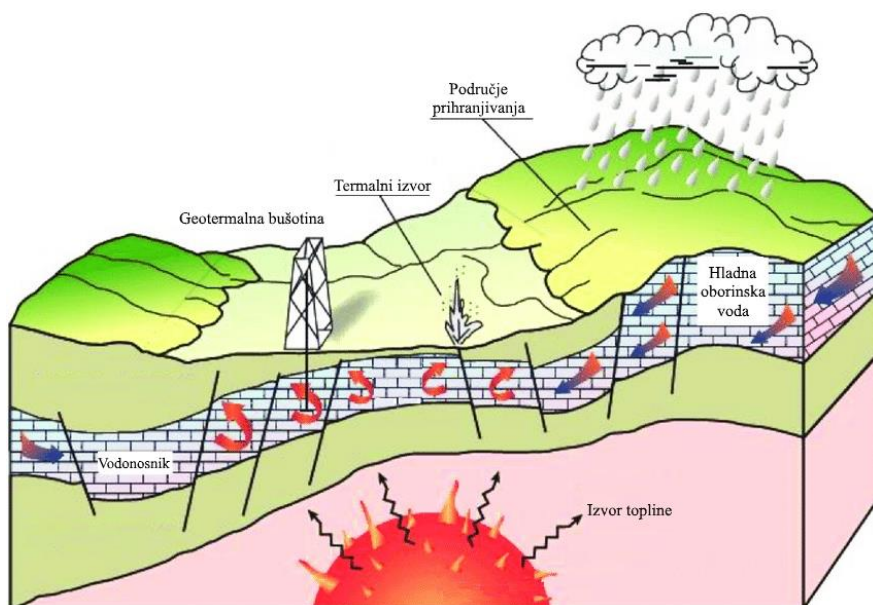
Postoje dva načina prijenosa topline iz Zemljine unutrašnjosti prema površini, a to su: kondukcija i konvekcija. Tri su tipa geoloških struktura gdje su značajne geotermalne anomalije: (i) aktivna do ugašena vulkanska područja (konvergentne i divergentne granice, transformni rasjedi, vruće točke (izmjerene su temperature veće od 200°C) te je tu dominantan utjecaj konvekcije; (ii) aktivni riftovi, metamorfni kompleksi podloge, zalučni bazeni, segmentirani posmični „*strike slip*“ rasjedi (izmjerene temperature veće od 100°C) te je tu isto dominantan utjecaj konvekcije; (iii) veći ili manji taložni bazenski prostori koji su izgrađeni od sedimenata dobrih geotermijskih i hidrogeoloških značajki, temeljno gorje ili orogenetski pojasevi. Ovdje je dominantan utjecaj kondukcije. U područjima gdje je prijenos

topline pretežno konvekcijom, toplina se provodi iz dubine do plićih dijela vodonosika ili do površine terena uzlaznim kretanjem vode duž propusnih zona. Lateralno ovakva područja mogu biti velikog prostiranja, ovisno o propusnosti stijenske mase i razmještanju rasjeda. Općenito, segmentirani, manji rasjedi povoljniji su za geotermalne sustave od velikih rasjeda s velikim pomacima. Lokalni režim naprezanja i njegova orijentacija u odnosu na geometriju rasjeda imaju utjecaj na propusnost puteva protjecanja. Rasjedi orijentirani okomito na smjer najmanjeg tlačnog naprezanja će vjerojatnije biti propusniji (Barton, 1977). Isto tako, zone rasjeda koji se međusobno prepliću, preklapaju ili sijeku, kao što su područja navlačenja, područja završetaka rasjednih zona te zone akomodacije, su mjesta gdje se stvaraju propusni putevi za cirkulaciju geotermalne vode kroz gustu mrežu fraktura (slika 1.2).



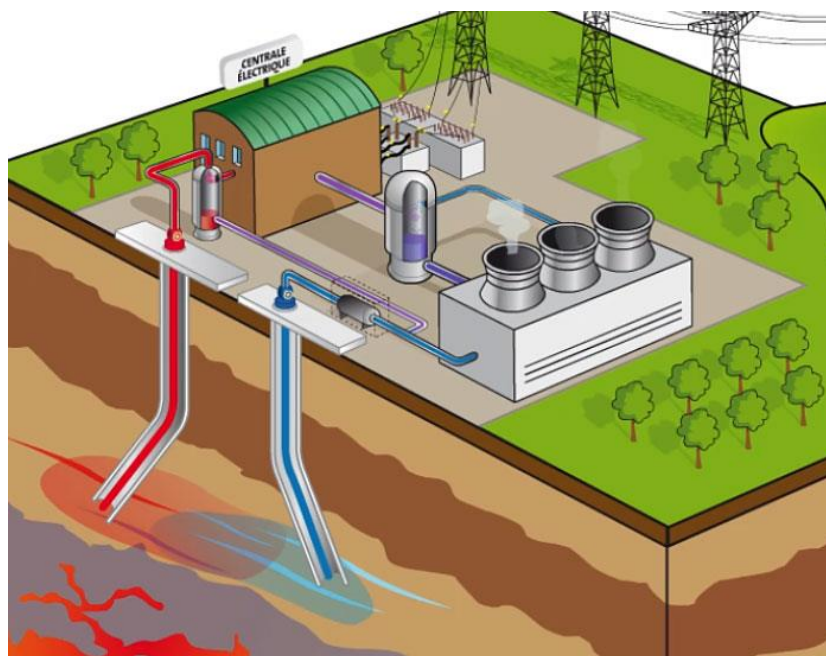
Slika 1.2 Shema konvekcijskih nemagmatskih playeva, strjelice prikazuju smjer ekstenzije kore. Izvor: Best practices guide for geothermal exploration IGA Service, Bochum University of Applied Sciences

Unutar navedenih struktura postoje dva tipa sustava: hidrotermalni i petrotermalni, . Hidrotermalni sustav podrazumijeva geotermalne rezervoare koji sadržavaju dovoljno topline u sebi, a stijene imaju veliku propusnost koja omogućava tečenje vode i obnavljanje sustava vodom (slika 1.3).



Slika 1.3. Hidrotermalni sustav (preuzeto <https://www.inforse.org/>)

Petrotermalni sustavi podrazumijevaju geotermalne rezervoare gdje je toplina sadržana u stijenama bez fluida (vode). Prilikom korištenja ovih sustava potrebno je utisnuti fluid do vruće stijene koji preuzima njezinu toplinu i vraća se na površinu (slika 1.4).



Slika 1.4. Petrotermalni sustav (preuzeto <https://www.cfgservices.fr/>)

U hidrotermalne sustave pripadaju geotermalni vodonosnici. Prema temperaturi dijele se u tri grupe: (i) sustavi niske entalpije $< 100^{\circ}\text{C}$, (ii) sustavi srednje entalpije ($100\text{-}150^{\circ}\text{C}$), (iii) sustavi visoke entalpije $> 150^{\circ}\text{C}$ (Limberger et al., 2018).

Područje Hrvatske je u geološkom smislu podijeljeno na dva dijela: na sjeveru se nalazi Panonski bazen, a na jugu Dinaridi. Sjeverni dio teritorija RH predstavlja jugozapadnu granicu Panonskog bazena kojeg karakterizira visoki geotermalni gradijent - prosječno $0,049^{\circ}\text{C}/\text{m}$ i visoki površinski toplinski tok $76 \text{ mW}/\text{m}^2$ (EIHP, 2018). S druge strane, područje Dinarida ima nizak geotermalni gradijent koji u prosjeku iznosi $0,025^{\circ}\text{C}/\text{m}$ i prosječni površinski toplinski tok $29 \text{ mW}/\text{m}^2$ (EIHP, 2018). Razlika je posljedica dubine do Mohorovičićevog diskontinuitet (Moho), granice između Zemljine kore i plašta. Na području Dinarida dubina do Moho varira od 32 do 46 km, a na području Panonskog bazena od 22 do 27 km (Šumanovac, 2016). Obzirom na to da se konvekcijom iz plašta toplina transportira učinkovitije nego u kori, područja gdje je plašt bliže površini imat će veći toplinski tok, što je glavni razloga da je u panonskom dijelu RH najveći geotermalni potencijal. Osim toga, na stvaranje topline unutar stijena utječu i radioaktivni raspadi uranija, torija i kalija (^{238}U , ^{232}Th i ^{40}K). Najčešće se događaju unutar granita, u kojima je zbog istraživanja potencijala HDR sustava (eng. Hot Dry Rock) izmjerena prosječna količina topline koju navedeni proces oslobađa od $2,7 \mu\text{W}/\text{m}^3$ (Goldstein et al., 2009). No, potrebno je naglasiti kako proizvodnja topline unutar pojedinih granitnih masa izrazito varira: $1,4 - 4,9 \mu\text{W}/\text{m}^3$ (Fritschle et al., 2014). Budući da su magmatske i metamorfne stijene (grabiti, gnajsevi, itd.) prisutne u Panonskom bazenu, one također doprinose zagrijavanju podzemlja. Isto tako, tečenje podzemne vode može pridonijeti brzom i učinkovitom prijenosu topline konvekcijom, naročito u zonama dubokih rasjeda duž kojih se, ukoliko se radi o propusnim rasjednim zonama, vode visokih temperatura izdižu prema površini. Ukoliko takve zone dosežu do površine terena, tada omogućavaju pojavu geotermalnih izvora.

Zbog povoljnih geoloških uvjeta na području panonskog dijela Hrvatske najveći je geotermalni potencijal, i sukladno tome postojanje geotermalnih pojava. Ipak, i na dinarskom području postoje geotermalne pojave. Jedno od značajnih mjesta je na području Istre. Zabilježene su termalne pojave i na području Splita te Mokošice kod Dubrovnika, no one su zbog temperature i izdašnosti neznatne u odnosu na panonski dio Hrvatske.

U panonskom dijelu Hrvatske postoji tisućljetna tradicija korištenja geotermalnih vodonosnika u balneološke, rekreacijske i medicinske svrhe. Od kraja 19. stoljeća do danas korištenje geotermalnih vodonosnika se širi i na druge aspekte kao što su grijanje pojedinih zgrada ili sustavno grijanje više zgrada (daljinsko grijanje), grijanje staklenika i gospodarskih objekata u poljoprivrednoj proizvodnji, proizvodnja električne energije itd. Osim toga, prema Nacionalnom akcijskom planu za obnovljive izvore energije (NREAP) predviđa se povećanje udjela obnovljivih izvora energije (OIE) u bruto neposrednoj potrošnji energije na 20% u 2020. godini, gdje su sektorski ciljevi sljedeći: 35% udjela OIE u proizvodnji električne energije,

uključujući velike hidroelektrane; 10% udjela OIE u prijevozu; 20% udjela OIE za grijanje i hlađenje. U udjelima OIE su također uključeni geotermalni vodonosnici.

U svijetu i u Hrvatskoj postoje brojne definicije geotermalne vode. Okvirna direktiva o vodama kaže da su sve podzemne vode čija je temperatura veća od 20°C geotermalne vode. Prema Kovačić & Perica, 1998. geotermalne vode se dijele u četiri kategorije:

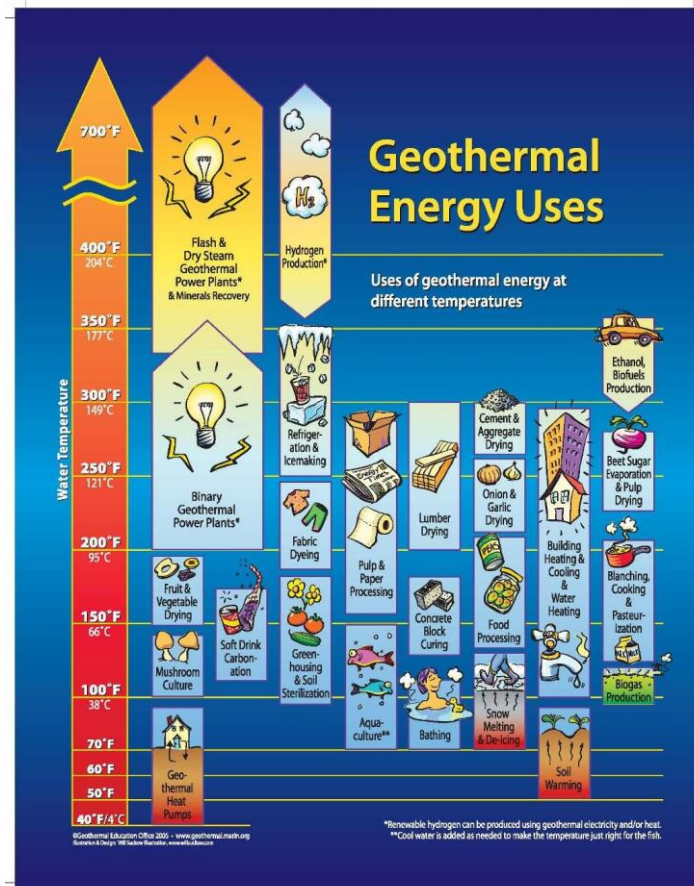
- Subtermalne vode (13-20°C)
- Hipotermalne vode (20-34°C)
- Homeotermalne vode (34-38°C)
- Hipertermalne vode (više od 38°C)

No, prema ovoj podjeli postoji problem donje granice od 13°C, jer "hladna" podzemna voda ima vrijednost srednje godišnje temperature zraka, a u nekim predjelima RH zbog utjecaja klimatskih promjena navedena temperatura raste, a time i temperatura podzemne vode. Stoga ova podjela nije pouzdana.

U ovoj studiji je modificirana podjela temeljena na znanstvenim definicijama i energetske iskoristivosti. Stoga je donja granica određena prema kriteriju srednje godišnje temperature zraka područja prihranjivanja geotermalnih vodonosnika. Podjela je načinjena u šest kategorija:

- Donja granica - 30°C
- 30-50°C
- 50-75°C
- 75-100°C
- 100-150°C
- >150°C

Ovisno o temperaturi vode, na slici 1.4 opisane su mogućnosti korištenja geotermalne energije.



Slika 1.4. Mogućnosti korištenja geotermalne energije ovisno o temperaturi vode (preuzeto www.geothermal.marlin.org)

Mineralne vode su definirane kao podzemne vode čija je mineralizacija veća od 1g/L (Tušar, 1998).

U Hrvatskoj način korištenja geotermalnih vodonosnika definira po kojem će zakonodavnom okviru država osigurati da korisnik održivo upravlja geotermalnim resursom. Ako se geotermalna voda koristi u balneološke, rekreacijske, medicinske svrhe ili puni u bace i stavlja na tržište, onda je upravljanje korištenjem geotermalnog resursa prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14). No, ako se geotermalni vodonosnici, odnosno akumulirana toplina u njima koristi u energetske svrhe (za proizvodnju električne energije i/ili grijanje), tada je upravljanje korištenjem geotermalnog resursa prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19). Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja nadležno je za oba zakonodavna okvira. Agenciju za ugljikovodike (pod ingerencijom Ministarstva) nadležna je za provedbu natječaja prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) dok Hrvatske vode (koje su također pod ingerencijom istog Ministarstva) obavlja poslove prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14).

Prema Zakonu o vodama korisnik (ako je privatni investitor) ishođuje koncesiju koja je regulirana navedenim zakonom te sljedećim pravilnicima i uredbama: Uredba o uvjetima davanja koncesija za gospodarsko korištenje voda (89/2010), Uredba o visini naknade za korištenje voda (NN 82/2010, 83/2012, 10/2014), Pravilnik o obračunu i naplati naknade za korištenje voda (NN 84/2010, 146/2012), Pravilnik o očevidniku zahvaćenih i korištenih količina voda (NN 81/2010). Ukoliko je korisnik u vlasništvu samouprave (npr. Specijalne bolnice), tada ishođuje vodopravnu dozvolu prema gore navedenim aktima. Ako je korisnik termalni vodeni park, tada je obavezan iskorištenu termalnu vodu pročistiti prije upuštanja u kanalizaciju ili vodotok, te je prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) obavezan raditi monitoring otpadnih voda.

Prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika koncesija za eksploataciju dodjeljuje se putem natječaja, kojeg raspisuje Agencije za ugljikovodike, za istraživačku koncesiju u trajanju od 5 godina, a na temelju spoznaja o postojanosti geotermalne vode. Podnositelj zahtjeva za raspis natječaja može biti sama Agencija odnosno država ili investitor (privatnik, općina, županija). Nakon dokazivanja postojanja potencijala, Agencija dodjeljuje eksploatacijsku koncesiju na 25 godina. Prema Uredbi o naknadi za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika (NN 25/20) izračunava se koncesijska naknada. Ukoliko Agencija za ugljikovodike svojim nadzorom utvrdi da se investitor ne pridržava ugovora o koncesiji (npr. ne koristi geotermalnu vodu za proizvodnju toplinske energije u trajanju od godine dana kako je definirano ugovorom), Agencija može oduzeti korisniku koncesijsko eksploatacijsko pravo, te dati vodonosnik na korištenje drugom korisniku/investitoru.

Prema oba zakona i njihovim pripadajućim pravilnicima i uredbama, korisnici nisu obvezni na mjesečnoj ili godišnjoj razini uspostaviti monitoring temperature eksploatirane geotermalne vode, količinu istjecanja (ako se radi o izvorima), razinu geotermalne vode ili tlak (ovisno o tipu geotermalnog vodonosnika). Isto tako, nisu obvezni raditi monitoring kemizma vode. Jedino su obvezni svakih 20 ili 25 godina (ovisno o zakonu), prilikom podnošenja zahtjeva za produženje koncesije, predati hidrogeoloških/rudarski elaborat (ovisno o zakonu) u svrhu dokazivanja rezervi geotermalne vode u kojem je dan tabelarni prikaz kemijskog sastava i temperature vode.

Republika Hrvatska (RH) članica je Europske unije (EU) i kao takva se obvezala da će osigurati do 2015. godine, sukladno Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EC), postizanje ili održanje dobrog stanja tijela podzemnih voda s obzirom na kakvoću (kemijski sastav) i količinu, a s ciljem održivog korištenja podzemnih voda. Odredbe koje se odnose na kvalitetu podzemnih voda dodatno su naglašene u Direktivi o podzemnim vodama 2006/118/EC.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja vezano za korištenje geotermalnih vodonosnika

Procjenjuje se da iskorištavanje geotermalnih izvora na području Hrvatske traje već 50 000 godina (Šimunić, 2008). Prvi zapisi korištenja i upravljanja termalnim izvorištima sežu još iz rimskog doba, a najpoznatiji su iz Aque Jasae (Varaždinske toplice), Aque Balissae (Daruvarske toplice), Ad Fines (Topusko) i Auque Vitae (Krapinske toplice). Značajnija istraživanja u svrhu utvrđivanja podrijetla, kemizma i zaštite geotermalnih voda započinja u 17 stoljeću. Istraživale su se toplice na području Hrvatskog zagorja, Varaždinskih Toplica, Daruvara, Lipika, Topuskog, Istre i Splita.

Zbog toga što su se geotermalne vode prvenstveno koristile u balneološke svrhe, za liječenje reumatskih i kožnih bolesti, kemijske analize su bile vrlo važne pa su brojni istraživači tog vremena proučavali kemijski sastav, primjerice Crantz, 1777; Klaić, 1878; Vukasović, 1879; Benussi, 1888; Gorjanović-Krambergera, 1897. Tijekom 19. i 20. stoljeća istraživanja se intenziviraju, te brojni istraživači razmatraju izvorišta s aspekta geneze i zaštite: Tućan, 1919; Gorjanović-Kramberger, 1904b; Hauer, 1905; Jakšić, 1922; Miholić, 1940, Nenadović, 1936; Režek & Marić, 1939; Zoltner, 1943; Krsnik et al., 1944; Tomić, 1946; Miholić, 1952 & 1959; Matonićkin et al., 1964. Miholić & Trauner, 1952. Zatim se 60-tih godina kreže s istraživanjem ugljikovodika, te kreću regionalna kartiranja područja u kojima se nalaze izvorišta (Jenko & Jagačić, 1962). Paralelno s prethodno spomenutim istraživanjima brojni se istraživači sve više bave strukturnim sklopom i genezom pojedinih izvorišta u nastojanju određivanja lokacija bušotinskih zahvata kojima bi pridobili vode većih temperatura i količina, te pronalaženju novih lokaliteta i zaštiti postojećih. Ovom problematikom od 60-tih pa do danas bave se brojni istraživači, a neki od njih su: Bać & Herak, 1962; Crnolatic, 1966; Braun et al., 1968; Bahun & Raljević, 1969; Babić et al., 1971; Raljević, 1979; Šarin et al., 1979; Simetić, 1980; Britvić, 1981; Golubić et al., 1985; Vojić, 1986; Šimunić & Hećimović, 1981, 1998, 1999 & 2002; Capar et al., 1995; Horvatinčić et al., 1991 & 1996; Kuhta, 1996; Nakić, 2004; Dragičević et al., 2005; Radolić et al., 2005; Kovačić et al., 2007; Bošnjak, 2008; Larva & Mraz, 2008; Larva et al., 2009; Larva et al., 2015; Polančec, 2011; Marković et al., 2015.

Tijekom 80-tih i 90-tih godina prošlog stoljeća INA industrija nafte, paralelno istraživanjima ugljikovodika, započinje eru istraživanja geotermalnih vodonosnika, pa se zahvaljujući rezultatima tih istraživanja danas koriste geotermalna polja Zagreb i Ivanić. Osim toga, zahvaljujući istraživanjima nafte i plina, a pronalasku geotermalnih vodonosnika, danas postoje eksploatacijska geotermalna polja Bizovac, Velika u Cigleni, Sv. Nedjelja, Bošnjaci sjever i Draškovec, a dane su koncesije za istraživanje geotermalnih polja, Virovitica-2, Slatina-2, Slatina-3. Babina Greda-1, Babina Greda-2, Karlovac-1 i Križevci (slika 2.1). Za vrijeme izrade studije upravo je bio raspisan natječaj i za istraživačke koncesije za polja Merhatovec, Legrad-1, Kutnjak - Lunjkovec i Ernestinovo.

3. Pregled europskih i svjetskih metodologije za izdvajanje tijela geotermalnih voda

Nakon 2000 godine, kada je u EU parlamentu donesena Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EU (u daljnjem tekstu ODV), i nakon što su članice u prvoj fazi implementacije provedene izdvajanje tijela hladnih podzemnih voda te ocjenu stanja i rizika, kreće se u razvoj metodologije za izdvajanje tijela geotermalnih voda uzimajući u obzir njihovu specifičnost s obzirom na pojavljivanje, kemijski sastav vode i načine njenog obnavljanja. Prilikom definiranja metodologije izdvajanja tijela geotermalnih voda, uzimaju u obzir smjernice, CIS (Common Implementation Strategy) vodiče i to br. 2 iz 2004.

U periodu od 2010. do 2013. Austrija, Slovenija, Slovačka, Mađarska unutar TRANSENERGY projekta (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>), koji je bio sufinanciran sredstvima fonda Centralna Europa, na temelju vlastitih iskustava i iskustava drugih zemalja, vodećih u eksploataciji geotermalnih resursa (Francuska, Italija, Nizozemska te nezaobilazne Island i Novi Zeland), donose smjernice na temelju kojih parametara je potrebno izdvojiti geotermalna tijela. Kasnije se ova metodologija primjenjuje u projektu DARLINGE (<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge>), koji je bio sufinanciran sredstvima fonda Interreg Dunav i koji navedenu metodologiju primjenjuje u identifikaciji potencijalnih geotermalnih područja. Metodologija izdvajanja je objavljena i u brojnim stručnim i znanstvenim radovima kao što su: Cserny, et al., 2006 & 2009; Arnorsson, 2000; Rman & Tóth, 2011; Horváth et al., 2012; Maros et al, 2012; Rman et al., 2016; Rotár-Szalkai et al., 2017; Rotár-Szalkai et al., 2018.

Uzimajući u obzir ODV 2000/60/EU i preporuke CIS-a, prilagođava se metodologija za izdavanje tijela geotermalnih voda. Metodologija se sastoji od: (1) identifikacije potencijalnih područja na temelju litostratigrafskih jedinica, strukturno-geoloških elementa i raspucanosti stijena te spoznajama o pojavama termalne vode na području; (2) unutar potencijalnih područja izdvajaju se tijela na temelju strukturno-tektonskog sklop (naglasak osobito stavljen na rasjede s obzirom na to da oni mogu predstavljati propusne zone i s tim u vezi područja prihranjivanja geotermalnih vodonosnika, ili, u slučaju da se radi o nepropusnim rasjednim zonama, mjesta ne tečenja, odnosno barijere), raspucanosti, poroznosti, propusnosti stijenske mase, smjer tečenja geotermalne vode, izdašnosti izvora i/ili bušotina i kemijski sastav geotermalnih voda. Ovi podaci su temeljeni na interpretaciji 2D ili 3D seizmičkih mjerenja, podataka bušenja, regionalnih geoloških kartiranja. Korišteni su rezultati hidrauličkih testiranja u bušotinama (npr. DST testovi), mjerenje poroznosti itd. Isto tako, na temelju poroznosti i litologije stijenske mase odvajaju se vodosnici u sedimentnim bazenima (pijesci i pješčenjaci) od vodonosnika u predkenozojskim stijenama (karbonati, magmati, metamorfiti). Također se uzima u obzir izmjerene vrijednosti toplinske vodljivosti u stijenama koje predstavljaju vodosnik, ali i u stijenama koje predstavljaju toplinski izolator.

Sva navedena metodologija je bazirana na iskustvima s Island i Novog Zelanda, jer je njima bio cilj osiguranja održivog upravljanje tim resursom, koji im, obzirom na to da su otočne zemlje i uvelike ovise o uvozu energenata, jamči energetska neovisnost. Tako na Novom Zelandu već

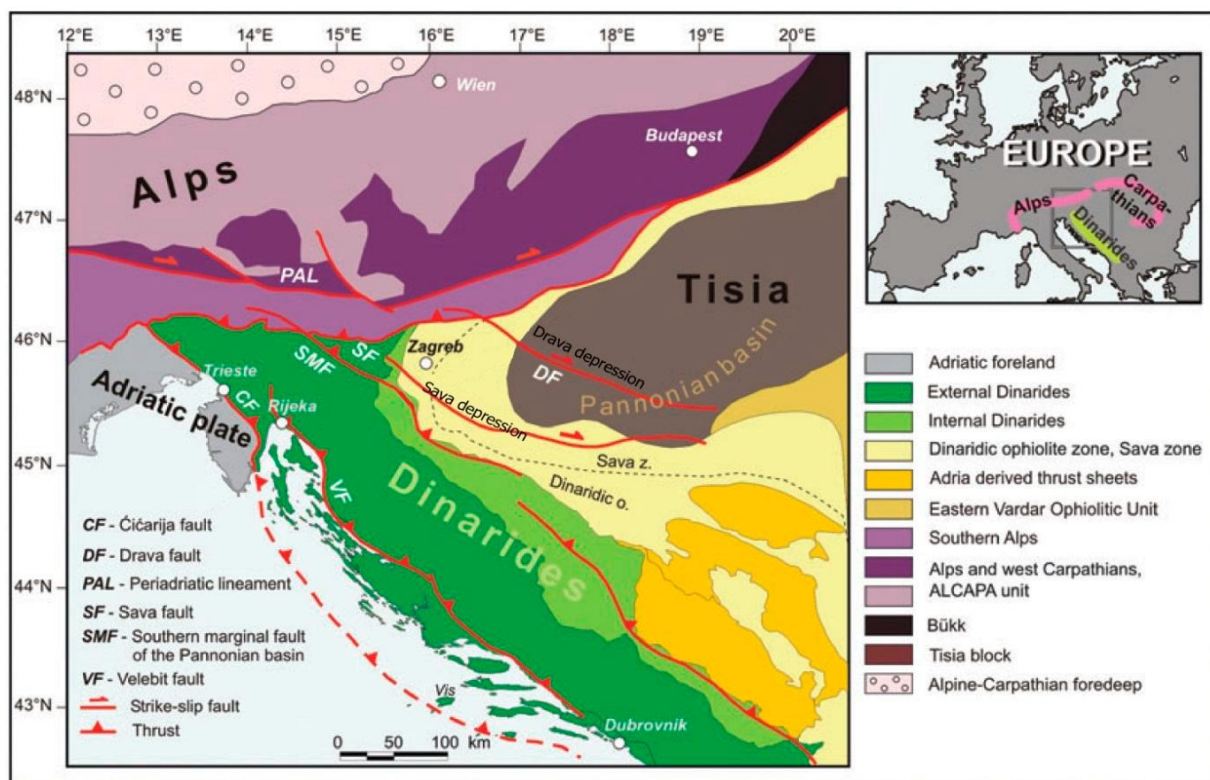
80-tih započinju s utvrđivanjem plana a time i s prvobitnim definiranjem metodologije u radovima Waiwera istraživanje vodnih resursa: preliminarna istraživanja /Plan upravljanja (ARWB, 1980) i Waiwera termalne podzemne vode i plan (ARWB, 1986) gdje je pobliže opisani načini. Ovdje se također uzimaju u obzir svi gore navedeni elementi, ali uz njih naglasak se stavlja na subdukcijsku zonu jer zahvaljujući subdukciji pojavljuju se termalni izvori. Devedesetih godina prošlog stoljeća kreću i na Islandu intenzivni radovi oko izrade i implementacije plana upravljanja geotermalnim resursima, jer od 85% primarne energije koju Island proizvede iz obnovljivih izvora 66% otpada na geotermalne izvore (<https://nea.is/geothermal/legal-and-regulatory-framework>). Također uzimaju u obzir navedene elemente, ali i zonu subdukcije.

4. Strukturno-geološke, geotermijske i hidrogeološke značajke potencijalnih i dokazanih geotermalnih vodonosnika

4.1. Geološka građa – regionalne postavke

Područje geotermalnih tijela, s izuzetkom Istarskog i Lešćanskog, predstavlja hrvatski dio Panonskog bazena, njegov jugozapadni rub, formiran tijekom ranog do srednjeg miocena. Istarsko geotermalno tijelo smješteno je u području Jadranske platforme, dok je Lešćansko dio Dinarida.

Model postanka i razvoja Panonskog bazena temelji se na ekstenziji litosfere Panonskog bazena s jedne strane, te navlačenja u području Alpa, Dinarida i Karpata s druge strane (slika 4.1.1).



Slika 4.1.1 Tektonske jedinice okruženja Panonskog bazena (Šumanovac, 2008)

Recentni tektonski sklop panonskoga prostora nastao je kao produkt pet odvojenih deformacijskih događaja različitog stila i orijentacije, od prekambrija do kvartara, pri čemu su stariji strukturni oblici kontrolirali kasnije nastale strukture (Jamičić, 2009).

Prve tri deformacijske faze uključile su i metamorfne promjene vezane uz paleozojske orogeneze i njihov utjecaj na već istaložene naslage.

Najstarija orogenetska zbivanja, u prostoru koje obuhvaćaju panonske strukture, odigrala su se u vrijeme bajkalske orogeneze na prijelazu prekambrija u paleozoik. To se područje odlikuje platformskim karakteristikama s povremenim izljevima bazičnih stijena što ukazuje na širenje sedimentacijskoga bazena. Strukturne oblike stvorene u vrijeme ove orogeneze teško je interpretirati, kako su u velikoj mjeri razoreni kasnijim orogenetskim događanjima.

Završetkom metamorfoze stijene psunjsko-krndijskoga kompleksa se izdižu, a dio naslaga usitnjen tektonskim procesima taloži se u novi sedimentacijskim prostorima. Povremeno se javljaju izljevi bazičnih stijena.

Nastupom metamorfnih promjena tijekom kaledonske orogeneze dolazi do intenzivnoga izoklinalnoga boranja pri čemu su migmatitne stijene udružene s migmatitnim granitima utiskivane u više dijelove zemljine kore. Paralelno s progresivnom metamorfozom dolazi do prestrukturiranja i retrogradne metamorfoze u prethodno nastalim metamorfitima. Proces retrogradne metamorfoze i flazeriranja nastupili su pod utjecajem snažnoga razvitka mehaničkih ploha diskontinuiteta uz koje su cirkulirale hidroterme i vršile mineralne izmjene.

Tijekom kaledonske orogeneze panonski prostor se konsolidira, dolazi do ponovnoga izdizanja i stvaranja kopnenih površina s kojih se vrši brza denudacija i sedimentacija u geosinklinalnim prostorima. Uz konstantnu molasnu sedimentaciju i širenje prostora javljaju se duboki lomovi po kojima, u nekoliko faza, dolazi do proboja spilitiziranih dijabaza. Završetkom produblivanja i širenja sedimentacijskoga bazena u vrijeme hercinske orogeneze javljaju se intruzije granita (salska faza) što je izazvalo izdizanje i blago boranje te klizanje po unutarlojnom i međuslojnom klivažu. Klastični sedimenti su djelomice pretrpjeli anhimetamorfne promjene, a intruzije granita su dovele do kontaktne metamorfoze u starijim metamorfnim stijenama.

Sredinom perma ovaj dio panonskoga bazena se ponovno uzdiže te s početkom gornjega perma u širem prostoru južnog panonskog bazena počinje novi sedimentacijski ciklus koji kontinuirano traje do prelaska jure u kredu. Na prijelazu gornjega perma u donji trijas sedimentacija se izjednačava na cijelomu prostoru, a klastična sedimentacija traje kroz donji trijas.

Nastupom srednjega trijasa morski prostori se produbljuju i šire, talože se uglavnom karbonatni sedimenti uz povremene oscilacije morskoga dna praćene magmatitima i prinosom klastičnog materijala. Pojedini prostori se tijekom ladinika izdižu i tu sedimentacija prestaje, a u ostalim se nastavlja u donju juru i traje do prelaska u kredu. Uslijedila je kopnena faza koja traje do gornje krede.

Sljedeći sedimenti pripadaju senonskoj transgresiji. Izdizanje kopnenih površina u vrijeme laramijske faze alpinske orogeneze odigralo se pod utjecajem lateralne kompresije i značajnijeg tektonskog suženja prostora na pravcu istok-zapad. Laramijskim pokretima, koje prati snažno boranje osi bora pružanja sjever-jug i istočnom vergencijom nastalih strukturnih oblika, zahvaćen je širi prostor Panonskog bazena.

pri čemu je došlo i do reaktivacije starijih (gornjokrednih) kolizijskih navlaka u rubnim dijelovima bazena (Ustaszewski et al., 2014). Nakon završetka ekstenzije nastavlja se termalna subsidencija uslijed izostatskog tonjenja stanjene kore djelovanjem dijapira plašta (Stegena et al., 1975). Gornjomiocenski sedimenti predstavljaju debelu postriftnu taložnu sekvencu. Debeli slojevi panonskih sedimenata taloženi su na širem području. Gornjomiocenska subsidencija uspješno je kompenzirana donosom sedimenata što se naročito ističe kod gornjopanonskih sedimenata koji su vrlo debeli unutar bazena te u isto vrijeme pokrivaju izdignute dijelove.

Tijekom otvaranja bazena (riftovanja) nastale su tektonske grabe i polu-grabe unutar kojih su taloženi sedimenti. Uslijed desnih transkurentnih pomaka i rotacije formirani su duboki rasjedi (Jamičić, 1995). Glavna ekstenzija događala se u intervalu od donjeg do srednjeg miocena. Orijehtacija regionalnog stresa promijenjena je na sjever-jug u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena (Lučić et al., 2001)

Ekstenzijska faza povezana je s intenzivnom vulkanskom aktivnošću, koja je posebice bila izražena u Dravskoj depresiji. U širem prostoru Panonskog bazena vulkanska aktivnost obilježena je kiselim piroklastičnim erupcijama s velikom količinom eruptiranog materijala te kalcijsko-alkalijskim vulkanizmom (Seghedi & Downes, 2011.). U prostoru Dravske depresije široko je rasprostranjen badenski submarinski vulkanizam (Pamić & Kovačić, 2018).

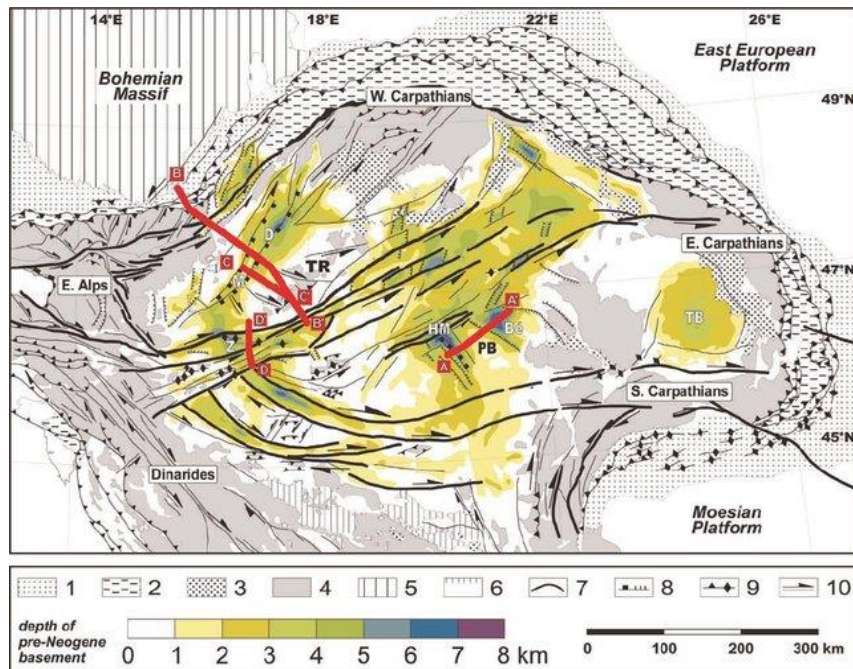
Tijekom sinrfitne faze taložene su aluvijalne i jezerske naslage u otnangu, karpatu i najstarijem dijelu badena te marinske naslage u badenu (Pavelić & Kovačić, 2018). Nakon vrhunca ekstenzijske aktivnosti uslijedila je postriftna faza, koja je obilježena subsidencijom bazena uslijed hlađenja litosfere (Royden, 1988).

U postriftnoj fazi taložene su marinske naslage tijekom badena i sarmata (tijekom saramata došlo je do pada saliniteta) te jezerske naslage u panonu, koje predstavljaju naslage Panonskog jezera (Pavelić & Kovačić 2018). U širem prostoru Panonskog bazena, ova faza je mjestimično obilježena Na-alkalijskim vulkanizmom, koji je prisutan i u kompresijskoj fazi.

Krajem miocena i tijekom kvartara nastupa kompresijska faza i izdizanje današnjih planina koje izdanjuju na prostoru sjeverne Hrvatske (Pavelić, 2001). Tijekom ove faze talože se slatkovodne naslage Slavanskog jezera, nakon kojih slijedi taloženje aluvijalnih naslaga, kojima i završava razvoj Panonskog bazena (Pavelić & Kovačić, 2018.).

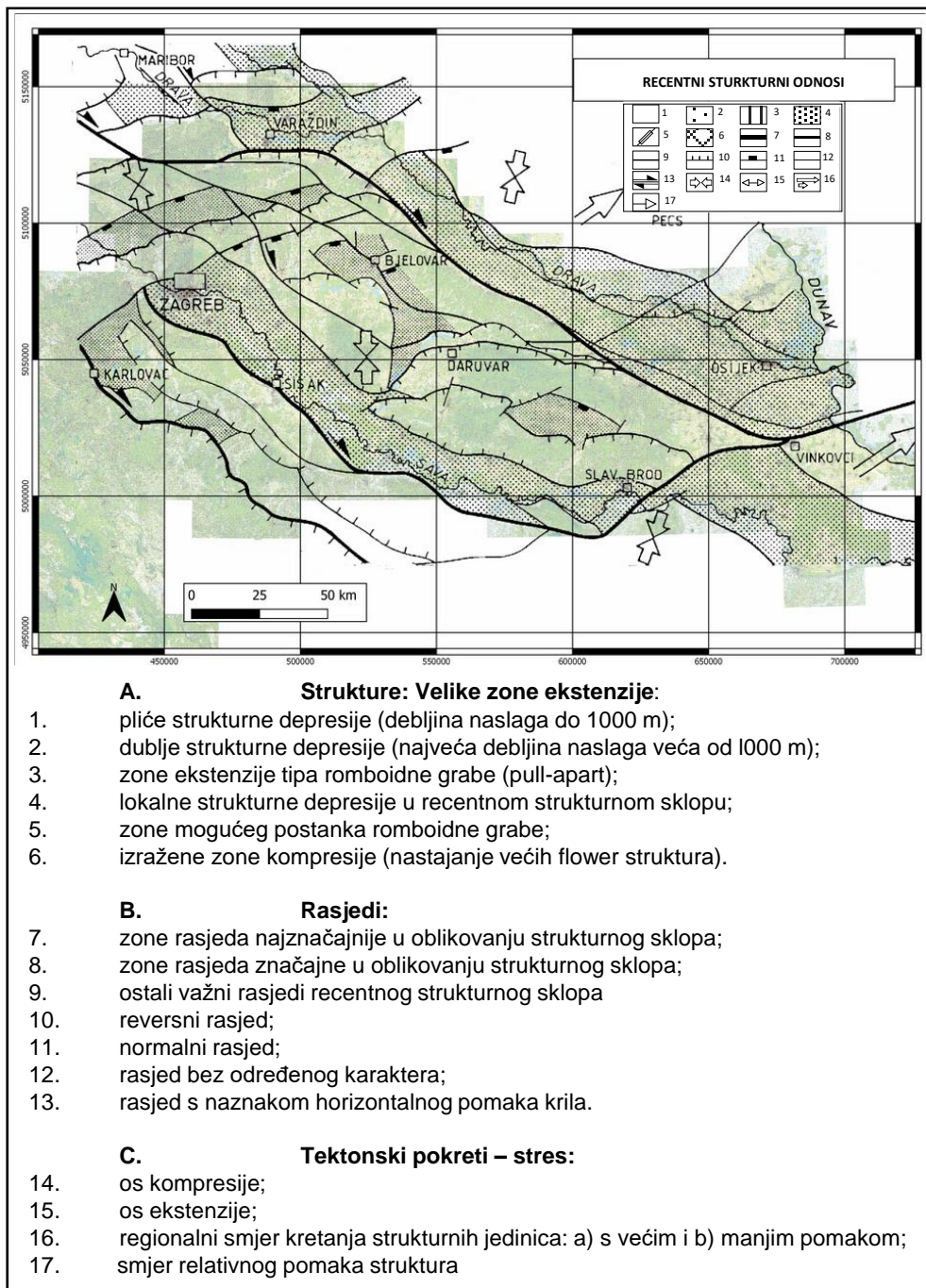
Orijehtacija stresa sjever-jug do sjeverozapad-jugoistok u panonu reaktivirala je desne transtenzijske zone (Sl. 17). Za vrijeme cernika (pliocen i kvartar) nastupa završna faza razvitka bazena obilježena tektonskom inverzijom i formiranjem reversnih rasjeda s orijentacijom glavne kompresije pružanja S-J do SSZ-JJI (Tomljenović & Csontos, 2001).

Predneogenski reljef i neogenska dinamika bazena doveli su do neujednačene debljine neogenskih sedimenata u bazenu (slika 4.1.4).



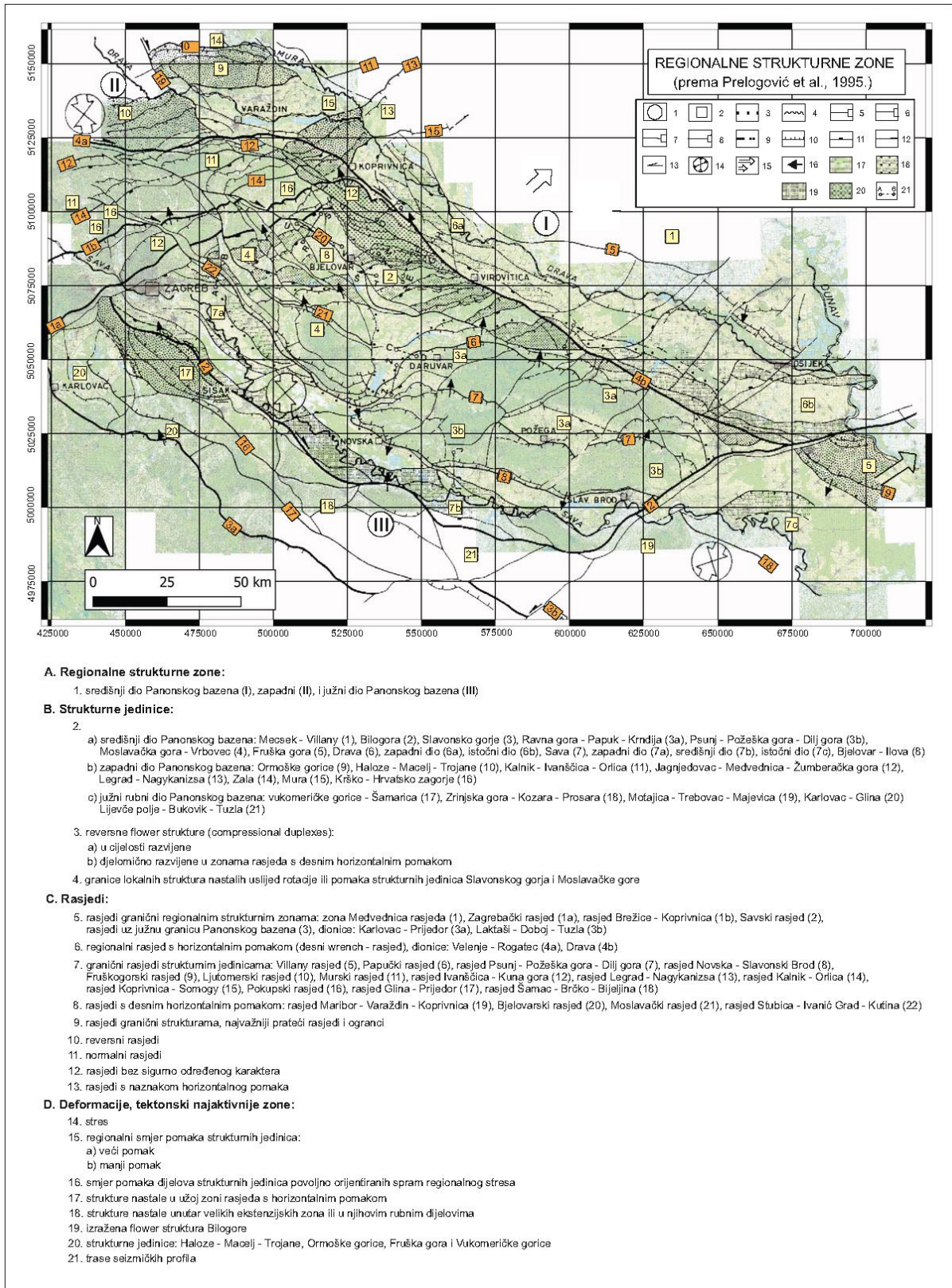
Slika 4.1.4 Dubina podloge neogene Panonskog bazena (modificirano prema Horvath & Royden, 1981)

Recentni strukturni sklop (Slika 4.1.5) u hrvatskom dijelu Panonskog bazena obilježen je isticanjem aktivnih transkurentnih rasjeda i lokalnih struktura nastalih horizontalnim pomacima te aktiviranjem rubnih zona pojedinih strukturnih jedinica.



Slika 4.1.5 Recentni strukturni sklop (modificirano prema Prelogović et al., 1995)

Moguće je razlučiti tri regionalne strukturne zone (I, II, III): središnji, zapadni i južni dio Panonskog bazena, a najviše se razlikuju po pružanju strukturnih jedinica (slika 4.1.6). U središnjem dijelu najznačajnije su velike strukturne depresije Save i Drave te položaji Slavanskog gorja i Moslavačke gore. Površinski zamjetna je pojava reversnih rasjeda s vergencijom prema SSZ, a u rubnim dijelovima strukturnih jedinica s vergencijom prema JJZ.



Slika 4.1.6 Regionalne strukturne zone (modificirano prema Prelogović et al., 1995)

Horizontalni pomaci struktura osobito su vidljivi u području između Ivanšćice, Kalnika i Medvednice, kod Legrada, u dolini Orljave te između Đakova i Vinkovaca.

U hrvatskom dijelu Panonskog bazena dva su ključna sustava rasjeda: SZ-JI do Z-I i SI-JZ. Rasjedi ograničavaju strukturne jedinice, strukture i blokove te predstavljaju tektonski aktivne zone u kojima je moguće odrediti vrstu, veličinu i smjer pomaka. Rasjedi unutar istog sustava mogu nastati u različito vrijeme, a u procesu razvoja strukturnog sklopa mogu mijenjati karakter, ulogu u rasjednom sklopu, a vjerojatno i vrstu pomaka.

Rasjedi duž struktura okomito orijentiranih prema stresu najčešće su reversni, a u zonama izražene kompresije javljaju se duž krila reversni rasjedi suprotne vergencije. Reversni rasjedi zbog rotacije struktura mogu imati različit nagib. Normalni rasjedi najčešće se nalaze duž jednog krila struktura koje nisu u izrazitoj kompresijskoj zoni, duž lokalnih struktura ili se radi o smičnim rasjedima. Duž trasa transkurentnih desnih rasjeda može doći do promjene nagiba i karaktera rasjeda. Najveće amplitude horizontalnih pomaka imaju dionice rasjeda povoljno orijentirane prema stresu. Kompresijske ili ekstenzijske prostore (ili lokalno rasjede različitog nagiba) stvara svijanje trasa rasjeda po pružanju.

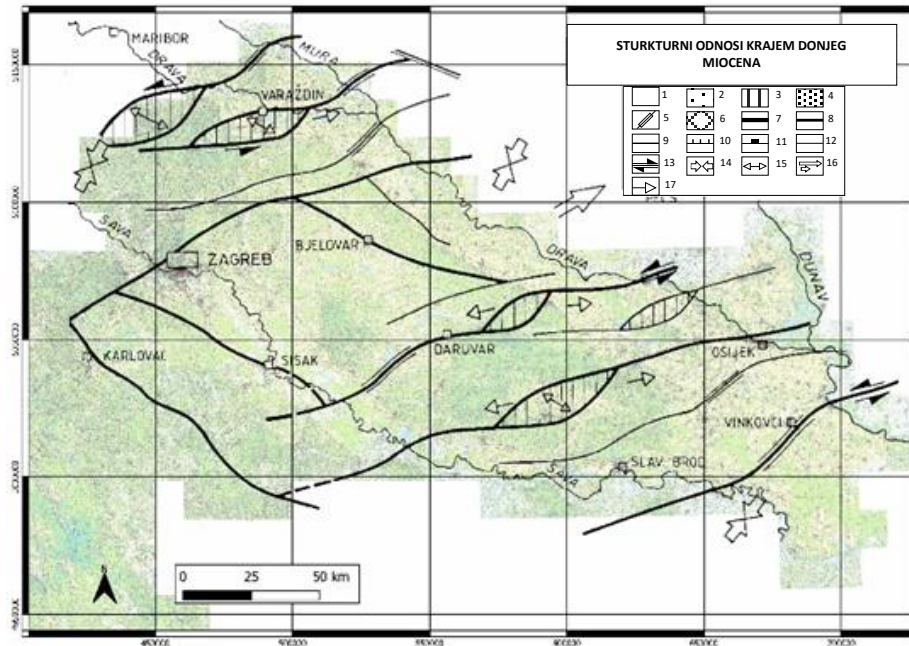
Najvažniji rasjedi ograničavaju regionalne strukturne zone (Slika 4.1.6) (dva ili više paralelnih rasjeda između kojih mogu nastati lokalne strukture):

- Zona Medvedničkog rasjeda (1) – Zagrebački rasjed (1a) i rasjed Brežice-Koprivnica (1b)
- Savski rasjed (2)
- Rasjedi uz južnu granicu Panonskog bazena (3) – Karlovac-Prijedor (3a) i Laktaši-Tuzla (3b)
- Regionalni rasjed s izrazitim horizontalnim pomakom (desni wrench rasjed) – Velenje-Rogatec (4a) i Dravski rasjed (4b)

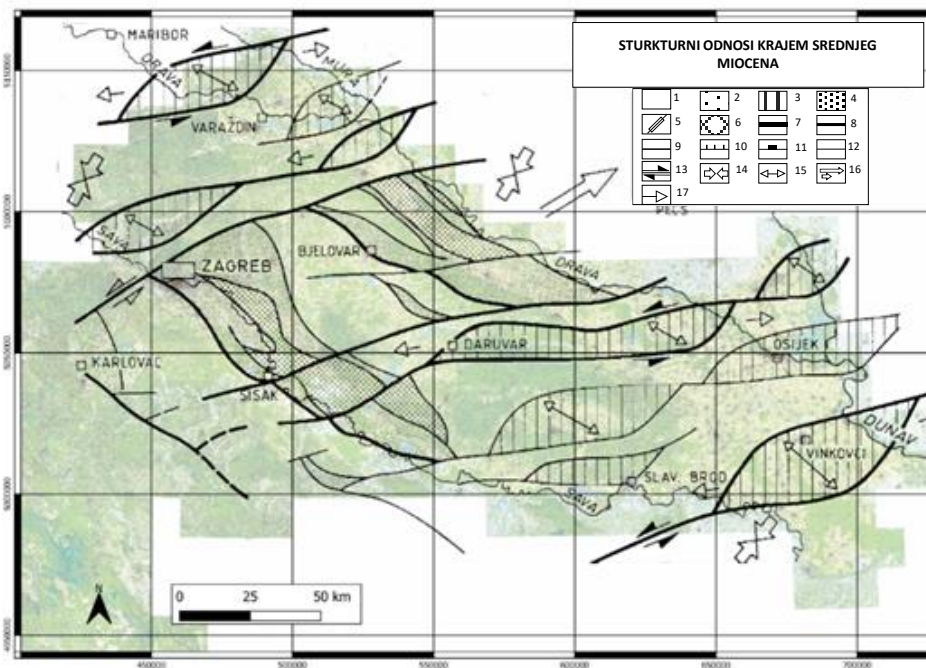
Značajan je i Vilanny rasjed (5) koji na sjeveru ograničava strukturnu zonu, subparalelno rijeci Dravi.

U strukturnom modelu najvažnija je zona rasjeda Velenje-Rogatec-Drava (4a, b), koja s nizom ogranaka definira ekstenziju prostora u smjeru I-SI, dok između rasjeda s desnim horizontalnim pomakom dolazi do suženja strukturnih jedinica. Posljedica tog sužavanja (kompresije) je nastajanje domino i flower struktura. Uslijed rotacije strukturnih jedinica dolazi do boranja na njihovim rubovima. Duž zone rasjeda Velenje-Rogatec-Drava stvaraju se lokalni kompresijski i ekstenzijski dijelovi struktura. Najmlađe tektonski aktivno razdoblje najvažnije je pri promatranju tektonskih pokreta koji uzrokuju lokalne izdignute strukture unutar ili na rubu velikih strukturnih depresija Save i Drave (slika 4.1.11).

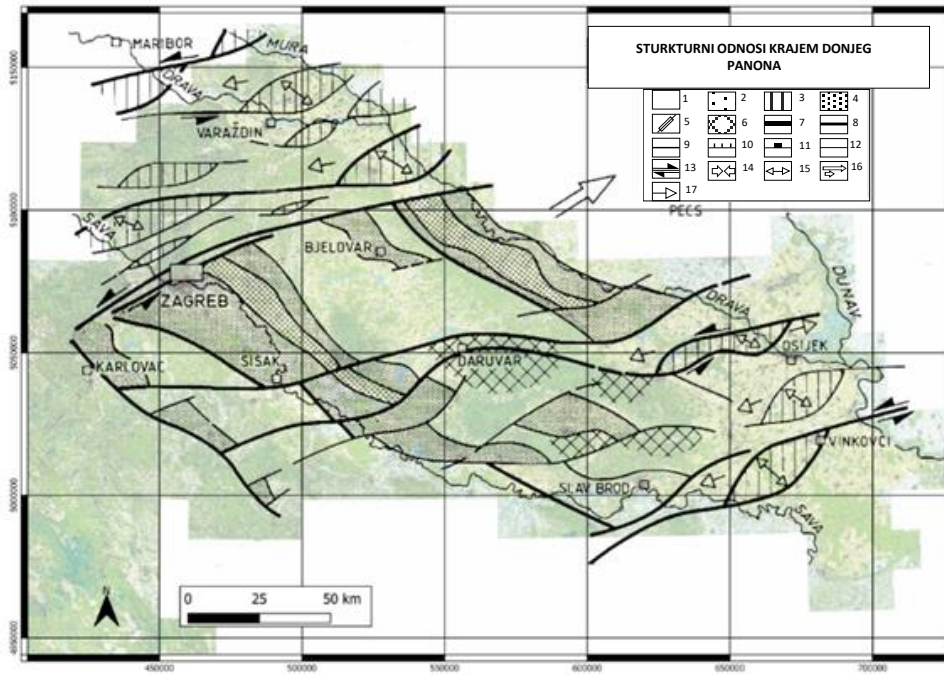
Slika 4.1.5 prikazuje recentni strukturni sklop, a njegov razvoj od donjeg miocena do danas prikazan je na sljedećim slikama (slika 4.1.7 - slika 4.1.10). Napomena: legenda na prikazu slika 4.1.6 odnosi se i na sljedeće prikaze: slika 4.1.7 slika 4.1.8 slika 4.1.9 slika 4.1.10.



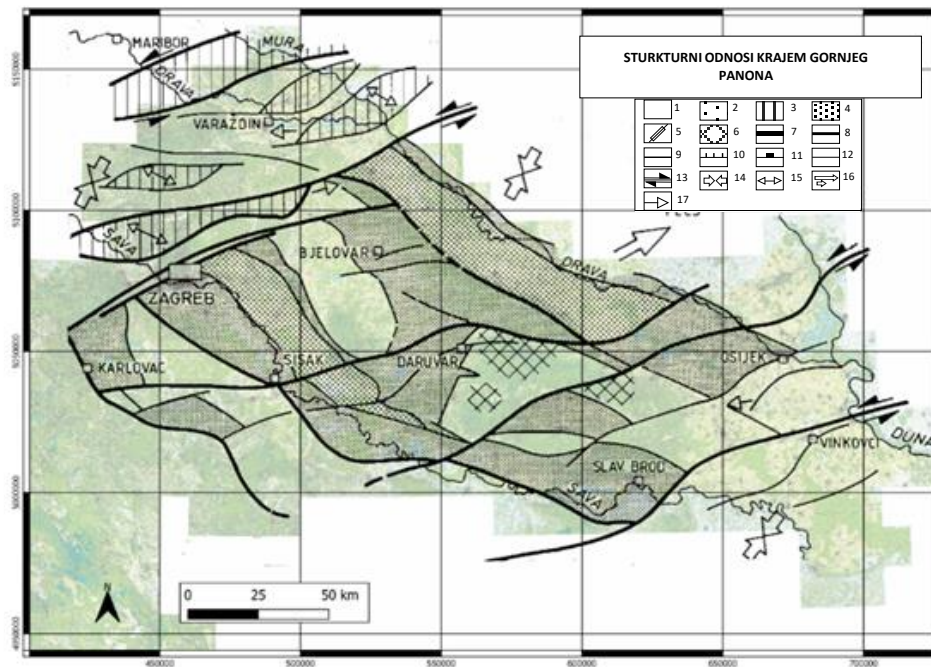
Slika 4.1.7 Strukturni odnosi krajem donjeg miocena (modificirano prema Prelogović et al., 1995)



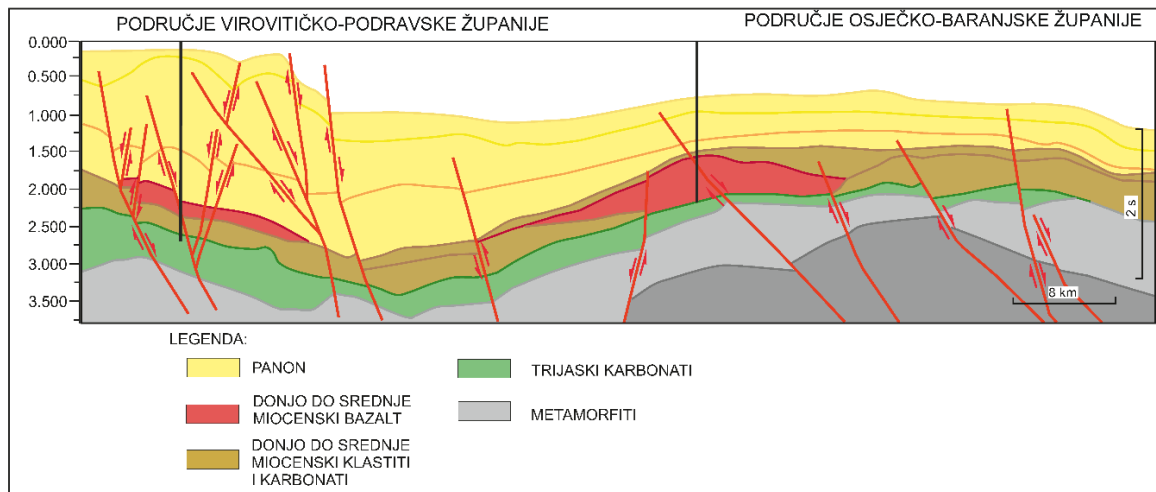
Slika 4.1.8 Strukturni odnosi krajem srednjeg miocena (modificirano prema Prelogović et al., 1995)



Slika 4.1.1 Strukturni odnosi krajem donjeg panona (modificirano prema Prelogović et al., 1995)



Slika 4.1.2 Strukturni odnosi krajem gornjeg panona (modificirano prema Prelogović et al., 1995)



Slika 4.1.11 Profil duž južnog ruba Dravske depresije

Naslage koje karakteriziraju navedena geološka zbivanja su:

Predkenozojske naslage - metamorfiti i intruzivi litološki su vrlo raznoliki i obuhvaćaju razne varijetete paragnajseva, škriljavaca, mjestimično granitoidne stijene, granito-gnajseve, granodiorite i diorite.

Paleozojske stijene permske starosti su: tufitični sedimenti i efuzivne stijene, grafitni škriljavci (slejt) u donjem dijelu, zatim dolaze metaarkozni pješčenjaci te u vršnom dijelu metapješčenjaci-kvarciti. Prijelaz iz gornjeg dijela perma u trijas karakteriziran je evaporitskim sedimentima s povećanom količinom terestičnog materijala i karbonatnim filitima.

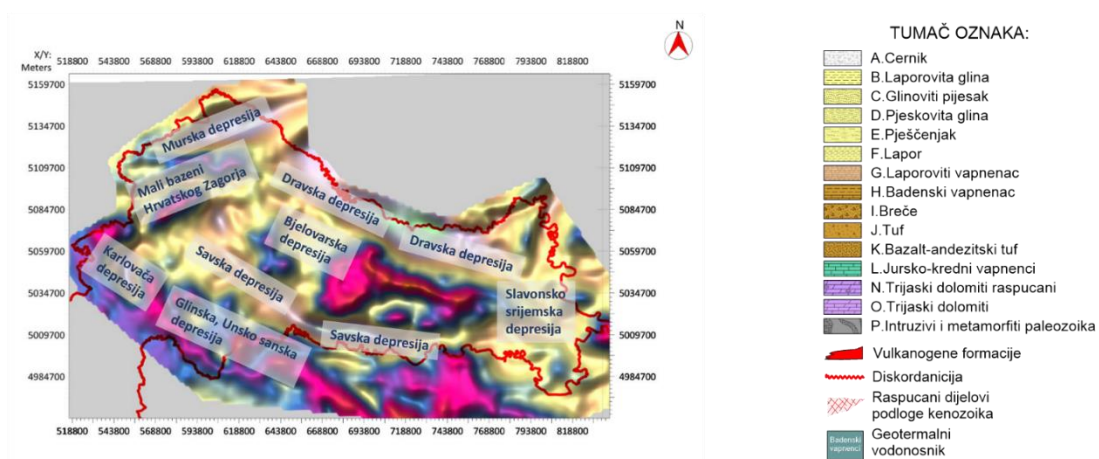
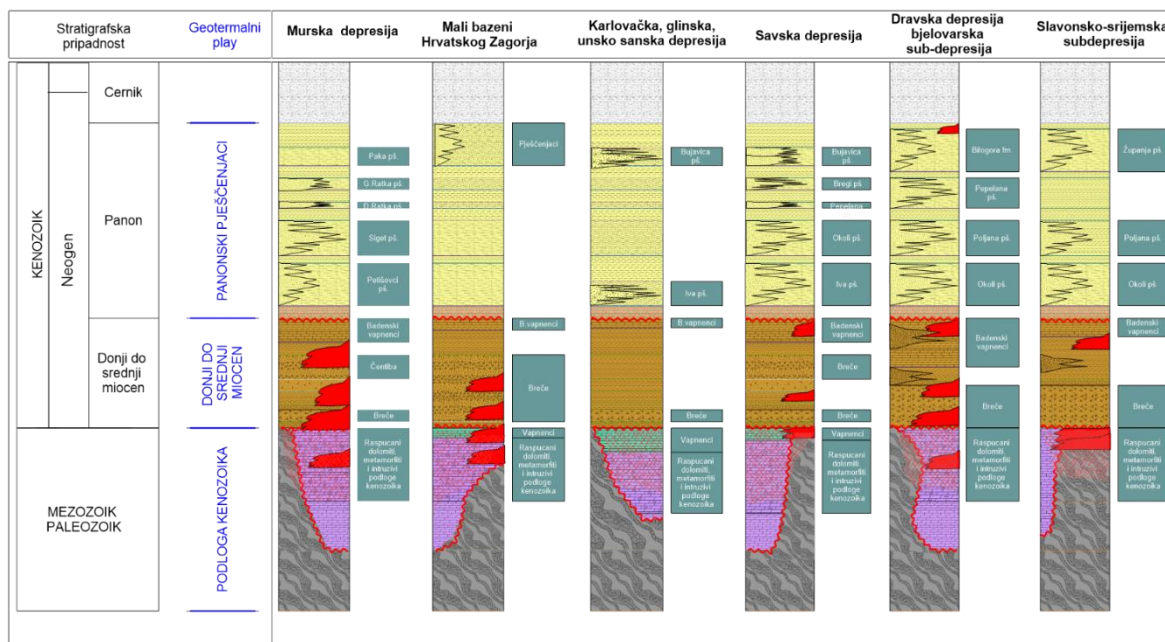
Mezozojske stijene koje su pretežno trijaski karbonati – prema litostratigrafskim kriterijima sastoje se od karbonatnih sedimenata (vapnenaca, dolomita, njihove klastične varijacija) te anhidrita, kemogeno-klastičnih sedimenata (lapori) i siliciklastičnih sedimenata (šejl, pješčenjak).

Naslage donjeg i srednjeg miocena – dominiraju tri tipa stijena: krupni klastiti (breče i konglomerati), sitnozrnasti klastiti (pješčenjaci i siltiti) i kemogeno-klastični sedimenti (lapori i vapnenci). Također su prisutni i efuzivi, bazalti, tufovi. Na području istočnog dijela Dravske depresije dokazani su i intruzivi - graniti.

Panonske naslage - u donjem dijelu donjeg panona nalaze se laminirani madstoni (shale) i gusti kvarcni, mjestimično kalkarenitski pješčenjaci turbiditnog porijekla. Kako paleogeografski dolazi do oslađivanja turbiditne taložine zamijenjuju postupno sedimenti delte na zapadu. Izrazita je progradacija naslaga. Litološki to je izmjena sitno do srednje zrnatih pješčenjaka sa siltoznim i pjeskovitim laporima taloženim u slatkovodnoj sredini. Prijelaz iz donjeg panona u gornji je kontinuiran sa srednje i krupno zrnastim pješčenjacima, glinovitim laporima, glinama, zaglinjenim pijescima i karboniziranim ugljenom deltno ravnicu.

Cerničke naslage predstavljene su pjeskovitim glinama, slabo vezanim pijescima, zaglinjenim pijescima, slabo karboniziranim ugljenom (tresetom) taloženim u jezerskim i močvarnim okolišima. Krovina je uglavnom fluvijalnog i eolskog porijekla (nanosi i riječne terase). Litološki to su šljunci, pijesci različitih granulacija, prapor, raznobojne gline i vrlo tanki pokrivač humusa.

Na shematskom prikazu (slika 4.1.12) naznačene su naslage koje pod povoljnim geotermalnim uvjetima predstavljaju geotermalne vodonosnike unutar geotermalnih područja.



Slika 4.1.12 Shematski prikaz rasprostranjenosti potencijalnih i dokazanih geotermalnih vodonosnika u bazenima i depresijama panonskog dijela Hrvatske

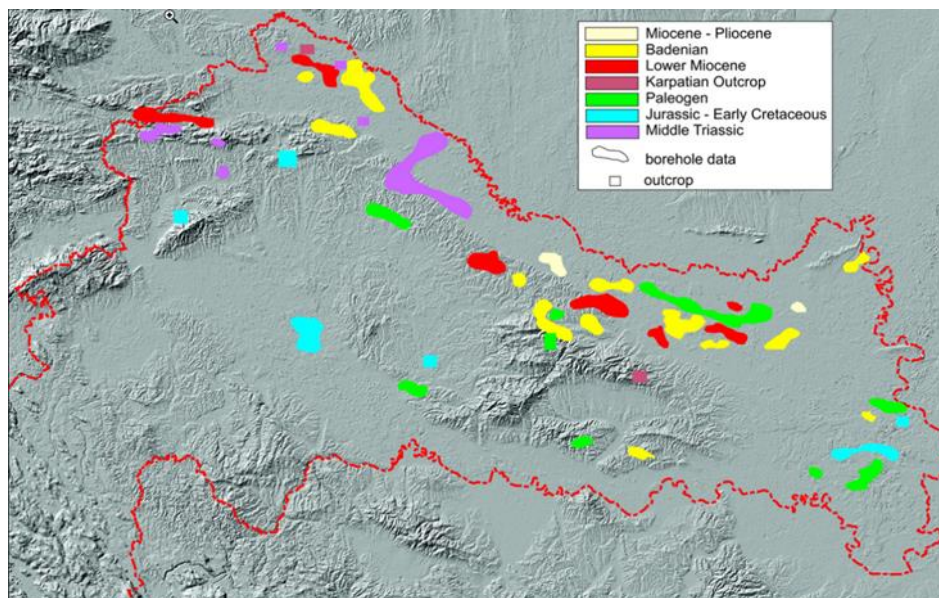
Najstariji vulkanizam zabilježen je u srednjem trijasu kada je došlo do podmorskih izljeva andezit-bazalta.

Najmlađe dokazane vulkanske stijene hrvatskog dijela južnog Panonskog bazena nastale su za vrijeme donjomiocenskog razvoja bazena. Na području Mađarske dokumentirane su magmatske stijene miocensko pliocenske starosti, vezane uz rasjedne zone i predstavljene kiselim freatomagmatizmom.

Magmatske stijene su produkt post-subdukcije koja je uslijedila nakon kolizijskih procesa i izdizanja Dinarida u eocenu. Time je došlo i do razdvajanja Tethysa na sjeverni Paratethys i Sredozemno more na jugu. U jugozapadnom dijelu Paratethysa dolazi do riftinga kao posljedice izdizanja gornjeg plašta pri čemu nastaju karakteristične magmatske stijene (Pamić i dr., 1995).

Prema Šimunić (1992) tijekom tercijara razlikuje se nekoliko petrološki i stratigrafski različitih vulkanskih asocijacija u Panonskom bazenu.

- Post-badenski alkalijski bazalti
- Badenski bazalti, andeziti i daciti
- Karpatski trahandeziti i trahidaciti
- Prva faza vulkanizma eger-egenburg (andeziti, daciti i rijetko bazalti)

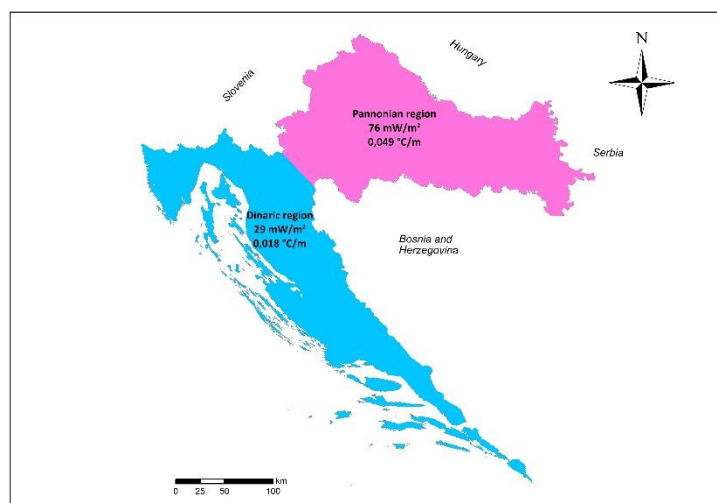


Slika 4.1.13 Područja vulkanskih stijena detektiranih u bušotinama i izdancima (prema Pamić, 1997)

4.2. Geotermalna obilježja prostora

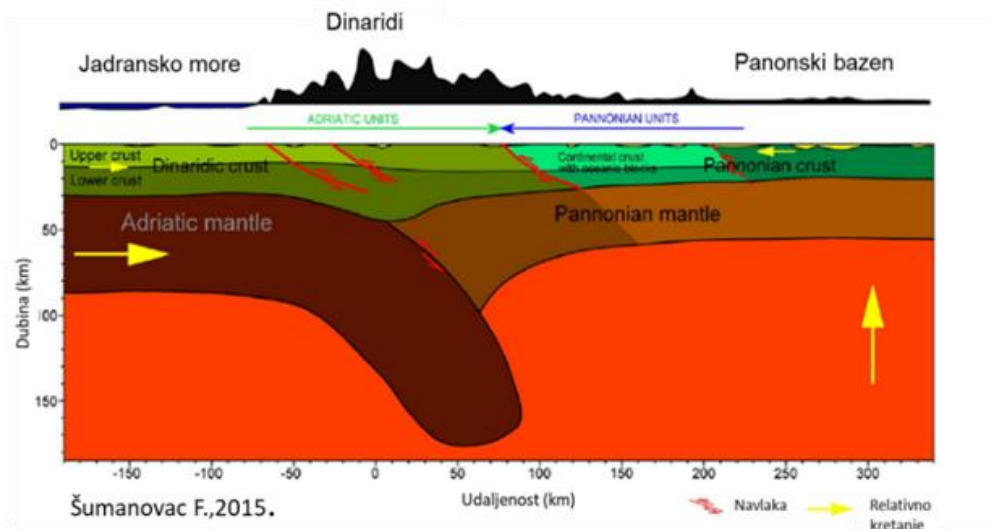
Panonski bazen po svojim karakteristikama predstavlja geotermalnu anomaliju Europske ploče, s prosječnim geotermalnim gradijentom od 0,049 °C/m (slika 4.2.1).

Geofizički modeli izrađeni u posljednjem desetljeću pokazuju da navlačne strukture moraju biti dijelovi geološkog modela bazena kao posljedica podvlačenja Jadranske mikroploče pod Europsku ploču. No mehanizmom podvlačenja nije moguće objasniti dubinske procese u Panonskom bazenu bez uvođenja tzv. modela uzlaznih struja astenosfere.



Slika 4.2.1 Geotermalni gradijenti u Hrvatskoj (modificirano prema EIHP, 1998)

Njihovo postojanje je potvrđeno promjenom u gustoći i seizmičkim valovima u gornjem dijelu omotača. Taj proces je doveo do značajnog istanjenja kore ispod Tisijskog bloka i homogenizaciju geofizičkih svojstava kao rezultata uzdizanja astenosfere. Ispod Tisijskog bloka (slika 4.2.2) kora se sastoji od jednog ujednačenog sloja te predstavlja pravu Panonsku zonu koja je dio Europske ploče. Kora ispod Dinarida, koji pripadaju Afričkoj ploči, je znatno deblja i sastoji se iz dva sloja različitih geofizičkih karakteristika.

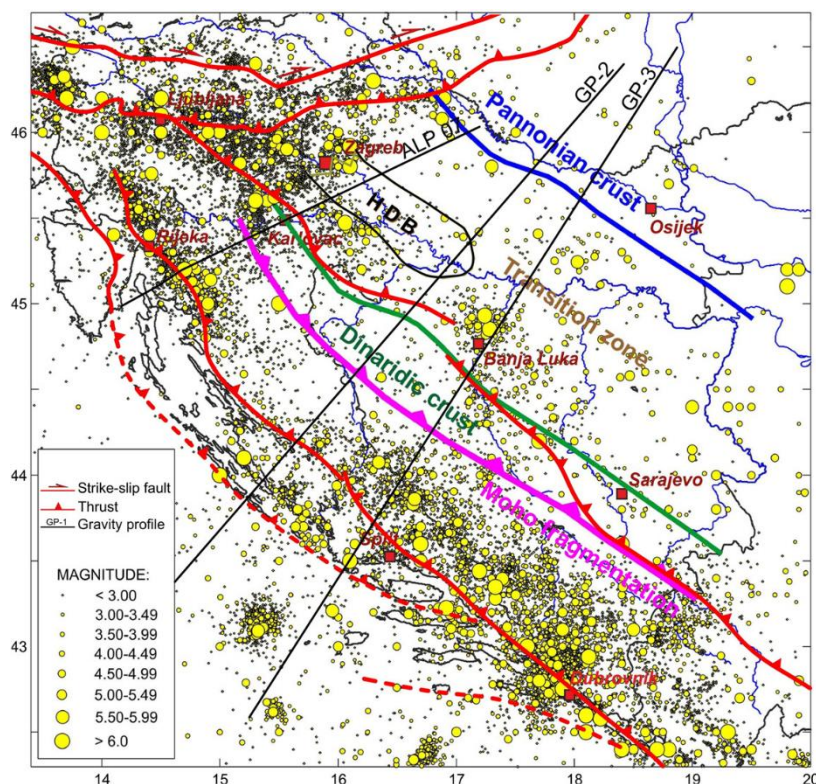


Slika 4.2.2 Dinarska, Panonska i Prijelazna zona kore

Novija istraživanja (Šumanovac, 2015) pokazuju da se između njih nalazi neočekivano široka Prijelazna zona (slika 4.2.2) s lateralnim i vertikalnim varijacijama seizmičkih brzina i gustoća. Smjerom koincidira s ranije utvrđenom ofiolitnom zonom, no za razliku od nje, Prijelazna zona je znatno šira.

Zona je po gustoćama slična Tisijskom bloku i predstavlja pravu kontinentalnu koru te današnje strukturalne postavke koincidiraju s panonskim strukturnim i tektonskim modelom (slika 4.2.3). Osnovna karakteristika Prijelazne zone je miješanje većih i manjih blokova oceanske i kontinentalne kore kao i postojanje dva sloja unutar kore. Ustanovljeno je i postojanje tijela velike gustoće (HDM-eng. High Density Body) na dubini od 300 km koje je interpretirano kao ostatak oceanske litosfere (Dando, 2011).

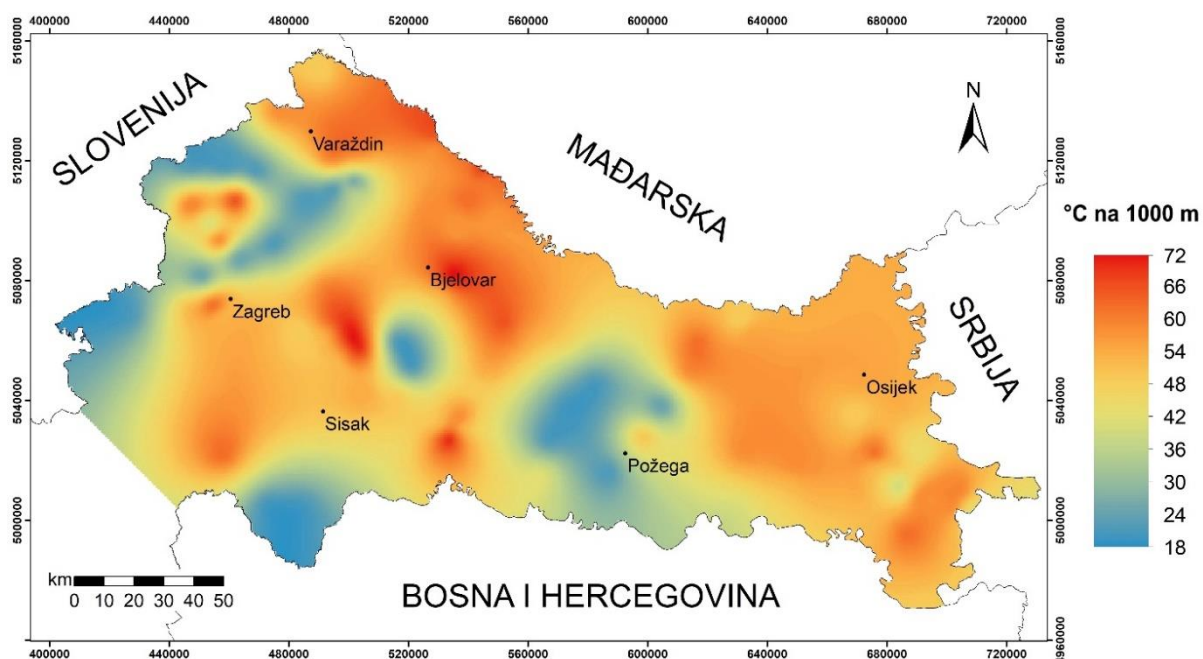
Kombinacija karakteristika Tisijske i Dinaridske kore dovela je do shvaćanja Prijelazne zone kao posebnog mikro bloka.



Slika 4.2.3 Prikaz zona na karti potresa

Južnu granicu Prijelazne zone čini južni rubni rasjed Panonskog bazena. Kontakt između Tisjskog bloka i Prijelazne zone također je predstavljen rasjedom, koji se podudara sa Dravskim rasjedom.

Istanjena kontinentalna kora, uz intenzivan vulkanizam dokumentiran u bušotinama i na izdancima pronađenim na rubovima slavonskih planina, uzrok su povišenog geotermalnog gradijenta u hrvatskom dijelu Panonskog bazena, Savskoj i Dravskoj potolini. Geotermalni gradijent je u rasponu od 4 do 7 °C/100 m (slika 4.2.4).



Slika 4.2.4 Karta geotermalnog gradijenta na području Panonskog bazena RH načinjena prema bušotinskim podacima dobivenih iz AZU i HGI

4.3 Pregled potencijalnih područja i dokazanih geotermalnih vodonosnika

Složeni procesi taloženja, metamorfoze, vulkanizma i tektonike uzrokovali su generiranje više generacija potencijalnih geotermalnih područja:

a) Potencijalna geotermalna područja formirana u naslagama rastrošene paleozojske do donje mezozojske podloge. Litološki sastavi stijena vrlo je raznolik te su naslage sastavljene od metamorfita, gnajseva, granita, granito gnajseva, kvarcnih pješčenjaka i raznovrsnih magmatita. Primarna poroznost stijena ovisna je o dubini te varira od izrazito male (2 %), do dobre u pješčenjacima permotrijaske starosti (veće od 10 %). Posljedično, propusnost varira od gotovo nepropusnih stijena $k < 1$ mD do stijena dobre propusnosti $k > 50$ mD.

Geotermalni vodonosnici formirani su na područjima gdje je uslijed navlačenja i rasjedanja došlo do razvoja sekundarne poroznosti unutar stijenske mase. Geotermalna tijela formirana u naslagama rastrošene paleozojske do donje mezozojske podloge karakteristične su za istočni dio Hrvatske gdje su naslage tijekom duljeg geološkog razdoblja bile izložene na površini (Slika 4.4.1).

b) Potencijalna geotermalna područja formirana u naslagama trijaskih karbonata te ponegdje krednih karbonata (slika 4.4.1). Zajednička karakteristika naslaga je sekundarna poroznost kao posljedica, prije svega, laramijske orogeneze. U slučaju povoljnog geotektonskog smještaja u područjima navlačenja i reverznog rasjedanja, naslage

predstavljaju geotermalni vodonosnik. Geotermalna tijela formirana u naslagama trijaskih karbonata te ponegdje krednih karbonata najizdašnija su vodena tijela Hrvatske. Odlikuju ih relativno malene vrijednosti primarne poroznosti (do 7%), visoke vrijednosti sekundarnog poroziteta, dobra vertikalna i horizontalna propusnost (ponegdje više od 300 mD) te mjestimično, uslijed navlačenja i rasjedanja, debljina veća od 1000 m.

c) Potencijalna geotermalna područja vezana uz donje do srednje miocensku sedimentaciju tijekom predriftne faze, faze riftovanja i postriftne faze. Talože se konglomerati, brečokonglomerati, pijesci, pješčenjaci i lapori. Ovisno o položaju u akomodacijskoj zoni javljaju se i vapnenci te organogeni vapnenci. Taložine nekoliko generacija tufa, tufita, bazalta te proboji granita ukazuju na dinamičnost prostora tijekom riftovanja. Dinamika taloženja uzrokovala je heterogenost naslaga i variranje fizikalnih karakteristika ležišta na malim udaljenostima. Prosječna primarna poroznost brečokonglomerata je 10%, pijesaka i pješčenjaka 12%, vapnenaca do 15%. Na pojedinim područjima propusnost vapnenačkih breča varira od manje od 1 mD do veće od 800 mD.

Područja boljih ležišnih svojstava vezana su uz rasjedne zone i povoljne taložne uvjete u dinamičnom prostoru riftovanja.

d) Potencijalna geotermalna područja formirana u pješčenjacima panonske starosti (slika 4.3.3). Jedinicu karakterizira izmjena pješčenjaka i lapora uz taloženje naslaga s većom karbonatnom komponentom u donjem panonu. Postotak karbonatne komponente postupno se smanjuje u mlađim naslagama. Ležišta su pješčenjaci povoljne primarne poroznosti. Područja s geotermalnim potencijalom su zone s debljim naslagama panona i većim vrijednostima odnosa pješčenjak/lapor. Poroznost naslaga ovisi o taložnim uvjetima i iznosi do 30%. Prosječna propusnost pješčenjačkih serija varira od 10 do 100 mD, u pojedinim plićim ležištima doseže do 300 mD.

Geotermalna tijela razvijena u različitim stratigrafskim jedinicama povezana su u veće komplekse.

Tako je moguće izdvojiti nekoliko karbonatnih kompleksa koji sadrže geotermalna tijela unutar Podloge kenozoika. Zagorsko-međimursko-čakovečki karbonatni kompleks se proteže zapadnim rubom Panonskog bazena, a sadrži niz geotermalnih tijela koja se već godinama iskorištavaju.

Vjerojatna je i povezanost tog karbonatnog kompleksa s karbonatnim kompleksom Zagrebačko-samoborskim, gdje se nalazi nekoliko odijeljenih geotermalnih tijela od kojih su najznačajnija Zagrebačko i Sveto Nedeljsko.

Na sjevernim padinama Zagrebačke gore, sve do Konjščinske sinklinale proteže se karbonatni kompleks na čijem zapadu je razvijeno geotermalno tijelo Konjščinsko, sa Stubičkim Toplicama i Jezerčicom.

Na sjeverozapadu savskog bazena formiran je karlovački subbazen gdje su taloženi karbonati tijekom trijasa i krede. Na zapadnom rubu tog karbonatnog kompleksa odijeljenog rasjedima,

uzdignuta je karbonatna struktura koja s geotermalne točke gledišta predstavlja Svetojansko geotermalno tijelo. U spuštenom krilu karbonatnog kompleksa, u središtu depresije razvijeno je Karlovačko geotermalno tijelo.

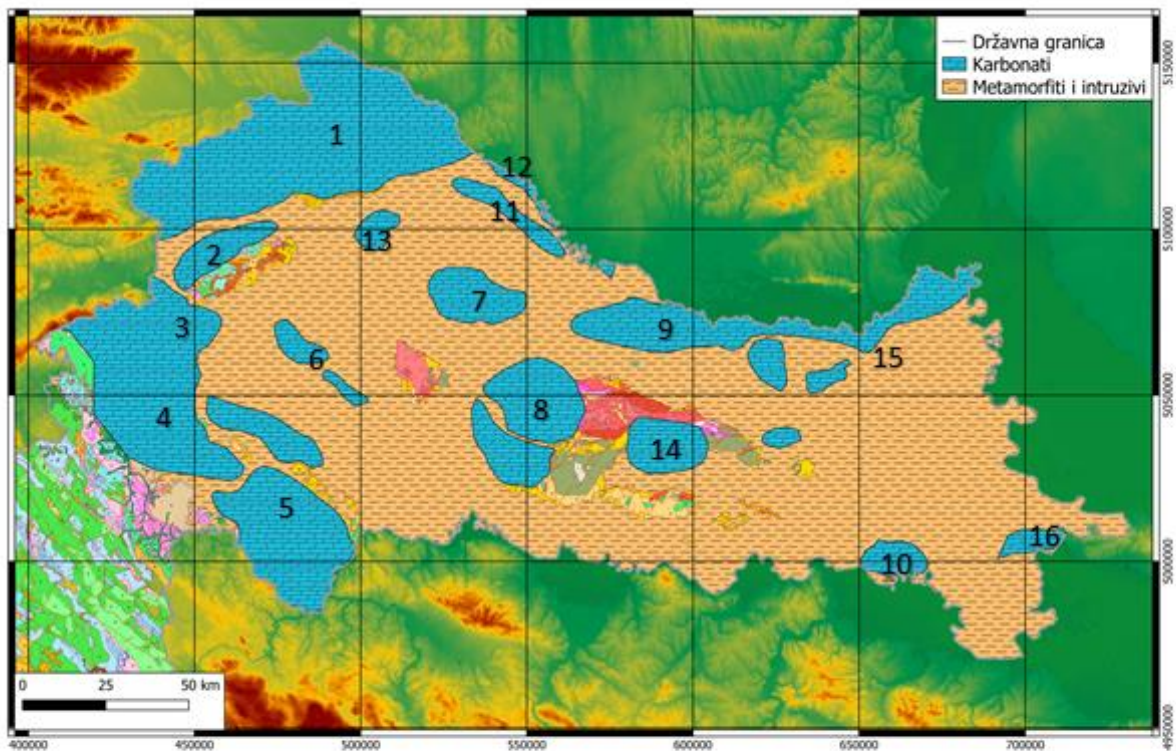
Karbonatni kompleks širi se na istok. Na rubu Glinske subdepresije smješteno je geotermalno tijelo Topusko. Geofizički podaci dozvoljavaju pretpostavku da su karbonati taloženi i u današnjoj jezgri subdepresije.

Idući prema istoku karbonatni kompleksi su manjih dimenzija. Ističe se Dubokodravski kompleks koji je od masivnijeg mađarskog odijeljen zonom magmatsko metamorfnih stijena između plinskih polja Molve i Gola. Područje Gole i Ferdinandovca predstavlja južni rub mađarskog karbonatnog kompleksa. Na istoku hrvatske razvijeno je "Slatinsko" karbonatno tijelo. Dekolman dijeli slatinski kompleks od mađarskog Vilany kompleksa.

U Bjelovarskoj sub-depresiji centralni karbonatni kompleks je matični kompleks geotermalnog tijela Ciglana. U savskom bazenu ističe se područje Kopčevca te Daruvarsko-Lipičo-Velički pojas kao površinom istaknutiji karbonatni kompleksi. Navlačno karbonatno tijelo Babina Greda nalazi se na jugoistočnom dijelu savskog bazena.

Matični litološki kompleksi u kojima su razvijena geotermalna tijela donjomiocenske starosti raspršena su i iznatno manjeg prostiranja od mezozojskih karbonatnih dijela. U njima su razvijena ili samostalna geotermalna tijela ili su kao sekundarni vodonosnik povezan s karbonatnim matičnim kompleksom.

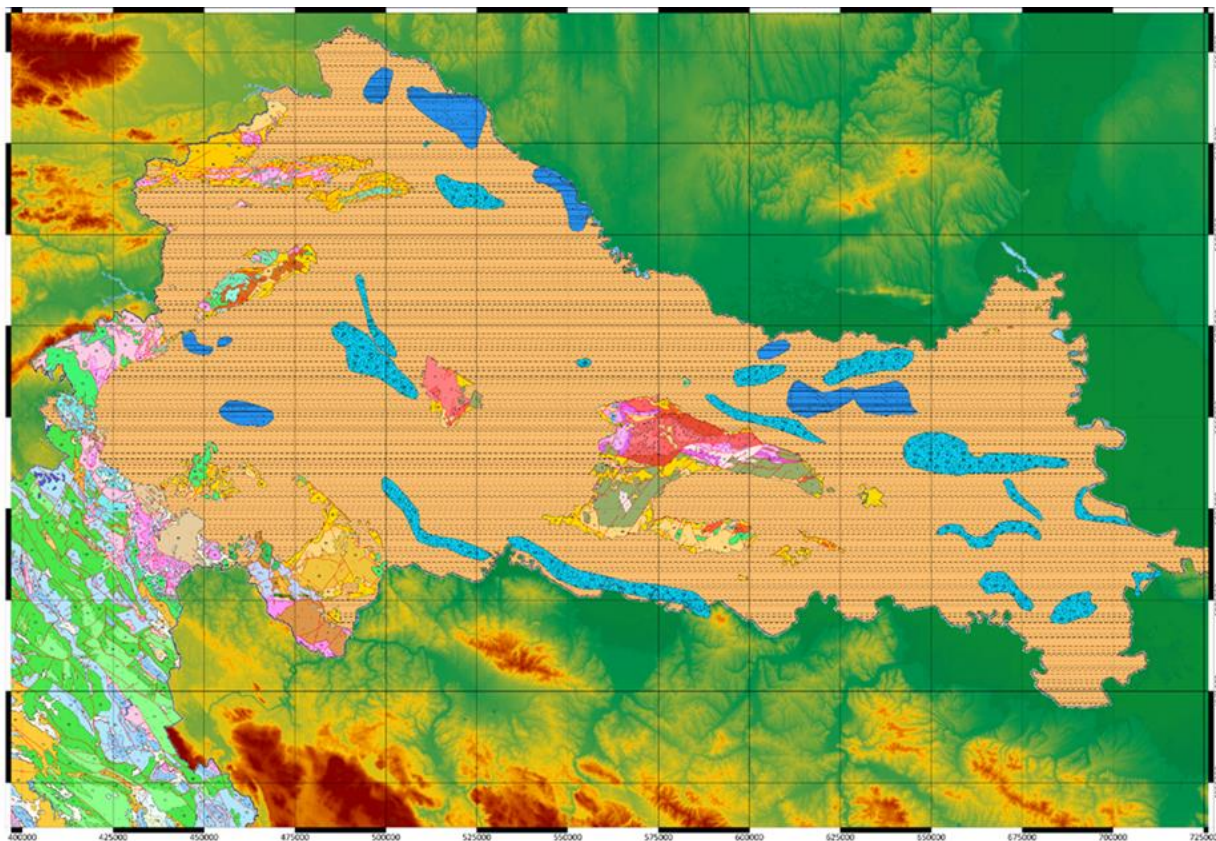
Znatno je i prostiranje panonskih pješčenjaka dobrih hidrauličkih svojstava. Najznačajniji vodonosnici iz kojih se danas koristi geotermalna voda nalaze se na području Bizovca i Ivanić Grada, dok na području Draškovca postoji eksploatacijska koncesija. Povijesno su se koristili pješčenjački geotermalni vodonosnici i na području Siska.



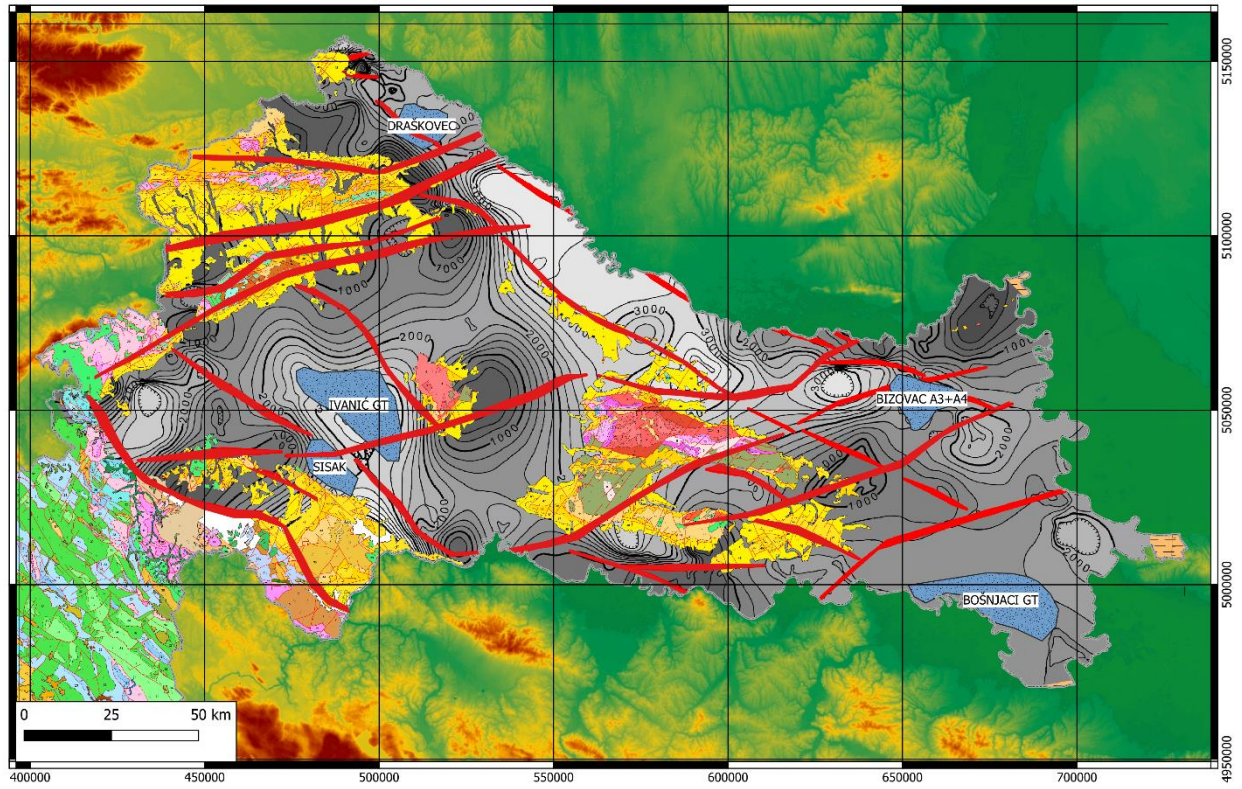
KARBONATNI KOMPLEKSI

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1 ČAKOVAČKO VARAŽDINSKO ZAGORSKI | 10 BABINA GREDA |
| 2 KONJŠČINSKI | 11 DUBOKO DRAVSKI |
| 3 ZAGREBAČKO SVETONEDELJSKI | 12 GOLA FERDINANDOVAC |
| 4 KARLOVAČKO SVETOJANSKI | 13 KRIŽEVAČKO |
| 5 GLINSKO TOPUSKI | 14 POŽEŠKI |
| 6 KOPČEVAC | 15 BARANJSKI |
| 7 CIGLENSKO | 16 SRIJEMSKI |
| 8 ZAPADNO PAPUČKI | |
| 9 SLATINSKO VIROVITIČKI | |

Slika 4.4.1 Karbonatni mezozojski kompleksi i metamorfiti/magmati paleozoika i paleotrijasa



Slika 4.4.2 Vodonosnici - Donji do srednji miocen (označeni plavom bojom)



Slika 4.4.3 Stratoizohipse i vodonosnici - Panonski pješčenjaci

Sisačko i Petrinjsko područje

Potencijalno geotermalno područje "Sisačko" nalazi se na području "sjecišta" triju mikoregija: Banovine, Pokuplja i Posavine, dok je "Petrinjsko" nešto zapadnije od njega.

Geotermalnim i naftnim bušotinama nabušene su naslage paleozoika, trijasa, krede paleogena i neogena.

Geotermalni vodonosnici razvijeni su u gornjopanonskim pješčenjacima koji isklinjavaju prema istoku. Unutar sedimentne serije nalaze se Kutinski pješčenjaci, značajni kao geotermalni rezervoar na dubini od 778-915 m, u bušotini Si-1 te na dubini 745-867 metara, u bušotini Sisak-1. U krovinskom i podinskom dijelu člana litologiju predstavljaju sive laporovite gline, a središnji dio sačinjavaju tamnosivi srednjtvrđi lapori.

Bušotina DB-5 probušila je sedimente gornjeg panona na dubini 678 m unutar kojih je na dubini 938 m otkriven sloj s jodnom vodom. Temperatura vode je 52°C pripada Na-Cl tipu voda i koristila se do 80-tih godina u lječilištu. Prividna debljina Kutinskih pješčenjaka na bušotini Si-1 iznosi 137 m, a na bušotini Sit-1 iznosi 130 m. Prosječna poroznost iznosi 17%, a propusnost do 50 mD.

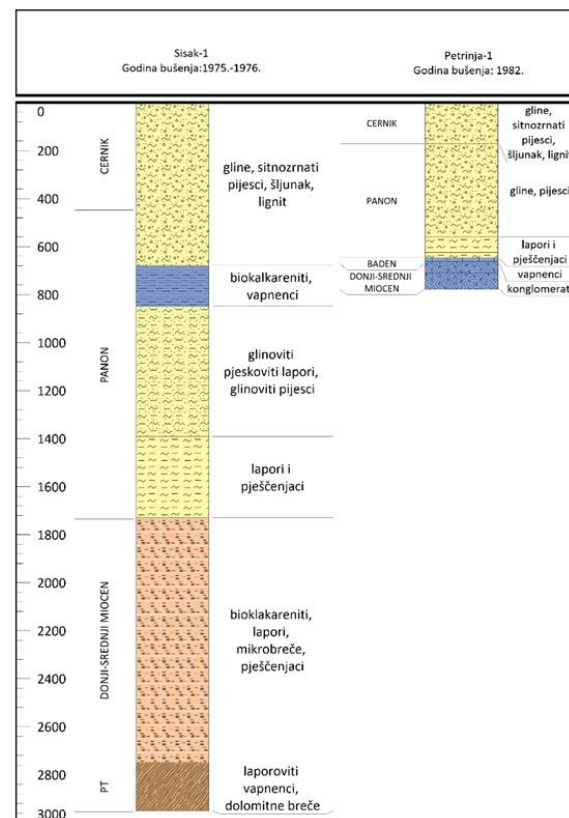
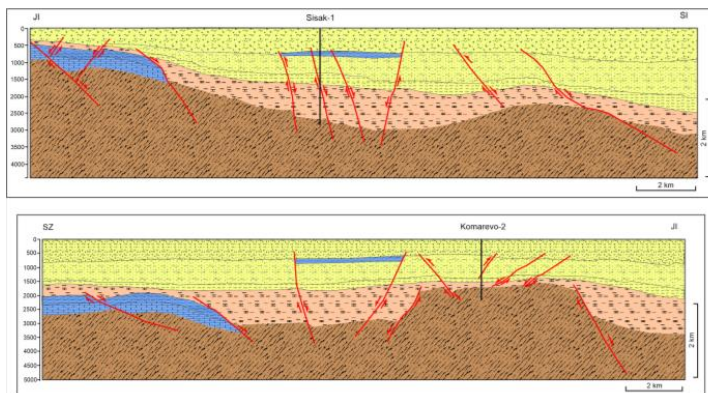
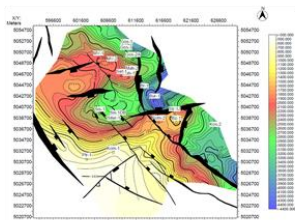
U bušotini Setuš-1 jedini kolektor predstavljaju Bregi pješčenjaci Kloštar Ivanić formacije, koji su zasićeni vodom, a svi ostali horizonti su nepropusni. Sedimenti gornjeg panona na bušotini Set-1 zastupljeni su glinovito-pjescovitim laporom te glinovitim pijescima.

Područje presijeca nekoliko rasjeda različitih generacija nastanka. Glavni rasjed je Savski, južno od Siska, koji je i sada aktivan. Od ostalih ističu se rasjedi pružanja JJI – SSZ koji su važni za geološke i geotermalne odnose na području.

Promjena orijentacije stresa, iz smjera sjever-jug u smjer sjeverozapad-jugoistok u panonu, reaktivirala je desne transtenzijske zone. Primjeri transtenzijskih rasjeda vidljivi su iznad strukture Komarevo.

Geotermalni vodonosnici unutar panonskih pješčenjaka povezani su s naftnim poljima, što je moguće zaključiti uslijed znatno povećane količine joda u vodi. Najvjerojatnije upojno područje je hrbat planina južno od područja, gdje se voda spušta rasjedima smjera zapad istok u dubinu, zagrijava se te uzdiže do geotermalnih vodonosnika.

PODRUČJE "SISAČKO" I "PETRINJSKO"



VODENO TIJELO "SISAČKO"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLOGIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
SISAK	Potencijalno	panon	pješčenjaci	678	49	3,8

VODENO TIJELO "PETRINJSKO"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLOGIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
PETRINJA	Potencijalno	baden	litotamnjski vapnenci	646	45	20
	Potencijalno	donji miocen	brečokonglomerati	710		

Slika 4.4.4. Geološka, strukturno-tektonska obilježja Sisačko Petrinjskog područja

Karlovačko područje

Potencijalno geotermalno područje “Karlovačko” nalazi se u središnjoj Hrvatskoj, JI od geotermalnog tijela “Svetojanskog”, u dolomitima trijaskе starosti.

Paleogeografski, područje Karlovačke subdepresije pripada krajnjem jugozapadnom rubu Panonskog bazena.

Geotermalni vodonosnici razvijeni su u karbonatima trijaskе starosti koji naliježu na naslage gornjeg paleozoika i donjeg trijasa.

Bušotina Karlovac-2 izbušena je na zapadnom dijelu Karlovačke depresije. Najstarije naslage čine permsko-donjotrijaski karbonatno-evaporitni kompleks taložen u plitkomorskom okolišu. Na njih naliježu naslage gornjeg trijasa koje imaju obilježja hauptdolomita. Ukupna debljina izbušenih karbonatnih naslaga iznosi više od tisuću metara. Klastični kompleks naslaga paleogenske starosti naliježe na gornjotrijaskе dolomite, a kontakt naslaga je na 3025 m. Tijekom bušenja karbonatne serije zabilježeni su brojni gubici isplake, što ukazuje na zone propusnih naslaga. Ispitivanjem je ustanovljena propusnost 47 mD, dok je poroznost 10%.

Bušotina Karlovac-3 bušena je sjevernije od bušotine Ka-2, na rubu Karlovačke depresije. Bušotinom je također raskriven geotermalni vodonosnik, no glavne vodonosne naslage su predstavljene vapnencima i kristaličnim vapnencima s dolomitima debljine veće od 1700 m.

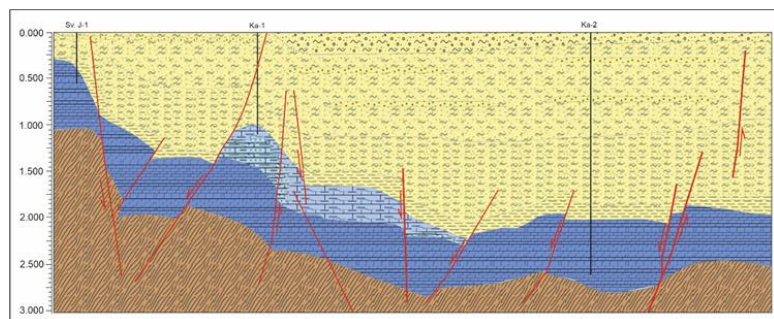
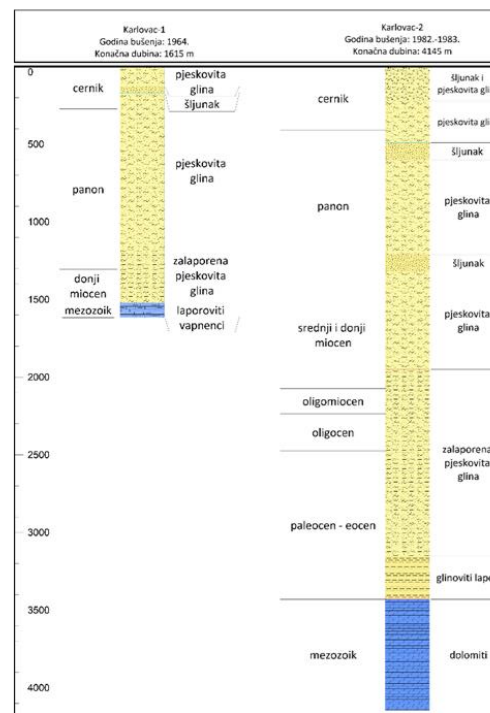
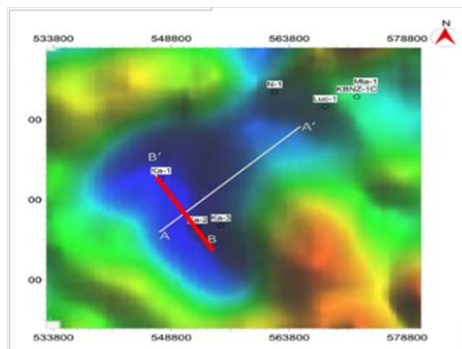
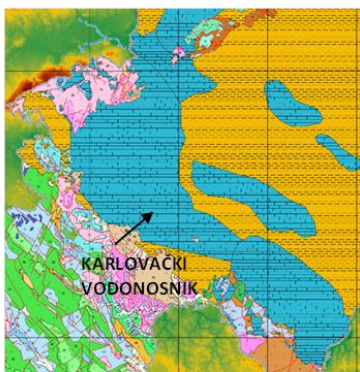
Propusnost ležišta varira od vrlo malene 2 mD do srednje propusnosti od 45 mD.

Tektonika područja je složena. Kontinuirano naguravanje Plešivice sa zapada i naglo produbljavanje Karlovačkog bazena uzrokovali su postojanje navlačnih elemenata starije generacije te normalne rasjede koji su tu inicijalnu tektoniku prekrili.

U karbonatnim naslagama tijekom istraživanja ugljikovodika zahvaćene su geotermalne vode čija temperatura ovisno o dubini i varira od 120 do 138°C. Vode pripadaju Na-ClHCO₃ tipu voda.

Trenutno je za navedeno područje dana istražna koncesija na 5 godina da se odredi potencijalnost navedenog područja.

KARLOVAČKI VODONOSNIK



VODENO TIJELO "KARLOVAČKO"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLILOGIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
KARLOVAC	Potencijalno	mezozoik	dolomiti	3450	139	75

Slika 4.4.5. Geološka, strukturno-tektonska obilježja Karlovačkog područja

Područje “Legrad-Kutnjak”

Potencijalno geotermalno područje “Legrad-Kutnjak” nalazi se u sjevernoj Hrvatskoj, između rijeke Drave i zapadnih padina Kalnika, u karbonatima mezozojske starosti.

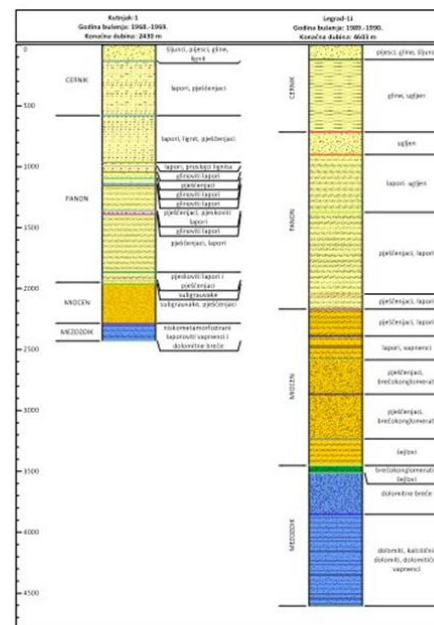
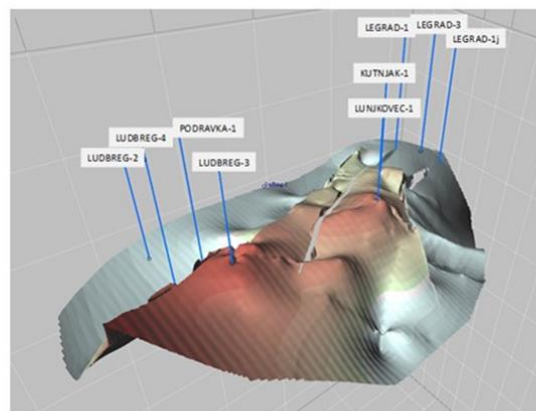
Područje Lunjkovec-Kutnjak u strukturnom pogledu pripada rubnoj strukturnoj jedinici Dravskog bazena, strukturi Legradskog praga. Geotermalni rezervoar Legradskog praga je dio karbonatnog geotermalnog tijela velike moćnosti koje se proteže od Hrvatskog zagorja do Transdanubijskog bazena.

Legradski prag je područje intenzivne tektonike, navlačenja i rajedanja. Orijentacija navlake je jugoistok sjeverozapad.

Trijaski dolomiti i vapnenci prekrivaju paleozojske stijene i značajnih su debljina, te predstavljaju ležište geotermalnog polja Lunjkovec Kutnjak. Dolomitno ležište je određeno kao izrazito frakturirano, pri čemu je poroznost matriksa 6%, dok poroznost fraktura iznosi 22.4%. Propusnost naslaga iznosi do 40 mD.

Rasjed na zapadu odjeljuje zonu navlaka Legradskog praga od sinklinale Murske depresije. Bušotine na području zapadno od rasjeda nisu nabušile mezozojske slojeve. Bušotine istočno od rasjeda na području navlaka dosegle su karbonatne rezervoare mezozoika i predstavljaju ciljano područje istraživanja geotermalne energije. Temperature vode u bušotinama koje su zahvatile karbonatni kompleks su od 140 do 196°C, a vode pripadaju Na-ClHCO₃ tipu voda.

Trenutno je, kao i u slučaju područja Karlovca, dana koncesija za istraživanje na 5 godina za potencijalnost područja.



VODENO TIJELO "LEGRAD KUTNJAK"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLOGIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
KUTNJAK-1	Potencijalno	baden	vapnenci, dolomitne breče	2284	142,5	7,56
LEGRAD-1	Potencijalno	mezozoik	dolomitne breče, dolomiti	3512	196	

Slika 4.4.6. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Legrad Kutnjak

“Merhatovečko” područje

Potencijalno geotermalno područje “Merhatovečko” nalazi se u sjevernom dijelu Murske depresije, u karbonatima mezozojske starosti.

Murska depresija je izgrađena od dvaju kompleksa stijena. Podlogu kenozoika čini magmatsko–metamorfni kompleks paleozojske starosti te sedimenti mezozojske i paleogenske starosti, dok sedimentnu ispunu bazena karakteriziraju naslage neogena i kvartara.

Predkenozojske naslage, trijaski dolomiti, breče, vapnenački dolomiti i dolomitični vapnenci gdje je sekundarni porozitet mjestimično dobro razvijen kao posljedica tektonskih događanja i dugotrajnih transgresija, glavne su kolektorske stijene geotermalne vode. Debljina naslaga podloge kenozoika nabušenih bušotinom Merhatovec-2 iznosi više od tisuću metara, dok na bušotini Merhatovec-1 debljina karbonatne trijasko serije iznosi više od dvije tisuće metara. Karbonatne naslage su primarni geotermalni vodonosnik. Temperatura vode je od 120 u plićim do 150 °C u dubljim dijelovima vodonosnika. Temperaturni prirast u ležištu iznosi 2,5°C/100 m. Propusnost vodonosnika iznosi do 50 mD, dobre je slojne energije. Karakterizira ga visoka koncentracija otopljenog plina, koji se pretežno sastoji od ugljikovog dioksida (do 90%).

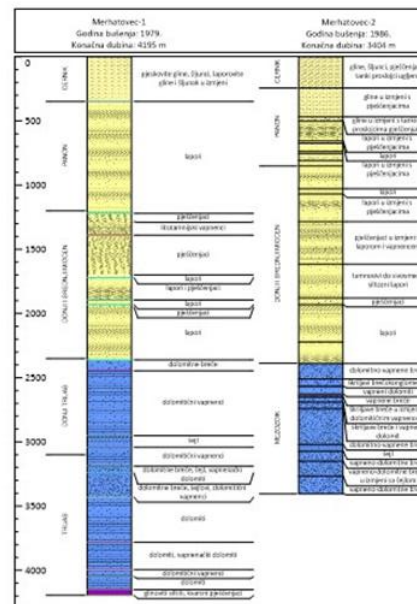
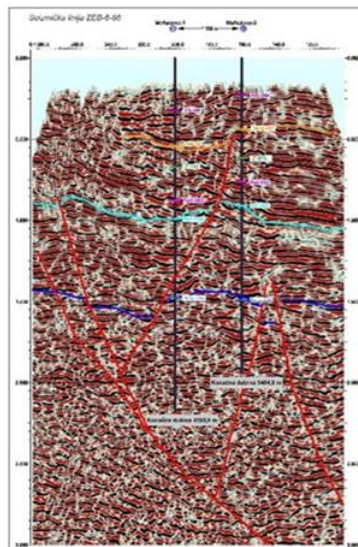
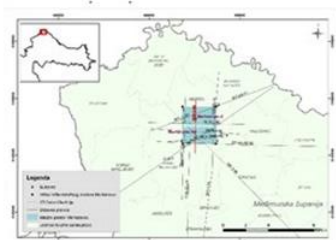
Naliježuća Čentiba formacije sastoji se od pješčenjaka, konglomerata, muljevitih breča karpatske starosti (u donjem dijelu formacije) ili pjeskovitih i glinovitih lapora, alteriranih pješčenih lapora i pješčenjaka.

Pješčenjaci na području Merhatovca, poroziteta do 25%, potencijalan su geotermalni rezervoar čija temperatura ovisi o dubini njihova zalijeganja. Oni su znatno manjih debljina od karbonatnih rezervoara, no svojim povoljnim položajem, uz gradijent temperature od 5,5°C/100 m, predstavljaju dodatni cilj istraživanja na mjestima gdje su taložni uvjeti tijekom geološke povijesti bili povoljni.

Sedimentna ispunna bazena s klastitima i laporima različitih varijeteta neogenske i kvartarne starosti, predstavljaju krovinu geotermalnih vodonosnika

Trenutno se provode detaljnija istraživanja geotermalnog potencijala.

VODENO TIJELO "MERHATOVEČKO"



VODENO TIJELO "MERHATOVEČKO"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLOGIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
MERHATOVEC-1	Potencijalno	mezozoik	dolomiti, dolomitne breče, dolomitični vapnenci	2360	142,5	10,84
MERHATOVEC-2	Potencijalno	mezozoik	dolomitne breče, dolomitični vapnenci	126,7	140,8	0,23

Slika 4.4.7. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Merhatovec

“Slatinsko” područje

Potencijalno geotermalno područje “Slatinsko” nalazi se na prostoru Dravske potoline, na mjestu spajanja Središnje i Istočne Hrvatske. Iako je kompleks dio panonskog geotermalnog tijela Vilany, dekolmanskim je rasjedom odijeljeno od njega i predstavlja sjeverni, uzdignuti dio ruba dravske depresije. Na prostoru je aktivno istraživanje geotermalnih vodonosnika na istražnim prostorima Slatina 2 i Slatina 3.

Promatrani prostor geološki je izgrađen od magmatsko-metamorfničkih stijena paleozojske starosti, koje zajedno s lokalno razvijenim karbonatnim naslagama mezozoika čine podlogu kenozojskih sedimenata.

Prema litostratigrafskim kriterijima u stijene podloge kenozoika, koje predstavljaju vodonosnike, su mezozojski, karbonatni sedimenti (vapnenci, dolomiti i njihove klastične varijacije), anhidriti, kemogeno-klastični i siliciklastični sedimenti (šejl, pješčenjak).

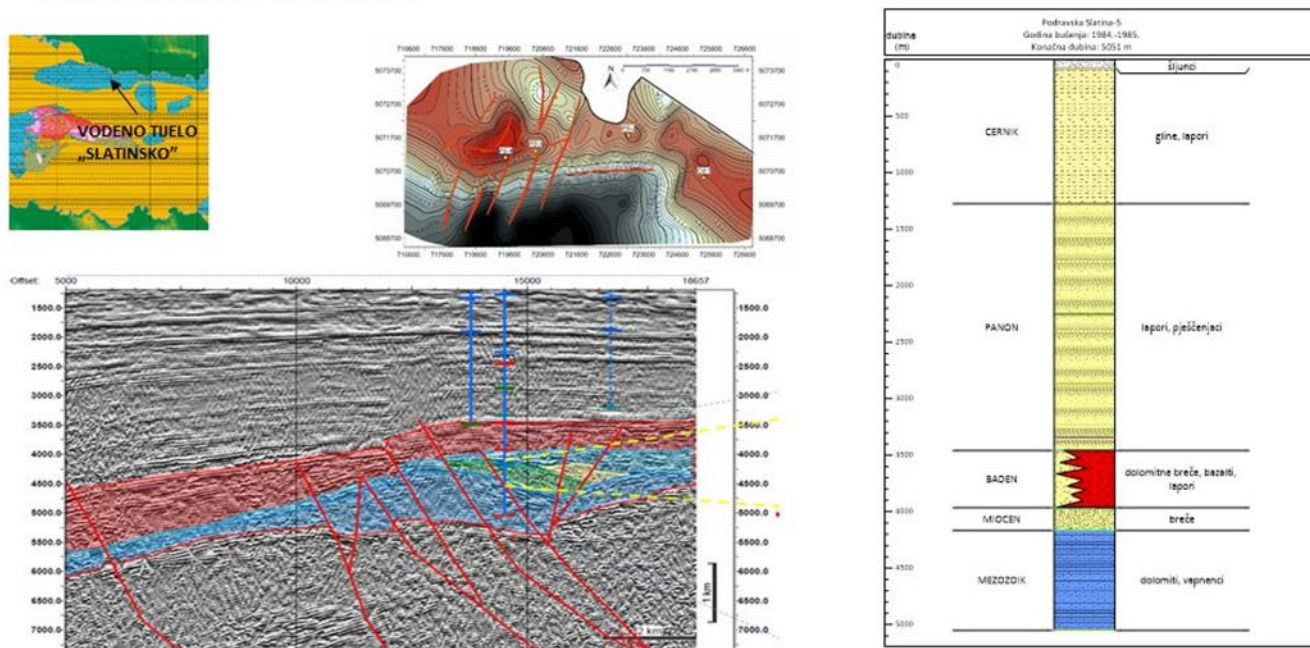
Geotermalni vodonosnik je razvijen u karbonatnom slijedu predkenozojskih naslaga. Tektonski pokreti uzrokovali su razvoj sekundarne poroznosti i područja povoljne propusnosti. Rotacijska kretanja smjera jugozapad-sjeveroistok s izdizanjem sjevernog krila deformirala su originalni slijed naslaga. Kretanja su inicirala brojna siparišta i lepeze rastrošene karbonatne osnove te taloženje karbonatnih breča na području.

Naprezanja su utjecala na cjelokupnu karbonatnu masu i izazvala formiranje fraktura kako u karbonatima, tako i u istaloženim brečokonglomeratima. Iako je karbonatna sekcija debljine veće od 1500 m, vršnih 435 m predstavlja geotermalni vodonosnik. Srednja efektivna debljina ležišta je 201,8 m. Poroznost vodonosnika je 6%, izmjerena propusnost DST ispitivanjem iznosi 399,8 mD. Dijagrami tlakova odraz su dobre propusnosti formacije te ukazuju na prisutnost sekundarne poroznosti.

Izmjerena vrijednost temperature na 4198 m je 183 °C. Na težištu ležišta temperatura iznosi 187 °C.

Ispitivanja geotermalnog vodonosnika su u tijeku. Rezerve geotermalne vode potvrđene su Elaboratom o rezervama geotermalne vode na istražnom prostoru "Slatina 2", ležište karbonati i iznose 250 L/s za rezerve P2 kategorije (vjerojatne rezerve).

VODENO TIJELO "SLATINSKO"



VODENO TIJELO "SLATINSKO"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLOGIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
SLATINA	Potencijalno	mezozoik	vapnenci, dolomiti	4165	186	125

Slika 4.4.8. Geološka, strukturo-tektonska obilježja područja Slatine

Područje "Babina Greda"

Na području Babine Grede razlikuju se kenozojske naslage i naslage podloge kenozoika. Naslage podloge, prvenstveno mezozojski karbonati su važni kao geotermalni vodonosnici, dok neogenske, pretežno klastične stijene imaju pokrovnu i izolirajuću ulogu.

Podloga kenozoika je izgrađena od laporovitih vapnenaca i vapnenačkih lapora u krovini, slijede polimiktne breče izgrađene od uglatih do dobro zaobljenih fragmenata kvarc-sericitskog škriljavca, kvarcita i slejta s vezivom od glineno kvarc-sericitskog matriksa i mjestimice kalcitnog cementa. Naslage podloge kenozoika čine polimiktne breče s oko 70% karbonatnih fragmenata i ostatkom kojeg čine kvarc-sericitski škriljaci, čert, kvarcit i slejt. Među karbonatnim fragmentima prevladavaju dolomiti i rekristalizirani vapnenci. Vezivo je dolomitno, a mjestimice s primjesom željeznog oksida i finih pijesaka. U vršnom dijelu naslage su određene kao gornjokredne naslage.

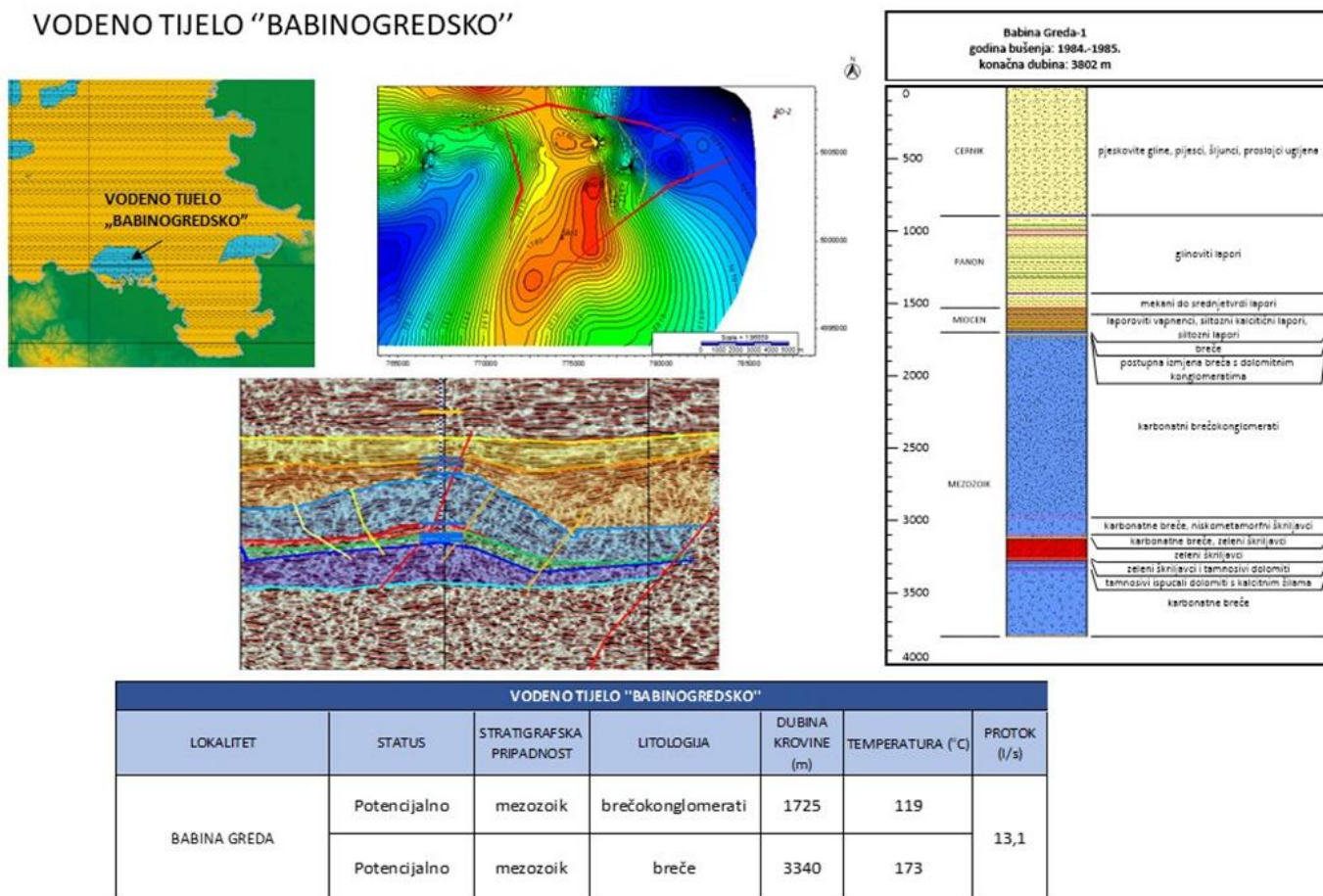
Prostor Babine Grede strukturno tektonski, iako recentno miran, bio je podvrgnut naprezanjima već opisanim u prijašnjim poglavljima. Posljedica kompresije i sužavanja bazena u smjeru istok zapad imalo je za posljedicu stvaranje rasjednutih navlaka na nivou podloge kenozoika. Interpretacija dostupnih bušotinskih podataka te podataka interpretacije dostupnih 2D seizmičkih profila ukazuje da se na ovom području mogu prepoznati elementi 'fault bend folding' mehanizma.

Geotermalni vodonosnik na području Babine Grede dohvaćen je bušenjem istražnih bušotina na naftu.

Temeljem dostupnih bušotinskih podataka i podataka mjerenja u bušotinama, kao i temeljem izmjerenih temperatura, vodonosnik se dijeli na proizvodno testiran vršni dio geotermalnog vodonosnika gdje su dobivene temperature od približno 120 °C te dublji dio rezervoara gdje izmjerena temperatura iznosi 173 °C. Vodonosnici su odijeljeni slojem škriljavaca s lećama mramora. Poroznost vodonosnika varira od 5 do 8%, procijenjena je propusnost od 100 mD.

Istraživanja potencijalnosti vodonosnika su u tijeku na dva istražna prostora, Babina Greda 1 i Babina Greda 2.

VODENO TIJELO "BABINOGREDSKO"



Slika 4.4.9. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Babina Greda

Područje „Križevci“

Križevački geotermalni vodonosnik nalazi se u jugoistočnom prigorju Kalnika, u naslagama donjeg i srednjeg miocena te u predkenozojskim naslagama, vjerojatno paleozojske starosti.

Na području Križevaca bušenjem je ustanovljen slijed cerničkih i panonskih naslaga koje naliježu na paleozojske stijene.

Paleozojski vodonosnik predstavljen je kvarcnim pješčenjacima koji nakon 20 m prelaze u škriljave brečo-konglomerate debljine 70 m.

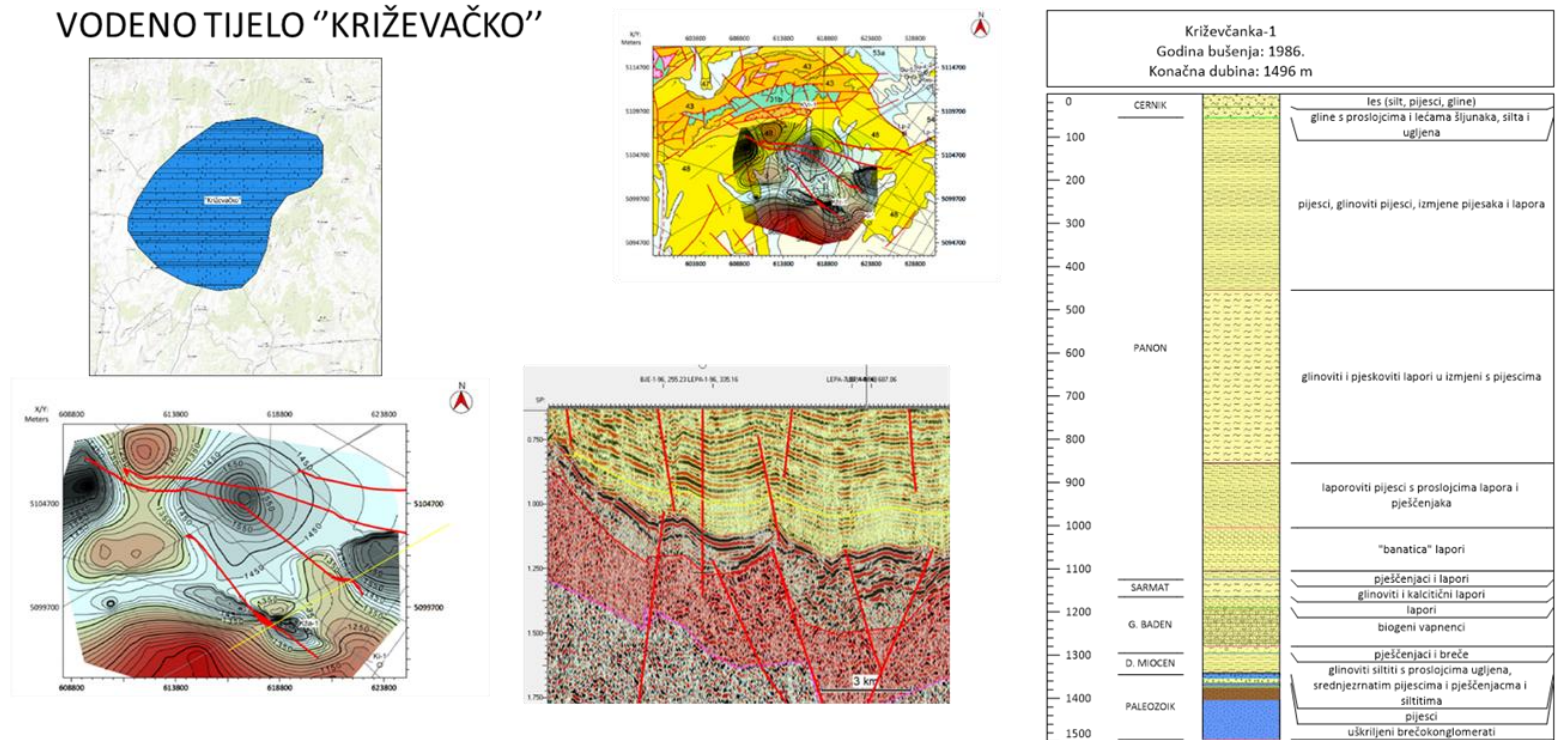
Donjomiocenske naslage su uglavnom nepropusne, no interval pijesaka i pješčenjaka, debljine 7 m, najizdašniji je vodonosnik u bušotini.

Gornjobadenske naslage razvijene su u tri facijesa. Prvi dio je oko 25 m lapora, slijedi oko 90 m biogenih vapnenaca te 15 m pješčenjaka i breča. Srednje miocenski karbonati, iako dobre poroznosti i propusnosti nisu testiranjem detektirale geotermalnu vodu. Krovina biogenih vapnenaca predstavljena je laporima badenske starosti na koji naliježu sarmatske naslage, glinoviti lapori. U podina biogenih vapnenaca su naslage pješčenjaka i breča koje predstavljaju geotermalni vodonosnik slabije izdašnosti. Vjerojatno je lateralno postojanje nepropusnih naslaga koje odjeljuju pješčenjačko ležište od ležišta biogenih vapnenaca.

Recentni tektonski sklop obilježavaju normalni i reversni rasjedi pružanja SI-JZ (vertikalna kretanja) te normalni rasjedi pružanja SZ-JI (vertikalna i desna horizontalna kretanja). Interpretacijom seizmičkih podataka ustanovljen je niz rasjeda donjomiocenske do srednjemiocenske starosti smjera sjeverozapad jugoistok, čije pružanje je moguće pratiti do kalničkog gorja i izdanaka krednih ofiolita, facijes magmatita (izvor OGK 1:300000), gdje je vjerojatna točka napajanja geotermalnih vodonosnika. Voda se uz rasjede spušta do nepropusne podloge te zagrijavši se, uzdiže do naslaga paleozojskih metamorfita i naliježućih donjo miocenskih pješčenjaka.

Istraživanja potencijalnosti vodonosnika su u tijeku na području grada Križevca, odnosno na području bušotine Kža-1 koja je smještena u samom centru grada. Tijekom različitih pokusnih crpljenja izmjerene su različite temperature, pa je tako na primjer nakon bušenja temperatura iznosila 68 °C, a Šarin, 1990 tijekom crpljenja mjeri nešto višu temperaturu - 70°C. Najnovija pokusna crpljenja u studiji Maljković & Guðmundsson, 2017 ukazuju na temperaturu od 83,9 °C. Geotermalna voda pripada Na-HCO₃SO₄Cl tipu voda.

VODENO TIJELO "KRIŽEVAČKO"



VODENO TIJELO "KRIŽEVAČKO"						
LOKALITET	STATUS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLIJA	DUBINA KROVINE (m)	TEMPERATURA (°C)	PROTOK (l/s)
KRIŽEVČANKA-1	Potencijalno	gornji baden	pješčenjaci, breče	1342	68	3,8
		donji miocen	pijesci, pješčenjaci	1367		
		paleozoik	uškrijljeni brečokonglomerati	1404		

Slika 4.4.10. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Križevci

5. Metodologija

5.1. Postupak definiranja tijela geotermalnih voda

Izdvajanje tijela geotermalnih voda načinjeno je prema uputama CIS-a (Common Implementation Strategy for the WFD) br. 2: Identifikacija vodnih tijela. U skladu s ovim vodičem, tijela geotermalnih voda koja se u pravilu nalaze na velikim dubinama, izdvojena su na područjima visokog stupnja istraženosti gdje se geotermalna voda koristi ili se u bliskoj budućnosti planira koristiti i gdje su koncesije već dodijeljene. U istom vodiču se između ostalog navodi „Duboke podzemne vode također mogu biti važan resurs za pitku vodu ili za neku drugu namjenu. Međutim, ne očekuje se da tijela dubokih podzemnih voda budu izdvojena ako podzemna voda (1) ne utječe negativno na površinske ekosustave, (2) ne zahvaća se, (3) zbog svoje prirodne kakvoće nije pogodna za opskrbu pitkom vodom ili bi zahvaćanje bilo tehnički neizvedivo ili nesrazmjerno skupo“. Na područjima gdje su registrirani potencijalni geotermalni vodonosnici (Poglavlje 4) izdvajanje tijela geotermalne vode načinjeno je samo za one dijelove koji su dovoljno istraženi, no za one dijelove koji još uvijek nisu dovoljno istraženi, izdvajanje geotermalnih tijela nije načinjeno. Iako se u njima ne očekuju pitke vode, već geotermalne vode koje se mogu koristiti za ostale namjene, zbog razmjerno slabe istraženosti nije poznato jel bi zahvaćanje geotermalne vode uopće bilo moguće. Nadalje, izdvajanje tijela geotermalnih voda osim u horizontalnom smjeru, načinjen je i u vertikalnom na pojedinim područjima na kojima su identificirani značajni vodonosnici. Izdvojeni su karbonati mezozoika i badena jer oni u prirodi predstavljaju cjelinu te uzeto je u obzir debljina vertikalnog paketa nepropusnih naslaga koji se nalazi između potonje navedenih naslaga i sedimenata neogena tj. panonskih pijesaka i pješčenjaka. Isto tako, po pojedinim područjima grupirana su manja tijela u jedno na temelju istih ili sličnih kemijskih značajki, istog tipa stijena koji izgrađuje vodonosnik te istog ili sličnog mehanizma punjenja i pražnjenja geotermalnih vodonosnika duž rasjednih zona.

U skladu s navedenim, tijela geotermalnih voda izdvojena su na temelju odabranih bušotinskih podataka i seizmičkih 2D profila dobivenih od Agencije za ugljikovodike (AZU), DARLINGe projekta, stručnih izvješća, Osnovne geološke karte RH 1:300.000 i objavljenih listova i tumača OGK RH 1:100 000, te brojnih objavljenih i neobjavljenih znanstvenih i stručnih radova. U njima su opisani sljedeći elementi:

- Strukturno-tektonski sklop (osobito rasjedne zone kao zone izrazitog tečenja ili ne tečenja ovisno o karakteru rasjeda)
- Litostratigrafske jedinice
- Raspucanosti i poroznosti stijenske mase
- Smjer tečenja geotermalne vode
- Izdašnosti izvora i bušotina
- Kemijski sastav geotermalnih voda

5.2 Postupak ocjene stanja tijela geotermalnih voda

U skladu s Okvirnom direktivom o vodama Europske unije (ODV) (2000/60/EC) potrebno je utvrditi stanje vodnih tijela s obzirom na količine i kakvoću, odnosno kemizam voda. Dobro stanje voda je ono gdje antropogeni utjecaj ne bi doveo do: (a) neuspjeha u postizanju okolišnih ciljeva iz članka 4. ODV-a za pridružene površinske vode, (b) značajnog ugrožavanja stanja takvih voda, te (c) značajne štete za ekosustave koji izravno ovise o tim vodama.

Stanje vodnih tijela može biti ocijenjeno dobrim ili lošim, a pouzdanost ocjene obično je niska ili visoka i ovisi o raspoloživosti podataka na temelju kojih se ocjena stanja temelji.

Ocjena kemijskog stanja tijela geotermalnih voda provodi se na temelju pokazatelja standarda kakvoće geotermalnih i mineralnih voda navedenih u Prilogu 6. Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/19):

Tablica 5.2.1. Standard kakvoće geotermalnih i mineralnih voda navedenih u Prilogu 6. Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/19)

Osnovni pokazatelji	Standard kakvoće
Temperatura	-
Električna vodljivost	-
Nitrati (mg/L)	50
Pesticidi ($\mu\text{g/L}$)	0,1 pojedinačno 0,5 ukupno
Specifične onečišćujuće tvari	
Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g/L}$)	10

Za ocjenu kemijskog stanja uzeti su u obzir i promjene kemizma ostalih, često specifičnih pokazatelja kakvoće geotermalne vode.

Tijela geotermalnih voda s visokom razinom pouzdanosti su u lošem kemijskom stanju ako pokazatelji iz tablice 5.2.1. prelaze vrijednosti standarda kakvoće ili je mjerenjima utvrđena značajna promjena specifičnih pokazatelja kakvoće geotermalne vode što utječe na njezinu namjenu. U suprotnim uvjetima, tijela geotermalnih voda su u dobrom kemijskom stanju s visokom razinom pouzdanosti. Visoka razina pouzdanosti dobrog stanja tijela geotermalne vode procijenjena je i u slučajevima kada je utvrđeno da je prosječna starost geotermalne vode iznosi nekoliko tisuća godina. Prema istraživanjima McCallum et al. (2017), udio vode mlađe od 60 godina u uzorcima vode prosječne starosti 100-1000 godina iznosi između 10 i 25 %.Tome u prilog ide činjenica da su se agrotheničke i industrijske kemikalije na čiji utjecaj mogu upućivati nitrati, pesticidi i lakohlapljivi ugljikovodici u vodi uglavnom intenzivno počele primjenjivati u drugoj polovici prošlog stoljeća. Primjerice, primjena mineralnih i stajskih

gnojiva postupno se povećavala od 1950., a maksimalne količine su primjenjivane tijekom 80-ih godina nakon čega je uslijedilo smanjenje primjene svih gnojiva (<http://www.fao.org>). Iako je poznato da su ljudi pesticide koristili još od prije 2000. godine prije Krista, smatra se da su četrdesete i pedesete bile početak "ere pesticida" (Murphy, 2005). Dvadesetih godina prošlog stoljeća započela je i široka proizvodnja trikloretilena, pa se u kasnijim godinama trikloretilen i tetrakloretilen u industriji intenzivno koriste.

Niska razina pouzdanost za tijela geotermalnih voda lošeg kemijskog stanja primijenjena je ako nema podataka o koncentracijama barem jednoga pokazatelja, a okolišni uvjeti su takvi da se može pretpostaviti da taj pokazatelj prelazi vrijednosti pokazatelja iz Tablice 5.2.1. ili da postoji značajna promjena specifičnih pokazatelja kakvoće geotermalne vode što utječe na njezinu namjenu. Ako nema podataka o koncentracijama barem jednoga pokazatelja, a okolišni uvjeti su takvi da se može pretpostaviti da taj pokazatelj ne prelazi vrijednosti pokazatelja iz Tablice 5.2.1. ili da ne postoji značajna promjena specifičnih pokazatelja kakvoće geotermalne vode što utječe na njezinu namjenu, tijelo geotermalnih voda je u dobrom kemijskom stanju, a pouzdanost je niska.

S obzirom da na svim analiziranim lokacijama (bušotine i izvori) nije poznat kemijski sastav geotermalnih voda, načinjeno je uzorkovanje 40 lokacija, a analizirani su sljedeći pokazatelji: kalcij, magnezij, kalij, natrij, kloridi, nitrati, sulfati, hidrogenkarbonati, sumporovodik, bromidi, fluoridi, ukupan organski i anorganski ugljik, litij, silicijev oksid te omjeri stabilnih izotopa kisika-18 i vodika-2. Uzorci su analizirani u Hidrokemijskom laboratoriju Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatskog geološkog instituta. Rezultati analiza se nalaze u Prilogu 1. Isto tako su korištene kemijske analize Juršić-Mitrović, 2001; Miholić & Tauer, 1952, analize u sklopu bušotinskih podataka dobivenih iz arhive AZU, internetskih stranica korisnika te drugih laboratorija kada su analize rađene za potrebe koncesije ili istraživanja. Podatci o pesticidima, te sumi trikloretilena i tetrakloretilena u pravilu su preuzeti iz elaborata načinjenih za potrebe izdavanja koncesija.

Ocjena količinsko stanja tijela geotermalnih voda provodi se na temelju pokazatelja navedenih u Prilogu 6. Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/19):

Tablica 5.2.2. Pokazatelji prekomjernog korištenja geotermalnih i mineralnih voda navedenih u Prilogu 6. Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/19)

Fizikalni parametri koji upućuju na prekomjerno korištenje	Granična vrijednost
Promjena temperature (°C)	Promjena 15% vrijednosti prosječne temperature u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one koja je utvrđena u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je dobivena izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda.
Promjena električne vodljivosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Promjena 15% vrijednosti električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one koja je utvrđena u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je dobivena izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda.

Prema tome, tijela geotermalnih voda s visokom razinom pouzdanosti su u lošem količinskom stanju ako:

- (a) postoji promjena 15% vrijednosti prosječne temperature u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one koja je utvrđena u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je dobivena izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda,
- (b) je mjerenjima utvrđeno smanjenje izdašnosti, sniženje razine vode ili tlaka u bušotinama koje je veće od onih koji odgovaraju eksploatacijskoj količini za koju je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda.

U suprotnim uvjetima, te ako se geotermalna voda ne zahvaća (ne koristi), ili ako postoji utiskivanje (vraćanje) iskorištene vode u vodonosnik, tijela geotermalnih voda su u dobrom količinskom stanju s visokom razinom pouzdanosti.

Niska razina pouzdanosti za dobro količinsko stanje je primijenjena ako nema kontinuiranih mjerenih podataka o količinama i razinama vode, ali postoje saznanja o njihovoj nepromjenljivosti ili ako su utvrđene male promjene kemizma.

S druge strane, niska razina pouzdanosti za loše količinsko stanje je primijenjena ako nema mjerenih podataka o količinama i razinama vode, a postoje saznanja o prvobitno većim količinama geotermalne vode.

5.3. Postupak ocjene rizika za tijela geotermalnih voda

Za tijela geotermalnih voda ocijenjena u dobrom stanju, procjena rizika razmotrena je sa stajališta nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja stanja cjeline podzemnih voda“. Za tijela geotermalnih voda ocijenjena u lošem stanju, rizik je analiziran s obzirom za nepostizanje cilja „postići dobro stanje podzemnih voda“.

Pristup ocjeni rizika od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja kemijskog stanja tijela geotermalnih voda“

Tijela geotermalnih voda su s visokom razinom pouzdanosti u riziku ako srednje vrijednosti koncentracija barem jednoga analiziranog pokazatelja iz Tablice 5.2.1. prelaze 75% vrijednosti standarda kakvoće geotermalnih voda (analogno graničnoj vrijednosti za pokazatelje standarda kakvoće „hladne“ podzemne vode u Planu upravljanja vodnim područjima 2016-2021) na barem jednoj lokaciji mjerne postaje. U suprotnom, tijelo geotermalnih voda nije u riziku, a pouzdanost je visoka.

Niska razina pouzdanost za tijela geotermalnih voda u riziku primijenjena je ako nema podataka o koncentracijama barem jednoga pokazatelja, a okolišni uvjeti su takvi da se može pretpostaviti da taj pokazatelj prelazi 75% vrijednosti pokazatelja iz Tablice 5.2.1. Ako nema podataka o koncentracijama barem jednoga pokazatelja, a okolišni uvjeti su takvi da se može pretpostaviti da taj pokazatelj ne prelazi 75% vrijednosti pokazatelja iz Tablice 5.2.1., tijelo geotermalnih voda nije u riziku, a pouzdanost je niska.

Pristup ocjeni rizika od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja količinskog stanja tijela geotermalnih voda“

Tijelo geotermalnih voda je u riziku s visokom razinom pouzdanosti ako je mjerenjima utvrđen:

- (a) trend promjene prosječne temperature u standardnim uvjetima eksploatacije,
- (b) trend sniženja razine vode ili tlaka u bušotinama.

Pouzdanost ocjene se temelji na raspoloživosti podataka.

Ako nisu utvrđeni trendovi promjene temperature i smanjenja izdašnosti, odnosno razina vode ili tlaka u bušotinama, te ako postoji utiskivanje (vraćanje) iskorištene vode u vodonosnik, tijelo geotermalnih voda nije u riziku. Pouzdanost ocjene također se temelji na raspoloživosti podataka.

Pristup ocjeni rizika od nepostizanja cilja „postići dobro stanje geotermalnih voda“

Procjena rizika od nepostizanja cilja „postići dobro stanje geotermalnih voda“ načinjena je za tijela geotermalnih voda ocijenjena u lošem stanju. S obzirom na raspoloživost podataka i mogućnost eliminiranja ugroze koja uzrokuje loše stanje tijela u predstojećem planskom ciklusu, pouzdanost ocjene je ekspertnom procjenom određena kao visoka ili niska.

6. Tijela geotermalnih vodonosnika

Iz svega analiziranog, izdvojena su 18 geotermalnih tijela i to 3 tijela u panonskim naslagama (pijesci, pješčenjaci srednjeg i gornjeg Panona) te 15 tijela u predkenozoiskim naslagama (raspucanim karbonatima ili/i magmatskim/metamornim stijenama). S time da je njih 16 na području panonskog bazena te jedno na području Istre, a jedno u unutrašnjim Dinaridima.

6.1 Istarsko geotermalno tijelo

Istarsko geotermalno tijelo čija je površina 60.4 km², smješteno je u centralnom dijelu istarskog poluotoka. Izvorište termalne vode nalazi se u Istarskim toplicama i koristi se u liječenju od 1817. godine (Kuhta, 1996). Trenutni koncesionar je Lječilište Istarske Toplice čija koncesija iznosi 20.000,00 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljena od 2 L/s, a izdana je prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14).

Za interpretaciju geološko-strukturnog sklopa, uz postojeće 2D seizmičke profile, korištena je objavljena literatura sljedećih autora Pleničar et al., 1965 (OGK, list Trst); Šimunić, 1981; Šimunić, 2008; Matičec, et al., 2008; Kuhta, 1996. Okolica Istarskih toplica izgrađena je iz naslaga gornje krede, paleogena i kvartara. Kredne, cenomanske naslage otvorenijeg i dubljeg šelfa izgrađuju stijene mikritnog matriksa uz promjenjivu količinu foraminifera, rudistnog kršja. Slojevi su debljine od nekoliko centimetara do preko 1 m. Ukupna debljina cenomanskih naslaga iznosi približno 400 m. Paleogenske, donje eocenske naslage diskordantno naliježu na cenoman, zastupljene su milolitnim i alveolitnim vapnencima sa slabije izraženom slojevitošću uslijed osebujnog načina trošenja i tektonske poremećenosti naslaga. Ritmičko izmjenjivanje šljunkovito-pjeskovito-siltoznih sedimenata, izražena gradacija zrna, oštar kontakt pješčenjaka s laporima u podini te pojave orijentiranih sedimentnih tekstura i bioglife. Naslage su obilježene obiljem fosila i lateralno promjenjivim debljinama slojeva. Gornjoeocenska starost utvrđena je nalazom vrste *Globigerina corpulenta* u laporima koji se nalaze jedino na uzvišenjima s južne i sjeverne strane doline Mirne, u području oko Momjana, Buja i Oprtija. Ukupna debljina istaloženih eocenskih klastita i fliša u području Istarske županije može iznositi između 300 i 700 m. Naslage kvartara su zastupljene brečama nastalim trošenjem cenomanskih vapnenaca s blokovima veličine od 1 m³ pa i većih, glinovitog veziva s boksitičnim obilježjima te aluvijalnim naslagama rijeke mirne. Ukupna debljina naslaga je do 30 m.

Tektonski se Istarske toplice nalaze na području dodira tektonskog prodora Savudrija-Buzet i Pazinskog paleogenskog bazena. Pojava geotermalnih voda vezana je uz dotoke iz većih dubina te se općenito smatra da ove vode dotječu s juga iz područja Pazinskog paleogenskog bazena. Također se smatra da visoka mineralizacija je posljedica utjecaja ugljena, no za potvrdu ove hipoteze potrebno je analize sumpora u sulfatima iz vode i samim ugljenima.

Pružanje Bujske antiklinale (ZSZ-III) odudara od dinarskog pravca pružanja (SZ-JI). Najnovija strukturna istraživanja u području bušotine u Istarskim toplicama ukazuju na postojanje

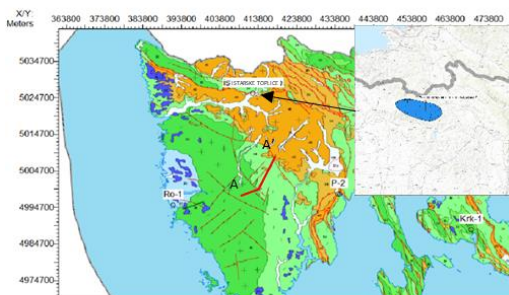
struktura s dinarskim značajkama, što nesumnjivo znači da odstupanje Bujske antiklinale od dinarskog pravca pružanja ne predstavlja lokalnu devijaciju stresa tijekom izdizanja Dinarida u paleogenu-neogenu, već da je to mlada neotektonska struktura nastala u uvjetima recentnog režima stresa. Na površini se duž frontalnog rasjeda nalaze naslage donjeg cenomana u kovinskom sjevernom bloku i naslage fliša u južnom bloku. Bušenjem su dokazane fliške naslage te naslage paleogenskih vapnenaca na dubini od 350 m.

Interpretacijom geofizičkih podataka, 2D seizmičkih profila potvrđeno je postojanje rasjeda te složena građa podzemlja. Priloženi složeni 2D seizmički profil, sastavljen od profila IST-3V-83 i IST-4V-83, snimljen je području Istre istočno od Istarskih toplica, potvrđuje postojanje složenog rasjednog sklopa u području donjokredno-cenomansko-eocenskih naslaga (slika 6.1.1).

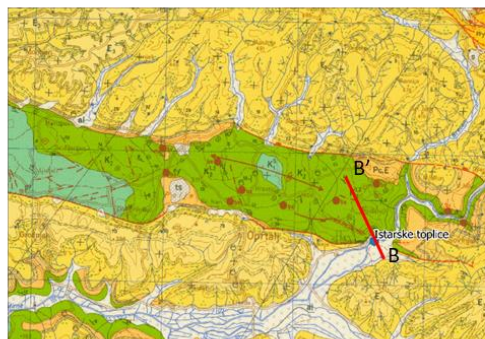
Nastanak lječilišta Istarske toplice zasnivalo se na pojavi prirodnog istjecanja termo-mineralne vode na tri izvora. Danas se voda koristi samo iz jednog izvora (Izvor u kupki) koji se u novijoj literaturi naziva Glavno vrelo (Kuhta, 1996). Početkom 90-ih godina prošlog stoljeća izbušeno je 8 bušotina, a radove je vodio INA-Geološki konzalting. Prema podacima o karakterističnim parametrima vode Glavnog vrela navedenim u Kuhta (1996), temperatura vode do 1990. godine u pravilu je izmjerena u iznosima od 30 °C do 34.5 °C, vjerojatno ovisno od hidrološkim uvjetima. Koncentracije sulfata u vodi su bile preko 350 mg/L, kalcija preko 380 mg/L, natrija preko 590 mg/L, a klorida veće od 1300 mg/L. Početkom 90-tih godina, temperatura vode je izmjerena u iznosu od samo 22 °C, a koncentracije prethodno navedenih pokazatelja su znatno smanjene (sulfati < 100 mg/L, kalcij 182 mg/L, natrij oko 200 mg/L, te kloridi oko 500 mg/L). Vjeruje se da je u uvjetima prirodnog istjecanja vode na Glavnom vrelu izdašnost izvora iznosila 1-3 L/s, a 1996. je bila 5-7 L/s. Sniženje temperature vode i koncentracije navedenih kemijskih pokazatelja, te povećanje izdašnosti povezuje se s pojačanim dotokom hladne vode (Kuhta, 1996).

GEOTERMALNO TIJELO "ISTARSKO"

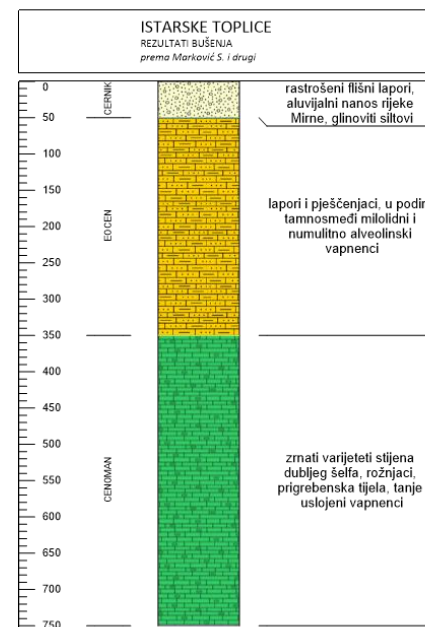
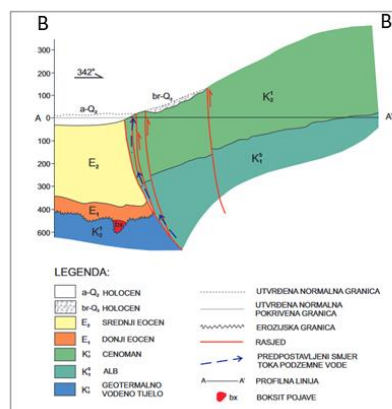
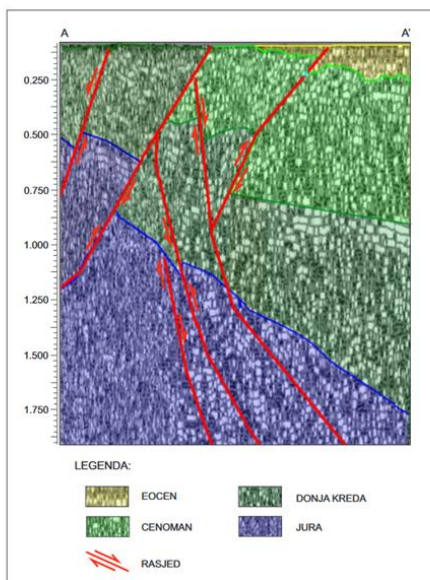
ISTARSKI POLUOTOK – GEOLOŠKA KARTA



ISJEČAK IZ GEOLOŠKE KARTE – BUJSKA ANTIKLINALA



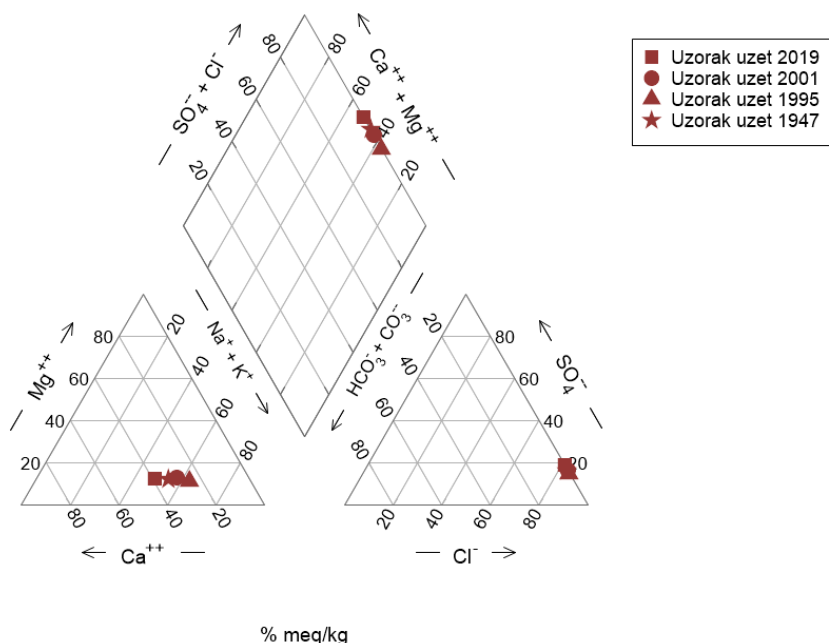
SLOŽENI SEIZMIČKI PROFIL



Slika 6.1.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja na području Istarskog geotermalnog tijela

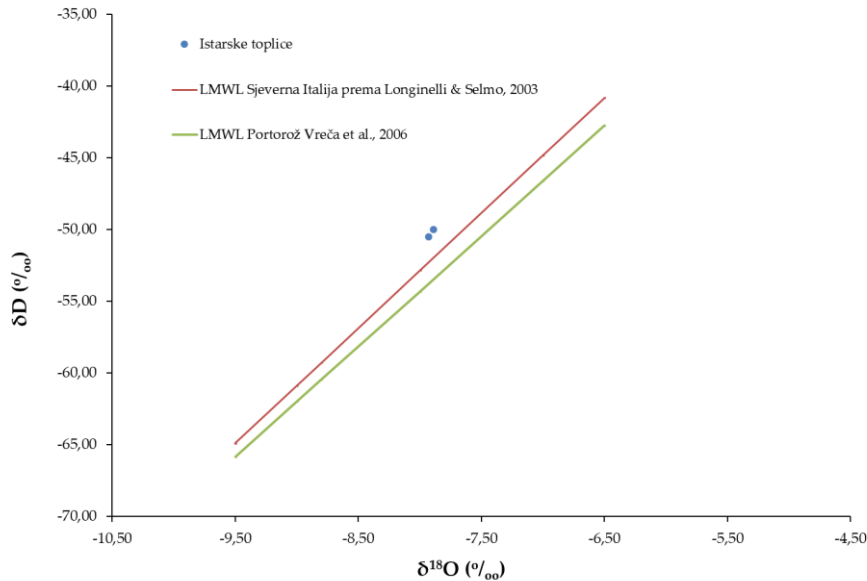
U neposrednoj blizini lječilišta nalazi se izvor Bulaž koji se koristi za potrebe javne vodoopskrbe. Prvi hidrotehnički zahvati na izvoru koji su načinjeni su 1983. Tijekom 1988. godine izveden je novi hidrotehnički zahvat i načinjen je novi preljevni objekt. Analiza utjecaja izvora Bulaž na sniženje temperature vode u Istarskim toplicama satojalo se od snižavanja razine izvora ispod tadašnjeg preljeva (Kuhta, 1996). Nakon tog zahvata mjerenjima je utvrđeno povećanje temperature termalne vode na 34-35 °C, porast elektrolitičke vodljivosti, te porast svih karakterističnih pokazatelja kemijskog sastava vode koje su dosegle vrijednosti zabilježene pedeset godina prije ovog pokusa. Istovremeno je utvrđeno i povećanje radioaktivnosti vode. Općenito je poboljšanje stanja termalne vode utvrđeno u uvjetima niskih voda, međutim u uvjetima visokih hladnih voda sniženje temperature termalne vode je i dalje veliko. U prosincu 2019. godine kada su razine vode bile razmjerno visoke, temperatura termalne vode je izmjerena u iznosu od 25 °C.

Opisana promjena kemizma kao posljedica utjecaja hladne vode zapaža se i na slici 6.1.2. gdje se vidi promjena tipa voda od NaCa-ClHCO₃SO₄ tipa u uzorcima voda analiziranih prije 1983. godine u CaNa- HCO₃ClSO₄ tip u uzorcima voda analiziranih u 2019. godini. jer dolazi do promjena koncentracija odnosno snižavanje koncentracija osobito veće snižavanje koncentracija klorida, sulfata i natrija. Isto tako, drastično je smanjena koncentracija sumporovodika u vodi koja je u starim mjerenjima iznosila između 33-35 mg/L dok u mjerenju 2019. iznosi 3,8 mg/L.



Slika 6.1.2. Piperov dijagram geotermalne vode kroz povijest

Isto tako, iz omjera stabilnih izotopa kisika-18 i vodika-2 vidljivo je da su geotermalne vode iznad lokalnih meteorskih linija (LMWL) za Portorož (Vreča et al., 2006) i sjevernu Italiju (Longinelli & Selmo, 2003) (slika 6.1.3) što ukazuje da se radi o vodama čije je podrijetlo oborinsko. No razlog u pomaku $\delta^{18}\text{O}$ može ukazivati da je riječ o starim paleo vodama kada je srednja godišnja temperatura na priljevnom područja izvora bila između 5-7 °C i/ili zbog geokemijske reakcije transformacije sumpora u sumporovodik.



Slika 6.1.3. Raspodjela stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u termalnim vodama Istarskih toplica

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su nitrati, pesticidi, trikloretilen i tertrkloretilen su ispod granice detekcije mjerenja (Tablica 6.1.1).

Tablica 6.1.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 4 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2019; Juršić-Mitrović, 2001; Kuhta, 1996; Miholić, 1947)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 1996.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 1996.)
Od NaCa- $\text{ClHCO}_3\text{SO}_4$ do CaNa- $\text{HCO}_3\text{ClSO}_4$	4580 - 2750	34,5 - 22	<0,1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma termalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u lošem kemijskom stanju. Pouzdanost je visoka. Utvrđeno je da dotok hladne vode iz plićih vodonosnika utječe na sniženje temperature, elektrolitičke vodljivosti, kalcija, natrija, klorida, sulfata i sumprovodika odnosno specifičnih kemijskih pokazatelja i radioaktivnosti koji tu vodu karakteriziraju za njenu namjenu. Pretpostavlja se da je ovakva situacija posljedica brojnih zahvata provedenih u okolici Istarskih toplica (Kuhta, 1996).

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro, no to nije zbog prethodno navedenog povećanja izdašnosti od oko 4 L/s jer je to povećanje ostvareno dotokom hladne vode što se odrazilo na temperaturu i kemijski sastav termalne vode već zato što je zahvaćena količina geotermalne vode uglavnom ista. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na radnje koje je potrebno poduzeti da bi se ostvarila određena poboljšanja (hidrogeološka istraživanja, istražna bušenja, projektiranje zahvata i u konačnici, njegova izvedba) ocjenjeno je da je Istarsko TGV u riziku od nepostizanja cilja „postići dobro stanje geotermalnih voda“ u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.2. Ciglensko geotermalno tijelo

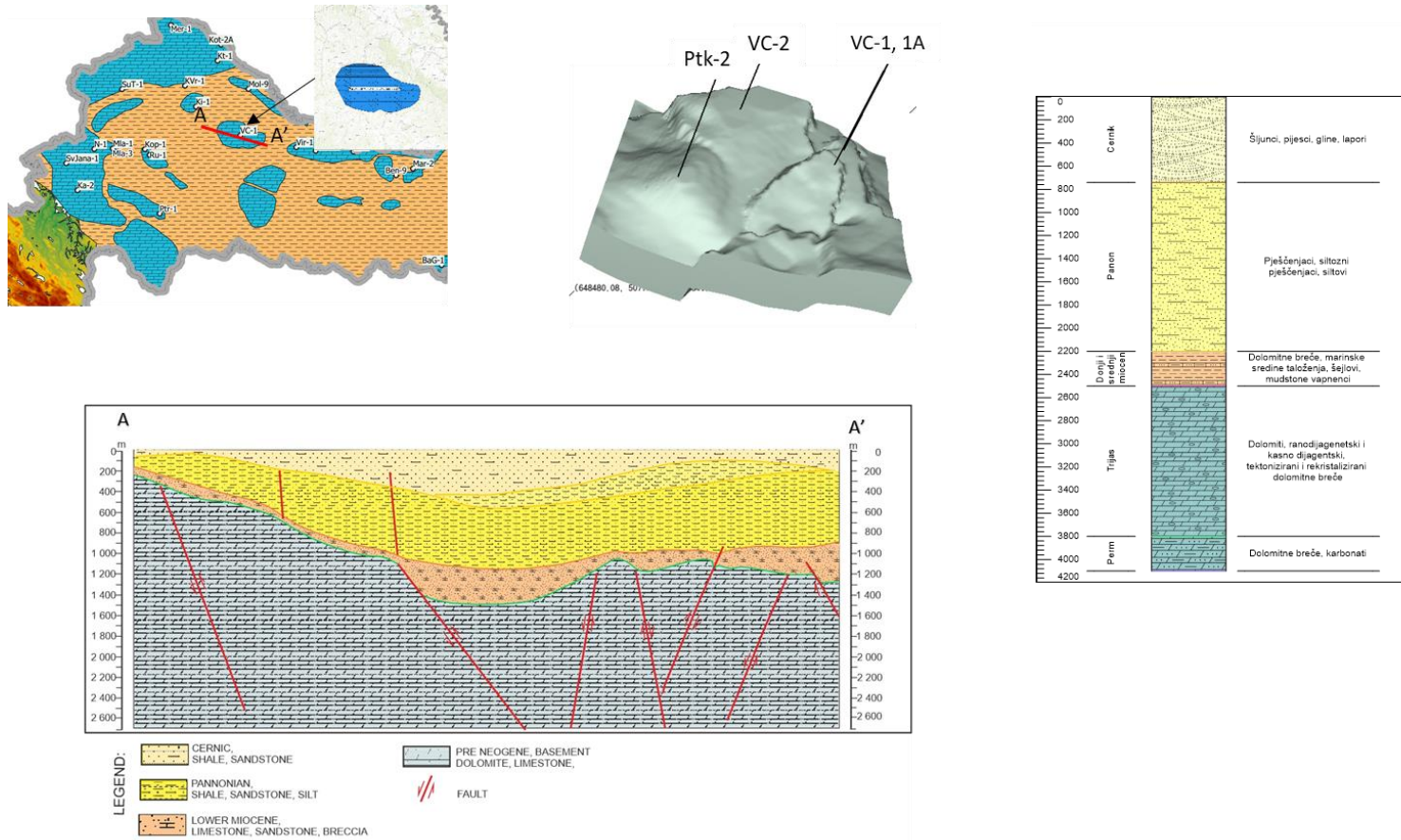
Ciglensko geotermalno tijelo čija je površina 364.8 km² smješteno je u Bjelovarskoj depresiji koja je dio Dravske depresije. Na području ovog TGV trenutno se nalazi samo jedan korisnik odnosno koncesionar, a to je GEOEN d.o.o koji je zajedno s turskim partnerom MB Holdingom izgradio prvu geotermalnu elektranu u Hrvatskoj Velika-1 kraj mjesta Ciglana čija je maksimalna snaga 16,5 MW_e a proječna je 10 MW_e. Geotermalna elektrana proizvodi električnu energiju od prosinca 2018 (kada je započela testna proizvodnja), a službeno je puštena u rad od ožujka 2019. Trenutna koncesija prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji

ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) iznosi s maksimalnom količinom crpljena (samoizljeva) od 104 L/s na površini geotermalnog polja od 5.94 km². Količina samoizljeva se kontrolira koliko električne energije treba proizvesti, a to ovisi o godišnjem dobu. Trenutna prosječna količina samoizljeva je 55 L/s (prema navodima korisnika).

Na promatranom prostoru stratigrafska pripadnost raskrivenih formacija jasno je definirana tercijarnim, mezozojskim i permskim sedimentnim slijedovima. Permski karbonati čine podlogu geotermalnog vodonosnika, mezozojski karbonati čine geotermalni vodonosnik, a tercijarne klastične stijene imaju pokrovnu i izolirajuću ulogu.

Naslage srednjetrijaske starosti nabušene su u svim bušotinama ovoga lokaliteta. Naslage izgrađuju dolomiti (ranodijagenetski i kasnodijagenetski), tektonizirani i rekristalizirani dolomiti i dolomitne breče, koji su na bušotini VC-1 debljine od oko 1300 m.

Nedostatak sedimenata od gornjeg trijasa do donjeg miocena svjedoči o dugotrajnoj emerziji i intenzivnom površinskom trošenju karbonata, što je uzrokovalo nastajanje većeg broja intervala visoke propusnosti. Utvrđene su u sve četiri bušotine, a debljina im dosta varira i kreće se od 30 do 200 m. Ovaj transgresivan slijed počinje dolomitnim brečama izrazito marine sredine taloženja. Na njima slijede pješčenjaci pa karbonati s proslojcima fosilifernih šejlova te mudstone vapnenci.



Slika 6.2.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja Ciglenog geotermalnog tijela

Gornji miocen razvijen je u debljini od preko 1600 m. Započinje s laporovitim vapnencima koji kontinuirano prelaze u vapnene lapore. Slijed se nastavlja s laporima, u manjoj mjeri s pješčenjacima, pa s glinovitim laporima i s pješčanim slojevima. Facijesi taloženja mijenjaju se od prodelte-deltafronti prema fluvijalno-limničkom karakteru.

Strukturno-raspucana građa područja Ciglene na prostoru Bjelovarske depresije obilježena je transkurentnim desnim razmicanjima duž Bilogore, što se rezultiralo s maksimalnim stresom sjever-sjeverozapad - jug-jugoistok.

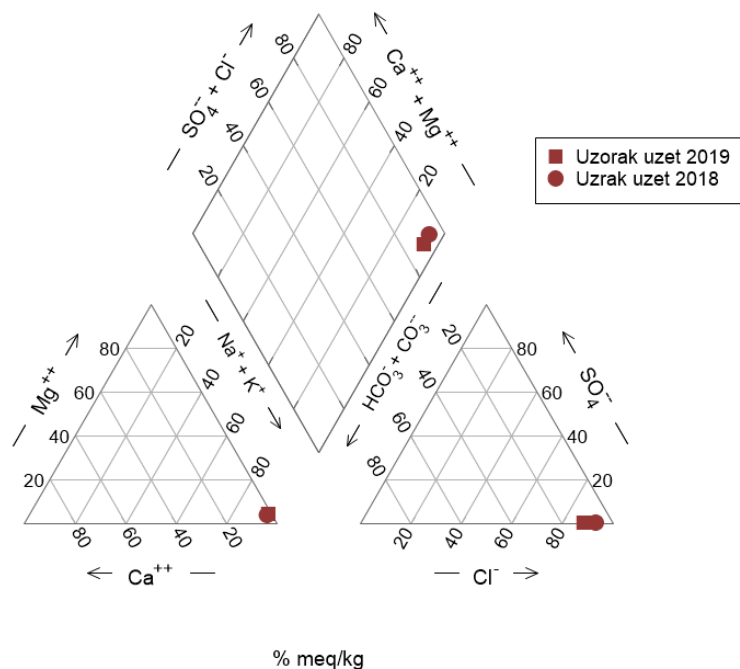
Rasjedi reversnog karaktera, duž kojih su utvrđene super propusne zone, danas su pretežito orijentirani tako da su njihovi pukotinski sustavi i fragmenti milonitnog krša uz njih, zahvaljujući minimalnom stresu, otvoreni za protjecanje geotermalne vode. Duž tih starijih reversnih rasjednih sustava karbonatni blokovi navučeni su jedni preko drugih, strukturno ih je moguće definirati kao navlake uzrokovane rasjedanjem (eng. fault bend fold). Navlačenje je dio kredno paleogenske do oligocenske intenzivne kompresijske faze.

Na području tijela nalaze se četiri bušotine koje se koriste za proizvodnju električne energije u geotermalnoj elektrani Velika-1. Dvije bušotine su proizvodne i to VC-1 i VC-1A, a utisne su VC-2 i Ptk-1. Međutim na području ima još dubokih bušotina koje su nabušile geotermalni vodonosnik no one su napuštene (likvidirane) ili ih koristi INA za proizvodnju plina.

Navedena struktura omogućila je da su u vodonosniku (na dnu bušotina) mjerene temperature od 175°C dok na samoizljevu bušotina sada u vrijeme kada se proizvodnja ustalila temperatura iznosi 166°C. Tlak u vodonosniku je preko 300 bara, a na glavi bušotine 30 bara. Količina koja se može samoizljevati je 114 L/s (bušotinsko izvješće VC-1 i VC1A, INA, 1990). Ovakva količina samoizljeva je posljedica visoke propusnosti karbonatnih naslaga koje izgrađuju vodonosnik. DST testovima utvrđene su sljedeće vrijednosti za koeficijent vertikalne propusnosti od 13,3 mD, a horizontalne 350 mD dok poroznost iznosi 36%. Sva voda koja se iskoristi, ohlađena na 75°C vraća se kroz dvije utisne bušotine (VC-2, Ptk-1) natrag u vodonosnik. Ovakvo korištenje geotermalnih vodonosnika predstavlja najbolju praksu jer se ne ugrožava količinsko stanje u vodonosniku te osigurava učinkovito upravljanje ovim geotermalnim resursom.

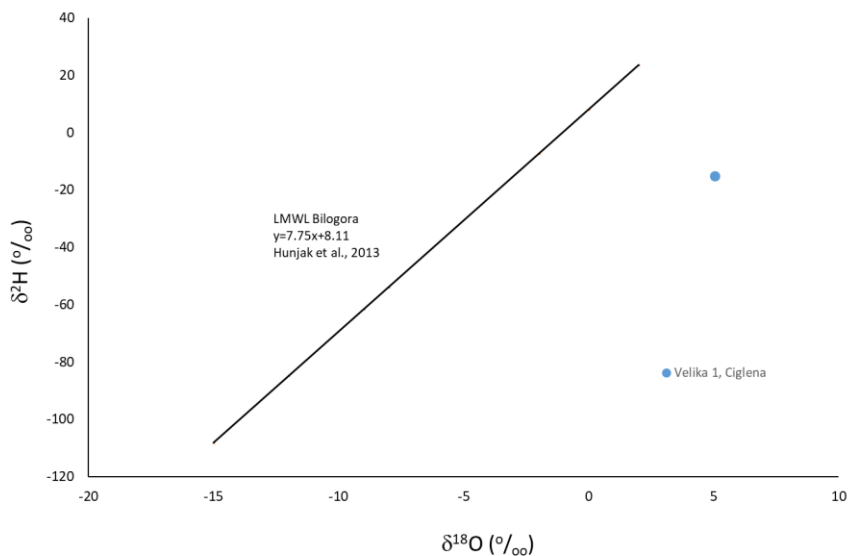
Geotermalnu vodu karakterizira izrazito visoke koncentracije natrija koje se kreću od 9108 do 9667 mg/L, klorida od 13 300 do 14 800 mg/L, kalcija od 128 do 160 mg/L, magnezija od 190 do 221 mg/L, hidrogenkarbonata od 1449 do 2860 mg/L. Također, u vodi su zabilježene znatne količine litija oko 40 mg/L, amonija oko 24 mg/L, joda 9,5 mg/L i bromida 57 mg/L, ali i plinova jer sadržava 300 ppm CO₂ i 59 ppm H₂S te nešto malo oko 1 ppm N₂ plina. Zbog postojanja dušikovog plina u vodi, prilikom izlaska na površinu terena dolazi do promjene oksidativnog stanja te se uz plin u vodi pojavljuju otopljeni nitrati i amonijak.

Obzirom na svoj osnovni kemijski sastav, geotermalne vode, ovoga TGV pripadaju Na-ClHCO₃ tipu voda (slika 6.2.2).

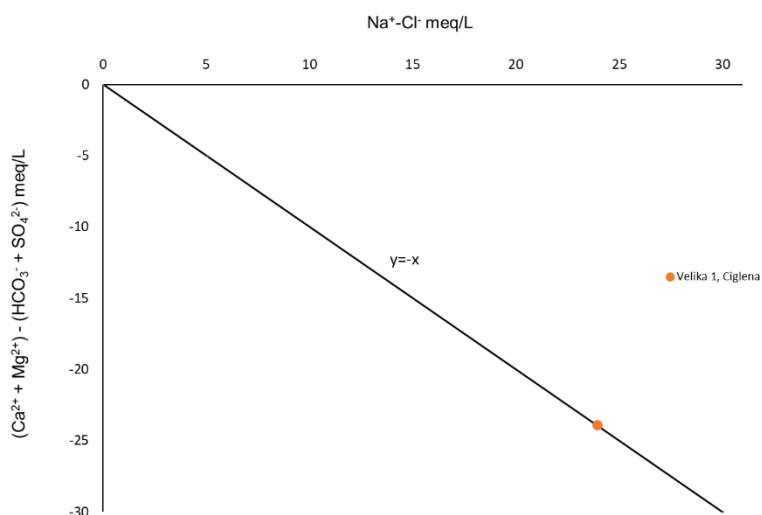


Slika 6.2.2. Piperov dijagram uzorkovanih voda

Iz izmjerenih omjera $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ vidljivo je da su uzorci oko LMWL Biologora (Hunjak et al., 2013) što ukazuje na oborinsko podrijetlo (slika 6.2.3). Međutim vrijednosti su dosta pomaknute u desno što ukazuje na utjecaj reakcije vode i stijene u vodonosniku uzorkovanim velikom temperaturom, ali i tlakom. Da se radi o reakciji između vode i stijene u samom vodonosniku vidljivo je na bivarijatnom dijagramu (slika 6.2.4) koji ukazuje na kationsku izmjenu koja je posljedica ove reakcije. Isto tako, iz omjera Cl/Br koji je u rasponu od 250 do 300, moguće je pretpostaviti da je geotermalna voda mješavina paleooborina i naftne vode. Geotermalna voda je neaktivna obzirom na izmjerene koncentracije aktivnosti ^{14}C odnosno što bi značilo da je voda starija od 50 000 godina (mjereno tijekom provedbe DARLINGE projekta, 2018).



Slika 6.2.3. Raspodjela stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u geotermalnim vodama VC-1 i VC-1A



Slika 6.2.4. Bivarijantni dijagram $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ vs $(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od 1 do 10 mg/L (Tablica 6.2.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.2.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 3 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2019; analiza u sklopu projekta DARLINGe 2018; analiza u sklopu bušotinskog izvješća za bušotine VC-1 dobivenog od AZU, 1990)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno, 2018)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno, 2018)
Na-ClHCO ₃	24345 - 24685	170 - 166	1 - 10	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro te se sva iscrpljena voda nakon korištenja ponovo vraća u vodonosnik što predstavlja najbolju praksu jer se ne ugrožava količinsko stanje u vodonosniku te osigurava učinkovito upravljanje ovim geotermalnim resursom. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na kemijsko i količinsko stanje, te način korištenja geotermalne vode, Ciglenko TGV nije ni u kakvom riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.3. Zagorsko geotermalno tijelo

Zagorsko geotermalno tijelo čija je površina 653.3 km² smješteno je na području Hrvatskog zagorja te zauzima prostor sjeverozapadno od Konjšćinske sinklinale (slika 6.3.1). Trenutni koncesionari na području Zagorskog TGV čije koncesije ili vodopravne dozvole su izdane prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) su: (1) Terme Tuhelj čija koncesija iznosi od 500.000,00 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljena od 30 L/s; (2) Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Krapinske Toplice čija vodopravna dozvola iznosi 535.000,00 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljena od 23 L/s; (3) Vodeni park AQUAE VIVAE d.d. čija koncesija iznosi 365.000,00 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljena od 11,7 L/s. Kod navedenih korisnika geotermalna voda se koristi u rekreacijske, balneološke i medicinske svrhe te za grijanje prostora, direktnim sustavom kao što je slučaj u vodenom parku, a u bolnici i tremama se voda dogrijava prije upuštanja u sustav grijanja. Coca-Cola Beverages Hrvatska d.d. također je do 2015. godine imala koncesiju za punjenje izvorske termomineralne vode u mjestu Gotalovec no kompanija je odustala od punionice. Do 2018. godine Ivančica d.d. imala je koncesiju za korištenje geotermalne vode u Sutinskim

Toplicama za rekreacijske svrhe (bazene), no i ova firma je odustala od ove koncesije odnosno korištenja još 2015. godine kada su bazeni napušteni.

Za interpretaciju geološko-strukturnog sklopa i određivanje opsega tijela uz dobivene 2D seizmičke profile te određivanje hidrogeoloških i geokemijskih obilježja korištena je sljedeća literatura: Gorjanović-Kramberge, 1894, 1897; Miholić, 1940; Milholić i Trauner, 1952; Šimunić i Hećimović, 1981 te istraživanja provedena u sklopu DARLINGe projekta i izradu elaborata za koncesije (Larva et al., 2018; Marković et al., 2018).

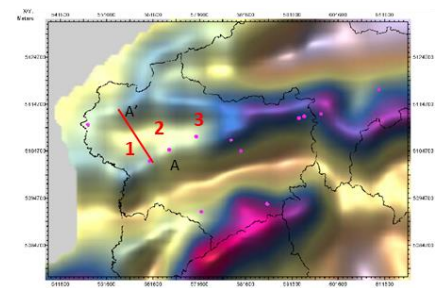
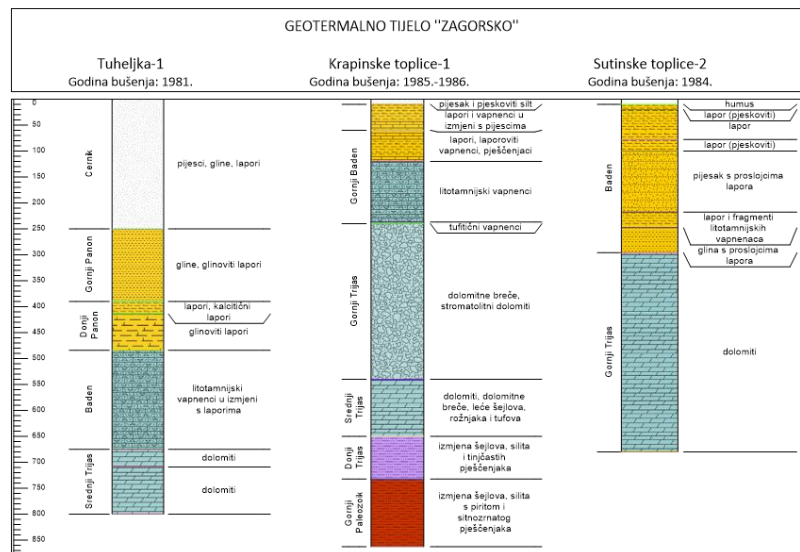
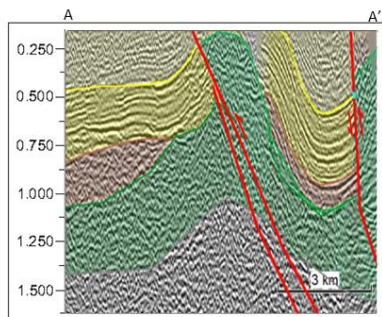
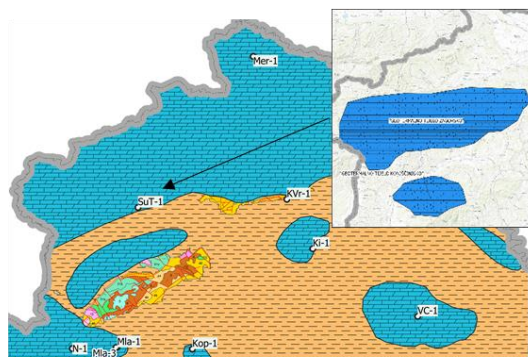
Zagorsko geotermalno tijelo odijeljeno je normalnim od Konjščinske sinklinale rasjedom smjera pružanja jugozapad sjeveroistok (slika 6.3.1). Na seizmičkoj sekciji koja prolazi okomito na smjer pružanja rasjeda, interpretiran je skok rasjeda 750 ns. Sinklinalni dijelovi cjeline vodenog tijela dubine su do 0,7 s, za razliku od duboke Konjščičke sinklinale gdje je dubina neogena, označena kao područje definiranog seizmičkog signala veće od 1,7 s. Sjeverni antiklinalni dio promijenjenog je smjera pružanja i vjerojatno je pod jačim utjecajem tektonskih pokreta u Murskom bazenu. Os sinklinale predstavlja granicu između Varaždinsko i Zagorskog geotermalnog tijela. Na obodu antiklinale, uz normalan rasjed, smještene su Krapinske Toplice, Tuheljske Toplice, Šemničke i Sutinske Toplice. Uz rub sjeverne antiklinale postojao je izvor geotermalne vode Harina Zlaka.

Na podlozi, gornjo paleozojskim šejlovima, silitima i pješčenjacima, transgresivno naliježu naslage sličnih karakteristika, no donjo trijasko starosti. Srednje trijasko naslage predstavljene su s dolomitima, dolomitnim brečama te se javljaju leće rožnjaka, šejlova i tufova. Gornji trijasko naslage su razni varijeteti karbonatnih, dolomitnih stijena, prevladavaju dolomiti, dolomitne breče i stromatolindni dolomiti. Trijaski kompleks je glavni geotermalni vodonosnik.

Neogenske naslage su predstavljene litotamnijskim vapnencem u izmjeni s laporima. Kada naliježu na trijasko dolomite, litotamnijski vapnenaci hidraulički su povezani s dolomitnim geotermalnim vodonosnikom. U gornjem badenu talože se lapori, laporoviti vapnenci i pješčenjaci.

Panonske naslage su različitih debljina, a na području sinklinale Zagorskog geotermalnog tijela do 700 m. Donji panon je predstavljen laporima i kalcitičnim laporima koji u gornjem panonu prelaze u glinovite lapore i gline. Cernik je zastupljen laporima, glinama i pijescima. Pijesak, pjeskoviti silt najmlađe su naslage.

GEOTERMALNO TIJELO "ZAGORSKO"



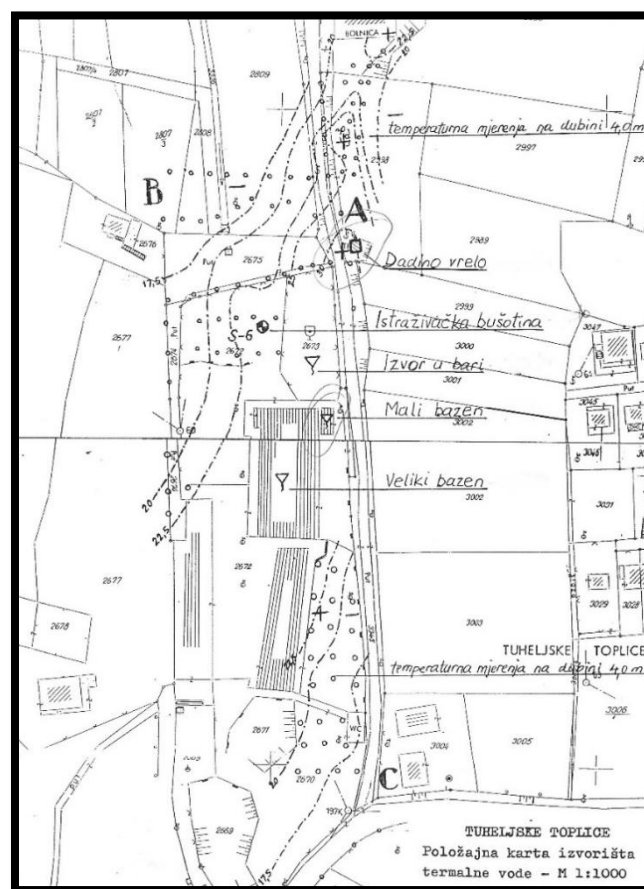
Slika 6.3.1 Geološka, strukturno-tektonska obilježja Zagorskog geotermalnog tijela

Tuheljske toplice (1)

Tuheljske toplice smještene su u antiklinalnom pojasu koji se proteže od Cesargradske gore na jugozapadu preko Krapinskih toplica, Šemnice i Strugače na sjeveroistoku. Izvorište se sastoji od četiri uzlanih izvora koji se pojavljuju na nekoliko mjesta (slika 6.3.2):

- *Dadino vrelo*
- *Vrelo u bari*
- *Veliki bazen*
- *Mali bazen*

Od koji su najvažniji *Dadino vrelo* i *Mali bazen* jer su kaptirani (slike 6.3.2 i 6.3.3).



Slika 6.3.2. Prostorni raspored izvora na području Tuheljskih Toplica (preuzeto Mayer et al., 1997)

Dadino vrelo

Dadino vrelo je kaptirano 1937. godine, a obnovljeno je 1957. godine te se prema potrebi vrše građevinski zahvati na kaptazi i danas (slika 6.3.3). Mjesto izviranja termalne vode je u

litotamnijskim vapnencima. Havlik i suradnici su 1982. godine načinili pokusno crpljenje izvora te je s količinom od 16,5 L/s u trajanju od 16 h ostvareno ustaljenje razine podzemne vode. Sniženje razine podzemne vode bilo je $s=0,25\text{m}$, a temperatura voda je bila 32°C . Danas se crpkama ovisno o potrebama termi crpi do 16L/s.



Slika 6.3.3. Kaptaža *Dadino vrelo*

Mali bazen

Mali bazen je također kaptaža koja je izgrađena 1932. godine te obnovljena 1951. te se prema potrebi vrše građevinski zahvati na kaptaži i danas (slika 6.3.4). Mjesto izviranja termalne vode je u litotamnijskim vapnencima. Također su Havlik i suradnici 1982. godine načinili pokusno crpljenje izvora. S količinom od 14,5 L/s ostvarena je ustaljena razina sa sniženjem od $s=1,03\text{m}$. Temperatura voda je iznosila $32,5^{\circ}\text{C}$.



Slika 6.3.4. Kaptaža *Mali bazen* – bijela kućica

Vrelo u bari

Na ovoj točki izviranja termalna voda formira jezerce (baru). Voda nije zahvaćena te otječe u Mlinarski potok (slika 6.3.5).



Slika 6.3.5. Vrelo u bari

Havlik i suradnici su 1982. godine načinili mjerenje izdašnosti izvorišta u bari na sljedeći način: izmjerili su količinu u kanalu kroz koji protječe voda iz kaptaze *Dadino vrelo* i *Vrela u bari* i dobili izdašnost od 30L/s. Zatim su od te vrijednosti oduzeli izdašnost kaptaze te dobili izdašnost izvora u iznosu od 13,5 L/s.

Veliki bazen

Na dnu Velikog bazena također izvire termalna voda (slika 6.3.6). Temperature vode se kreću od 30-31 °C.



Slika 6.3.6. Izviranje termalne vode – mjehurići plina H₂S na površini

Na području izvorišta nalazi se i bušotina S-6 koja je izbušena 1971, (Havlik, 1971, slika 6.3.2). Bušotina je izbušena do dubine 150 m, a u intervalu od 13,7 do 53 m zabilježeno je dotjecanje termalne vode čija je temperatura bila 30,1°C (Havlik, 1971). Dotok vode se s dubinom povećavao i kretao se u intervalu od 0,3 do 5,5 L/s.

Na temelju istraživanja Šimunića i Hećimovića 80-tih godina prošlog stoljeća INA –Naftaplin buši bušotinu Tuheljka-1 (Britvić, 1981) koja se nalazi oko 700 m sjevernije od izvorišta. Ukupna dubina bušotine je bila 706 m, a na dubini od 674 m zabilježena je pojava termalne vode čija je temperatura bila 41 °C. Zbog toga što je temperatura vode u ovoj bušotini bila svega 10 °C viša od temperature vode na izvorištu, radovi su obustavljeni, a bušotina je likvidirana.

Ukupna izdašnost izvorišta do 90-tih je mjerena u dva navrata:

- 1962. godine Bać & Herak izmjerili su izdašnost od 85 L/s
- 1982. godine su Havlik i suradnici izmjerili izdašnost od 57,5 L/s, s time da su procijenili izdašnost u *Velikom bazenu*, a točno izmjerili izdašnost u kaptažama i *Vrelu u bari* koja je iznosila 44,5 L/s.

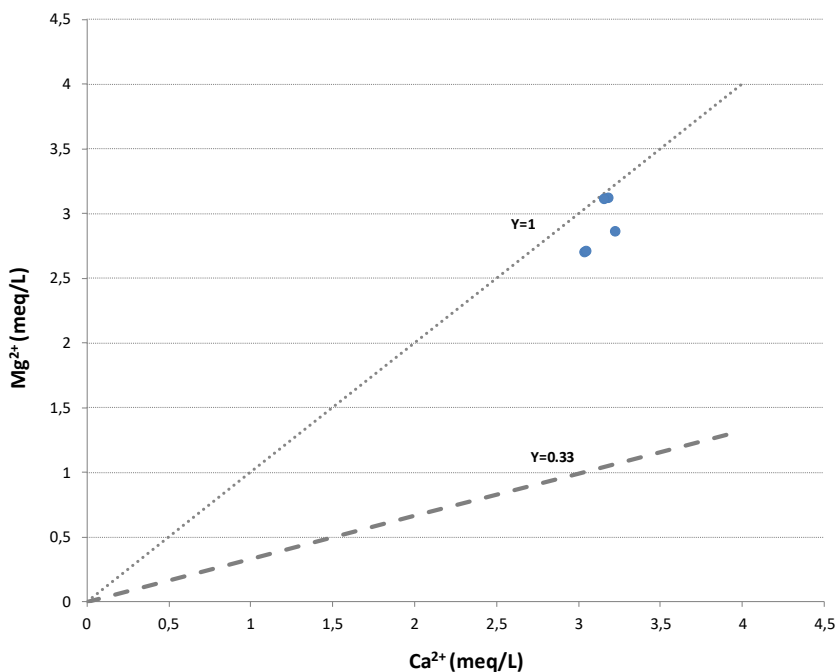
Tijekom provedbe Interreg projekta DARLINGe, ukupna izdašnost izvorišta u periodu od 2018. do 2020. mjerena je četiri puta:

- U veljači i prosincu 2018. godine, a ukupne izdašnosti su bile 70 L/s, i 75 L/s
- U ožujku 2019. godine izdašnost je iznosila 73,5 L/s
- U siječnju 2020. godine izdašnost je iznosila 74 L/s

Na izvorištu se zahvaća za potrebe termi maksimalno do 30-tak L/s što iznosi približno 40 % prirodnog istjecanja na izvorištu.

Usporedbom s oskudnim povijesnim podacima i novijim mjerenjima, zaključuje se da se dinamika istjecanja geotermalne vode nije značajnije promijenila tijekom godina.

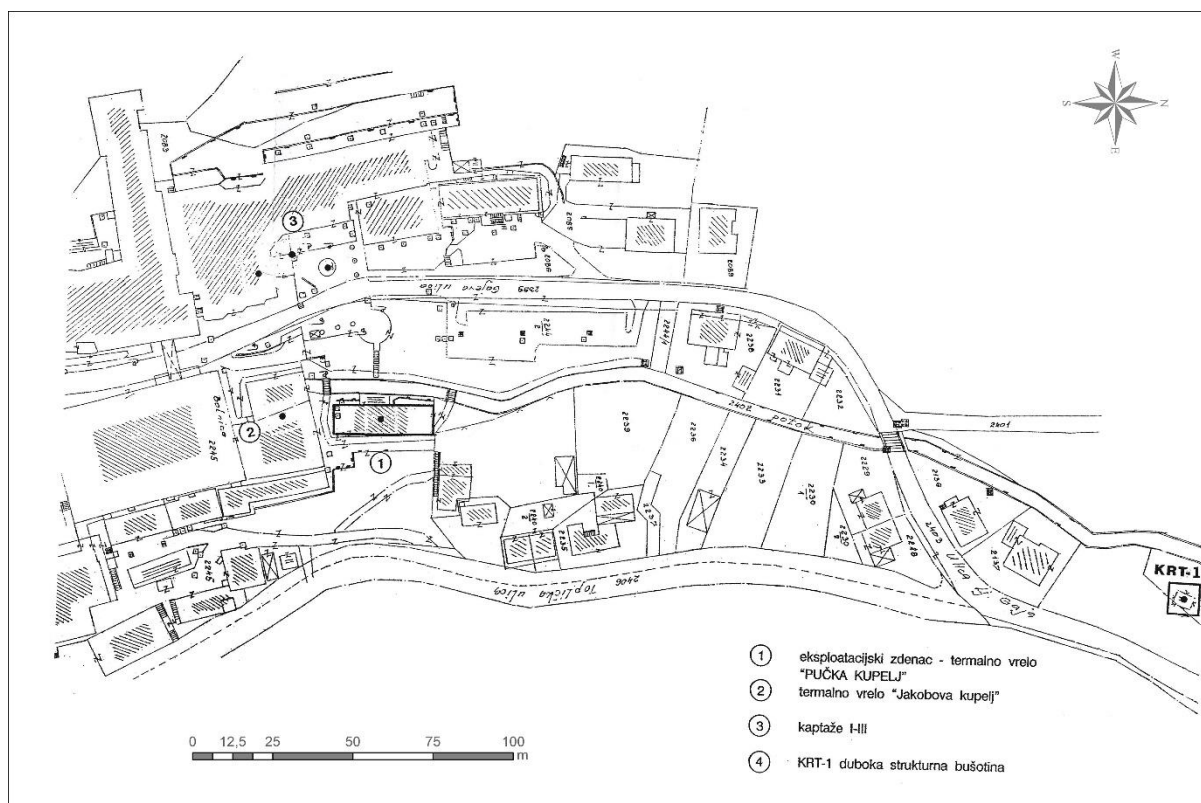
Iz omjera magnezija i kalcija Mg^{2+}/Ca^{2+} vidljivo je da je podrijetlo geotermalne vode na izvorištu iz dolomitnog vodonosnika jer omjer Mg^{2+}/Ca^{2+} koji je zabilježen u termalnoj vodi je 0,98. Omjer Mg^{2+}/Ca^{2+} za dolomite je 1. Tipičan omjer Mg^{2+}/Ca^{2+} za vodonosne sredine gdje je dominantno otapanje dolomita kreće se od 1 do 0,9 (slika 6.3.7). Primjećuje se ovisno o kada je uzorkovanje učinjeno da postaje blage varijacije u omjeru odnosno vrijednost se samnjuje što ukazuje na povećanje koncentracije kalcija što upućuje na utjecaj otapanja vapnenaca. U ovom slučaju to znači najvjerojatnije utjecaj "hladne" vode iz litotamnijskih vapnenaca koji naliježu na dolomite. Uočeno je kada je taj omjer manji (ispod 0,9) tada je temperatura niža (za 1°C), odnosno kada je temperatura niža veća je koncentracija kalcija, a manja koncentracija magnezija i obrnuto. Obzirom na utjecaj miješenja načinjen je inverzan geokemijski model da se izračuna koliki je udio hladne vode te da li bi mogao utjecati na količinsko i kemijsko stanje geotermalnog izvorišta. Korišten je PHREEQC model. Izračunate su vrijednosti udjela "hladne" vode iznosile za pojedina arhivska mjerena do maksimalno 5%.



Slika 6.3.7. Omjeri magnezija i kalcija u termalnoj vodi

Krapinske toplice (2)

Termalna vrela Krapinskih toplica izviru u uskoj dolini potoka Topličica na tri glavna izvora i niz izvora manje izdašnosti. Glavne su pojave termalnih vrela na prostoru Pučke i Jakobove kupelji. Temperatura vode na izvorištu je između 39,1 i 44 °C. Zbog rasta potreba za vodom iskopan je 1960. godine zdenac na mjestu Pučke kupelji. Daljnja istraživanja bila su usmjerena na ispitivanje mogućnosti dubokog zahvata geotermalne vode, što je 1986. godine rezultiralo izvođenjem geotermalne istraživačke bušotine KRT-1 (6.3.8). Iste godine počela je izgradnja stambeno-specijaliziranog Doma umirovljenika (danas Klinika Magdalena). Tijekom iskopa građevinske jame uklonjen je zaštitni sloj i otvorene su pukotine unutar laporovitih naslaga što je prouzročilo prodor termalne vode u građevinsku jamu. S ciljem zaštite režima istjecanja termalne vode na izvorištu i nastavka rada na objektu izvedene su 3 kaptaze iz kojih termalna voda ne preljeva.



Slika 6.3.8. Prostorni raspored vodnih objekata na području Krapinskih Toplica (preuzeto iz Dragičević et al., 2005)

Pučka kupelj

Nekada je na lokaciji izvora bio bazen na čijem su dnu bile postavljene hrastove daske. Danas se na mjestu izvora nalazi zdenac promjera oko 2 m. U izvještajima se navode različite dubine zdenca, ali se pretpostavlja da je najvjerojatnija dubina oko 6 m, što odgovara podacima navedenim u izvještaju Geotehnike iz 60-tih godina prošlog stoljeća (Crnolatic, 1966) kada su rađena ispitivanja ovog objekta. Kaptaža je uređena, zatvorena poklopcem i sa zaštitnom ogradom na vanjskoj granici prve zone sanitarne zaštite.

U zdencu se nalaze dvije crpke kapaciteta 14 L/s i 10 L/s. Zahvaćena voda koristi se za opskrbu termalnom vodom Bolnice, dijela Krapinskih Toplica, Aqua Vivae te bazena unutar Novog bolničkog objekta (NBO).



Slika 6.3.9 Pučka kupelj

Jakobova kupelj

Na mjestu izvora sagrađen je bazen koji se koristi za potrebe bolničke terapije . Na dnu bazena su hrastovi profili postavljeni u formi rešetke na način da termalna voda nesmetano ulazi u prostor bazena iz kojeg se preljeva i zatim odvodi u potok Topličinu. Osim Jakobovog bazena, termalnom vodom iz ovog izvora puni se i Marijin bazen koji se također koristi u balneološke svrhe. Oba bazena se nalaze unutar zgrade Specijalne bolnice za medicinsku rehabilitaciju čime je osigurana i zaštita izvora.



Slika 6.3.10 Jakobljeva kupelj

Istraživačko-eksploatacijska bušotina KRT-1

Istraživačko-eksploatacijska bušotina KRT-1 izvedena je 1986. godine (Vojić, 1986) nakon opsežnih geoloških, hidrogeoloških i geofizičkih istraživačkih radova. Dubina bušotine iznosi 862,5 m i zahvaća više vodonosnih intervala. Projektom je zamišljeno zahvaćanje termalne vode iz naslaga mlađeg paleozoika i donjeg trijasa. Međutim, zbog nezadovoljavajuće izdašnosti navedenih naslaga naknadno je izvršeno otvaranje gornjih vodonosnih intervala otpucavanjem. Na taj je način ovom bušotinom zahvaćen primarni vodonosnik trijasko starosti, te sekundarni vodonosnik gornjobadenske starosti. Bušotina nije korištena za eksploataciju geotermalne vode.

Tijekom povijesti rađene su u više navrata procijene i mjerenja izdašnosti izvorišta termalne vode u Krapinskim Toplicama. Još daleke 1879. godine Vukasović navodi da na izvorištu istječe ukupno 46 L/s. Gotovo stoljeće kasnije Bać & Herak, 1962 procjenjuju ukupnu količinu istjecanja na 81 L/s. U 1986. godini provedena su mjerenja izdašnosti vrela Pučke kupelji i novoizvedene bušotine KRT-1 (Britvić, 1986). Količina preljeva Pučke kupelji iznosila je 26 L/s, a Jakobove kupelji 10 L/s. Osim toga, pokusnim crpljenjem zdenca u Pučkoj kupelji utvrđen je međusoban utjecaj ovog izvora s izvorom Jakobova kupelj, bušotinom KRT-1 i kaptazama u podrumu Klinike Magdalena, što svjedoči o hidrauličkoj povezanosti vodonosnika na širem području izvorišta.

Capar et al., 1995 reinterpreteraju rezultate probnog crpljenja iz 1986. godine (Britvić, 1986) i definiraju eksploatacijske kapacitete:

- Pučka kupelj (zdenac) i Jakobova kupelj (prirodno istjecanje) 51 L/s
- bušotina KRT-1 24 L/s

Sigurni kapacitet kod trajnog crpljenja zdenca u Pučkoj kupelji određen je sniženjem dinamičke razine do kote 155,90 m i iznosi 39,4-42,4 L/s. Pri tom sniženju Jakobova kupelj i dalje preljeva s 10 L/s.

U travnju 2018. provedeno je mjerenje količine prirodnog istjecanja termalne vode na izvorištu (Larva i dr., 2018). Utvrđene su sljedeće količine istjecanja:

- Pučka kupelj 38 L/s – srednja vrijednost provedenih mjerenja
- Jakobova kupelj 10,4 L/s

Ukupna količina prirodnog istjecanja na izvorištu termalne vode iznosi 48 L/s i ne razlikuje se značajno od prijašnjih rezultata mjerenja. Kasnije tijekom provedbe DARLINGe projekta ponovljena su mjerenja u ožujku 2019 te su utvrđene sljedeće količine istjecanja:

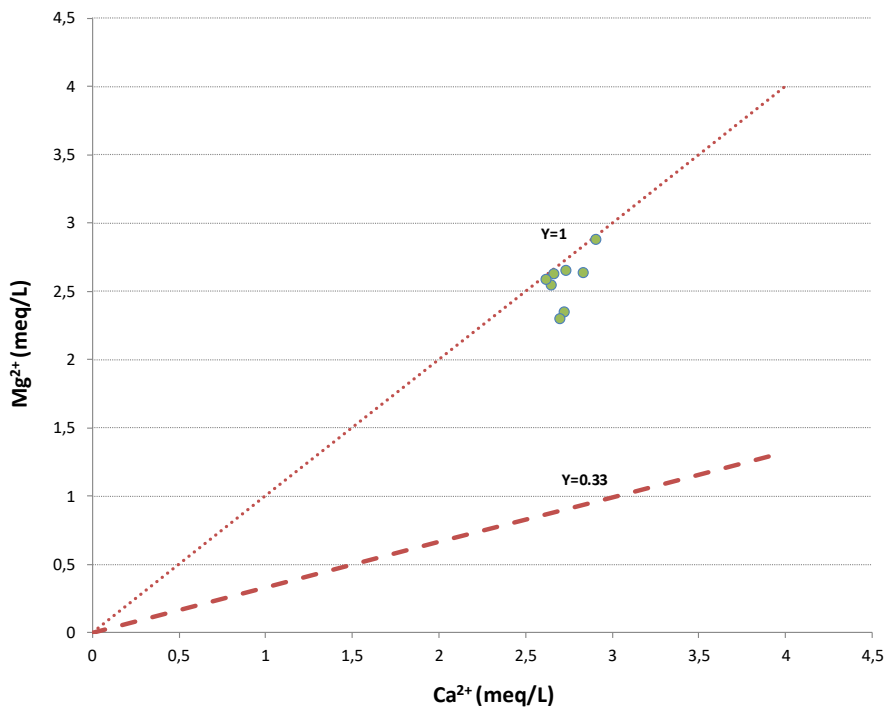
- Pučka kupelj 35,6 L/s – srednja vrijednost provedenih mjerenja
- Jakobova kupelj 10,4 L/s

Manja je od količine koju navode Bać & Herak, 1962, ali je zato na tragu onoga što navode Vukasović, 1879 i Capar et al., 1995, s tim da posljednji u obzir uzimaju sigurni kapacitet kod trajne eksploatacije zdenca a ne prirodno istjecanje termalne vode.



Slika 6.3.11. Mjerenje istjecanja termalne vode na izvorištu u Krapinskim Toplicama

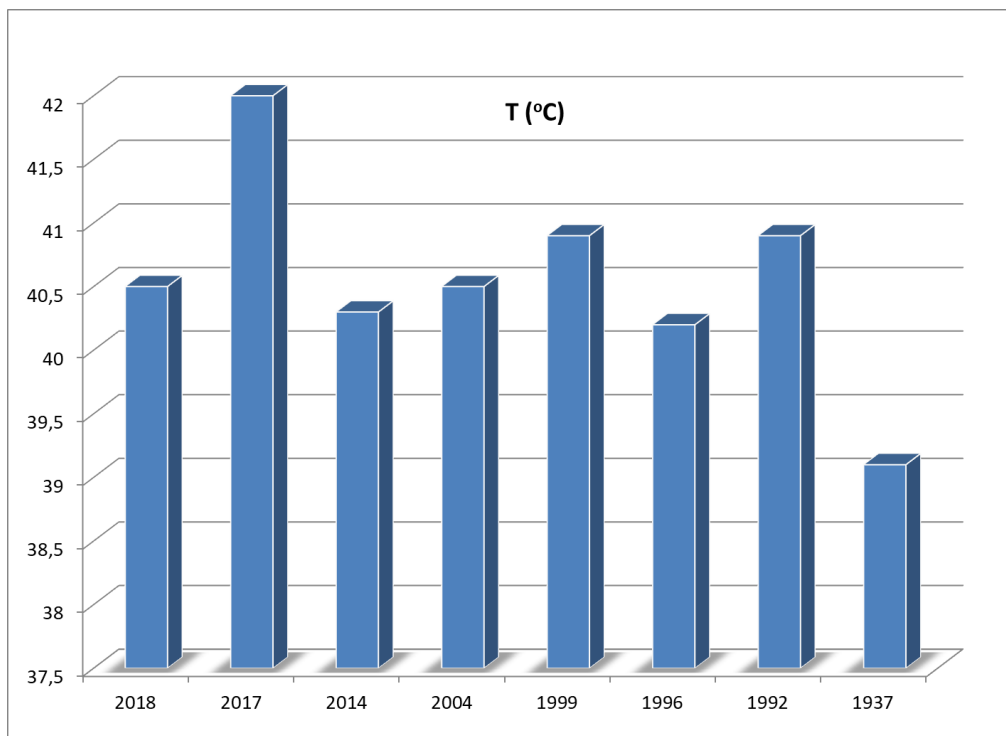
Iz omjera magnezija i kalcija Mg^{2+}/Ca^{2+} vidljivo je da je podrijetlo termalne vode na izvorištu iz dolomitnog vodonosnika jer su vrijednosti oko 1 (slika 6.3.12). Primjećuje se postojanje malih varijacija u omjeru koje se dovode u vezu s vremenom uzorkovanja, a upućuju na utjecaj otapanja vapnenaca. U ovom slučaju podrijetlo kalcija može biti dvojako: (i) trijasko karbonatne naslage uz dolomit sadrže i vapnenca pa ovisno o režimu istjecanja na izvorištu može u odrađenom trenutku dotjecati voda iz dijela termalnog vodonosnika s većim udjelom vapnenaca; i/ili (ii) utjecaj "hladne" vode iz miocenskih naslaga (litotamnijskih vapnenaca, pješčenjaka, laporovitih pješčenjaka itd.) u krovini trijaskih karbonata.



Slika 6.3.12. Omjeri magnezija i kalcija u termalnoj vodi

Interesantno je da su bez obzira na promjene u tehnikama mjerenja pojedinog pokazatelja varijacije u koncentracijama prethodno opisanih pokazatelja neznatne tako da se može zaključiti da je kemijski sastav termalnih voda stabilan.

Temperatura termalne vode varira od 39,1 do 42°C (slika 6.3.13), a u principu su posljedica gdje se temperatura mjeri. Ako se mjeri u samim izvorima tada je temperatura od 41,5 do 42°C te ako se mjeri na preljevu izvora onda su zabilježene niže temperature za 1-2°C.



Slika 6.3.13. Raspodjela temperature tijekom godina

Ostale toplice na području geotermalnog tijela (3)

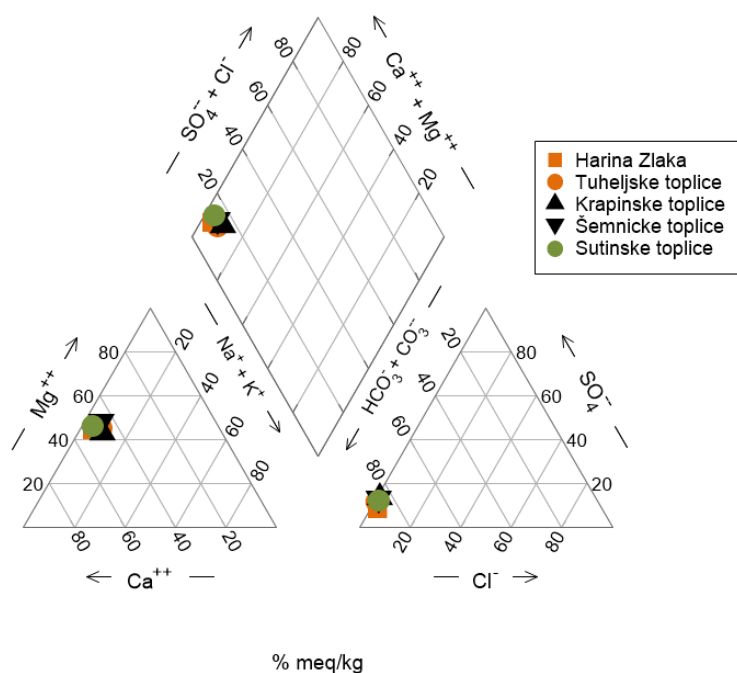
Šemničke toplice nalaze se na tektonskoj liniji u produžetku antiklinalne strukture Tuheljskih i Krapinskih toplica prema grebenu Strugače. Izdašnost termalnog izvora je 0,5 – 1,0 L/s s temperaturom od 31 °C. Istražne bušotine izvedene u neposrednoj blizini termalnog vrela zahvatile su trijaski karbonatni vodonosnik. Bušotine su testirane s izdašnošću do 20 L/s, a izmjerena je temperatura termalne vode od 33 do 36 °C (Capar, 1982). Niz godina Šemničke toplice nisu bile korištene kao javno kupalište no već sada godinama su napuštene.

Sutinske toplice su zadnje u liniji antiklinalne strukture Tuheljskih i Krapinskih toplica. Termalni izvori nalaze se u kanjonu potoka Sutinske, a sastoje se od dva izvora Malog i Velikog vrela. Temperatura vode kreće se od 30 do 37,4 °C, a voda izlazi iz rasjednutih dolomita. 1988. godine na južnom izlazu iz kanjona Sutinske izbušena je bušotina i otkriven je vodonosni sloj dolomita u intervalu između 75 - 385 m. Provedeno je pokusno crpljenje s izdašnošću od 112 L/s, a temperatura vode na ušću bunara varirala je od 38 do 39 °C (Britvić, 1988). Voda se koristila za bazen tijekom ljeta, ali bazeni su zatvoreno od ljeta 2013.

U Harinoj Zlaci je do sredine šezdesetih godina prošlog stoljeća postojao prirodni izvor termalne vode s temperaturom od 32,8 °C (Miholić, 1940). Izvor je presušio nakon što je 1966. godine počela eksploatacija termalne vode iz bušotina koje su zahvatile trijaski karbonatni vodonosnik na desnoj obali Sutle za potrebe "Atomskih toplica" u Podčetrtku. Tijekom 1998. godine, u blizini presahlog termalnog izvora, izvedena je istražno-eksploatacijska bušotina HZL-1, koja je zahvatila trijaski karbonatni vodonosnik. Testirana je s izdašnošću od 45 l/s, a

temperatura vode na ušću bušotine bila je 19 – 20°C (Mraz & Krsnik, 2005). Podzemna voda iz bušotine predviđena je za potrebe vodoopskrbe ovog dijela Hrvatskog zagorja.

Hidrokemijska obilježja geotermalnih voda Zagorskog tijela posljedica su mineraloško–petrografskog sastava stijena koje izgrađuju termalni vodonosnik. Izvorske vode prema svom osnovnom ionskom sastavu pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda odnosno hidrokemijskom facijesu (slika 6.3.14). Hidrokemijski facijes je posljedica otapanja minerala stijena koje izgrađuju termalni vodonosnik. Također se zapaža da se tip voda odnosno hidrokemijski facijes nije mijenjao tijekom godina bez obzira u promjenama tehnika mjerenja. Što ukazuje na ne postojanje promjena u režimu istjecanja geotermalne vode na izvorištima.



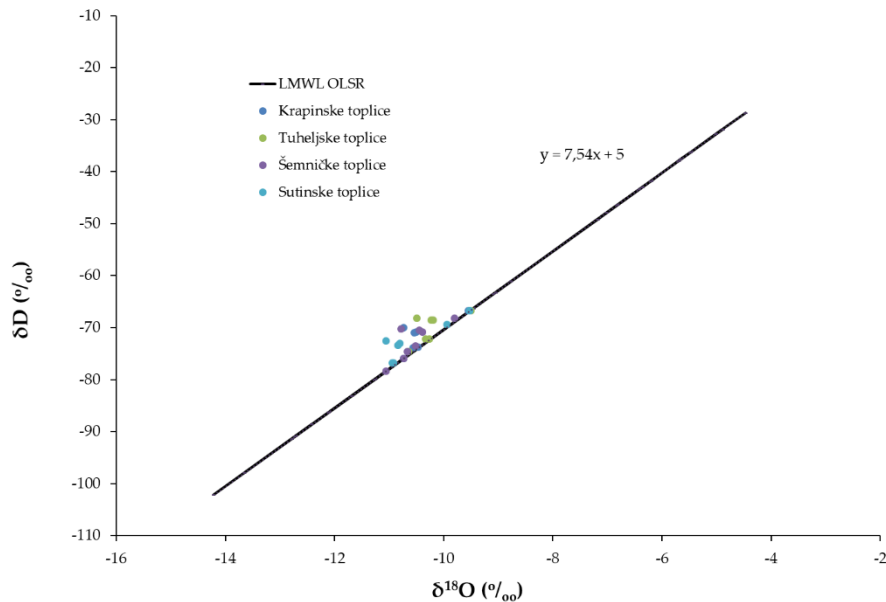
Slika 6.3.14 Piperov dijagram geotermalnih voda

Osim povišenog sadržaja magnezija u ovim vodama (koncentracije su iznad 34 mg/L na više), specifični pokazatelji za ove vode su: (1) sumporovodik čije koncentracije se kreću od 0,02 mg/L (Šemničke toplice) do 0,48 mg/L (Tuheljske toplice); (2) amonijak koji se pojavljuje u vodama Krapinskih i Tuheljskih toplica te se koncentracija kreće od 0,1 do 0,3 mg/L; (3) flour je zabilježen u svim motrenim vodama, a koncentracije se kreću od 0,1 do 0,3 mg/L.

Nema nitrata i pesticida te specifične onečišćujuće tvari, suma trikloretilena i tertrakloretilena te ukazuje na dobro kemijsko stanje.

U sklopu DRALINGe projekta rađene su detaljnije izotopne analize na navedenim izvorištima. Te je utvrđeno da postoji obnavljanje oborinama jer su izmjerene vrijednosti smještene oko LMWL Varaždin (Marković et al., 2020) te da je srednje vrijeme zadržavanja temeljem proračuna radioaktivnog ¹⁴C i korekcijom s δ¹³C kreće od 5 000 do 11 500 godina od što

ukazuje da je vodonosnik dobro zaštićen od antropogenog djelovanja obzirom na kakvoću (DARLINGe, 2018). Prihranjivanje ide iz smjera planskih lanaca Cesarogradske gore, Strugače, Očure, Ivanščice. Isto tako, iz omjera stabilnih izotopa vidljivo je da su sve vode u jednoj grupi što dokazuje jedinstvenost vodonosnika i prihranjivanje oborinama.



Slika 6.3.15 Raspodjela stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u geotermalnim vodama

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 1,4 mg/L (Tablica 6.3.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.3.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 15 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020; analize u sklopu projekta DARLINGe 2017-2019; analize u sklopu elaborata za koncesije (Larva et al., 2018; Marković et al., 2018; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2018.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2018.)
CaMg- HCO_3	437 - 570	30 (Sutinske toplice) 44 (Krapinske toplice)	<0,1 – 1,4	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost ocjene je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se koriste manje količine geotermalne vode u odnosu na količinu vode koje slobodno istječe. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na kemijsko i količinsko stanje, te način korištenja geotermalne vode, Zagorsko TGV nije ni u kakvom riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.4. Varaždinsko geotermalno tijelo

Varaždinsko geotermalno tijelo čija je površina 116.8 km^2 dio je kompleksa karbonatnih naslaga na sjeverozapadu Hrvatske (slika 6.4.1). Najznačajniji lokalitet tog geotermalnog tijela su Varaždinske Toplice, a još su zabilježena pojavljivanja u Topličici kod Mađareva i u mjestu Podevčevo. Trenutni koncesionari na poručju Varaždinskog TGV čije koncesije ili vodopravne dozvole su izdane prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) su: Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju - Varaždinske Toplice čija vodopravna dozvola iznosi 450.000,00 $\text{m}^3/\text{godišnje}$ i Bernarda Nova d.o.o. čija koncesija iznosi 40.000,00 $\text{m}^3/\text{godišnje}$. Prilikom dodjele koncesije Bernarda Nova d.o.o. definirana je maksimalna količina crpljenja od strane svih korisnika geotermalne vode, a ona je 25 L/s. Geotermalna voda koriste se u medicinske, balneološke i rekreacijske svrhe, ali se koristi i za grijanje prostora bolnice pomoću izmjenjivača topline.

Veliki doprinos geološkim spoznajama o Varaždinskom Toplicama dobiven je tijekom građenja bušotina u okolini izvora geotermalne vode: B-1, B-3 i B-4 tijekom šezdesetih godina te bušotina B-5, B-6 izrađene 2000. Pri interpretaciji korišteni su i podaci bušotine VTT-1 (1988).

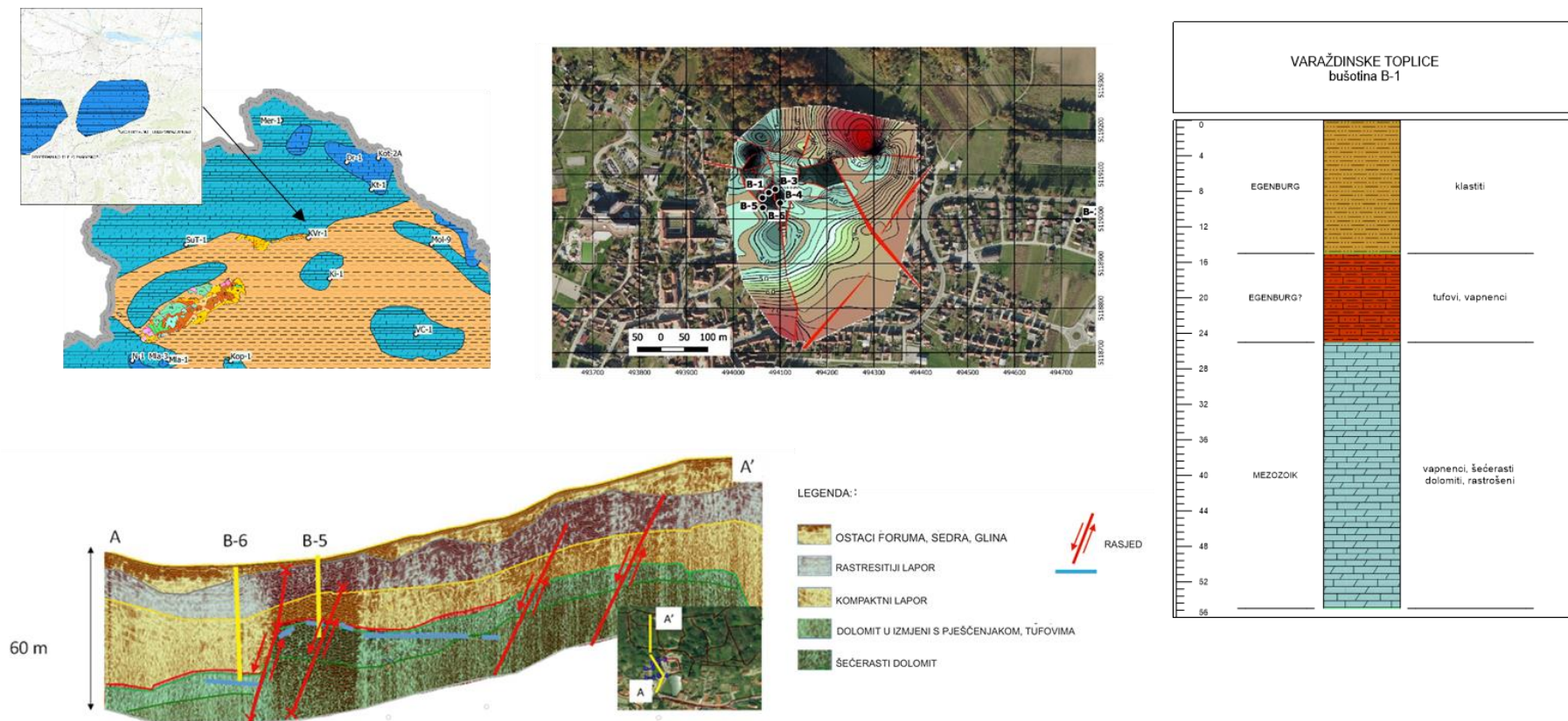
Uz podatke dobivene bušenjem bušotina sa pripadajućim izvještajem prilikom analize i interpretacije geofizičkih podataka korišteni su dostupni radovi uključujući Osnovnu geološku kartu i tumač, radovi Dragutina Gorjanovića Krambergera. Za detaljniji opis i odredbu pojedinih stratigrafskih članova i hidrogeoloških odnosa koji su temelj interpretacije uz podatke bušotina poslužili su prije svega radovi I. Šimunića. Za hidrokemijske značajke korišteni su podaci iz DRALINGe projekta te Juršić Mitrović, 2001 i povijesni podaci Miholić (1952).

Na području su nabušeni u srednjetrijski dolomiti, andeziti, egerski klastiti i vulkaniti, srednje i gornje miocenske naslage, breče vapnenci i lapori. Značajka područja svakako je travertin koji se u više generacija od pleistocena taložio na padinama Varaždinskih Toplica. Aluvij Bednje i njenih pritoka najmlađi je geološki član. Trijaski dolomiti su svijetlosivi raspucani dolomiti, koji ponekad sadrže proslojke vapnenca. Uslijed brojnih tektonskih pokreta pretvoreni su u dolomitnu breču, ponegdje okršeni. Hidrogeološko predstavljaju značajan rezervoar geotermalne vode. Andeziti su nabušeni bušotinom VTT-1, starost nije određena, autori naslage andezita smještaju u vrijeme srednjeg trijasa ili u magmatski ciklus eger – egenburske starosti. Kišpatić, 1909. uvrstio je andezite na području Varaždinskih Toplica u neogenske naslage. Tufovi – tufovi su probušeni proizvodnim bušotinama na području Varaždinskih Toplica. Debljina su do 10 m. Egenburške naslage su predstavljene raznolikom litologijom, krupnije zrnate teksture, kako naliježu na dolomite, vapnence ili tufove predstavljaju vršni dio rezervoara geotermalne vode. Karakterizira iz veća poroznost.

Gornjo badenski lapori slabo rastrošeni ustanovljeni su na svi bušotinama područja te detektirani na brojnim izdancima i zajedno sa trošnjim panonskim laporima prekrivaju značajan dio područja Varaždinskih Toplica. Gornjo badenski lapori predstavljaju krovne naslage geotermalnog rezervoara.

U Varaždinskim toplicama postoji najveća količina travertina u Hrvatskoj koja je nastala iz termalne vode i na njoj je izgrađen stari dio grada. Nastala je inkrustacijom kalcijevog karbonata koji se taložio uslijed pada tlaka hlađenja vode. Prema količini travertina moguće je zaključiti da je termalna voda u Varaždinskim Toplicama istjecala kroz dugi vremenski period, najvjerojatnije od početka pleistocena (Šimunić, 2005). Horvatinčić et al., 1990 su dokazali da u starijim naslagama travertina ima više soli nego u današnjoj termalnoj vodi.

GEOTERMALNO TIJELO "VARAŽDINSKO"

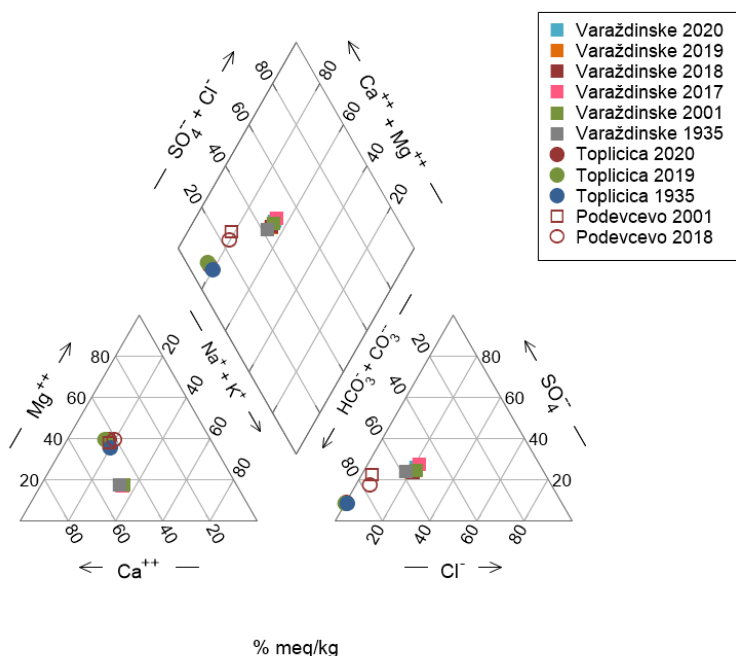


Slika 6.4.1 Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Varaždinskog geotermalnog tijela

Obzirom da je danas na području toplica vrlo teško izmjeriti ukupnu izdašnost izvorišta jer su bušotina B-1 samoizljevna te voda slobodno otječe, a uz glavni izvor Klokot postoje par manjih izvora pa je ne moguće obuhvatiti sve točke prelijevanja, načinjeno je jedno mjerenje 2018. koje je obuhvatilo izdašnost bušotine B-1 i izvora Klokot, a iznosilo je 35 L/s. Mjerenja Baća i Heraka, 1962 prije bušenja bušotina ukazuju da izvor Klokot ima izdašnost od 18 L/s, a mjerenja provedena 1997 iznose 23,14 L/s (Šimunić, 2008). Pranjić et al., 2000 tijekom bušenja novi bušotina B-5 i B-6 utvrđuju da je ukupna izdašnost bušotina oko 50 L/s, a izvora 21 L/s. Obzirom da je za oba dva korisnika definirano da smiju zajedno maksimalno crpiti do 25 L/s to je 35% ukupne izdašnosti izvorišta jer izdašnost svih objekata i izvora prelazi 70 L/s.

Izdašnost izvora u Podevčevu je 0,5 L/s mjereno 1996 (Juršić-Mitrović, 2001) te 2018 i 2019 za vrijeme provedbe DARLINGE projekta. Izdašnost izvora Topličice kod Mađareva mjerena je svega dva puta (2018 i 2019 za vrijeme provedbe DARLINGE projekta) na desnom šahtu jer na lijevom šahtu nije se zbog tehničkih prepreka moglo izvršiti mjerenje, iznosila 2-3 L/s. Nažalost, starijih podataka o mjerenu izdašnosti nije pronađeno da se mogu usporediti izdašnosti prošlih i novijih mjerenja.

Motrene vode pripadaju od CaMg-HCO_3 do $\text{CaNa-HCO}_3\text{SO}_4$ tipu voda (slika 6.4.2). Ovakav hidrokemijski facijes je posljedica otapanja naslaga koje se izgrađuju vodonosnik (karbonati, tufovi).

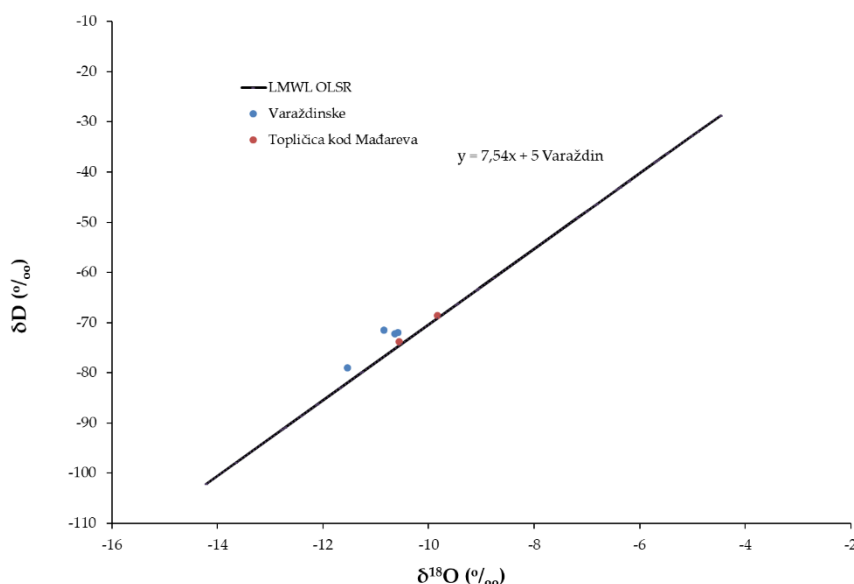


Slika 6.4.2 Piperov dijagram kroz vrijeme geotermalnih voda tijela

U geotermalnim vodama na području Varaždinskih toplica i Podevčeva su zabilježene povišene koncentracije amonijaka i kreću se od 0,5 do 1 mg/L te visoke koncentracije sulfata koje se kreću od 150 do 180 mg/L, sumprovodika čija je koncentracija oko 12 mg/L i klorida čije su koncentracije od 100 do 180 mg/L. Isto tako, zabilježeni su sadržaji litija oko 0,2 mg/L, flouora od 0,3 do 0,9 mg/L te bromida 0,2 do 0,9 mg/L. Kemijsko stanje vode je dobro.

Na samom lokalitetu Vražđinskih Toplica postoji 6 bušotina i izvor Klokot te je temperatura vode u bušotinama 59°C dok na izvoru je 40°C. U izvorima koji su u sjeveroistočnom rubnom dijelu tijela na padinama Ivanščice temperature su oko 25°C.

Iz slike 6.4.3. vidljivo je da je prihranjivanje vodonosnika oborinama, a u prethodnim istraživanjima Horvatinčić et al. 1991 i 1996, ustanovljeno je da je starost voda preko 40 000 godina. Prihranjivanje je sa sjeveroistočnih obronaka Ivanščice i sjevernih obronaka Kalnika.



Slika 6.4.3 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 2 mg/L (Tablica 6.4.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.4.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 10 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020; analize u sklopu projekta DARLINGe 2017-2019; Pranjić et al., 2000; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost (μS/cm)	Temperatura (°C)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi (μg/L) (mjereno 2000.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena (μg/L) (mjereno 2000.)
CaMg-HCO ₃ CaNa-HCO ₃ SO ₄	550-1164	25 (Mađarevo Topličica) - 59 (Varaždinske toplice)	<0,1 - 2	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost ocjene je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer je na temelju povremenih mjerenja utvrđeno da se koriste manje količine geotermalne vode u odnosu na količinu vode koje slobodno istječe. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na kemijsko i količinsko stanje, te način korištenja geotermalne vode, Varaždinsko TGV nije ni u kakvom riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.5. Konjščinsko geotermalno tijelo

Konjščinsko geotermalno tijelo čija je površina 130,2 km² obuhvaća karbonatne naslage antiklinalne struktura koja se prostire južno krila od konjščinske sinklinale. Stubičke toplice, Jezerčica kao lokaliteti gdje se koristi geotermalna voda te potencijalni lokaliteti geotermalne vode Marija Bistrica, dio su konjščinskog geotermalnog tijela. U Stubičkim Toplicama geotermalnu vodu iz bušotina koriste Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Stubičke Toplice i Hotelsko turističko društvo Matija Gubec d.d. za potrebe direktnog grijanja i medicinsko-balneološke svrhe. Prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), bolnica ima vodopravnu dozvolu na korištenje vode u količini od 75.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja od 17 L/s, a hotelski kompleks na 252.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja od 30 L/s. Hotel Jezerčica koristi geotermalnu vodu iz bušotine za rekreacijsko-balneološke svrhe i grijanje, a koncesija iznosi 50.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja od 5 L/s prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14).

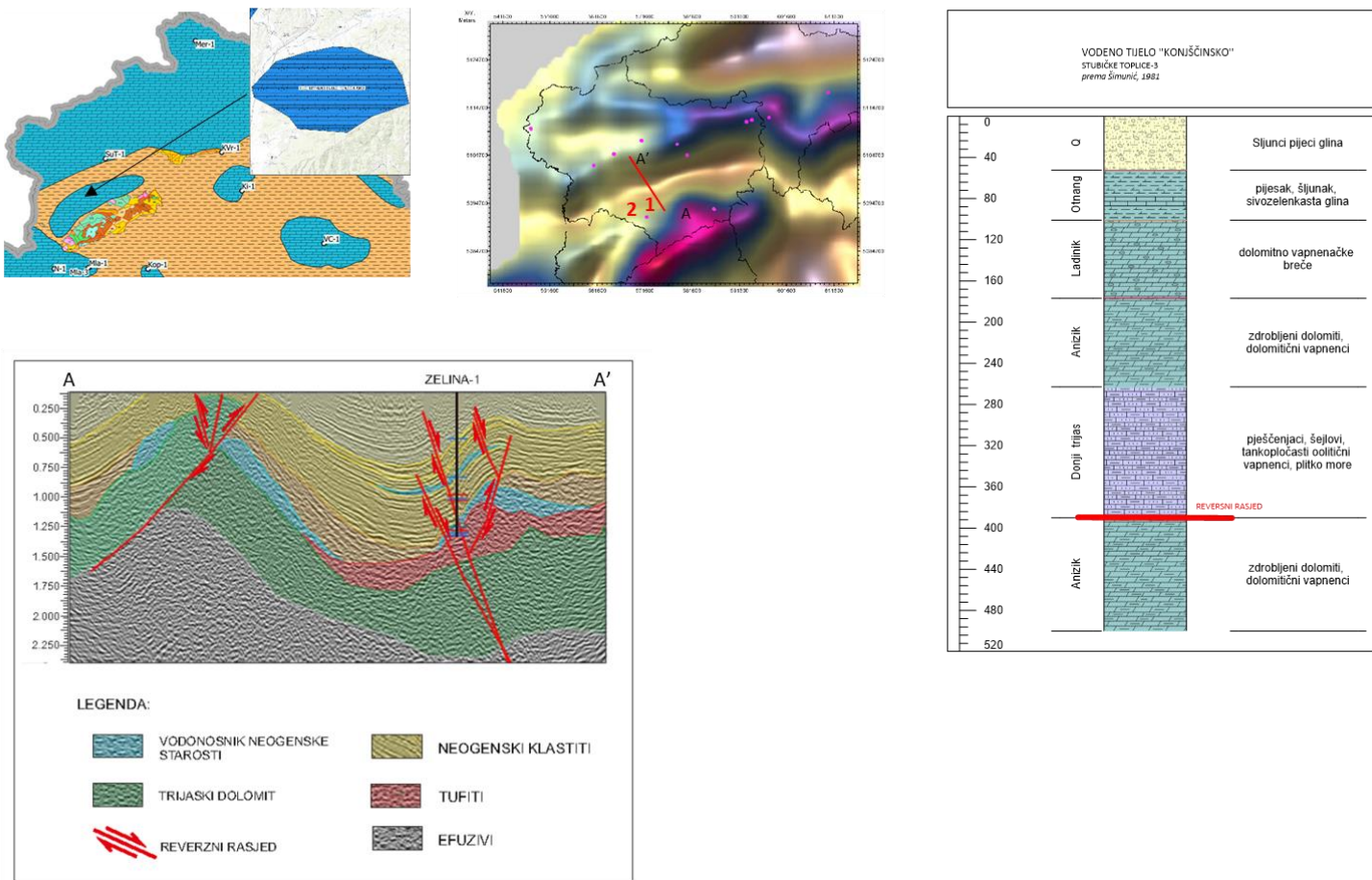
Geološkim istražnim bušotinama ustanovljeno je da geotermalno tijelo izgrađuju stijene donjeg i srednjeg trijasa te mlađe miocenske karbonatne naslage. Miocenske klastične naslage predstavljaju krovinu vodonosnika. U dubljim dijelovima Konjščinske sinklinale istražnim bušenjem otkriveni su karbonatizirani filiti, metamorfiti (slika 6.5.1).

Naslage donjeg miocena sastoje se od crveno smeđe pjeskovite gline nastale trošenjem vulkanskog pepela, kvarcnih pijesaka i glinovitih lapora.

Badenske naslage, plitkovodni vapnenci, litavci i litotamnijski vapnenci, nabušene su u izvorišnom dijelu Stubičkih Toplica. Debljina im iznosi dvadesetak metara. Interpretacijom su ustanovljene badenskih vapnenaca na profilu Stubičke Toplice – Zelina. Mlađe naslage, klastični vapnenci, lapori, gline i šejlovi talože se tijekom panona, dok je kvartar karakteriziran šljuncima, pijescima i glinama.

Tektonski temeljem interpretacije geofizičkih podataka područje Stubičkih Toplica predstavlja uzdignuće formirano reversnim rasjedanjem. Krovinsko krilo rasjeda navučeno je iz smjera Medvednice, od koje je antiklinalna forma odijeljena sinklinalom. Krovina dolomita na području sinklinale iznosi više od 1500 m. Reverzni rasjed navlaka paralelan sa smjerom pružanja Konjščinske sinklinale. Cijela struktura je presječena rasjedima smjera sjeverozapad jugoistok.

GEOTERMALNO TIJELO "KONJŠČINSKO"



Slika 6.5.1 Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Konjščinskog geotermalnog tijela

Hidroelektra 1974. godine na području Jezerčice buši 3 bušotine od toga treća bušotina dubine 100 m ima najveću izdašnost 13 L/s i temperaturu vode 39,5 °C (mjereno u bušotini). Ovu bušotinu Terme Jezerčica danas koriste. Raljević, 1976 provodi pokusno crpljenje te ustanovljuje da pri izdašnosti od 5 L/s dolazi do ustaljenja sniženja na 10 m. Nakon crpljenja razina vode se dignula iznad razine terena odnosno došlo je do prelijevanja. Danas crpna količina ne prelazi navedenih 5 L/s, a prosječna je oko 2,5 L/s. Također, nakon prestanka crpljenja razina se podigne iznad razine terena.

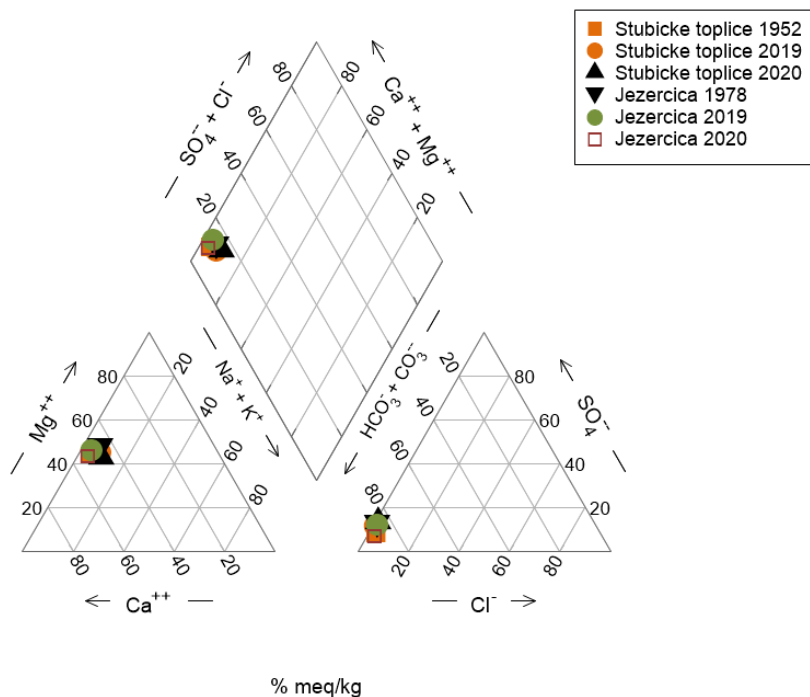
Elektrosond, Zagreb 1963 godine buši bušotine na području Stubičkih Toplica za potrebe Specijalne bolnice te bušotina B-1 je prema njihovim preporukama izabrana kao eksploatacijska bušotina. Razina geotermalne vode je 1 m ispod glave zdenca. Pokusnim crpljenjem je ustanovljeno da pri količini od 40 L/s dolazi do ustaljenja sniženja je na 7,5 m, a s količinom od 20 L/s ustaljenje sniženja je na 2,85 m te je preporuka u elaboratu da se ne crpi s količinom preko 40 L/s. Geofizika, 1993 radi čišćenje bunara te nakon čišćenja vrši pokusno crpljenje. Daju preporuku da se ne crpi s količinom preko 35 L/s. Danas se crpi s prosječnom količinom od 10 L/s te nakon crpljenja, razina se digne na 1 m ispod glave zdenca (prema navodu korisnika).

Miletić, 1988 radi studiju na temelju koje se buši bušotina ST-3 iz koje danas hotel Matija Gubec koristi geotermalnu vodu. Ustanovljeno je da pri količini od 40 L/s ustaljenje sniženja je na 7,5 m.

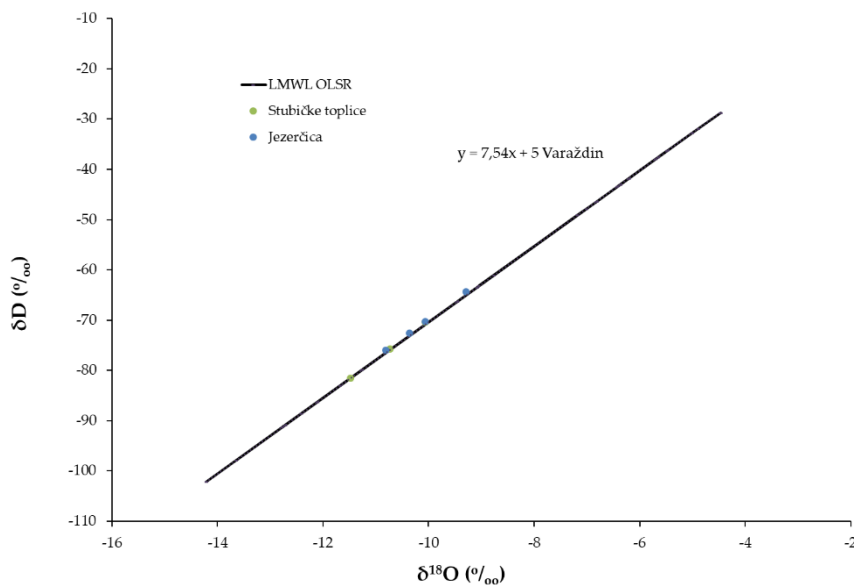
Iz zapažanja korisnika razina je kroz cijelo vrijeme ista tj. nisu mali potrebe spuštati crpke na nižu kotu u bušotinama što ukazuje na dobro količinsko stanje.

Motrene vode pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda (slika 6.5.2) te je vidljivo da kroz vrijeme u motrenim geotermalnim vodama ne dolazi do promjena u kemijskom sastavu što ukazuje na dobro stanje u vodonosniku. Ove vode karakteriziraju povišene koncentracije magnezija koje se kreću od 25 do 37 mg/L, također sadržavaju amonija oko 0,3 mg/L, flourida od 0,1 do 0,7 mg/L, sulfata 30 do 100 mg/L te suporovodika 0,44 do 3,6 mg/L. Koncentracije nitrata su vrlo niske te se kreću od ispod granice detekcije do 2 mg/L. Vode sadržavaju amonijak koji je prirodan te prilikom izlaska vode na površinu dolazi do prelaska u nitratni oblik.

U prethodnim istraživanjima Horvatinčić et al. 1991 i 1996, ustanovljeno je da je starost voda preko 40 000 godina. Da bi se utvrdi da li je podrijetlo oborinsko, izmjerene vrijednosti omjera $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ stavljene su u dijagram $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ na LMWL Varaždin (Marković et al., 2020) te je vidljivo da su vrijednosti smještene oko nje što ukazuje da su paleo vode oborinskog podrijetla (slika 6.5.3). Predpostavlja se da je prihranjivanje sa sjevernih obronaka Medvednice.



Slika 6.5.2 Piperov dijagram kroz vrijeme motrenih geotermalnih voda



Slika 6.5.3. Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 3,4 mg/L (Tablica 6.5.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.5.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 10 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020; analize u sklopu projekta DARLINGe 2017-2019; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2018)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2018)
CaMg- HCO_3	576 - 632	38 (Jezerčica)- 56 (Stubičke toplice)	<0,1 – 3,4	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost ocjene je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se koriste manje količine geotermalne vode u odnosu na količinu vode koje su utvrđene pokusnim crpljenjem. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na kemijsko i količinsko stanje, te način korištenja geotermalne vode, Konjščinsko TGV nije ni u kakvom riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.6. Daruvarsko geotermalno tijelo

Daruvarsko geotermalno tijelo zauzima površinu od 318,5 km², a nalazi se na sjevernom dijelu karbonatno metamorfnog kompleksa na dodiru Ilovske subdepresije i zapadnih padina Slavenskog gorja. Na području Daruvarskog TGV nalazi se jedan korisnik i to Specijalna bolnica za rehabilitaciju Daruvarske Toplice koja prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) ima vodopravnu dozvolu u iznosu 180.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja od 15 L/s. Geotermalna voda se koristi u balneološke i rekreacijske svrhe.

Rasjedanje, navlačenje, magmatizam tijekom geološke prošlosti te znatni stupanj izdizanja u pliocenu uzrokovali su razvoj sekundarnog poroziteta naslaga te su stvoreni uvjeti za nastajanje vodonosnika i izviranje geotermalne vode.

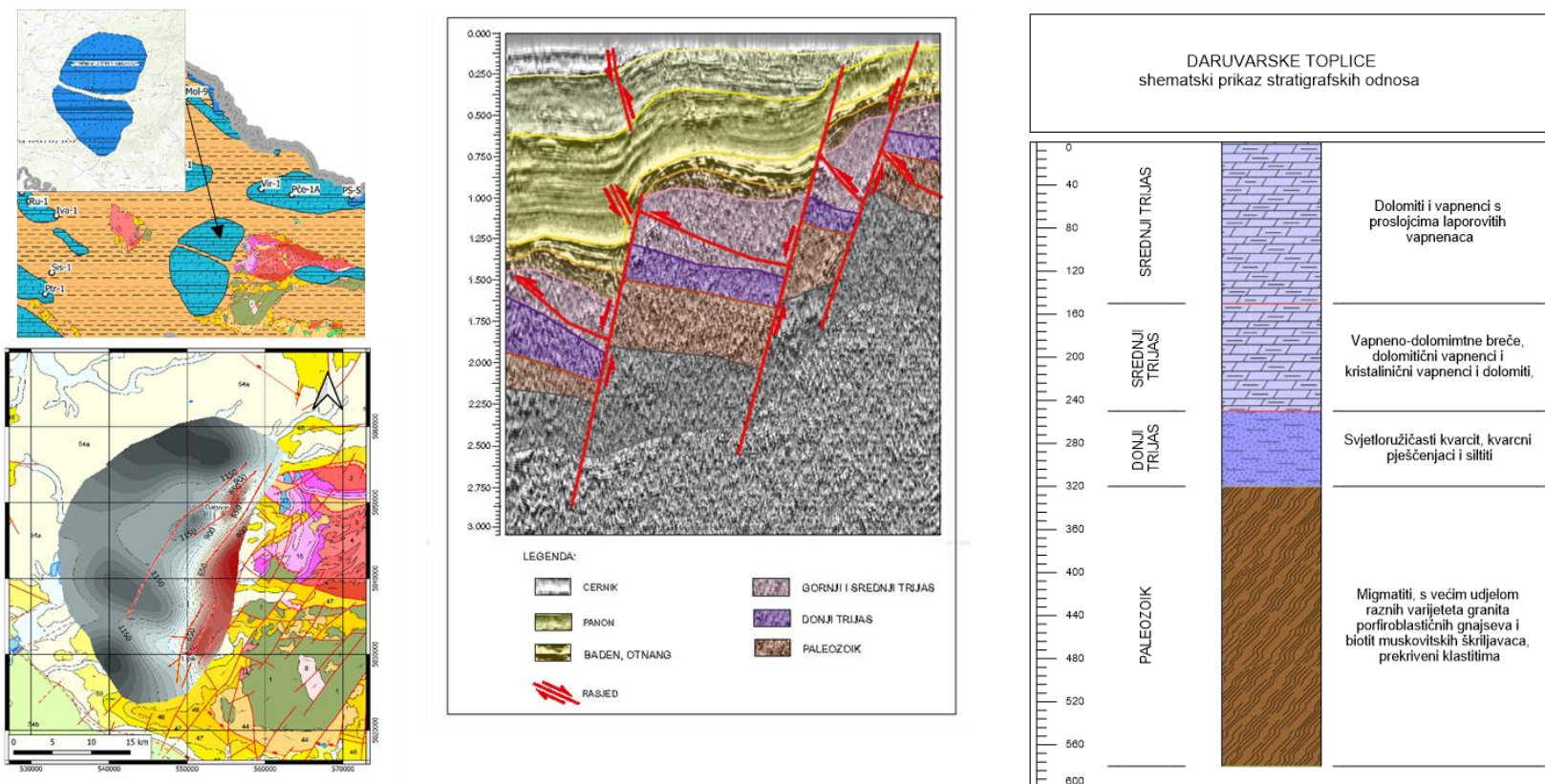
Najstarije naslage na području su paleozojski migmatiti, porfiroblaslični gnajsevi i biotit muskovitski škriljavci s prijelazom u kloritske škriljavce. Na njima leže permotrijaski klastiti, kvarcni konglomerati i pješčenjaci. Donjotrijaske naslage su također klastične, dobro uslojene s debljinom slojeva do pola metra. Debljina donjotrijaskih sedimenata je do 150 m. Kontinuirano na donjotrijaske naslage naliježu naslage srednjeg trijasa, koje su građene od vapnenodolomitnim brečama, dolomitičnih vapnenaca, kristaliničkih vapnenaca. Tufitični siltiti u slijedu ukazuje na kontinuitet vulkanske aktivnosti i u srednjem trijasu. Srednje trijaski karbonati široko su rasprostranjeni kao podinske naslage neogena u Ilovskoj subdepresiji, a izdanjuju na zapadnim obroncima Slavenskog gorja, približno 3 km istočno-sjeveroistočno od Daruvske toplice. Gornji trijaski sediment su predstavljeni različitim tipovima dolomita i vapnenaca, uz pojave klastita terigenog podrijetla koji predstavljaju geotermalni vodonosnik. Neogenske naslage započinju fragmentalnim pojavama otnaških pješčenjaka, pijesaka, glina te rjeđe lapora i vapnenaca. Pojave tufita unutar otnaškog slijeda ukazuje na kontinuiranost magmatskih aktivnosti u području.

Gornjobadenski sedimenti, vapnenački pješčenjaci i lapori ta te u gornjem dijelu badena konglomeratični litotomijski vapnenaci, transgresivno naliježu na starije naslage. Kontinuirano su taložene sarmatske naslage, tinjčasti i vapnenački pješčenjaci, pijesci, vaplenci i dijelom bituminozni lapori. Panonski slijed započinje vapnencima i bijelim vapnenačkim laporima 'croatica naslaga', slijede žućkastosmeđi lapori 'banatica naslaga' prekriveni glinovitim, pjeskovitim i vapnenačkim laporima gornjeg panona (po staroj klasifikaciji 'donji pont'. Gornji panon predstavljen je slabovezanim tinjčastim pijescima i pješčenjacima uz proslojke šljunka, silta i gline. Geološki slijed završava holocenom debljine od 6 do 13 m, izgrađenim od deluvijalno-proluvijalnim i aluvijalnim sedimentima.

Tektonski odnosi određeni su temeljem literaturnih podataka, podataka Osnovne geološke karte, list Daruvar te interpretacijom geofizičkih podataka, gravimetrijskih i podataka 2D seizmike.

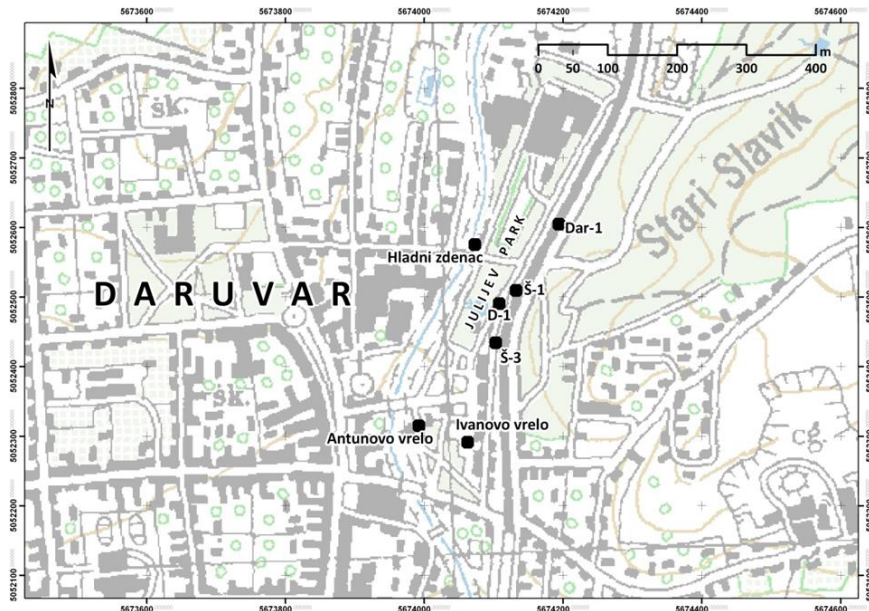
Utvrđeno je da su pri formiranju strukturnog sklopa odlučujuću ulogu imali radijalni tektonski pokreti. Interpretacijom je izdvojen niz subparalelnih markantnih rasjeda smjera pružanja sjever sjeveroistok jug jugozapad koji su prikrili i doveli do pomaka starijih rasjeda smjera zapad-istok do zapad sjeverozapad- jug jugoistok, reverznog gotovo navlačnog karaktera. Najzapadniji rasjed u panonskim naslagama prikriven je i na seizmičkom profilu iskazuje se kao fleksura. Reaktiviran je najmlađim pokretima (slika 6.6.1).

GEOTERMALNO TIJELO "DARUVARSKO"



Slika 6.6.1 Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Daruvarskog geotermalnog tijela

Geotermalna voda izvire na području Julijevog parka na Ivanovom, Antunovom i Marijinim vrelima, te u objektu Centralne blatne kupelji (slika 6.6.2). Antunovo i Ivanovo vrelo su zahvaćeni u svrhu opskrbe termalnom vodom Specijalne bolnice za medicinsku rehabilitaciju Daruvarske Toplice i Termalnog vodenog parka. Na izvorištu postoje i dva bušotinska zahvata – D-1 i Dar-1, od kojih je trenutno samo D-1 u funkciji.



Slika 6.6.2: Prostorni raspored vodnih objekata na području Daruvarskih toplica (preuzeto iz Borović, 2015)

Ivanovo vrelo

Temperatura vode varira u rasponu 44.5-48.6 °C. Varijacije su posljedica dnevnih temperaturnih oscilacija, te režima crpljenja. Dnevne temperaturne oscilacije uglavnom ne prelaze 1 °C. Izraženije su one izazvane režimom crpljenja i sezonskom promjenom temperature zraka. Izdašnost izvora je oko 5 L/s.



Slika 6.6.3 Ivanovo vrelo

Antunovo vrelo

Oscilacije temperature vode u Antunovom vrelu su dominantno pod utjecajem režima crpljenja. Budući da se izvor nalazi u zatvorenom prostoru, utjecaj kolebanja dnevne temperature zraka na temperaturu vode nije izražen. Većinom se nalazi u rasponu 45-48 °C, a samo povremeno pada ispod 40 °C. Uslijed crpljenja temperatura vode pada kao posljedica induciranog procjeđivanja vode niže temperature iz kvartarnog aluvijalnog vodonosnika



Slika 6.6.4 Unutrašnjost Antunovog vrela

Bušotina D-1

Bušotina se na nalazi na području Marijinih vrela. Temperatura vode varira u rasponu 39-45 °C. Oscilacije temperature su dominantno pod utjecajem režima crpljenja. Kao i u slučaju

Antunovog vrela, i ovdje se uključanjem crpke ostvaruje sniženje razine vode u bušotini i dotok hladnije vode iz aluvijalnog vodonosnika.

Š-3

Kontrolno okno Š-3 nalazi se na području Marijinih vrela i povremeno se koristi za opskrbu Geotermalnog vodenog parka. Temperatura vode varira u rasponu od 31.5-33 °C. Osim pada razine vode u objektu, uključivanje crpke u zdencu D-1 uzrokuje i pad temperature vode, što se povezuje s dotokom hladnije vode iz kvartarnog aluvijalnog vodonosnika.

Dar-1

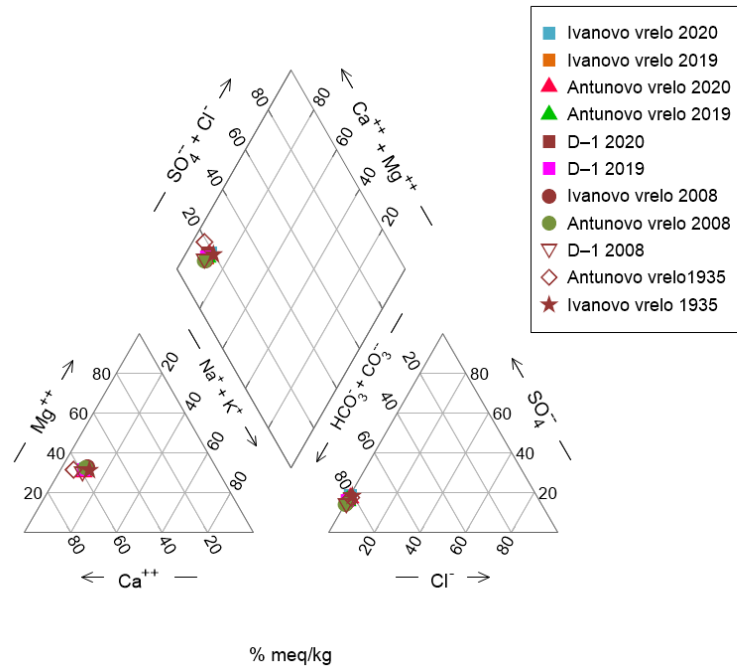
Bušotinski zahvat geotermalne vode Dar-1 izveden je 2009. godine (Crosco, 2009). Dubina bušotine je 190 m. Zahvaćen je geotermalni vodonosnik izgrađen od slabopropusnih dolomitnih stijene trijasko starosti. Temperatura vode u bušotini iznosi 46 °C.

Analiza pojedinačnih izdašnosti vodnih objekata na izvorištu nije provedena. Larva et al., 2008 analiziraju eksploatacijske izdašnosti Ivanovog vrela i objekta Š-3, koji se nalazi na području Marijinih vrela, u okolnostima redovne eksploatacije Antunovog vrela i bušotine D-1, koja je za D-1 prosječno iznosila 1,5-2,0 L/s, a za Antunovo vrelo 1,5 L/s. Utvrđena je eksploatacijska izdašnost Ivanovog vrela u iznosu od 5 L/s, a objekata Š-3 od 4 L/s. Slijedom toga, ukupna izdašnost izvorišta procjenjuje se na 12 L/s.

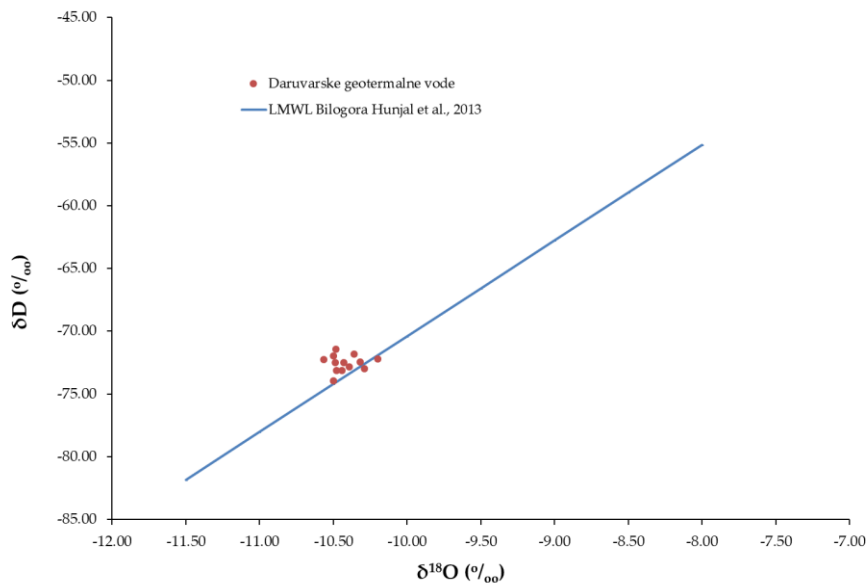
Tijekom pokusnog crpljenja bušotinskog zahvata Dar-1, koje je provedeno u okolnostima redovnog eksploatacijskog režima u postojećim vodnim objektima na području Julijevog parka, proveden je hidrogeološki monitoring (Larva et al., 2009). Tom je prilikom utvrđen utjecaj rada zdenca Dar-1 na dinamiku termalne vode u ostalim vodnim objektima, što je dovelo do prekida testiranja stalnom crpnom količinom od 31,54 L/s. Eksploatacijski kapacitet nije utvrđen, jer bi postupak doveo u opasnost redovnu opskrbu termalnom vodom bolničkog kompleksa i Termalnog vodenog parka.

Motrene vode pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda vidljivo je da kroz vrijeme u motrenim geotermalnim vodama ne dolazi do promjena u kemijskom sastavu što ukazuje na dobro stanje u vodonosniku. Vode karakteriziraju postojanje sumporovodika oko 0,48 mg/L, amonija čija koncentracija se kreće od 0,1 do 0,4 mg/L, a koncentracije sulfata su oko 50 mg/L. Koncentracije nitrata su vrlo niske te se kreću od ispod granice detekcije do 0,3 mg/L. Isto kao i kod prethodnog tijela, vode sadržavaju amonijak koji je prirodan te prilikom izlaska vode na površinu dolazi do prelaska u nitratni oblik.

Da se utvrdi da li je podrijetlo oborinsko, izmjerene vrijednosti omjera $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ stavljene su u dijagram $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ na LMWL Bilogora (Hunjak et al., 2013) te je vidljivo iz slike 6.6.5. da je podrijetlo vode oborinsko, a u predhodnim istraživanjima Larva et al., 2008 i 2009, ustanovljeno je da je starost voda preko 5 500 godina. Prihranjivanje je sa sjevernih obronaka Papuka.



Slika 6.6.4 Piperov dijagram kroz vrijeme motrenih geotermalnih voda



Slika 6.6.5 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 0,1 mg/L (Tablica 6.6.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.6.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 10 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020 i 2019; Larva et al., 2009; Crosco, 2009; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost (μS/cm)	Temperatura (°C)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi (μg/L) (mjereno 2009.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena (μg/L) (mjereno 2009.)
CaMg-HCO ₃	556 - 591	43 - 48	<0,1 – 0,1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost ocjene je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se koriste manje količine geotermalne vode u odnosu na količinu vode koje slobodno istječe. Pouzdanost ocjene je visoka.

Obzirom na kemijsko i količinsko stanje, tenačin korištenja geotermalne vode, Daruvarsko TGV nije ni u kakvom riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.7. Lipičko geotermalno tijelo

Lipičko geotermalno tijelo zauzima površinu od 256,7 km², a nalazi se na južnom dijelu karbonatno metamorfnog kompleksa na dodiru Ilovske subdepresije i zapadnih padina Slavenskog gorja i dio je "Lipičko-daruvarskog" karbonatnog kompleksa (slika 6.7.1). Rasjedanje, navlačenje, magmatizam tijekom geološke prošlosti te znatni stupanj izdizanja u pliocenu uzrokovali su razvoj sekundarnog poroziteta naslaga te su stvoreni uvjeti za nastanka geotermalnog vodonosnika. Geotermalna voda izvirala je do sredine 19. stoljeća. Tada su na dubini od približno 250 m nabušeni geotermalni vodonosnici. Trenutno na području Lipičkog TGV nalaze se dva korisnika i to Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Lipik koja prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) ima vodopravnu dozvolu u iznosu 54.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja od 4 L/s za korištenje voda u balneološke i medicinske svrhe te punionica Studenac d.o.o. koji prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) ima koncesiju za zahvaćanje voda radi prodaje na tržištu koja obuhvaća zahvate iz hladnog, ali i geotermalnog vodonosnika.

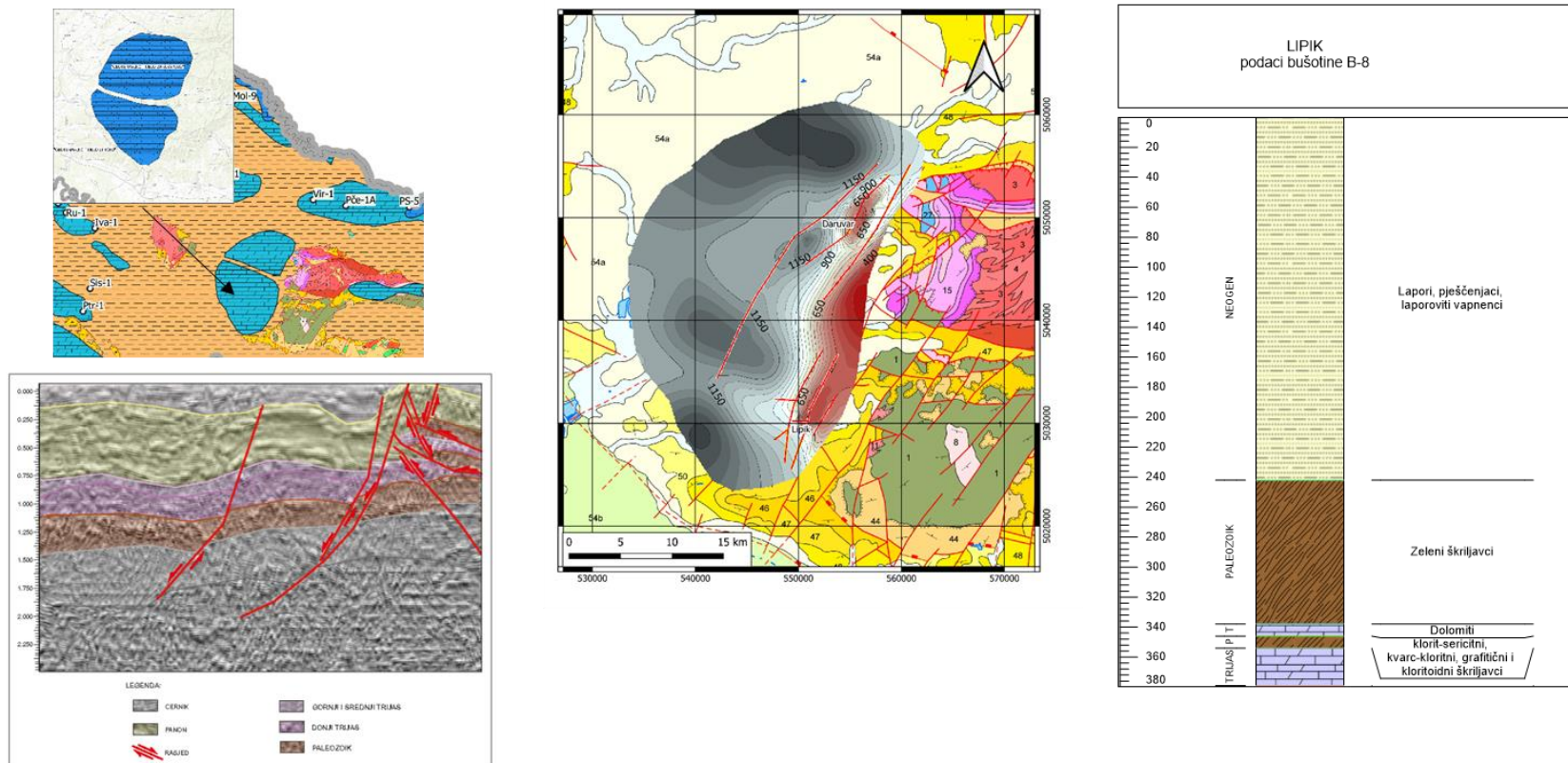
Najstarije naslage na području su stijene facijesa zelenih škriljavac, koje izdanjuju istočno od lokaliteta na području Slavenskih planina. Predstavljene su ortoamfibolitima, amfibolskim

škriljavcima, paragnajsevima i retrogradno izmijenjenim granitima. Te stijene prelaze u više dijelove metamorfnog kompleksa, zelene škriljavce, klorit-sericitne, kvarc-kloritne, grafitične i kloritoidne.

Donjotrijaske naslage izostaju. Sedimenti gornjeg trijasa su dolomiti i dolomitične tektonske breče. Navlačni odnosi utvrđeni su bušenjem na području Lipika. Dolomiti i dolomitne breče predstavljaju glavne vodonosnike u Lipiku. Sedimenti badena i sarmata nisu dokazani, na trijas naliježu naslage panona. Interpretacijom 2D seizmike interpretirano je više od 100 m badenskog slijeda u spušenom krilu rasjeda neposredno uz lokalitet Lipik. Na njima naliježu naslage gornjeg miocena (laponi, laporoviti vapnenci).

Tektonski je lipičko područje vrlo slično daruvarskom. Paralelni rasjedi smjera jug jugozapad – sjever sjeveroistok stepeničasto spuštaju strukturu u smjeru Ilovske subdeperesije. Složenija navlačna struktura interpretirana je na području lokaliteta.

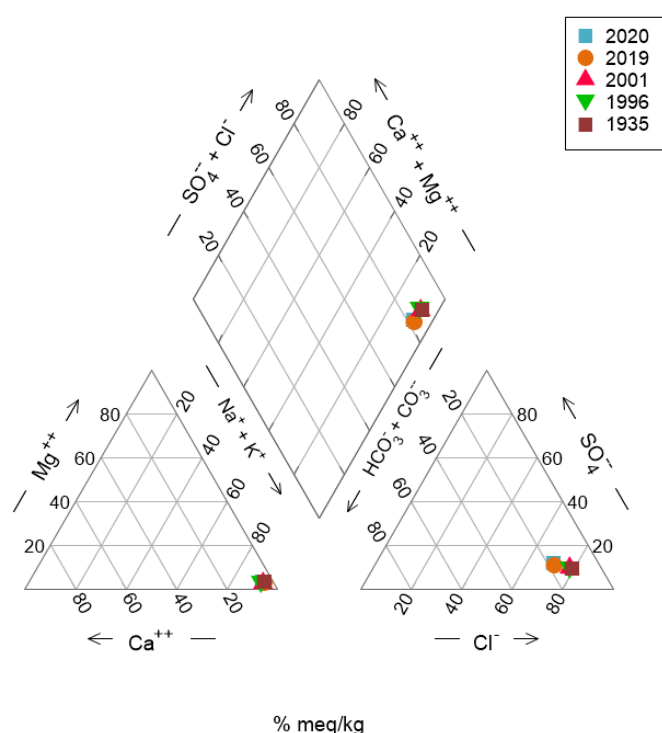
GEOTERMALNO TIJELO "LIPIČKO"



Slika 6.7.1 Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Lipičkog geotermalnog tijela

Nažalost tijekom rata izgubljena je većina dokumentacije tako da se količinsko stanje ocjenjuje na temelju ekspertne procjene bazirane na svega podatku iz hidrogeoloških istraživanja Kapelj et al., 2014. gdje je utvrđeno ustaljenja sniženja na 18 m s količinom crpljenja od 4 L/s. Od strane korisnika promjene u količinskom stanju nisu zamijećene.

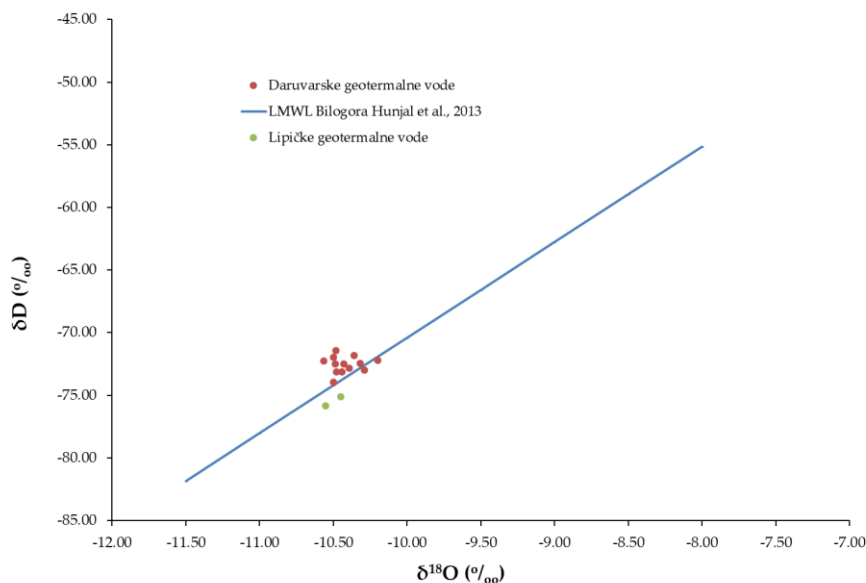
Motrene vode pripadaju Na-ClHCO₃ tipu voda s time da ih karakterizira povišena koncentracija joda zbog čega i korištenje je prvobitno bilo u zdravstvene svrhe (slika 6.7.1). Povišene su koncentracije fluora (9,5 mg/L), joda (0,3 mg/L), bromida (1,3 mg/L) te amonijaka (8,4 mg/L). Prema prikupljenim uzorcima i povijesnim analizama, kemijsko stanje geotermalne vode se ne mijenja gledano sa stanovišta osnovnih i specifičnih kemijskih pokazatelja.



Slika 6.7.1 Piperov dijagram kroz vrijeme motrenih geotermalnih voda

Zbog povišenih koncentracija amonijaka u vodama su zabilježene koncentracije nitrata koje se kreću od ispod granice detekcije do 8 mg/L ovisno koliko je dugo voda u doticaju s zrakom. Navedeni pokazatelji su svi prirodnog podrijetla.

Iz slike 6.7.2. vidljivo je da je oborinsko podrijetlo geotermalnih voda, a u prethodnim istraživanjima Kapelj et al., 2014, ustanovljuje da su motrene vode stare vode koje su se infiltrirale u podzemlje tijekom razdoblja vjerojatno toplijih razdoblja virna prije 30 000 do 40 000 godina.



Slika 6.7.2 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela

Uspoređujući s geotermalnim vodama daruvarskog područja, ove vode su malo ispod LMWL za Bilogoru (Hunjak et al., 2013) što ukazuje na reakciju voda sa stijenama, što opet upućuje na duže vrijeme zadržavanja vode u podzemlju što osigurava da se kakvoća ne može tako lako s antropogenom aktivnošću narušiti.

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 2 mg/L (Tablica 6.7.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.7.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 5 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020 i 2019; Kapelj et al., 2014; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2014.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2014.)
Na-ClHCO ₃	3720 - 3770	60	<0,1 – 2	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je ocijenjeno dobrim, međutim ocjena se temelji na ekspertnoj procjeni pa je pouzdanost niska. Potrebno je uspostaviti monitoring da bi se količinsko stanje ovog TGV-a moglo ocijeniti s višim stupnjem pouzdanosti.

Obzirom na stanje i način korištenja geotermalne vode, Lipičko TGV nije ni u kakvom riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je niska.

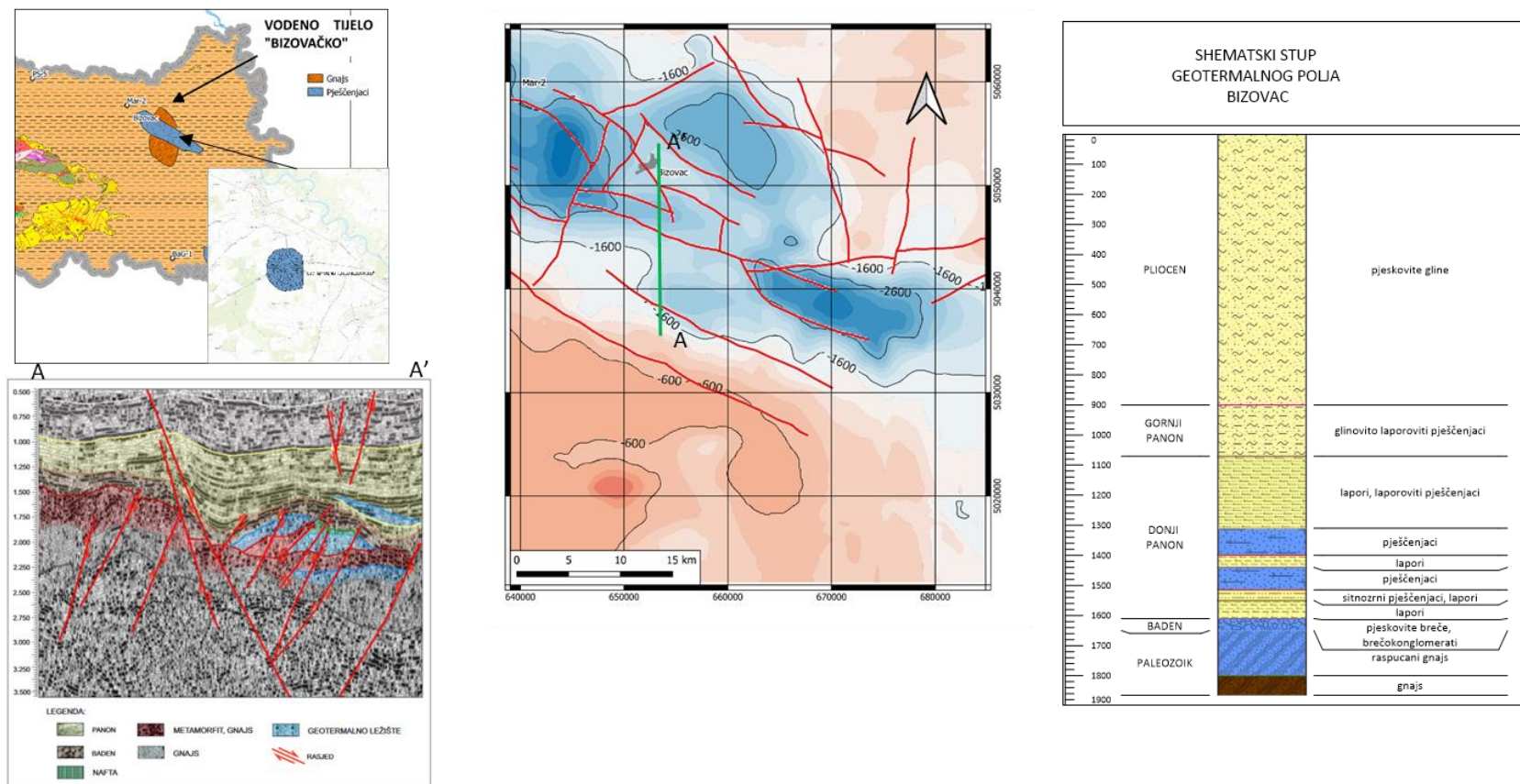
6.8. Bizovačko geotermalno tijelo

Bizovačko geotermalno tijelo zaizima površinu od 219,6 km², a smješteno je u istočnom dijelu Dravskog bazena. Na području TGV nalazi se jedan korisnik Bizovačke toplice koje koriste geotermalnu vodu za belneoško-rekreacijsko i medicinske svrhe te grijanje prostora, ali koncesiju prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) ima INA d.d na geotermalnom ekplotacijskom polju površine 16,7 km² s maksimalnom ukupnom količinom crpljenja ("ležište Terme" + "ležište A3+A4") od 6,2 L/s. Geotermalna voda se crpi iz dva vodonosnika: (1) "ležište Terme" koji izgrađuju raspucani gnajseva podloge (bušotina Biz-4), (2) "ležište A3+A4" koji izgrađuju panonski pješčenjaci (bušotina Slk-1). Bušotine su izbušene 70-tih godina.

Struktura Bizovac predstavlja intra-bazenskog horsta koja je oblikovana u više navrata, kroz niz geoloških događaja. Najstariji stijene na području je granitno gnajski kompleks. Granitno gnajski kompleks prostire se na cijelom području Osječke županije od područja polja Beničanci do Ernestinove te je zabilježen na bušotinama sjevernog dijela Torjanski Rit kao i južnog dijela na području Našica. Kako je podloga istočnog dijela Dravskog bazena bila pod utjecajem tektonskih aktivnosti unutar kompleksa mjestimično je razvijena mreža sekundarnog poroziteta. Stijene koje su zastupljene u permskim i donjo trijaskim naslagama su: konglomerati, pješčenjaci, brusilovci, filiti, vapnenci, glinoviti škriljavci, pjeskoviti škriljavci (Hernitz, 1983.). Na mezozojske naslage naliježu badenske naslage vukovarske formacije, zastupljene brečama, vapnenacima, pješčenjacima i laporima. Neogenski slijed je zastupljen siltovima, pješčenjacima, laporima. Pješčenjaci panonske starosti predstavljaju geotermalno vodonosnik "ležište A3+A4".

Površina prostiranja oba geotermanog vodonosika no interpretacijom seizmičkih podata je utvrđeno da "ležište Terme" s nafnim ležištem, ali niti s "ležištem A3+A4". Analizom seizmičkih podataka, atribut prosječne energije ukazuje na postojanje zone lošijih svojstava koja odjeljuje vodonosnike i predstavlja barijeru komunikacije fluida. Praćenjem amplitude seizmičkog signala iscertano je područje vjerojatnog prostiranja "ležišta A3+A4". Pješčenjačko tijelo pružanja je sjever sjeverozapad-jug jugoistok.

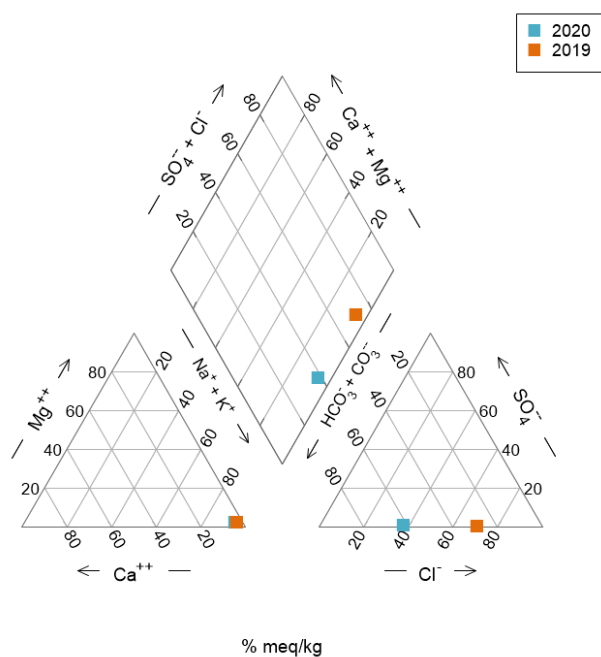
GEOTERMALNO TIJELO "BIZOVAČKO"



Slika 6.8.1 Geološka, strukturno-tektonska obilježja priljevnog područja bizovačkog geotermalnog tijela

Sirovi uzorci su uzeti kod korisnika u Bizovačkim toplicama jer je pristup bušotinama bio otežan te temperaturni pokazatelji nije odraz stvarne temperature u bušotinama. Temperature prilikom uzorkovanja bile su 64°C međutim temperature mjerene u bušotinama su daleko više. Slk- je 103°C, a Biz- 4 111 °C. Jedanput je uzorkovan vodonosnik iz panonskih naslaga (bušotina Slk-1), a drugi put iz predkenozojske podloge (bušotina Biz-4). Geotermalna voda iz Biz-4 je više mineralizirana nego iz Slk-1. Vode iz Biz-4 pripadaju Na-Cl tipu voda dok iz Slk-1 pripadaju Na-ClHCO₃ tipu voda (slika 6.8.2). Općenito obje vode karakteriziraju visoke koncentracije amonijaka od 8 do 44 mg/L, natrija od 1000 do 9300 mg/L, klorida od 747 do 15 324 mg/L, bromida od 14,6 do 50 mg/L, joda od 4 do 15,5 mg/L, hidrogenkarbonata od 750 do 1650 mg/L. Nadalje vodonosnik "ležište A3+A4" sadržava 653 ppm metana i 450 ppm CO₂ dok "ležište Terme" sadržava 716 ppm metana i 280 ppm CO₂.

Uspoređujući kemizme uzorkovanih voda u 2020 i 2019 u usporedbi kada su bušotine izbušene nema promjena odnosno konstanto se održava Na-Cl tip voda kada je riječ o predkenozojskom vodonosniku i Na-ClHCO₃ tip voda kada je riječ o panonskom vodonosniku.

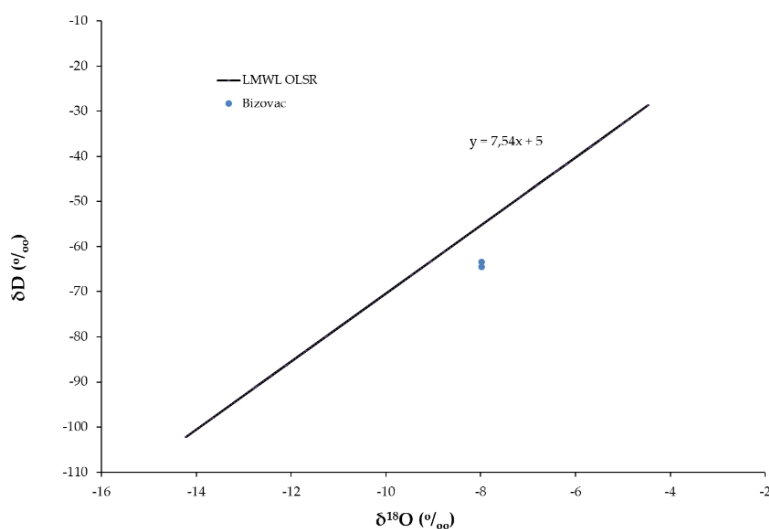


Slika 6.8.2 Piperov dijagram uzorkovanih voda

Za potrebe održavanja tlaka u geotermalnom vodonosniku predkenozojskih naslaga, u bušotinu Biz-2 utiskuje se voda. Propusnost predkenozojskog geotermalnog vodonosnika ("ležište Terme") je 18,6 mD, a panonskog geotermalnog vodonosnika ("ležište A3+A4") je 191 mD. Također, izdašnost bušotine Biz-4 koja zahvaća "ležište Terme" je manja u odnosu na izdašnost bušotine Slk-1 koja zahvaća "ležište A3+A4". Izdašnost bušotine Biz-4 kreće se od

1,5 do 2,4 L/s (samoizljev), a izdašnost bušotine Slk-1 kreće se od 1,8 do 4,6 L/s (samoizljev) (bušotinsko izvješće B-4 i Slk-1, INA, 1996).

Da bi se utvrdilo da li je podrijetlo geotermalne vode u vodonosniku oborinsko, izmjerene vrijednosti omjera $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ stavljene su u dijagram $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ na LMWL Varaždin (Marković et al., 2020) i uzorci su smješteni oko LMWL (slika 6.8.3). Međutim vrijednosti su dosta pomaknute u desno što ukazuje na utjecaj reakcije vode i stijene u vodonosniku uzorkovanim velikom temperaturom, ali i tlakom.



Slika 6.8.3 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnim vodama

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrkloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 7,8 mg/L (Tablica 6.8.1). Obzirom da ima dosta otopljenog amonijaka u vodi može doći do prelaska u nitrati oblik obzirom na duljinu transporta od bušotina do korisnika odnosno vremena zadržavanja u cijevima.

Tablica 6.8.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 4 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020 i 2019; analiza u sklopu bušotinskog izvješća za bušotine Biz-4 i Slk-1 dobivenog od AZU, 1992)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 1992.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 1992.)
Na-Cl	4800 - 4845	64 (u toplicama) 111 (u bušotini Biz-4)	7,8	<0,1	<0,1
Na-ClHCO ₃	3100	64 (u toplicama) 103 (u bošitini Slk-1)	<0,1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Iako visoka temperatura i električna vodljivost podzemne vode upućuju na vrlo dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro te se u Biz-2 utiskuje voda da se održe tlakovi u vodonosniku. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na stanje i način korištenja geotermalne vode, Bizovačko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.9. Topusko geotermalno tijelo

Topusko geotermalno tijelo smješteno je istočno od Karlovačke depresije u Glinskoj subdepresiji, a najznačajniji lokalitet s geotermalnom vodom su Toplice Topusko. Zauzima površinu od 950,0 km² a trenutno je na području samo jedan korisnik Terme Topusko koje prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) imaju vodopravnu dozvolu na korištenje 4.762.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja od 151 L/s. Na području nalaze se 4 bušotine (TEB-1, TEB-2, TEB-3 i TEB-4), a izbušene su u periodu od 1977 do 1986. Prije nego što su načinjene bušotine voda se koristila iz izvora (Bistro vrelo ili Sofijine kupke i Glavo vrelo Blatne kupelji).

Geofizički podaci područja su oskudni, no prekrivenost s nekoliko geofizičkih profila te gravimetrijski podaci omogućavaju interpretaciju podzemlja. Toplice su smještene na gravimetrijskom maksimumu dok se minimum proteže sjeveroistočno od Topuskog. Interpretacijom 2D seizmičkog profila kroz područje Glinske depresije moguće je pratiti gravimetrijske podatke. Interpretacijom se izdvajaju dva nivoa karbonatnih naslaga ispod badenskih naslaga. Izrazita rasjednutost vidljiva je na cijelom profilu. Karbonatni vodonosnik trijaski starosti stepenasto se uzdiže do južnog ruba depresije. Najveća dubina karbonata koje karakterizira seizmički vidljiva subvertikalna ispucanost je 1,75 s ili približno 2000 m. Niz polukružnih, subparalelnih refleksa indicira postojanje zone navlaka sjeveroistočno od Topuskog (slika 6.9.1).

Na Osnovnoj geološkoj karti, list Slunj, naznačeno je izdanjivanje srednjotrijaskih dolomita na istočnim padinama Petrove gore. Dolomite karakterizira trakasto valovita tekstura. Kako sadrže veću količinu vapnenačkih komponenti dolomiti su pogodni za okršavanje te mogu sadržavati velike količine oborinske vode. Pretpostavljena debljina trijaskih naslaga na Osnovnoj geološkoj karti, list Slunj, pretpostavljena je na više od 400 m.

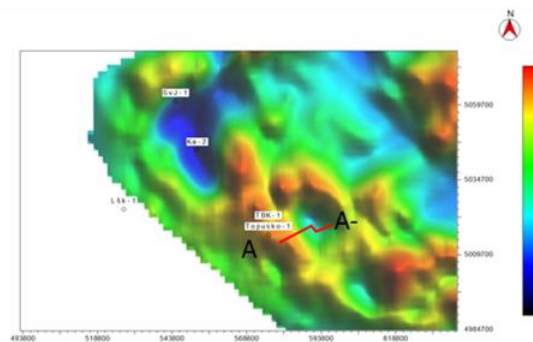
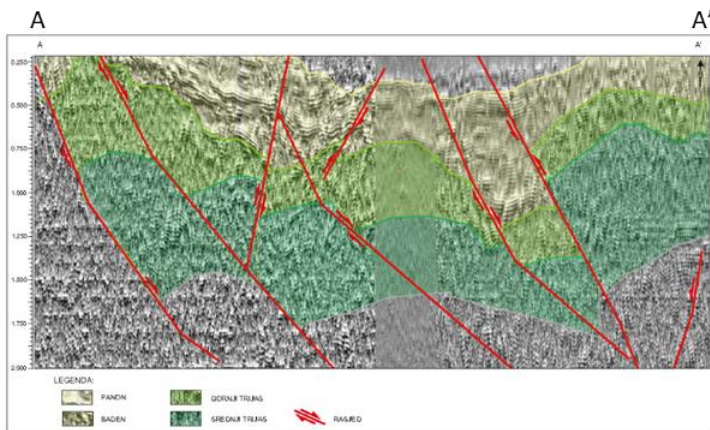
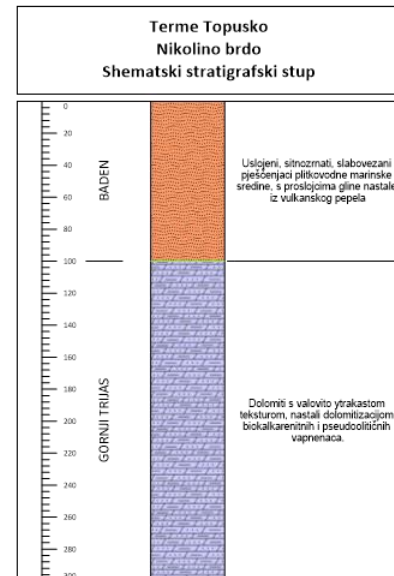
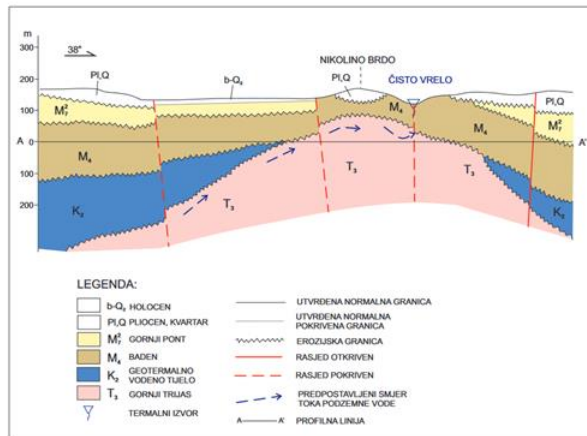
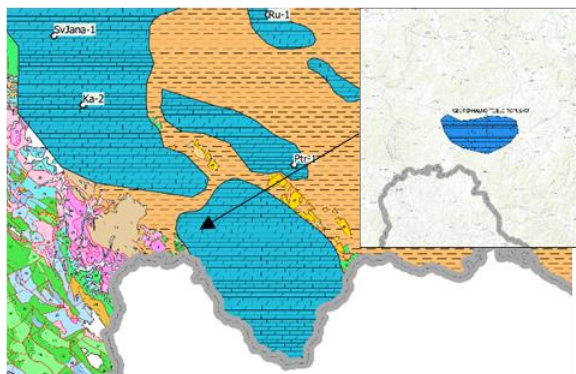
Naslage krede ustanovljene su bušotinom TBK-1. Predstavljene su sivozelenim šejlovima i laporima u izmijeni sa silificirnim pješčenjacima, u višim dijelovima turbiditnih karakteristika. Ukupna debljina gornjokrednih naslaga iznosi 400-450m.

Badenske naslage izdanjuju na području Topuskog i lako ih je pratiti na seizmičkom profilu. Badenski pješčenjaci sastoje se od kvarca, feldspata, muskovita, čestica rožnjaka, tufa i vulkanskog stakla. Vezivo pješčenjaka je limonit i djelomično kvarc.

Debljina gornjopanonskih sedimenata iznosi od 50 do 100 m. Naslage su izgrađene od srednjeznih kvarcnih pijesaka s dosta tinjaca koji se potpuno podudaraju s ostalim gornjopontsskim pijescima u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.

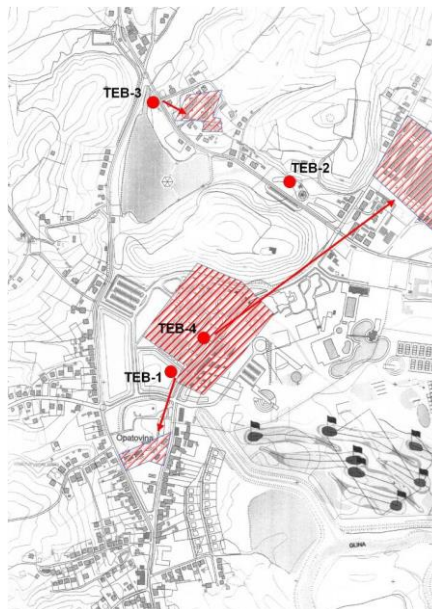
Današnji izgled područje je poprimilo tijekom pliocena i kvartara.

GEOTERMALNO TIJELO "TOPUSKO"



Slika 6.9.1 Geološka, struktarno-tektonska obilježja područja Topuskog geotermalnog tijela

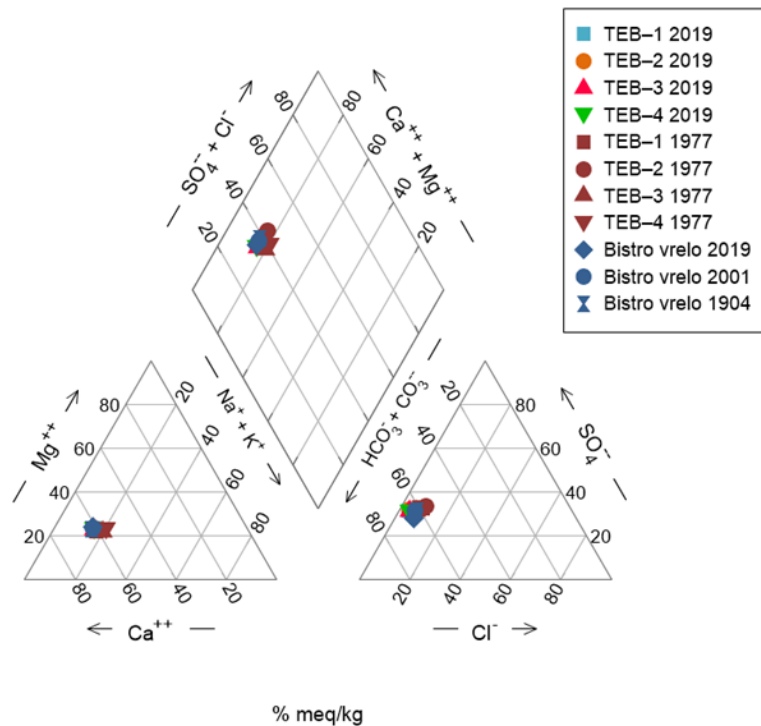
Temperatura vode u izvorima je nešto niža nego u bušotinama i variraju od 46 do 50°C. Temperatura geotermalne vode u bušotinama variraju od 60 do 65 °C. Trenutno se koriste za potrebe lječilišta bušotine TEB-1, TEB-3 i TEB-4 (slika 6.9.2). Osim za zdravstvene svrhe voda se koristi za daljinsko grijanje.



Slika 6.9.2. Položaj bušotina (prema Kruk et al., 2016)

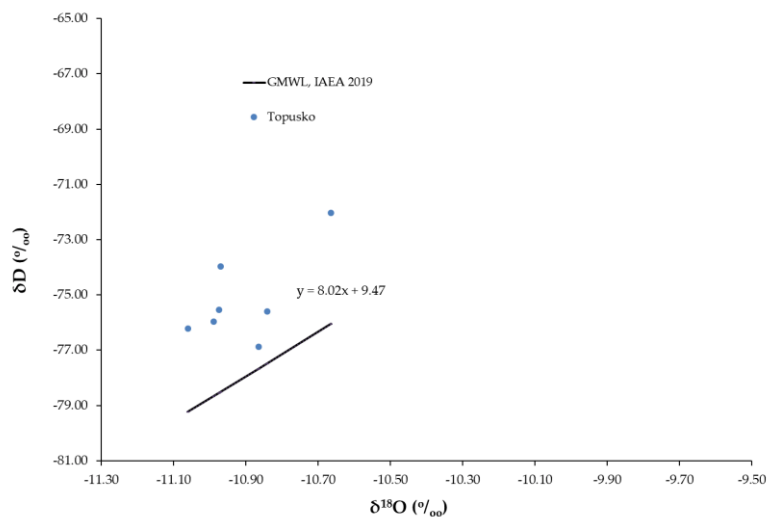
Prema prikupljenim uzorcima i povijesnim analizama, kemijsko stanje geotermalne vode se ne mijenja gledano sa stanovišta osnovnih kemijskih pokazatelja (slika 6.9.3). Motrene vode pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda. Geotermalne vode karakterizira pojava sumporovodika čija se koncentracija kreće od 0,8 do 1,2 mg/L, zatim povišene koncentracije sulfata čije se koncentracije kreću od 100 do 122 mg/L te sadržavaju amonijak, a koncentracije se kreću od 0,3 do 0,4 mg/L.

Da bi se utvrdilo da li je podrijetlo geotermalne vode u vodonosniku oborinsko, izmjerene vrijednosti omjera $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ stavljene su u dijagram $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ na GWML (IAEA, 2019) i uzorci su smješteni oko GMWL, iznad nje (slika 6.9.3). Korištena je globalna linija zbog toga što nema lokalne. No, vidljivo je da su ove stare vode oborinskog podrijetla. Šimunić, 2008 smatra da se vodonosnik prihranjuje iz smjera Petrove gore.



Slika 6.9.2 Piperov dijagram uzorkovanih voda

Iz izmjerenih omjera $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ vidljivo je da su uzorci oko GMWL što ukazuje na oborinsko podrijetlo (slika 6.9.3).



Slika 6.9.3 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela

Tijekom izrade bušotina rađena su pokusna crpljenja te su ustanovljene izdašnosti bušotina. Izdašnosti su sljedeće: TEB-1 Q=50 L/s, TEB-2 Q=24,4 L/s, TEB-3 Q=63 L/s i TEB-4 Q=100 L/s

Obzirom da je voda jako korozivna dolazi do nagrizanja zacjevljenja bušotina te se javljaju problemi u proizvodnji kao što je naprsnuća cijevi te voda nekontrolirano curi izvan bušotina. Zbog puknuća zacjevljenja bušotina TEB-2 više se ne kroisti. Isto tako, prema studiji Kruk et al, 2014 prema mjerenjima u 2009-2011 godini koristi se je jedva 17 % (31 % u vršnoj potrošnji) raspoloživog dotoka. Stoga je neophodno potrebno uspostaviti monitoring količina kako bi se uvidjelo stvarno stanje na navedenom području.

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, nitrati, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja (Tablica 6.9.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.9.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 10 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2019-2020; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952, analiza u sklopu bušotinskih izvješća za bušotine TEB-1, TEB-2, TEB-3 i TEB-4 dobivenih od AZU, 1977)

Tip vode	Električna vodljivost (μS/cm)	Temperatura (°C)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi (μg/L)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena (μg/L)
CaMg-HCO ₃	600-634	46 (izvori) - 64 (bušotine)	<0,1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Iako visoka temperatura i električna vodljivost podzemne vode upućuju na vrlo dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Obzirom da se koristi svega 17-31% raspoložive količine geotermalne vode, količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je ocijenjeno dobrim. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na stanje i način korištenja geotermalne vode, Topusko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.10. Zagrebačko geotermalno tijelo

Geotermalno tijelo Zagrebačko dio je većeg potencijalnog područja, zauzima površinu od 54 km², a proteže se na području Zagreba, tek djelomično Zagrebačke županije na području Lučkog. Na karti Bougerovih anomalija uočava se oblik geotermalnog tijela, strukturni nos, sa znatnim uzvišenjem na području Stupnika, koji je od geotermalnog tijela Svetonedeljskog

odijeljen ulekninom smjera jugozapad sjeveroistok. S istočne strane granica vodenog tijela je rasjed smjera pružanja jug jugozapad sjever sjeveroistok. Trenutno na području tijela je jedan koncesionar GPC Instrumentation Process d.o.o koji opskrbljuje nekoliko korisnika toplinskom energijom pridobivenom iz geotermalne vode. Koncesija je dodijeljena prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) te obuhvaća bušotine na području: ŠRC Mladosti – Mla-2 utisna, ali po potrebi može biti proizvodna i Mla-3 proizvodna dok Mla-1 proizvodna, ali u mirovanju. Geotermalna voda se koristi za grijanje ŠRC Mladosti (od prostora do bazena i sanitarnu vodu) te je u funkciji od 1987. godine i Kineziološkog fakulteta u funkciji od 2020. godine; Blata (trenutno 2 bušotine u funkciji, KBNZ-1 i KBNZ-1B, proizvodna i utisna, a 3 u mirovanju. Geotermalna voda se koristi za grijanje ureda i skladišnog prostora na području nedovršene bolnice u Blatu; Lučko – Luč-1 za grijanje radionice. Na ovom lokalitetu nema utiskivanja vode natrag u vodonosnik već se voda odvodi do retencijskog bazena u kojem se dodatno hladi na 30°C, a poslije toga ispušta u odvodni kanal. Sve bušotine su samo izljevne, a izdašnosti variraju ovisno o potrebama za toplinskom energijom. Naime, na području Lučkog i Blata u ljetnim mjesecima nema potrošnje jer nema potrebe za grijanjem prostora. Prosječna eksploatacija u ljetnom periodu Mla-3 iznosi 3 L/s, dok u zimskom periodu, tj. u sezoni grijanja, iznosi prosječno 9 L/s (Krištafor et al., 2014). Sva iscrpljena voda se utiskuje u vodonosnik, a temperatura utisne vode iznosi 50 °C. Na području Balata predviđeno je crpljenje tijekom zimskih mjeseci s dvije bušotine 65 L/s, a tijekom ljetnih mjeseci 32 L/s no trenutno je situacija da se svega tijekom zimskih mjeseci koristi svega prosječno 5 L/s (Krištafor et al., 2014). Također, sva iscrpljena voda se utiskuje natrag u vodonosnik. Na lokalitetu Lučko, eksploatira se prosječnom količinom od 1,5-2 L/s i to, zbog potreba korisnika, isključivo u zimskom periodu (Krištafor et al., 2014).

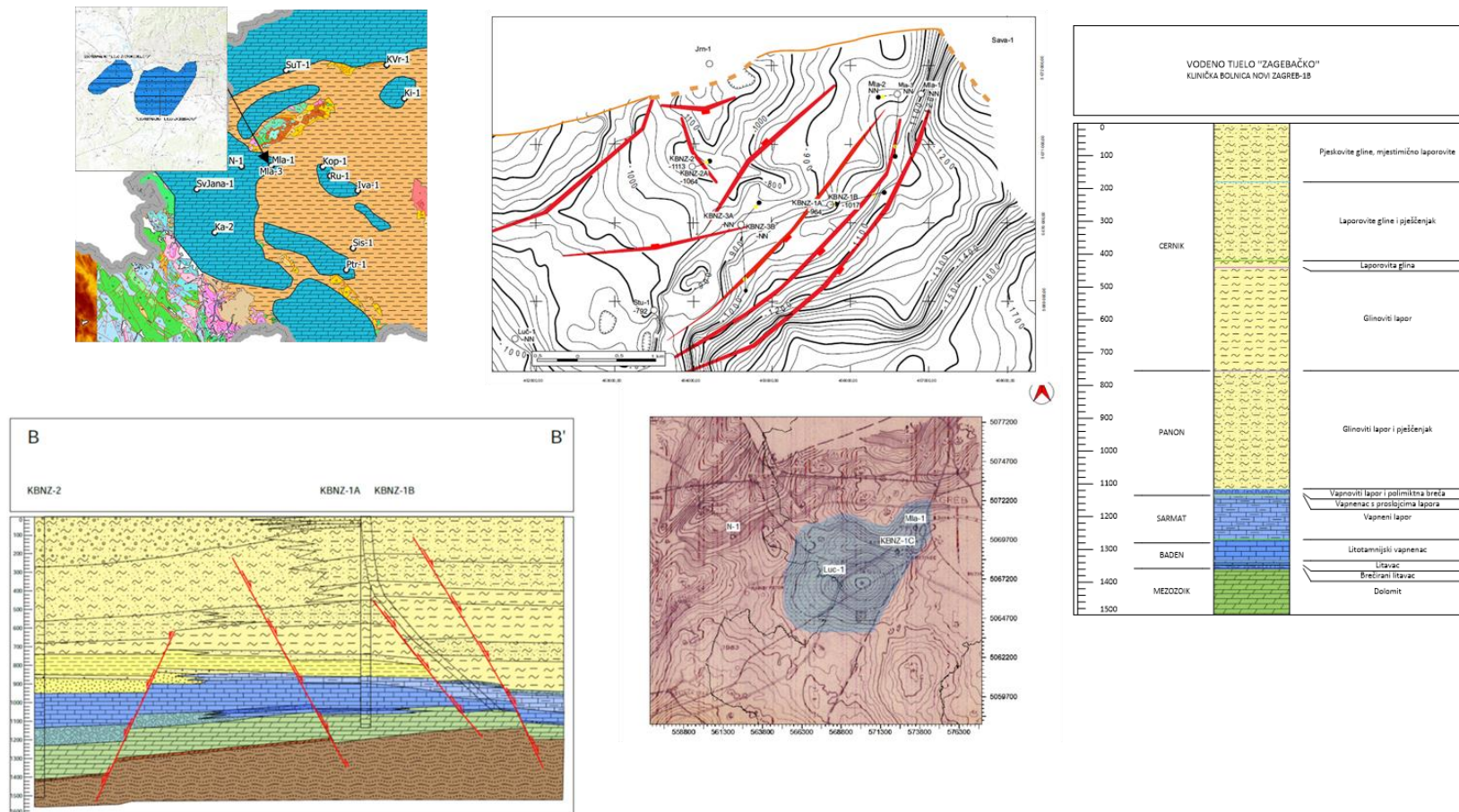
Mezozoik je zastupljena dolomitima dobrih hidrogeoloških karakteristika, sekundarnog poroziteta koji na širem području predstavljaju značajan vodonosnik. Ovaj dio vodonosika karakterizira horizontalna propusnost kh od 200 do 550 mD, a vertikalna od 4,6 do 8,5 mD. Poroznost navedenih naslaga je od 9,6 do 8,2 %. U području geotermalnog polja Zagreb debljine dolomita ustanovljene bušenjem iznose do 200 m, dok se, kako je ustanovljeno interpretacijom geopodataka, debljina povećava prema zapadu. Dolomiti isklinjuju ili znatno tonu u smjeru sjevera, sjeveroistoka, dok isklinjuju istočno od geotermalnog ležišta. Prečec formacija (donji i srednji miocen) – ovu litostratigrafsku jedinici izgrađuju biogeni grebenski vapnenci, pješčenjaci, breče, konglomerati, brečokonglomerati i lapori. Registrirana je u svim bušotinama. Najmanje je debljine u području stupničkog uzdignuća, gdje u podini dolaze škriljavci. Najmlađe naslage Prečec formacije na području geotermalnog polja su predstavljene vapnenim laporima s pješčenjacima, slijede biogeni vapnenci kao glavni termalni vodonosnik. Rasprostranjeni su na čitavom području, no kolektorska svojstva im variraju. Zapadno od stupničkog uzdignuća naliježu direktno na mezozojske dolomite s kojima čine jednu hidrodinamsku cjelinu. dok su prema istoku i jugoistoku uloženi uz nepropusne lapore. U podini biogenih vapnenaca registrirane su debele naslage brečokonglomerata, koji su također ležišna stijena termalne vode na dijelovima ležišta gdje nisu slabih kolektorskih

osobina. Kolektorska svojstva unutar brečokonglomerata su pretežno sekundarno formirana. Na stupničkom uzdignuću su brečonglomerati reducirane debljine, ili nisu prisutni. Na istočnom dijelu ležišta biogeni vapnenci i brečokonglomerati su odvojeni nepropusnim naslagama, pretežno laporima. Prkos formaciju grade svjetlosmeđi do sivosmeđi tvrdi lapori koji u podinskom dijelu prelaze u kompaktne vapnene svijetlosive lapore. Formacija predstavlja pokrov geotermalnog ležišta. Mlađe panonske naslage predstavljene su siltovima, pješčenjacima, glinama i laporima.

Prostor geotermalnog tijela smješten je između glavnih tektonskih poremećaja te iako na njemu površinski ne primjećujemo veće vertikalne tektonske pomake, rasjedni sistem je prisutan i vrlo je značajan za genezu i kvalitetu geotermalnog ležišta. Posljedica tektonsko - strukturnih zbivanja tijekom mezozoika je odlaganje značajnih karbonatnih kompleksa te njihovo tektonsko deformiranje i lomljenje tijekom kasnijih orogenetskih procesa. Mehaničko kršenje karbonata pored same erozije i neposrednog odlaganja tektonskog kršja u novim sedimentnim ciklusima, iniciralo je i razvoj sekundarnog – pukotinskog pornog prostora, za kemijsko otapanje slatkim vodama u kopnenim fazama. Tektonika je omogućila i dijagenezu vapnenca u dolomit pri čemu se formirao važan rezervoarski intrakristalni prostor. U strukturnom smislu blok karakterizira masivna karbonatna ploča, nagnuta u smjeru juga-jugoistoka, sa najvećim nagibom uz grabu koja strukturu dijeli od Vukomeričkih gorica. Ploča je do badena bila blago nagnuta u smjeru zapada.

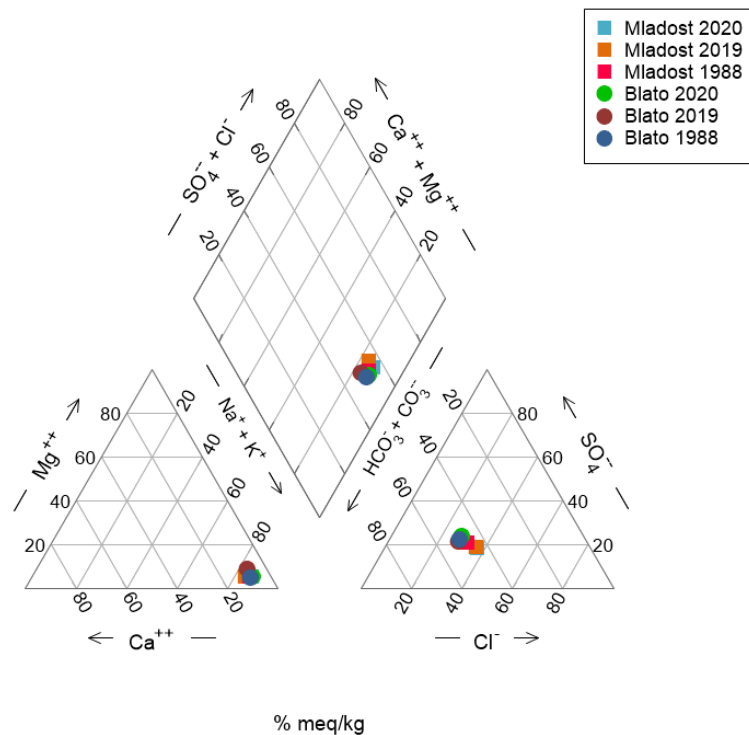
Recentni nagib je markiran nizom paralelnih normalnih rasjeda smjera JZ-SI, od kojih se rubni istočni rasjed može pratiti gotovo do površine. Kako su bušotine uz taj rasjed povišenog geotermalnog gradijenta, kako u vodonosniku, tako i u plićim slojevima, tektonski sklop utječe i na konvergenciju topline iz dubljih dijelova podzemlja prema površini.

GEOTERMALNO TIJELO "ZAGREBAČKO"



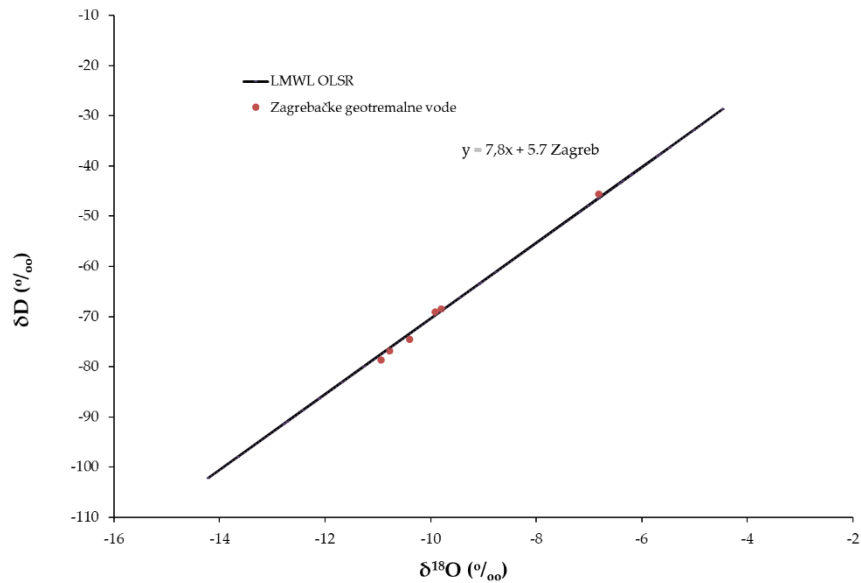
Slika 6.10.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Zagrebačkog geotermalnog tijela

Uzorkovane geotermalne vode pripadaju Na-HCO₃Cl tipu voda (slika 6.10.2) te sadrže dosta CO₂ (30 mg/L), nešto manje H₂S (0,44 mg/L) i plina N₂ (0,5 mg/L). Povremeno je zabilježen i metan. Geotermalna voda sadržava amonijak čije koncentracije variraju od 4 do 6,8 mg/L, fluoride čije koncentracije variraju od 1,3 do 4,9 mg/L, natrija i klorida čije koncentracije variraju od 500 do 540 mg/L i od 277 do 380 mg/L.

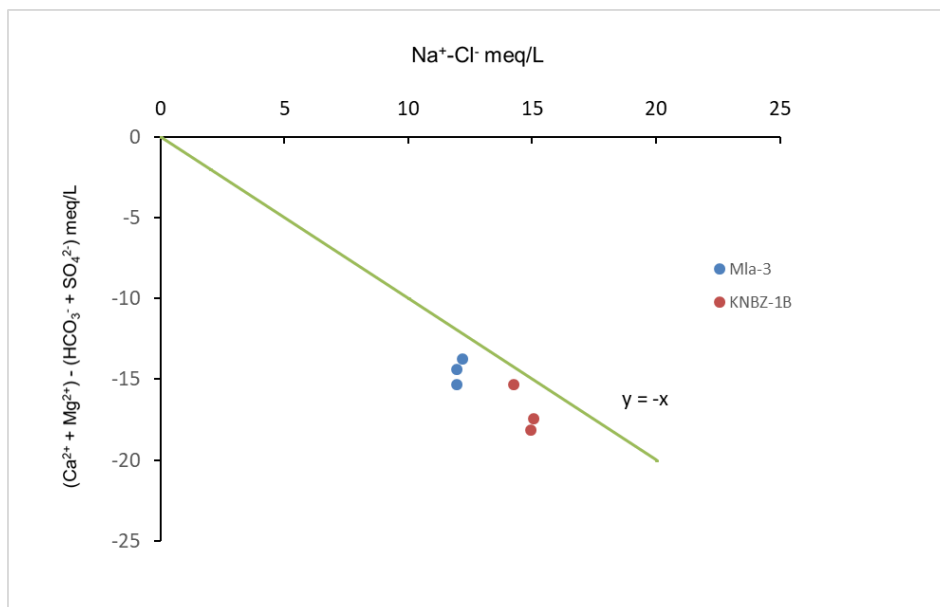


Slika 6.10.2. Piperov dijagram uzorkovanih voda

Iz izmjerenih omjera $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ vidljivo je da su uzorci oko LMWL Zagreb (Vreča et al., 2006) što ukazuje na oborinsko podrijetlo (slika 6.10.3). Na bivarijatnom dijagramu (slika 6.10.4) koji ukazuje na kationsku izmjenu koja je posljedica ove reakcije da se radi o reakciji između vode i stijene u samom vodonosniku. U sklopu DARLINGE projekta mjerene su koncentracije aktivnosti ¹⁴C u uzorcima uzetih iz bušotina Mla-3 i KBNZ-1B, te su vrijednosti za obje bušotine identične. Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti iznose 0,6 pMC te je izračunata korigiran starost vode koja je oko 30 000 godina.



Slika 6.10.3 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela



Slika 6.10.4 Bivarijantni dijagram $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ vs $(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 5,4 mg/L (Tablica 6.10.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.10.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 5 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020; analize u sklopu projekta DARLINGe 2017-2019; analize u sklopu elaborata za zaštitu okoliša Krištafor et al., 2014)

Tip vode	Električna vodljivost (μS/cm)	Temperatura (°C)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi (μg/L) (mjereno 2014.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena (μg/L) (mjereno 2014.)
Na-HCO ₃ Cl	2400 - 2600	75-80	<0,1 – 1,4	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost je visoka.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se voda nakon korištenja utiskuje u vodonosnik. Ovakvo korištenje geotermalnih vodonosnika predstavlja najbolju praksu jer se ne ugrožava količinsko stanje u vodonosniku te ovaj način rada osigurava učinkovito upravljanje ovim geotermalnim resursom. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na stanje i način korištenja geotermalne vode, Zagrebačko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.11. Svetonedjeljsko geotermalno tijelo

Svetonedjeljsko geotermalno tijelo nalazi se na sjevernom dijelu karbonatnog kompleksa, predstavlja ploču nagnutu prema jugu, odijeljenu od geotermalnog tijela Zagrebačkog ulekninom smjera jugozapad sjeveroistok, kao što je prikazano na karti gravimetrijskih anomalija. Ovo TGV zauzima površinu od 20,6 km² te se na njegovom području trenutno nalazi samo jedan korisnik Eko plodovi d.o.o odnosno koncesionar prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) te koristi geotermalnu vodu za grijanje plastenika u kojima se uzgaja rajčica.

Trijas predstavljaju terigenetske/plitkomorske Sajske naslage – crveni pješčenjaci i Kampilske naslage morskog porijekla, u obliku glinovitih dolomita i šejlova. Jura je dokumentirana na širem području parametamornim slojevima. Kredni sedimenti taloženi su kao plitkomarinski karbonati i šejlovi. Genetski su povezani sa zonom postkladiničkog širenja između panonskog (Tisa) kontinentalnog fragmenta i dinaridskog kontinentalnog fragmenta.

Tijekom gornjokredne-paleogenske faze, ovo područje bilo je pod utjecajem kompresijskih i ekstenzijskih događanja te je bilo prekriveno flišem i kasnije neogenskim molasa

sedimentima. Kataklastične naslage pronađene u bušotini Nedjelja-1 Vrsaljko (2003) svrstava u paleogen?.

Paleogeografija neogenske sedimentacije opisana je u radu „Stratigraphy and Palaeogeography of Miocene Deposits from the Marginal Area of Žumberak Mt. and the Samoborsko Gorje Mts. (Northwestern Croatia)“, Vrsaljko et al (2010). Najstariji miocenski horizonti transgresivno leže na karbonatno-flišnoj krednoj podlozi i sarmatske su starosti. Sedimenti panona transgresivno leže na sarmatskim. Neogenska sukcesija prekrivena je kvartarnim taložinama.

Karbonatni slojevi sa sekundarnom poroznošću ležišne su stijene geotermalne vode. Riječ je o trijaskim dolomitima, krednim plitkomorskim karbonatima kao i badenskim plitkomorskim karbonatima na sjevernim padinama Samoborskog gorja i Zagrebačke gore.

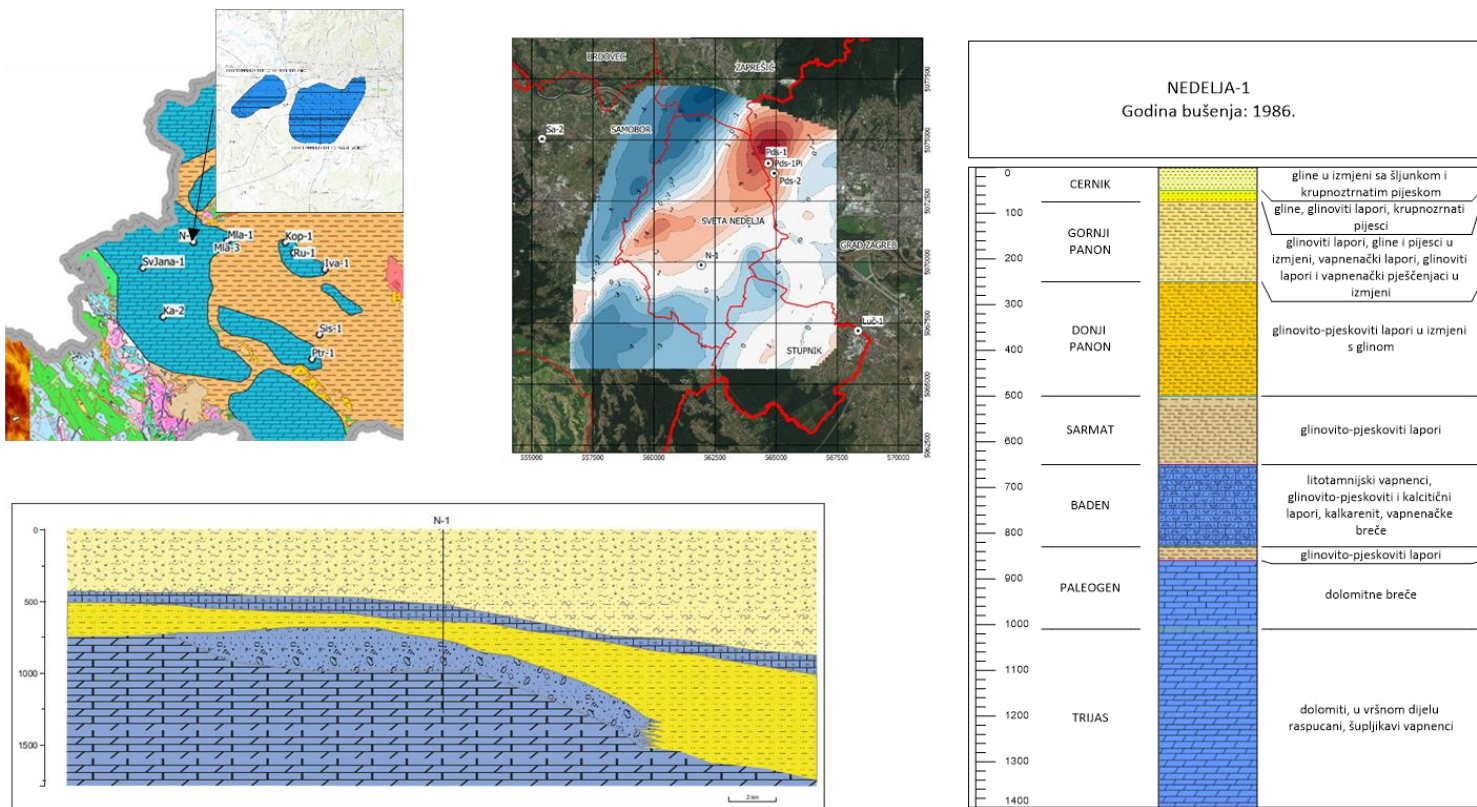
Tektonika bloka pod utjecajem je Dinaridske preneogenske tektonike i tektonike Panonskog bazena tijekom miocena. Preneogenski tektonski pomaci odnose se na izdizanje karbonatne platforme, skupljanje i širenje bazena te posljedičnu periodičku izmjenu plitkomorskog – dubokovodenog okoliša. Laramijski tektonski pomaci, koji su trajali od gornje krede do početka tercijara, od velike su važnosti za razvoj potencijalnih ležišta. Tijekom tog perioda, jadranska ploča izmaknuta je sjeveroistočnoprema panonskoj ploči. Vanjski Dinaridi subducirali su Unutarnje te je došlo do izjednačavanja masa zahvaljujući reversnim pokretima, rasijedanju i boranju. Elemente boranja Herak (1986) je otkrio na Žumberku.

Dva glavna tektonska perioda, Alpiska orogeneza s pirinejskim tektonskim ciklusima tijekom oligocena i neotektonska Savska faza s normalnom tektonikom, uzrokovala su izdizanje glavne strukture. Tijekom srednjemiocenskog riftinga događali su se horizontalni pokreti sa strike-slip rasijedanjem, kada je nastala i Karlovačka depresija na čijem pregibu se nalazi Sveta Nedelja. Mlađi pliocen i kvartar obilježeni su intenzivnom tektonikom. Strukturni lomovi i vertikalni pokreti od preko 1000 m vidljivi su kvartaru – Karlovačka depresija se produbljuje, a područje rijeke Kupe i Zagrebačka gora se izdižu (slika 6.11.1).

Rasjedi pripadaju dvama glavnim sustavima: longitudinalni, normalni rasjedi orijentacije sjeverozapad-jugoistok na rubovima struktura i transverzalni rasjedi sjeveroistočno-jugozapadne orijentacije koji su uzrokovali stijenske pokrete. Neotektonski pomaci u neogenu i kvartaru od presudne su važnosti za formiranje strukturnih oblika. Prikrili su starije strukture koje su vidljive u izlomljenim rasjedima orijentacije sjever-sjeverozapad – jug-jugoistok i ekstenziji istok – zapad. Neki od važnijih tektonskih elemenata, prije svega rasjeda povijesno interpretiranih od strane geološko geofizičkih stručnjaka nalaze se na području Svete Nedelje: Balatonski rasjed kojeg je detektirao Gorjanović Kramberger, kasnije nazvan Balatonska termalna linija, Zagrebački rasjed pružanja istok zapad, interpretacija prof. Prelogović, rasjed uočen na gravimetrijskim i seizmičkim podacima na sjeverozapadnom rubu općine, koji dijeli Samoborski subbazen i Podsusedski prag uočen na gravimetrijskim i seizmičkim podacima.

Složeni tektonski odnosi uzrok su postojanja intenzivnih pukotinskih sistema u dolomitnim i donjomiocenskim ležištima koja su kroz dugo geološko razdoblje bili pod utjecajem tektonskih pokreta.

GEOTERMALNO TIJELO "SVETONEDELJSKO"



Slika 6.11.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja priljevnog područja Svetonedeljskog geotermalnog tijela

Bušotina N-1 je samoizljevna, no koncesionar je ugradio crpku u bušotinu s kojom se može crpiti max 25 L/s (Pranjić et al., 2018). Prema Pranjić et al., 2018 provedeno je „*proizvodno ispitivanje u cilju dobivanja ležišnih i proizvodnih parametara potrebnih za utvrđivanje rezervi geotermalne vode i razine ležišne energije i njene prirodne nadoknade, pokazalo je da se radi o ležištu sa prirodnim napajanjem koje u potpunosti nadoknađuje količinu proizvodnje od 25 L/s koju je ugrađenom dubinskom crpkom bilo maksimalno moguće ostvariti tijekom ispitivanja. Kako se radi o ležištu s prirodnim napajanjem, gdje tijekom crpljenja nema pada ležišnog tlaka, a kvaliteta vode omogućava ispuštanje ohlađene geotermalne vode u melioracijski kanal, odnosno potok Velika Sjenokoša*“.

Obzirom da korisnik nije omogućio uzimanje uzorka geotermalne vode, kemijsko stanje se bazira na analizama kada je bušotina N-1 izbušena i analizi iz elaborata Pranjić et al., 2018.

Geotermalne vode pripadaju Na-Cl tipu voda, a temperatura vode je niža od voda iz Zagrebačkog tijela i iznosi 71°C. Sadrži CO₂ (35 mg/L), nešto manje H₂S (2,4 mg/L).

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, nitrati, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja (Tablica 6.11.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.11.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 2 analize (analiza u sklopu bušotinskih izvješća za bušotine N-1 dobivene od AZU, 1986 i Pranjić et al., 2018)

Tip vode	Električna vodljivost (μS/cm)	Temperatura (°C)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi (μg/L) (mjereno 2018.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena (μg/L) (mjereno 2018.)
Na-Cl	1100	71	<0,1	<0,1	<0,1

Ekspertnom procjenom je Svetonedeljsko TGV ocijenjeno u dobrom kemijskom stanju. Iako visoka temperatura i električna vodljivost podzemne vode upućuju na vrlo dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Obzirom da je istraživanjima ustanovljeno da eksploatacija s količinom od 25 L/s neće uzorkovati sniženje, količinsko stanje se procjenjuje dobrim s visokom pouzdanosti.

Obzirom na stanje i način korištenja geotermalne vode, Svetonedeljsko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.12. Svetojansko geotermalno tijelo

Svetojansko geotermalno tijelo nalazi se na zapadnom rubu karbonatnog kompleksa, na obroncima Žumberačke gore te zauzima površinu od 144,3 km². Na području ovog TGV trenutno se nalazi jedan korisnik koji je ujedno i koncesionar, a to je Jamnica Plus d.o.o koja geotermalnu vodu koristi za flaširanje. Koncesija je izdana na temelju Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), a iznosi 266.000 m³/godišnje s maksimalnom crpnom količinom od 5 L/s. Do sredine 90-tih godina izvor se koristio za potrebe bazena koji su izgrađeni 1 km južnije od samog izvora.

Geološki predstavlja zasebnu cjelinu koja je normalnim rasjedima uzdignuta nad karlovačkom depresijom. Bušotinom Sveta Jana – 1 probušene su naslage trijasa, krede, miocena i pliocena. Trijaskе naslage predstavljaju sivi do sivobijeli kriptodolomitični mikrokrstalični raspucani dolomiti, te matriks i pukotine su dolomitične. Naslage su taložene u nadplimnom okolišu, duže vrijeme su u emerziji. Predstavljaju glavni vodonosnik geotermalne vode.

Na njih naliježe transgresivno regresivna serija miocenskih sedimenata zastupljena plitkomorskim vapnencijama i klastičnim naslagama taloženim u prijelaznom okolišu obalne zone. Taložene su u unutrašnjem šelfu sa tendencijom postupnog oplićavanja. Na području strukture neogenske naslage su stanjene i diskordantno naliježu na karbonatne naslage.

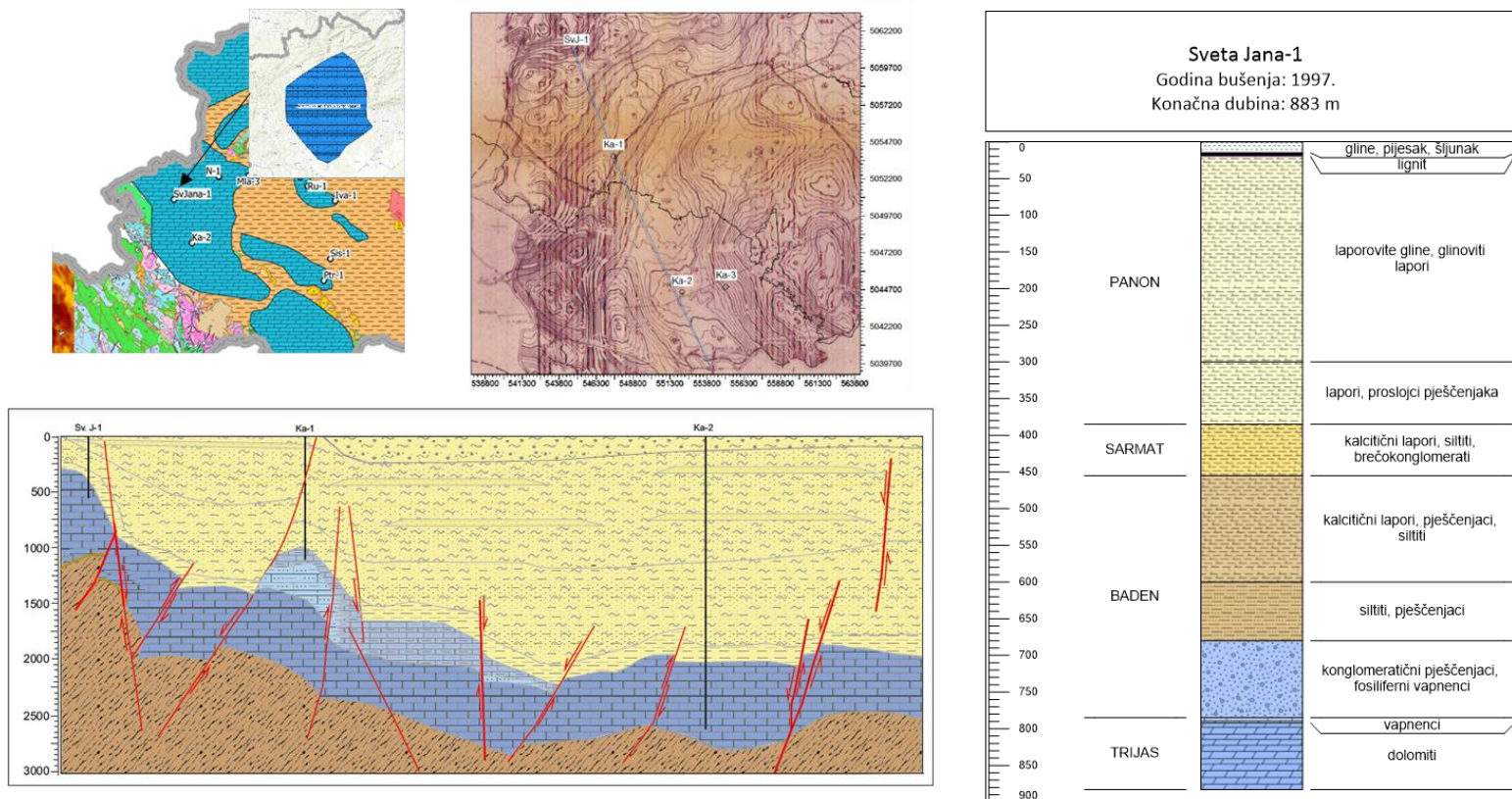
Sarmatske naslage su regresivnog karaktera i konkordantno naliježu na sediment badena. Panon također leži konkordantno na sarmatu na većem dijelu karbonatnog kompleksa. Podruje Svete Jane je prema Vrsaljko D. (2003) iznimka. Bušotinom je ustanovljeno i sedimentološko paleontološkim analizama utvrđeno da su na području u direktnom kontaktu krupno klastični sediment panona i trijaska podloga.

Na sarmatskim sedimentima kontinuirano slijedi serija dubljevodnih lapora s rijetkim proslojcima pijesaka, što ukazuje na produbljavanje sedimentacijskog prostora i slabljenje utjecaja kopnenog zaleđa.

Tektonika područja je složena. Kontinuiranje naguravanje Plešivice sa zapada i naglo produbljavanje Karlovačkog bazena uzrokovali su postojanje navlačnih elementara starije generacije te normalne rasjede koji su utu inicijalnu tektoniku prekrili. Kombinacija navlačenja i rasjedanja posebno je izražena na zapadnom dijelu karbonatnog tijela.

Područje Svete Jane normalnim je rasjedom odijeljeno od stepenice bazena zapadno od bušotine Karlovac-1. Karta Bougerovih anomalija indicira pružanje strukture Sveta Jana u smjeru jugozapad-sjeveroistok, dok su glavni smjerovi struktura istočnog dijela karbonatnog tijela sjeverozapad-jugoistok.

GEOTERMALNO TIJELO "SVETOJANSKO"

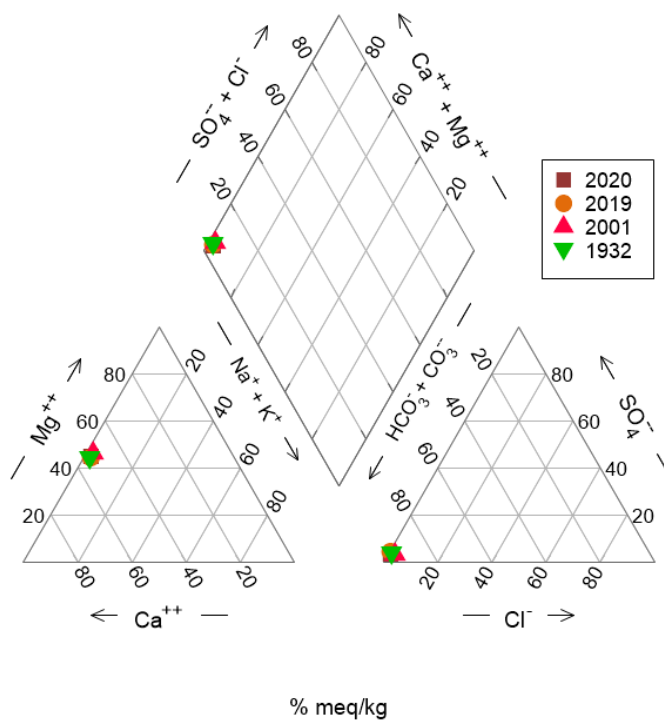


Slika 6.12.1. Geološka, strukturalno-tektonska obilježja područja Svetojanskog geotermalnog tijela

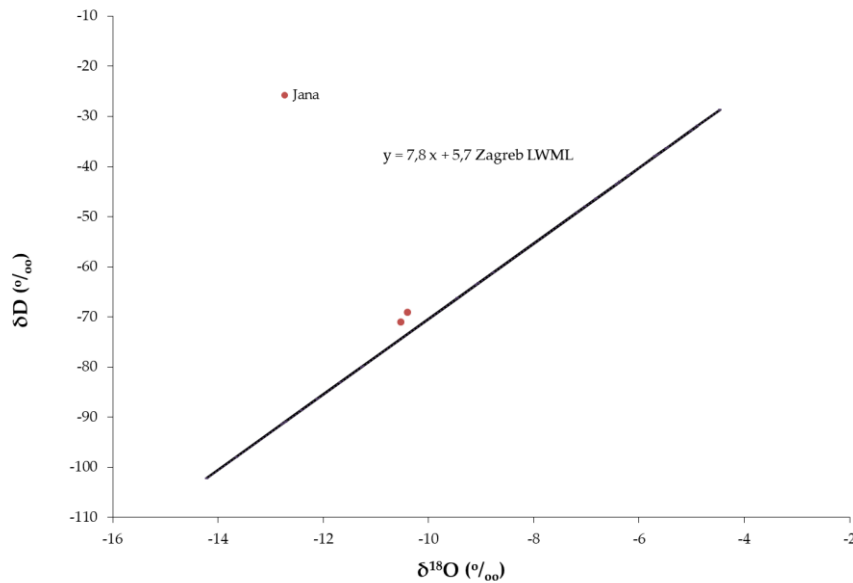
Na području ovog geotermalnog tijela nalazi se izvor Toplica te bušotina 1,8 km južnije od izvora, izbušena 1997. dubine do 800m. Kapacitet bušotine koji je izmjeren 1997. iznosio je 9,7 L/s (Šikić u Šimunić, 2008). Izdašnost izvora Toplica prema Šikić u Šimunić, 2008 iznosi oko 40 L/s dok tijekom mjerenja za potrebe izrade doktorske disertacije u travnju i srpnju 2012. mjerene izdašnosti su 43,2 i 45,2 L/s.

Temperature vode je oko 25°C, a voda te pripada CaMg-HCO₃ tipu voda. U lipnju 2012 uzet je uzorak iz bušotine te je vidljivo iz Priloga 1 da je kemijski sastav izvorske i bušotinske vode isti. Iz slike 6.12.2. vidljivo je da se kemijski sastav vode kroz vrijeme ne mijenja. Koncentracije nitrata su vrlo niske i kreću se od ispod granice detekcije do 3 mg/L. Voda sadržava magneziji čije koncentracije variraju od 33 do 36 mg/L te fluor oko 0,2 mg/L.

Iz slike 6.12.3 vidljivo je da je voda u geotermalnom vodonosniku oborinskog podrijetla jer su vrijednosti smještene oko LMWL Zagreb (Vreča et al., 2006.)



Slika 6.12.2. Piperov dijagram uzorkovanih voda



Slika 6.12.3. Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalne vode

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrikloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 2 mg/L (Tablica 6.12.1).

Tablica 6.12.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 5 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020 i 2019; Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$)
CaMg- HCO_3	520 - 550	25	<0,1 - 3	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Premda nisu zapažene promjene u temperaturi i električnoj vodljivosti geotermalne vode što upućuju da nema miješanja s mladom hladnom vodom u podzemlju, ali nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro no obzirom da nema kontinuiranih mjerenih podataka o količinama i razinama vode, pouzdanost je niska.

Obzirom na stanje i način korištenja geotermalne vode, Svetojansko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je niska.

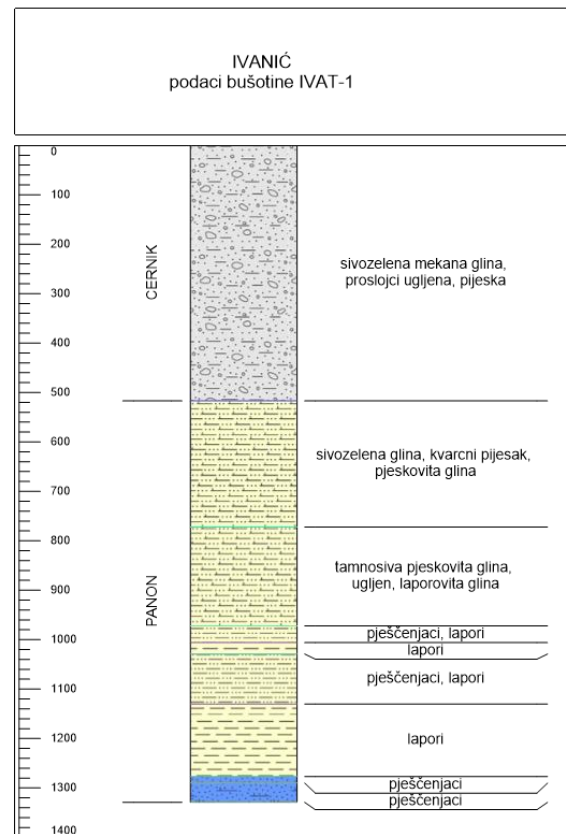
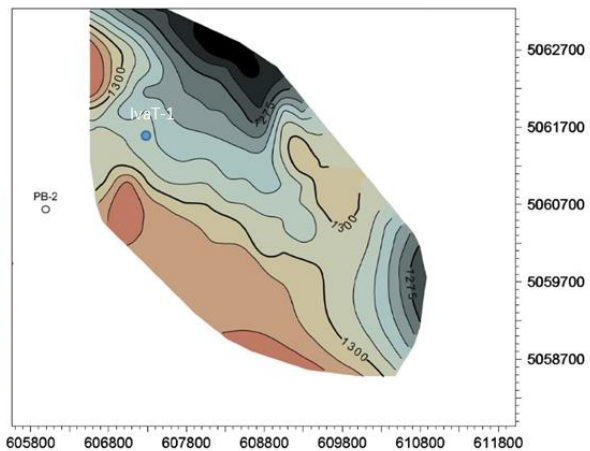
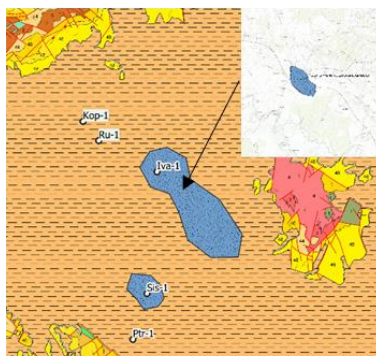
6.13. Ivanić gradsko geotermalno tijelo

Geotermalno tijelo Ivanić gradsko dio je neogenske sukcesije pješčenjaka u savskoj potolini te zauzimapovršinu od 135,2 km². Na području TGV nalazi se jedan korisnik lječilište Naftalan, a prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) koncesiju ima INA d.d na geotermalnom ekplotacijskom. Eksplatacija bušotina je IVA-1T.

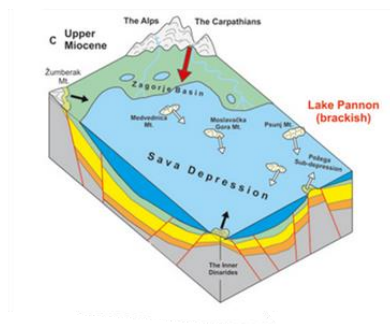
Bušotina IVA-1T izbušila je tanak sloj kvartarnih naslaga. Naslage pleistocena predstavljena su močvarnim praporom i aluvijalnim sedimentima. Četiri praporna horizonta odgovaraju oledbama i izgrađeni su od sitnozrnaih glinovitih i pjeskovitih siltova s proslojcima gline, teseta i lignita. Dublje su nabušene naslage bezkarbonatnog prapora koji je produkt eolskog nanašanja čestica siltnih dimenzija. Praporni horizonti naliježu na holocenske aluvijalne naslage. Najplići dio panonskih naslaga je Široko Polje formacija debljine 770 m, bušenjem je ustanovljen potpun slijed naslaga jedinice. Geotermaln vodonosnik se nalazi u Ježevo članu, izgrađenom od lapora u izmjeni sa svjetlosivim, sitnozrnatim, slabovezanim kvarc-tinjčastim pješčenjakom, zasićenim u intervalima 1277-1280 i 1282-1291 zasićenih geotermalnom vodom. Geotermalno tijelo je razvijeno i u vršnom dijelu Kloštar Ivanić formacije, Bregi pješčenjaci, kako lapor koji dijeli ta dva vodena sloja nije nabušen bušotinom Iva-2, pješčani slojevi su povezani u jednu hidrodinamičku jedinicu. Debljina Bregi pješčenjaka je približno 40 m. Pješčani horizonti blago tonu u smjeru jugoistoka istoka, dok oplićavanju u smjeru naftnog polja Kloštar na sjeveroistoku. Granica geotermalnog tijela podudara se s prostiranjem naftnog polja Ivanić.

GEOTERMALNO TIJELO "IVANIĆ GRADSKO"

Strukturalna karta po krovini ležišta geotermalne vode



Taloženje pješčenjaka

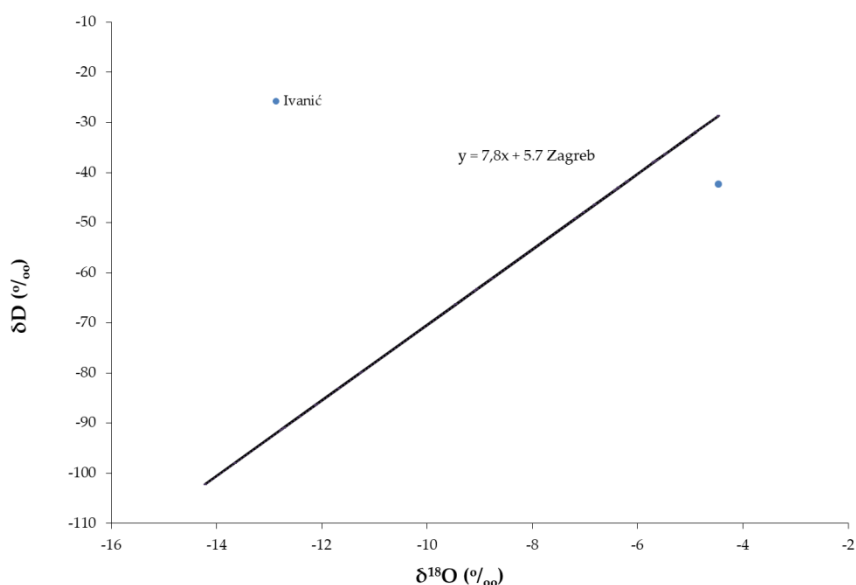


Slika 6.13.1. Geološka, strukturalno-tektonska obilježja područja Ivanić gradskog geotermalnog tijela

Geotermalna voda bušotine IVA-1T pripada Na-Cl tipu voda sa izuzetno visokim koncentracijama amonijaka koje dosežu 58 mg/L. Također voda sadrži fluor (1,9 mg/L), brom (0,1 mg/L), sumporovodika (0,4 mg/L) i nešto joda (0,5 mg/L) te se zbog tih značajki koristi u svrhu lječenja. Također u sebi sadržava tragove nafte što uzrokuje visoke koncentracije otopljenog organskog ugljika u vodi (29,7 mg/L). Temperatura vod na izljevu bušotine je 40°C.

Trenutna izdašnost bušotine je 4 L/s što je manje nego kada je bušotina izrađena tada je iznosila 6 L/s. Lječilište Naftalan povremeno koristi max 1,5 L/s (Klanjec, 2014). Smanjenja izdašnost bušotine je posljedica taloženja naslaga na stjenke bušotine i u zoni perforacija (filtra) (prema navodima korisnika). Potrebno je čišćenje bušotine da se odstrani talog sa stjenki bušotine.

Da bi se utvrdilo da li je podrijetlo geotermalne vode u vodonosniku oborinsko, izmjerena vrijednost omjera $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ stavljena je u dijagram $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ te je vidljivo da je uzorka oko LMWL Zagreb (Vreča et al., 2006) što ukazuje na oborinsko podrijetlo (slika 6.13.2), no vrijednost je pomaknuta u desno od linije što je posljedica utjecaja geokemijskih procesa u vodonosniku. Naime voda sadržava naftu pa se odvija metagenetski proces što se očituje između ostalog i na omjer $\delta^{18}\text{O}$. Kao potvrda ovog procesa je i izmjeren vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ u DIC-u koja iznosi 10,7 ‰ (Coetsiers & Walraevens, 2009).



Slika 6.13.2. Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda tijela

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 1,4 mg/L (Tablica 6.13.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.13.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 2 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2019; analiza u sklopu bušotinskih izvješća za bušotine N-1 dobivene od AZU, 1989)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 1989.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 1989.)
Na-Cl	24200	40	<0,1 - 1,4	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Iako razmjerno visoka temperatura, a posebice električna vodljivost podzemne vode upućuju na dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se koristi 1,5 L/s od max 4 L/s. Pouzdanost je niska.

Obzirom na stanje i način korištenja Ivanićgradsko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je niska.

6.14. Županjsko geotermalno tijelo

Županjsko geotermalno tijelo nalazi se na gotovo krajnjem jugoistočnom dijelu Hrvatske, u pješčenjacima panonske starosti te zauzima površinu od 107,5 km². Na području TGV nalazi se jedan korisnik Ruris d.o.o koji prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) geotermalnu vodu koristi u svrhu grijanja plastenika u kojima se uzgaja rajčica.

Najstarije stijene promatranog područja pretpostavljeno su mezozojske starosti i u diskordantnom su odnosu s krovinskim i podinskim naslagama, a čine ih većinom kataklazirani karbonati i prodori dijabaza. Mezozojske naslage izdvojene su na temelju superpozicijske korelacije sa sličnim facijesima evidentiranim u građi Papuka i Krndije te sjevernog Psunja. Osim ranije navedenih stijena, litofacijesi podloge tercijara zastupljeni su i anhidritiziranim dolomitima, koji su najznačajniji kolektori na širem prostoru.

Donjomiocenske naslage (otnang, karpat) čine fini laporovito-pjeskoviti klastiti, dok je srednji miocen zastupljen litotamnijsko-briozojkim biokalkarenitima i biokalkruditima, koji su mjestimično dolomitizirani, s peletoidnim vapnencima u krovini. Gornjomiocenske naslage,

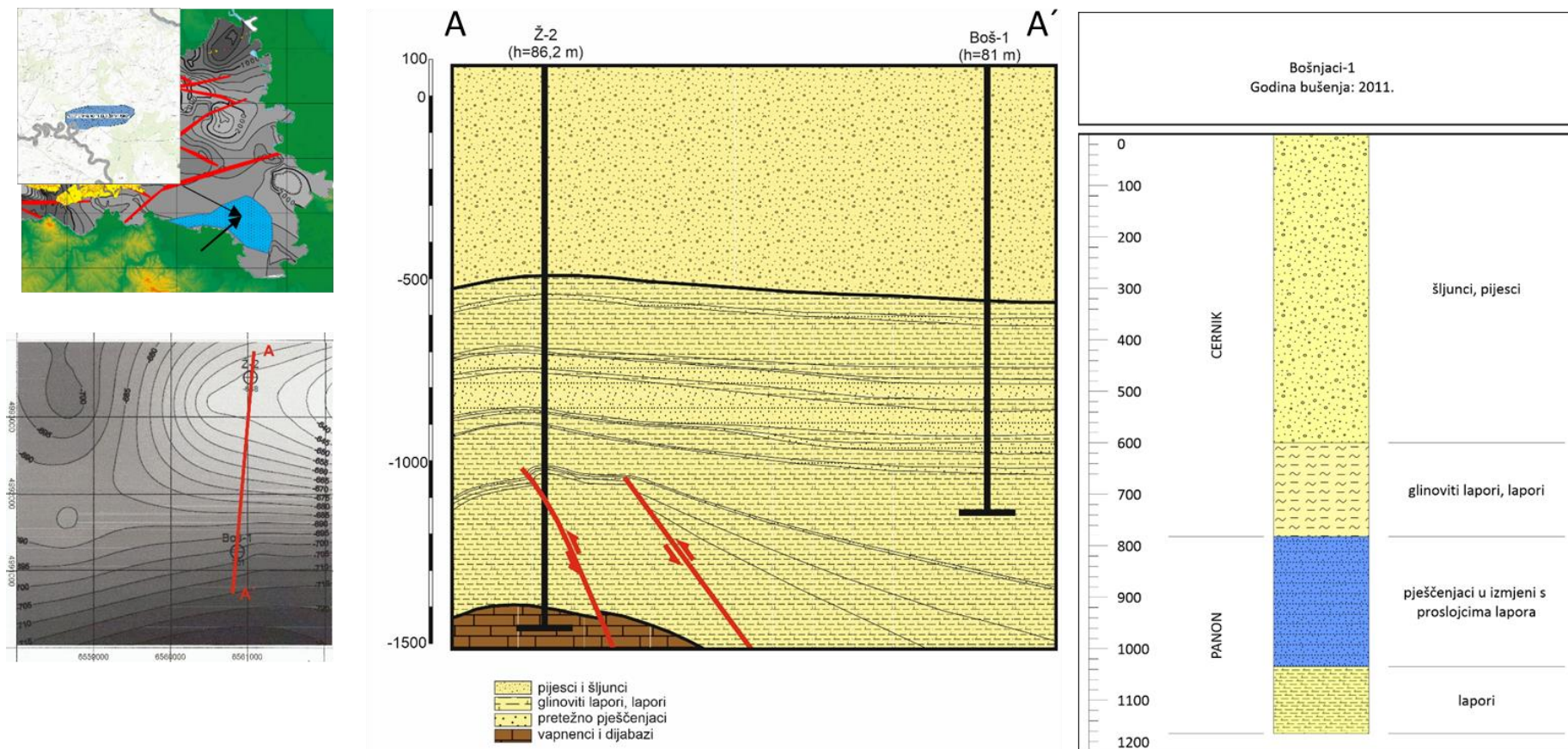
zastupljene su monotonom izmjenom pješčenjaka uz izolatorske glinovite dijelove te značajnu prisutnost ugljena. Cerničke naslage čine pijesci, šljunkoviti pijesci, pjeskovite gline, a kraj sedimentacijskog ciklusa tvore šljunci, pijesci i vrlo tanak humusni pokrov.

Geotektonski gledano, Županjsko geotermalno tijelo smješteno je u bazenskim uvjetima, na rubu uzdignutih struktura podloge tercijara. Zbivanja tijekom mezozoika, kada je došlo do odlaganja značajnih količina karbonata, važna su za geotermalnu sliku šireg prostora. Tada istaloženi karbonati tektonski su deformirani i lomljeni te se u njima razvio porni prostor tijekom orogenetskih procesa i duge kopnene faze.

Najvažnija tektonska aktivnost odvijala se u tijekom tercijara, kada se talože i vodonosne i krovinske stijene. Tijekom cernika prisutan je trend tonjenja te prekrivanja vodonosnih naslaga klastitima debljine od gotovo 800 m.

Županjsko geotermalno tijelo izgrađuju Županjski pješčenjaci koji se nalaze na dubinama od otprilike 800-1035 m, a građeni su od sitnozrnatog do srednjevezanog kvarc-tinjčastog pješčenjaka s proslojcima sivog mekanog do srednje tvrdog lapora.

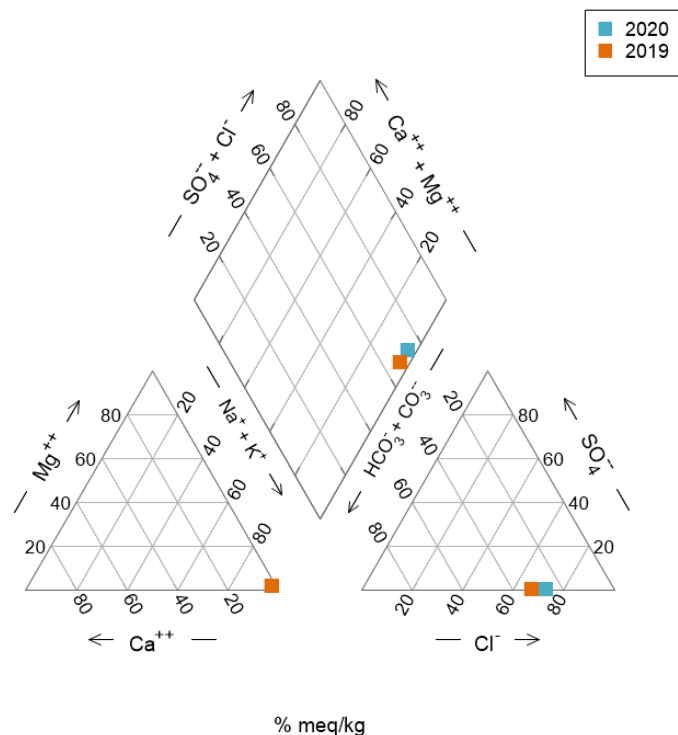
GEOTERMALNO TIJELO "ŽUPANJSKO"



Slika 6.14.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Gornje Međimurskog geotermalnog tijela

S ciljem smanjenja troškova stakleničke proizvodnje rajčice, 2010. godine u blizini bušotine Ž-2 izbušena je bušotina Boš-1 do dubine od 1165 m (Bilić, 2016). Bušotina je zahvatila vodonosne Županjske pješčenjake. Od 2012. bušotina se koristi za grijanje plastenika. Maksimalna izdašnost bušotine je 20 L/s (Bilić, 2016), a prema navodima korisnika, za potrebe grijanja plastenika koristi se između 5 – 10 L/s ovisno o potrebama za toplinskom energijom (prema navodima korisnika). Da bi se optimaliziralo korištenje geotermalnog vodonosnika, planira se bušenje nove bušotine Boš-2 koja bi postala proizvodna, a dosadašnja bi postala utisna bušotina. Trenutno se rashlađena voda ispod 30°C ispušta u kanal.

Prema svom osnovnom ionskom sastavu voda pripada u Na-Cl tipu voda. Geotermalna voda sadržava visoke koncentracije amonija do 28 mg/L, bromida (2,8 – 3,5 mg/L) i fluorida (0,3 mg/L). Koncentracije nitrata su ispod granice detekcije. Također, geotermalna voda sadržava visoke koncentracije metana koji se prilikom eksploatacije sagorijeva te se i ova toplina također koristi za dogrijavanje vode nakon što se prije ugrije s geotermalnom vodom.



Slika 6.14.2. Piperov dijagram uzorkovanih voda

Korisnik za potrebe proizvodnje toplinske energije iz geotermalne vode kontrolira tlakove u bušotini te za sada, u ovom kratkom razdoblju od kada se pridobiva geotermalna voda nema nikakvih promjena.

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, nitrati, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja (Tablica 6.14.1).

Tablica 6.14.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 3 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2019 i 2020; analize iz bušotinskih izvješća dobivenih od AZU, 1985)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2016.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2016.)
Na-Cl	4115	63	<0,1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Iako visoka temperatura i električna vodljivost podzemne vode upućuju na vrlo dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se koriste manje količine geotermalne vode od mogućih te se ne zapažaju promjene u tlakovima u vodonosniku. Pouzdanost je niska.

Obzirom na stanje i način korištenja Županjsko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027.

6.15. Gornje Međimursko geotermalno tijelo

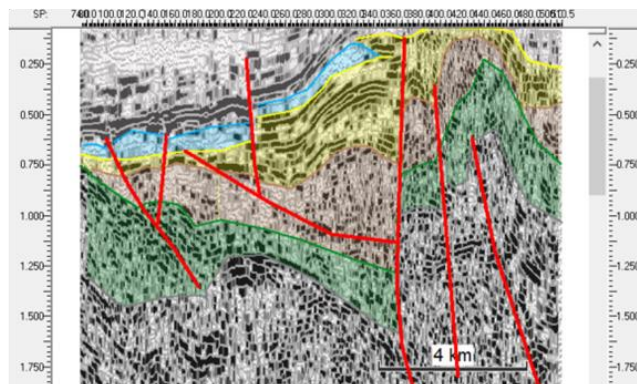
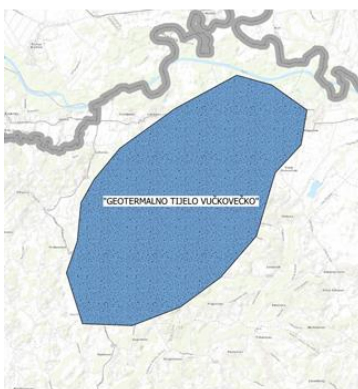
Gornje Međimursko geotermalno tijelo nalazi se u području Međimurskih gorica, u pješčenjacima panonske starosti te obuhvaća površinu od 331,4 km². Trenutno na području TGV nalazi se samo jedan korisnik Toplice Sv.Martin na Muri koji prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), dodijeljena koncesija u iznosu 18.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja do 2 L/s. Koristi se bušotina Vuč-2.

Šire područje izgrađuju naslage badena, sarmata, gornjeg panona i tanki kvartarni pokrov. Istražnim bušenjem utvrđena je granica trijaskih dolomita i badenskih dolomitno-vapnenačkih breča na dubini od 2283 m. Kompleks ovih breča i njihove dolomitne podloge predstavlja odličan kolektor plina, a moguće je i da ima ulogu provodnika nafte i geotermalne vode.

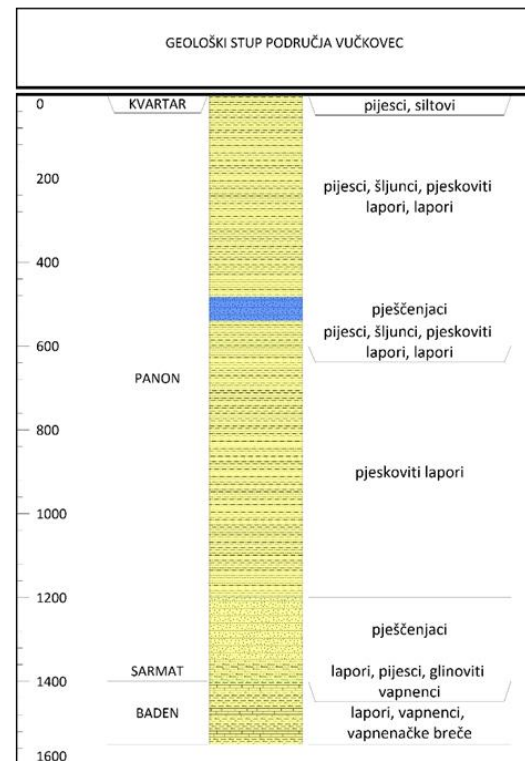
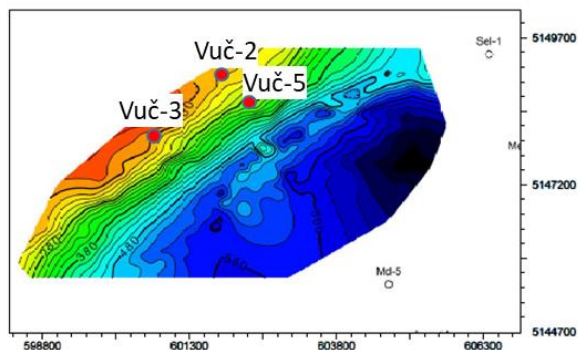
Geotermalna voda nalazi se u propusnim sedimentima tortona odnosno badenskih naslaga koje su predstavljene vapnenačkim, dijelom konglomeratičnim pješčenjacima i biogenim vapnenacima te slijede žućkasto i sivi, tanko uslojeni lapori, pjeskoviti lapori i pijesci s proslojcima pješčenjaka.

Najvažniji strukturni element promatranog područja svakako je Ormoško-Selnička antiklinala. Os pružanja od početnog smjera JZ-SI, mijenja smjer u Z-I te tone kod Peklenice. Iako se dugo smatralo da je to jedinstvena struktura, novija istraživanja upućuju da je riječ o dvama strukturama, koje su međusobno odvojene "Donačkim rasjedom", koji se proteže od Donačke gore u Sloveniji, preko Ravne gore i Vinice do Sv. Martina na Muri.

GEOTERMALNO TIJELO "GORNJE MEĐIMURSKO"



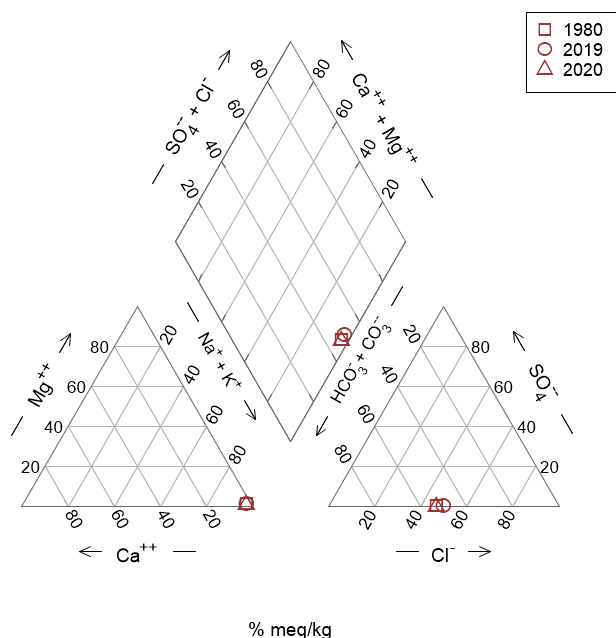
PRIKAZ ENERGIJE SEIZMIČKOG SIGNALA



Slika 6.15.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Gornje Međimurskog geotermalnog tijela

Na ovom području su važne bušotine koje su izbušene tijekom istraživanja ugljikovodika, a zaslužne su za razvoj toplica Sv. Martin na Muri. Početak razvoja Toplica Sveti Martin na Muri vezan je za ljekovita svojstva podzemne termomineralne vode, čije eksploatacija započinje 1913. godine izradom duboke bušotine E-17. Bušotina E-17 izvedena je u sklopu detaljnih geoloških istraživanja ležišta nafte i plina na području djela Panonskog bazena. Izrada bušotine trajala je od 1911. godine do 1913. godine. Dubina bušotine iznosi 830 m. Bušenjem je dobivena termomineralna voda temperature 33°C. Bušotina samoizljeva, a istjecanje se odvija pod utjecajem "gas-lift" sustava. Zajedno sa istjecanjem vode oslobađa se i plin, koji prema literaturnim podacima predstavlja mješavinu metana i CO₂. U literaturnim podacima sreću se podaci o izdašnosti od 1.7 L/s do 15 L/s. Prvo organizirano korištenje termomineralnih voda iz bušotine E-17 zabilježeno je 1936. 1971 izbušena je bušotina Vučkovec-2 (Vuč-2) koja je imala izdašnost oko 1,7 L/s, a temperatura vode koja je mjerena nakon bušenja je iznosila 40 °C. Danas je izdašnost povećana na 2 L/s, a temperatura je 35 °C (Milenić et al., 2014).

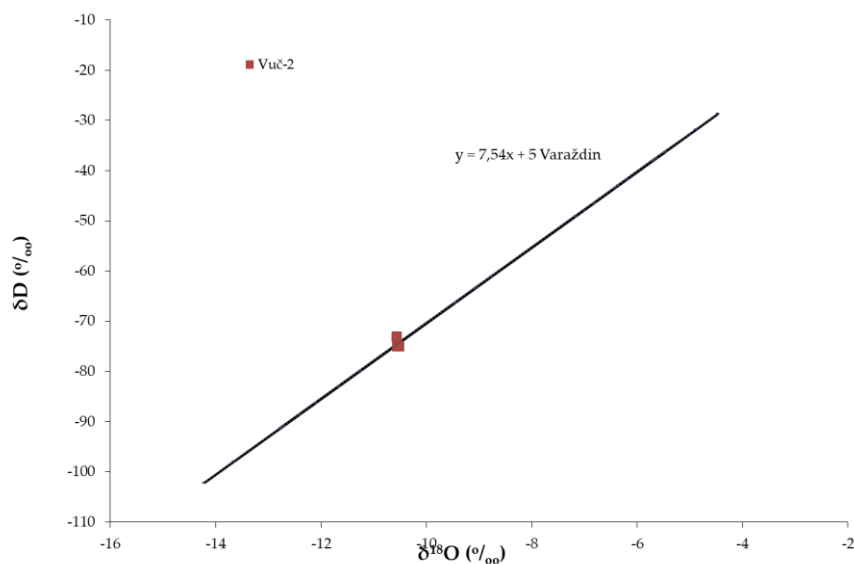
Geotermalna voda pripada Na-Cl tipu, sadrži visoke koncentracije amonija (od 20 do 23,8 mg/L), fluora (od 4 do 8,7 mg/L), klorida (od 2500 do 4300 mg/L), natrija (od 2700 do 2800 mg/L), joda (od 3 do 3,7 mg/L) te otopljenog ugljika od 19,5 do 26,5 mg/L. Uspoređujući kemijske analize iz 70-tih kada je bušotina izrađena i danas nema promjena u kemijskom sastavu što ukazuje da nema promjena u hidrotermalnom sustavu.



Slika 6.15.2. Piperov dijagram uzorkovanih voda

Zbog "gas-lift" i velike količine amonijaka prilikom izljeva iz bušotine pojavljuju se prelazak amonija u nitratni oblik pa koncentracije nitrata su do 18 mg/L. Obzirom na dubinu zalijeganja vodonosnika, vodonosnik je zaštićen od antropogenog utjecaja.

Iz izmjerenih omjera $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ vidljivo je da su uzorci oko LMWL Varaždin što ukazuje na oborinsko podrijetlo (slika 6.15.3) jer su vrijednosti smještene oko nje.



Slika 6.15.3 Omjer stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ geotermalnih voda

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od 13,3 do 16,5 mg/L (Tablica 6.15.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.15.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 5 analiza (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020; analize u sklopu projekta DARLINGe 2017-2019; analize u sklopu elaborata Milenić et al., 2014)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2014.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2014.)
Na-Cl	10 730 – 10 790	35 – 36,7	13,3 – 16,5	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Iako visoka temperatura i električna vodljivost podzemne vode upućuju na vrlo dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne ocijenjeno je dobrim. Prema navodima korisnika koristi se maksimalna izdašnost, a podataka motrenja nema na temelju čega je pouzdanost ocjene količinskog stanja niska.

Obzirom na stanje i način korištenja Gornjo Međimursko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.16. Donjo Međimursko geotermalno tijelo

Donjo Međimursko geotermalno tijelo nalazi se u Muskoj depresiji, sjeverno od Periadriatskog lineamenta, a dokazano je postojanje geotermalne vode u pješčenjacima panonske starosti te u badenskim i donjo miocenskim karbonatima. Donjo Međimursko TGV zauzima površinu od 230,9 km² a trenutno koncesiju za eksploataciju prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18, 52/19) ima AAT Geothermae d.o.o. No, eksploatacija još uvijek nije u tijeku.

U podlozi badenskog/panonskog geotermalnog vodonosnika su karbonati koji nažalost nisu istraženi u pogledu potencijalnosti i iskorištavanja na ovom području. Za razmatrane geotermalne vodonosnike značajne su starije badenske naslage koje sadržavaju alteracije pješčenjaka, pijesaka, pjeskovitih lapora i konglomerata. Pad tektonski izdignutog nivoa mora na granici karpata/baden doveo je do erozijske diskordancije u plićim dijelovima te do odlaganja krupnozrnatih lepezastih naslaga u dubljim dijelovima bazena.

Nakon dizanja i padanja nivoa mora došlo je do brze subsidencije (drugi dio prve sinriftne faze) koja je praćena starijebadenskom transgresijom. Naslage starijeg badena preklapaju se na podlogu tercijara relativno izdignutih blokova. Uspostavljeni su dubokovodni uvjeti i muljem bogati turbiditi i hemipelagički mulj započinju prekrivanje najdubljih dijelova bazena.

U plićim dijelovima bazena, diskordancija se pojavljuje blizu granice baden/sarmat tijekom niske razine system track-a, a u dubljim dijelovima bazena sekvencijska granica pomiče se prema pijeskom bogatim turbiditnim lepezama. Slojevi litostratigrafski pripadaju srednjem dijelu Čentiba člana. Plitkomorski karbonati taloženi u badenu u plićem dijelu bazena je karbonatni geotermalni vodonosnik.

Transgresija je uzrokovala odlaganje heterolitičnih siliciklasta i karbonata u plićim dijelovima Mura-Zala bazena tijekom starijeg sarmata. Dublji dijelovi su izloženi turbiditskoj sedimentaciji (Fodor et al., 2012). Sarmatskim Čentiba članom završava sedimentacija i prekrivena je Benica laporima članom panonske starosti.

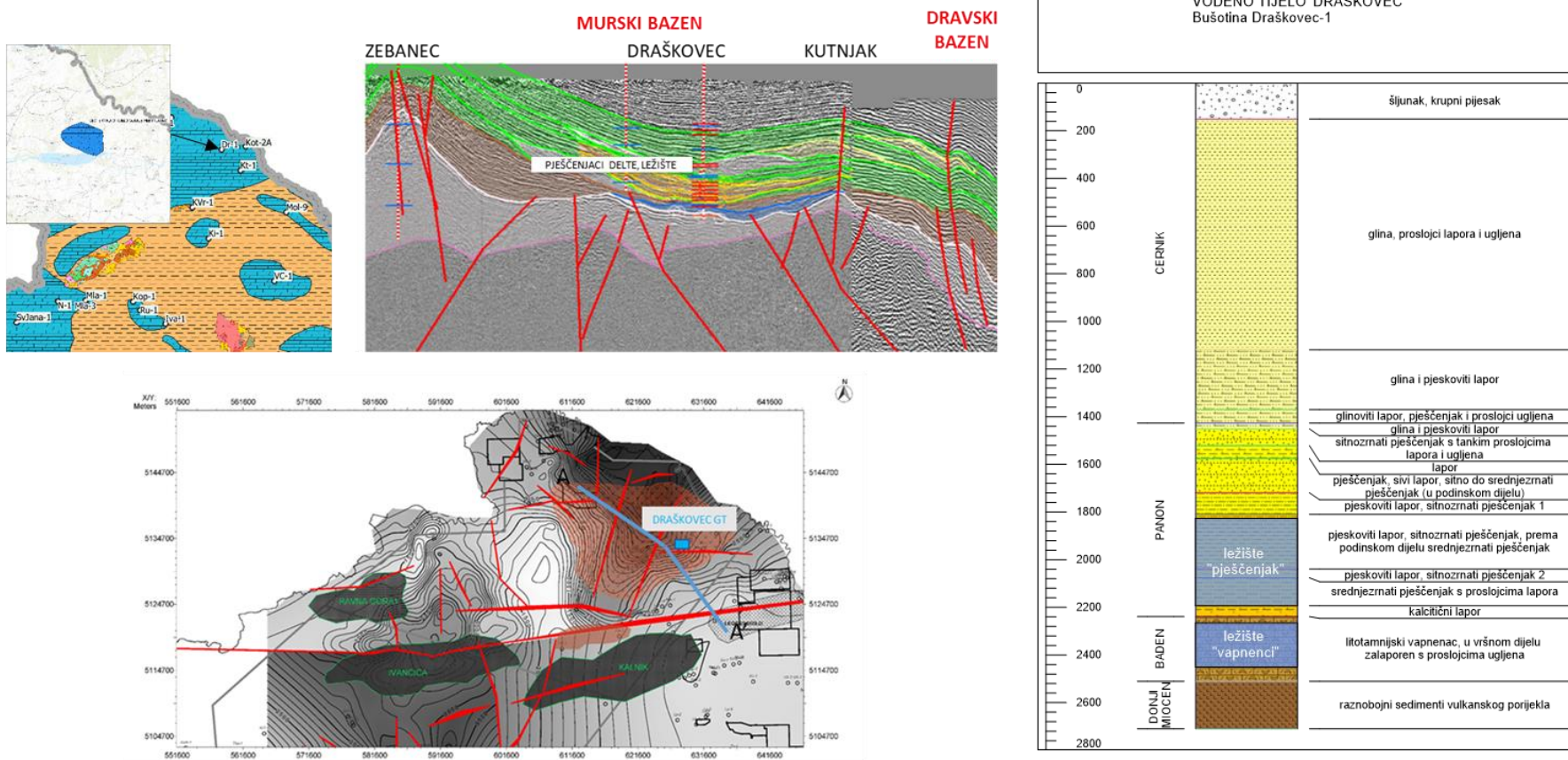
Podloga panona obilježena je glavnim transgresivnim događajem, što je dovelo do taloženja karbonatnih muljnjaka (Benic lapor) preko širokih i ranije izloženih prostora u istočnim i južnim dijelovima Murska Sobota bloka (Đurasek 1988) te preklapanja diskordancija na sarmatske slojeve u plićim dijelovima (Sadnikar 1993).

Nakon transgresije, ispunu čine pjeskoviti turbiditi (Petišovci pješčenjak) iz planinskih područja. Gornji dio sastoji se od fino sortiranih padinskih depozita s rijetkim malim pješčanim tijelima, što je podloga Lendava formacije. Padine su orijentacije sjever jug, a donos materijala zapad istok. Ova formacija je razvijena u dubljim dijelovima bazena. U područjima blizu slovenske granice, mogu se naći debeli izdanci turbidita i padinskih sedimenata.

Nakon toga slijedi sedimentacija deltnih sedimenata. Fronta delte obilježena je siltom i pješčanim tijelima s usitnjavanjem naviše, dok su glavni sedimenti delte predstavljeni fino zrnatom sedimentacijom, uključujući pješčana tijela s usitnjavanjem i okrupnjivanjem uviše te slojeve ugljena i rijetke slojeve šljunka. Debela sekvencija taložina delte ležište je geotermalne vode 'pješčenjaci'

Na panonske naslage naliježu pliocenske naslage koje se sastoje od alteriranog šljunkovitog pijeska, glinovitog pijeska, pjeskovitih i glinovitih šljunaka zajedno s bazaltnim tufom, tufitom i bazaltom. Nije označena kao ležište zbog nedostatka izolatorskih stijena te izostaju pojave nafte i plina.

GEOTERMALNO TIJELO "DONJE MEĐIMURJE"



Slika 6.16.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Donje Međimurskog geotermalnog tijela

Na poručju tijela je eksploatacijsko polje Draškovec gdje se trenutno provode bušenja za elektranu koja će raditi na geotermalnu energiju i plin. Obzirom da geotermalna voda sadrži dosta metana prilikom eksploatacije potrebno je metan odvojiti od vode. Odvajati će se sagorijevanjem odnosno ta će se energija isto iskorištavati za pokretanje turbina. Također je predviđeno utiskivanje vode natrag u vodonosnik.

Prosječni porozitet utvrđen iz jezgre i interpretacijom EK dijagrama iz bušotine Dr-1 je 22,6 % a propusnost je 28,5 mD. Obzirom da je u vodonosiku pomiješani plin metan i voda, mjerene su količine izdašnosti za njih oboje. Izdašnost za vodu se kreće od 3,1 do 1,6 L/s, a za plin od 7,8 do 4,1 L/s.

Interpretacija kemijskih pokazatelja se temelji na analizi voda uzetih iz bušotine Dr-1 i Dr-2 koje su prve na eksploatacijskom polju. Voda pripada Na-Cl tipu voda te sadrži uz veliku koncentraciju metana, visoke koncentracije amonijaka do 40 mg/L, joda do 2,3 mg/L i bromida do 35,4 mg/L. Kada se uzmu u obzir omjeri Cl/Br i Cl/SO₄²⁻ vidljivo je da je riječ o mješavini starih paleooborina i naftne vode.

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrakloretilen su ispod granice detekcije mjerenja dok koncentracija nitrata varira od ispod granice detekcije do 1 mg/L (Tablica 6.16.1). Nitrati u ovom slučaju nisu antropogenog podrijetla već geogenog.

Tablica 6.16.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 2 analize (analiza u sklopu bušotinskog izvješća za bušotina Dr-1 i Dr-2 dobivenog od AZU, 2001)

Tip vode	Električna vodljivost (μS/cm)	Temperatura (°C)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi (μg/L) (mjereno 2001.)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena (μg/L) (mjereno 2001.)
Na-Cl	55200	94-110	<0,1 - 1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i predloženu metodologiju proizlazi da je tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Iako visoka temperatura i električna vodljivost podzemne vode upućuju na vrlo dugo zadržavanje vode u podzemlju, nema pouzdanijih podataka o njezinoj prosječnoj starosti pa je ocjena kemijskog stanja, prema predloženoj metodologiji, niske pouzdanosti. Pouzdanost je niska.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer trenutno eksploatacija još nije u tijeku. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na stanje i način korištenja Donje Međimursko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.17. Požeško geotermalno tijelo

Geotermalno tijelo Požeško zauzima površinu od 336,5 km², a smješteno je na sjeveru Požeške kotline, na južnim obroncima Papuka. Na području TGV postoji jedan koncesionar, koji već par godina ne koristi geotermalnu vodu. Koncesija je dodijeljena na temelju Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), Zlatnim termama-Velika d.o.o. u iznosu 60.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja do 10 L/s.

Za formiranje tijela značajan je rasjed istok zapad koji površinski predstavlja kontakt miocenskih naslaga i naslaga podloge kenozoika. Rasjed jugozapad sjeveroistok naslage podloge dijeli u dva kompleksa, karbonski kompleks škriljavaca i gnajseve te kompleks trijaskih karbonata, koji čine tijelo većih dimenzija i proteže se sve do Ilovske subdepresije.

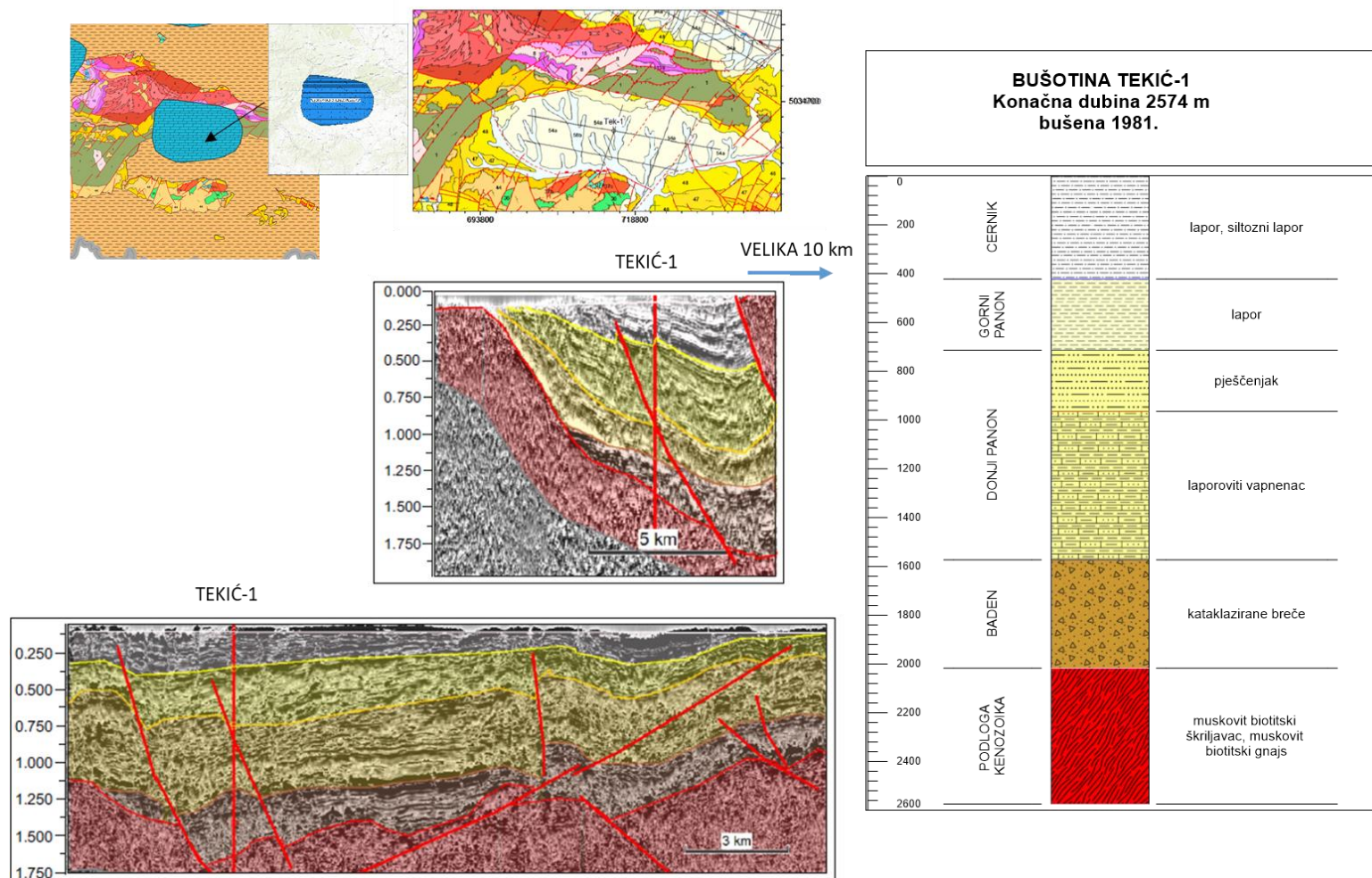
Bušotina Tekić uz nekoliko seizmičkih profila duboki je istražni rad na području. Iako nije nabušila karbonatni kompleks značajna je za tumačenje geoloških odnosa na području. Isto tako na seizmičkom profile sjever – jug te na profile zapad istok, interpretirana je podloga neogena, u razvoju metamorfita i tektonski odnosi s naznačenim reversnim rasjedom istok-zapad. Karbonski metamorfni kompleks zastupljen je škriljavim metagrauakama i grauakama u izmijeni sa slejtovima. Debljina slojeva je u grauakama veća od metra.

Slijede donjotrijaske naslage tektonski uključene između gornjokarbonskih stijena i naslaga srednjeg trijasa. Slojevi se sastoje od slabometamorfoziranih kvarcnih pješčenjaka koji postepeno usitnjavaju. Krovinske naslage sa proslojcima dolomita označavaju postupni uvod u karbonatnu sedimentaciju izraženu u gornjem trijasu. Gornji trijas izgrađen je od dolomitno vapnenačkog kompleksa. Dolomiti prevladavaju, primarno su uslojeni do metarskih dimenzija, no najčešće su jako razlomljeni s brojnim pukotinama. Ove naslage predstavljaju geotermalni vodonosnik.

Badenske naslage transgresivno naliježu na paleozok na istočnom dijelu Požeške kotline, istočno od Velike. Na zapadnom dijelu uslijed pomanjkanja seizmičkih podataka razvijene su i naslage trijasa. Panonske naslage ustanovljene su u bušotini TEkić-1, gornjopanonske se stanjuju u smjeru istoka. Deluvijalno proluvijalni nanosi donjeg te mjestimično uz vodotokove aluvijalne naslage prekrivaju samu kotlinu, dok na padinama starije naslage izdanjuju na površini.

Tektonički sklop obilježen je tangencijalnim kretanjima i navlačenjima. Kao što se uočava na seizmičkim profilima stvorene su borane strukture, djelomično rasjedane. Navlačenje je vidljivo na seizmičkom profile koji se pruža u smjeru zapad istok.

GEOTERMALNO TIJELO POŽEŠKO

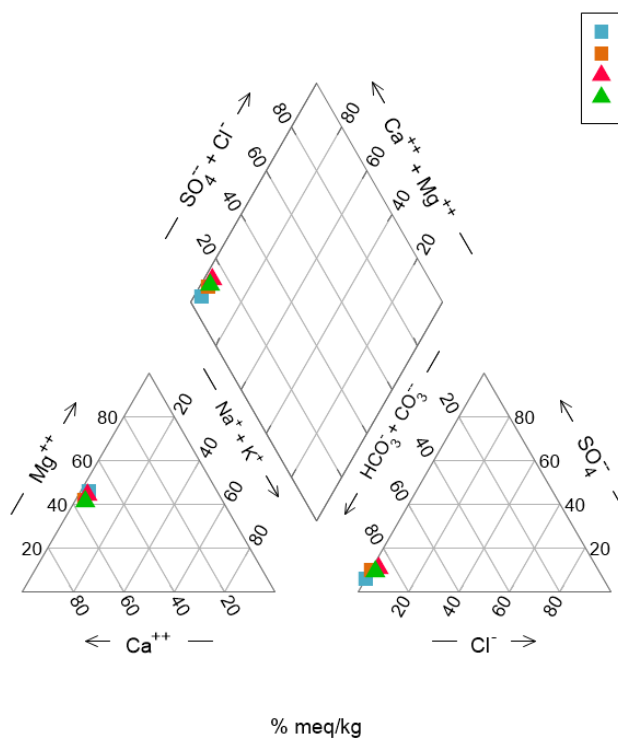


Slika 6.17.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Požeškog geotermalnog tijela

Pojave geotermalne vode nalaze se u Velikoj (dva izvora) i na području Tisovca (jedan izvor). Temperatura izvora u Velikoj kreće se od 26 do 27°C dok je temperatura izvora u Tisovcu daleko niža i iznosi 16,4°C.

Za izvore u Velikoj postoji nekoliko ahrivski mjerenja izašnosti (Miholić, 1947; Ivičić, 1981) koja utvrđuju da je ukupna izdašnost izvorišta oko 10 L/s.

Prema svom osnovnom ionskom sastavu voda pripada u CaMg-HCO₃ tipu te se vidi da kroz vrijeme osnovni kemijski sastav se ne mijenja što ukazuje na dobro stanje unutar vodonosnika. Istraživanja provedena od Marz et al., 2002 ukazuju da termalne vode iz Velike su neaktivne na tricij, što znači da nema suvremenog direktnog obnavljanja oborinama u posljednjih četrdeset godina. Aktivnost ¹⁴C uzoraka vode iznosi 47,6 pmc (percent of modern carbon) što upućuje da se voda u podzemlju zadržava cca 5960 godina (Marz et al., 2002).



Slika 6.17.2. Piperov dijagram uzorkovanih voda

Pokazatelji antropogenog utjecaja na kemijsko stanje termalne vode, kao što su pesticidi, trikloretilen i tertrikloretilen su ispod granice detekcije kao i mjerenja koncentracija nitrata (Tablica 6.18.1).

Tablica 6.18.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 4 analize (analiza u sklopu provedbe ovog projekta 2020; Marz et al., 2002; Juršić Mitrović, 2001;; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) srednja vrijednost	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L) srednja vrijednost	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2002)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$) (mjereno 2002)
CaMg- HCO_3	520-524	27	<0,1	<0,1	<0,1

Obzirom na opisano stanje kemizma geotermalne vode i prosječnu starost podzemne vode Požeško tijelo geotermalne vode s visokom pouzdanošću je ocjenjeno u dobrom kemijskom stanju.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro jer se geotermalna voda već nekoliko godina ne koristi. Pouzdanost je visoka.

Obzirom na stanje i način korištenja Požeško TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je visoka.

6.18. Lešćansko geotermalno tijelo

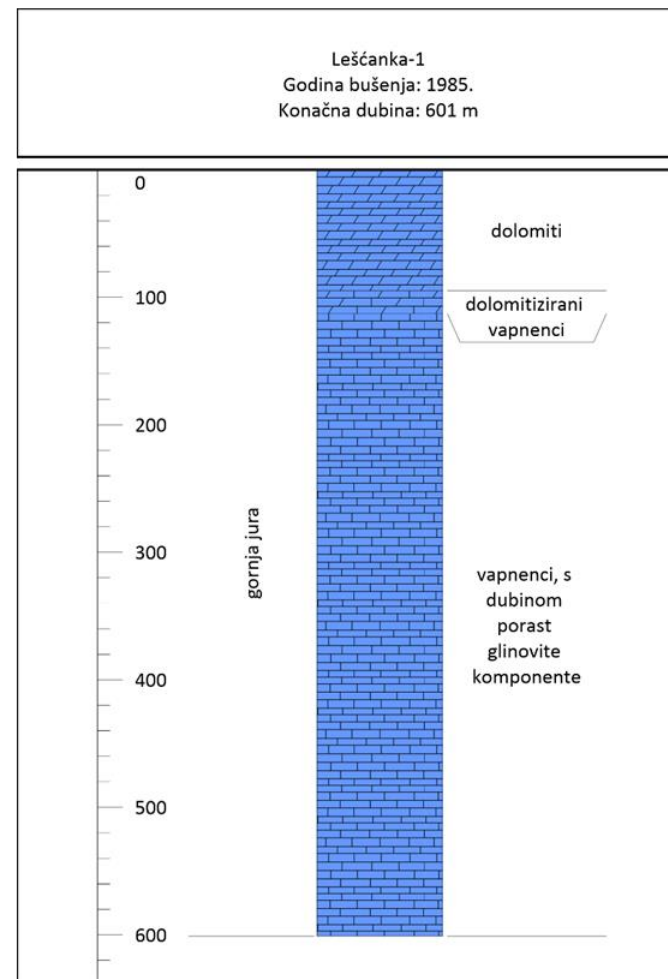
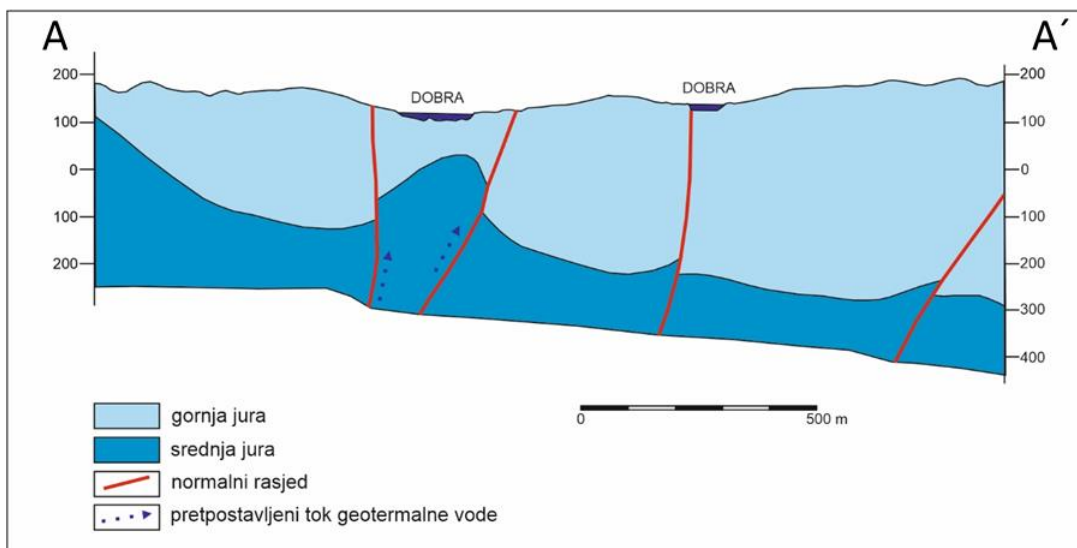
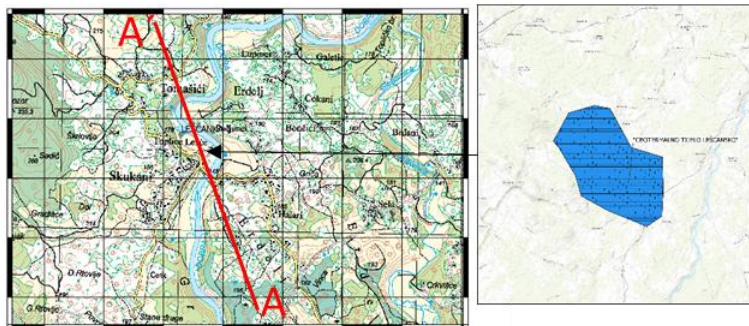
Geotermalno tijelo Lešćansko nalazi se u središnjem dijelu toka rijeke Dobre zauzima površinu od 14,3 km², u središnjoj Hrvatskoj, u dolomitima jurske starosti. Na širem području Lešća površinski izdanci stijena pripadaju naslagama srednje i gornje jure te donje krede, a u dubini su pretpostavljene naslage donje jure i trijasa, važne za pojavu geotermalne vode.

Srednetrijaske stijene zastupljene su tamnosivim i sivim, sitnozrnatim dolomitima, a gornji trijas stromatolitskim dolomitima (dijagenetski dolomiti nastali dolomitizacijom krinoidnih i algalnih vapnenaca, prilikom koje se razvila sekundarna poroznost, naknadno uvećana tektonskim pokretima, što ih čini potencijalnim glavnim kolektorima i provodnicima geotermalne vode). Klastične stijene u podini i krovini ograničavaju vodonosnike te usmjeravaju podzemne tokove vode, sprječavaju prijevremeno izbivanje na površinu ili miješanje s hladnom vodom. Na širem području zabilježen je kompletan razvoj jure. Za lijaske naslage pretpostavlja se da na području Lešća čine podlogu dogerskih i malmskih stijena. U podinskom dijelu razvijene su u dolomitnom i vapnenačkom facijesu. Karakteristika dogerskih stijena je velika debljina slojeva (80-200 cm). Podinu čine sitno do krupnozrnat dolomiti, a na njima slijede debelo uslojeni vapnenci mikritskog tipa. Malmske naslage karakteriziraju

vapnenci s proslojcima kasnodijagenetskih dolomita (u podinskom dijelu) te dolomiti u izmjeni s foraminofersko-algalnim vapnencima u krovini. Vapnenci i dolomiti donje krede slijede kontinuirano na naslage gornjeg malma. Na širem području karakterizira ih to što su otvorene u krilima ili u jezgrama izdignutih bora.

Šire područje Lešća obilježeno je vrlo složenim strukturnim sklopom, a čine ga intenzivno borane mezozojske naslage, koje uz efekte reversnog kretanja prema JI formiraju navlačne i ljuskave strukture.

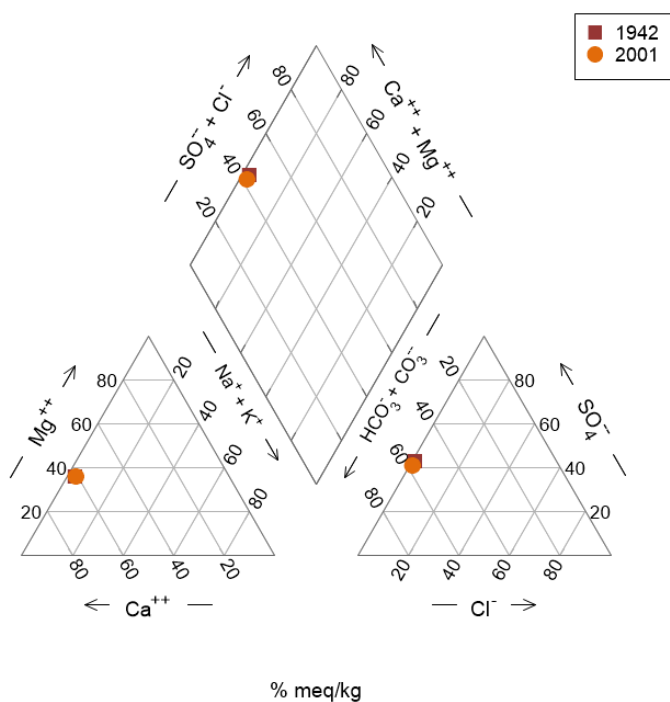
GEOTERMALNO TIJELO "LEŠĆANSKO"



Slika 6.18.1. Geološka, strukturno-tektonska obilježja područja Lešćanskog geotermalnog tijela

Termalni izvori se nalaze u koritu rijeke Dobre te ih ima nekoliko različitih izdašnosti i temperature vode. Procjenjuje se ukupna izdašnost na 15 L/s (Šimunić, 2008). Trenutno se koriste dva izvora, jedan je u zgradi i na njemu izgrađen unutrašnji bazen, a drugi služi za punjenje vanjskog bazena.

Prema svom osnovnom kemijskom sastavu vode pripadaju CaMg-HCO₃SO₄ tipu voda te je iz slike 6.18.2. vidljivo da se kemizam tijekom vremena ne mijenja što upućuje na dobro stanje obzirom na kakvoću i količinu. Koncentracije nitrata su vrlo niske i variraju od ispod granice detekcije do 1 mg/L (Tablica 6.18.1). Nažalost u postojećoj literaturi ne postaje analize vode na pesticide te trikloretilena i tetrakloretilena no obzirom da se radi i vrlo starim vodama (Šimunić, 2008) koje su dobro zaštićene debelim pokrovnim naslagama od antropogenog utjecaja, za pretpostaviti sa velikom sigurnošću da ih nema u vodi.



Slika 6.18.2. Piperov dijagram motrenih geotermalnih voda

Tablica 6.18.1 Sažeti prikaz kakvoće prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19) temeljen je na 2 analize (Juršić Mitrović, 2001; Milholić i Trauner, 1952)

Tip vode	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Nitrati (mg/L)	Pesticidi ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Suma trikloretilena i tetrakloretilena ($\mu\text{g}/\text{L}$)
CaMg- HCO_3SO_4	630	34	<0,1	n.a	n.a

Ekspertnom procjenom je ocijenjeno da je ovo tijelo geotermalne vode u dobrom kemijskom stanju. Pouzdanost je niska.

Količinsko stanje ovog tijela geotermalne vode je dobro. Pouzdanost ocjene je niska jer se procjena temeljem ekspertne procjene.

Obzirom na stanje i način korištenja, Leščansko TGV nije u riziku u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Pouzdanost je niska.

ID tijela	Naziv geotermalnog tijela	Tip vodonosnika	Regionalni položaj	Površina u km ²	Hirdokemijski facijes	Prekogranični vodonosnik
TGV1	IVANIĆ GRADSKO	pješčenjaci	Savska depresija	135,2	Na-Cl	Ne
TGV2	ZAGREBAČKO	karbonati	Savska depresija	54	Na-HCO ₃ Cl	Ne
TGV3	SVETONEDJELJSKO	karbonati	Savska depresija	20,6	Na-Cl	Ne
TGV4	SVETOJANSKO	karbonati	Karlovačka depresija	144,3	CaMg-HCO ₃	Ne
TGV5	LEŠĆANSKO	karbonati	Unutrašnji Dinaridi	14,3	CaMg-HCO ₃ SO ₄	Ne
TGV6	ISTARSKO	karbonati	Vanjski Dinaridi	60,4	CaNa-HCO ₃ ClSO ₄	Ne
TGV7	KONJŠČINSKO	karbonati	Hrvatsko zagorski bazen	130,2	CaMg-HCO ₃	Ne
TGV8	ZAGORSKO	karbonati	Hrvatsko zagorski bazen	653,3	CaMg-HCO ₃	Slovenija
TGV9	DARUVARSKO	karbonati	Dravska depresija	318,5	CaMg-HCO ₃	Ne
TGV10	LIPİČKO	karbonati	Savska depresija	256,7	Na-ClHCO ₃	Ne
TGV11	TOPUSKO	karbonati	Karlovačka depresija	950	CaMg-HCO ₃	Ne
TGV12	BIZOVAČKO	metamorfiti i pješčenjaci	Dravska depresija	219,6	Na-HCO ₃ Cl Na-Cl	Ne
TGV13	CIGLENSKO	karbonati	Bjelovarska depresija	364,8	Na-HCO ₃ Cl	Ne
TGV14	ŽUPANJSKO	pješčenjaci	Savska depresija	107,5	Na-Cl	Ne
TGV15	GORNJO MEĐIMURSKO	karbonati	Murska depresija	331,4	Na-Cl	Ne
TGV16	DONJO MEĐIMURSKO	karbonati i pješčenjaci	Murska depresija	230,9	Na-Cl	Ne
TGV17	POŽEŠKO	karbonati	Dravska depresija	336,5	CaMg-HCO ₃	Ne
TGV18	VARAŽDINSKO	karbonati	Murska depresija	116,8	CaNa-HCO ₃ SO ₄	Ne

7. Ocjena kemijskog stanja

Analizom dostupnih kemijskih podataka po pojedinim TGV prema metodologiji opisanoj u poglavlju 5.2 utvrđeno je da koncentracije nitrata, pesticida i suma trikloretilena i tetrakloretilena ne prelaze granične vrijednosti koje su zadane Uredbom. Isto tako, utvrđene su vrijednosti temperature i električne vodljivosti geotermalne vode po pojedinim tijelima.

Iako podatci o koncentracijama pesticida i suma trikloretilena i tetrakloretilena u geotermalnoj vodi u tijelima TGV7, -8, -9, -10, -13, -16, -17 i -18 nisu najnoviji, prosječna starost geotermalne vode iznosi nekoliko tisuća godina pa je stanje ovih tijela, s obzirom na predloženu metodologiju, ocijenjeno dobrim s visokom pouzdanosti.

Novijih podataka o koncentracijama pesticida i sume trikloretilena i tetrakloretilena u geotermalnoj vodi u tijelima TGV1, -2, -3, -4, -5, -11, -12, -14 i -15 nema, a prosječna starost geotermalne vode nije istraživana. S obzirom da je geotermalna voda akumulirana na razmjerno velikim dubinama, a podatci o temperaturi i/ili električnoj vodljivosti na većini tijela upućuju na dugo zadržavanje vode u podzemlju, kemijsko stanje ovih geotermalnih tijela ocijenjeno je dobrim ali niske pouzdanosti.

Obzirom da osnovni kemijski sastav vode (kalcij, magnezij, natrij, kalij, hidrogenkarbonati, kloridi i sulfati) daje uvid da li postoje promjene u samom vodonosniku sa stanovišta kakvoće, analizirani su i ti parametri. Utvrđeno je da na području Istarskog TGV (TGV6) dolazi do velike promjene sastava vode Istarskih toplica uslijed podizanja razine hladne vode na izvorištu Bulaž kao posljedica izvođenja hidrotehničkih zahvata. Promjena je vidljiva kroz promjenu tipa voda jer je geotermalna voda prije tog zahvata bila NaCa-HCO₃ClSO tipa da bi danas bila CaNa-HCO₃ClSO₄ tipa. Zbog svega navedenog kemijsko stanje Istarskog TGV je definirano kao loše. Na ostalim tijelima geotermalne vode ovi parametri se ne mijenjaju.

Prikaz Ocjene kemijskog stanja po pojedinim TGV-ovima dan je u tablici 7.1.

Tablica 7.1 Ocjena kemijskog stanja geotermalne vode

ID tijela	Naziv geotermalnog tijela	Broj mjesta pojava		Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) srednja vrijednost	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Ocjena kemijskog stanja	Pouzdanost
		Izvor	Bušotina				
TGV1	IVANIĆ GRADSKO	-	1	24200	40	Dobro	Niska
TGV2	ZAGREBAČKO	-	6	2473	80	Dobro	Visoka
TGV3	SVETONEDJELJSKO	-	1	2455	71	Dobro	Niska
TGV4	SVETOJANSKO	1	1	550	25	Dobro	Niska
TGV5	LEŠĆANSKO	2	1	630	33	Dobro	Niska
TGV6	ISTARSKO	1	1	2750	25	Loše	Visoka
TGV7	KONJŠČINSKO	1	3	597	38 (Jezerčica)- 56 (Stubičke top)	Dobro	Visoka
TGV8	ZAGORSKO	5	6	516	32 (Sutinske top.) -42 (Krapinske top)	Dobro	Visoka
TGV9	DARUVARSKO	2	2	573	43-48	Dobro	Visoka
TGV10	LIPičKO	-	8	3745	60	Dobro	Visoka
TGV11	TOPUSKO	3	4	621	46 (izvori) -64 (bušotine)	Dobro	Niska
TGV12	BIZOVAČKO	-	2	4845	64 (u toplicama) 103 (Slk-1) -111 (Biz-4)	Dobro	Niska
TGV13	CIGLENSKO	-	4	24345	166-175	Dobro	Visoka
TGV14	ŽUPANJSKO	-	1	4115	63	Dobro	Niska
TGV15	GORNJO MEĐIMURSKO	-	1	10855	35	Dobro	Niska
TGV16	DONJO MEĐIMURSKO	-	2	55200	94-110	Dobro	Niska
TGV17	POŽEŠKO	1	-	524	27	Dobro	Visoka
TGV18	VARAŽDINSKO	3	6	1172	22 (Mađarevo) - 58 (Varaždinske top)	Dobro	Visoka

8. Ocjena količinskog stanja

Analizom dostupnih podataka o izdašnosti, razini ili tlakovima te utvrđivanjem da li postoji promjena u mjerenim temperaturama i električnoj vodljivosti u skladu s Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/19) prema metodologiji opisanoj u poglavlju 5.2 utvrđeno je sljedeće: (1) TGV2, TGV12, TGV13 su u dobrom količinskom stanju s visokom razinom pouzdanosti jer se utiskuje iskorištena voda u vodonosnik; (2) TGV16 i TGV17 dobrom količinskom stanju s visokom razinom pouzdanosti jer se trenutno još ne koristi; (3) TGV4, TGV7, TGV8, TGV9, TGV11, TGV18 su u dobrom količinskom stanju s visokom razinom pouzdanosti jer nisu zabilježene promjene temperature i električne vodljivosti većem od 15% vrijednosti prosječne temperature i od 15% vrijednosti električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije, a i premda sporadična mjerenja izdašnosti i razina nisu ukazali na smanjenje količina; (4) TGV1, TGV3, TGV5, TGV10, TGV14 i TGV15 su u dobrom količinskom stanju s niskom razinom pouzdanosti jer nema dovoljno podataka o količinama i razinama vode, ali nisu zabilježene promjene temperature i električne vodljivosti i kemizma i (5) TGV6 je u dobrom količinskom stanju s niskom razinom pouzdanosti jer dosadašnja istraživanja upućuju na razmjerno stabilan dotok termalne vode koja se miješa s hladnom vodom što je posljedica izvođenja hidrotehničkih zahvata. S obzirom da je temperatura ipak snižena zbog dotoka hladne vode, pouzdanost ovakve procjene je niska a povećati se može daljnjim istraživanjima i redovitim mjerenjima.

Tablica 8.1. Ocjena količinskog stanja geotermalne vode

ID tijela	Naziv geotermalnog tijela	Broj korisnika po tijelu	Broj korisnika po tijelu koji još uvijek ne koriste	Utiskivanje iskorištene vode u vodonosnik	Ocjena količinskog stanja	Pouzdanost ocjene
TGV1	IVANIĆ GRADSKO	1	-	Ne	Dobro	Niska
TGV2	ZAGREBAČKO	4	-	Da	Dobro	Visoka
TGV3	SVETONEDJELJSKO	1	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV4	SVETOJANSKO	1	-	Ne	Dobro	Niska
TGV5	LEŠĆANSKO	1	-	Ne	Dobro	Niska
TGV6	ISTARSKO	1	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV7	KONJŠČINSKO	3	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV8	ZAGORSKO	4	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV9	DARUVARSKO	2	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV10	LIPIČKO	2	-	Ne	Dobro	Niska
TGV11	TOPUSKO	1	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV12	BIZOVAČKO	1	-	Da	Dobro	Visoka
TGV13	CIGLENSKO	1	-	Da	Dobro	Visoka
TGV14	ŽUPANJSKO	1	-	Ne	Dobro	Niska
TGV15	GORNJO MEĐIMURSKO	1	-	Ne	Dobro	Niska
TGV16	DONJO MEĐIMURSKO	-	1	Da	Dobro	Visoka
TGV17	POŽEŠKO	1	-	Ne	Dobro	Visoka
TGV18	VARAŽDINSKO	2	-	Ne	Dobro	Visoka

9. Ocjena rizika od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja kemijskog stanja tijela geotermalnih voda“

S obzirom da u tijelima geotermalnih voda TGV2, TGV12, TGV13, TGV16, TGV4, TGV7, TGV8, TGV9, TGV17, TGV18, TGV1, TGV3, TGV5, TGV10 i TGV11 nije utvrđeno da analizirani pokazatelji iz Tablice 5.2.1. prelaze 75% vrijednosti standarda kakvoće geotermalnih voda na niti jednoj lokaciji, navedena tijela geotermalnih voda nisu u riziku, a pouzdanost je visoka. U prilog visokoj pouzdanosti ovakve ocjene ide činjenica da je za tijela TGV7, -8, -9, -10, -13, -16, -17 i -18 utvrđena prosječna starost geotermalne vode od nekoliko tisuća godina. U tijelima TGV1, -2, -3, -11, -12 i -14 prosječna starost geotermalne vode nije istraživana, međutim, geotermalna voda je akumulirana na razmjerno velikim dubinama, a podatci o temperaturi i/ili električnoj vodljivosti na većini tijela upućuju na dugo zadržavanje vode u podzemlju. U priljevnim područjima tijela TGV4, TGV5 i TGV15 u kojima voda ima nešto nižu temperaturu (25-35 °C), potencijalnih onečišćivača, koji bi utjecali na postojanje nitrata, pesticida, te trikloretilena i tetrakloretilena u vodi, te trend povećanja njihovih koncentracija nema. Zbog toga ni ova tijela geotermalnih voda s visokom pouzdanosti nisu ocijenjena u riziku.

TGV6 je ocijenjen u riziku od nepostizanja cilja „postići dobro kemijsko stanje geotermalnih voda“.

Tablica 9.1 Procjena rizika od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja kemijskog stanja tijela geotermalnih voda“

ID tijela	Naziv geotermalnog tijela	Procjena rizika za kemijsko stanje	Pouzdanost
TGV1	IVANIĆ GRADSKO	Nema	Visoka
TGV2	ZAGREBAČKO	Nema	Visoka
TGV3	SVETONEDJELJSKO	Nema	Visoka
TGV4	SVETOJANSKO	Nema	Visoka
TGV5	LEŠĆANSKO	Nema	Visoka
TGV7	KONJŠČINSKO	Nema	Visoka
TGV8	ZAGORSKO	Nema	Visoka
TGV9	DARUVARSKO	Nema	Visoka
TGV10	LIPIČKO	Nema	Visoka
TGV11	TOPUSKO	Nema	Visoka
TGV12	BIZOVAČKO	Nema	Visoka
TGV13	CIGLENSKO	Nema	Visoka
TGV14	ŽUPANJSKO	Nema	Visoka
TGV15	GORNJO MEĐIMURSKO	Nema	Visoka
TGV16	DONJO MEĐIMURSKO	Nema	Visoka
TGV17	POŽEŠKO	Nema	Visoka
TGV18	VARAŽDINSKO	Nema	Visoka

10. Ocjena rizika ocjeni rizika od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja količinskog stanja tijela geotermalnih voda“

S obzirom da na tijelima geotermalnih voda nisu utvrđeni trendovi promjene temperature kao ni smanjenja izdašnosti, odnosno razina vode ili tlaka u bušotinama, niti jedno od tih tijela geotermalne vode nije procijenjeno u riziku od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja količinskog stanja tijela geotermalnih voda“. Na području tijela TGV2, TGV12, TGV13 iskorištena voda se utiskuje u vodonosnik, pa je pouzdanost procjene visoka. Tijela geotermalnih voda TGV16 i TGV17 se ne koriste pa je pouzdanost procjene također visoka. Za tijela geotermalnih voda (TGV7, TGV8, TGV9, TGV15, TGV11 i TGV18) na čijim područjima postoji povremena mjerenja također je pouzdanost procjene rizika visoka. Za ostala geotermalna tijela (TGV1, TGV3, TGV4, TGV5, TGV6, TGV10 i TGV14) pouzdanost procjene rizika ocijenjena je niskom.

Tablica 10.1. Procjena rizika od nepostizanja cilja „sprječavanje pogoršanja količinskog stanja tijela geotermalnih voda“

ID tijela	Naziv geotermalnog tijela	Procjena rizika za količinsko stanje	Pouzdanost
TGV1	IVANIĆ GRADSKO	Nema	Niska
TGV2	ZAGREBAČKO	Nema	Visoka
TGV3	SVETONEDJELJSKO	Nema	Niska
TGV4	SVETOJANSKO	Nema	Niska
TGV5	LEŠĆANSKO	Nema	Niska
TGV6	ISTARSKO	Nema	Niska
TGV7	KONJŠČINSKO	Nema	Visoka
TGV8	ZAGORSKO	Nema	Visoka
TGV9	DARUVARSKO	Nema	Visoka
TGV10	LIPIČKO	Nema	Niska
TGV11	TOPUSKO	Nema	Visoka
TGV12	BIZOVAČKO	Nema	Visoka
TGV13	CIGLENSKO	Nema	Visoka
TGV14	ŽUPANJSKO	Nema	Niska
TGV15	GORNJO MEĐIMURSKO	Nema	Visoka
TGV16	DONJO MEĐIMURSKO	Nema	Visoka
TGV17	POŽEŠKO	Nema	Visoka
TGV18	VARAŽDINSKO	Nema	Visoka

11. Ocjena rizika od nepostizanja cilja „postići dobro stanje geotermalnih voda“

S obzirom na opseg radnji koje je potrebno poduzeti da bi se ostvarila određena poboljšanja Istarskog tijela geotermalne vode (hidrogeološka istraživanja, istražna bušenja, projektiranje zahvata i u konačnici, njegova izvedba) ocjenjeno je da je TGV6 u riziku od nepostizanja cilja „postići dobro kemijsko stanje geotermalnih voda“ u narednom planskom ciklusu 2022-2027.

12. Prijedlog monitoringa

Prema Uredbi o standardu kakvoća voda (NN 96/2019) u Prilogu 7B ovisno o tipu monitoringa (nadzorni ili operativni) definirana je učestalost po kemijskom i količinskom stanju i pokazatelji koji se trebaju opažati.

Za **nadzorni monitoring** učestalost monitoringa elemenata kemijskog i količinskog stanja je definirana na sljedeći način:

Tablica 3 iz Priloga 7B. Učestalost nadzornog monitoringa elemenata kemijskog stanja

b) Mineralne i geotermalne vode	
	Učestalost monitoringa
osnovni pokazatelji	1 x 3 god.
dodatni	1 x 3 god.

Tablica 4.a. iz Priloga 7B Učestalost nadzornog monitoringa elemenata količinskog stanja

Učestalost monitoringa mineralnih i geotermalnih voda		
	Razina podzemne vode ili hidrostatski tlak	Izdašnost
mineralne i geotermalne vode	1 x 3 god.	1 x 3 god.

Za **operativni monitoring** učestalost monitoringa elemenata kemijskog i količinskog stanja je definirana na sljedeći način:

Tablica 5. iz Priloga 7B Učestalost operativnog monitoringa elemenata kemijskog stanja

b) Mineralne i geotermalne vode	
	Učestalost monitoringa
osnovni pokazatelji	1 x god.
dodatni	1 x god.

Tablica 4.b. iz Priloga 7B Učestalost operativnog monitoringa elemenata količinskog stanja

Učestalost monitoringa mineralnih i geotermalnih voda		
	Razina podzemnih voda ili hidrostatski tlak	Izdašnost
mineralne i geotermalne vode	1 x god.	1 x god.

Obzirom da je starost geotermalne vode ključni parametar za određivanje može li geotermalna voda sadržavati onečišćenje poput pesticida ili umjetne sintetičke tvari (kako je zadano metodologijom), predlaže se uzorkovanje vode i određivanje prosječne starosti vode pomoću koncentracije aktivnosti izotopa ugljika-14 (¹⁴C). Uzorkovanje će se provesti jednom u narednom planskom ciklusu 2022-2027. Istovremeno je potrebno izmjeriti i omjer stabilnog

izotopa ugljika-13 ($\delta^{13}\text{C}$) u otopljenom anorganskom ugljiku (DIC) pomoću kojeg će se načiniti korekcija starosti.

Nadalje, za utvrđivanje udjela "hladne" podzemne vode u geotermalnoj potrebno je jednom godišnje u narednom planskom ciklusu 2022-2027 izmjeriti omjeri stabilnih izotopa kisika-18 ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika-2 ($\delta^2\text{H}$). Naime ovi pokazatelji zajedno s jednim od konzervativnih kemijskih pokazatelja (kao što je klorid), poslužit će za inverzno geokemijsko modeliranje da se izračuna udjel "hladne" vode u geotermalnoj vodi. Recentna "hladna" podzemna voda može biti potencijalni nositelj onečišćenja te može potencijalno, ovisno u njezinom udjelu u geotermalnoj vodi, pogoršati kemijsko stanje geotermalne vode.

Također, za utvrđivanje povezanosti pojedinih tijela (npr. da li dijele isto područje prihranjivanja) odnosno postoji li mogućnost grupiranja pojedinih tijela npr. Daruvarskog s Lipičkim ili Varaždinskim s Konjščinskim, mjerenje sumpora-34 ($\delta^{34}\text{S}$) i kisika-18 ($\delta^{18}\text{O}$) u sulfatima (SO_4^{2-}) omogućilo bi dodatni pokazatelj pomoću kojega bi se moglo definirati podrijetlo geotermalnih voda. Ovaj pokazatelj trebalo bi izmjeriti jedanput u narednom planskom ciklusu 2022-2027.

Obzirom da se *nadzorni monitoring provodi se radi dopunjavanja i vrednovanja postupka ocjene utjecaja onečišćenja i pribavljanja informacija za ocjenu značajnih i trajno rastućih trendova koji su rezultat promjena prirodnih uvjeta i utjecaja ljudske aktivnosti, a operativni monitoring provodi se radi: utvrđivanja kemijskog stanja svih tijela podzemnih voda za koje je analizom značajki vodnih područja iz članka 51. Zakona o vodama utvrđen rizik nepostizanja ciljeva zaštite voda iz članka 4. ove Uredbe i na kojima se prati promjena stanja tijekom provedbe programa mjera, i utvrđivanja značajnih i trajno rastućih trendova koncentracije onečišćujućih tvari uslijed utjecaja ljudskih aktivnosti* za izdvojena obzirom na količinsko i kemijsko stanje tijela geotermalnih voda trebao bi se provoditi *Nadzorni monitoring* osim u slučaju Istarskog geotermalnog tijela (TGV6) gdje treba provoditi *Operativni monitoring* (tablica 12.1).

Prilikom uzorkovanja važno je uzimati uzorak na isto mjestu da ne bi došlo do promjena u temperaturi ili nekom drugom pokazatelju zbog promjene mjesta uzorkovanja (npr. jedanput se mjeri u samom izvoru, a drugi put 10 m dalje na preljevu). Nadalje potrebno je voditi računa kako konzervirati uzorak za pojedina mjerenja osobito je važno kod visoko mineraliziranih voda kao što je slučaj na području Zagrebačkog, Bizovačkog, Ivanić gradskog, Svetonejdjeljskog, Županjskog, Donjo i Gornjo međimurskog tijela geotermalnih voda gdje zbog promjene tlaka i temperatura dolazi do taloženja pojedinih elemenata te kada uzorak dođe do laboratorija i kada se započne mjerenje, iz vodene otopine se izluže elementi i dobivaju se krivi rezultati. Kako uzrokovati i konzervirati ovakve uzorke opisano je u radu Arnórsson, et al., 2006. *Sampling and analysis of geothermal fluids* u kojem je dan pregled svih objavljenih smjernica i radova vezanih za uzorkovanje geotermalnih voda i dane upute ovisno o tipu vode kako postupati. Kratki pregled je dan u tablicama 12.2 i 12.3

Tablica 12.1. Prijedlog mjesta monitoringa po geotermalnim tijelima

ID tijela	Naziv geotermalnog tijela	Lokalitet	Korisnik/koncesionar*	Tip zahvata (izvor/bušotina)	Naziv zahvata	Tip monitoringa
TGV1	Ivanić gradsko	Ivanić Grad	Naftalan/INA industrija nafte	Bušotina	IVA-1T	Nadzorni
TGV2	Zagrebačko	Zagreb (Mladost)	GPC Instrumentation Process d.o.o.	Bušotina	Mla-3	Nadzorni
TGV3	Svetonedjeljsko	Sv. Nedjelja	Eko plodovi d.o.o.	Bušotina	N-1	Nadzorni
TGV4	Svetojansko	Sv. Jana	Jamnička	Izvor/Bušotina	Jana	Nadzorni
TGV5	Lešćansko	Lešće		Izvor	Glavni	Nadzorni
TGV6	Istarsko	Livade	Spa Istarske Toplice	Bušotina	B-1	Operativni
TGV7	Konjščinsko	Stubičke Toplice	Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Stubičke toplice	Bušotina	B-1	Nadzorni
TGV8	Zagorsko	Tuheljske i Krapinske Toplice te Harina Zlaka	Terme Tuhelj i Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Krapinske toplice i vodovod	Izvor i bušotina	Mali bazen i Pučka kupelj Harina Zlaka-1	Nadzorni
TGV9	Daruvarsko	Daruvar	Daruvarske toplice specijalna bolnica za rehabilitaciju	Izvor	Antunovo vrelo	Nadzorni
TGV10	Lipičko	Lipik	Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Lipik i punionica vode Radenska Adriatic	Više bušotina B-4, B-4A, B-6, B-7	Izabirati po dogovoru s korisnicima	Nadzorni
TGV11	Topusko	Topusko	Lječilište Topusko	Bušotina	TEB-4	Nadzorni
TGV12	Bizovačko	Bizovac	Bizovačke toplice/INA industrija nafte	Bušotine	Biz-4 i Slk-1	Nadzorni
TGV13	Ciglensko	Ciglena	GEOEN d.o.o.	Bušotina	VC-1	Nadzorni
TGV14	Županjsko	Bošnjaci	Ruris d.o.o.	Bušotina	Boš-1	Nadzorni
TGV15	Gornjo međimursko	Vučkovec	LifeClass Terme Sv. Martin	Bušotina	Vuč-2	Nadzorni
TGV16	Donjo međimursko	Draškovec	AAT GEOTHERMAE d.o.o.	Bušotina	DR-1	Nadzorni
TGV17	Požeško	Velika	Zlatne Terme-Velika d.o.o.	Izvor	Glavni	Nadzorni
TGV18	Varaždinsko	Varaždinske Toplice	Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Varaždinske toplice	Bušotina	B-1	Nadzorni

*Na pojedinim mjestima korisnik nije koncesionar odnosno ne upravlja s bušotinama pa je potrebno iz komunicirati s koncesionarom

Tablica 12.2. Metode konzerviranja uzoraka geotermalnih voda

Tip analize	Metoda	Svrha	Koristi se za
Fizikalne	Filtracija	Spriječiti izluživanje s organskom tvari	Anioni i kationi
	Zamrzavanje	Spriječiti biološko razgrađivanje	Nutrijenti
	Hermetički zatvoren spremnik	Spriječiti doticaj s zrakom	Plinovi
	On-site analiza	Spriječiti reakcije reaktivnih elemenata	Reaktivni elementi
Kemijske	Zaluživanje	Absorpcija kiselih plinova	CO ₂ , H ₂ S, δ ³⁴ S in H ₂ S u pari
	Zakiseljavanje	Spriječiti adsorpciju na stjenke spremnika	Kationi
	Taloženje	Spriječiti reakciju jednog elementa da promijeni koncentraciju drugog	H ₂ S da ne prijeđe u sulfate
	Sterilizacija	Spriječiti biološko razgrađivanje	δ ³⁴ S and δ ¹⁸ O in SO ₄
	Razrjeđivanje	Spriječiti polimerizaciju i taloženje	silicij
	Redox	Promijeniti oksidacijsko stanje hlapljivog sastojka kako bi bio manje hlapljiv	živa
	Ionska zamjena	Koncentrirati i dalje spriječiti adsorpciju na stijenkama spremnika elemente u tragovima	REE
	Ekstrakcija	Koncentrirati i dalje spriječiti adsorpciju na stijenkama spremnika elemente u tragovima	REE

Tablica 12.3 Obrada i uzimanje uzoraka

Obrada	Spremnik	Određivanje
Nepotrebna; ili staklena boca s fiksnim čepom	250-300 mL staklena boca	pH, CO ₂ , H ₂ S, EC; ako nisu određeni na terenu
Nepotrebna	200 mL plastična boca	Mg, SiO ₂ ako su < 100 ppm
Razrjeđivanje; 50 ml uzorka dodati 50 ml deionizirane vode	3 x 100 mL plastična boca	Mg, SiO ₂ ako su > 100 ppm
Filtracija	200 mL plastična boca	Anioni
Filtracija; 0,8 ml konc. HNO ₃ (Suprapur) dodati u uzorak od 200 ml	200 mL plastična boca	Kationi
Filtracija; 2 ml 0,2 M ZnAc ₂ dodati uzorku u odmjernu staklenu tikvicu od 100 ml i bocu od 10 ml do 500 ml koja sadrži 25 mg SO ₄ za taloženje sulfida	100 mL plastična boca	SO ₄ , δ ³⁴ S i δ ¹⁸ O in SO ₄
Filtracija	60 x 3; 1000 mL staklena boca	δ ² H, δ ¹⁸ O, ¹³ C, ³ H

13. Literatura

- Arevalo Jr, R., McDonough, W. F., & Luong, M. (2009): The K/U ratio of the silicate Earth: Insights into mantle composition, structure and thermal evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 278(3), 361–369.
- Arnorsson, S. (2000). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use: sampling methods, data handling, interpretation. Vienna: IAEA. 351p
- Arnórsson, S., J.Ö. Bjarnason, N. Giroud, I. Gunnarsson and A. Stefánsson, 2006. Sampling and analysis of geothermal fluids. *Geofluids*. 6, 203–216 doi: 10.1111/j.1468-8123.2006.00147.x
- Babić, Ž., Šikić, V. & Mraz, V. (1971): Hidrogeološka istraživanja termomineralnih vrela kupališnog lječilišta Daruvar. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 32 str., Zagreb.
- Bač, J., Herak, M. (1962): Prijedlog za određivanje užih i širih zaštitnih zona termomineralnih izvora u Hrvatskoj. Fodn. Struč. dok. Instituta za geol. istr., Zagreb.
- Bada, G., Horvath, F., Gerner, P., Fejes, I. (1999): Review of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: progress and problems. *Journal of Geodynamics*, 27, 501–527.
- Bahun, S., Raljević, B. (1969): Mineralna, termalna i ljekovita vrela. Neobjavljeni izvještaj. Arhiv HGI, Zagreb.
- Balen D., Schneider P., Massonne H.-J., Opitz J., Petrinc Z. (2017): A Cretaceous A-type granite from the Europe-Adria collisional zone: a marker of geodynamic changes. *Goldschmidt 2017 Abstract*.
- Balen, D., Horvath, P., Tomljenović, B., Finger, F., Humer, B., Pamić, J., Arkai, P. (2006): A record of pre-Variscan Barrovian regional metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains (NE Croatia). – *Mineralogy and Petrology*, 87, 143-162.
- Balen, D., Massonne, H.-J., Petrinc, Z. (2015): Collision-related Early Paleozoic evolution of a crustal fragment from the northern Gondwana margin (Slavonian Mountains, Tisia Mega-Unit, Croatia): Reconstruction of the P–T path, timing and paleotectonic implications. *Lithos*, 232, 211-228.
- Barić, G., Ivković, Ž., Perica, R. (2000): The Miocene petroleum system of the Sava Depression, Croatia// *Petroleum Geoscience*, 6 (2000), 3, pp. 165-173
- Benussi, B.D. (1888): Santo Stefano al aqeto. Tipografija, L.Loyd austroungarico, Trieste.
- Biševac, V., Balogh, K., Balen, D., Tibljaš, D. (2010): Eoalpine (Cretaceous) very low- to low-grade metamorphism recorded on the illite-muscovite-rich fraction of metasediments from South Tisia (eastern Mt Papuk, Croatia) *Geologica Carpathica*, 61, 469-481.

- Borojević-Šoštarić, S., Palinkaš, A.L., Neubauer, F., Cvetković, V., Bernroider, M., Genser, J. (2014): The origin and age of the metamorphic sole from the Rogozna Mts., Western Vardar Belt: New evidence for the one-ocean model for the Balkan ophiolites. *Lithos* 192-195, 39-55.
- Bortolotti V., Chiari M., Marroni M., Pandolfi L., Principi G. & Saccani E. (2013): Geodynamic evolution of ophiolites from Albania and Greece (Dinaric-Hellenic belt): one, two, or more oceanic basins? *Intern. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 102, 783-811.
- Braun, K., Čop, M., Milošević, F., Takšić, A., Bojanić, L., Šinkovec, B., Stručna grupa INA (1968): Mineralne sirovine i hidrogeološka problematika područja bivšeg kotara Sisak.- IGI, 4524, Zagreb.
- Britvić, V. (1981): Izvještaj o izradi bušotine Tuheljka-1, Tuheljske Toplice. Neobjavljeni izvještaj. Arhiv Geotehnika, Zagreb.
- Britvić, V. (1986): Izvještaj o pokusnom crpljenju u Krapinskim Toplicama – lokalitet Pučka kupelj. Geotehnika, Zagreb
- Bucković, D. (2006): eBook Historijska geologija 2 (Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu - Manualia universitatis studiorum Zagrabiensis) / Bucković, Damir (ur.). Zagreb: Vlastita naklada
- Capar, A., Mayer, D. i Dragičević, I. (1995): Elaborati o zalihama i zaštiti termalne vode Krapinskih Toplica. Geoeco-ing, Zagreb.
- Chopra, S. & Marfurt, K., 2007: Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization, SEG Books
- Craft B.C., Hawkins F. M. (1959): Applied Petroleum Reservoir Engineering Prentice- Hall, Inc. Engelwood Cliffs, New Jersey
- Crantz, H. J. (1777): *Gesundbrunnen der Oesterreichischen Monarchie*, Gedruet bey Joseph Gerold, 306 (16), Wien.
- Crnko, J., Jamičić, D. & Mraz, V. (1998): Geološki uvjeti za pojavu termalne vode u Daruvaru. *Hrvatske vode*, 6, 25, 401-410, Zagreb
- Crnolatic, I. (1966): Hidrogeologija područja Krapinske Toplice. Geotehnika, Zagreb.
- Cserny, T., Gál, N., Jocháné Edelényi, E., Jordán, G., Rotárné Szalkai, A., Tóth, G. & Viszok, J. 2009: Déli-Bakony — Zalai-medence regionális hidrogeológiai modell és felszín alatti áramlás szimuláció. — Karsztvíz kutatási projekt, Zárójelentés (Hantken Miksa Alapítvány kutatócsoportja).
- Cserny, T., Gál, N., Tullner, T., Tahy, Á. 2006: A magyarországi felszín alatti víztestek földtani kiértékelésének 2006. évi eredményei. — MÁFI Évi Jelentés, 2006, 145-154.
- Csontos, L. & Vörös A. (2004): Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 210, pp. 1–56.

Cvetković, M. (2013): Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji 2013., doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Čubrić S. (1987): Obnovljena geotermijska energija i njen utjecaj na ekonomiku proizvodnje geotermijske energije na nekim ležištima u Republici Hrvatskoj, disertacija, RGN-fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Dragičević, I., Mayer, D. i Nakić, Z. (2005): Elaborat zona sanitarne zaštite termalnog izvorišta Krapinske Toplice. Geoeco-ing, Zagreb.

Društvo za oblikovanje održivog razvoja (2016), Potencijal obnovljivih izvora energije u Sisačkomoslavačkoj županiji, publikacija, Zagreb, pp. 15-19

Dvokut Ecro d.o.o. (2018): Elaborat zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš, zahvat: istražne bušotine na eksploatacijskom polju geotermalne vode „Lunjkovec-Kutnjak“, Varaždinska, Međimurska i Koprivničko-križevačka županija

Dye, S. T. (2012): Geoneutrinos and the radioactive power of the Earth. *Reviews of Geophysics*, 50(3). DOI: 10.1029/2012RG000400

EIHP (2018): Analize i podloge za izradu energetske strategije Republike Hrvatske, Zelena knjiga, Nacrt, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb

Energetski institut Hrvoje Požar (2017), Geothermal Energy Utilisation Potential in Croatia, Field and Study Visits' Report, Zagreb

Ferrière J., Baumgartner P.O. and Chanier F. (2016): The Maliac Ocean: the origin of the Tethyan Hellenic ophiolites. *Intern. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 105: 1941-1963.

Filjak, R., Pletikapić, Ž., Nikolić, D. & Aksin, V. (1969): Geology of petroleum and natural gas from the Neogene complex and its basement in the southern part of the Pannonian basin, Yugoslavia.– AAPG, Conference of Institute of Petroleum and AAPG, Brighton, Proceedings, pp. 113–130.

Fritschle, T., Daly, S., Whitehouse, M. J., McConnell, B. & Buhre, S. (2014): Geothermal potential of Caledonian granites from the Iapetus Suture Zone in Ireland and the Isle of Man. 5th European Geothermal PhD Day – Abstracts, 31. 3. – 2. 4. 2014, str. 37, Darmstadt.

Geotehnika, OOUR za specijalne građevinske i hidrološke radove (1981), Izvještaj o ispitivanju bušotine Sisak-1, Zagreb

Geotehnika, OOUR za specijalne građevinske i hidrološke radove (1987), Izvještaj o izvedbi istražnoeksploatacijskog bunara na termalnu vodu Siter-1 u Sisku, Zagreb

Glavinić, D. (1963): Elaborat o istražno eksploatacijskim hidrogeološkim radovima na termalnim vodama za „Centar za rehabilitaciju“ Stubičke Toplice, Elektrosond

- Goldstein, B. A., Hill, A. J., Long, A., Budd, A. R., Ayling, B. & Malavazos, M. (2009): Hot rocks down under – evolution of a new energy industry. *Geothermal Resources Council Transactions* 33, 185 – 198.
- Golub, M. et al. (2005): Binary Rankine Cycle Optimization, *Proceedings of 3rd International Oil and Gas Conference, Zadar, Croatia, 04-07.October 2005.* pp.6
- Golubić, S., Juakić, G., Hanich, M., Capanec, Z., Čubranić (1985): Geotermički istražni radovi na području Siska – Geološka osnova SiTer-1, INA-Projekt, Institut Ruđer Bošković, INA –Naftaplin –služba razvoja, Zagreb. FSD INA-Naftaplin 10 924.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1897): Strugača i njezin zapadni nastavak. *Rad JAZU*, 81, 23, 30-40, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1904): Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske – Slavonije, Tumač geologijske karte Zlatar – Krapina, 1-25, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1904b): Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske – Slavonije, Rogatac - Kozje (Zona 21, Col. XIII) 1:75 000. Naklada Kraljevske zemaljske vlade, Odjela za unutarnje poslove, Zagreb.
- Grizelj, A., Peha, Z., Tibljaš, D., Kovačić, M. & Kurečić, T. (2017): Mineralogical and geochemical characteristics of Miocene pelitic sedimentary rocks from the south-western part of the Pannonian Basin System (Croatia): Implications for provenance studies. *Geoscience Frontiers*.
- Grupa autor (1970): Geološka karta i tumač SFRJ M 1:500 000, izdanje SGZ, Beograd.
- Handy, M., Schmid, S., Bousquet, R., Kissling, E. & Bernoulli, D. (2010). Recoiling plate-tectonic reconstructions of Alpine Tethys with the geological-geophysical record of spreading and subduction in the Alps. *Earth-Science Reviews*. 102, pp. 121-158.
- Hauer, C. (1905): Potvrda o ljekovitosti mineralne vode u Topuskom.- IGI, 4183, Zagreb
- Havlik, I. (1971): Hidrogeološko istraživanje termalne vode u Tuheljskim Toplicama. *Fond struč. dok. "Geotehnika"*, Zagreb.
- Havlik, I., Mišić, N., Spasić, M. (1982): Izvještaj o hidrogeološkim mjerenjima u Tuheljskim toplicama. *Fond struč. dok. "Geotehnika"*, Zagreb.
- Hećimović, I. (1995): Tektonski odnosi šireg područja Kalnika. *Disertacija. Rud.-geol.-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu*, 1-152, Zagreb.
- Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides (Nova koncepcija geotektonike Dinarida). *Acta geol.*, 16/1, (Prir. istraž. 53), Jugosl. akad. znan. i umjetn., Zagreb, pp. 1–42
- Horváth, F. & Royden, L.H. (1981): Mechanism for formation of the intra-Carpathian basins: A review.– *Earth Evol. Sci.*, 1/3–4, pp. 307-316

- Horváth, F. (1993): Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin.– Tectonophysics, 225, pp. 333–358.
- Horváth, F., Pap, N., Reményi, P. & Toth, T., 2012. Geothermal resource assessment of the Drava Basin. Report of the Hungary–Croatia IPA Cross-border Cooperation Programme 2007–2013. Project No. HUHR/ 0901/2.1.3./0006. 221 pp
- Horvath, F., Sacchi, M. & Dombrádi, E. (2010). Seismic stratigraphy and tectonics of Late Miocene basin fill in southern Transdanubia and below Lake Balaton. Foldtani Kozlony. 140, pp. 391-418.
- Horvatinčić N., Srdoč D., Pezdič J., Chafetz, H., Sliepčević A. & Krajcar Bronić I. (1991): Determination of the origin of geothermal waters in NW Yugoslavia by isotopic methods (Abstract). XIV International Radiocarbon Conference, Tucson, AZ, USA, 20.05.1991-24.05.1991, in Radiocarbon, 209.
- Horvatinčić, N., Srdoč, D., Krajcar Bronić, I., Pezdič, J., Kapelj, S. & Sliepčević, A (1996): A study of geothermal waters in Northwest Croatia and East Slovenia, Isotopes in water resources management. Vol. 2 IAEA (ur.). Vienna: IAEA, 470-474
- IAEA (2019). "Global Network of Isotopes in Precipitation.
- Ina-projekt, OOUR Kompleksna geološka istraživanja (1986), Geološko-tehnička osnova za istražno-proizvodnu bušotinu na termalnu vodu Siter-1 (1986), Zagreb
- Jakšić, D. (1922): Topusko, opis kupališta i okolice.- Dionička štamparija d.d., Karlovac
- Jamičić D. (1990): O tangencijalnim kretanjima u području slavonskih planina, Nafta br. 34/12 (685-691), Zagreb, 1990.
- Jamičić D. i Brkić M. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000 – List i tumač Orahovica –L 33-96, izdanje SGZ, Beograd.
- Jamičić, D. (1979): Dvostruko boranje u jednom dijelu metamorfnih stijena Papuka i Krndije. – Geološki vjesnik, 31, 355-358.
- Jamičić, D. (1983): Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka. – Geološki vjesnik, 36, 51-72.
- Jamičić, D. (1988): Strukturni sklop Slavonskih planina (sjeverni Psunj, Papuk, Krndija). – Neobjavljena Disertacija, Rudarsko-geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 152 p.
- Jamičić, D. (1995): The role of sinistral strike-slip faults in the formation of the structural fabric of the Slavonian Mts. Geologia Croatica, Zagreb, 48/2, 155-160.
- Jelić K. (1987): Stacionarna geotermijska energija u Savskoj i Dravskoj potolini Panonskog bazena Republike Hrvatske, nafta, br.6 str. 330-340, Zagreb

Jenko, K., Jagačić, T. (1962): Rezultati geološkog kartiranja W dijela Hrvatskog zagorja. Neobjavljeni izvještaj. Arhiv HGI, Zagreb.

JURIŠIĆ MITROVIĆ, V. (2001): Izvještaj o rezultatima kemijskih analiza uzoraka voda za zadatak "Monografija termalnih i mineralnih voda RH" HGI, Zagreb

Jurišić-Mitrović, V. (2001): Izvještaj o rezultatima kemijskih analiza uzoraka voda za zadatak "Monografija termalnih i mineralnih vrela R. Hrvatske". Fond. struč. dok., Instituta za geol. istr., Zagreb.

Kapelj, Sanja; Dragičević, Ivan; Šepetavec, Vlasta; Penava, Lenkica Preliminarna istraživanja geoloških, geokemijskih i izotopnih obilježja geotermalnog vodonosnika Lipika // IV. Balneološki skup "Dr. Ivan Šreter" / Kraml Oto (ur.). Lipik: Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Lipik, 2014. str. 79-91

Klaić, V. (1878): Prirodni zemljopis Hrvatske. Naklada Matice Hrvatske, Zagreb

Kovačić, M. & Perica, R. (1998): Stupanj korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj, Hrvatske vode, 25, Zagreb, 355 - 361.

Kovačić, M., Mraz, V. & Marković, T. (2007): Izvještaj o istražnim radovima na izvorištu geotermalne vode u Daruvarskim toplicama – Pokusno crpljenje geotermalne vode iz bušotine D-1. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 18 str., Zagreb.

Krsnik, M. & Ivandić, M. (2008): Izvještaj o geofizičkim vodoistražnim radovima na području Daruvara. Institut građevinarstva Hrvatske, 9 str., Zagreb.

Krsnik, V., Tomić, D., Supek, Z. (1944): Kemijska i biološka istraživanja ljekovitog blata Tuheljskih toplica. Sažetak, Liječnički vjesnik, LXVI/1944 br.1

Kruk, Boris; Dedić, Željko; Avanić, Radovan; Kruk, Ljiljana; Kolbah, Slobodan; Škrlec, Mladen; Crnogaj, Stjepan; Peh, Zoran; Kovačević Galović, Erli (2016): Rudarsko-geološka studija Sisačko-moslavačke županije. HGI

Kuhta, M. (1996): Analiza utjecaja razine izvora Bulaž na temperaturu termalnih voda Istarskih toplica. Fond stručne dok. IGI, Zagreb.

Kurevija T., Golub, M. (2008): Iskorištavanje geotermijskih ležišta (2008), skripta, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Kurevija, T. (2008), Analiza potencijala plitkih geotermalnih resursa u sustavima toplinskih pumpi na području grada Zagreba, znanstveni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Kurevija, T., Gregurić, M. (2008): Energetska snaga binarnog Rankine ciklusa na geotermalnom ležištu Kutnjak-Lunjkovec, znanstveni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Larva, O. & Mraz, V. (2008): Daruvarske toplice - Elaborat utvrđivanja eksploatacijske izdašnosti Ivanovog vrela i objekta Š-3. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 10 str., Zagreb.

- Larva, O., Mraz, V. & Marković, T. (2009): Hidrogeološki nadzor tijekom bušenja, ugradnje, čišćenja i pokusnog crpljenja istražno – eksploatacijske bušotine Dar-1 u Daruvaru. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 12 str., Zagreb.
- Larva, O., Mraz, V. i Krsnik, M. (2017): Hidrogeološki i geofizički istražni radovi na području obuhvaćenom k.č.br. 2236, 2237, 2239 i 2240/1 k.o. Krapinske Toplice. HGI i IGH, Zagreb.
- Limberger, J., Boxem, T., Pluymaekers, M., Bruhn, D., Manzella, A., Calcagno, P., Beekman, F., Cloetingh, S., van Wees, J.D. (2018): Geothermal energy in deep aquifers: A global assessment of the resource base for direct heat utilization *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 961–975
- Longinelli, A., Selmo, E., 2003. Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. *J. Hydrol.* 270, 75–88.
- Lučić, D., Saftić, B., Krizmanić, K., Prelogović, E., & Britvić, V., Mesić, I. & Tadej, J. (2001). The Neogene evolution of hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. *Marine and Petroleum Geology.* 18, pp. 133-147
- Malvić, T. & Rusan, I. (2007): Potential Hydrocarbon Discoveries in Bjelovar Subdepression, Croatia// *Search and Discovery*, 9, #10135, pp. 1-6
- Malvić, T. & Velić, J. (2011): Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations // *New Frontiers in Tectonic Research : At the Midst of Plate Convergence* / Schattner, Uri (ur.). Rijeka: InTech, pp. 215-238
- Malvić, T. (1998): Strukturni i tektonski odnosi, te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac - Pavljani, magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Malvić, T. (2003): Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini, doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Malvić, T. (2012): Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia// *Geological quarterly*, 56, 3, pp. 493-504
- Malvić, T., Velić, J. & Cvetković, M. (2011): Quantification of production variables in sandstone hydrocarbon reservoirs versus other lithologies in Croatia // *Abstracts, The first Central and Eastern European international oil and gas conference and exhibition* / Holoda, A. ; Zelić, M. ; Osz, A. sr ; Križ, J. (ur.). Budimpešta: MONTAN-PRESS Program Organizing, Consulting and Publishing Ltd., pp. 118-118
- Malvić, T., Velić, J. & Cvetković, M. (2012): Stochastical categories in the probability of success (POS) calculation// *Geomathematics as geoscience/* Malvić, Tomislav ; Geiger, Janos ; Cvetković, Marko (ur.).Zagreb: Hrvatsko geološko društvo, pp. 97-104
- Marković, S. (2002): Hrvatske mineralne sirovine, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Marković, T., Borović, S. i Larva, O. (2015): Geochemical characteristics of thermal waters of Hrvatsko zagorje. *Geologia Croatica* Vol. 68, Issue 1, 67-77

Maros, G., Albert, G., Szeiler, R.B., Fodor, L., Gyalog, L., Jocha-Edelényi, E., Kercksmár, Zs., Magyari, Á., Maigut, V., Maros, G., Nádor, A., Orosz, L., Palotás, K., Selmeczi, I., Uhrin, A., Viktor, Zs., Atzenhofer, B., Berka, R., Bottig, M., Brüstle, A., Hörfarter, C., Schubert, G., Weilbold, J., Baráth, I., Fordinál, K., Kronome, B., Maglay, J., Nagy, A., Jelen, B., Lapanje, A., Rifelj, H., Rižnar, I. & Trajanova, M., 2012. Summary report of the Geological Models Transenergy Project: 189 pp. Available at <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>.

Matoničkin, I., Pavletić, Z. & V. Popović (1964): Prilog istraživanju radioaktivnosti u biotopu termalnih voda Hrvatskog zagorja. Acta Botanica Croatica XXIII, 101-114.

Mayer, D., Capar, A., Dragičević, I. (1997): Tuheljske toplice, zalihe, kvaliteta i zaštita termalne vode. GEOECO –ING d.o.o., Zagreb

McCain W.D. (1990): The Properties of Petroleum Fluids, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma

McCallum, J.L., Cook, P.G., Dogramaci, S., Purtschert, R., Simmons, C.T. & Burk, L. (2017): Identifying modern and historic recharge events from tracer-derived groundwater age distributions. Water Resources Research, 53/2, 1039-1056.

Mesarić, M., Benčić, J., Hofman, M., Mesarić, M., Ivanek, I., Gudac, I., Bucić, P., Čačić, M., Hazdovac, I., Leljak, M., Matijević, M., Stanić, D., Stojak, J., Veseli, M. & Radaković, M. (2018): Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije 2018.-2021. godine, Ires ekologija d.o.o., Zagreb

Miholić, S. (1940): Krapinske Toplice, izvor Jakobove kupelji. Rad JAZU, 267, 207, Zagreb.

Miholić, S. (1940): Kemijska analiza termalnih voda u Hrvatskom zagorju. Rad Jugosl. Akad. znan. i umjetn., 267. 1-80, Zagreb.

Miholić, S. (1959): Istraživanje termalnih vrela Hrvatskog zagorja, Ljetopis Jugosl. Akad. znan. i umjetn., 63, 326-328, Zagreb.

Miholić, S., Trauner, L. (1952): Mineralne vode u Hrvatskoj. Godišnjak Baln.-klimat. instit. NR Hrvatske, 1, 59-134, Zagreb.

Miletić, P. (1988): Hidrogeološka istraživanja Stubičkih toplica. RGNF, Zagreb

Mraz, V. & Larva, O. (2008): Vodoistražni radovi na području Daruvara. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 27 str., Zagreb.

Mraz, V. (1983): Izvještaj o hidrogeološkim istražnim radovima na području Daruvarskih toplica II. faza. Neobjavljeni izvještaj, Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, 13 str., Zagreb.

Mraz, V., Novosel, T. i Vujnović, T. (1998): Zasebno izvješće o istražnim radovima za potrebe sanacije termalnog vrela u krapinskim Toplicama. Hidrogeologija. IGH i IGI, Zagreb.

Murphy G (Dec 1, 2005). "Pesticide Rotation". Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

Nádor, A., Sebess-Zilahi, L., Rotár-Szalkai, Á., Gulyás, Á. & Marković, T. (2020). New methods of geothermal potential assessment in the Pannonian basin. *Netherlands Journal of Geosciences*, Volume 98, e10. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.7>

Nakić, Z. (2004): Izveštaj o geokemijskim značajkama podzemne vode termalnog izvorišta Krapinske Toplice. RGN fakultet, Zagreb.

Nenadović, L. (1936): Sistematizacija izvora mineralne vode u Kraljevini Jugoslaviji. Opis banja, Beograd

Novak, R. (1964): Tuheljske toplice. Medicinska enciklopedija, Zagreb

Novak, R., Čepelak, R. (1971): Ispitivanje termomineralne vode u Tuheljskim toplicama. Zavod za med. Fiz. Med. Fak. Sveuč. Zagreb

Opić, I. (2001): Specijalni rudarski radovi na zdencu KRT-1 u Krapinskim Toplicama. GEOIST, Samobor.

Pamić, J. (1990): Alpske? granitno-metamorfne stijene u podlozi Panonskog bazena u bilogorsko-podravskom naftno-plinskom području, Nafta br. 41/10 (433-437), Zagreb, 1990.

Pamić, J. (1993). Eoalpine to Neoalpine magmatic and metamorphic processes in the northwestern Vardar Zone, the easternmost Periadriatic Zone and the southwestern Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 226, 503–518.

Pamić, J. (1993): Late Cretaceous volcanic rocks from some oil-wells in the Drava Depression and adjacent mountains of the southern part of the Pannonian Basin (North Croatia) – Nafta, 44, 203–210, Zagreb.

Pamić, J. (1997): Vulkanske stijene Savsko-dravskog međuriječja i Baranje (Hrvatska). Nafta, Zagreb, 192 str.

Pamić, J. (2002): The Sava–Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean – *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 95, 99–113.

Pamić, J., Gušić, I. & Jelaska, V. (2000): Basic geological features of the Dinarides and South Tisia – U: Pamić, J., Tomljenović, B. (ur.): Outline of the geology of the Dinarides and South Tisia. 9–18, Zagreb – PANCARDI 2000, 153, Dubrovnik.

Pamić, J., Jurković, I. (2002): Paleozoic tectonostratigraphic units of the northwest and central Dinarides and the adjoining South Tisia. – *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 91, 538–554.

Pamić, J., Lanphere, M. (1991): Hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Pšunja, Krndije i okolne podloge Panonskog bazena u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). – *Geologija* 34, 81-253

Park, S. i K. Livelybrook, D. W. (1989). Kvantitativna interpretacija rotacijskih podvarijantnih parametara kod magnetotelurnog mjerenja. *Geofizika*, 54, 1483-1490.

- Pavelić, D. (1998): Taložna evolucija slatkovodnog donjeg i srednjeg miocena sjeverne Hrvatske na temelju analize facijesa, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
- Pavelić, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. –Basin Research 13, 359-376.
- Pavelić, D. (2002): The south-western boundary of Central Paratethys // *Geologia Croatica*, 55, 1, pp. 83-92
- Pavelić, D., Avanić, R., Bakrač, K. & Vrsaljko, D. (2001): Early Miocene braided river and lacustrine sedimentation in the Kalnik Mountain area (Pannonian Basin System, NW Croatia)// *Geologica Carpathica*, 52, 6, pp. 375-386
- Pavelić, D., Kovačić, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review. *Marine and Petroleum Geology* 91, 455–469.
- Pavelić, D., Miknić, M. & Sarkotić-Šlat, M. (1998): Early to Middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southwestern margin of the Pannonian basin system (Croatia) // *Geologica Carpathica*, 49, 6, pp. 433-443
- Pavelić, D., Miknić, M., Sarkotić Šlat, M. & Belak, M. (1992): Shallowing-upward sequences during global transgression in Lower Badenian in the southern part of Pannonian basin, northeastern Croatia // *Terra. Abstracts / XX (ur.)*.Oxford: Blackwell
- Penava, Z. (2018), Naftnogeološka procjena istočnog dijela Savske depresije postupkom bazenskog modeliranja, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Polančec, M. (2011): Primjena prirodnih hidrogeokemijskih i izotopnih trasera u istraživanju geotermalnih vodonosnih sustava (Application of hydrogeochemical and isotopic tracers in the study of geothermal aquifer systems – in Croatian). Graduate Work, Geotechnical Faculty in Varaždin, University of Zagreb, 56p.
- Pranjić, J., Kletečki, E., Hatlak, M., Pranjić, F., Pešak, S., Kogl, M., Špiranec, M. & Grabar, K. (2018): Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš eksploatacije geotermalne vode za energetske potrebe na budućem eksploatacijskom polju "Sveta Nedelja", SPP d.o.o, Varaždin
- Pranjić, P., Miklin, Ž., Krklec, N., Strelc, S., Levačić, E., Štolčić, I., Gazdek, M i čačić, M. (2000): Izvještaj o istražnim radovima i bušenju istražno-eksplotacijskih bušotina B-5 i B-6. SPP d.o.o, Varaždin
- Prelević, D., Wehrheim, S., Reutter, M., Romer, R.L., Boev, B., Bozovic, M., van den Bogaard, P., Cvetkovic, V., Schmid, S.M. (2017): The Late Cretaceous Klepa basalts in Macedonia (FYROM)— Constraints on the final stage of Tethys closure in the Balkans. –*Terra Nova* 29, 145–153.

- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. vjesnik, 28, Zagreb, pp. 97-108
- Prelogović, Eduard; Jamičić, Domagoj; Aljinović, Bruno; Velić, Josipa; Saftić Bruno; Dragaš, Mate (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena // 1. Hrvatski geološki kongres First Croatian geological congress / Vlahović, Igor ; Ivo Velić, Marko Šparica (ur.). Zagreb: Institut za geološka istraživanja, str. 481-486
- Radolić, V., Vuković, B., Stanić, D., Planinić, J. (2005): Radonske razine u hrvatskim toplicama. VI. Simpozij, HDZZ, Stubičke Toplice, Zbornik radova, 248-252.
- Raljević, B. (1979): Pojave termalnih, mineralnih i termomineralnih voda na području Zajednice općina Zagreb i grada Zagreba. Neobjavljeni izvještaj. Arhiv HGI, Zagreb.
- Ražnjević K. (1964): Termodinamičke tablice, "Tehnička knjiga", Zagreb
- Režek, A., Marić, L. (1939): Dadino vrelo, prirodne tople sumporovite vode u Tzheljskim toplicama. Sažetak, Arhiv za hemiju, 13/1
- Rimac, I. (1993): Čišćenje i ispitivanje kaptaze i bunara B-1 Stubičke Toplice. Geofizika, Zagreb
- Rman, N. & Tóth, Gy. 2011: Screening of the geothermal utilisation, evaluation of the thermal groundwater bodies and preparation of the joint aquifer management plan in the Mura-Zala basin, T-JAM — Hydrogeological conceptual, www.t-jam.eu, 23p.
- Rman, N., Gál, N., Marcin, D., Weilbold, J., Schubert, G., Lapanje, A., Rajver, D., Benková, K. & Nádor, A., (2016). Potentials of transboundary thermal water resources in the western part of the Pannonian basin. *Geothermics* 55: 88–98.
- Rman, N., Lapanje, A., Prestor, J. & Sullivan, M.J.O. (2016): Mitigating depletion of a porous geothermal aquifer in the Pannonian sedimentary basin. *Environ Earth Sci* , 75:723 doi 10.1007/s12665-016-5634-1
- Rotár-Szalkai, Á., Maros, Gy., Bereczki, L., Markos, L., Babinszki, E., Zilahi-Sebess, L., Gulyás, Á., Kun, É., Szőcs, T., Kerékgyártó, T., Nádor, A., Rajver, D., Lapanje, A., Šram, D., Marković, T., Vranješ, A., Farnoaga, R., Samardžić, N., Hrvatović, H., Skopljak, F. & Jolović, B. (2018). Identification, ranking and characterization of potential geothermal reservoirs. Report of the DARLINGe project: 82 pp. Available at www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge/outputs.
- Rotár-Szalkai, Á., Nádor, A., Szőcs, T., Maros, Gy., Goetzl, G. & Zekiri, F. (2017). Outline and joint characterization of transboundary geothermal reservoirs at the western part of the Pannonian basin. *Geothermics* 70: 1–16.
- Royden, L.H. (1988): Late Cenozoic Tectonics of Panonian Basin System. U: Royden, L.H., Horvath, F. (ur.), *The Pannonian Basin. A Study in Basin Evolution*. APPG Mem, 45, 27-48.
- Saftić, B. & Velić, J. (2000): Genetic stratigraphic sequences in the Upper Miocene sediments of the Sava Basin // *Extended Abstracts of the 62nd Conference and Technical Exhibition : EAGE; Vol.2* Houten, Nizozemska: European Association of Geoscientists and Engineers, P-33

- Saftić, B. (1998): Genetska stratigrafska sekvencijska analiza u pontskim naslagama zapadnoga dijela Savske depresije, doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Saftić, B., Peh, Z., Velić, J., Juttner, I. (2001): Interdependence of Petrophysical Properties and Depth: Some Implications of Multivariate Solution on Distinction Between the Lower pontian Hydrocarbon-bearing Sandstone Units in the Western Part of the Sava Depression// *Geologia Croatica*, 54,2, pp. 259-277
- Saftić, B., Velić, J., Sztano, O., Juhas, 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 (2003), 1, pp. 101-122
- Schefer, S., Cvetković, V., Fügenschuh, B., Kounov, A., Ovtcharova, M., Schaltegger, U., Schmid, S.M. (2011): Cenozoic granitoids in the Dinarides of southern Serbia: age of intrusion, isotope geochemistry, exhumation history and significance for the geodynamic evolution of the Balkan Peninsula. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 100, 1181–1206.
- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. & Ustaszewski, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units. –*Swiss J. Geosci.* 101, pp. 139–183.
- Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Matenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszewski, K., Hinsbergen, D. (2020). Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*. 78. 308-374.
- Seghedi, I. & Downes, H. (2011): Geochemistry and tectonic development of Cenozoic magmatism in the Carpathian Pannonian region. –*Gondwana Research* 20 (4), 655-672.
- Sheriff, R. E., (1992): Basic petrophysics and geophysics, in *Reservoir Geophysics*
- Sladović, Ž. (2009): Analiza gravimetrijskih podataka na području Duboke Drave, mentor F. Šumanovac, neobjavljeno RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Sladović, Ž. (2011): Analiza združenih atributa, primjer polja Molve te istražnih prostora u Siriji i Maroku, mentor F. Šumanovac, magistarski rad, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Sladović, Ž. (2011): Primjena združenih atributa, seminarski rad, mentor F. Šumanovac, neobjavljeno RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Stegena, L., Géczy, B. & Horvath, F. (1975): Late Cenozoic evolution of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 26, 71-90.
- Šarin, A. (1990): Tehnički izvještaj o pokusnom crpljenju u 1989. termomineralne bušotine Kža-1 u Križevcima. IGI, Zagreb
- Šarin, A., Babić, Ž., Raljević, B. (1979): Prilog poznavanju termalnih i mineralnih voda sjeverozapadne Hrvatske. Znanstveni savjet za naftu JAZU, Sekcija za primijenjena geološka, geofizička i geokemijska istraživanja, IV. god. znan. skup, Stubičke Toplice.

- Šegota, T. & Filipčić, A. (2003): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria*; Vol.8 No.1. 8, pp. 17-37
- Šimon, J. (1980): Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješćanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske.– Unpubl. PhD Thesis, University of Zagreb, 66 p
- Šimunić, A. (1986): Detaljna geološka istraživanja bliže okolice Krapinskih Toplica u svrhu lociranja istražne bušotine na termalnu vodu i izvještaj o rezultatima bušenja. IGI, Zagreb.
- Šimunić, A. (ur.) (2008): Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske (geološka monografija), Hrvatski geološki institut, Zagreb, 343 str.
- Šimunić, A. i Hećimović, I. (1979): Tektonski odnosi sjeverozapadne Hrvatske (Medvednica). HGI, Zagreb.
- Šimunić, A., Hećimović, I. (1981): Strukturno-geološka istraživanja područja Kumrovca i Tuhlja s posebnim osvrtom na mogućnost nalaza termomineralne vode. Neobjavljeni izvještaj. Arhiv HGI, Zagreb.
- Šimunić, A., Hećimović, I. (1998): Geološki vidovi pojave termalnih i mineralnih voda u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Znan.-stručni skup "Mineralne i geotermalne vode Hrvatske i njihovo korištenje, Daruvar. Hrvatske vode, 25, 345-353.
- Šimunić, A., Hećimović, I. (1999): Geological aspects of thermal and mineral water occurrences of northwestern Croatia. *Nafta*,3, 95-102.
- Šimunić, A., Hećimović, I. (2002): Termalne vode sjeverne Hrvatske (Geneza i zaštita). Zbornik radova međ.znan. simpozija Hrv. Akad.znan. i umjet. 307-324, Zagreb-Varaždin.
- Šimunić, An. (ur.) (2008): Geotermalne i mineralne vode RH, HGI, Zagreb, 343p.
- Šuica, S. (2019): Granitoidi podloge Panonskoga bazena na području istočne Hrvatske. – Doktorska disertacija, neobjavljeno. Sveučilište u Zagrebu. 279 str.
- Šumanovac, F. (2015): Lithosphere model of the Pannonian–Adriatic overthrusting. *Tectonophysics*. 665. pp. 79-91.
- Šumanovac, F. (2015): Lithosphere model of the Pannonian–Adriatic overthrusting. *Tectonophysics*, 665, 79–91. TANER, M. T., (2001), Seismic attributes, *CSEG Recorder*, pp. 48-56, September Issue.
- Šumanovac, F., Hegedus, E., Orešković, J., Kolar, S., Kovacs, A.C., Dudjak, D. & Kovacs, I. (2016): Passive seismic experiment and receiver functions analysis to determine crustal structure at the contact of the northern Dinarides and southwestern Pannonian Basin, *Geophys. J.*, 205, 1420–1436
- Tari, G., Horvath, F., Rumpler, J. (1992): Styles of extension in the Pannonian Basin. *Tectonophysics* 208, 203-219.

- Tomić, D. (1946): Flour u termalnim vodama Hrvatskog zagorja. Sažetak, Zagreb
- Tomljenović, B. & Csontos, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia). *Int J Earth Science (Geol Rundsch)*, 90, 560-578
- Troskot-Čorbić, T., Velić, J., Malvić, T. (2009): Comparison of the Middle Miocene and the Upper Miocene source rock formations in the Sava Depression (Pannonian Basin, Croatia) // *Geologia Croatica : journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society*, 62 , 2, pp. 123-133
- Tučan, F. (1919): Naše rudno blago, Matica Hrvatska, Zagreb
- Tušar, B. (1998): Zaštita kakvoće mineralnih voda // *Hrvatske vode : časopis za vodno gospodarstvo*, 6, 25; 411-415
- Urumović K. (1982): Hidrogeološke značajke istočnog dijela Dravske potoline (Disertacija, 1-138), RGF, Beograd
- Urumović K. (2003): Fizikalne osnove dinamike podzemnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- Ustaszewski, K., Herak, M., Tomljenović, B., Herak, M., Mater, S. (2014): Neotectonics of the Dinarides–Pannonian Basin transition and possible earthquake sources in the Banja Luka epicentral area. *Journal of Geodynamics*, 82,52–68.
- Ustaszewski, K., Kounov, A., Schmid, S. M., Schaltegger, U., Krenn, E., Frank, W., Fügenschuh, B. (2010): Evolution of the Adria-Europe plate boundary in the northern Dinarides: From continent-continent collision to back-arc extension. - *Tectonics*, 29.
- Ustaszewski, K., Schmid, S. M., Fügenschuh, B., Tischler, M., Kissling, E., Spakman, W. (2008): A map-view restoration of the Alpine-Carpathian-Dinaridic system for Early Miocene. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, Supplement 1, 273-294.
- Ustaszewski, K., Schmid, S. M., Lugović, B., Schaltegger, U., Bernoulli, D., Hottinger, L., Kounov, A., Fügenschuh, B. & Schefer, S. (2009): Late Cretaceous intra-oceanic magmatism in the internal Dinarides (northern Bosnia and Herzegovina): Implications for the collision of the Adriatic and European plates *Lithos* 108 106 – 125.
- Velić J., Tišljar, J., Dragičević, I. & Blašković, I. (2000): Shoreline cross-bedded biocalcarenes (Middle Miocene) in the Podvrško-Šnjegović area, Mt. Psunj, and their petroleum significance (Požega Subdepression - eastern Croatia) // *Geologia Croatica*, 53, 2, pp. 281-293
- Velić, I., Vlahović, I. (2009): Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 141 p
- Velić, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina / Zorić, Igor (ur.). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 342 p

- Velić, J., Malvić, T., Cvetković, M. & Jović, G. (2009): Upper Miocene sedimentary rocks along the Northern marginal fault of the Sava depression influenced by syn-sedimentary tectonics (Kloštar oil field, Pannonian basin, Croatia)// Tectonics & Sedimentation (conference volume) / Tom McCann, Niko Froitzheim, Jean Thein, Andreas Schafe r (ur.).Bonn: University of Bonn, Steinmann Institute - Geology, pp. 77-77
- Velić, J., Malvić, T., Cvetković, M. & Vrbanac, B. (2010): Characteristics of Hydrocarbon Fields in the Croatian Part of the Pannonian Basin // Oil, gas, 36, 3, pp. 146-147
- Velić, J., Malvić, T., Cvetković, M., Weisser, M. & Curi, V. (2008): Observation useful for increase of hydrocarbon fields exploitation period within Croatian part of the Pannonian basin // Modern Management of Mine Producing Geology and Environmental Protection/ International Scientific Committee of SGEM (ur.). Sofia: International Scientific Conference SGEM, pp. 567-574
- Velić, J., Weisser, M., Saftić, B., Vrbanac, B., Ivković, Ž. (2002): Naftnogeološke značajke i istraženost triju neogenskih megaciklusa u hrvatskom dijelu Panonskog bazena // Nafta, 53, 6-7, pp. 239-249
- Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I. & Matičec, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 220, pp. 333-360
- Vojić, I. (1986): Izvještaj o izvedbi istražne bušotine KRAPINSKE TOPLICE -1. Geotehnika, Zagreb.
- von Blanckenburg, F., H. Kagami, A. Deutsch, F. Oberli, M. Meier, M. Wiedenbeck, S. Barth, H. Fischer (1998), The origin of Alpine plutons along the Periadriatic Lineament. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen., 78, 57 – 68.
- Vrećca, P., Bronić, I.K., Horvatinčić, N., Barešić, J., 2006. Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: comparison of continental and maritime stations. J. Hydrol. 330, 457–469.
- Vukasović, Ž. (1879): Pabirci iz zemljioslovja Dalmacije, Hrvatske i Slavonije. Rad JAZU, 46, 166-179, Zagreb.
- Vukovski, M. (2019): Strukturna analiza mezozojskih i kenozojskih deformacijskih struktura na području zapadnog Papuka, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 69 str.
- Vulama, I. (2009): Geološke značajke i procjena naftnoplinskoga potencijala neogenskih i trijaskih matičnih stijena iz bušotina u Hrvatskoj i Siriji na temelju sinteze rezultata karotažnih, geokemijskih i seizmičkih mjerenja (Geological characteristics and estimation of hydrocarbon potential of Neogene and Triassic source rocks from wells in Croatia and Syria based on the synthesis of the well log, geochemical and seismic data). Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, pp. 205
- Walter, H. & Lieth, H. (1960): Klimadiagramm-Weltatlas. Jena.

Zagorac, Ž. (1975): Interpretacija gravimetrijskog reziduala i njena primjena u području Savske i Dravske potoline. Disertacija. Rud.- geol. fak., Beograd, pp. 1-86

Zloch, T. (ili Koch) (1891): (rukopis) K ustanovljenju štitnog okoliša za mineralnu kupelj Krapinske toplice u Hrvatskoj. HGI, Zagreb.

Zolter, Đ. (1943): Ljekovite i rudne vode (Crtež: Balneološka karta). Naša domovina. Zbornik 1/1.

PRILOG 1

Prilog 1. Fizikalno-kemijski, kemijski i izotopni pokazatelji u prikupljenim uzorcima tijekom provedbe projekta

Lokalitet	Naziv	Tip pojave/objekta	Datum	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	O ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)
Ivanić grad	IVA-T1	bušotina	28.11.2019	24200	16.6	8.69	0.3	<0,01	131.5	42.7	6895.0	52.9	51.5	1.9	0.01
Zagreb Mladost	Mla-3	bušotina	28.11.2019	2450	79.6	6.85	0	0.27	31.4	17.5	528.6	25.1	6.8	1.3	1.25
Zagreb Blato	KNBZ-1B	bušotina	28.11.2019	2510	80	6.52	0	0.27	42.3	19.2	537.5	24.2	6.9	4.3	1.11
Svetojanske Toplice	Jana	izvor	28.11.2019	550	24.5	7.15	6.6	<0,01	65.2	33.3	3.0	1.7	<0,01	0.2	<0,01
Svetojanske Toplice	Jana	izvor	14.5.2020	550	24.3	7.17	6.3	0.01	64.5	33.1	3.2	1.7	0.02	0.15	<0,01
Svetojanske Toplice	Jana	izvor	20.6.2012	515	24.8	7.18	-	-	86.9	30.6	1.7	0.8	<0,01	0.12	<0,01
Toplice Sv. Martin	Vučkovec-2	bušotina	29.11.2019	10950	36.4	6.8	0.05	2.36	51.8	17.8	2843.0	79.8	23.8	8.7	<0,01
Varaždinske Toplice	B-1	bušotina	29.11.2019	1160	58.1	6.32	0	0.17	123.6	26.6	97.7	11.9	0.8	0.7	2.87
Varaždinske Toplice	B-1	bušotina	14.5.2020	1161	59	6.4	0	0.17	121.3	25.7	92.4	12.0	0.92	0.70	0.18
Varaždinske Toplice	Klokot	izvor	14.5.2020	1197	40	7.14	1.2	0.18	123.7	26.2	94.4	12.2	0.38	0.65	0.15
Stubičke Toplice	B-1	bušotina	29.11.2019	632	56.9	6.72	0	0.03	70.0	26.2	27.3	6.7	0.2	0.7	<0,01
Jezerčica	Jezerčica-1	bušotina	29.11.2019	579	38.4	7.07	1.8	<0,01	62.7	36.3	9.4	1.0	<0,01	0.1	<0,01
Jezerčica	Jezerčica-1	bušotina	13.5.2020	580	38.7	6.88	0.03	<0,01	60.3	34.6	8.3	0.8	<0,01	0.07	<0,01
Tuheljske Toplice	Vrelo u Bari	izvor	29.11.2019	533	32.1	6.99	0.08	<0,01	66.5	38.2	7.5	2.0	0.2	0.3	<0,01
Tuheljske Toplice	Vrelo u Bari	izvor	13.5.2020	603	32.3	6.99	0.07	0.01	64.9	37.1	7.0	2.0	0.22	0.26	<0,01
Krapinske Toplice	Pučka kupelj	izvor	29.11.2019	509	41.8	7	0.14	0.01	52.4	31.9	8.7	2.6	0.1	0.3	<0,01
Krapinske Toplice	Pučka kupelj	izvor	13.5.2020	508	42.2	6.99	0.01	0.01	50.9	30.9	8.7	2.7	0.13	0.25	0.06
Bošnjaci	Bošnjaci-1	bušotina	5.12.2019	4180	63.4	7.9	0	0.11	20.6	12.1	848.5	7.9	28.6	0.1	2.79
Bošnjaci	Bošnjaci-1	bušotina	20.5.2020	4050	63.3	7.53	0	0.11	20.4	12.1	1237.0	7.9	28.28	0.25	3.55
Bizovač Toplice	Slk-1	bušotina	5.12.2019	4830	64	7.6	0	0.12	7.5	1.4	1147.4	13.5	18.4	11.4	0.3
Bizovač Toplice	Biz-4	bušotina	20.5.2020	4860	64	7.45	0	0.34	320.7	73.3	9125.7	186.5	44.82	0.67	0.30
Topusko	TEB-1	bušotina	10.12.2019	634	60.3	7.11	0	0.05	83.6	19.6	18.4	11.7	0.3	0.9	<0,01
Topusko	TEB-2	bušotina	10.12.2019	627	64.8	6.76	0	0.06	83.7	19.3	18.7	11.8	0.3	0.9	<0,01
Topusko	TEB-2	bušotina	22.5.2020	629	62.5	6.6	0	0.06	83.6	19.2	18.6	12.0	0.40	0.91	<0,01
Topusko	TEB-3	bušotina	10.12.2019	630	64.7	6.71	0	0.06	84.3	19.3	18.8	11.9	0.4	0.9	<0,01
Topusko	TEB-4	bušotina	10.12.2019	629	61.4	7.01	0	0.05	83.6	19.6	18.5	11.8	0.3	0.8	<0,01
Topusko	Izvor Topusko	izvor	10.12.2019	602	46.2	6.82	1.7	0.05	78.9	18.4	16.9	10.6	0.3	0.8	<0,01
Topusko	Izvor Topusko	izvor	22.5.2020	600	46.5	6.72	0.5	0.05	78.3	18.1	16.7	10.6	0.35	0.86	<0,01
Lipik	B-4	bušotina	10.12.2019	3720	60	6.59	0	1.26	32.1	13.4	806.8	92.9	8.4	9.5	<0,01
Lipik	B-4	bušotina	19.5.2020	3770	60	6.75	0	0.34	32.7	13.3	735.5	86.5	8.82	9.65	1.30
Daruvar	Ivanovo vrelo	izvor	10.12.2019	572	46.3	7.07	3.7	0.03	76.2	24.2	14.7	3.9	0.3	0.7	<0,01
Daruvar	Ivanovo vrelo	izvor	19.5.2020	569	43.9	7.13	3.7	0.03	71.1	24.0	13.5	3.7	0.11	0.54	<0,01
Daruvar	Antunovo vrelo	izvor	10.12.2019	583	47	7.1	3.1	0.03	73.3	24.5	13.6	3.7	0.2	0.5	<0,01
Daruvar	Antunovo vrelo	izvor	19.5.2020	537	48.8	6.79	0.03	0.03	74.8	23.7	13.6	3.7	0.32	0.55	<0,01
Daruvar	D-1	bušotina	10.12.2019	591	44.5	6.82	0.8	0.03	76.7	25.0	13.5	3.9	0.3	0.5	<0,01
Daruvar	D-1	bušotina	19.5.2020	591	45.8	6.77	0.08	0.03	75.6	24.5	13.2	3.4	0.38	0.49	<0,01
Velika	Velika-1	izvor	11.12.2019	520	27.2	7.16	3.8	0.01	59.4	32.5	4.3	1.1	<0,01	0.1	<0,01
Velika	Velika-2	izvor	11.12.2019	526	26	7.19	4.5	0.01	60.5	33.0	4.1	1.1	<0,1	0.1	<0,01
Istarske Toplice	izvor Sv. Stjepan	izvor	12.12.2019	2750	25	6.91	0.24	0.04	200.8	38.8	282.8	9.4	0.9	1.3	3.9
Šemničke Toplice	Šem-1	bušotina	13.5.2020	557	32.6	7.05	0.4	0.01	62.7	34.5	3.7	1.6	<0,01	0.10	<0,01
Šemničke Toplice	Šemice	izvor	13.5.2020	570	28.7	7.18	2.8	0.01	65.3	34.9	3.8	1.6	<0,01	0.11	<0,01
Sutinske Toplice	Sutinske toplice	izvor	13.5.2020	486	35.2	7.4	0.4	0.01	54.1	29.7	3.5	1.7	<0,01	0.10	<0,01

Lokalitet	Naziv	Tip pojave/objekta	Datum	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	TIC (mg/L)	TOC (mg/l)	δ ¹⁸ O (‰)	δD (‰)	H ₂ S (mg/L)	TN (mg/L)
Ivanić grad	IVA-T1	bušotina	28.11.2019	10292.0	81.8	<0,1	1250	10.4	250.0	29.70	-4.46	-42.36	1.8	40.5
Zagreb Mladost	Mla-3	bušotina	28.11.2019	191.5	247.7	5.1	945	68.4	188.3	19.05	-9.80	-68.46	0.4	6.5
Zagreb Blato	KNBZ-1B	bušotina	28.11.2019	195.2	345.6	5.4	870	67.0	175.0	13.79	-10.94	-78.66	0.8	6.5
Svetojanske Toplice	Jana	izvor	28.11.2019	1.7	12.0	3.8	360	13.0	75.0	0.15	-10.52	-71.06	< 0,01	1
Svetojanske Toplice	Jana	izvor	14.5.2020	2.7	9.5	1.0	360	13.6	70.6	0.14	-10.39	-69.17	< 0,01	<1
Svetojanske Toplice	Jana	izvor	20.6.2012	2.4	6.6	1.4	394	-	-	-	-	-	-	-
Toplice Sv. Martin	Vučkovec-2	bušotina	29.11.2019	2299.3	6.1	29.9	3950	23.7	780.2	22.50	-10.56	-75.04	1.8	26
Varaždinske Toplice	B-1	bušotina	29.11.2019	52.0	153.8	4.6	510	51.4	101.0	0.13	-10.57	-72.84	12	3
Varaždinske Toplice	B-1	bušotina	14.5.2020	105.9	179.2	0.1	350	53.0	68.6	0.07	-10.54	-71.63	12	<1
Varaždinske Toplice	Klokot	izvor	14.5.2020	109.0	196.9	1.5	340	50.8	66.7	0.70	-10.43	-70.41	1.2	<1
Stubičke Toplice	B-1	bušotina	29.11.2019	4.6	91.4	3.4	310	40.7	62.8	0.38	-10.96	-75.36	3.6	1.5
Jezerčica	Jezerčica-1	bušotina	29.11.2019	2.9	20.8	<0,1	370	24.7	72.5	0.21	-10.34	-69.96	0.02	<1
Jezerčica	Jezerčica-1	bušotina	13.5.2020	5.1	20.1	1.3	345	24.2	67.6	0.09	-10.18	-67.14	0.02	<1
Tuheljske Toplice	Vrelo u Bari	izvor	29.11.2019	1.5	31.5	<0,1	378	20.9	74.1	0.13	-10.35	-69.49	0.48	<1
Tuheljske Toplice	Vrelo u Bari	izvor	13.5.2020	2.1	32.5	1.4	360	19.8	70.6	0.11	-10.31	-68.42	0.48	<1
Krapinske Toplice	Pučka kupelj	izvor	29.11.2019	1.7	35.0	<0,1	305	25.2	60.8	0.12	-10.58	-71.58	0.08	<1
Krapinske Toplice	Pučka kupelj	izvor	13.5.2020	2.6	36.9	1.0	280	23.5	54.9	0.11	-10.59	-71.80	0.08	<1
Bošnjaci	Bošnjaci-1	bušotina	5.12.2019	749.0	4.1	<0,1	1100	43.9	220.0	15.20	-10.44	-70.44	1.6	24
Bošnjaci	Bošnjaci-1	bušotina	20.5.2020	1489.6	2.5	<0,1	1250	43.2	245.1	0.62	-8.60	-67.09	1.6	21
Bizovačk Toplice	Slk-1	bušotina	5.12.2019	688.1	20.4	7.8	1950	69.3	390.0	35.50	-7.98	-63.41	1.8	16
Bizovačk Toplice	Biz-4	bušotina	20.5.2020	13600.7	10.3	<0,1	950	65.3	186.3	3.77	-7.98	-64.48	1.8	6.5
Topusko	TEB-1	bušotina	10.12.2019	10.3	103.6	<0,1	271	42.9	53.1	0.13	-10.66	-72.04	0.8	<1
Topusko	TEB-2	bušotina	10.12.2019	10.6	104.9	<0,1	270	43.5	52.9	0.13	-10.84	-75.59	0.8	<1
Topusko	TEB-2	bušotina	22.5.2020	20.3	122.0	<0,1	270	43.1	52.9	0.07	-10.86	-76.87	1.2	<1
Topusko	TEB-3	bušotina	10.12.2019	10.7	105.1	<0,1	270	43.4	52.9	0.10	-10.99	-75.97	0.8	<1
Topusko	TEB-4	bušotina	10.12.2019	10.4	103.9	<0,1	270	44	52.9	0.10	-11.06	-76.22	0.8	<1
Topusko	Izvor Topusko	izvor	10.12.2019	9.1	90.7	<0,1	265	35.2	52.0	0.05	-10.97	-75.53	0.8	<1
Topusko	Izvor Topusko	izvor	22.5.2020	16.9	104.1	<0,1	265	37.0	52.0	0.11	-10.97	-73.96	0.8	<1
Lipik	B-4	bušotina	10.12.2019	596.0	275.9	2.0	1101	51.3	218.9	3.50	-10.45	-75.12	0.02	9
Lipik	B-4	bušotina	19.5.2020	604.7	320.7	<0,1	810	49.4	158.8	0.13	-10.55	-75.87	0.04	7.5
Daruvar	Ivanovo vrelo	izvor	10.12.2019	1.7	50.0	<0,1	338	40.1	66.4	0.67	-10.39	-72.82	0.44	<1
Daruvar	Ivanovo vrelo	izvor	19.5.2020	1.5	54.1	0.3	310	39.5	60.8	90.84	-10.36	-71.81	0.44	<1
Daruvar	Antunovo vrelo	izvor	10.12.2019	1.5	49.7	<0,1	330	38.9	64.9	0.20	-10.49	-72.48	0.44	<1
Daruvar	Antunovo vrelo	izvor	19.5.2020	2.0	54.4	<0,1	320	40.3	62.7	22.46	-10.48	-71.46	0.44	<1
Daruvar	D-1	bušotina	10.12.2019	1.6	48.4	<0,1	332	39	65.1	0.40	-10.56	-72.28	0.02	<1
Daruvar	D-1	bušotina	19.5.2020	2.1	52.5	<0,1	330	40.0	64.7	0.23	-10.50	-71.98	0.01	<1
Velika	Velika-1	izvor	11.12.2019	0.8	15.4	2.6	338	10.4	66.3	0.05	-10.68	-73.35	< 0,01	<1
Velika	Velika-2	izvor	11.12.2019	0.8	16.0	2.7	345	9.2	67.3	0.30	-10.58	-73.15	< 0,01	<1
Istarske Toplice	Izvor Sv. Stjepan	izvor	12.12.2019	442.2	136.4	<0,1	640	20.9	126.5	0.43	-7.93	-50.50	3.8	<1
Šemničke Toplice	Šem-1	bušotina	13.5.2020	2.2	43.2	1.1	320	15.8	62.7	0.06	-10.77	-71.04	0.08	<1
Šemničke Toplice	Šemice	izvor	13.5.2020	2.5	44.0	0.3	330	15.6	64.7	0.13	-10.56	-69.93	< 0,01	<1
Sutinske Toplice	Sutinske toplice	izvor	13.5.2020	2.2	32.3	0.9	280	14.7	54.9	0.05	-10.95	-72.44	< 0,01	<1