

Tehničko-tehnološke karakteristike plitke geotermalne bušotine VTT-1 u Varaždinskim Toplicama

Vidaček, Juraj

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:304215>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

JURAJ VIDAČEK

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE
PLITKE GEOTERMALNE BUŠOTINE VTT-1 U
VARAŽDINSKIM TOPLICAMA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2021

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 20. 09. 2021. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 06. 09. 2021.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Saša Karčić

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Miroslav Golub
- 2) Dr. sc. Dragana Dogačić
- 3) Prof. dr. sc. Josip Mešec
- 4) izr. prof. dr. sc. Anita Prizak Simčić

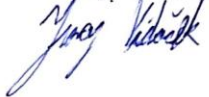
VARAŽDIN, 2021.
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE PLITKE
GEOTERMALNE BUŠOTINE VTT-1 U VARAŽDINSKIM
TOPLICAMA

KANDIDAT:

Juraj Vjdaček



MENTOR:

Prof.dr.sc. Miroslav Golub

NEPOSREDNI VODITELJ:

Dr.sc. Dragana Dogančić

VARAŽDIN, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: JURAJ VIDAČEK
Matični broj: 266 - 2019./2020.
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

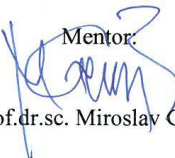
TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE PLITKE GEOTERMALNE
BUŠOTINE VTT-1 U VARAŽDINSKIM TOPLICAMA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Varaždinske Toplice
3. Tehnologija
4. VTT-1
5. Rasprava
6. Zaključak
7. Literatura

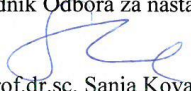
Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 09.03.2021.

Rok predaje: 06.09.2021.

Mentor:

Prof.dr.sc. Miroslav Golub

Neposredni voditelj:
Dragana Dogančić
Dr.sc. Dragana Dogančić

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE PLITKE GEOTERMALNE BUŠOTINE
VTR-1 U VARAŽDINSKIM TOPLICAMA
rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom prof. dr. sc. Miroslava Goluba.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 01.09.2021.

JURAJ VIDAČEK
(Ime i prezime)

Juraj Vidaček
(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE PLITKE GEOTERMALNE BUŠOTINE VTT-1 U
VARAŽDINSKIM TOPLICAMA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 01.09.2021.

Prof. dr. sc. MIROSLAV GOZUB

(Mentor)

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Diplomski rad *Tehničko-tehnološke karakteristike plitke geotermalne bušotine VTT-1 u Varaždinskim Toplicama* sveobuhvatan je rad koji kreće od povijesnih izvora, geološke analize tla, preko suvremenih istraživanja i problema sa svrhom skretanja pozornosti na višenamjensku upotrebljivost Varaždinskih Toplica ne samo u pogledu ekološke svijesti (veća poraba obnovljivih izvora energije), već i ekonomske. Varaždinske Toplice nedovoljno su iskorišten obnovljiv izvor energije koji se u ovom radu detaljno analizira s ciljem da se povlačenjem određenog financijskog resursa omogući ekonomično i ekološki osviješteno maksimalno iskorištavanje tog oblika obnovljivog izvora energije.

KLJUČNE RIJEČI: geotermalna ležišta, geološka građa, bušotina VTT-1, Varaždinske Toplice, termalna i mineralna voda

ABSTRACT

The graduation thesis Technical-technological characteristics of the shallow geothermal well VTT-1 in Varaždinske Toplice is a comprehensive work which presents historical sources, geological analysis of soil and modern research. The paper also emphasizes positive aspects of the geothermal well in Varaždinske Toplice, not only in terms of environmental awareness (more efficient exploitation of renewable energy sources), but also its economic benefits. Varaždinske Toplice is an insufficiently used renewable energy source, which is analyzed in the paper in detail with the aim of withdrawing a certain financial resource to enable profitable and environmentally friendly maximum exploitation of this renewable energy source.

KEYWORDS: geothermal deposits, geological material, well VTT-1, Varaždinske Toplice, thermal and mineral water

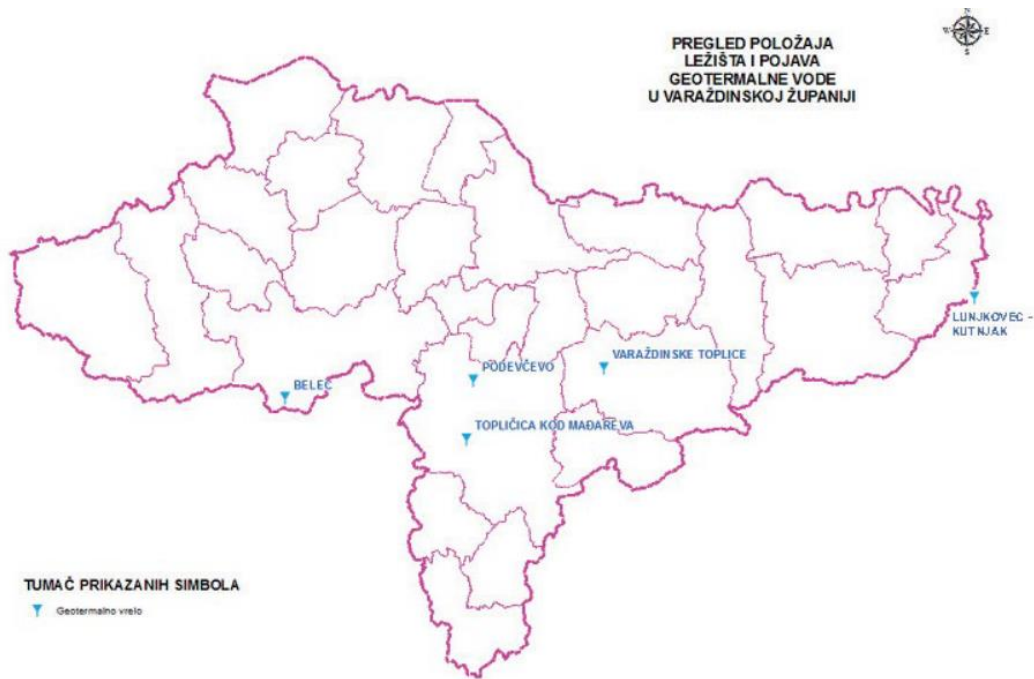
SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. VARAŽDINSKE TOPLICE.....	3
2.1. Geološka građa.....	3
2.2. Tektonski odnosi.....	6
2.2.1. Opis tektonskog rasporeda.....	7
2.3. Hidrogeološki odnosi.....	8
2.3.1. Kemijske analize termalne vode.....	10
2.3.2. Podrijetlo i zagrijavanje termalne vode.....	11
3. TEHNOLOGIJA.....	13
3.1. Geotermalni resursi.....	13
3.1.1. Korištenje geotermalne energije.....	17
3.2. Ekološke značajke i doprinos zaštiti okoliša.....	20
3.3. Zakonodavstvo.....	21
3.4. Bušenje.....	23
4. VTT-1.....	25
5. RASPRAVA	32
6. ZAKLJUČAK	34
7. LITERATURA.....	35

1. UVOD

Pojam „*geotermalno*“ dolazi od grčkih riječi *geo* (*Zemlja*) i *thermal* (*toplina*), stoga ne čudi da se izraz „geotermalna energija“ odnosi se na iskorištavanje topline iz podzemnih izvora, u rasponu od plitkog podzemlja do rezervoara vruće pare, vode i stijena duboko ispod površine Zemlje (Bowyer i sur., 2011). Drugim riječima, geotermalna energija je energija koja proizlazi iz topline zemljine jezgre (Csányi i sur., 2010).

Na području Varaždinske županije nalazi se nekoliko izvora čije se vode klasificiraju kao mineralno-termalne te vode geotermalnog porijekla (slika 1.). Radi se o termalnim izvorima u Belec, Podevčevu, Topličici i Varaždinskim toplicama (Srpak i sur., 2019). Varaždinske toplice, sa svojim termalnim izvorima, najduže su korištene toplice u Hrvatskoj (Šimunić, 2008). Nalaze se oko 12 km jugoistočno od grada Varaždina te su prema povijesnim izvorima nastanjene još od starijeg kamenog doba (Dedić i sur., 2015). Na temelju arheoloških istraživanja utvrđeno je da su Rimljani koristili Toplice od 1. do 3. stoljeća poslije Krista. Za vrijeme provale Gota, Toplice su bile uništene, no već ih je početkom 4. stoljeća rimski car Konstantin obnovio. U to vrijeme, Toplice su postale značajno kulturno, vjersko i gospodarsko središte u kojem se odvijala intenzivna zdravstveno-turistička djelatnost. Na temelju arheoloških dokaza pretpostavlja se da su nakon propasti Rimskog carstva, Toplice bile ponovo uništene (iako nije poznato što se s njima zbivalo od Rimljana pa do kraja hrvatskog kraljevstva). Ipak, može se zaključiti kako su one 1181. godine bile obnovljene, budući da se u spisima spominje sukob grada Varaždina i Zagrebačkog kaptola jer su oba grada željela Toplice pripojiti svom teritoriju. U tom sporu kralj Bela II. Toplice je dodijelio Zagrebačkom kaptolu u čijem su vlasništvu bile do 1945. godine. Moderno lječilište postaju 1838. godine kada se uvodi stalni liječnički nadzor. Danas Toplice sadrže dva veća hotela (Terme i Minervu), lječilišne objekte (Konstantinov dom i Lovrinu kupelj) te dva vanjska bazena i nekoliko unutarnjih. Iz starih geoloških podataka poznato je da su uz glavni termalni izvor (zvani Klokot) postojala i tri manja. Sve od razdoblja kada su Rimljani koristili termalnu vodu do 1960. godine koristio se samo izvor Klokot koji je smješten u gradskom parku, a oko njega su bili izgrađeni rimski objekti (Šimunić, 2008).



Slika 1 Pregledna karta ležišta i pojave geotermalne vode na području Varaždinske županije (Srpak i sur., 2019)

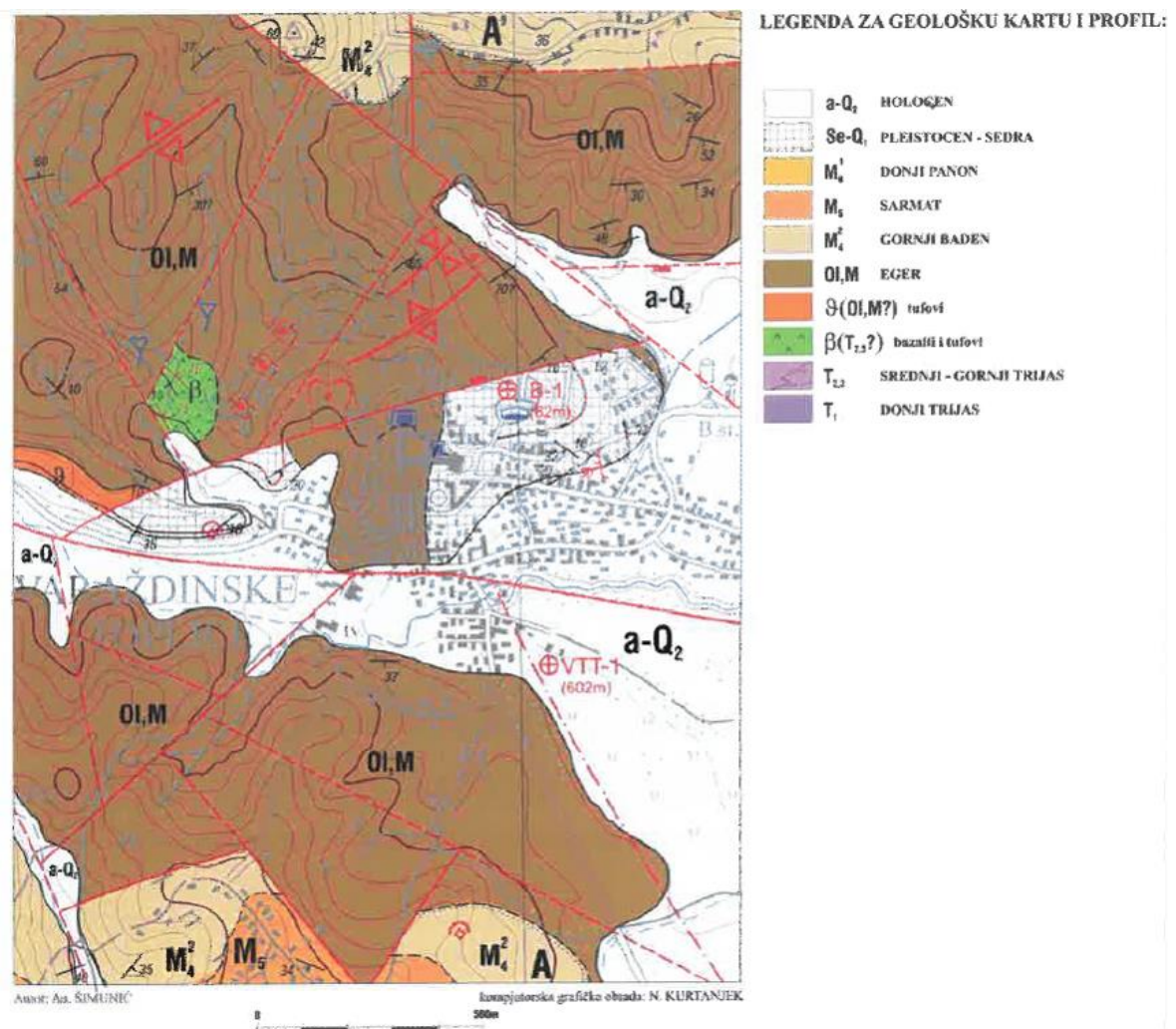
Rimljani su termalnu vodu iskorištavali slično kao i danas, s time da su upotrebljavali termalnu energiju vode i za grijanje zgrada. U to su se vrijeme kupališni objekti strateški nalazili niže od izvora, zbog čega nisu bile potrebne crpke za njihovu vodoopskrbu (Šimunić, 2008).

Termalne vode Varaždinskih toplica istraživali su Bać i Herak (1962) koji navode da je najjači i najtopliji izvor termalne vode izvor Klokot. Temperatura manjih subtermalnih izvora koji se nalaze zapadnije od Klokota uglavnom iznosi od 24 do 25 °C. Tijekom posljednjih 150 godina temperatura vode u Varaždinskim toplicama iznosila je oko 56 °C. Interes liječnika i kemičara za termalnu vodu u Varaždinskim toplicama započeo je prije više od 200 godina (Šimunić, 2008). Cilj ovog rada je pružiti uvid u tehničko-tehnološke karakteristike plitke geotermalne bušotine VTT-1 i mogućnost njezina korištenja u budućnosti.

2. VARAŽDINSKE TOPLICE

2.1. GEOLOŠKA GRAĐA

Kako bi se shvatila pojava termalnih vrela i mehanizam zagrijavanja vode potrebno je poznavati geološku građu izvora i njegove okolice. Iz geološke karte (slika 2.) vidljivo je da se na području Varaždinskih Toplica pojavljuju naslage gornjeg trijasa, srednjeg i donjeg miocena, panona, sarmata, donjeg pontona, kvartara i pliokvartara.



Slika 2 Pregledna geološka karta okolice Varaždinskih toplica (Šimunić, 2008)

Dubinska analiza tog područja pokazuje starost Varaždinskih toplica. Među prvima mogu se izdvojiti dolomiti i vapnenac gornjeg trijasa. Naslage trijasa izbijaju na površinu na području Velikog Drenovca, Ljubelja i u jarcima koji se nalaze sjeveroistočno od Ljubelja, a nabušene su na području Varaždinskih Toplica. Zahvaljujući podacima J. Baća i M. Heraka znamo da se u bušotini B-1 one nalaze na dubini od 20 m, u B-2 između 47. i 49. metra. Na slici 2 iz geoloških profila vidljiva je veza između trijaskih naslaga na površini i nabušenih dolomita u Varaždinskim Toplicama. Ta veza najjednostavnije objašnjava cirkulaciju, kemijski sastav i zagrijavanje termalne vode (Šimunić, 1988, 2008).

Daljnjom analizom pronađeni su klastiti srednjeg i donjeg miocena, naslage koje su poznate i pod nazivom „oligocenske ugljonosne naslage“ (Geološki zavod, 1982). Klastične naslage donjeg i srednjeg miocena imaju veliku rasprostranjenost na sjevernim obroncima Kalničkog gorja i u okolici Varaždinskih toplica (Šimunić, 1988, 2008). Uz antiklinalne prodore vezane su površinske pojave egerskih klastita koji su poredani u četiri zone. Širina pojedine zone rijetko prelazi 500 metara, a generalno pružanje im je u smjeru istok-zapad (Jamičić i sur.,) Grublji klastiti dominiraju među sedimentima (konglomerati, šljunci i pijesci) (Šimunić, 1988, 2008).

Badenski konglomerati, vapnenci i lapori sljedeći su stadij u analizi tla Varaždinskih toplica. Badenske naslage najizrazitiji su transgresivni dio neogena u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Šimunić, 1988, 2008). Oni leže diskordantno na različitim stijinama koje su u kronostratigrafskom rasponu paleozoik - donji miocen, a na marinskim naslagama karpata vjerojatno su taložene kontinuirano i bez znakova diskordancije. Karakteristika im je litološka raznolikost s naglašenim prisustvom karbonatnih stijena. (Jamičić i sur.,)

Za vrijeme maksimalne transgresije u gornjem badenu čitavo područje Kalnika bilo je pod morem. Dokazi tome su erozijski ostaci naslaga badena koji se nalaze na grebenima i vrhuncima Kalničkog gorja na nadmorskim visinama 400 - 500 metara. U tim erozijskim ostacima ne pojavljuju se više krupnozrnati konglomerati i breče već sitnozrnati kvarcni konglomerati, biogeni vapnenci ili pješčenjaci. Zbog toga se pretpostavlja da u blizini nije bilo izdignutog reljefa s kojeg bi se mogla vršiti erozija i denudacija materijala. Nakon što su se istaložile bazne naslage započela je sedimentacija vapnenačkih lapora, laporovitih vapnenaca i pješčenjaka. Boja sedimentata je najčešće sivožuta ili žuta. Pošto se radi o plitkovodnim i priobalnim sedimentima debljina tih naslaga može jako varirati (Šimunić, 1988, 2008).

Lapori i vapnenci sarmata i donjeg panona također su važan dio istraživanog područja. Naslage donjeg panona i donjeg sarmata na geološkoj karti i geološkom profilu (slika 2 i 3) prikazane su zajedno jer naslage koje nemaju veću debljinu od 100 m ne mogu biti posebno izdvojene zbog mjerila karte (Šimunić, 1988, 2008).

Na badenskim naslagama kontinuirano i konkordantno slijede sarmatski sedimenti. Kalničko i Varaždinsko-topličko gorje okružuju u obliku uskog, ponegdje tektonikom isprekidanog pojasa. Ovdje dominiraju pločasti, laporoviti vapnenci, lapori, vapnenački lapori i bituminozni lapori, a ponegdje se mogu naći i sitnozrnati pješčenjaci (Šimunić, 1988, 2008).

Za vrijeme donjeg panona nastavili su se taložiti pločasti, laporoviti vapnenci takozvani „bijeli lapori“ koji su sivožućkaste boje. Debljina naslaga donjeg panona ne prelazi 50 metara na čitavom području (Šimunić, 1988, 2008).

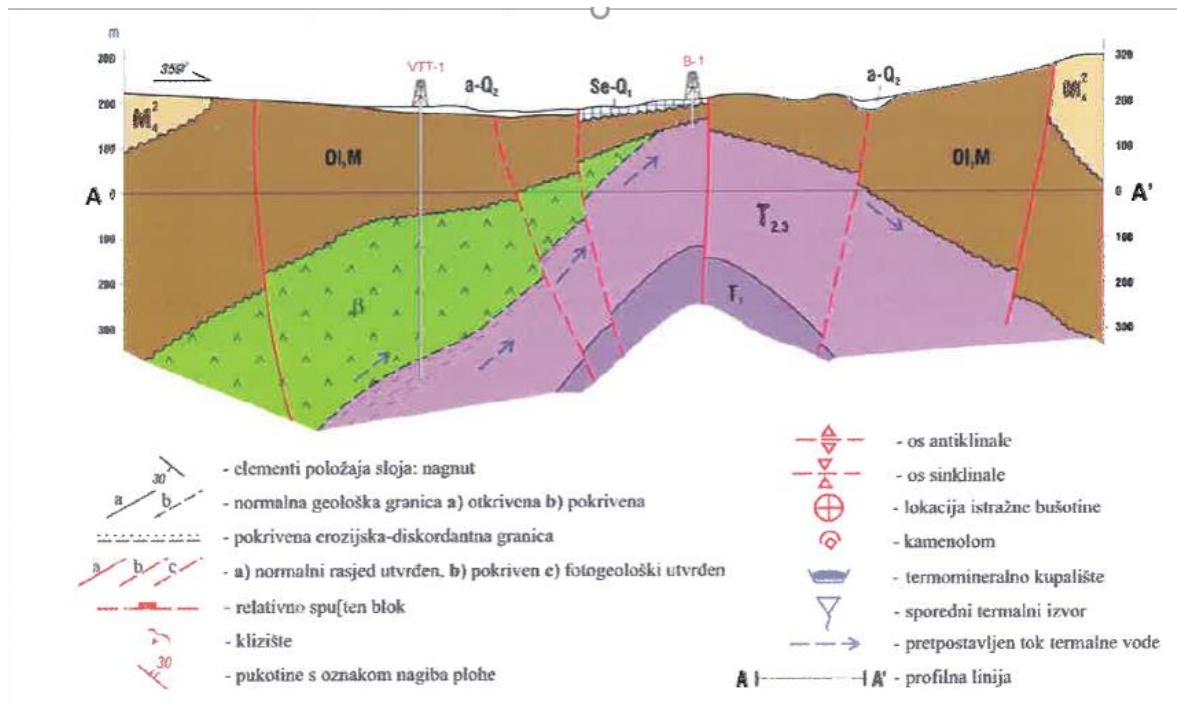
Sljedeći sloj su lapori, pijesci i pješčenjaci gornjeg panona. Na Varaždinskom području gornji panon razvijen je u dva osnovna facijesa. Prvi facijes odgovara „banatica“ slojevima. Izgrađuju ga pretežito različiti lapori s vrlo malo udjela pješčenjaka. Drugi, nazvan *flišoliki facijes*, odlikuje učestala ritmička izmjena pijesaka, pješčenjaka, siltova, siltita i lapora. Vapnenački lapori i lapori ovog razdoblja su žućkaste do sivosmeđe boje, dok pješčenjaci imaju razne nijanse sive boje (Geološki zavod, 1982).

Lapori i pijesci donjeg pontaa su sedimenti donjeg pontaa leže konkordantno i kontinuirano na gornjem panonu (Geološki zavod, 1982). Granični dio predstavljaju slabo uslojeni, siltozni lapori u kojima se pojavljuju fosili iz oba stratigrafska dijela. Dobro uslojeni lapori, pijesci i siltozni lapori koji se međusobno izmjenjuju su istaloženi u višim dijelovima pontaa. Pijesci su identični pijescima iz gornjeg panona po sedimentno-petrografskim karakteristikama. Iz toga se može zaključiti da je tijekom pontaa sedimentacija klastita proširena na cijelo područje (prikazano na geološkoj karti), ali je najveći dio naslaga kasnije erodiran (Šimunić, 1988, 2008).

U Varaždinskim toplicama uz termalne izvore nalaze se i naslage sedre. Sedra je nastala izlučivanjem i inkrustacijom, kalcijeva karbonata iz tople vode. Pojava sedre označuje presahle i aktivne termalne izvore. Ona je puna šupljina koje su nastale tijekom njezine sedimentacije. Termalna vode prelijevala se preko bilja koje je raslo u blizini izvora. Hlađenjem vode, oslobađao se ugljični dioksid, a po bilju se taložio kalcijev karbonat. Šupljine u sedri su nastale nakon što je ta organska tvar istrunula. Velike količine istaložene

sedre ukazuju na dugotrajnu aktivnost termalnih izvora, kao i na otapanje stijena kojima prolazi voda (Šimunić, 1988, 2008).

U dolini rijeke Bednje i njezinih pritoka te u dolinama potoka koji se nalaze sa sjeverne strane Varaždinsko-topličkog gorja nataložili su se šljunci, gline i pijesci (Aluvijalni sedimenti). Oni su nastali pretaloživanjem i trošenjem starijih naslaga (Šimunić, 1988, 2008).



Slika 3 Geološki profil okolice Varaždinskih Toplica (Šimunić, 2008)

2.2. TEKTONSKI ODNOSI

Na području Varaždinskih toplica vidljiva su dva tipa tektonskih odnosa. To su radijalna kretanja i tangencijalni potisci. Tangencijalni potisci doveli su do boranja površinskih dijelova litosfere, a radijalna kretanja do rasjedanja te subvertikalnih i vertikalnih pomicanja blokova (Šimunić, 1988, 2008).

Pošto je Kalničko i Varaždinsko-topličko gorje većim dijelom svoje geološke prošlosti bilo prekriveno vodom, tektonski pokreti zbili su se za vrijeme kratkih kopnenih faza. Početkom eocena i u kredi tektonska aktivnost bila je vrlo jaka. Tektonski pokreti iz tih razdoblja odgovaraju austrijskoj, pirinejskoj i subhercinskoj fazi alpske orogeneze (Šimunić, 1988, 2008).

Nakon što je završio sedimentacijski ciklus koji je trajao u razdoblju od badena do gornjeg ponta započeli su neotektonski pokreti. Ovi pokreti odgovaraju najmlađem dijelu neotektonskih pokreta, odnosno vlaškoj i rodanskoj fazi alpske orogeneze. Oni su djelovali tijekom kvartara i pliocena (Šimunić, 1988, 2008).

Plikativne strukture su formirane tektonskim pokretima, a njihovi segmenti prikazani su na geološkoj karti (slika 2). To su sinklinala Lobor-Zaježda-Petkovec, antiklinala Varaždinske toplice-Margečan i antifforma Ljubelja. Te pliktivne strukture imaju važnu ulogu kod kretanja i zagrijavanja vode (Šimunić, 1988, 2008).

Po završetku boranja započeo je proces izdizanja Kalničkog i Varaždinsko-topličkog gorja. Prilikom tog procesa Kalničko gorje se izdizalo brže povećavajući eroziju i denudaciju. Zbog toga su starije stijene izbile na površinu, a to je bitno za akumulaciju vode. Ta kretanja su se odvila uz velike kose i vertikalne rasjede, a njihovo pružanje podudara se s osima bora. Na sreću skokovi uz rasjede nisu bili preveliki pa se nije slomila veza među trijaskim naslagama, a te naslage su najvažniji nosioci termomineralne vode (Šimunić, 1988, 2008).

2.2.1. Opis tektonskog rasporeda

Kao što je već spomenuto u prethodnom poglavlju, na geološkoj karti su prikazani segmenti triju velikih pliktivnih formi. One se mogu pratiti čitavim Hrvatskim zagorjem. Te forme su: sinklinala Lobor-Zaježda-Petkovec, antiklinala Varaždinske toplice-Margečan i antifforma Ljubelja (Šimunić, 1988, 2008).

Antiklinala Varaždinske toplice-Margečan prostire se na istoku do sela Cvetkovec, a na zapadu se kreće preko Lepoglave, Hromeca i Jesenja u Sloveniju. U Završju i Varaždinskim Toplicama nabušeni su trijaski dolomiti, a stijene iz tog razdoblja izbile su na površinu kod Svetog Duha (pored Ivanca) i između Hromeca i Lepoglave. Da bi se objasnila pojava termalnih izvora potrebno je naglasiti da antiklinila u području Varaždinskih toplica prima oblik izdužene brahiantiklinale. Trijaski dolomiti su izdignuti i nalaze se 20 do 50 metara ispod Zemljine površine. Os bore dalje tone u smjeru istoka i zapada, pa radi toga nema više termalnih vrela (Šimunić, 1988, 2008).

Duža os sinklinala Lobor-Zaježda-Petkovec se slično proteže kao i od antiklinale Varaždinske toplice - Margečan. Razlika je u tome što se ona prolazi s južne strane Ivančice i Strahinčice, a kod Novog Marofa se savija i pojavljuje na sjevernoj strani Kalničkog gorja.

U smjeru zapada se nastavlja u Sloveniju, a u smjeru istoka dolazi do rasjeda Ludbreg - Koprivnica. Taj rasjed je međa između Kalničkog gorja i Dravske potoline. Sedimenti gornjeg ponta se nalaze u jezgri sinklinale, a oni na prostoru Varaždinskih toplica isklinjavaju. Sinklinala je jako sužena na području Kalničkog gorja, a prema sjeveru je osbore nagnuta (Šimunić, 1988, 2008).

Antiforma Ljubelja prostire se u smjeru istok-zapad, sjevernom stranom padina Kalničkog gorja. Nastala je kombinacijom radijalnih i tangencijalnih pokreta. Jezgra se sastoji od trijaskih dolomita koji su u vrijeme neogena bili pod morem. Dokaz tome je pojava panonskih i sarmatskih naslaga na nadmorskoj visini oko 450 m (ispod samog vrha Ljubelja) (Šimunić, 1988, 2008).

Područje koje se može vidjeti na Geološkoj karti (slika 2) ispresijecano je brojnim rasjedima. Većina tih rasjeda su vertikalni, osim onih koji se nalaze na sjevernim obroncima Kalničkog gorja (tamo su reversni rasjedi). Nastanak tih rasjeda je vezan uz pliocensko boranje terena i uz neotektonska izdizanja koja su se zbilila tijekom kvartara i gornjeg pliocena. Rasjedi se najčešće pružaju u smjeru istok-zapad (tako zvani „alpski pravac“). Postoji i nekolicina većih rasjeda koji se pružaju u smjeru sjeverozapad-jugoistok (tako zvani „dinarski pravac“). Rasjedi alpskog pravca razvijeni su iz klivaža aksijalne ravnine. Oni su od izuzetne važnosti za pojavu termalnih vrela u Varaždinskim toplicama. Uz mali rasjed koji se nalazi na vrhu bore smještena su četiri termalna vrela. U tjemenu bore trijaski dolomiti nalazi se najbliže površini, pa je zbog toga bio dovoljan manji rasjed da bi došlo do izbijanja termalne vode. Za pojavu geotermalnih vrela veliku ulogu imaju rasjedi dinarskog pravca i to rasjed koji prolazi dolinom Velikog potoka te drugi rasjed koji prolazi jarkom u kojem se nalaze staklenici. Prostor između tih rasjeda označuje izdignuti blok na kojem se prostire najstariji dio Varaždinskih Toplica. Neotektonskim izdizanjem toga bloka trijaski dolomiti došli su bliže površine i time olakšali izbijanje termalne vode. Rasjedi koji se nalaze sjeverno od termalnih izvora sprječavaju protok vode prema sjeveru (Šimunić, 1988, 2008).

2.3. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Termalna voda na površinu izbija iz trijaskih dolomita. Dolomiti i vapnenci su u svojoj geološkoj prošlosti bili zahvaćeni mnogim tektonskim procesima uslijed kojih su se rasjedali, drobili i borali, a velik dio njih prešao je i u tektonsku breču. Uz sve te procese bili su i nekoliko puta podloženi karstifikaciji, što je u njima stvorilo šupljine i kanale.

Zahvaljujući tim šupljinama i kanalima dolomiti mogu upiti velike količine vode koja se s vremenom spušta u podzemlje. Nepropusne naslage koje se nalaze ispod i iznad dolomita usmjeravaju kretanje vode. Srednjotrijaski klastiti mogu se očekivati ispod naslaga dolomita, dok na dolomitima leže donjomiocenski klastiti (u cjelini nepropusni, iako se izmjenjuju lapori i pijesci). Mlađe naslage neogena sastoje se od izmjene nepropusnih i propusnih sedimentata i to omogućuje kretanje vode smjerom nagiba slojeva. U tima su sedimentima manja vrela koja nemaju vezu s termalnim izvorima u Varaždinskim toplicama (Šimunić, 1988, 2008).

Već je spomenuto da su na području Varaždinskih toplica postojala četiri termalna izvora, od kojih je najjači bio Klokot. Da je Klokot bio obilan izvora nam dokazuju velike količine sedre koje su istaložene nizvodno. Oko i nizvodno od toga izvora su bili izgrađeni sve građevine rimskih termi. Na izvoru je bio iskopan bunar dubine 2,05 m, a u njemu je nivo vode bio 0,45 m. Prema Baću i Heraku (1962) izdašnost bunara je bila oko 18 l/s. Kasnije je bunar bio zatrpan i u njegovoj blizini se je izradila bušotina B-1 iz koje se je dobivala termalna voda. Poredana u nizu posred tjemena antiklinale postojala su još tri hladnija i manja subtermalna izvora zapadno od Klokota. Temperatura vode u tim izvorima se je kretala između 24 i 25 °C, a korišteni su u terapeutske svrhe za dobivanje peloida (ljevakoviti mulj) (Šimunić, 1988, 2008).

Bušotinom B-1 (dubine 55 m) dokazano je da termalna voda izvire iz brečastih trijaskih dolomita, a na dubini između 20 i 26 metra su se pojavile najveće količine vode (Bać i Herak, 1962). Dijelovi jezgre iz te bušotine i danas se čuvaju u muzeju Varaždinskih toplica. Danas na izvorištu postoje razne istražne i eksploatacijske bušotine, čiji se filteri zahvaljujući kristalizaciji sumpora brzo zatvaraju. Dvije nove bušotine B-5 (eksploatacijska) i B-6 (upojna) su napravljene 2000. godine. U upojnoj bušotini u podzemlju nekontrolirano se gubi desetak l/s vode jer se termalna voda probija uz vanjsku stijenkbušotine te se zbog toga ne može odrediti prava izdašnost izvora. Ona bi se mogla odrediti kada bi se izradio dubok bunar velikog promjera (oko 1,5 m). Takav bunar bi mogao usmjeriti dotok vode na jedno mjesto iz kojeg bi se dalje prema potrebi razvodila prema korisnicima (Šimunić, 1988, 2008).

Tablica 1 pokazuje kolika je temperatura termalne vode Varaždinskih Toplica u posljednjih 150 godina. Iz tablice se vidi da je u posljednjih 150 godina ujednačena. Mala odstupanja u

rezultatima mogu se objasniti različito baždarenim termometrima ili nekim drugim pogreškama (npr. pogreška mjerača).

Tablica 1 Temperatura termalne vode Varaždinskih Toplica u posljednjih 150 godina (Šimunić, 1988, 2008)

Autor	Godina	Temperatura (°C)
Vukotinović	1852	56,5-57,5
Voyt	1890	56,25
Ludvig	1896	57,6-58
Iveković i Dančević	1936	55,8
Miholić	1959	56,7
Bać i Herak	1962	56

2.3.1. Kemijske analize termalne vode

U tablici 2 prikazana je analiza termalne vode prema Jurišić-Mitroviću koja je obavljena 14. 05. 1996.godine.

Tablica 2 Sastav termalne vode (Šimunić, 1988, 2008)

Pokazatelj	Rezultat
temperatura (°C)	51,20
pH	6,59
Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1176
UT (°nj)	24,07
Ca^{2+} (mg/l)	127,31
Mg^{2+} (mg/l)	27,330
Na^{2+} (mg/l)	76,83
K^{+} (mg/l)	40,92
HCO_3^{-} (mg/l)	445,30
Cl^{-} (mg/l)	86,62
SO_4^{2-} (mg/l)	155,75

Termalna voda po svom kemijskom sastavu spada u najjače mineraliziranu termalnu vodu Hrvatskog zagorja i nalazi se na granici između termalnih i termomineralnih voda. Miholić (1952) je objasnio povećanu koncentraciju sumpora i ostalih minerala u termalnoj vodi Varaždinskih toplica. On je pretpostavio da sumporovodik koji obiluje u toj vodi dolazi iz vulkanskih ekshalacija iako nije znao da se u blizini vrela nalaze vulkanske stijene. Bušotinom VTT-1 pokazalo se da andeziti ne sudjeluju u vodoopskrbi termalnih vrela iako su u njihovoj blizini (Šimunić, 1988, 2008). Uz granicu egerskih klastita i trijaskih dolomita na sjevernim padinama Kalnika nalaze se slojevi ugljena bogati sumporom te se time također može objasniti pojava sumpora u termalnim vodama. Velik utjecaj na mineralizaciju vode može imati i miješanje „fosilnih naftnih voda“. Pretpostavlja se da naftna voda može dospjeti iz Dravske potoline bočnom migracijom fluida do Varaždinskih Toplica (Šimunić, 1988, 2008).

2.3.2. Podrijetlo i zagrijavanje termalne vode

U prošlosti su postojale su razne teorije podrijetla i zagrijavanja termalne vode. Danas se zna da je termalna voda Varaždinskih Toplica vadoznog podrijetla i da se nakuplja uglavnom u trijaskim dolomitima uklještenim između donjotrijaskih ili paleozojskih klastita u podini i neogenskih naslaga u krovini. Samo na dva područja trijaski karbonati otvoreni su dovoljno velikim površinama koje mogu uskladištiti dovoljne količine oborinske vode koja s oko 45 l/s opskrbljuje termalna vrela. Obuhvaća područja istočne padine Ivanščice i sjeverne padine Kalničkog gorja. Pošto se vapnenci i dolomiti u Ivanščici i Kalniku nalaze 300 do 500 m veće nadmorske visine od vrela u Varaždinskim Toplicama omogućeno je stvaranje hidrostatskog tlaka koji po principu spojenih posuda pokreće vodu (Šimunić, 1988, 2008).

Uska sinklinala duboka između 1800 i 2000 m nalazi se između sjevernog dijela Kalničkog gorja i Varaždinsko-Topličkog gorja. Na njezinom dnu nalaze se okršeni i zdrobljeni trijaski dolomiti i vapnenci, te na toj dubini geotermalni stupanj iznosi između 24,7 i 27,4 m. Zahvaljujuću takvome geotermalnom stupnju voda se može zagrijati do 80 °C. Kako se termalna voda kreće prema izlaznom kraku sinklinale, ona svojim putem zagrijava stijene i/ili se pomiješa sa hladnijom vodom te zbog toga na joj na vrelu temperatura iznosi oko 58 °C (Šimunić, 1988, 2008).

Pretpostavlja se da je termalna voda Varaždinskih Toplica starija od 40 000 godina jer nije pronađen izotop ¹⁴C. Starost jednog dijela termalne vode se procjenjuje na oko 14,5 milijuna

godina. Razlog toj procjeni je to što je u staroj sedri pronađeno puno više soli nego što se nalazi u današnjoj termalnoj vodi i to je dokaz da je starija voda bila bogatija solima. To znači da je prvobitno „fossilna voda“ prevladavala u vrelima, a ona je u podzemlje došla tijekom marinske transgresije u gornjem badenu ili je ostala u sedimentima Panonskog mora (Šimunić, 1988, 2008). Na padinama Ivanščice i Kalnika erozijom su otvoreni dolomiti početkom pleistocena. Zahvaljujući tome stvoreni su uvjeti za skladištenje oborinske vode te je ona mogla ući u cirkulaciju po „ukliještenom vodonosniku“ nakon što je iz njega izašla starija fossilna voda. Iz tog razloga je iz vrela Varaždinskih Toplica prvo izlazila jako slana voda („petrolejska voda“), a sada miješana. Zato jer taj proces nije u potpunosti završen termalna voda izvora Klokot ima dvostruko veću mineralizaciju od svih toplica u Hrvatskom zagorju (Šimunić, 1988, 2008).

3. TEHNOLOGIJA

3.1. Geotermalni resursi

Kako bi se lakše razumjela geotermalna energija potrebno je razumjeti izvor te energije - zemljinu unutrašnju toplinu. Zemljina toplina povećava se s dubinom gdje temperatura u jezgri prelazi preko 4 200 °C (Csányi i sur., 2010). Temperatura na površini Zemlje najviše ovisi o Sunčevom zračenju. Do dubine od oko 30 m opaža se utjecaj Sunčevog zračenja. Neovisno o klimatskim uvjetima na toj dubini vlada konstanta temperatura, a dalje se povećava po jedinici dubine i to se naziva geotermalni gradijent. Za Europu srednja vrijednost geotermalnog gradijenta iznosi 0,03 °C/m, a za Republiku Hrvatsku razlikujemo dva područja. U području Dinarida i Jadrana geotermalni gradijent iznosi između 0,015 i 0,025 °C/m, a u Panonskom dijelu on je iznad 0,04 °C/m. Temeljem geotermalnog gradijenta se vrše prve procjene nekog istraživanog polja. Termička svojstva ne ovise direktno o temperaturi, nego samom promjenom temperature dolazi do fizikalno-kemijskih promjena koje pak uzrokuju promjene termičkih svojstava. Termička svojstva fluida i stijena su povezana odnosom:

$$\lambda = a * c * \rho \quad (1)$$

gdje je:

λ – toplinska vodljivost, [W/m K]

c – specifična toplina, [J/kg K]

a – temperaturna vodljivost ili difuznost, [m²/s]

ρ – gustoća, [kg/m³]

U hidrogeotermalnim ležištima prijenos topline se uglavnom ostvaruje kondukcijom kroz stijene i konvekcijom fluida u ležištu. Konduktivni prijenos se događa kada u kontakt dolaze zagrijane i manje zagrijani dijelovi stijena, a do konvekcije dolazi između zagrijanog i slabije zagrijanog fluida (Kurevija i Golub, 2008).

Vulkani, termalni izvori i gejziri primjeri su koncentrirane geotermalne energije koja je našla svoj put do površine. Lokaciju koncentrirane geotermalne energije nije lako uočiti budući da se većina izvora nalazi duboko ispod površine Zemlje. Stoga, kako bi se pronašlo geotermalno ležište, izvor vode i pare, izrađuju se bušotine unutar kojih se na temelju temperature otkriva radi li se o vrijednom nalazištu (Bowyer i sur., 2011).

Geološke, hidrogeološke, geofizičke i geokemijske tehnike koriste se za identificiranje i kvantificiranje geotermalnih ležišta. Geološke i hidrogeološke studije uključuju mapiranje termalnih izvora ili bilo kojih drugih termalnih oblika i identifikaciju povoljnih geoloških struktura. Te studije se koriste da bi se odredilo gdje se mogu s najvećom vjerojatnosti geotermalnog ležišta bušiti eksploatacijski zdenci. Geofizička ispitivanja koriste se da bi se odredila veličina, oblik, dubina i druge važne karakteristike dubokih geoloških struktura koristeći sljedeće parametre: temperatura (termičko snimanje), električna provodljivost (električne i elektromagnetske metode), brzina širenja elastičnih valova (seizmičko snimanje), gustoća (gravitacijsko snimanje) i magnetska osjetljivost (magnetsko snimanje). Geokemijska ispitivanja korisna su u određivanju da li je geotermalno ležište ispunjeno vodom ili parom, za procjene minimalne temperature koja se očekuje na određenoj dubini, procjene homogenosti opskrbe vodom i izvora prihranjivanja. Geotermalno istraživanje ima nekoliko glavnih ciljeva: identifikacija geotermalnih pojava; utvrđivanje postojanja korisnog geotermalnog ležišta; utvrđivanje veličine resursa; klasifikaciju geotermalnog polja; lokaciju proizvodnih zona; određivanje količine topline fluida koji će se eksploatirati; sakupljanje podataka na temelju kojih se mogu vidjeti rezultati budućeg monitoringa; procjena vrijednosti prije eksploatacije ekološki osjetljivih parametara; utvrđivanje svih mogućih problema koji bi se mogli dogoditi tijekom razvoja polja (Csányi i sur., 2010).

U geotermalne resurse se ubrajaju sve one geotermalne vode koje prolaze kroz podzemna ležišta te se napajaju umjetnim utiskivanjem ili prirodno te one vode u podzemnim ležištima koja se ne napajaju. Postoje razne klasifikacije geotermalnih resursa (Kurevija i Golub, 2008):

1. prema stupnju istraženosti i „dokazanosti“ ležišta
2. prema vrsti geotermalnih ležišta
3. prema temperaturi ležišnog fluida.

Klasifikacija geotermalnih resursa prema istraženosti ležišta određuje se prema stupnju poznavanja kemijskog sastava, istraženosti ležišta i fizikalnim svojstvima te prema

poznavanju parametara za određivanje rezervi i spremnosti za eksploataciju, mineralne i geotermalne vode klasificiraju se u: potencijalne rezerve geotermalne i mineralne vode i u utvrđene rezerve geotermalne i mineralne vode. Dalje se utvrđene rezerve geotermalne vode dijele na klase (bilančne i izvanbilančne rezerve). U bilančne rezerve spadaju one rezerve koje se mogu rentabilno koristiti poznatom tehnikom i tehnologijom eksploatacije prema svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima te uvjetima ležišta. U izvanbilančne rezerve spadaju one koje se ne mogu eksploatirati poznatom tehnologijom i tehnikom i one koje se ne mogu rentabilno eksploatirati poznatom tehnologijom i tehnikom (Kurevija i Golub, 2008).

Najvažnije kategorizacije geotermalnih ležišta su: obzirom na način ulaska i izlaska vode iz ležišta te s obzirom na termodinamičke i hidrološke osobine. S obzirom na način ulaska i izlaska vode iz ležišta geotermalna ležišta se dijele u tri kategorije: a) ulaz i izlaz su prirodni otvori; b) ulaz je prirodni otvor, a izlaz bušotina; c) ulaz i izlaz su bušotine. Podjela s obzirom na termodinamičke i hidrološke osobine se dijelu u četiri kategorije:

- a) Hidrogeotermalna ležišta niske entalpije koje karakteriziraju ležišta vruće tekuće vode s stalnom fazom niske entalpije te se nalaze na relativno malim dubinama s normalnim temperaturnim gradijentom. Tlak je otprilike jednak hidrostatskom tlaku što vjerojatno ukazuje na površinsko napajanje (Kurevija i Golub, 2008).
- b) Hidrogeotermalna ležišta visoke entalpije koju karakteriziraju ležišta vodene pare s visokom entalpijom. Najčešće se pojavljuju u područjima s jakim vulkanizmom, temperaturni gradijent im je visok, temperature su uglavnom veće od 250 °C na dubinama manjim od 2 000 m. Takva ležišta su rijetka, ali se ekonomični i najjednostavnije koriste (Kurevija i Golub, 2008).
- c) Geotlačna geotermalna ležišta nalaze se pod pritiskom na velikim dubinama. Formiraju se u dubokim sedimentnim bazenima dijagenozom istaloženih slojeva pješčenjaka i glina. Temperatura im je između 140 i 180 °C, pod tlakovima koji su veći od hidrostatskog i uglavnom sadrže znatne količine otopljenog metana i ugljikovog dioksida. Zahvaljujući visokom tlaku iz ovih ležišta moguće je iskorištavati toplinsku, mehaničku i kemijsku energiju (Kurevija i Golub, 2008).
- d) Vruće i suhe stijene na velikim dubinama, većim od 4 km nalaze se velike stijenske mase s akumuliranom toplinskom energijom. Da bi se iskoristio ovaj resurs potrebnom je izbušiti duboko stijene radi dovoljno velike površine preko koje bi se odvijao prijelaz topline s stijena na vodu koja bi se utiskivala u bušotinu. Ta zagrijana

voda bi se eksploatirala kroz drugu bušotinu i onda se energetska iskoristila (Kurevija i Golub, 2008).

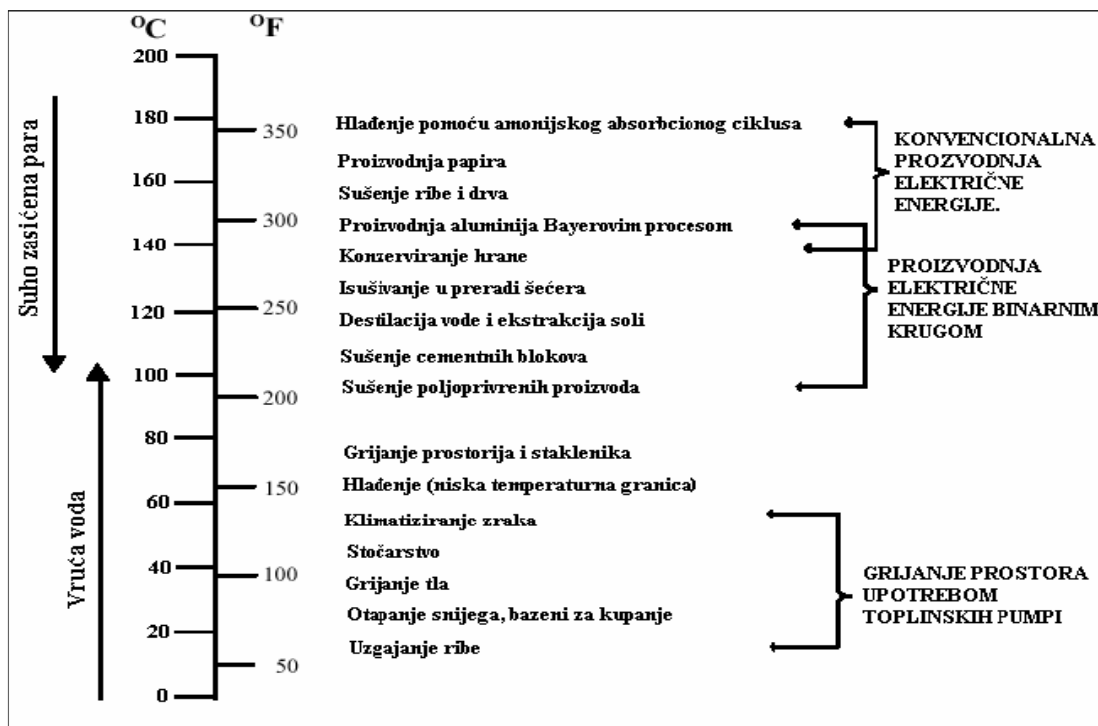
Kategorizacija prema temperaturi fluida je najčešće korištena podjela u kojoj se geotermalne vode dijele na niske, srednje i visoko temperaturne fluide (Kurevija i Golub, 2008). U tablici 3 prikazana je podjela geotermalnih resursa prema temperaturi.

Tablica 3 Klasifikacija geotermalnih resursa prema temperaturi: (a) Muffler and Cataldi, 1978; (b) Hochstein, 1990; (c) Benderitter and Cormy, 1990; (d) Haenel, Rybach and Stegena, 1988. (Lee, 1996)

	(a)	(b)	(c)	(d)
Niske temp.	< 90 °C	< 125 °C	< 100 °C	≤ 150 °C
Srednje temp.	90-150 °C	125-225 °C	100-200 °C	---
Visoke temp.	> 150 °C	> 225 °C	> 200 °C	> 150 °C

Prema temperaturi geotermalna voda se dijeli još i na: subtermalne (13-20 °C); hipotermalne (20-30 °C); homeotermalne (30-38 °C) i hipertermalne (>38 °C) (Kovačić i Perica, 1998).

Fluidi visoke temperature uglavnom se koriste za proizvodnju električne energije, dok se oni srednje i niske temperature koriste u izravnoj upotrebi. Najbitniji oblici geotermalne energije u izravnoj upotrebi su: primjena toplinskih pumpi; grijanje i hlađenje prostora; grijanje bazena i balneološke svrhe; upotreba u proizvodnji voća i povrća u staklenicima; akvakultura (grijanje za uzgoj ribe); procesi sušenja i industrijska upotreba (Kurevija i Golub, 2008). Najbolji prikaz upotrebe geotermalne energije po temperaturi fluida dao je islandski inženjer B. Lindal u svojem dijagramu, slika 4.

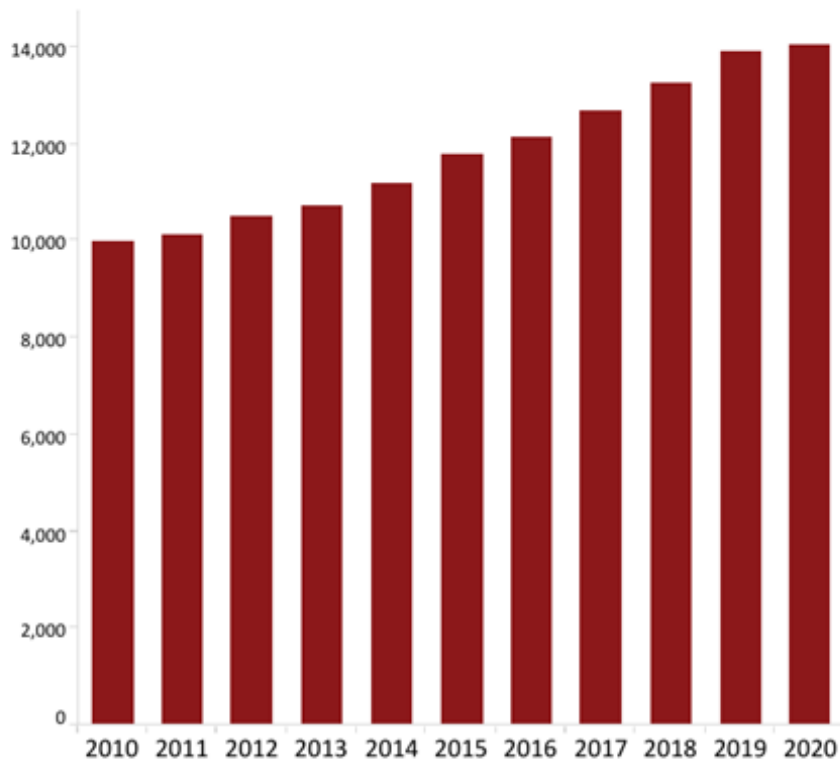


Slika 4 Lindalov dijagram korištenja geotermalne energije (Kurevija i Golub, 2008)

3.1.1. Korištenje geotermalne energije

Geotermalni sustavi mogu imati raznu upotrebu i predstavljaju velik gospodarski potencijal za državu koja je bogata tim resursima. Već su Rimljani prepoznali njezin potencijal u balneologiji, a danas je prepoznata i njihova energetska vrijednost. Ova energija pripada obnovljivim izvorima energije. Na sljedećim slikama možemo vidjeti njezinu upotrebu u svijetu, a i u Hrvatskoj. Iz slike 5 vidi se da u svijetu u razdoblju od 10 godina instalirani kapacitet geotermalne energije povećao za oko 40 % i nastavlja rasti. Malo više 14 000 MW instaliranog kapaciteta je zabilježeno 2020. godine, Republika Hrvatska ima samo mali dio tog kapaciteta i to 10 MW prema Međunarodnoj agenciji za obnovljive izvore energije.

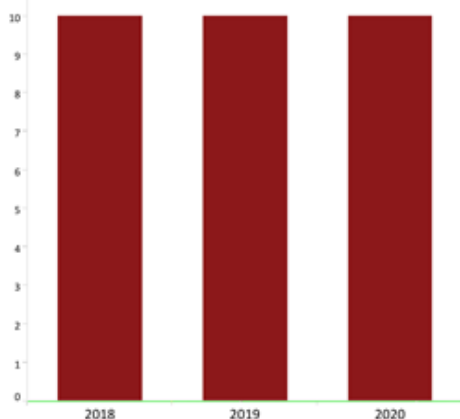
Instalirani kapacitet geotermalne energije u svijetu



©IRENA..

Slika 5 Instalirani kapacitet geotermalne energije u svijetu (na y osi se nalazi instalirani kapacitet u MW za godinu prikazanu na x osi) (Irena, 2020)

Instalirani kapacitet geotermalne energije u RH

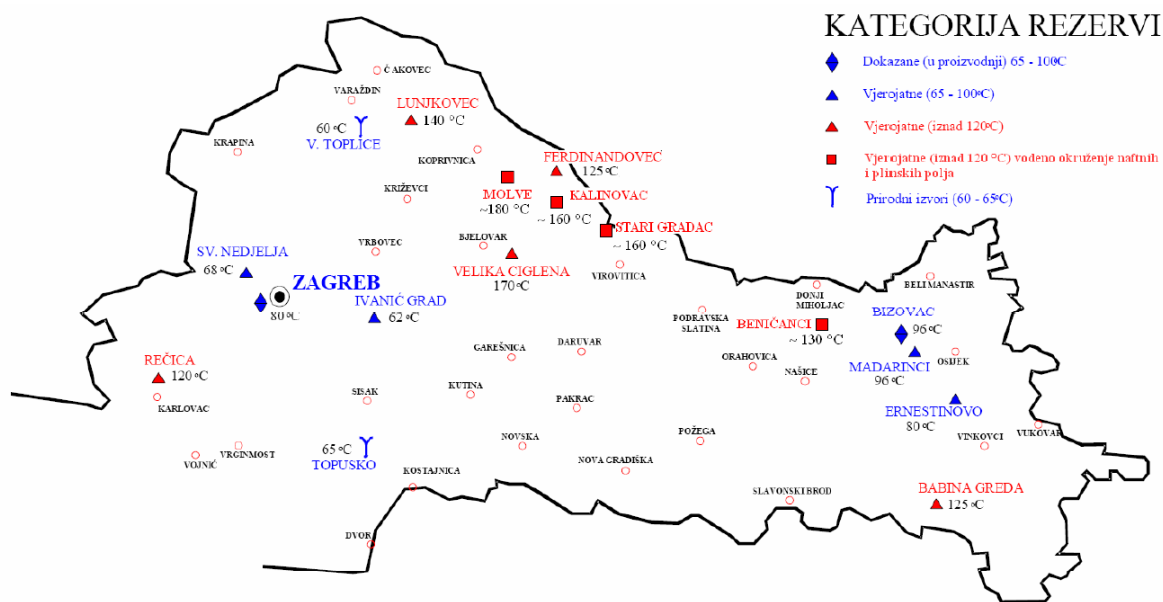


©IRENA..

Slika 6 Instalirani kapacitet geotermalne energije u Republici Hrvatskoj (na y osi se nalazi instalirani kapacitet u MW za godinu prikazanu na x osi) (Irena, 2020)

Danas se geotermalni resursi koriste u rehabilitacijske i medicinske svrhe, kao podizači topline za grijanje različitih objekata te na mjestima gdje su optimalni uvjeti za

elektroenergetske svrhe kao geotermalne elektrane. Hrvatska je zemlja bogata geotermalnim resursima, osobito Panonski dio u kojem se nalaze i brojne toplice (slika 7). Postoji i velik dio poznatih geotermalnih ležišta u RH koja nisu iskorištena uglavnom zbog financijskih razloga.



Slika 7 Geotermalne rezerve Panonskog dijela RH (Kurevija i Golub, 2008)

Slika 7 pokazuje koliko je zapravo RH bogata geotermalnim resursima koji se mogu koristiti i u balneološke i energetske svrhe. Nedostaci upotrebe geotermalnih resursa su uglavnom financijski. Bušenje geotermalnih rezervi je izrazito skupo, čak može iznositi više od 50 % troškovnika cijelog geotermalnog projekta. Zbog kemijskih i fizikalnih svojstva fluida potrebna je posebna oprema koja može podnijeti takve uvjete, a ona nije pristupačna.

Varaždinske Toplice još uvijek ne iskorištavaju svoj puni potencijal u pogledu geotermalnih resursa. Geotermalna voda se uglavnom koristi u balneološke svrhe, a jedan mali dio otpada na grijanje prostora bolnice. U budućnosti se predviđa efikasnije korištenje geotermalnog resursa u Varaždinskim Toplicama.

3.2. Ekološke značajke i doprinos zaštiti okoliša

Kod geotermalne energije kao i kod ostalih obnovljivih izvora energije utjecaj na okoliš je uglavnom lokalnog značenja jer je njihovo korištenje uglavnom ograničeno na područje na kojem se nalazi akumulacija energenta. Korištenje geotermalne energije svoj utjecaj iskazuje već u samoj fazi istraživanja ležišta, koje traje relativno kratko, a u fazi korištenja i dobivanja energenta se iskazuje kroz čitav vijek korištenja tog ležišta. Utjecaj na okoliš geotermalne energije prati upotreba velikih zemljanih površina, emisija plinova i otpadnih voda, pojava slijeganja terena, emisija topline i buke te utjecaj izgradnje na lokalno stanovništvo (Čubrić S. i sur., 1998).

Eksploatacija fluida i čvrstih mineralnih sirovina iz podzemlja može u pojedinim geološkim strukturama uzrokovati slijeganje terena i samim time štete na površinskim objektima. Intenzitet i veličina slijeganja ovisi o hidrogeološkim i geološko-strukturnim značajkama, zatim tektonici, obliku i veličini ležišta, dubini ispod površine i o metodi kojom se mineralna sirovina eksploatira. Slijeganje je također pod utjecajem raznih termodinamičkih uvjeta koji prevladavaju u pojedinim tipovima ležišta. Slijeganje terena može se izbjeći ili ublažiti utiskivanjem otpadnih voda u podzemlje te optimizacijom količine i intenziteta crpljenja vode iz ležišta (Čubrić S. i sur., 1998).

Neizbježno je spomenuti i emisiju plinova. Geotermalna ležišta sadrže otopljene plinove čiji količina i koncentracija ovise o geokemijskim karakteristikama tog ležišta. U ležištima Hrvatske najzastupljeniji otopljeni plin je ugljikov dioksid, nakon njega slijede dušik, metan, etan i sumporovodik, a prisutan je i radon (Čubrić S. i sur., 1998).

Nadalje, nužno se osvrnuti i na emisiju otpadnih voda. Udio otpadnih voda nastalih tijekom bušenja, proizvodnog testiranja i opremanja bušotina te otpadnih voda iz raznih pomoćnih tehnoloških operacije je daleko manji nego udio otpadnih geotermalnih voda koje su preostale nakon što su iskorištene u postrojenju. Geotermalne vode imaju različit kemijski sastav zavisno o ležištu, ponegdje čak i za pojedine bušotine. Utjecaj geotermalnih otpadnih voda na okoliš ovisi o njihovom kemijskom sastavu, temperaturi, pH vrijednosti, sadržaju čvrstih čestica i otopljenih tvari te o tehnološkim postupcima koji se primjenjuju tijekom eksploatacije geotermalnog ležišta i u pojedinim fazama istraživanja (Čubrić S. i sur., 1998).

Kako bi se postiglo očuvanje pojedinih značajki ekosustava i optimalno korištenje prostora, potrebno je pažljivo planiranje radova u svim fazama gradnje objekata koji su potrebni za korištenje geotermalnog ležišta. Ako je moguće, potrebno je izbjeći krčenje šuma, korištenje

poljoprivrednog zemljišta, odlaganje otpada u vodotoke i prirodne udubine (Čubrić S. i sur., 1998).

Kako bi zaštita okoliša bila učinkovita, pored zaštitnih mjera potrebno je uključiti i preventivne mjere, odnosno jest primjenu zakona i praćenje kakvoće okoliša. Monitoring okoliša je sustavno praćenje koncentracija imisija i opažanje promjena koje su nastale uslijed tih imisija. Prije nego što se uspostavi monitoring potrebno je odrediti „nulto stanje“, odnosno stanje okoliša prije početka radova. Sve mjere zaštite, zatim praćenje i utvrđivanje kakvoće okoliša, njihovo provođenje i organiziranje te sve druge aktivnosti koje se poduzimaju tijekom dobivanja, istraživanja i korištenja geotermalne energije, definirane su zakonima i drugim propisima (Čubrić S. i sur., 1998).

3.3. Zakonodavstvo

Razvoj istraživanja i korištenja geotermalne energije pratio je razvojni put naftne industrije te je kod nas kao i u svijet koristio identične ili iste zakonske propise. Pod Zakon o rudarstvu svrstavaju se geotermalne vode koja se koriste u energetske svrhe, a one koje se koriste za potrebe balneologije spadaju pod Zakon o vodama (Čubrić S. i sur., 1998).

Zakonska regulativa geotermalnih ležišta definirana s nekoliko akta. Prvi u nizu je zakon o rudarstvu. U zakonu su propisani i određeni uvjeti i načini proizvodnje i istraživanja geotermalne energije i obuhvaćaju sljedeća područja:

1. Rudno blago (mineralne sirovine) koje podrazumijeva sve geotermalne i mineralne vode od kojih se mogu dobiti mineralne sirovine ili se može koristiti akumulirana toplina u energetske svrhe, osim onih termalnih i mineralnih voda koje se koriste u balneološke, rekreativne, ljekovite svrhe ili kao voda za piće (Čubrić S. i sur., 1998; Narodne novine, 2013).
2. Istraživanje mineralnih sirovina što podrazumijeva radove i ispitivanja kojima je svrha utvrditi postojanje, oblik i položaj ležišta mineralnih sirovina te njihovu kakvoću i količinu i uvjete eksploatacije (Čubrić S. i sur., 1998; Narodne novine, 2013).
3. Eksploatacija mineralnih sirovina, odnosno vađenje i oplemenjivanje mineralnih sirovina te transport geotermalne i mineralne vode cjevovodima (Čubrić S. i sur., 1998; Narodne novine, 2013).

4. Rudarski objekti i postrojenja koja su direktno ili indirektno vezana uz radove (površinske i podzemne eksploatacije) istraživanja i eksploatacije mineralnih sirovina (Čubrić S. i sur., 1998; Narodne novine, 2013).
5. Odobrenja i naknade za istraživanje i eksploataciju što podrazumijeva uvjete obavljanja djelatnosti eksploatacije i istraživanja mineralnih sirovina (Čubrić S. i sur., 1998; Narodne novine, 2013).

Pravilnik o prikupljanju podataka, načinu evidentiranja i utvrđivanja rezervi mineralnih sirovina, te o izradi bilance tih rezervi obuhvaća: kategorizaciju rezervi geotermalnih i mineralnih voda; klasifikaciju rezervi geotermalnih i mineralnih voda; evidenciju rezervi geotermalnih i mineralnih voda; elaborat o rezervama geotermalne i mineralne vode. Evidentirane i svrstane rezerve geotermalne i mineralne vode prepoznaju se prema stupnju poznavanja ležišnih parametara i stupnju istraženosti. Rezerve koje pripadaju kategorijama A, B, C₁ su utvrđene rezerve i one mogu biti bilančne i izvanbilančne, a rezerve kategorija C₂, D₁ i D₂ su potencijalne rezerve. Elaborat o rezervama geotermalnih i mineralnih voda objedinjuje sve propisane stavke i na temelju njega se može dobiti koncesija za korištenje ležišta (Čubrić S. i sur., 1998; Narodne novine, 2018).

Sva ostala zakonska regulativa i propisi koji se odnose na geotermalna ležišta i njihovo korištenje, zaštitu okoliša, reguliranje režima voda i sl. su: Zakon o građenju; Zakon o vodama; Pravilnik o izdavanju vodoprivrednih uvjeta, vodoprivrednih suglasnosti i vodoprivrednih dozvola; Prometna suglasnost; Elektroenergetska suglasnost; Suglasnost o mjerama zaštite od požara; Suglasnost o mjerama zaštite čovjekove okoline; Zdravstvena (sanitarna) suglasnost; Suglasnost tijela kompetentnog za zaštitu na radu; Suglasnost tijela za promet i veze; Suglasnost ovlaštenih tijela obrane; Suglasnost tijela, odnosno organizacija za zaštitu spomenika kulture; Suglasnost tijela (zavoda) za zaštitu prirode; Dokaz o utvrđenim rezervama mineralnih sirovina; Suglasnost susjeda; Zakon o zaštiti okoliša; Deklaracija o zaštiti okoliša u Republici Hrvatskoj; Uredba o procjeni utjecaja na okoliš; Pravilnik o katastru emisija u okoliš; Zakon o zaštiti prirode; Zakon o zaštiti zraka; Uredba o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka; Uredba o maksimalno dozvoljenim koncentracijama opasnih tvari u vodama i obalnom moru; Uredba o kategorizaciji vodotoka; Zakon o poljoprivrednom zemljištu; Zakon o šumama; Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima; Zakon o otpadu; Pravilnik o vrstama otpada; Zakon o zaštiti od buke; Pravilnik o najviše dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave te Zakon o prostornom uređenju (Čubrić S. i sur., 1998).

3.4. Bušenje

Bušenje je bitan i skup dio istraživanja, razvoja i iskorištenja geotermalnih ležišta. Cilj geotermalnog bušenja nije samo da bi se ležištu pristupilo na najsigurniji način nego i najjeftinije. Zbog toga je smanjenje troškova geotermalnog bušenja glavni problem koji je potrebno razmotriti za gospodarski razvoj geotermalne energije. Troškovi bušenja i završetka bušotine mogu predstavljati više od polovice kapitalnih troškova projekta geotermalne energije (Huenges, 2010). Geotermalno bušenje može biti čak skuplje (po cijeni/dubini) od kopnenog bušenja nafte i plina iz tri glavna razloga: tehnički izazovi- geotermalna ležišta mogu sadržavati korozivne tekućine visoke temperature na velikoj dubini, što znači da je potrebna posebna oprema i tehnika za teške uvjete u bušotini; veliki promjeri- buduću da je eksploatirani fluid od suštinski niske vrijednosti, potreban je velik protok te zbog toga i veliki promjeri bušotina (Huenges, 2010); unikatnosti- geotermalne bušotine čak i na istom polju, razlikuju se više od naftnih i plinskih bušotina na istom polju, pa je krivulja učenja iz iskustva manje korisna (Finger and Blankenship, 2010). Troškovi bušenja se mogu smanjiti na razne načine, kao što su: smanjenje neproduktivnog vremena; korištenje odgovarajućih alata i tehnologije bušenja; razumijevanje geološko-tehničkih rizika prije početka bušenja, itd. Bušenje podrazumijeva interakciju grana geologije i inženjerstva, te zbog toga oba polja trebaju biti integrirana praktično i teoretsko. Operacije bušenja su izravno povezane sa podzemnim geološko-geotermalnim karakteristikama. Jedna od glavnih zadaća bušenja je da se zadrži nisko oštećenje formacije. U ekonomski održivoj geotermalnoj bušotini koja se temelji na proizvodnji ogromnih količina zagrijane vode i/ili pare, oštećenja formacija se moraju razumjeti, kontrolirati i svesti na najmanju moguću mjeru (Huenges, 2010).

Konstrukcija geotermalne bušotine je proces „odozdo prema gore“. Lokacija proizvodne zone određuje dubinu bušotine, a potreban protok određuje promjer dna bušotine. Ako je promjer bušotine velik procesi oblaganja i cementiranja imaju velik udio u troškovniku bušenja (Finger and Blankenship, 2010).

Kod odabira metode bušenja većinu kriterija određuju parametri bušotine (promjer, dubina...). Ako se ustanovi da bušotina malog promjera zadovoljava potrebe, onda se troškovi bušenja uvelike smanjuju iz nekoliko razloga: manja oprema je potrebna, manji je volumen za cementiranje te bušotina se može izraditi bez da se pribor izvlači na površinu (Finger and Blankenship, 2010).

Nakon što se pripremi bušača konstrukcija, može se započeti proces bušenja. Daljnji koraci nakon pripreme bušaće konstrukcije su: priprema isplake; započeti bušiti i dodavati bušaće šipke prema potrebi; izvući bušaču krunu ako se je pregrijala ili došla do određene dubine; prema potrebi provesti geofizička i tehnička mjerenja; staviti oblogu do dubine na kojoj se nalazi promjena promjera; cementiranje prstenastog prostora između obloge i otvorene rupe; stavljanje novog bušaćeg svrdla koji odgovara promjeru bušotine; daljnje bušenje dok se ne dođe do tražene dubine (Huenges, 2010).

Isplaka ima više funkcija tijekom bušenja. Ona mora: hladiti bušaču glavu; transportirati nabušeni materijal prstenastim prostorom do površine; izbjegavanje taloženja strugotina ako se cirkulacija zaustavi; davanje strugotinama slobodan put na površinu; smanjiti trenje između bušaćeg pribora i stjenke bušotine; stabilizacija stjenke bušotine; stvaranje hidrauličkog tlaka kako bi se spriječio ulazak plina ili tekućina u bušotinu; spriječiti ulazak blata i filtrata u formaciju kroz stjenku bušotine; transport informacija o bušenoj formaciji na površinu (fluidi, strugotine) (Huenges, 2010).

Potencijalni problemi koji se mogu javiti tijekom bušenja su: prestanak cirkulacije (gubitak tekućine u porama i pukotinama); zaglavljen bušaći pribor u bušotini; nestabilnost bušotine; otežano cementiranje; stiskanje bušotine (smanjenje promjera); povećanje gustoće isplake; pecanje (vraćanje pribora koji je ostao u bušotini nakon odšarafljivanja ili loma pribora)(Finger and Blankenship, 2010; Huenges, 2010). Slika 8 prikazuje primjer bušaće garniture.



Slika 8 Bušača garnitura (Huenges, 2010)

4. Bušotina VTT-1

Bušotina VTT-1 je izrađena i ispitivana u okviru nacionalnog programa za ispitivanje i eksploataciju geotermalnih voda 1988. godine za poduzeće „GEOTEHNIKA“ i naručioca „INA-NAFTAPLIN“. Bušotina je smještena na južnom ulazu u grad Varaždinske Toplice. Duboka je 605,4 metra. Bušenje bušotine je započeto 13. 7., a ispitivanja su završena 6.10. 1988. godine (Škrlec, 2020). Na slikama 9 i 10 prikazana je lokacija i ušće bušotine VTT-1.



Slika 9 Lokacija bušotine VTT-1 (Državna geodetska uprava, 2021)



Slika 10 Ušće bušotine VTT-1 (Škrlec, 2020)

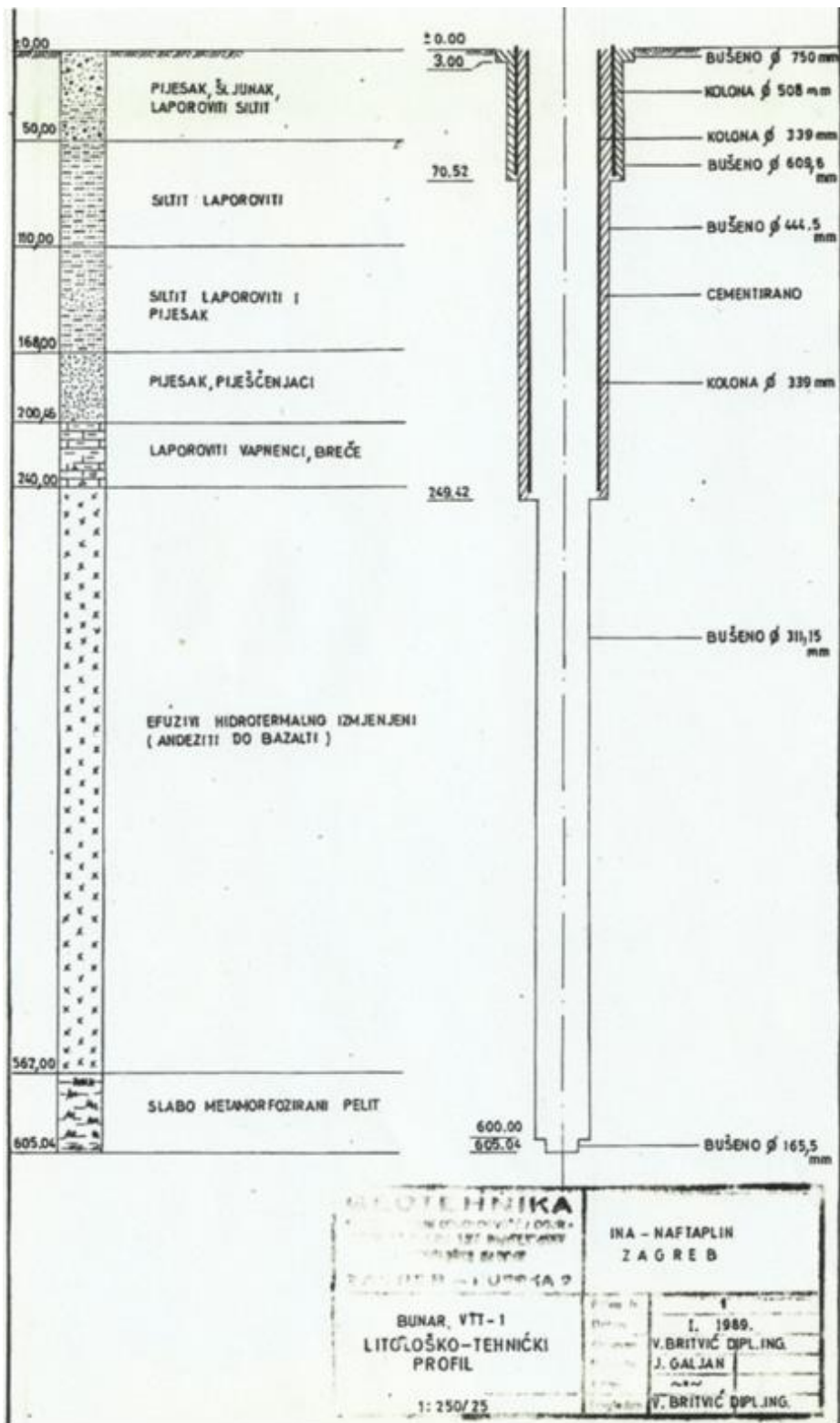
U tablici 4 se nalaze naslage koje su pronađene na određenim dubinama prilikom bušenja bušotine VTT-1.

Tablica 4 Nabušene naslage bušotine VTT-1 (Škrlec, 2020)

DUBINA (m)	NASLAGE
0,0 – 50,0	Pijesak, šljunak i laporoviti siltit
50,0 – 110,0	Laporoviti siltit
110,0 – 168,0	Laporoviti siltit i pijesak
168,0 – 200,46	Pijesak i pješčenjak
200,46 – 240,0	Laporoviti vapnenci i breče
240,0 – 562,0	Efuzivni hidrotermalno izmjenjeni andaziti do bazalta
562,0 – 605,4	Slabo metamorfozirani peliti

Mjerenjem promjera bušotine utvrđeno je da postoje brojna proširenja kanala koja su vezana uz pukotine ili pukotinske zone veće debljine, što predstavlja potencijalne hidrodinamski propusne zone. Najizrazitija proširenja utvrđena su na dubinama od: 290, 329, 350, 445, 527-535, 558, 561-566, 571, 581 i 590 metara. Prema temperaturi najpovoljniji nositelji geotermalnog dotoka vode su oni na dubinama 527 - 535 i 558 m. Ustanovljeni su i izrazito visoki geotermalni gradijenti. Najplići i najviši iznosi 78 °C/km, ustanovljen je na dubini 270 m sa izmjerenom temperaturom od 32 °C. (Škrlec, 2020)

Na slici 11 prikazan je litološko-tehnički profil bušotine kao i podaci iz tablice 4.



Slika 11 Litološko-tehnički profil bušotine VTT-1 (Škrlec, 2020)

Kada su se ugradile zaštitne cijevi profila 339 mm do 249,42 m i cementiranje do površine, ostvareni su uvjeti za osvajanje i ispitivanje bušotine. Većinu litologije tog otvorenog kanala predstavljaju efuzivne magmatske stijene andezitskog sastava. Bušotina se isprva ispirala čistom vodom, a nakon toga se čistila airliftom i klipovanjem. Čišćenje metodom airlifta se

odvija na način da se zrak pomoću fleksibilnog crijeva utiskuje u bušotinu te izbacuje nečistoće na površinu sa intervalima mirovanja i rada air-lifta. Metoda klipovanja radi na principu potapanja cijevi sa klapnom glavom te dizanja i spuštanja dok se ne napuni materijalom, zatim se izvadi i isprazni cijev s klapnom glavom te ako je potrebno ponovi postupak. Rezultati čišćenja prikazani su u tablici 5.

Tablica 5 Osvajanje bušotine VTT-1 (Škrlec, 2020)

Metoda	Q (l/s)	T (°C)	Trajanje
Čistom vodom	1,5	24,5	24 sata
Airliftom	2	28	Desetak dana
Klipovanjem	4,16	28	

Budući da je ispitivanje rađeno isprekidano i prekratko nije bilo moguće odrediti stvarno količinu proizvodnje i temperature na ušću bušotine. (Škrlec, 2020)

Voda iz bušotine VTT-1 dolazi s dubine 290-590 m, a ležište se nalazi u andenzitnim stijenama s pukotinama. Po svojoj osnovnoj balneološkoj karakteristici slična je vodi kiselice Drenovac (od koje je udaljena 5 km) i vodi do Varaždinskih Toplica (od kojih je udaljena 0,5 km), iako ta ležište VTT-1 nema direktnu vezu s ležištima Drenovac i specijalne bolnice Varaždinskih Toplica (Milošević i sur., 2020). U tablici 6 prikazan je kemijski sastav i fizikalna svojstva vode.

Prema svojoj temperaturi voda iz bušotine VTT-1 pripada skupini hipotermi (od 20 °C do 34 °C), a prema svojoj balneološkoj analizi karakterizirana je kao Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipa. Temperatura vode relativno je niska 22,8 - 23,89 °C, a izdašnost joj je oko 1 l/s. Iz tih razloga mogućnosti za njezinu upotrebu su ograničene. Temeljem daljnjih istraživanja i kartonažnih mjerenja došlo se do procjene da bi izdašnost bušotine mogla biti iznad 10 l/s temperature preko 30 °C. Ako bi se to uspjelo ostvariti, voda iz bušotine mogla bi se koristiti za balneologiju, wellness, rekreaciju i zdravstveni turizam (Milošević i sur., 2020).

U tablici 7 prikazana je usporedba podatka kemijskog sastava i fizikalnih svojstava vode na sljedećim lokacijama: bušotina VTT-1, specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Varaždinske Toplice, voda kiselica Drenovec, specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Stubičke Toplice. Iz tablice se vidi da specijalna bolnica Varaždinske Toplice ima skoro duplo veću mineralizaciju od vode iz bušotine VTT-1. To samo potvrđuje tvrdnju da, iako se bušotine nalaze blizu jedna druge (u ovome slučaju oko 500 m), one ne moraju

isti kemijski sastav i fizikalna svojstva. Voda iz bušotine VTT-1 je hipoterma i Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipa, dok je ona iz bolnice Varaždinskih Toplica hipertermalna Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipa. Vode Stubičkih Toplica i Drenovca imaju sličnu mineralizaciju kao i ona iz bušotine VTT-1. Udio natrija u vodi bušotine VTT-1 je veći nego u Drenovcu, specijalnim bolnicama Varaždinskih i Stubičkim Toplicama, dok udio magnezija je podjednak udjelu u Drenovcu i skoro upola manji nego u specijalnim bolnicama Varaždinskih i Stubičkih Toplicama. Najveći udio hidrogenkarbonata je u Drenovcu, iza njega je specijalna bolnica u Varaždinskim Toplicama, zatim je bušotina VTT-1 i najmanji udio hidrogenkarbonata se nalazi u vodi specijalne bolnice Stubičkih Toplica. Kalcija i sulfata ima najviše u vodi specijalne bolnice Varaždinskih Toplica. U ovoj usporedbi koncentracija sulfata u bušotini VTT-1 je nešto niža od one u specijalnoj bolnici Varaždinskih Toplica, a koncentracija kalcija je manja u odnosu na ostale. Najvišu temperaturu vode ima termalna voda specijalne bolnice Stubičkih Toplica, nakon nje slijedi specijalna bolnica Varaždinskih Toplica, te na trećem mjestu se nalazi voda iz bušotine VTT-1.

Tablica 6 Kemijski sastav i fizikalna svojstva bušotine VTT-1 u Varaždinskim Toplicama (Milošević i sur., 2020)

1 l vode sadrži:	mg	mmol	mval	mval%
Kationa:				
Natrija (Na ⁺)	118,09	5,133	5,133	63,06
Kalija (K ⁺)	8,00	0,205	0,205	2,51
Amonija (NH ₄ ⁺)	0,555	0,031	0,031	0,38
Magnezija (Mg ²⁺)	12,23	0,494	1,987	12,13
Kalcija (Ca ²⁺)	35,67	0,873	1,747	21,46
Mangana (Mn ²⁺)	0,034	0,001	0,001	0,02
Stroncija (Sr ²⁺)	0,565	0,006	0,013	0,16
Željeza (Fe ²⁺)	0,66	0,012	0,024	0,29
Aniona:				
Fluorida (F ⁻)	1,0	0,053	0,053	0,65
Klorida (Cl ⁻)	5,0	0,141	0,141	1,74
Bromida (Br ⁻)	0,02	0,000	0,000	0,00
Jodida (I ⁻)	0,02	0,000	0,000	0,00
Nitrita (NO ₂ ⁻)	0,0039	0,000	0,000	0,00
Nitrata (NO ₃ ⁻)	0,0442	0,001	0,001	0,01
Hidrogenkarbonata (HCO ₃ ⁻)	319,0	5,228	5,228	64,58
Sulfata (SO ₄ ²⁻)	128,4	1,337	2,673	33,02
Hidrogenfosfata (HPO ₄ ²⁻)	0,01	0,000	0,000	0,00
Nedisocirano:				
Silicijeve kiseline (H ₂ SiO ₃)	24,83	0,118		
Mineralizacija:	653,142	13,836	16,236	
Sumporovodika/sulfida (H₂S/S²⁻)				
Ugljičnog dioksida (CO ₂)	275,0 mg/lit			
Radona (Rn) Bq/lit	25,597			
Električna vodljivost	1258,0 μS/cm			
pH (kod 20 °C)	6,71			
Temperatura (°C)				
Isparni ostatak (105 °C)	548,0 mg/lit			
Isparni ostatak (180 °C)	540,0 mg/lit			
Isparni ostatak (računski)	491,0 mg/lit			
Sulfatna kontrola (analizom)				
Sulfatna kontrola (računski)	662,00 mg/lit			
Utrošak KMnO ₄	587,49 mg/lit			
	1,07 mg/lit			

Tablica 7 Usporedba vode iz bušotine VTT-a s vodama Vraždinskih toplica, kiselice Drenovec i Stubičkih toplica (podaci preuzeti sa: Milošević i sur., 2020; <https://sbst.hr/o-nama/voda/>; <http://www.minerva.hr/o-nama/kemijski-sastav-i-fizikalna-svojstva-vode/>)

	Bušotina VTT-1	Varaždinske Toplice	Drenovec	Stubičke toplice
Litij (Li ⁺)		0,068		0,09
Natrij (Na ⁺)	118,000	95,576	76,500	29,03
Kalij (K ⁺)	8,000	23,197		7,03
Amonij (NH ₄ ⁺)	0,555			
Magnezij (Mg ²⁺)	12,000	29,231	12,700	25,736
Kalcij (Ca ²⁺)	35,000	125,142	80,000	78,32
Stroncij (Sr ²⁺)	0,565	0,455		0,14
Mangan (Mn ²⁺)	0,034	0,088		0,02
Barij (Br ²⁺)	0,002			0,01
Cink (Zn ²⁺)	0,203			
Olovo (Pb ²⁺)	0,001			
Željezo (Fe ²⁺)	0,660	0,14	1,800	0,15
Aluminij (Al ³⁺)		0,106		0,6
Fluoridi (F ⁻)	1,000	0,0977		0,47
Kloridi (Cl ⁻)	5,000	79,01	3,900	10,49
Bromidi (Br ⁻)	0,020	0,024		0,016
Jodidi (I ⁻)	0,020	0,026		0,005
Nitriti (NO ₂ ⁻)	0,0039			
Nitrati (NO ₃ ⁻)	0,0442			
Cijanidi (CN ⁻)				
Hidrogenkarbonati (HCO ₃ ⁻)	319,000	463,47	478,200	296,8
Sulfati (SO ₄ ²⁻)	128,400	181,502	23,000	94,039
Hidrogenfosfati (HPO ₄ ²⁻)	0,010	2,029		1,8
Silicijeve kiseline H ₂ SiO ₃	24,830	72,011	31,864	50,043
Mineraizacija	653,14	1073,05	707,946	594,789
Na mval%	63,06	30,93	39,48	16,71
Ca mval%	21,46	46,46	47,36	51,71
HCO ₃ mval%	86,95	55,45	93,01	67,55
SO ₄ mval%	33,02	27,59	5,68	27,72
mval kationa	8,140	14,44	8,429	7,558
mval aniona	8,096	13,697	8,426	7,173
Ukupno mili vala	16,236	27,137	14,855	14,731
Ukupno mili mola	13,832	21,807	14,473	11,301
Sulfida ukupno S ²⁻	0,014		0,28	
Ugljični dioksid CO ₂	257,000		2801,0	101,49
Temperatura vode (°C)	22,80	57,2	Hl.	65
pH	6,71	6,75		6,9
Električna vodljivost (μS/cm)	1258,000			
Radon (Rn) Bq/l	25,597	24,24		45,85
Isparni ostatak (105°C)	548,0	800	430,5	440
Isparni ostatak (180°C)	540,0	780		420

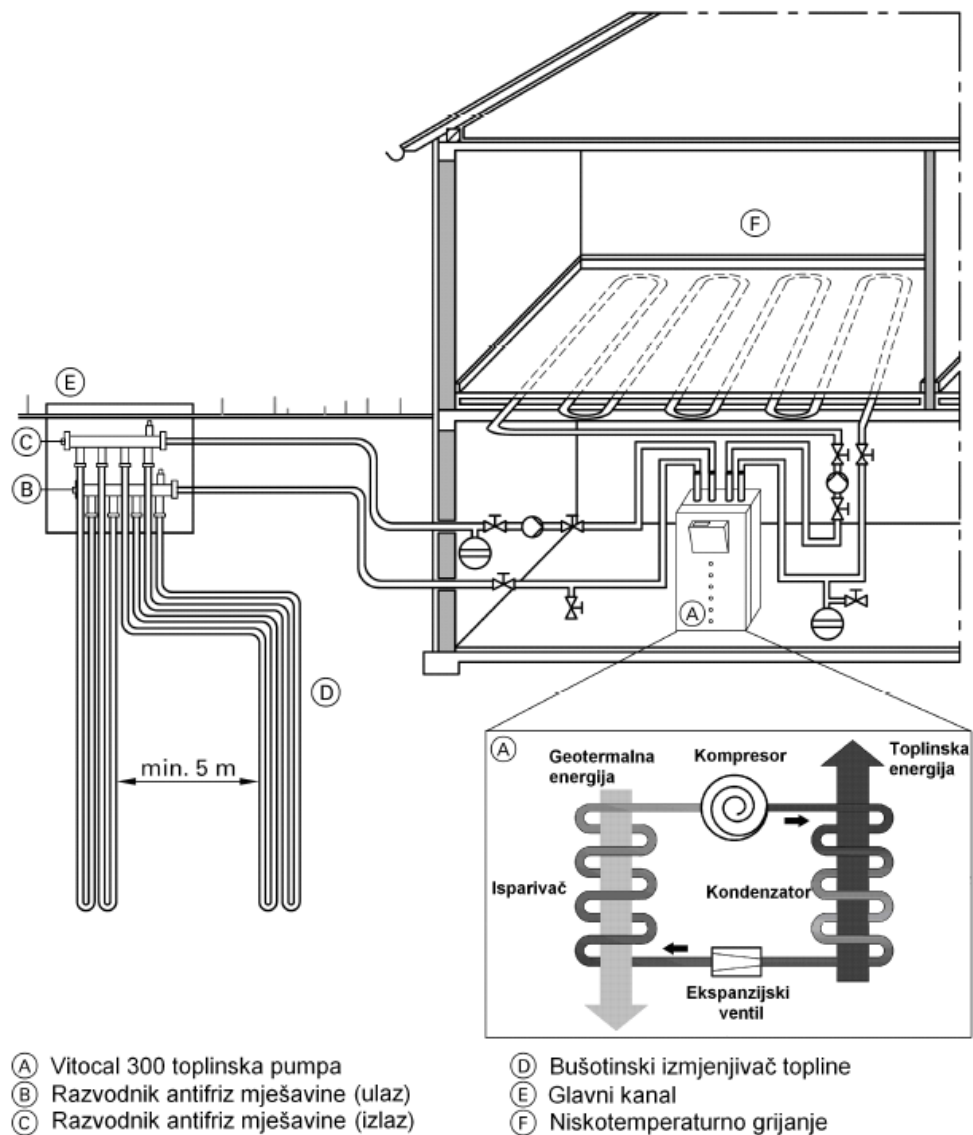
Isparni ostatak (računski)	491,0	837,5	464,9	443,9
Sulfatna kontrola analizom	662,0	946		560,0
Sulfatna kontrola računski	587,5	990,8	605,9	551,3

5. RASPRAVA

Na temelju Lindalovog dijagrama prikazanog na slici 4 može se vidjeti da je geotermalnu vodu (ovisno o temperaturi) moguće koristiti u različite svrhe. Temperatura vode iz bušotine VTT-1 iznosi oko 23 °C, a procjenjuje se da bi temperatura vode čak mogla biti iznad 30 °C. Prema temperaturi bušotine VTT-1 može se koristiti u različite svrhe, a neke od njih su: balneologija; grijanje tla i grijanje prostora upotrebom toplinskih pumpi. U svrhu balneologije voda bi se trebala dogrijavati ili miješati s termalnom vodom iz Varaždinskih Toplica čija temperatura iznosi 56 °C. Nadalje, kod korištenja vode iz bušotine VTT-1 u balneološke svrhe problem predstavlja i slaba izdašnost bušotine. Zbog navedenog, prije upotrebe bušotine potrebno je ugraditi dubinsku pumpu da bi se povećala izdašnost te provesti detaljnija istraživanja da bi se utvrdile stvarne proizvodne karakteristike bušotine.

Sljedeća svrha u koju bi se mogla koristiti bušotina VTT-1 je sustav za grijanje tla. Zbog klime područja termalna voda bušotine VTT-1 ne bi bila dostatna za grijanje staklenika već bi bila potrebna kombinacija s nekom drugom metodom grijanja staklenika. U područjima s blažom klimom ovakav sustav bio bi dostatan, no na području Varaždinskih Toplica zime znaju biti oštre te bi zbog toga bila potrebna kombinacija s drugim sustavom.

Nadalje, budući da se bušotina nalazi u blizini škole, termalna voda bušotine mogla bi se koristiti i za grijanje prostora pomoću toplinske pumpe. Geotermalne toplinske pumpe koriste se kod fluida koji imaju temperaturu od 5 do 35 °C, kada izravni sustavi hlađenja ili grijanja geotermalnom energijom nisu isplativi. Glavne komponente toplinske pumpe su: kompresor s elektromotorom; prigušni i povratni ventil te dva izmjenjivača topline (kondenzator i isparivač). Pregrijač (dodatni izmjenjivač topline) može se dodati zbog grijanja potrošne tople vode. Rashladna sredstva koje se koriste su R-407C ili R-410A te kod njih nisu zabilježeni negativni utjecaji na ozon za razliku od freona 12 (Kurevija i Golub, 2008). Na slici 10 shematski je prikazan izgled i rad geotermalne toplinske pumpe.



Slika 12 Shema geotermalne toplinske pumpe (Kurevija i Golub, 2008)

Na temelju navedenog, može se zaključiti da se bušotina može koristiti u različite svrhe, ali isto tako su potrebna daljnja istraživanja kako bi se otkrio njezin stvarni potencijal. Isto tako, prije bilo kakvog korištenja bušotine potrebno je izraditi elaborat zaštite okoliša. Nakon što se obave potrebna istraživanja i kada se otkrije stvarni potencijal bušotine, možda će ju biti moguće koristiti u više svrha, kao na primjer kombinacija upotrebe u balneologiji i za grijanje.

6. ZAKLJUČAK

Jedan od velikih problema današnjice je korištenje neobnovljivih izvora energije koji imaju štetan utjecaj na okoliš, stoga se u novije vrijeme svijet sve više potiče na korištenje obnovljivih izvora energije. Jedan od obnovljivih izvora energije je i geotermalna energija.

Republika Hrvatska, osobito njezin Panonski dio, ima velik potencijal za korištenje geotermalne energije. Dugoročno gledano, na taj bi se način uštedjela financijska sredstva, a korištenjem obnovljivog izvora energije smanjio bi se i štetan utjecaj na okoliš. Sustav Varaždinskih Toplica s bušotinom VTT-1 ima mogućnost i za takvo korištenje geotermalnih resursa, a ne samo za potrebe balneologije. Zbog toga je potrebno provesti detaljna istraživanja da bi se odredio kapacitet korištenja geotermalne energije Varaždinskih Toplica.

Kako bi se povećalo korištenje obnovljivih izvora energije, prvenstveno geotermalne, potrebno je dosta financijskih sredstava, te je potrebno privlačiti investitore ili tražiti pomoć iz EU fondova. Potrebno je i nadzirati korištenje geotermalnih resursa da sve bude u održivom razvoju. Bušotina VTT-1 je jedan od geotermalnih resursa koji može imati velik potencijal za iskorištavanje u balneološke svrhe, ali i u energetske. Ipak, potrebna su dodatna istraživanja da se otkrije njezin potencijal i uporaba.

7. LITERATURA

- Bowyer J., Bratkovich S., Frank M. and Fernholz K. (2011). *Geothermal 101: The basics and applications of geothermal energy*. Dovetail Partners inc.
- Csányi L., Krištof V., Kušnir S., Katin M., Marci M.(2010). *Geothermal energy*. Czech Republic: Železná Ruda-Špičák, University of West Bohemia.
- Dedić Ž., Kruk B., Kruk Lj., Kovačević-Galović E. (2015). *Rudarsko-geološka studija Varaždinske županije*. Zagreb: Hrvatski geološki institut, Zavod za mineralne sirovine.
- Državna geodetska uprava odjel za katastar nekretnina Novi Marof (2021). Republika Hrvatska.
- Finger J. and Blankenship D. (2010). *Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling*. USA: Sandia National Laboratories.
- Čubrić S. i sur. (1998). *Program korištenja geotermalne energije, prethodni rezultati i buduće aktivnosti*. Zagreb. Energetski institut „Hrvoje požar“.
- Huenges E. (2010). *Geothermal energy systems*. Potsdam: Wiley-VCH.
- Kovačić, M., Perica, R. (1998). Stupanj korištenja termalnih voda u Republici Hrvatskoj. *Hrvatske vode*. 6, 25, 327-536.
- Kurevija T. i Golub M. (2008). *Iskorištavanje geotermijskih ležišta- skripta*. Zagreb: Rudarsko geološko naftni fakultet, Zavod za naftno inženjerstvo.
- Lee K.C. (1996). *Classification of geothermal resources - an engineering approach*. Geothermal Institute, The University of Auckland, Auckland, New Zeland.
- Milošević M., Andabaka D. i Čepelak R. (2020). *Balneološka analiza i ocjena termalne vode bušotine VTT-1 u Varaždinskim Toplicama*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Škola narodnog zdravlja „Andrija Štampar“, Laboratorij za ispitivanje voda i balneoklimologiju, Zavod za zdravstvenu ekologiju i medicinu rada i sporta.
- Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta: *Pravilnik o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina*. (2018). Narodne novine. 885. [18.05.]

Srpak M., Zeman S., Sabol G., (2019). Analiza i postojeće stanje izvora geotermalnih voda na području varaždinske županije (Analysis and existing status of geothermal water sources in the varaždin county area). *PODRAVINA*. 18, 190-200.

Šimunić A. (2008). *Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske*. Zagreb: Hrvatski geološki zavod.

Šimunić A. (1988). *Geološko-tektonska osnova termomineralnih vrela u Varaždinskim Toplicama*. Varaždin: Zavod za znanstveni rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti.

Šimunić An., Pikija M., Hećimović I., Jamičić D., Šikić K., Basch O., Benček Đ., Magaš N., Savić D., Šimunić Al., Šikić L., Milanović M. (1982). *Tumač za list Varaždin L 33-69*. Beograd: Savezni geološki zavod.

Dipl. ing. Mladen Škrlec (2020). Podaci o geologiji i izdašnosti bušotine.

Jamičić D. i sur. Novi tumač OGK Hrvatske.

Zakon o rudarstvu. (2013). Narodne novine. 1133. [10.05.]

Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Varaždinske Toplice. (2017). *Kemijski sastav i fizikalna svojstva vode*. Dostupno na: <http://www.minerva.hr/o-nama/kemijski-sastav-i-fizikalna-svojstva-vode/> Datum pristupa: 8.7.2021.

Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Stubičke Toplice. *Kemijski sastav i fizikalna svojstva vode*. Dostupno na: <https://sbst.hr/o-nama/voda/> Datum pristupa: 9.7.2021.

International Renewable Energy Agency. (2020). *Geothermal energy*. Dostupno na: <https://www.irena.org/geothermal> Datum pristupa: 10.70.2021.

POPIS SLIKA, TABLICA I DIJAGRAMA

Slika 1 Pregledna karta ležišta i pojave geotermalne vode na području Varaždinske županije (Srpak i sur., 2019)

Slika 2 Pregledna geološka karta okolice Varaždinskih toplica (Šimunić, 2008)

Slika 3 Geološki profil okolice Varaždinskih Toplica (Šimunić, 2008)

Slika 4 Lindalov dijagram korištenja geotermalne energije (Kurevija i Golub, 2008)

Slika 5 Instalirani kapacitet geotermalne energije u svijetu (Irena, 2020)

Slika 6 Instalirani kapacitet geotermalne energije u Republici Hrvatskoj (Irena, 2020)

Slika 7 Geotermalne rezerve Panonskog dijela RH (Kurevija i Golub, 2008)

Slika 8 Bušaća garnitura (Huenges, 2010)

Slika 9 Lokacija bušotine VTT-1 (Državna geodetska uprava, 2021)

Slika 10 Ušće bušotine VTT-1 (Škrlec)

Slika 11 Litološko-tehnički profil bušotine VTT-1 (Škrlec)

Slika 12 Shema geotermalne toplinske pumpe (Kurevija i Golub, 2008)

Tablica 8 Temperatura termalne vode Varaždinskih Toplica u posljednjih 150 godina (Šimunić, 1988, 2008)

Tablica 9 Sastav termalne vode (Šimunić, 1988, 2008)

Tablica 10 Klasifikacija geotermalnih resursa prema temperaturi: (a) Muffler and Cataldi, 1978; (b) Hochstein, 1990; (c) Benderitter and Cormy, 1990; (d) Haenel, Rybach and Stegena, 1988. (Lee, 1996)

Tablica 11 Nabušene naslage bušotine VTT-1 (Škrlec)

Tablica 12 Osvajanje bušotine VTT-1 (Škrlec)

Tablica 13 Kemijski sastav i fizikalna svojstva bušotine VTT-1 u Varaždinskim Toplicama (Milošević i sur., 2020)

Tablica 14 Usporedba vode iz bušotine VTT-a s vodama Vraždinskih toplica, kiselice Drenovec i Stubičkih toplica (podaci preuzeti sa: Milošević i sur., 2020; <https://sbst.hr/o-nama/voda/> ; <http://www.minerva.hr/o-nama/kemijski-sastav-i-fizikalna-svojstva-vode/>)

Popis korištenih oznaka i jedinica		
Oznaka	Jedinica	Opis
T	°C	temperatura
Električna vodljivost	μS/cm	sposobnost provođenja električne energije, ovisi o koncentraciji iona;
UT	°nj	Ukupna tvrdoća vode izražena u njemačkim stupnjevima
γ	mg/l	Masena koncentracija
λ	W/mK	Toplinska vodljivost
c	J/kg K	Specifična toplina
a	m ² /s	Temperaturna vodljivost ili difuznost
ρ	kg/m ³	gustoća
Q	l/s	protok
Radioaktivnost (Rn)	Bq/l	Koncentracija radona
n	mmol	Množina tvari
n _{val}	mval	Količina tvari

