



GRAD KRIŽEVCI

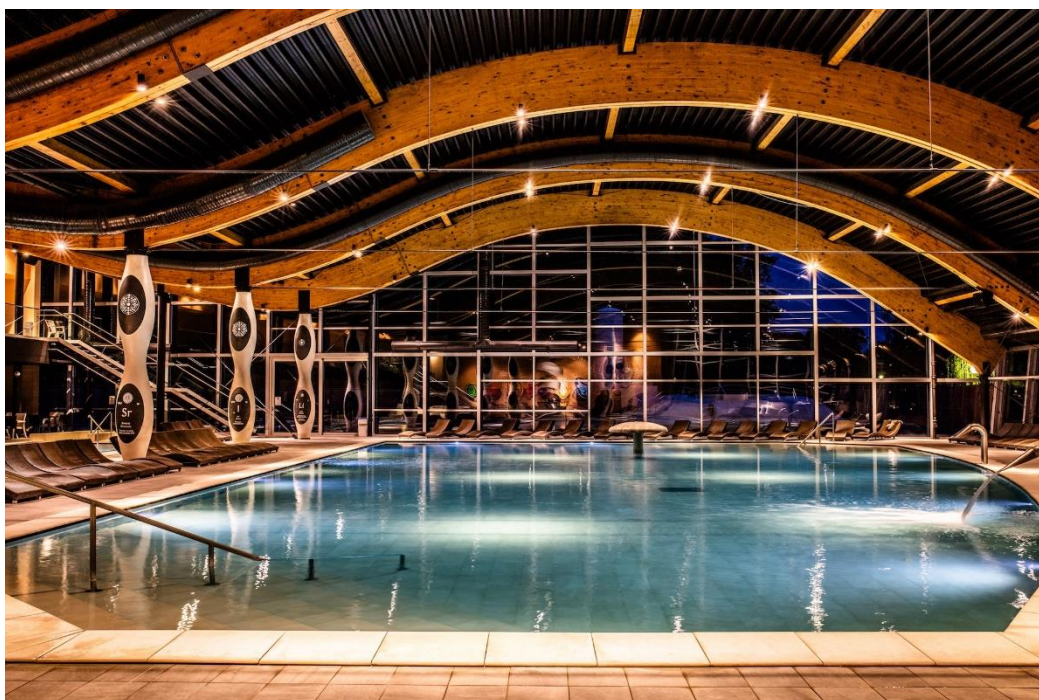


Study provided by: Croatian Geological Survey

Study coordinator: Tamara Marković, PhD

Authors: Tamara Marković, PhD, Croatian Geological Survey
Igor Karlović, mag.ing.geol., Croatian Geological Survey

Cooperation: City of Križevci



Study published as **D.T2.5.4** within the project "CE1308 Healing Places" - Enhancing environmental management capacities for sustainable use of the natural heritage of Central European spa towns and regions as the driver for local and regional development.

Co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund within the scope of the INTERREG Central Europe Programme.



Okolišna studija o utjecaju SPA CENTRA LifeClass Terme Sveti Martin na lokalni okoliš na području Termi Sveti Martin



Broj: 048/21

Predstojnik Zavoda:

Dr.sc. Josip Terzić, dipl.inž.geol.

Ravnatelj:

Dr.sc. Slobodan Miko, dipl.inž.geol.

Zagreb, kolovoz 2021

Naslovnica: fotografija termalnog bazena u termama preuzeto s <https://www.termesvetimartin.com/en/spa-wellness/thermo-mineral-pools>

NARUČITELJ: GRAD KRIŽEVCI
Ivana Zakmardije Dijankovečkog 12, Križevci

BROJ UGOVORA: KLASA: 406-01/21-01/0030
UBROJ: 2137/02-01/1-21-9
EVBR: 294/5-21-PP (grad Križevci)
Br. 1629/21 (Hrvatski geološki institut)

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

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

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

Igor Karlović, mag.inž.geol.

Naslovnica: fotografija termalnog bazena u termama preuzeto s <https://www.termesvetimartin.com/en/spa-wellness/thermo-mineral-pools>

SAŽETAK:

Prema Ugovoru o obavljanju usluge izrade okolišne studije o utjecaju SPA CENTRA na lokalni okoliš, KLASA: 406-01/21-01/0030, UBROJ: 2137/02-01/1-21-9, EVBR: 294/5-21-PP (grad Križevci) i Br. 1629/21 (Hrvatski geološki institut) od 28.05.2021. izvršitelj Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju preuzeo je obvezu izrade Okolišne studije o utjecaju SPA CENTRA LifeClass Terme Sveti Martin na lokalni okoliš na području Termi Sveti Martinu, okviru kojega je načinjeno sljedeće:

- Na temelju postojeće dostupne dokumentacije dan je povijesni pregled korištenja termalne vode te današnje stanje korištenja termomineralne vode iz bušotine Vuč-2
- Na temelju postojećih podataka o izvedenim bušotinama E-17, Vuč-2 i TSM dan je tehnički opis navedenih bušotina
- Na temelju postojećih podataka i mjerenja u sklopu ove studije dan je opis geokemijskih značajki termonineralne vode s hidrogeološkim opisom pojedinih termalnih vodonosika
- Na temelju razgovora s korisnikom i obilaskom područja termi dan je opis zbrinjavanja otpadnih termalnih voda
- Kao zaključak izvještaja dane su preporuke za korištenje i zbrinjavanje otpadnih termalnih voda

Na području toplica se nalaze tri bušotine Vuč-2, E-17 i TSM. Sve tri bušotine su nabušile termalne vodonosnike s time da voda bušotine TSM ima najnižu temperaturu te je definirana kao subtermalna voda. Vode svih bušotina imaju mineralizaciju preko 1 g/L, ali i visoke koncentracije pojedinih specifičnih elemenata pa su definirane kao mineralne vode. Osim toga, voda bušotine TSM sadrži naftu. Voda iz bušotine E-17 pripada Na-HCO₃Cl facijesu, a voda iz bušotine Vuč-2 Na-ClHCO₃ dok voda iz bušotine TSM Na-Cl facijesu

Tijekom istraživanja ugljikovodika bušotine E-17 i Vuč-2 su nabušile termalne vodonosnike. Bušotina E-17 se koristila prva u balneološke svrhe od sredine 19-tog stoljeća do 2014. kada počinjenje intenzivno korištenje termomineralne vode iz bušotine Vuč-2. TSM se za sada ne koristi, a izbušena je 2014.godine. Tijekom istraživanja u svrhu povećanja izdašnosti bušotina Vuč-2 i E-17 utvrdila se njihova međusobna hidraulička povezanost.

Termomineralna voda se koristi samo za punjene bazena i grijanje bazenskog prostora termalnog kupališta. Otpadna voda se nakon korištenja pročišćava i upušta u lokalni potok.

Toplice predstavljaju pozitivan utjecaj na lokalnu sredinu iz više razloga: i) zapošljavanje lokalnog stanovništva; ii) stvaranje tržišne prilike za lokalne OPG-ove; iii) korištenje obnovljivog izvora energije; iv) smanjivanje korištenja fosilnih goriva.

Preporuke

Za poboljšanje korištenja termalne i zbrinjavanja otpadne termalne vode potrebno je u skoroj budućnosti načiniti sljedeće korake:

- Uspostaviti praćenje razina i temperature termomineralne vode u bušotini Vuč-2 pomoću automatskih mjerača – zbog utvrđivanja veze između pojedinih termalnih vodonosnih horizonata koji imaju različite temperature vode
- Otpadnu termalnu vodu nakon korištenja i pročišćavanja ponovo utisnuti u podzemlje kako bi se osigurala količina za buduća korištenja obzirom da je vrijeme obnavljanje s točke današnjeg gledišta jako dugo tj. nema ga. Kao utisna bušotina mogla bi se iskoristi bušotina E-17, ali prije odluke je potrebno provesti dodatna istraživanja (pokusno crpljenje s praćenjem razina/tlaka i temperatura u sve tri bušotine, snimanje bušotina, dodatna geofizička mjerenja, izotopne i kemijske analize).
- Iskoristiti vodu bušotine TSM u balneološke svrhe obzirom da sadržava naftu. Dodatna ponuda bi zainteresirala goste. Toplice u okruženju koje koriste vodu iz ovakvih tipova vodonosnika su popularnije od onih koje koriste "običnu" termomineralnu vodu.
- Načiniti duže vremensko pokusno crpljenje bušotine TSM u svrhu utvrđivanja temperature vode i da li postoji povezanost s preostale dvije bušotine
- Za neku malo dalju budućnost ovisno o financijskim mogućnostima...obzirom da su potrebe kompleksa za energijom puno veće nego što postojeće bušotine osiguravaju, bilo bi preporučljivo uzeti u obzir činjenicu da "samo" 1000 m dublje od dubine postojeće bušotine Vuč-2 nalazi se termalni karbonati vodonosnik čija temperatura vode varira od 116 do 130°C ovisno o lokalitetu unutar vodonosnika. Zahvatom ovog vodonosika, osigurala bi se energetska neovisnost kompleksa o fosilnim gorivima i osigurala bolja samoodrživa zelena energija iz obnovljivih izvora – termalni vodonosnik. Naravno, uz proizvodnju bušotinu bilo bi potrebno osigurati i utisnu bušotinu u koju bi se utisnula iskorištena termalna voda.

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

Igor Karlović, mag.inž.geol.

Cover page: photo of the thermal pool in the spa taken from <https://www.termesvetimartin.com/en/spa-wellness/thermo-mineral-pools>

SUMMARY:

According to the Contract on performing the service of making an environmental study of the impact of the SPA CENTER on the local environment, CLASS: 406-01 / 21-01 / 0030, NUMBER: 2137 / 02-01 / 1-21-9, EVBR: 294 / 5-21- PP (Town of Križevci) and No. 1629/21 (Croatian Geological Survey) from 28.05.2021. Contractor, Croatian Geological Survey, Department of Hydrogeology and Engineering Geology undertook to prepare an Environmental Study of the impact of the SPA CENTER LifeClass Terme Sveti Martin on the local environment in the area of Terme Sveti Martin, within which the following was done:

- Based on the existing available documentation, a historical overview of the use of thermal water and the current state of use of thermal mineral water from the borehole Vuč-2 are given.
- Based on the existing data on drilled boreholes E-17, Vuč-2 and TSM, a technical description of these boreholes are given.
- Based on the existing data and measurements within this study, a description of the geochemical characteristics of thermo-mineral water with a hydrogeological description of individual thermal aquifers are given.
- Based on the conversation with the user and a tour within the thermal area, a description of the disposal of thermal wastewater are given
- Recommendations and conclusions were given for the use and disposal of thermal wastewater

There are three boreholes Vuč-2, E-17 and TSM in the area of the spa. All three boreholes reached thermal aquifers but the water of the TSM borehole has the lowest temperature and being defined as subthermal aquifer. The waters of all boreholes have a mineralization of over 1 g/L, and also high concentrations of certain specific elements, so they are defined as mineral waters. In addition, the water of the TSM borehole contains oil. Water from the borehole E-17 belongs to Na-HCO₃Cl facies, and water from the borehole Vuč-2 Na-ClHCO₃ while water from the borehole TSM Na-Cl facies

During hydrocarbon exploration, boreholes E-17 and Vuč-2 drilled thermal aquifers. The borehole E-17 was first used for balneological purposes from the mid-19th century until 2014 when the intensive use of thermo-mineral water from the well Vuč-2 started. TSM is not used for now, and it was drilled in 2014. During the research, in order to increase the yield of the Vuč-2 and E-17 boreholes, their mutual hydraulic connection was determined.

Thermo-mineral water is used only for filling pools and heating of the pool and shower area. After use, wastewater is treated and discharged into a local stream.

The spa has a positive impact on the local environment for several reasons: i) employment of the local population; ii) creating a market opportunity for local family farms; iii) use of renewable energy sources; iv) reducing the use of fossil fuels.

Recommendations

To improve the use of thermal and waste thermal water disposal, the following steps need to be taken in the near future:

- Establish monitoring of levels and temperature of thermo-mineral water in the borehole Vuč-2 using automatic loggers - to determine the relationship between individual thermal aquifers that have different water temperatures
- After use and treatment, waste thermal water is re-injected into the ground to ensure the amount for future use, given that the recovery time from today's point of view is very long, ie there is none. The borehole E-17 could be used as an injection borehole, but before the decision additional research is needed (experimental pumping with monitoring of levels/pressures and temperatures in all three boreholes, borehole survey, additional geophysical measurements, isotope and chemical analyses).
- Use TSM well water for balneological purposes as it contains oil. An additional offer would interest guests. Spas in the neighbouring countries that use water from these types of aquifers are more popular than those that use "ordinary" thermo-mineral water.
- Carry out a longer time pumping tests of the TSM borehole to determine the water temperature and whether there is a connection with the remaining two boreholes
- For a slightly further future depending on financial possibilities... since the needs of the complex for energy are much higher than the existing wells provide, it would be advisable to take into account the fact that "only" 1000m deeper than the depth of the existing borehole Vuč-2 finds are thermal aquifer in carbonates whose water temperature varies from 116 to 130°C depending on the locality within the aquifer. The capturing of this aquifer would ensure the energy independence of the complex from fossil fuels and ensure better self-sustaining green energy from renewable sources - thermal aquifer. Of course, in addition to the product well, it would be necessary to provide an reinjection well into which the used thermal water would be injected.

AUTHORS: Dr.sc. Tamara Marković, dipl.ing.geol.

Igor Karlović, mag.ing.geol.

Sadržaj:

1. Uvod	<u>2</u>
2. Geografska, klimatska i geološka obilježja istraživanog područja	<u>3</u>
3. Povijesni pregled	<u>7</u>
4. Tehnički, geološki i hidrogeološki opis bušotina	<u>10</u>
4.1. Bušotina E-17	<u>11</u>
4.2. Bušotina Vuč-2	<u>13</u>
4.3. Bušotina TSM	<u>15</u>
5. Geokemijske značajke termalnih voda	<u>17</u>
6. Današnje korištenje termalne vode i njezino zbrinjavanje	<u>26</u>
7. Preporuke i zaključna promišljanja	<u>27</u>
8. Literatura	<u>29</u>

1. Uvod

Prema Ugovoru o obavljanju usluge izrade okolišne studije o utjecaju SPA CENTRA na lokalni okoliš, KLASA: 406-01/21-01/0030, UBROJ: 2137/02-01/1-21-9, EVBR: 294/5-21-PP (grad Križevci) i Br. 1629/21 (Hrvatski geološki institut) od 28.05.2021. izvršitelj Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju preuzeo je obvezu izrade Okolišne studije o utjecaju SPA CENTRA LifeClass Terme Sveti Martin na lokalni okoliš na području Termi Sveti Martinu, okviru kojega je načinjeno sljedeće:

- Dan je povijesni pregled korištenja termalne vode
- Dan je današnje stanje korištenja
- Dan je opis geokemijskih značajki termalne vode s hidrogeološkim opisom termalnog vodonosika, tehnički opis bušotina i zbrinjavanje otpadnih termalnih voda
- Te su dane preporuke za korištenje i zbrinjavanje otpadnih termalnih voda

2. Geografska, geološka i klimatološka obilježja istraživanog područja

SPA CENTRA LifeClass Terme Sveti Martin nalazi se na području Međimurskih gorica oko 5 km jugo zapadno od mjesta Sv. Martin na Muri u Međimurskoj županiji (slika 1).



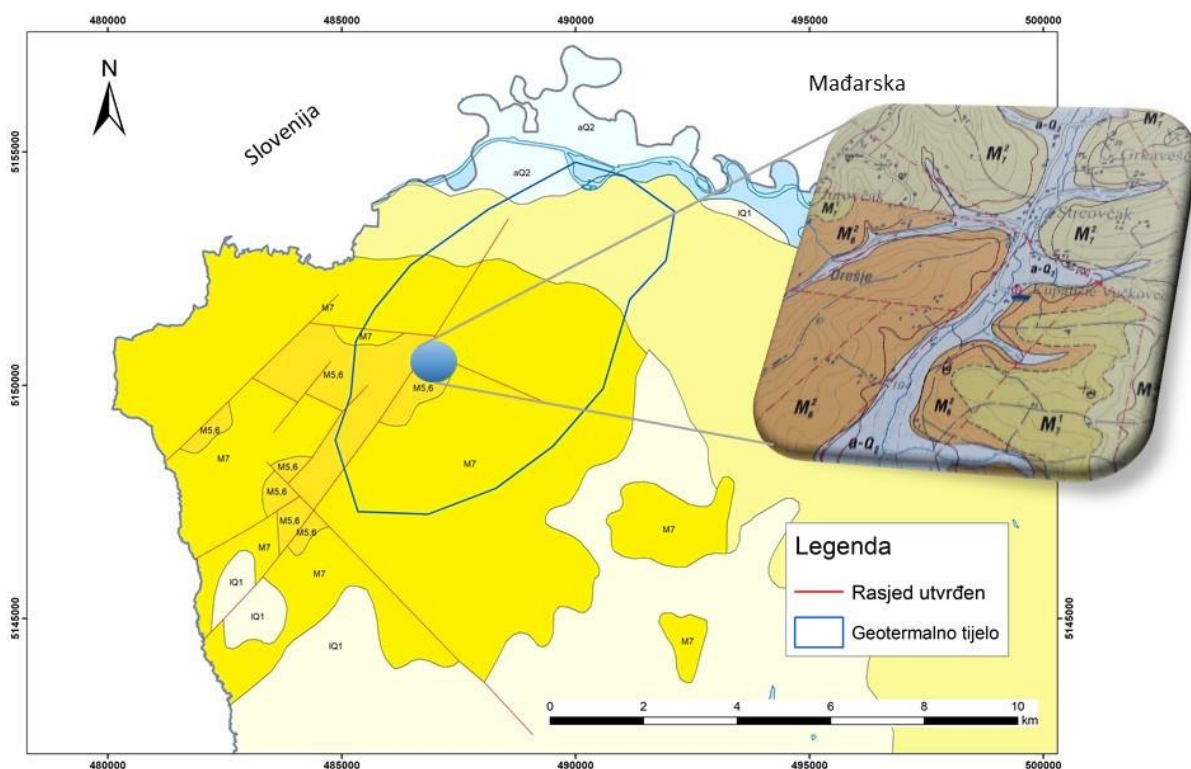
Slika 1. Geografski položaj Termi Sveti Martin

Hotel, golf igralište, ljetni vodeni park, restorani, sportska dvorana i zatvoreno termalno kupalište smješteni su na desnoj obali potoka Gradišćak, a apartmansko naselje Regina na njegovoj lijevoj obali (slika 2).



Slika 2. Detaljan položaj objekata Termi Sveti Martin (preuzeto <https://www.termesvetimartin.com/hr/>)

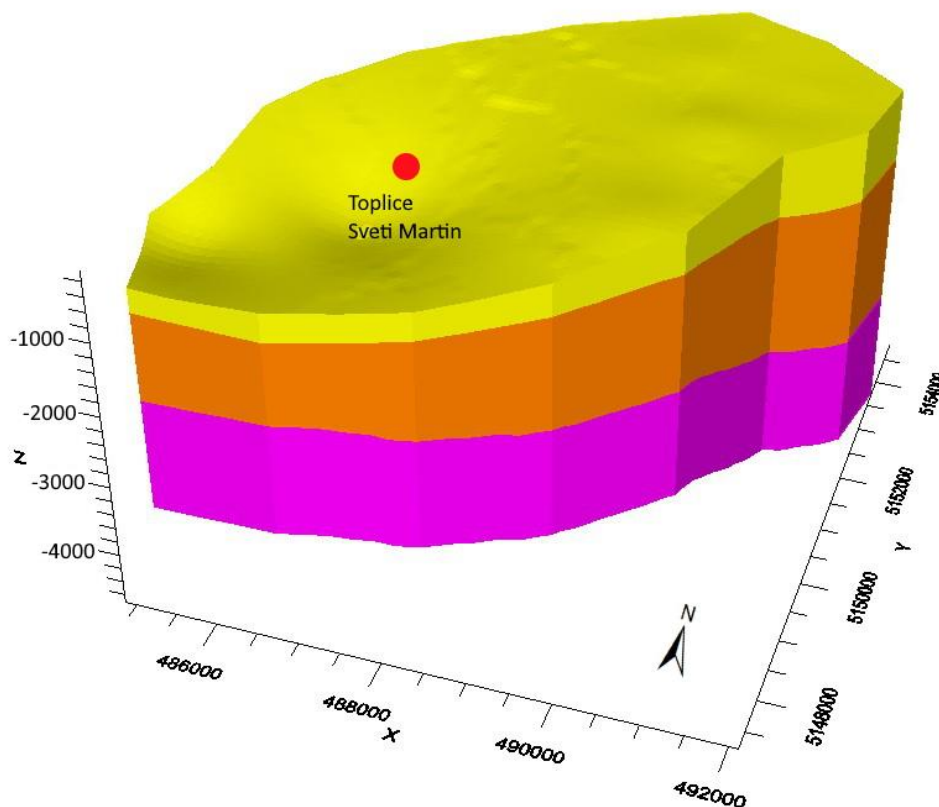
Ovo područje u geološkom smislu je smješteno u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena u dijelu Mura – Zala bazena kojeg karakterizira visoki geotermalni gradijent - prosječno 0,049°C/m i visoki površinski toplinski tok 76 mW/m² (EIHP, 2018). Marković i dr., 2021 ustanovljuju na području istraživanja prosječni geotermalni gradijent 0,052 °C/m. Isto tako, Marković i dr., 2020 prema trenutno raspoloživim geološkim, geofizičkim i bušotinskim podacima za potrebe studije Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u RH definira geotermalno tijelo Gornje Međimurje na čijem području se nalaze terme (slika 1). Prema površinskoj geologiji (slika 3), na području geotermalnog tijela su zatupljene naslage holocena, pleistocena, gornji i donji panona i donjeg miocena, kao i u široj okolici termi (na detalju).



Slika 3. Isječak OGK M 1:300 000 sa geografskim položajem geotermalnog tijela (Tumač naslaga: M5,6 - vapnenačko-klastične naslage (donji miocen); M7 - klastiti i ugljen (gornji panon bivši pont); IQ1 - kopneni les (pleistocen); pQ2 - eolski pijesci (holocen); aQ2 - aluvijalne naslage (holocen) s detaljem područja istraživanja (prema Marković, S. u Šimunić, 2008)

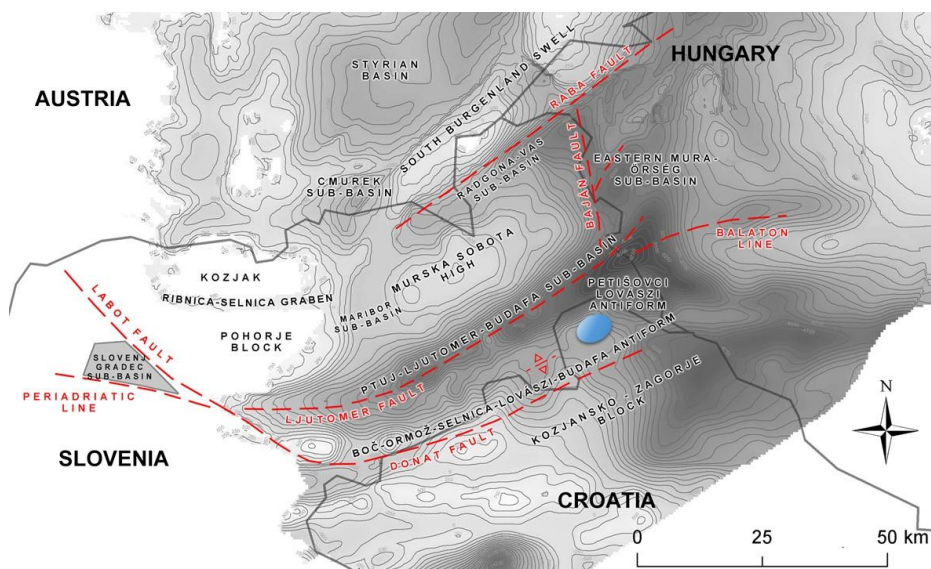
Međutim, istražnim bušenjem utvrđena je granica trijaskih dolomita i badenskih dolomitno-vapnenačkih breča na dubini oko 2200 m. Ove breče u kombinaciji s dolomitima predstavljaju odličan termalni vodonosnik s temperaturama od 115 do 130°C (Marković i dr., 2020; Rotár-Szalkai i dr., 2018) (slika 4). Termalna voda na području termi nalazi se u propusnim sedimentima tortona odnosno badenskih naslaga koje su predstavljene vapnenačkim, dijelom konglomeratičnim pješčenjacima i biogenim vapnencima te slijede žućkasto i sivi, tanko uslojeni lapori, pjeskoviti lapori i pijesci s proslojcima pješčenjaka, a temperatura varira od 35

do 40 °C (slika 4). Termalna voda sadrži visoke sadržaje otopljenih minerala kao što je jod, natrij, klorid itd.



Slika 4. Pojednostavljeni prikaz naslaga nabušenih na području geotermalnog tijela Gornje Međimurje s položajem termi. Sivkasta žuta boja – naslage plesitocena, kvartara; žuta boja – naslage panona; narančasta boja – naslage donjeg miocena; mangenta boja – trijaske naslage dolomita i dolomitno-vapnenačkih breča

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 (slika 5). 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.



Slika 5. Položaj geotermalnog tijela u širem regionalnom području (prema izvješćima Jelen i dr., 2006; Maros i dr., 2012; Rotár-Szalkai i dr., 2018).

Prema studiji Koren i dr., 2017 u zadnjih petnaest godina prosječna srednja godišnja vrijednost temperature iznosi 10,9°C sa standardnom devijacijom od 0,69°C. Srednje godišnje temperature u navedenom razdoblju variraju od 9,5°C (2005.) do 12,0°C (2014.) pri čemu tijekom ovih 15 godina desetogodišnji trend nije bio osobito izražen 0,33°C/10 godina. Nešto je veći trend godišnjih amplituda mjesečnih srednjaka (-2,78°C/10 god.), no negativan, što znači da se ove amplitude ponešto smanjuju s godinama. Prosječne srednje sezonske temperature postižu vrijednosti od 0,9°C zimi do 20,5°C ljeti sa srednjom višegodišnjom varijabilnošću koja je ovdje najniža u proljeće (0,88°C), a najviša zimi (1,61°C). Srednja godišnja količina oborine iznosi 756,5 mm. Glavni maksimum oborine od 100,2 mm javlja se u rujnu, a minimum od 35,9 mm u siječnju. Ukupne godišnje količine oborina promatrane u višegodišnjem nizu pokazuju tendenciju laganog porasta količine oborine u ljetnom razdoblju. Povećane količine oborina u ljetnim mjesecima ne pridonosi većoj infiltraciji oborina u podzemlje jer zbog visokih temperatura, evaporacija ali i evapotranspiracije je visoka te dolazi do smanjena infiltrirane količine oborine u podzemlje.

3. Povijesni pregled

Za povijesni opis korištenja termomineralne vode korišteni su podaci iz poglavlja u knjizi Marković, S. (u monografiji Šimunić, 2008) te studija Kraljić, M (1998), Milenić i dr., 2014 te Marković i dr., 2020 i mrežne stranice LifeClass Terma Sveti Martin: www.termesvetimartin.com.

Tijekom početka 19-tog stoljeća na području Međimurja provodila su se intenzivna istraživanja ugljikovodika – nafte. Ova istraživanja su zaslužna da je bušotina E-17 na lokalitetu Vučkovec (današnjih termi) u periodu od 1911.-1913. nabušila termalnu vodu čija je temperatura bila 33°C. Osim povišene temperature, voda sadrži i visoke sadržaje otopljenih mineralnih tvari te plinova, a lokalno stanovništvo je ubrzo prepoznalo njezinu ljekovitu svrhu te je 1936. godine izgradilo jedan drveni bazen, dimenzija 3 m širine i 4 m dužine, jedan natkriveni bazen te instaliralo sedam kada za namakanje u termalnoj vodi (slika 6). Obzirom na njezinu visoku mineralizaciju i sadržaj joda, voda je jedno kraće vrijeme do početka II. svjetskog rata, punjena u boce i plasirana na tržište pod imenima Međimursko jedno vrelo Selnica – Sv. Martin na Muri i u bocama od 1,44 L (1 oka) te isto kao Mineralno međimursko vrelo Vučkovec.



a)



b)

Slika 6. Toplice na samom njihovom početku rada: a) nakon izgradnje prvog bazena; b) atmosfera na kupalištu (preuzeto s <https://emedijmurje.net.hr/vijesti/drustvo/3006669/pogled-u-proslost-evo-kako-su-nekada-izgledale-terme-sveti-martin/>)

Nakon II. svjetskog rata 1945. država konfiscira toplice, 1950. godine nakratko prelaze u ruke privatnika, zatim toplice vodi sindikat, a potom poduzeće Union iz Čakovca do približno 1985. godine upravlja toplicama te nakon čega cijeli kompleks polako propada, a inventar zajedno sa kadama prodaje se na dražbi. Devedesetih godina 20-tog stoljeća nakon raspada Jugoslavije, toplice prelaze u vlasništvo poduzeća Toplice na period od nekoliko godina.



Slika 7. Toplice početkom 20-tog stoljeća (preuzeto s <https://emedijmurje.net.hr/vijesti/drustvo/3006669/pogled-u-proslost-evo-kako-su-nekada-izgledale-terme-sveti-martin/>)

Poduzeće Modeks, 1996. godine kupuje toplice te uređuje kupališni prostor. Obnovljeni su bazeni, objekti, svlačionice, sanitarije i kotlovnica, asfaltirana je prilazna cesta i uređen je restoran te do 2003. i dolaska trenutnih vlasnika toplice su nosile naziv Toplice Vučkovec i radile su sezonski samo u ljetnim mjesecima kao kupalište na otvorenom s tri bazena i restoranom.

Od 2003. toplice su dobile naziv Toplice Sveti Martin te narednih godina doživljavaju intenzivno razdoblje poslovno turističkog razvoja, gradeći postepeno svoju prepoznatljivost. Završetkom hotela i golf terena, predstavljaju najveći projekt kontinentalnog turizma s dosadašnjom investicijom od preko 300 milijuna kuna i preko 200 zaposlenika. 2014. godine dolazi u Međimurje poznati slovenski brand LifeClass te toplice postaju resort u LifeClass Terme Sveti Martin. Danas, 2021 godini Terme Sveti Martin postale su prepoznatljiv brend koji jamči kvalitetu usluge i zadovoljstvo gosta kao "Prvi Healthness resort u Europi" (slika 8). Isto tako, njihovo postojanje je za lokanu zajednicu bitno jer osim što zapošljavaju preko 200 zaposlenika, hrana proizvedena na lokalnim OPG-vima se u sklopu restorana nudi posjetiteljima.



Slika 8. Vodeni park Termi Sveti Martin (preuzeto <https://www.termesvetimartin.com/hr/>)

4. Tehnički, geološki i hidrogeološki opis bušotina

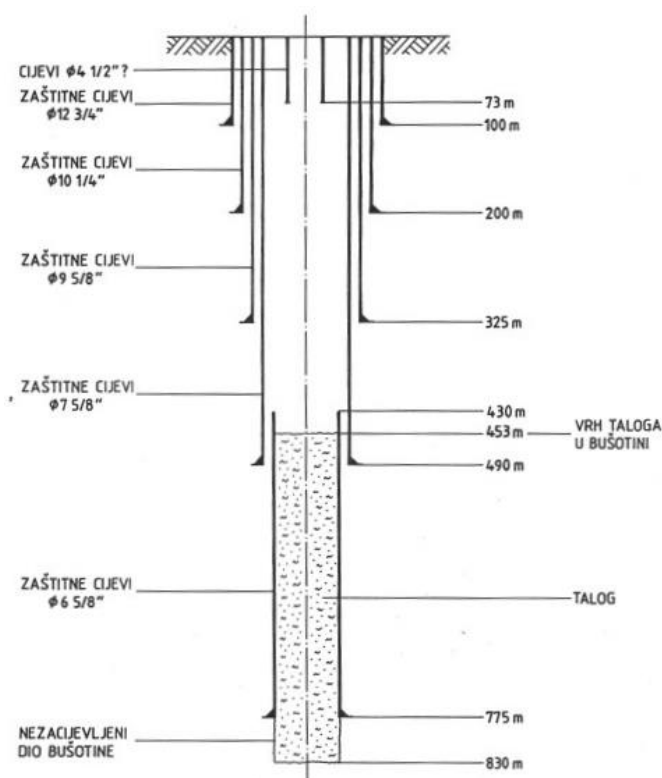
Danas na području termi nalaze se tri bušotine: (i) E-17 izbušena u periodu od 1911. do 1913. godine; (ii) Vučkovec-2 (Vuč-2) izbušena 1971. godine i (iii) Toplice Sveti Martin (TSM) izbušena 2014. godine (slika 9).



Slika 9. Položaj bušotina na području termi

4.1. Bušotina E-17

Tijekom istraživanja ugljikovodika u periodu od 1911. godine do 1913. godine izbušena je bušotina E-17 do dubine 830 m, međutim tijekom bušenja došlo je do zarušavanja u bušotini na intervalu od 550 do 830 m te je danas bušotina prohodna samo do 453 m (slika 10). 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. Termomineralna voda iz bušotine se koristila za potrebe toplica sve do 2014. godine. Danas bušotina služi kao rezervna opcija. Temperatura vode prema povijesnim mjerenjima varira od 19 do 35°C.



Slika 10. Tehnički izgled bušotine E-17 prema izvještaju Kraljić, 1998.

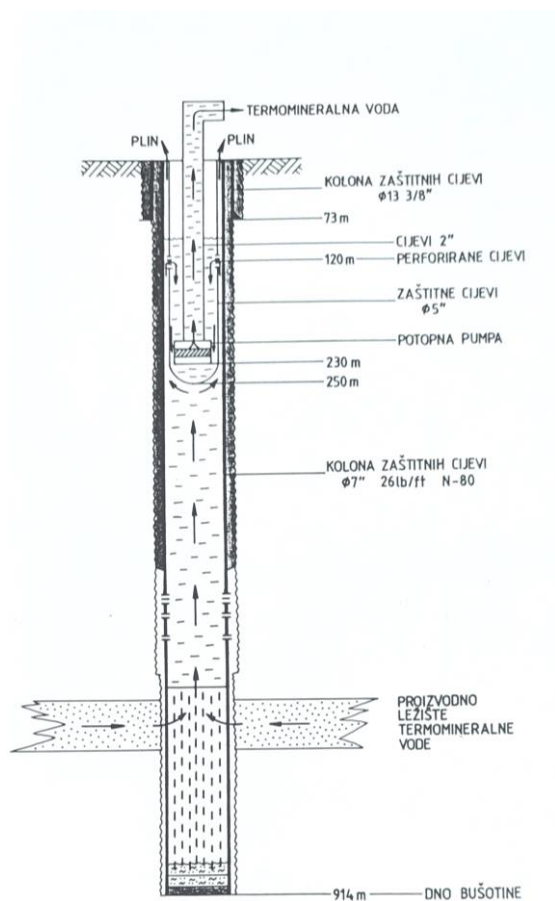
U nekoliko navrata su rađena testiranja u bušotini u svrhu identifikacije propusnih horizonata, povećanja izdašnosti i utvrđivanja stanja ugrađenih kolona. 70-tih godina su rađena karotažna mjerenja do dubine 445 m kojima je ustanovljena $T_{\max} = 43,5^{\circ}\text{C}$. Također je načinjeno i čišćenje bušotine "air-liftom" gdje se izdašnost s 1,4 L/s povećala na 9,7 L/s, a temperatura termomineralne vode, sa 19-20 °C na 35°C. 1987. godine su ponovo pomoću metode klipovanja povećati izdašnost, međutim ustanovljena je samo povezanost s bušotinom Vuč-2. Ponovo 1998. godine pomoću "air-lift" metodom, utvrđuje se prohodnost bušotine, izmjeren je tlak i temperatura po dubini i dinamički gradijent temperature. Ovisno o dubini tlak je



varirao od 9,14 do 41,78 bara (na najdubljoj točki mjerenja koja je iznosila 440 m), a temperatura od 41 do 42,1 °C.

4.2. Bušotina Vuč-2

Također, kao i prethodna bušotina, zahvaljujućim istraživanjima ugljikovodika, 1971. godine izbušena je bušotina Vučkovec-2 (Vuč-2) do dubine 914 m (slika 11). Izdašnost bušotine je bila oko 1,7 L/s, a temperatura vode koja je mjerena nakon bušenja je iznosila 40 °C. U novije vrijeme je izdašnost povećana na 2 L/s, a temperatura je 35 °C (Milenić i dr., 2014). Bušotina je nabušila tortonske (badenske) naslage, a vodonosni horizonti su u intervalima od 416-425 m, 461-476 te 485-505 m.



Slika 11. Tehnički izgled bušotine Vuč-2 prema izvještaju Kraljić, 1998.

U nekoliko navrata su rađena testiranja u bušotini u svrhu identifikacije propusnih horizonata, povećanja izdašnosti i prohodnosti bušotine. Tako je 1987. godine provedeno ispitivanje prohodnosti bušotine spuštanjem pribora te je utvrđena prohodnost do 844 m odnosno nakon ispiranja na 855 m. Na 855 m ustanovljena je fizička zaglava, te je прибором zaglava (vjerojatno potopna pumpa) potisnuta na 870 m. Izvršeno je ispiranje intervala bušotine od 845 m do 540 m kiselinom, te se nakon toga pristupilo klipovanju. Po završetku klipovanja erupcija voda iz bušotine Vuč-2 trajala je 6 dana, pri čemu je izdašnost iznosila 1,4 L/s.

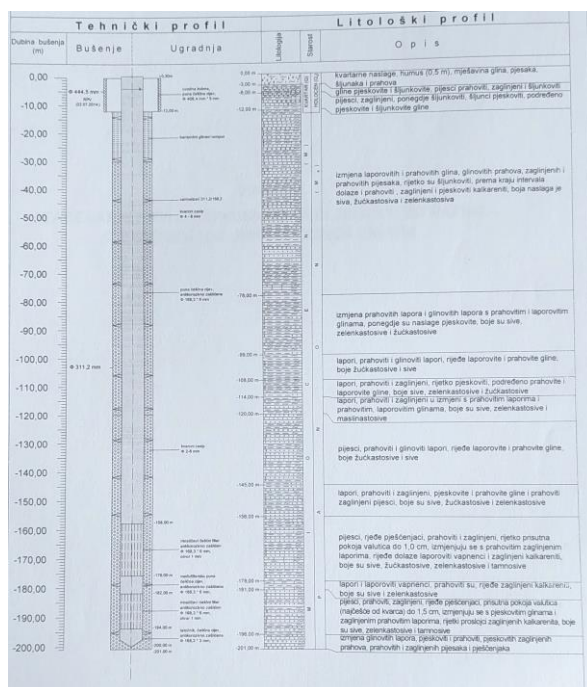
Ustanovljena je povezanost bušotina Vuč-2 i E-17. Tijekom 2012. godine izvedena su karotažna mjerenja u bušotini Vuč-2 i Vuč-5, te je izvršena korelacija slojeva od 75 m do 630 m. Udaljenost između bušotina iznosi oko 850 m, a ustanovljeno je jednolično rasprostranjenije pjeskovitih slojeva u motrenom intervalu, te da su pjeskoviti slojevi bolje razvijeni i manje zaglinjeni na bušotini Vuč-2. Detaljna istraživanja su provedena 2014. godine koja su rezultirala izvještajima o rezultatima snimanja bušotinske konstrukcije podvodnom kamerom, rezultatima o kemijskim svojostima termomineralne vode i plinova te o izvedenim geofizičkim ispitivanjima terena. Nadalje od 2018 godine do danas provode se izotopna i kemijska mjerenja termalnomineralne vode u sklopu projekata DARLINGe financiranog u sklopu Interreg Danube Transnational Programme i RER financiranog u sklopu IAEA Technical Cooperation Programme u svrhu istraživanja podrijetla termalne vode i utvrđivanje eventualnih promjena na kemijski i izotopni sastav vode kao posljedice eksploatacije.



Slika 12. Današnji izgled bušotine Vuč-2

4.3. Bušotina Toplice Sveti Martin (TSM)

Tijekom 2014. godine izbušena je bušotina Toplice Sveti Martin (TSM) s ciljem pridobivanja dostatne količine podzemne vode za potrebe toplica. Bušotina je nabušila naslage gornjeg panona te je dno na 200 m (slika 13). Unutar nabušenog paketa naslaga izmjenjuju se intervali slabopropusnih i/ili nepropusnih naslaga s intervalima propusnih naslaga (slika 13). Karotažna mjerenja u bušotini su ukazala na relativno propusne vodonosne horizonte u dubinskim intervalima: 6-12 m; 120-145 m; 156-178 m; 181-196 m. Isto tako u sklopu ovih radova načinjeno je pokusno crpljenje te su odrađeni hidraulički parametri vodonosnika i to koeficijent transmisivnosti $5,52 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ i hidrauličke vodljivosti $8,12 \times 10^{-8} \text{ m/s}$, a izdašnost je iznosila 1,25 L/s. Tijekom crpljenja pojavili su se mjehurići plina. Danas, bušotina samoizljeva po principu "gas-lifta". Od 2018 godine do danas uzimaju se uzorci za izotopne i kemijske analize u sklopu projekata DARLINGE financiranog u sklopu Interreg Danube Transnational Programme i RER financiranog u sklopu IAEA Technical Cooperation Programme u svrhu istraživanja utvrđivanja podrijetla podzemne vode (slika 14). Temperatura vode varira od 14 do 17 °C.



Slika 13. Tehnički izgled bušotine TSM prema izvještaju Trutin & Vlašić, 2014.



Slika 14. Uzorkovanje bušotine 2018. godine

5. Geokemijske značajke termalnih voda

U svijetu i u Hrvatskoj postoje brojne definicije termalne vode. Okvirna direktiva o vodama kaže da su sve podzemne vode čija je temperatura veća od 20°C termalne vode. Prema Kovačić & Perica, 1998. termalne 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 je u ovom slučaju za donju granicu subtermalne vode uzeta u obzir srednja godišnja temperatura zraka područje prihranjivanja vodonosnika.

U ovoj studiji je korištena modificirana podjela temeljena na znanstvenim definicijama i energetske iskoristivosti prema Marković i dr. 2020. 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

Mineralne vode su definirane kao podzemne vode čija je mineralizacija veća od 1g/L i/ili sadržavaju visoke koncentracije jednog ili više elementa koji su otopljeni u vodi npr. jod, fluor, amonijak itd (Tušar, 1998).

Za potrebe definiranja geokemijskih značajki termalnih i subtermalnih voda na području toplica korištene su povijesne analize voda analiza Miholić, 1930 u Miholić & Trauner, 1952; analize u sklopu projekta DARLINGe 2017-2019; analize u sklopu projekta RER 2021-2024; analize u sklopu elaborata Milenić i dr., 2014 te u sklopu provedbe ovog projekta provedeno je jedno uzorkovanje.

Analize u sklopu projekata DARLINGe 2017-2019 i RER 2021-2024 te u sklopu ovog projekta načinjene su u Hidrokemijskom laboratoriju Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju – Hrvatskog geološkog instituta. Uzorci su uzeti u različitim hidrološkim uvjetima. Uzeti su uzorci voda s bušotina Vuč-2 i TMS, a zbog tehničkih razloga nije se moglo pristupiti bušotini E-17 da

se uzme uzorak. Naime bušotina je nakon rekonstrukcije termalnog kupališta zatvorena u podu kupališta. Prije uzimanja uzoraka "in situ" su izmjereni: električna vodljivost (EC), temperatura vode (T), pH vode i sadržaj otopljenog kisika u vodi (O₂) pomoću multiparametranske sonde tvrtke WTW. Sadržaj hidrogenkarbonatnih iona mjereni su na terenu pomoću digitalnog titratora tvrtke HACH sa sulfatnom kiselinom i kiselinsko-baznim indikatorima phenolphthalein i bromocresol green-methyl red. Uzorci uzimani za analize osnovnih kationa i aniona te otopljenog organskog ugljika uzeti su se u čiste plastične boce zapremnine 500 ml, a uzorci za analizu stabilnih izotopa kisika i vodika uzeti su u plastične boce od 50 ml.

Za određivanje koncentracija osnovnih kationa i aniona (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Li⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, F⁻, Br⁻) u uzorkovanim termomineralnim i subtermalnim vodama korištena je metoda ionske kromatografija. Mjerenje je izvršeno na Dionexov sustav ICS-6000 (slika 15).



Slika 15. Ionski kromatograf Dionex ICS-6000

Ionski kromatograf tvrtke Dionex istovremeno mjeri anione i katione u injektiranom uzorku vode. Prilikom izvođenja ove analize potrebne su male količine uzorka (cca 4 ml). Uzorak se najprije filtrira kroz filter 0.20 µm, zatim je potrebno izmjeriti odabranu standardnu otopinu pa uzorke te opet standardnu otopinu. Tehnika se temelji na separaciji iona na sintetskim ionskim izmjenjivačima (u kolonama), nakon čega slijedi detekcija ispitivanih iona detektorom.

Koncentracije sulfida i silicijevog oksida mjerene su kolorimetrijskom metodom na spektrofotometru DR 3900 tvrtke HACH. Spektrofotometar je uređaj koji se sastoji od izvora svjetla, monokromatora i detektora. Pri mjerenju zraka svjetlosti prolazi kroz uzorak te se mjeri intenzitet svjetla koje je prošlo kroz analizirani uzorak i uspoređuje se s intenzitetom

upadnog svjetla. Na monokromatoru je moguće mijenjati valnu duljinu zračenja koje se propušta, pa se za svaki uzorak uređaj treba namjestiti na zadanu valnu duljinu ovisno o tome što se ispituje. Bilježi se intenzitet svjetla koje je uzorak reflektirao, apsorbirao ili propustio, ovisno o valnoj duljini. Uzorci su pripremljeni u kivetama po 10 ml, a u jednoj od kiveta se nalazi destilirana voda. Svakom uzorku dodane su potrebne kemikalije prema postupcima opisanim u uputama (HACH, 1998). Prilikom pripreme uzoraka za analize korištene su kemikalije i standardne otopine koje proizvodi tvrtka HACH.

Za određivanje omjera stabilnih izotopa kisika i vodika u vodi korišten je analizator za stabilne izotope Picarro L2130-i (slika 16). Prilikom izvođenja ove analize potrebne su vrlo male količine uzorka (cca 2 ml). Tijekom mjerenja se pomoću lasera pobuđuju elektroni u atomima te se mjerenjem razlike u energiji određuje omjer izotopa.



Slika 16. Analizator za stabilne izotope Picarro L2130-i

Otopljeni organski ugljik (DOC) mjereno je pomoću analizatora za određivanje ugljika u tekućim uzorcima QbD1200 tvrtke HACH (slika 17). Analizator pomoću kiseline H_3PO_4 zakiseli uzorak pretvarajući anorganski ugljik u CO_2 te mjeri TIC. Zatim se u prisutnosti UV zračenja i snažnog oksidansa $(NH_4)_2S_2O_8$ organski ugljik oksidira u ugljični dioksid te se pomoću nedisperzivnog infracrvenog detektora mjeri sav CO_2 . Uređaj detektira CO_2 signal i prikazuje ga u obliku krivulje. Područje ispod krivulje predstavlja vrijednosti DOC. Za određivanje otopljenog organskog ugljika (DOC) uzorak se filtrira kroz filtar 0.20 μm .



Slika 17. Analizator za određivanje ugljika u tekućim uzorcima s automatskim uzorkivačem

Rezultati mjerenja

Srednje vrijednosti (od ukupno 20 mjerenja) pojedino izmjerenih parametara dani su u tablici 1. Za bušotinu E-17 korištena je samo jedna stara analiza koja se iskoristila za određivanje kemijskog tipa voda te dan prikaz u izvornom obliku Miholić, 1930 u Miholić & Trauner, 1952.

Tablica 1. Rezultati mjerenja fizikalno-kemijskih, kemijskih i izotopnih parametara – srednje vrijednosti

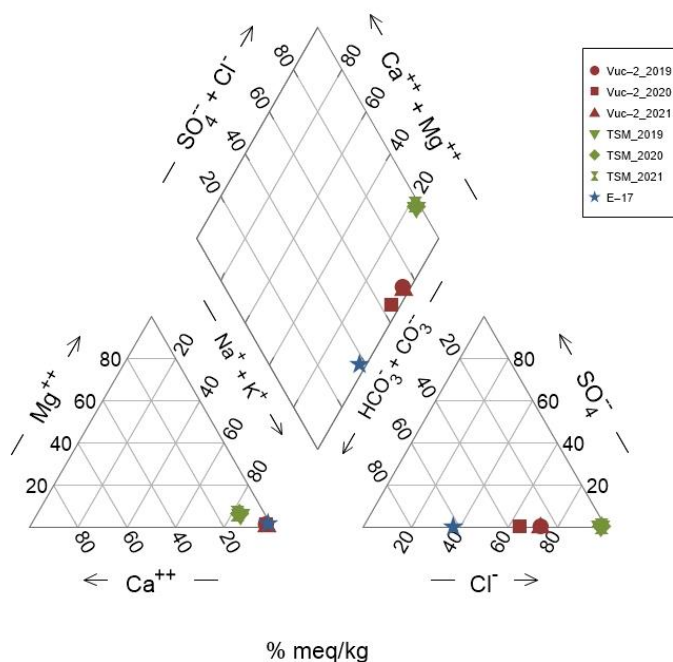
	Vuč-2	TSM		Vuč-2	TSM
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	10805	5255	Mg ²⁺ (mg/L)	16,9	38,7
T (°C)	36,3	15,1	Na ⁺ (mg/L)	3057,6	1477,7
pH	6,9	6,8	K ⁺ (mg/L)	75,6	33,4
O ₂ (mg/l)	0	0	DOC (mg/L)	3,0	29,98
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	4766	3340	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-10,12	-11,15
NH ₄ ⁺ (mg/L)	15,8	11,7	δD (‰)	-71,96	-76,94
Cl ⁻ (mg/L)	2853,3	556,4	S ²⁻ ($\mu\text{g}/\text{L}$)	123,30	53,40
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4,2	3,6	F ⁻ (mg/L)	4,17	1,37
NO ₃ ⁻ (mg/L)	23,2	15,8	Li ⁺ (mg/L)	2,25	1,41
SiO ₂ (mg/L)	24,7	22,1	Br ⁻ (mg/L)	0,66	<0,01
Ca ²⁺ (mg/L)	52,3	102,2	I ⁻ (mg/L)	5,81	<0,01

Tablica 2. Rezultati fizikalno-kemijskih i kemijskih parametara vode bušotine E-17

Analiza (S. Miholić g. 1930.; Glasnik hem. društva Jugosl., 5, 155 (1934)).				
Spec. težina: 1.0070 (kod 0°/0°C) Temperatura: 33.4°C				
1 kg vode sadržava:				Preračunano u postotcima krute tvari
jona:	grama:	mili-mola:	milivala:	
Kationa:				
Natrija (Na ⁺)	2.464	107.1	107.1	Na 39.01
Kalija (K ⁺)	0.07442	1.903	1.903	K 1.18
Amonija (NH ₄ ⁺)	0.02219	1.230	1.230	NH ₄ 0.35
Kalcija (Ca ⁺⁺)	0.06165	1.539	3.077	Ca 0.98
Magnezija (Mg ⁺⁺)	0.02392	0.984	1.967	Mg 0.38
Aniona:				
Hlora (Cl ⁻)	1.146	32.33	115.3	Cl 18.15
Broma (Br ⁻)	0.000857	0.014	32.33	Br 0.01
Joda (J ⁻)	0.00182	0.011	0.014	J 0.03
Hidrokarbonata (HCO ₃ ⁻)	5.061	82.95	0.011	CO ₂ 39.40
Koloidalno otopljenih oksida Silicijevog oksida (SiO ₂)	0.02891	0.479	82.95	SiO ₂ 0.46
Aluminijevog oksida (Al ₂ O ₃)	0.00203	0.020	115.3	Al ₂ O ₃ 0.03
Zeljeznog oksida (Fe ₂ O ₃)	0.00126	0.008		Fe ₂ O ₃ 0.02
UKUPNO:	8.888	228.6		100.00
Hidrokarbonati preračunani u karbonate:	6.315			Salinitet (u 1000 dijelova vode): 6.315
Isparni preostatak:	6.123			
Sulfatna kontrola:				
Računom:	8.135			
Nadeno analizom:	7.851			

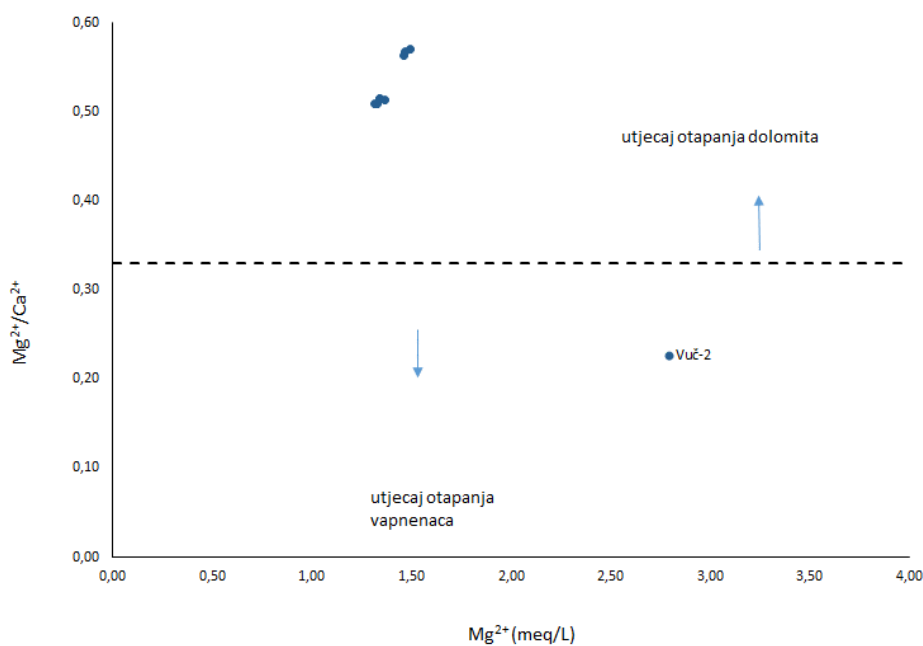
Voda bušotine Vuč-2 ima dvostruko više otopljenih tvari od vode iz bušotine TSM jer EC vode iz Vuč-2 je nešto više od 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dok EC vode iz TSM je oko 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tablica 1). U prijašnjim dostupnim mjerenjima temperature vode Vuč-2 je bila iskaza oko 35°C dok u zadnjih dvije godine opažanja temperatura vode je iznad 36°C. Temperatura vode u bušotini TSM varira od 14,2 do 17°C ovisno o hidrološkim uvjetima što upućuje da proslojci gline i nisu toliko slabopropusni te ukazuje na miješanje "hladne" i termalne vode. Obe vode ne sadrže otopljeni kisik (tablica 1). Voda iz bušotine Vuč-2 ima više koncentracije hidrogenkarbonatnih iona, amonijaka, klorida, nitrata, natrija, kalija, sulfida, fluorida, litija u odnosu na vodu TSM. Dok voda iz TSM bušotine sadržava više kalcija, magnezija i otopljenog organskog ugljika (tablica 1). Također voda bušotine TSM ne sadržava jod dok u vodi Vuč-2 joda ima u visokim koncentracijama.

Iz Piperovog dijagrama vidljivo je stratificiranje voda po hidrokemijskom facijesu (slika 18). Voda iz bušotine E-17 pripada Na-HCO₃Cl facijesu, a voda iz bušotine Vuč-2 Na-ClHCO₃ dok voda iz bušotine TSM Na-Cl facijesu (slika 18). Hidrokemijski facijes je posljedica otapanja minerala stijena koje izgrađuju vodonosnike i geokemijskih procesa koji se odvijaju unutar vodonosnika.



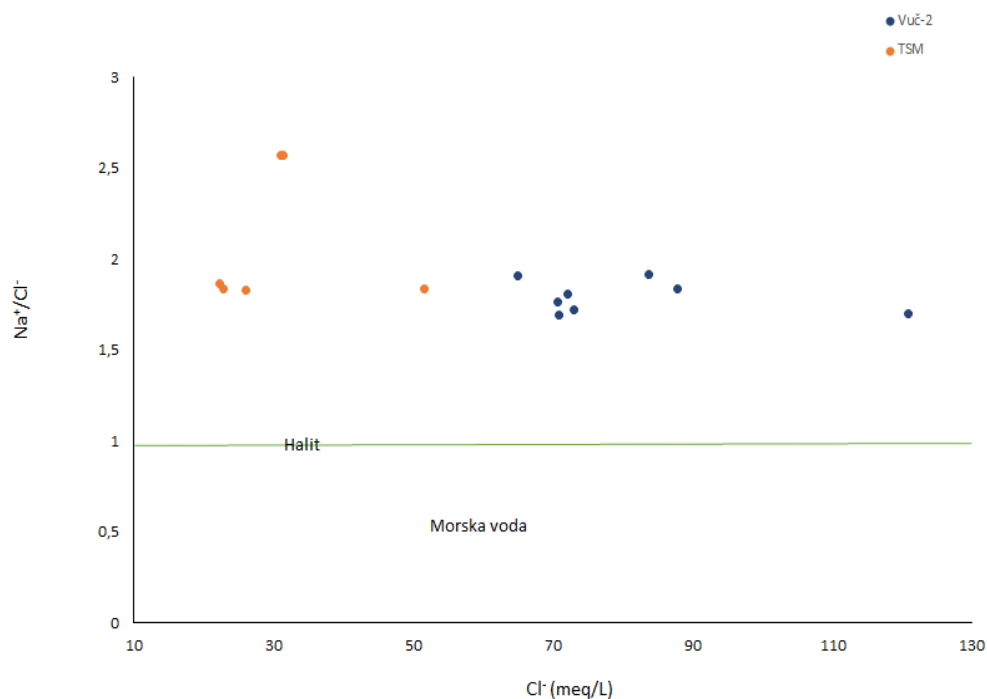
Slika 18. Piperov dijagram uzorkovanih voda Vuč-2 i TSM te E-17

Premda je bušotina Vuč-2 nabušila biogene karbonate (vapnenca) iz omjera Mg^{2+}/Ca^{2+} vidljivo je dominantno otapanje dolomitne karbonatne faze (slika 19).



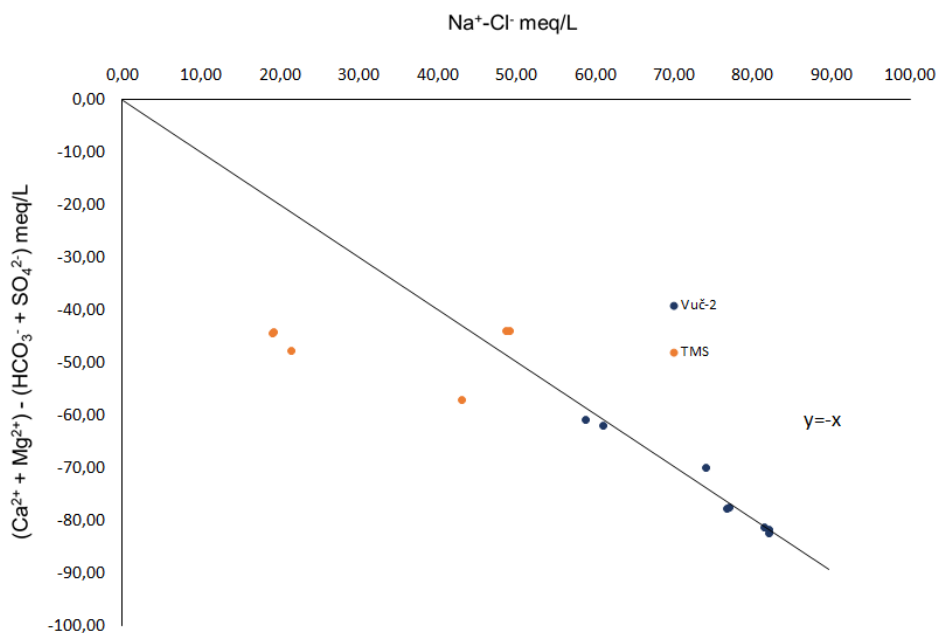
Slika 19. Molarni omjer Mg^{2+}/Ca^{2+} vs Mg^{2+} u termalnoj vodi Vuč-2

Uspoređujući s odnose Na^+/Cl^- vs Cl^- vidljivo je da u obje bušotine Vuč-2 i TSM za visoke koncentracije natrija i klorida nema utjecaja otapanje halita niti da je riječ o "zarobljenoj" staroj morskoj vodi već je posljedica trošenja silikatnih minerala koji izgrađuju vodonosike (slika 20). Isto tako, kao u slučaju Piperovog dijagrama vidi da je riječ od dva različita vodonosna sustava.



Slika 20. Molarni omjer Na^+/Cl^- vs Cl^- u termalnoj vodi Vuč-2 i subtermalnoj vodi TSM

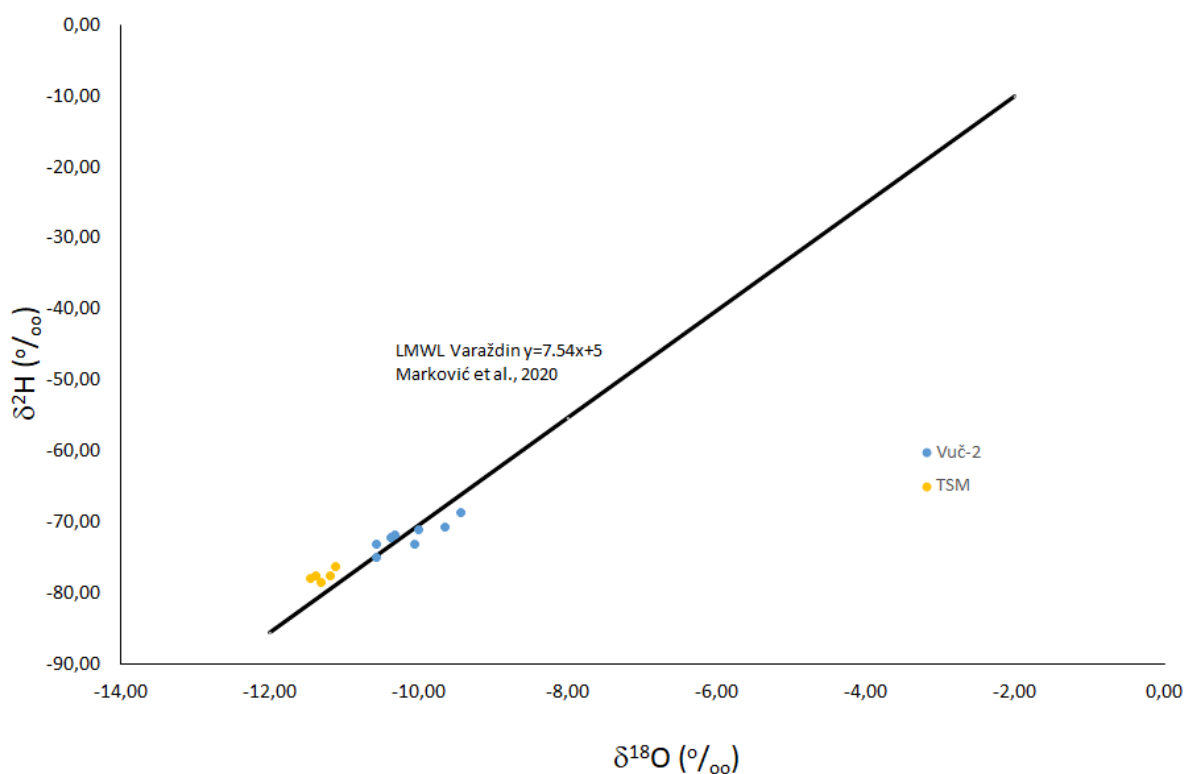
Nadalje, iz slike 21 vidljivo je veliki utjecaj kationske izmjene u vodi Vuč-2 koja ima veliki utjecaj na formiranje konačnog kemijskog sastava vode jer se izmjerene vrijednosti omjera nalaze smještene duž pravca kationske izmjene koji glasi $y=-x$.



Slika 21. Utjecaj kationske izmjene na kemizam motrenih voda

Također, vode iz obje bušotina je u kontaktu s ugljikovodicima (naftom i plinom). U vodi bušotine TSM vidljivi je nafta. Nažalost zbog ograničenih financijskih sredstava nije analizirana. Isto tako, prisutan je zemni plin. Metan je prisutan u Vuč-2 (Milenić i dr., 2014). od drugih plinova prisutan je CO₂ i N₂ zbog čega je u vodi Vuč-2 izmjerene povišene koncentracije nitrata i amonijaka. Naime uslijed nitrificirajućih procesa uz prisutnost bakterija dolazi do formiranja amonijak i nitratnog oblika dušika.

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 22) jer su vrijednosti smještene oko nje. Vrijednosti voda TSM imaju nešto negativnije vrijednosti u odnosu na vode Vuč-2 što upućuje na prihranjivanje vodosnika u hladnijim periodima odnosno kada se uspoređi s termalnim vodama iz istih vodonosika Slovenije i Mađarske (Rman, 2016; Rman i dr., 2016; Rman i dr., 2016) vidljivo je da su vrijednosti vrlo slične što upućuju da su vode u podzemlje infiltrirane tijekom pleistocena. U vodama Vuč-2 mjerenja je aktivnost ugljika-14 te je utvrđeno da je nema. Zbog vremena poluraspada izotopa ¹⁴C, ($T_{1/2} = 5730 \pm 40$ godina), moguće je izračunati starost vode do 40 000 godina, a obzirom da je nema može se zaključiti da je voda starija od 40 000 godina. Nadalje, vrijednosti vode Vuč-2 su ili na liniji ili blago pomaknute u desno što ukazuje na izmjenu sa stijenom što je već dokazano iz osnovnih kemijskih pokazatelja. U vodi bušotine TSM aktivnost ¹⁴C nije mjerena.



Slika 22. Raspodjela stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u motrenim vodama

Također je izračunata je temperature u vodosniku pomoću geotermometara. U obzir su uzeti i silicijski i ionski, međutim nakon razmatranja rezultata uočeno je da zbog geokemijskih procesa koji vladaju u oba vodosnika, rezultati ionskog izračuna se mogu zanemareni jer daju prevelike temperature koje su realno nemoguće. Vrijednosti izračunate za kalcedon za temperature manje od 150°C prema Fournier, 1977 dale su slijedeće vrijednosti: i) temperatura u vodosniku koji zahvaća Vuč-2 kreće se od 41 do 46°C, a u ii) vodosniku koji zahvaća TSM kreće se od 25 do 32°C. Dobivene temperature su realne obzirom na dobivene temperature tijekom provedenih istražnih mjerenja u bušotinama. Stoga je moguće očekivati više temperature u vodosniku koji zahvaća TSM ali i Vuč-2. No, niti jedno istraživanje dosada nije utvrdilo miješanja voda pojedinih vodonosnih horizonata različitih temperatura koje utječe najvjerojatnije na konačnu temperaturu vode.

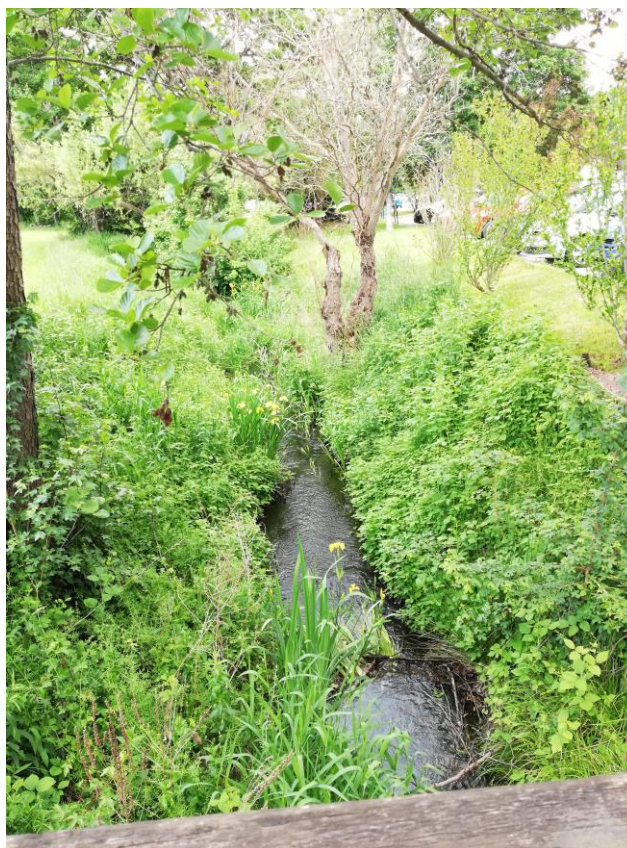
Prema temperaturi vode, voda Vuč-2 definirana je kao termalna voda dok voda bušotine TSM subtermalna. Obje bušotine zahvaćaju vodu visoke mineralizacije te su ujedno i mineralne vode. Isto tako, voda bušotine TSM obzirom na svoja kemijska svojstva i sadržaj nafte mogla bi se koristiti u balneološke svrhe.

6. Današnje korištenje termalne vode i njezino zbrinjavanje

Trenutno se od tri gore opisane bušotine koristi samo jedna bušotina za potrebe termalnog kupališta. Toplice Sv. Martin na Muri imaju prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), dodijeljenu koncesija u iznosu 18.000 m³/godišnje s maksimalnom količinom crpljenja do 2 L/s za bušotinu Vuč-2 čiju termomineralnu vodu koriste se za punjenje bazena u termalnom kupalištu i grijanje bazenskog prostora ukupne površine od 203 m² (unutrašnji dio bazen, svlačionice, tuš prostor). Bušotina E-17 više se ne koristi i stavljena je u pričuveno stanje. Bušotina TSM također se ne koristi.

No, potrebe toplica za toplom vodom su puno veće, grijanje hotelskog, apartmanskog i restoranskog prostora te grijanje sanitarne tople vode zahtjeva veću količinu tople vode. Za ove potrebe instaliranu su dva kotla jedan toplinske snage 460 kW čija maksimalna radna temperatura iznosi 90 °C, a drugi 600-800 kW čija maksimalna radna temperatura iznosi 110 °C, a koriste fosilna goriva.

Otpadna termomineralna voda nakon iskorištenja se pročišćava odnosno prvo se neutralizira te se provodi kroz separator, a nakon toga dovodi do bio rotora i upušta u potok. Ova se voda u bio rotoru zajedno miješa s otpadnom vodom hotela. Obzirom da se voda pročišćava pa se upušta u potok, nema negativan utjecaj na okoliš (slika 23).



Slika 23. Potok u koji su upušta pročišćena iskorištena termomineralna i otpadna voda

7. Preporuke i zaključna promišljanja

Na području toplica se nalaze tri bušotine Vuč-2, E-17 i TSM. Sve tri bušotine su nabušile termalne vodonosnike s time da voda bušotine TSM ima najnižu temperaturu te je definirana kao subtermalna voda. Vode svih bušotina imaju mineralizaciju preko 1 g/L, ali i visoke koncentracije pojedinih specifičnih elemenata pa su definirane kao mineralne vode. Osim toga, voda bušotine TSM sadrži naftu. Voda iz bušotine E-17 pripada Na-HCO₃Cl facijesu, a voda iz bušotine Vuč-2 Na-ClHCO₃ dok voda iz bušotine TSM Na-Cl facijesu

Tijekom istraživanja ugljikovodika bušotine E-17 i Vuč-2 su nabušile termalne vodonosnike. Bušotina E-17 se koristila prva u balneološke svrhe od sredine 19-tog stoljeća do 2014. kada počinjenje intenzivno korištenje termomineralne vode iz bušotine Vuč-2. TSM se za sada ne koristi, a izbušena je 2014.godine. Tijekom istraživanja u svrhu povećanja izdašnosti bušotina Vuč-2 i E-17 utvrdila se njihova međusobna hidraulička povezanost.

Termomineralna voda se koristi samo za punjene bazena i grijanje bazenskog prostora termalnog kupališta. Otpadna voda se nakon korištenja pročišćava i upušta u lokalni potok.

Toplice predstavljaju pozitivan utjecaj na lokalnu sredinu iz više razloga: i) zapošljavanje lokalnog stanovništva; ii) stvaranje tržišne prilike za lokalne OPG-ove; iii) korištenje obnovljivog izvora energije; iv) smanjivanje korištenja fosilnih goriva.

Preporuke

Za poboljšanje korištenja termalne i zbrinjavanja otpadne termalne vode potrebno je u skoroj budućnosti načiniti sljedeće korake:

- Uspostaviti praćenje razina i temperature termomineralne vode u bušotini Vuč-2 pomoću automatskih mjerača – zbog utvrđivanja veze između pojedinih termalnih vodonosnih horizonata koji imaju različite temperature vode
- Otpadnu termalnu vodu nakon korištenja i pročišćavanja ponovo utisnuti u podzemlje kako bi se osigurala količina za buduća korištenja obzirom da je vrijeme obnavljanje s točke današnjeg gledišta jako dugo tj. nema ga. Kao utisna bušotina mogla bi se iskoristiti bušotina E-17, ali prije odluke je potrebno provesti dodatna istraživanja (pokusno crpljenje s praćenjem razina/tlaka i temperatura u sve tri bušotine, snimanje bušotina, dodatna geofizička mjerenja, izotopne i kemijske analize).
- Iskoristiti vodu bušotine TSM u balneološke svrhe obzirom da sadržava naftu. Dodatna ponuda bi zainteresirala goste. Toplice u okruženju koje koriste vodu iz ovakvih tipova vodonosnika su popularnije od onih koje koriste "običnu" termomineralnu vodu.
- Načiniti duže vremensko pokusno crpljenje bušotine TSM u svrhu utvrđivanja temperature vode i da li postoji povezanost s preostale dvije bušotine

- Za neku malo dalju budućnost ovisno o financijskim mogućnostima...obzirom da su potrebe kompleksa za energijom puno veće nego što postojeće bušotine osiguravaju, bilo bi preporučljivo uzeti u obzir činjenicu da "samo" 1000 m dublje od dubine postojeće bušotine Vuč-2 nalazi se termalni karbonati vodonosik čija temperatura vode varira od 116 do 130°C ovisno o lokalitetu unutar vodonosnika. Zahvatom ovog vodonosika, osigurala bi se energetska neovisnost kompleksa o fosilnim gorivima i osigurala bolja samoodrživa zelena energija iz obnovljivih izvora – termalni vodonosnik. Naravno, uz proizvodnju bušotinu bilo bi potrebno osigurati i utisnu bušotinu u koju bi se utisnula iskorištena termalna voda.

Literatura:

DARLINGE <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge>

Jelen, B., Rifelj, H., Bavec, M. & Rajver, D. 2006: Opredelitev dosedanjega konceptualnega geološkega modela Murske depresije = Definition of current conceptual geological model of the Mura Depression (in Slovenian). Ljubljana, GeoZS, Archives GeoZS

Koren, Ž. i suradnici (2017): Razvojna strategija Međimurske županije do 2020. Strateška studija utjecaja na okoliš. OIKON, Zagreb.

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

Kraljić, M (1998): Tehnološka analiza pridobivanja termomineralne vode u Vučkovcu. Mursko Središće

Marković, T., Sladović, Ž., Larva, O. Brkić, Ž. (2020): Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj. Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Marković, Tamara; Karlović, Igor; Perčec Tadić, Melita; Larva, Ozren Application of Stable Water Isotopes to Improve Conceptual Model of Alluvial Aquifer in the Varaždin Area // Water, 12 (2020), 2; 1-13 doi:10.3390/w12020379

Maros, G. Jelen, B., Lapanje A., Rifelj, H., Rižnar, I. & Trajanova, M. 2012: Summary report of the geological models, TRANSENERGY project. MFGI, Budapest. GeoZS, Ljubljana. GBA, Vienna. ŠGÚDŠ, Bratislava, <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>

Miholić, S. (1952): Kemijski sastav i svojstva mineralnih voda. Godišnjak Balneol.-klimat. inst. NR Hrvatske, 1, 7-18, Zagreb.

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

Milenić, D., Doroslovac, N., Dončev, B., Vranješ, A., Milanković, Đ., Savić, N. Jovanović, M. (2014): Hidrogeloška, geotermalna, hidrohemijska i balneološka istraživanjima u okviru hotelskog kompleksa "Spa & Sport Resort Golfer" u Toplicama Sveti Martin na Muri. Rudarsko-geološki fakulteta u Beogradu, Beograd.

Mrežna stranica <https://emedjimurje.net.hr/vijesti/drustvo/3006669/pogled-u-proslost-evo-kako-su-nekada-izgledale-terme-sveti-martin/>

Mrežna stranica LifeClass Terma Sveti Martin: www.termesvetimartin.com

Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EU

Rman, N. (2016). Hydrogeochemical and isotopic tracers for identification of seasonal and long-term over-exploitation of the Pleistocene thermal waters. Environ Monit Assess, 188:242, doi 10.1007/s10661-016-5250-2

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., Szócs, 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.

Šimunić, A. (ur.) (2008): Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske (geološka monografija), Hrvatski geološki institut, Zagreb poglavlje Marković, S. :Vučkovec (Toplice Sv. Martin u Međimurju) str.227-231.

Trutin, M. & Vlašić, I. (2014): Izrada istražno-eksploatacijskog zdenca na lokaciji Toplice Sveti Martin. FIL.B.IS. projekt d.o.o, Zagreb

Tušar, B. (1998): Zaštita kakvoće mineralnih voda // Hrvatske vode : časopis za vodno gospodarstvo, 6, 25; 411-415