

Strokovna pomoč pri oceni možnosti inštalacije toplotne črpalke 1 MW in oceni izvedljivosti reinjekcije v Thermani d.d. Laško

Končno poročilo



Ljubljana, maj 2023

Naročnik: Thermana d.d., Zdraviliška c. 6, 3270 Laško

Za naročnika: g. Matej Leskovšek (matej.leskovsek@thermana.si)

Izvajalec: GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE
Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

Št. naročilnice: 6-2023

Datum izdaje ponudbe: 13. februar 2023

Evidenčna številka: 631-134_2023

Število izvodov: 4

Naloga/Projekt: Strokovna pomoč pri oceni možnosti inštalacije toplotne črpalke 1 MW in oceni izvedljivosti reinjekcije v Thermani d.d. Laško

Avtorji: Marko Hötzl
mag. Andrej Lapanje, univ. dipl. inž. geol.
doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol.
Mateja Macut, mag. inž. geol.

Nosilec naloge: mag. Andrej Lapanje, univ. dipl. inž. geol.

Vodja organizacijske enote: dr. Sonja Cerar, univ. dipl. inž. geol.

Direktor: dr. Miloš Bavec, univ. dipl. inž. geol.



Vodno telo podzemne vode: 1009 Spodnji del Savinje do Sotle

Vodonosni sistem: 12532 Laško - Jurklošter

Vodonosnik: 3 vodonosnik - Globoki vodonosniki v karbonatnih kamninah (termalni)

Ključne besede: Vodni viri, podzemna voda, termalna voda, vrtina, reinjekcija, toplotna črpalka

Datum: Ljubljana, 26. maj 2023

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	HIDROGEOLOŠKE OSNOVE.....	1
2.1	ZGODOVINA.....	1
2.2	OBSEG VODONOSNEGA SISTEMA IN ZNAČAJ HIDRODINAMSKIH MEJ.....	4
2.3	OBJEKTI.....	7
2.4	SPREMEMBA PIEZOMETRIČNE GLADINE PODZEMNE VODE, POVZROČENE S ČRPANJEM.....	9
2.5	OBRATOVALNI MONITORING IN HIDROLOŠKE MERILNE POSTAJE.....	10
	<i>Obratovalni monitoring rabe termalne vode</i>	<i>10</i>
	<i>Meteorološka postaja Laško</i>	<i>10</i>
	<i>Hidrološka postaja Laško I – Savinja</i>	<i>10</i>
2.6	ANALIZA PODATKOV OBRATOVALNEGA MONITORINGA V OBDOBJU 2016 – 2022	11
3	OCENA MOŽNOSTI INŠTALACIJE TOPLOTNE ČRPALKE 1 MW V THERMANI D.D. LAŠKO	11
3.1	ANALIZA PODATKOV, PRIDOBLENIH MED ČRPALNIM POIZKUSOM NA K-2/95 V OBDOBJU 1.3. – 25.4.2023	12
3.1.1	<i>Izvedba črpalnega poizkusa na K-2/95.....</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Analiza hidrogeoloških meritev</i>	<i>13</i>
3.1.3	<i>Analiza izotopske sestave vode</i>	<i>16</i>
4	OCENA KAPACITETE GEOTERMALNEGA VODONOSNIKA V LAŠKEM	19
5	STROKOVNO MNENJE O IZVEDLJIVOSTI REINJEKCIJE V THERMANI D.D.	19
6	LITERATURA	20

1 UVOD

Laško leži ob spodnjem toku reke Savinje, ki deli Posavsko hribovje na zahodni in vzhodni del, kamor uvrščamo tudi Kozjansko. Posavsko hribovje spada v predalpski svet. Laško in njegova okolica spada v zahodni srednji del Slovenije, za katerega je značilen subpanonski zmerno celinski temperaturni režim. Srednja januarska temperatura se spusti malo pod 0 °C, srednja julijska temperatura ne doseže 20 °C. Na leto pade povprečno okrog 1169 mm padavin. Višje lege pokrivajo gozdovi, na nižjih planotah, vrhovih in prisojnih zložnejših rebrih so gozd marsikje posekali, na krčevinah nahajamo zaselke in samotne kmetije. Gozd obsega več kot polovico površja.

Telo podzemne vode Laško je na jugu območja naravnega iztoka termalne vode omejeno na površini z neprepustno mejo (meja med cordevolskim dolomitom in psevdofiljskimi klastičnimi kamninami). Od tu poteka meja proti severozahodu po prelomnem stiku, ob katerem je nadaljevanje cordevolskega dolomita proti zahodu prekinjeno. Na površini ta meja deluje kot neprepustna. Severno od Zdravilišča Laško je telo podzemne vode omejeno s strmim tektonskim stikom s karbonsko – permskimi klastičnimi kamninami, v smeri zahod – vzhod. Na vzhodu zajema telo podzemne vode ozko območje Huma in Žikarskega Brda, sestavljenega iz cordevolskega dolomita, ki je z vseh strani obdano z neprepustnimi kamninami. Telo podzemne vode Laško se v globino razširja v smeri proti osi Laške sinklinale, torej proti jugu, kjer meji s telesom podzemne vode Rimskih Toplic. Krovnino in talnino cordevolskega dolomita tvorijo slabo vodoprepustne kamnine Psevdofiljske formacije.

Thermana d.d. v Laškem pridobiva termalno vodo iz vrtin K-1/72 in K-2/95, iz globin med 120 m in 162-m, za kar je leta 2015 dobila tudi koncesijo (Uradni list RS, št. 84/15). Termalno vodo uporabljajo v balneološke namene v bazenih in kopelih, kot sanitarno vodo in za ogrevanje individualnih (posameznih) prostorov z uporabo izmenjevalcev toplote. Po uporabi se ohlajena termalna voda preko čistilne naprave izpušča Savinjo. V pogojih drage energije se je pojavila ideja, da bi del termalne vode, ki se uporablja le v energetske namene (termalni vodi se odvzame le toplota s pomočjo toplotnih črpalk) vračali nazaj v termalni vodonosnik. Pri tem se poraja vprašanje koliko termalne vode je na voljo in ali je izvedljivo toplotno izrabljeno odpadno termalno vodo vračati v vodonosnik na območju Zdravilišča.

2 HIDROGEOLOŠKE OSNOVE

2.1 Zgodovina

Termalni izviri v Laškem so znani že od rimskih časov naprej, o čemer pričajo številni arheološki ostanki na tem območju. Prve podatke o teh izvirih je podal Leonhard Thurneysen v delu »Von Kalten, Warmen Minerischen und Metallischen Wassern« iz leta 1572 (Lapanje in sod., 2005). Do leta 1965 so v zdravilišču izrabljali toplo vodo le iz naravnega izvira, ki so ga z leti večkrat obnovili in dogradili. Ker je od zajema izvira minilo že veliko časa, so ga poimenovali Staro zajetje.

Zajem laških termalnih izvirov omenjajo od 17. stoletja naprej. Kleinhaus (1860) piše, da so tople izvire takrat že dobro poznali in se v njih kopali. V tem obdobju naj bi tu stala lesena kopališka koča (Henn, 1862; Jelovšek, 2002). Zgodnje toplotne zgradbe so poplavne vode Savinje in Rečice zasule z rečnim nanosom, ki so kasneje padle v pozabo (Noe et al., 1891). Na tople vrelce so zadeli tudi na območju onstran današnje železnice, ko so leta 1770 kopali temelje za Zobinov mlin, kjer so kasneje postavili kopališko stavbo Mühlhof (Mlinski dvor). Vrelce so takoj spet zasuli.

Topli izviri so bili ponovno odkriti na začetku 19. stoletja, ko je mimo Laškega potujoč deželni (štabni) zdravnik dr. Riedl postal pozoren na tople izvire na desnem bregu reke Savinje pri Laškem. Dr. Riedl in tržani Laškega so poskrbeli za izkopavanja v bližini zliva Rečice v Savinjo. V rečnemrodu so izkopali precej kotanj. Tako so naleteli na toplo vodo s temperaturo 28 °R (35 °C), ki jo s tedanjimi preprostimi napravami niso znali zaščititi proti dotokom hladne vode iz Rečice in Savinje. Zaradi te pobude so laški

tržani v rečnemrodu izkopali veliko poglobitev, jo sami obložili z lesom in tako improviziran bazen uporabljali za kopanje. Seveda pa je nova poplava kmalu ponovno zasula ta bazen, čeprav so nato z manjšimi stroški in manjšim trudom omenjeno improvizirano kopališče ponovno izboljšali in ga uporabljali tudi nadalje.

Nadvojvoda Janez, pod čigar vodstvom se je leta 1816 gradila cesta proti Zidanem mostu in leta 1824 zgradil kamniti cestni most v Zidanem mostu, si je med svojim večkratnim bivanjem v Laškem ogledal tudi tople izvire, in se z dr. Riedlom pogovarjal o ideji, da bi tu postavili kopališče. Ker so izviri vreli na dan iz proda ne le na desnem rečnem bregu, temveč tudi v koritu in na levem bregu Savinje, se je pojavila bojazen, da bi z zajemom izvirov naleteli na nepremostljive ovire, zato se je Nadvojvodova ideja pokazala, kot šele v prihodnosti uresničljiva pobožna želja (Noe et al., 1891).

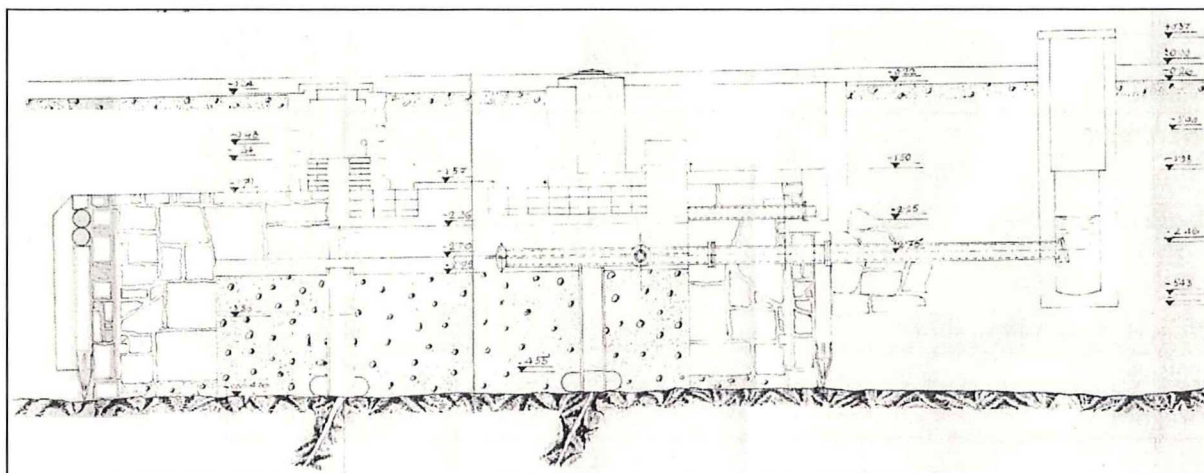
Okoli leta 1850 se je že po dokončanju Južne železnice pokazala posredna priložnost za izgradnjo toplic. Inž. Leopold Rödl je pregledal vse dotedanje znane razprave in mnenja in kmalu je pred njim stala odločitev, da bo svoje premoženje uporabil za postavitev toplic.

Na kontaktu med kvartarnim prodnim nanosom in dolomitom, to je na mestu naravnega iztoka iz termalnega sistema, so prvič zajeli termalno vodo leta 1852. V sami kamninski podlagi so naleteli na več izvirov tople vode, od katerih so zajeli le tri najmočnejše, ostale so zadelali z angleško cementno malto. Glavni izvir (Cesarjev izvir – Kaiserquelle) s temperaturo 31,2 °R (39 °C) je bil najmočnejši in v letu 1885 najtoplejši v Štajerski (Janisch, 1885). Francev izvir - Franzensquelle je imel temperaturo 29,5 °R (36,88 °C), Jožefov izvir – Josefsquelle pa 28 °R (35 °C). Oprema zajetja je bila dobro zamišljena. Izviri so bili zajeti z vertikalnimi jaški iz hrastovih desk, ki so segali do kamninske podlage in so bili pokriti z zvonastim lesenim pokrovom, ki je segal približno 1,5 m nad brežino Savinje. Jaški so bili nato obdani z utrjenim kamnitim vencem, ki izolira topli izvir. Ti trije jaški so zagotavljali komunikacijo z drugače povsem izoliranimi izviri tople vode, hkrati so predstavljali neke vrste varnostni ventil pred morebitnimi zelo visokimi poplavnimi vodami. Približno 5 metrov pod brežino reke Savinje se je topla voda zbirala v obložen rezervoar iz kamnitih kvadrov.

V letu 1922 je bilo zajetje predelano tako, da so bili jaški namesto iz hrastovih desk izvedeni kot betonski štirioglati stolpiči. Vrelca I in II sta se nahajala v vogalih betonskega jaška, medtem ko je bil vrelec III izven betonskega jaška. Termalna voda iz vrelca III je odtekala po litoželezni cevi premera 200 mm v zbiralni jašek, ki je bil nameščen v bližini vrelcev I in II. Od tu sta dve sesalki črpali termalno vodo v bazene in kadi. Sesalke je gonilo vodno kolo. Vsi jaški so bili pokriti z betonskimi ali kamnitimi pokrovi, ki so bili ob stiku z zidom zamazani s cementno malto. Betonski jašek okoli vrelcev I in II je bil izveden kasneje. Na vrelcih so bile vidne razpoke, ki so dopuščale onesnaženje izvirov. Do vrelcev tople vode je lahko zaradi razpok in slabega obrežnega nasipa prišla tudi voda iz Savinje, kadar je prestopila bregove.

Zaradi pogostih poplav in dotrajanosti zajetja so ga leta 1936 obnovili. Pri izvedbi novega zajetja toplih izvirov so najprej med mestom izvirov in Savinjo zgradili betonski obrežni zid, ki sega do skale. Za tem zidom je v smeri proti toplim izviro 1 m širok pas ilovice, ki sega tudi do skale. Šele, ko so bila ta dela gotova, so pričeli z izkopom. Najprej so Staro zajetje odprli ter izmerili začetno temperaturo 37,2 °C. Pod ploščo so bili zajeti trije vrelci, vsak zase ograjen. Pri obnovi zajetja so popolnoma razgalili dolomitno podlago v globini cca 5,2 m iz katere izvira termalna voda. Dolomit je bil ponekod krhek, drugje kompakten, ni pa bilo dolomitnega zdroba, na katerega so naleteli pri gradnji obrambnega zidu ob Savinji. Poleg treh vrelcev Starega zajetja so našli še štiri nove vrelce. Dne 3. 7. 1936 so v izkopu za pretočni jašek naleteli na močan izvir tople vode (vrelec V), tik poleg njega pa še manjši vrelec (vrelec VI), ki pa je povezan s prejšnjim. Ti na novo odkriti vrelci so le nadaljevanje vrelcev iz Starega zajetja. Vse manjše izvire so zabetonirali, ker so ugotovili, da so povezani med seboj. Najmočnejši je bil vrelec IV s povprečno temperaturo 35,1 °C. Izmerjen pretok je bil 20,8 l/s ob zelo visokem nivoju Savinje.

Naslednji dan, ko je Savinja močno upadla, je bil pretok le še 8,3 l/s (Volk, 1968).



Slika 1: Prerez A-B preko Starega zajetja (narisal Miran Gregorič, 1936)

Med samim potekom del so se odločili, da bodo zajeli vrele št. VII in IV ter en vrelec Starega zajetja (št. II), medtem ko sta vrele št. V in VI ostala v pretočnem jašku kot rezerva. Gradbeno jamo so okoli navedenih treh vrelecev so zazidali z betonskimi zidovi, same vrelece pa pokrili s kovinskim in betonskim zvonom iz katerega so napeljali cevi premer 35 cm v rezervoarje. V času gradnje novega zajetja leta 1936 je bil padec temperature termalne vode zelo močan (sprotno izčrpavanje dotekajoče vode). S tem je bila dana možnost hladni podzemni vodi, da se v večji meri meša s toplo vodo. Po prenehanju črpanja se je temperatura vode začela dvigati in je dosegla 36,5 °C, vendar je bila ta temperatura za 1 °C nižja kot pred sanacijo.

Aprila leta 1947 se je v Laškem zbrala strokovna komisija, ki naj bi ugotovila vzrok zimskemu in spomladanskemu padanju temperature tople vode v zdravilišču Laško, in ponudila ukrepe za njeno ponovno zvišanje. Stavbenik Gregorčič (1947) je podal mnenje, da je za znižanje temperature kriva povišana gladina podzemne vode (podtalnice), ki je povzročila večji pritisk na tople vrelece, zaradi česar se je večja količina podtalnice primešala topli vodi. Ker je podtalnica hladnejša, je naravno padla tudi temperatura tople vode. Po izjavi upravitelja kopališča Borisa Hartmana je padla temperatura tople vode na 31 °C, nato pa se je nekaj mesecev postopoma dvigovala, tako da je v času ogleda znašala 35,5 °C. Dnevno se je dvigala za približno 0,1 °C. Nekajkrat je bila topla voda tudi kalna. Dne 13. 4. 1947 je bilo tudi izmerjena relativna razlika med višino tople vode v zajetju in gladino reke Savinje. Izkazalo se je, da je višina tople vode 71 cm nad gladino reke Savinje.

Zdravilišče Laško je v času svojega dolgega obstoja vsaj od leta 1936 pa do poznih 50. let prejšnjega stoletja vodilo dnevno evidenco o temperaturi toplih vrelecev, temperaturi zraka in vodostaju Savinje. Na žalost je bila večina teh dnevnikov skupaj z drugimi pomembnimi dokumenti žrtev katastrofalnih poplav v letu 1990. Ohranjeni so le podatki za del leta 1940 in redki podatki od leta 1957 do leta 1966. Temperatura termalne vode je leta 1963 zaradi poškodb zajetja in spremenjenega režima hladne podzemne vode v produ po izgradnji betonskega zidu ob Savinji padla iz 36 °C na 34 °C (Volk, 1968). Ugotovljeno je bilo, da je temperatura termalne vode v zajetju v obdobju 10 let padla za okoli 2 °C. Med letoma 1957 in 1959 se je dvignila za 0,3 °C in dosegla 35,9 °C. To najvišjo temperaturo je voda dosegla še v letih 1960 in 1961. Spomladi 1962 je bil zgrajen obrambni zid ob Savinji, ki je verjeten vzrok za kasnejše stalno upadanje temperature. Ker je bil preprečeno dreniranje hladne podzemne vode v Savinjo, se je nivo podzemne vode, in hladna voda je po razpokah pričela dotekati v zajetje.

Preglednica 1: Pregled spreminjanja temperature vode v naravnem izviru (Starem zajetju).

Riedl	1818	35 °C	
Macher	1824	26,25 °C	
Wertheim	1860	37,5 °C	zajetje
		36,25 °C	bazen
Janisch	1885	39 °C	Cesarjev izvir
		36,88 °C	Francev izvir
		35 °C	Jožetov izvir
Noe, H., Schön-Perlshof	1891	38,1 °C	
Miholič	1925	37,4 °C	
Gregorič	1936	37,5 °C	pred obnovo
	1936	36,5 °C	po obnovi
Branc	1940	35,2 – 36,95 °C	
Bubanović in Mikšić	1939	36,1 °C	zajetje
		36 °C	bazen
Gregorič	1947	31,2 – 35,5 °C	
Miholič	1957	35,3 °C	
Nosan	1966	33,8 – 34,3 °C	
Jelovšek	1976	35,8 °C	
Nosan	1984	34 °C	
Matoz in Hötzl	1995	28,5 °C	

Zdravilišče Laško (Thermana d.d.) je postavljeno na lokaciji nekdanjih naravnih termalnih izvirov v prodnem nanosu Savinje. Termalna voda je naravno pritekala proti površju skozi prelomno cono in se razlivala v prod. Naravni iztok je bil že po arhivskih podatkih odvisen od višine vode v koritu reke Savinje je; višja je Savinja, večji je bil iztok termalne vode. Hladna podzemna voda, akumulirana v prodnem zasipu Savinje, vpliva na temperaturo izvirov termalne vode.

2.2 Obseg vodonosnega sistema in značaj hidrodinamskih mej

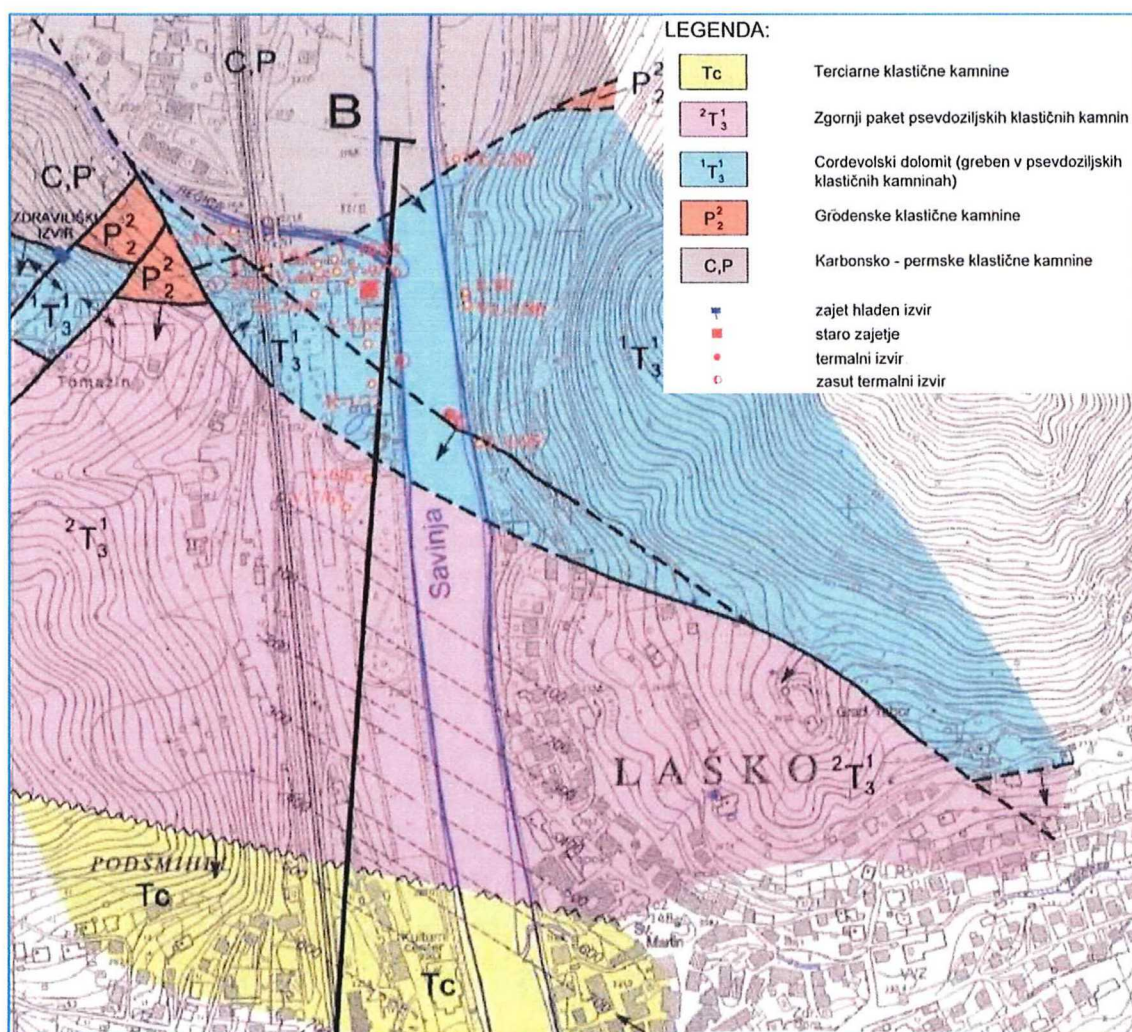
Polzaprt vodonosnik sestavljajo dolomitne plasti s primarno medzrnsko in sekundarno prelomno-razpoklinsko poroznostjo. Dolomitni greben je s severne strani omejen s subvertikalnim prelomom, ob katerem so cordevolske dolomitne kamnine v stiku z grōdenskimi in karbonsko-permskimi klastičnimi kamninami. Z južne strani je dolomit prav tako omejen s prelomom, ki vpada pod kotom 70° proti jugu, in ga ločuje od klastitov "Psevdoziljske formacije" (Lapanje, 1996).

Meteorna voda pronica skozi prepustne karbonatne kamnine in se med potjo segreva v toplotnem polju prevladujočega normalnega toplotnega toka. Globina cirkulacije termalne vode je ocenjena na približno 1.500 metrov. Voda nato preide v območje regionalnega toka in se dviguje skozi prelomno cono Letuškega preloma, ki ima relativno večjo prepustnost in zato nudi dvigajoči vodi manjši upor kakor nerazpokana kamnina. Prelomno-razpoklinska cona Letuškega preloma vpada pod kotom 70° – 80° proti jugozahodu (Slika 3). Termalni izviri v Laškem so ugotovljeni na absolutno najnižji točki površine dolomitnega vodonosnika, torej na območju, na katerega se vežejo največje potencialne razlike. Dodatni razlog za dvigovanje termalne vode na površje je izklinjanje vodonosnika, oziroma zmanjšanje preseka vodonosnika prav na območju zdravilišča v Laškem, kjer je pas dolomita širok le okrog 225 m. Na tem majhne območju so med leti 1965 in 1995 izvrtali 15 različno globokih raziskovalnih vrtin za zajem termalne vode. Vrtine, izvrtane na levem bregu Savinje, so navrtale hladno

podzemno vodo. Danes izteka termalna voda na območju Laškega skozi vrtini K-1/72 (Nosan in Mencej, 1973) in K-2/95 (Matoz in Hötzl, 1995b) s črpanjem, nekaj termalne vode pa izteka naravno skozi dno korita reke Savinje in skozi prodni nanos.

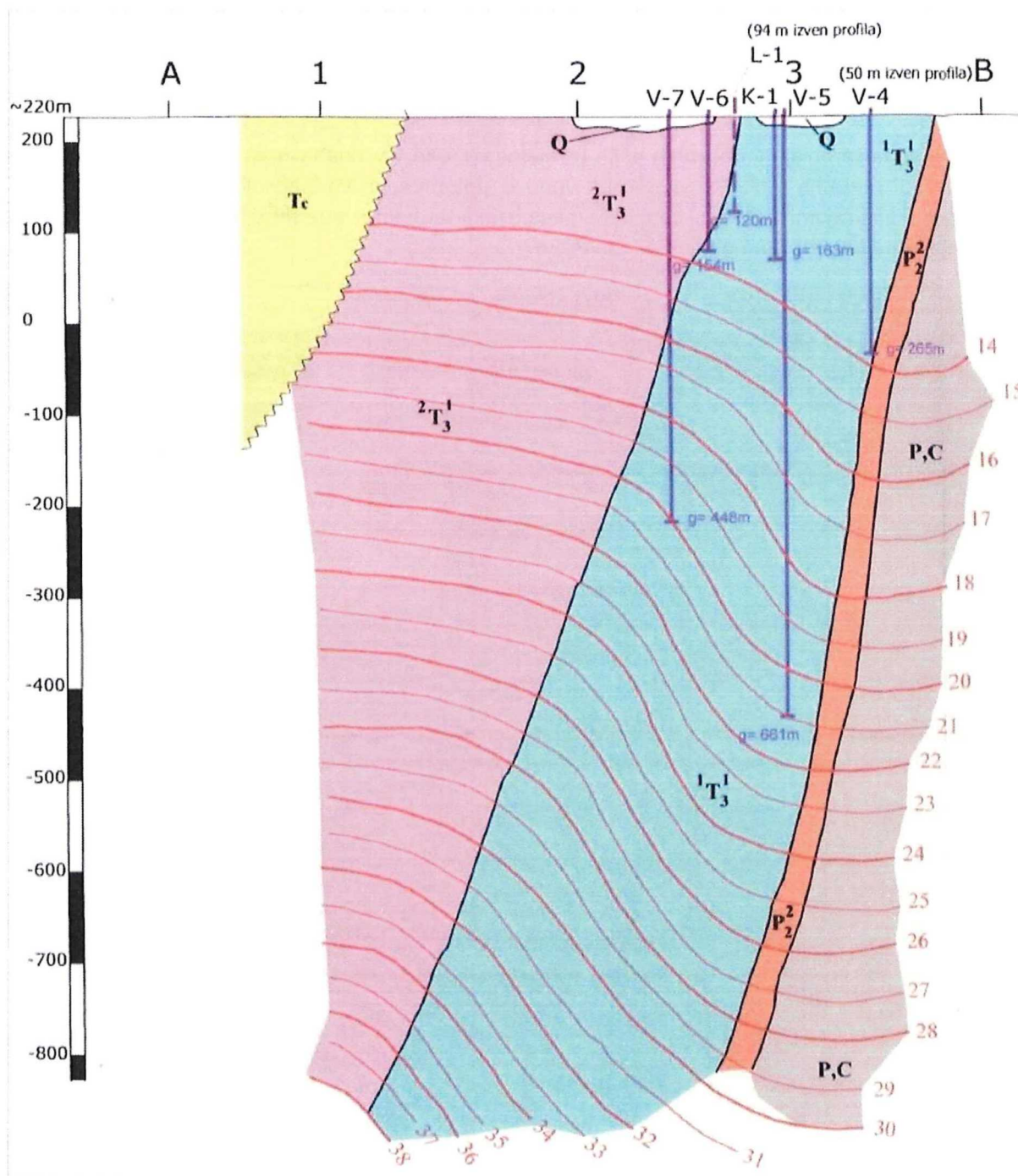
Skozi dolomitni masiv Huma pronica proti prelomni coni Letuškega preloma hladnejša meteorna voda, ki z vzhoda ohlaja termalni sistem. To je bilo najjasneje videti v vrtini V-5/65. V glavni prelomni coni na globini 126 m je bila temperatura vode 33,2 °C, globlje, izven glavne prelomne cone, pa je padla na 30 °C. Temperatura termalne vode v glavni termalni coni se giblje v razponu 33 - 38 °C, v obrobni delih vodonosnika pa 27 - 33 °C. Na severnem kontaktu dolomita s paleozojskimi skladi ležita na vzhodni in zahodni strani Savinje dva močnejša hladna izvira, oddaljena le nekaj sto metrov od termalnih izvirov, kar kaže, da je dolomitni vodonosnik termalne vode na vzhodu in zahodu izoliran od pritoka hladne vode, najverjetneje z dvema prelomoma (GeoZS, 2005).

Termalna voda se ohlaja v obrobni delih termalne cone in v vrtinah zaradi konduktivnih toplotnih izgub, zaradi mešanja s hladno meteorno vodo iz dolomitnega vodonosnika na vzhodu in zaradi mešanja s površinskimi vodami v coni naravnega izтока termalne vode ter v slabo izvedenih vrtinah. Ohlajanje je najbolj izraženo plitvo pod površjem.



Slika 2: Prikaz geološke zgradbe širšega območja Zdravilišča Thermana Laško (vir: GeoZS, 2005).

V geološkem času se je med horizontom podzemne vode v prodnem nanosu Savinje in termalnim vodonosnikom izoblikovalo določeno statično ravnotežje, ki je bilo odvisno od višine podzemne vode in Savinje (občutljivost na hidrološko stanje). Hladna podzemna voda je prodrla po razpokah do določene globine, kjer ni več imela vpliva na ohlajanje termalne vode. Ponekod se je v območju mešanja hladne in tople vode oblikovala geokemična bariera. Hladna voda vsebuje namreč veliko več železa kot topla. Zaradi zmanjšanja topnostnega produkta železa z višanjem temperature, se je iz hladne vode izločilo železo, ki tvori do 0,5 debele plasti limonita. Ta je fizično ločil hladno podzemno in termalno vodo.



Slika 3: Prikaz geološke zgradbe območja Zdravilišča Thermana Laško – geološki profil (vir: GeoZS, 2005).

V Zdravilišču Laško obstaja geotermalni vodonosnik v zgornjetriasnem cordevolskem grebenskem dolomitu, ki je zajet v globinah med 120 in 661 m. Geotermalni vodonosnik se razteza vertikalno ali subvertikalno v smeri proti jugu, približno do globine 1,5 km globoko. Na območju Zdravilišča Laško je širina dolomita, ki tvori termalni vodonosnik, okoli 225 m. Naravni termalni izviri nakazujejo arteški, vertikalni tok termalne vode iz globine navzgor ter se pojavljajo na preseku prelomne cone in prodnega nanosa Savinje.

Geotermalni vodonosnik v Laškem se napaja iz cordevolskega dolomitnega grebena, ki se vleče od zdravilišča v smeri od zahoda proti vzhodu preko Huma in Brda do Kanjuc. Podzemna voda tone počasi proti jugu pod neprepustne kamnine v jedru Laške sinklinale do globine vsaj 1,5 km, se pri tem ogreva ter nato po subvertikalni prelomni coni sorazmerno hitro doteka proti površju v na širšem območju Zdravilišča Laško.

2.3 Objekti

Sprva so zajemali izvire termalne vode, ki so bili na več mestih v bližini takratnega zdravilišča (Slika 4). Visoko na pobočju južno od Rečice nad ozkotirno rudniško železnico, ki so jo uporabljali za prevoz premoga iz Hude jame, se nahaja t. i. Zdraviliški izvir. Zajetje je poleg izvirov v Starem zajetju predstavljalo pomemben vir termalne vode, zato so ga izpopolnili v drugi polovici 19. stoletja. Pozneje so vse manjše izvire zaradi medsebojnega vpliva zabetonirali (Lapanje, 1996; Lapanje, 2005).

Leta 1965 je GeoZS pričel s hidrogeološkimi raziskavami v bližini Thermana Parka Laško. Namen teh raziskav je bil zajeti termalno vodo v globini, brez vplivov podzemne vode in Savinje. Na ta način so želeli doseči višjo temperaturo črpane vode. V prvi fazi je bilo izvrtanih pet vrtin, ki so jih imenovali V-1/65, V-2/65, V-3/65, V-4/65 in V-5/65. Njihov namen je bil razjasniti geološko strukturo območja, predvsem položaj spodnjetrojskega dolomita, ki je vodonosen. V-4/65 in V-5/65 sta bili izvrtani blizu starega zajetja. Gladina vode se zaradi vrtanja ni spremenila in je ostala ustaljena na koti okoli 3 m pod površjem. Med vrtanjem so naredili več črpalnih poizkusov (Lapanje in sod., 2005).



Pozneje so v letu 1972 naredili še vrtino K-1/72, leta 1976 vrtino V-9/76 (Preglednica 2), leta 1980 vrtine L/80, VL-1/80 in VL-2/80, 1985 vrtino V-10/80 in 1995 še vrtini L-1/95 in K-2/95. Pri urejanju term leta 2001 so strokovno opustili vrtine V-9/76, VL-1/80, VL-2/80 ter V-10/85. Danes v termah uporabljajo le vrtini K-1/72 in K-2/95, vrtina V-7/67 je opazovalni objekt (Slika 6) (Lapanje in sod., 2005). Vrtine K-1/72, K-2/95 in V-7/67 se nahajajo na desnem bregu Savinje v Laškem. Vrtina K-1/72 se nahaja v kleti zdraviliške stavbe, K-2/95 je v jašku pred termami, medtem ko je V-7/67 v parku južno od zdraviliških objektov. Vrtina K-2/95 se nahaja približno 115 m severozahodno od K-1/72, V-7/67 pa približno 86 m jugozahodno od K-1/72. V vrtinah K-1/72 in K-2/95 sta vgrajeni črpalke, medtem ko vrtina V-7/67 služi kot opazovalna vrtina in ni opremljena s črpalko. Vrtina V-7/67 ni bila nikoli v uporabi. Leta 2007 so jo mehansko očistili in aktivirali s komprimiranim zrakom, od 2016 naprej ima nadvišano ustje (Slika 4), ki preprečuje vdiranje vode iz Savinje. Od takrat se uporablja kot opazovalna vrtina (Matoz in Lapanje, 2007; Rman in Matoz, 2021).

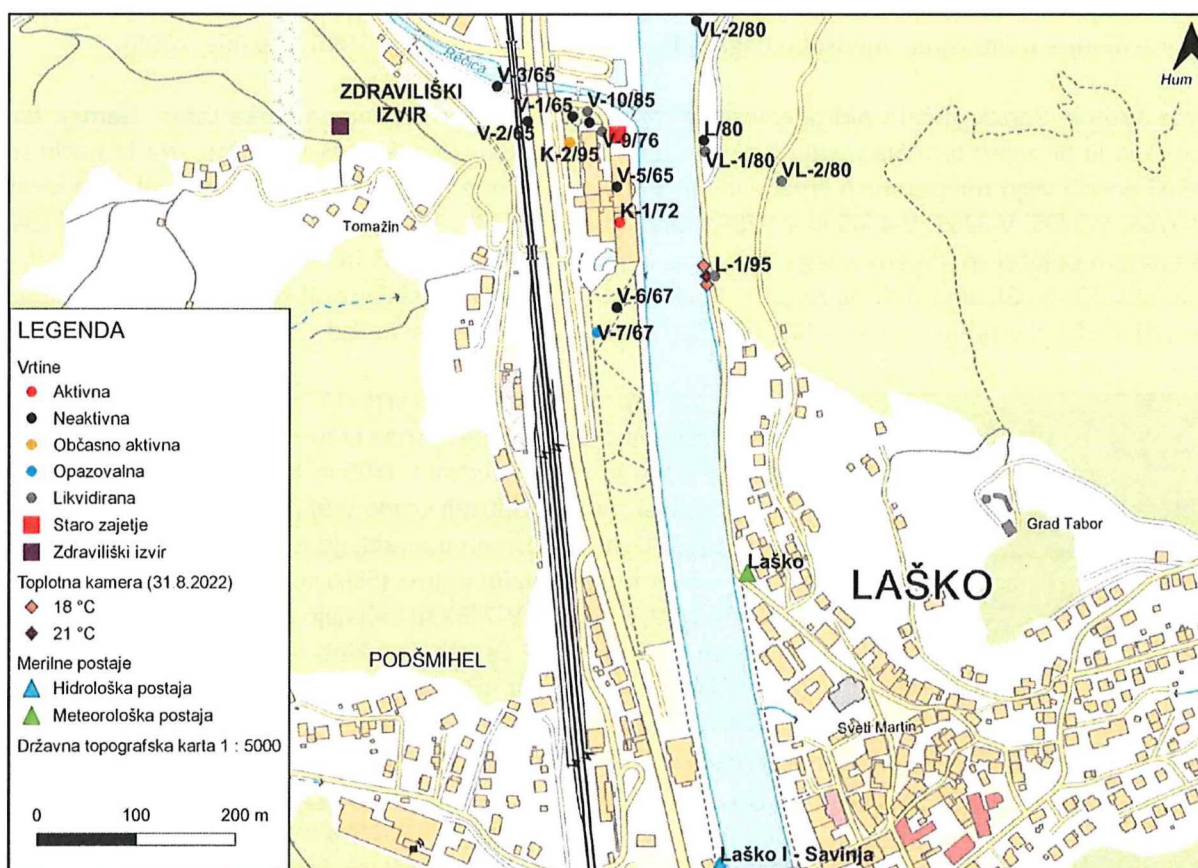
Slika 4: Vrtina V-7/67 z nadvišanim ustjem.

Od leta 2014 aktivno črpajo le iz vrtine K-1/72, medtem ko vrtino K-2/95 aktivirajo le v primeru okvare vrtine K-1/72 (Rman in Matoz, 2021). V letu 2017 so vrtino K-2/95 aktivirali v juniju, nato še za daljši

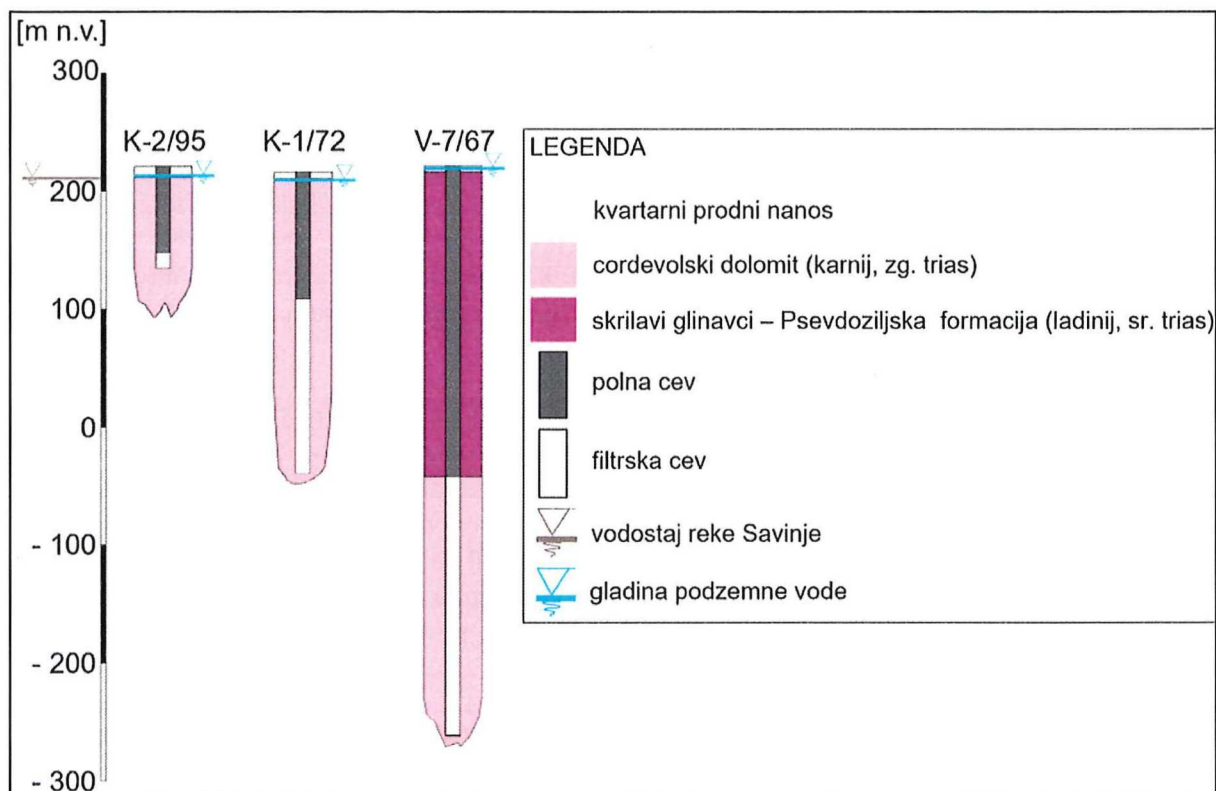
čas med septembrom in novembrom (Matoz in sod., 2018). Glede na količine podzemne vode, ki so jih opredelili v Uredbi o koncesiji, je trenutno za potrebe kopališča dovoljeno črpati do 200.000 m³/leto iz K-1/72, 140.000 m³/leto iz K-2/95 in 10.000 m³/leto iz V-7/67 (Uradni list RS, št. 84/15, 26/19, 20/22 in 44/22 – ZVO-2).

Preglednica 2: Kote tal, globine vrtin in odprti intervali vrtin s koncesijo za rabo termalne vode: K-1/72, K-2/95 in V-7/67 (prirejeno po: Rman in Matoz, 2021).

Ime vrtnice	Kota tal [m n. v.]	Globina [m]	Odpri interval [m pod ustjem]
K-1/72	216,09	163	110 – 163
K-2/95	221,87	100	74 – 95
V-7/67	220,05	448	162 – 448



Slika 5: Državna topografska karta v merilu 1:5000; Lokacija izvrtanih vrtin, zabeleženih in zaznanih izvirov termalne vode s pomočjo termokamere na območju Zdravilišča Laško ter hidrološka in meteorološka postaja. (Vir: Macut, M., 2022).



Slika 6: Shematski prikaz vrtin K-2/95, K-1/72 in V-7/67 in povprečnih gladin (Vir: Macut, M., 2022).

2.4 Sprememba piezometrične gladine podzemne vode, povzročene s črpanjem

V času raziskav z vrtanjem je bilo izvedenih precej črpalnih poskusov, ki so dokazali, da ima črpanje na eni izmed vrtin vpliv na zniževanje gladine podzemne vode na drugih vrtinah, kar pomeni, da vse vrtnice zajemajo vodo iz istega termalnega vodonosnika in so hidravlično povezane. Tipičen primer je izvedba črpalnega poskusa na vrtini L-1/95 v letu 1995 v trajanju 10 dni od 12. 2. do 21. 2. 1995 (Matoz in Hötzel, 1995a). Statični nivo na vrtini L-1/95 je bil 3,58 m pod ustjem vrtine. Med črpanjem vode iz vrtine L-1/95 je potekalo stalno neprekinjeno črpanje iz vrtine V-4/65 in Starega zajetja. Črpani sta bili dve količini $Q=32$ l/s in $Q=15$ l/s. Pri količini 32 l/s se je temperatura vode ustalila na 29,8 °C, pri črpani količini 15 l/s pa na 30,8 °C. Znižanje gladine termalne vode v vrtini L-1/95 je bilo pri $Q=32$ l/s precej veliko (12,51 m). Vpliv črpanja je bil merjen na piezometrih VL-1/80 (0,81 m) in V-7/67 (0,63 m) in na vrtini V-9/76 (0,34 m). Zaradi povečanega depresijskega lijaka na desnem bregu Savinje in narasle Savinje, ki sta vplivala na dvig podzemne vode v prodnem zasipu, se je temperatura Starega zajetja iz 33,6 °C spustila na 29,8 °C. Zaradi vpliva na Staro zajetje so količino črpanja iz L-1/95 zmanjšali na 15 l/s. Temperatura v zajetju se je do konca črpalnega poskusa dvignila za 1 °C, zaradi vpliva visokih vod Savinje pa še nekaj časa ni dosegla stare vrednosti.

Črpanje termalne vode s pomočjo potopnih črpalk, vgrajenih v vrtine, zmanjšuje naraven iztok termalne vode v prodni nanos Save. Črpanje iz ene vrtine povzroča znižanje gladine termalne vode na drugih vrtinah. Na temperaturo termalne vode vpliva tudi visok vodostaj Savinje in jo znižuje. Celotno območje Zdravilišča je hidrogeloško zelo povezano in vplivno območje sega tudi na območje Savinje (in Rečice).

2.5 Obratovalni monitoring in hidrološke merilne postaje

Obratovalni monitoring rabe termalne vode

Zaradi izpolnjevanja zahtev obratovalnega monitoringa podzemne vode se na objektih K-1/72, K-2/95 in V-7/67 od 22. januarja 2016 zvezno merijo temperatura, pretok in gladina podzemne vode z intervalom na eno uro. Monitoring izvajajo v skladu s programom, ki ga za obdobje treh zaporednih koledarskih let pripravi koncesionar, potrdi pa ARSO. Koncesionar mora nato vsako leto pripraviti poročilo o rezultatih monitoringa preteklega leta. Trenutno je v veljavi program za obdobje 2022–2024 (Rman in Matoz, 2021).

Med črpalnim preizkusom smo za izvajanje zveznih meritev temperature in gladine podzemne vode uporabili podatke merilnih inštrumentov, ki so stalno vgrajeni na vrtinah K-1/72, K-2/95 in V-7/67 in služijo za izvajanje letnega monitoringa koncesij. Zaradi kontrole ustreznosti meritev smo na preiskovani vrtini K-2/95 vgradili še dodatno sondo z regulatorjem in senzorjema za tlak (gladino) in temperaturo termalne vode. Na tlačno cev pa smo vgradili še poseben temperaturni senzor za temperaturo iztekajoče vode iz vrtine K-2/95, saj vgrajena senzorja za temperaturo v sami vrtini, zaradi tehnične izvedbe vrtine in posebnih hidrogeoloških pogojev, ne kažeta realne temperature črpane termalne vode.

Za ugotavljanje medsebojnega vpliva vrtin K-1/72, K-2/95 in V-7/67 ter njihove interakcije z vodostajem Savinje in padavinami smo pri analizi podatkov upoštevali tudi podatke z najbližje meteorološke postaje Laško ter Hidrološke postaje Laško I – Savinja.

Meteorološka postaja Laško

Meteorološka postaja Laško (GKX (D48): 518452; GKY (D48): 518452) se nahaja na desnem bregu, 380 m v smeri juga (Slika 4). Na tej lokaciji se nahaja od konca novembra 1995, pred tem je bila približno 270 m jugozahodno, na enaki nadmorski višini, ki znaša 221 m. Zapisi pravijo, da so v Laškem opravljali meteorološke meritve in opazovanja že od marca 1876 do avgusta 1889, vendar se ti podatki niso ohranili. Merjeni meteorološki podatki so dostopni od julija 1895. Od julija 1960 do danes v Laškem merijo višino padavin, snežne odeje in novozapadlega snega ter opazujejo atmosferske pojave. Meritve opravljajo enkrat dnevno, zjutraj ob 7. uri, oziroma po poletnem času ob 8. uri, opazovanja pa se izvajajo tekom celega dne (Macut, 2022).

Hidrološka postaja Laško I – Savinja

Hidrološka postaja Laško I – Savinja (GKX (D48): 112224,8; GKY (D48): 518424,4) obratuje od leta 1953. Nahaja se na nadmorski višini 218,3 m. Na njej merijo vodostaj reke Savinje, pretok in temperaturo vode. V arhivu ARSO so dostopni tako dnevni, kot urni podatki (Macut, 2022).

Letno povprečje padavin v Laškem je v referenčnem obdobju 1961–1990 znašalo 1230 mm, v obdobju 1971–2000 je bilo 1226 mm in 1225 mm v obdobju 1981–2010. Leta 2011 so v okviru raziskav podnebne spremenljivosti Slovenije v obdobju 1961–2011 izmerili povprečje padavin le 897 mm, kar v obdobju 1896–2011 velja za deveto najbolj suho leto. Največ padavin običajno namerijo poleti, v povprečju 421 mm, najmanj pa pozimi, ko je referenčno povprečje 201 mm. Primerjava s starejšimi podatki je pokazala, da se zmanjšuje količina pomladnih padavin in večja količina jesenskih padavin, medtem ko poletne in zimske padavine ostajajo blizu referenčnih vrednosti (Nadbath, 2012).

2.6 Analiza podatkov obratovalnega monitoringa v obdobju 2016 – 2022

Macut (2022) je na podlagi obratovalnega monitoringa analizirala sovpliv med vrtinami in Savinjo ter ugotovila:

- črpanje v K-1/72 in K-2/95 takoj vpliva na gladino podzemne vode in temperaturo v njih,
- gladina podzemne vode v vrtinah se glede na spremembe vodostaja Savinje spreminja z 2-3 urnim zamikom,
- razlika v temperaturah v vrtinah med nizkim in visokim vodostajem se giblje med 0,1 °C in 0,3 °C
- temperatura v vrtinah K-1/72 in K-2/95 je med nizkim vodostajem višja, medtem ko je v V-7/67 nižja,
- odziv gladine podzemne vode v K-2/95 je hitrejši pri nizkem vodostaju,
- s povišanim črpanjem se zviša temperatura načrpane termalne vode,
- nihanje gladine podzemne vode v opazovalni vrtini V-7/67 je posledica naravnih nihanj, na katere vpliva pretočna gladina Savinje in črpanje iz K-1/72 ter K-2/95, in
- vodonosnik je zelo dovzeten na vplive padavin, saj so odzivi na padavine trenutni.

Primerjava podatkov iz obdobja nizkega in visokega vodostaja Savinje je pokazala, da so razmerja med vodostajem in gladinami podzemne vode vedno enaka, spreminja se le razpon nihanja gladin podzemne vode v vrtinah, ki je večji pri visokem vodostaju, z izjemo K-1/72, ki je v času visokega vodostaja bolj povezan z vodostajem Savinje in glede na gladine podzemne vode v drugih dveh vrtinah tudi bolj stabilen.

V omenjeni analizi podatkov je bil upoštevan mnogo daljši niz podatkov (približno šest let), kar je omogočilo tudi določanje sezonskega vpliva vremenskih pogojev na gladine podzemne vode in temperaturo. Tako je bilo na primer ugotovljeno, da je deževno obdobje običajno med aprilom in junijem, kar se odraža v 8- do 9-mesečnih nihanjih podzemne vode v K-2/95 in V-7/67, ki sta pod mnogo manjšim vplivom črpanja v K-1/72.

Ugotovitve iz te analize potrjujejo, da ima termalna voda na območju Laškega stabilno temperaturo, vodonosnik je visoko odziven na zunanje vplive (v razponu nekaj ur), nanj pa vplivajo tako sprememba vodostaja Savinje, kot tudi padavine in snežna odeja, ki se najbolj odraža v spremembi gladine podzemne vode.

3 OCENA MOŽNOSTI INŠTALACIJE TOPLOTNE ČRPALKE 1 MW V THERMANI D.D. LAŠKO

Za oceno možnosti namestitve toplotne črpalke moči približno 1 MW in oceni izvedljivosti reinjekcije v Thermani d.d. Laško smo izvedli dalj časa trajajoč črpalni poskus v vrtini K-2/95, s sočasnim stalnim črpanjem vode iz vrtine K-1/72 (za potrebe Thermana Laško). V celotnem času trajanja poskusa smo spremljali in zvezno beležili, kaj se dogaja z gladino in temperaturo termalne vode v vrtinah K-1/72, K-2/55 in V-7/67. Črpalni preizkus smo izvajali med 23. marcem 2023 in 19. aprilom 2023 s črpanjem štirih (4) različnih količin iz K-2/95. Sočasno je bilo iz vrtine K-1/72 črpano v povprečju 5,83 l/s termalne vode. Amplituda črpanja iz vrtine K-1/72 se je gibala med 3,0 in 9,77 l/s. Vrtina V-7/67 služi kot opazovalna vrtina in ni namenjena odvzemu termalne vode. V času poskusa smo odvzeli tudi vzorce termalne (K-2/95 in K-1/72) in površinske vode (Rečica in Savinja) za izotopske analize. Pri terenskih raziskavah so sodelovali Marko Hötzl, Mateja Macut in Nejc Bizjak.

3.1 Analiza podatkov, pridobljenih med črpalnim poizkusom na K-2/95 v obdobju 1.3. – 25.4.2023

3.1.1 Izvedba črpalnega poizkusa na K-2/95

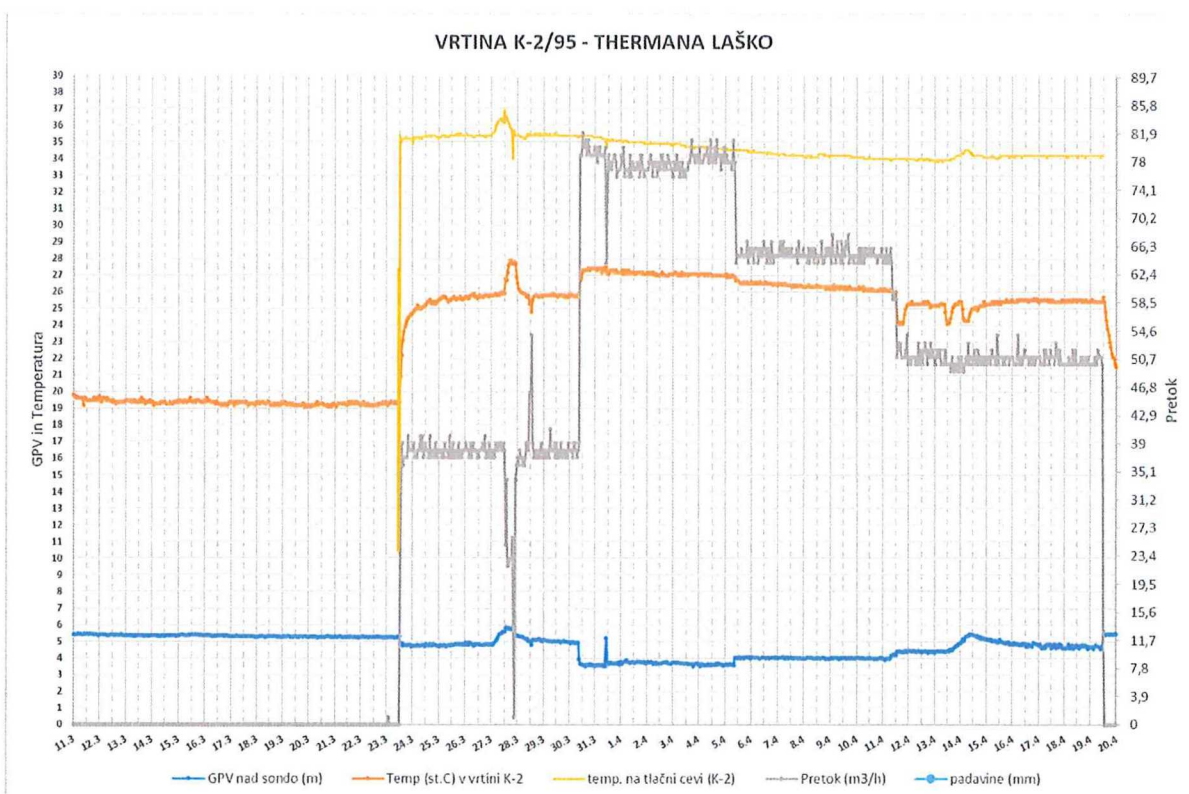
Črpalni preizkus smo izvedli v času med 23.3. in 19.4.2023. Črpanje iz vrtine K-2/95 je trajalo 26 dni in 21 ur (Preglednica 3). Količino črpanja smo prilagajali predvsem glede zaznanega vpliva na temperaturo termalne vode v vrtini K-2/95 in K-1/72. Črpanje je potekalo v času srednje visokih gladin podzemnih vod. V tem obdobju smo zabeležili tudi dva dogodka z močnejšimi padavinami, do 48 mm na dan (26. in 27. marec in 14. april), ki so vplivale na dvig gladin površinskih vodotokov, Rečice in Savinje.

Preglednica 3: Pretok iz vrtine K-2/95 med črpalnim preizkusom

Q (m ³ /h)	Q (l/s)	Obdobje črpanja od - do		Dolžina črpanja
37,12	10,31	23.03.2023 13:00	30.03.2023 08:59	6 dni 20 ur
78,10	21,69	30.03.2023 09:00	05.04.2023 08:59	6 dni
65,07	18,08	05.04.2023 09:00	11.04.2023 10:59	6 dni 1 ura
50,75	14,10	11.04.2023 11:00	19.04.2023 11:00	8 dni

Zaradi močnejših padavin 26. in deloma 27. marca ter 14. aprila 2023 so narasli pretoki Savinje in Rečice, kar je vplivalo tudi na začasni dvig temperature in gladine termalne vode v vrtini K-2/95.

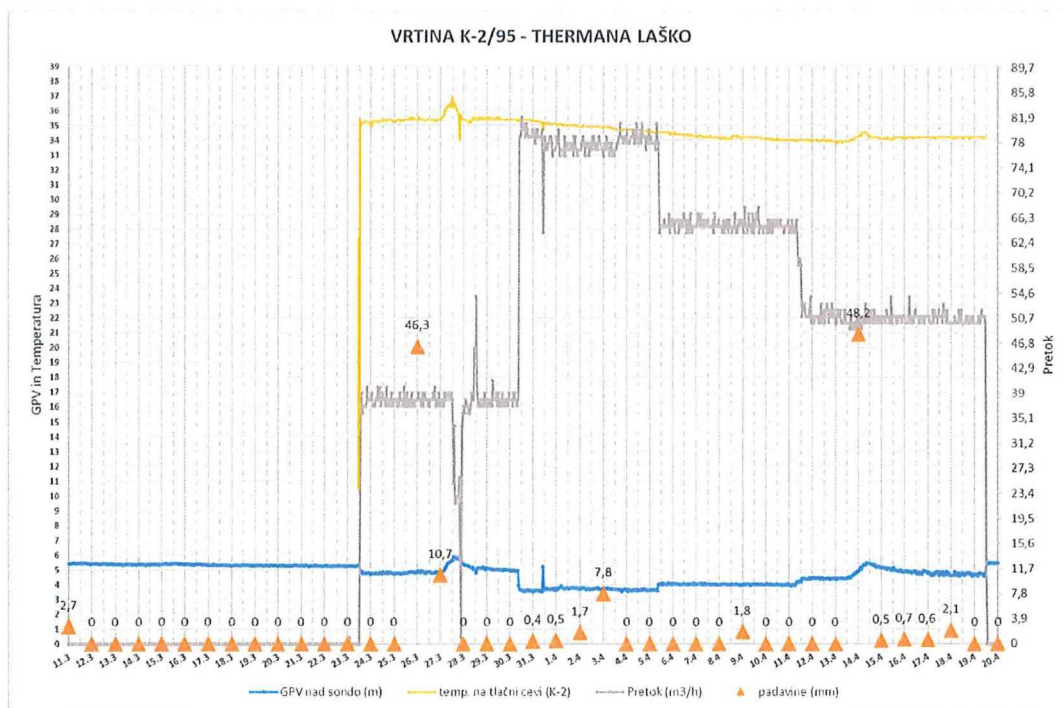
Pred vsako spremembo črpalne količine na vrtini K-2/95 smo odvzeli vzorce termalne vode za izotopske analize iz vrtin K-1/72 in K-2/95 ter vzorce iz površinskega vodotoka Rečice, pri zadnjem vzorčenju pa še iz Savinje. Ob odvzemu vzorcev so bile izmerjeni tudi osnovni hidrogeološki parametri termalne in površinske vode (Preglednica 5).



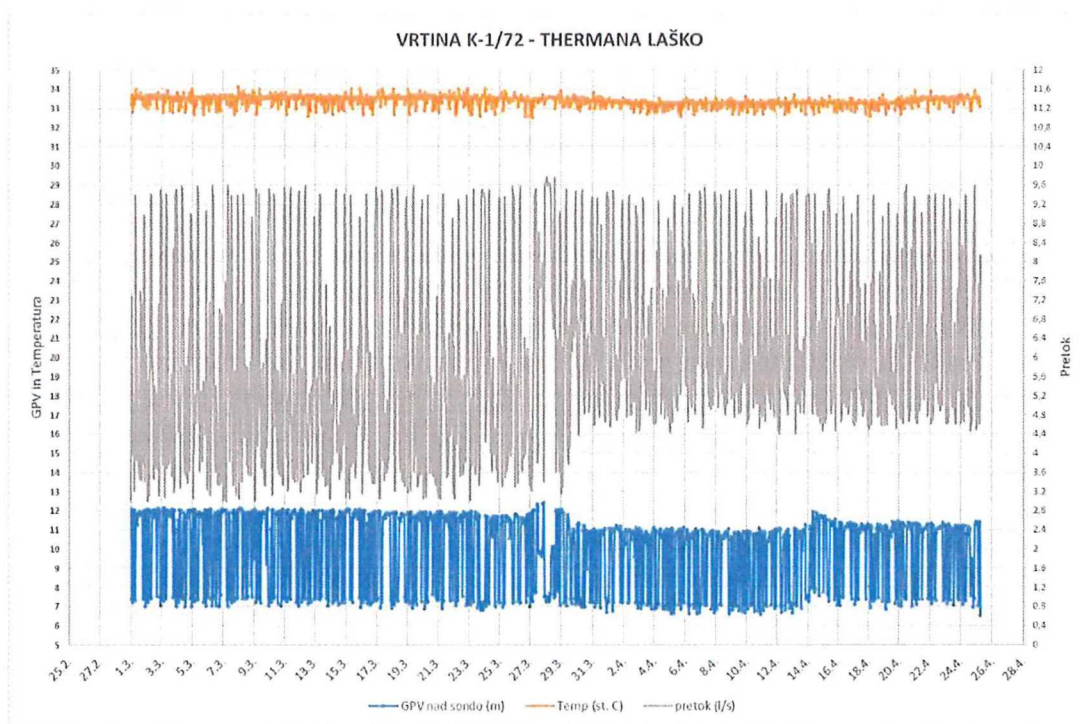
Slika 7: Grafična predstavitev podatkov iz vrtine K-2/95 v obdobju 11.3. – 20.4.2023 s prikazom temperature termalne vode v vrtini in na tlačni cevi med črpanjem.

3.1.2 Analiza hidrogeoloških meritev

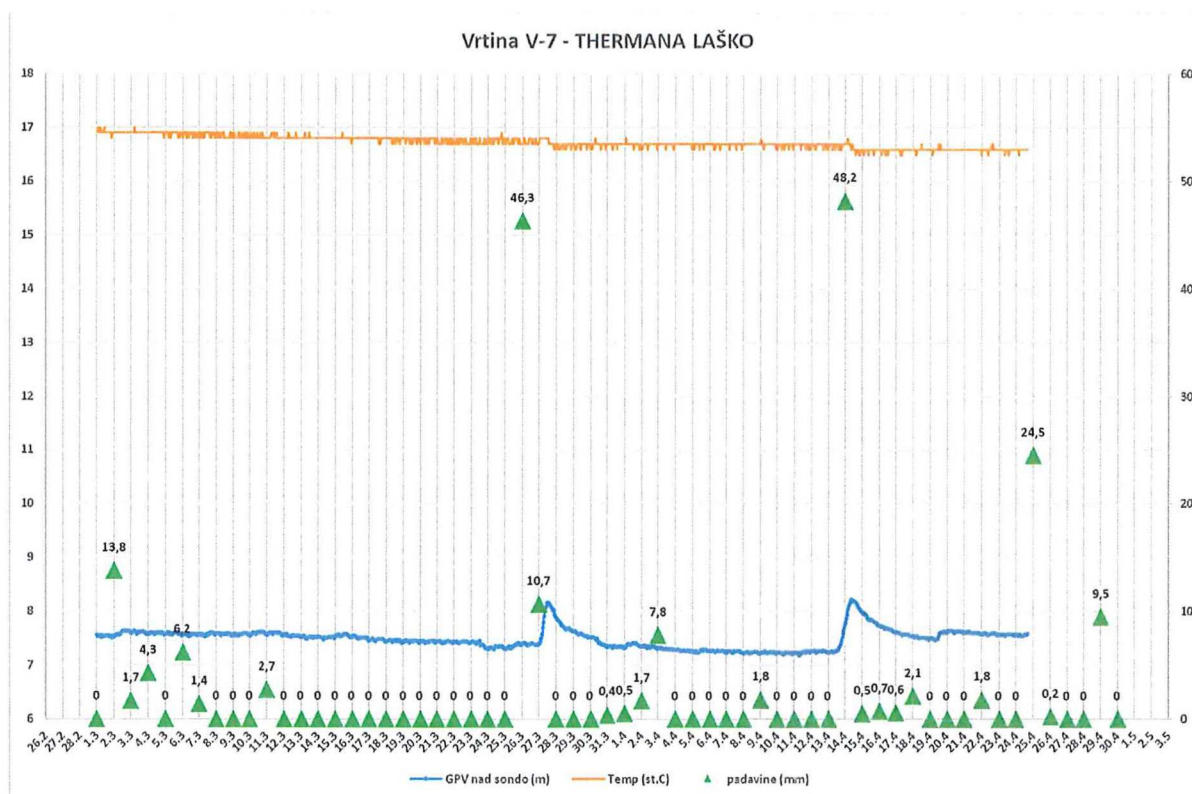
Analizirali smo podatke, pridobljene med črpalnim poizkusom v obdobju 1.3. – 25.4.2023 (Slike 8, 9 in 10). Upoštevali smo podatke iz vrtin K-1/72, K-2/95 in V-7/67 ter Hidrološke postaje Laško I – Savinja in Meteorološke postaje PP Laško ter fizikalno-kemijske in izotopske podatke o vodi. Vsi podatki so merjeni na eno uro, z izjemo količine padavin, ki jo merijo enkrat na dan, ob 7:00. Temperatura na stalni sondi v K-2/95 ni ustrezna zaradi tehničnih težav, zato smo uporabili začasno nameščeno sondo.



Slika 8: Grafična predstavitev podatkov iz testirane vrtine K-2/95 v obdobju 11.3. – 20.4.2023.



Slika 9: Grafična predstavitev podatkov iz črpalne, netestirane vrtine K-1/72, 1.3. – 26.4.2023.



Slika 10: Grafična predstavitev podatkov iz vrtine V-7/67 v obdobju 26.2. – 26.4.2023 v korelaciji s padavinami.

Osnovna statistika in navzkrižna korelacija

1. **Gladina podzemne vode in vodostaj Savinje:** osnovna statistika (Preglednica 4) je pokazala, da je znotraj upoštevanega obdobja najvišja gladina podzemne termalne vode v V-7/67 (povprečje 227,54 m n. v.), medtem ko je vodostaj Savinje za 1,09 m višji od gladine podzemne vode v V-7/67. Amplituda nihanja gladine podzemne vode v K-1/72 in K-2/95 znaša 5,89 m, v V-7/67 pa 1,03 m, kar je posledica črpanja oz. mirovanja vrtine. Odziv gladine podzemne vode v V-7/67 na spremembo gladine v K-2/95 se zgodi po približno 2 urah ($r = 0,52$; $p < 0,05$).
2. **Temperatura in črpalna količina:** najvišjo temperaturo (36,6 °C) smo izmerili v K-2/95 dne 27. marca ob približno 12.00, po močnejših padavinah 26. marca in manj intenzivnih 27. marca, medtem ko v K-1/72 temperatura ni presegla 34,1 °C. V V-7/67 je temperatura zaradi mirovanja vrtine na območju senzorja, ki ni nameščen v filtrski coni ampak le slabih 10 m pod pridobnico, občutno nižja (povprečje 16,7 °C) in se je v celotnem opazovanem obdobju zniževala (Slika 10). Zaradi črpalnega poizkusa je temperatura v prej mirujoči K-2/95 naglo poskočila (23.4.2023, ob 10.00, z začetnih 27,4 °C) vse do maksimuma (36,6 °C), ki ga je dosegla 27.3.2023, ob 12.00. Takrat smo črpali približno 10,4 l/s. Ob naslednjem koraku črpalnega poizkusa, ki je sledil 30.3.2023, ko so črpali 21,0 – 22,8 l/s, je prišlo do zveznega nižanja temperature, in sicer vse do 33,9 °C. Zato smo se odločili, da 11.4.2023 ob 11:00 znižamo črpalno količino na 14,2 in takrat je temperatura v K-2/95 ponovno začela rasti in je ob koncu črpalnega poizkusa 19.4.2023, ob 10.00, dosegla 34,2 °C.
3. **Padavine:** znotraj obravnavanega obdobja smo dvakrat zabeležili kratkotrajne obilne padavine, in sicer 26.3.2023 (vodostaj Savinje je dosegel največ 471,57 m n. v.) ter 13./14.4.2023 (vodostaj Savinje: največ 467,57 m n. v.). Odziv vodostaja Savinje na padavine se je zgodil v približno 24 urah ($r = 0,60$; $p < 0,05$), vpliv dviga vodostaja zaradi padavin pa se je v vrtinah poznal po približno 4 urah ($r = 0,89$; $p < 0,05$).

Iz merjenih podatkov vidimo, da:

- Tako nihanje gladine podzemne vode kot tudi temperatura v vrtinah sta povezani s črpalno količino in se odzivata v trenutku spremembe.
- Zaradi črpanja v K-2/95 se skladno s pričakovanji zniža gladina v K 1/72, slednja pa je imela v času testiranja stalen režim odvzema.
- Vse tri vrtine opazno reagirajo na višje hidrološko stanje, ki je doseglo najvišje gladine Savinje 26.3. in 14.4. 2023. V času stalnega črpanja iz K-2/95 in ustaljene gladine se skoraj v enakem redu velikosti spremembe gladine, kot jo povzroči sprememba črpalne količine, odraža tudi dvig gladine v vrtini zaradi dviga gladine v reki Savinji.
- Ob analizi predpostavimo, da je sprememba hidravličnega stanja Savinje sočasna s spremembo v Rečici.
- Visoko hidrološko stanje dvigne temperaturo vode v K-2/95 za 1,3 °C, kar je povezano tudi z večjo črpalno količino, ko še ni prišlo do vdora hladne podzemne vode.
- Padec temperature v K-2/95 ob povečanem črpanju drugega koraka (21,0 do 22,8 l/s) pripisujemo vdoru oziroma mešanju s hladno podzemno vodo. Po štirih dneh se je pričela zniževati tudi temperatura v K-1/72 (temperatura padla pod 33 °C), ki pa je razmeroma kmalu dosegla stabilizacijo, medtem ko se je to zgodilo v K-2/95 šele v četrtem koraku črpalne količine, ko smo znižali odvzem na 14,2 l/s.
- Ugotovljene povezave s večinoma skladajo z ugotovitvami v Macut (2022). Izjema tokrat so padavine, ki imajo z vodostajem Savinje največjo korelacijo šele po 24 urah (v prejšnjih ugotovitvah pa je bilo v trenutku). To pripisujemo dnevnim podatkom za padavine, saj urne niso bile na voljo.

Preglednica 4: Osnovna statistika objektov in parametrov za obdobje testiranja 1.3. - 25.4.2023

PARAMETER	Enota	Št. meritev	Povprečje	Geometrična sredina	Mediana	MIN	MAX	Std. dev.
GPV (K-1/72)	m n. v.	1326	226,04	226,03	227,03	222,60	228,49	2,01
GPV (K-2/95)	m n. v.	1326	226,70	226,70	227,14	221,87	227,76	0,82
GPV (V-7/67)	m n. v.	1312	227,54	227,54	227,57	227,25	228,28	0,18
Vodostaj Savinje	m n. v.	1464	336,29	335,61	333,07	314,07	474,57	22,71
T (K-1/72)	°C	1326	33,4	33,4	33,4	32,5	34,1	0,3
T (K-2/95)	°C	649	34,6	34,6	34,5	27,4	36,6	1,1
T (V-7/67)	°C	1312	16,7	16,7	16,7	16,5	17,0	0,1
Q (K-1/72)	l/s	1326	6,0	5,7	5,6	3,0	9,8	1,9
Q (K-2/95)	l/s	1326	7,7		0,0	0,0	22,8	8,4
Padavine	mm/dan	61	3,1		0,0	0,0	48,2	9,2

GPV – gladina podzemne vode

T – temperatura podzemne vode

Q – količina črpanja podzemne vode

3.1.3 Analiza izotopske sestave vode

V interpretacijo smo vključili podatke iz preteklih letnih poročil o monitoringu termalne vode za leta 2016-2022 ter štirikratno vzorčenje vode v času izvedbe preizkusa marca in aprila 2023. Pretekli podatki so bili pridobljeni v laboratorijih IJS in Isotoptech (HU), prvi tudi z drugo metodo (masni spektrometer), slednji laboratorij in GeoZS pa analizirata na laserskem spektrometru.

V primeru GeoZS za to testiranje v 2023 smo uporabili Picarro L2130-i, ki uporablja metodo Laser Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS). Pri meritvah uporabljamo interne izotopske delovne standarde ter izotopske standarde proizvajalca USGS z znanimi vrednostmi. Določamo dva parametra, izotopsko sestavo kisika in vodika v vodni molekuli, ki ju poročamo v promilih glede na mednarodni izotopski standard SMOW (Standard Mean Ocean Water).

Analize so bile opravljene v dveh sklopih. Vzorci 23.3. in 3.4. so bili določeni v prvem paketu s spominskim efektom ^{18}O : 0,23 %; ^2H : 0,45 %. Vzorci s 13. in 19.4. pa v drugem sklopu z nekoliko višjim spominskim efektom, ^{18}O : 0,96 %; ^2H : 1,42 %, kar vnaša večjo negotovost v rezultate. Ponovitev vzorčenja na istem vzorcu vode obeh vrtin z dne 19.4.2023 je bila izvedena en teden kasneje in s spominskim efektom ^{18}O : 0,35 %; ^2H : 0,55 %, kar daje večjo zanesljivost rezultatom.

Preglednica 5: Terenske meritve osnovnih hidrogeoloških parametrov

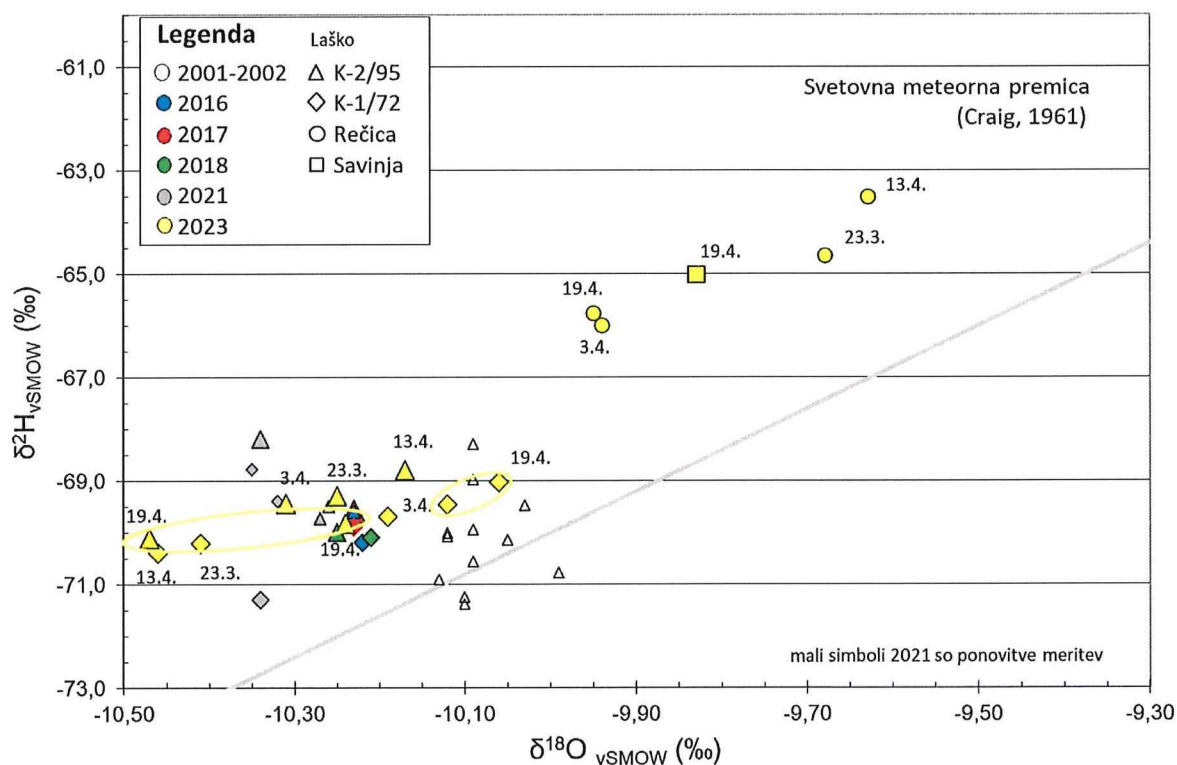
DATUM VZORČENJA	Ura vzorčenja	Vzorčno mesto	T (°C)	El. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	ORP (mV)	OXI (mg/l)	OXI (%)	Merilna sonda
23.3.2023	10:45	K-1/72	33,4	496?	Okvarjen senzor	260	6,62	/	1, 2, 3
	12:50	K-2/95	34,0	/		249	4,45	/	
	11:30	Rečica (pod mostom pri stopnicah)	9,9	/		240	11,41	/	
3.4.2023	11:40	K-1/72	31,33	1142	7,79	182,9	4,93	68,3	HANA S
	12:10	K-2/95	33,23	1008	7,45	181,8	3,9	55,4	
	11:55	Rečica (pod mostom pri stopnicah)	7,93	876	7,55	222,5	11,03	95,3	
13.4.2023	10:05	K-1/72	31,80	585	7,82	271,3	5,39	76,6	HANA J
	9:45	K-2/95	31,53	582	7,38	271,0	3,41	48,1	
	9:35	Rečica (pod mostom pri stopnicah)	9,04	238	8,93	216,9	8,99	80,9	
19.4.2023	12:40	K-1/72	33,16	595	7,9	250,3	6,02	86,3	HANA J
	12:20	K-2/95	32,4	613	7,26	253,4	3,41	46,7	
	13:30	Rečica (pod mostom pri stopnicah)	11,85	271	8,69	250,6	10,75	102,3	
	13:45	Savinja (nad izlivom Rečice)	11,56	289	8,41	26,4	11,2	105,8	

Analize od leta 2016 do 2022, opravljene enkrat letno pod običajnimi hidrološkimi pogoji, dajejo skoraj identični povprečni vrednosti izotopske sestave za obe vrtini (Preglednica 6), kar kaže na homogeno, isto termalno vodo. Iz preteklih analiz z začetka 21. stoletja je razvidno (Slika 11), da je »sipanje« vrednosti lahko 0,1 % za kisik in skoraj 2 % za vodik. V letu 2021 je ob menjavi laboratorija in metode (na lasersko) prišlo do nepričakovanega odstopanja vrednosti, zato so bile analize večkrat ponovljene na istem vzorcu, a so pokazale podoben razpon vrednosti kot omenjeno v času teh prvih analiz. Iz

pridobljenih arhivskih in novih podatkov vidimo, da vsi vzorci ležijo v smeri vzporedno s svetovno meteorno premico, kar kaže na njihov meteorni izvor in potek lokalne meteorne premice.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti podatkov

Ime	Leto	Št. vzorcev	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Opombe
K-1/72	2016-2022	5	$-10,27 \pm 0,06$	$-70,1 \pm 0,8$	
K-1/72	2023	4	$-10,28 \pm 0,16$	$-69,8 \pm 0,5$	
K-1/72	2023	4+ponovitev	$-10,25 \pm 0,16$	$-69,8 \pm 0,5$	
K-2/95	2016-2022	5	$-10,27 \pm 0,04$	$-69,4 \pm 0,6$	
K-2/95	2023	4	$-10,30 \pm 0,11$	$-69,4 \pm 0,5$	Napačen podatek za 19.4.
K-2/95	2023	4+ponovitev	$-10,29 \pm 0,10$	$-69,5 \pm 0,5$	
Rečica	2023	4	$-9,80 \pm 0,15$	$-64,99 \pm 1,0$	
Savinja	2023	1	-9,83	-65,01	

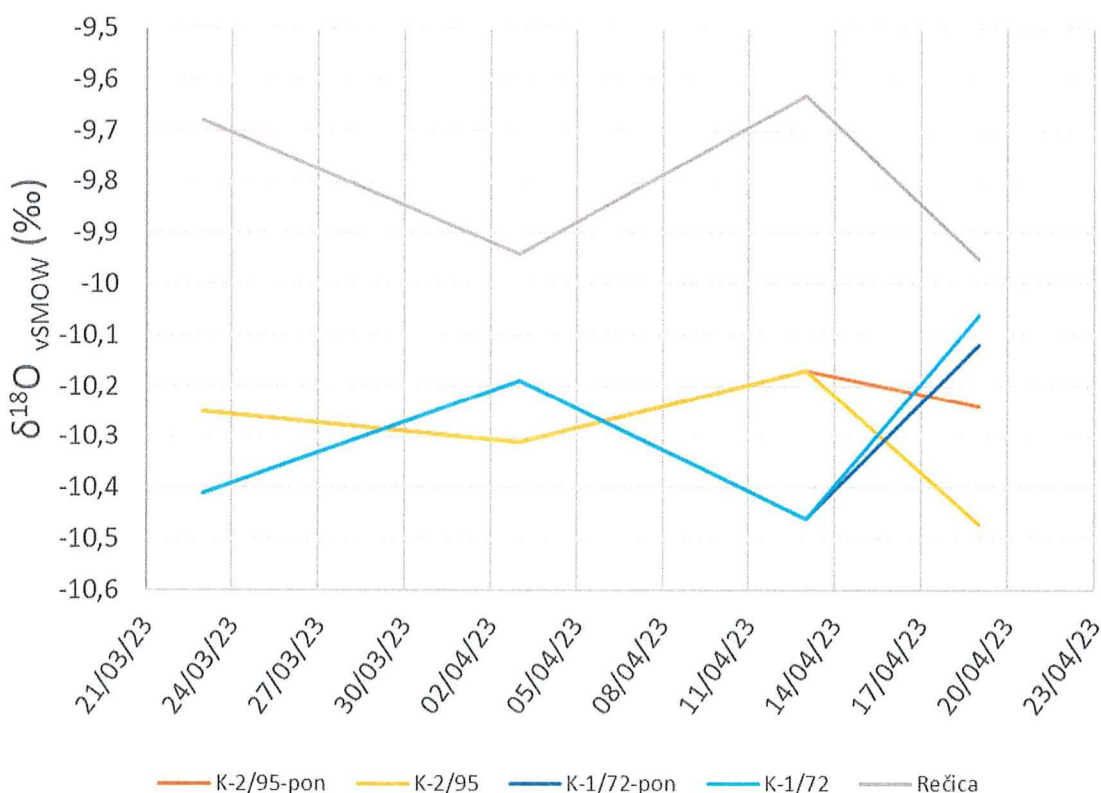


Slika 11: Prikaz izotopske sestave termalne vode v Laškem glede na svetovno meteorno premico. Prikazani sta tudi obe ponovitvi analize vzorcev z dne 19.4. (obkrožena sta z rumeno za vsako vrtino).

Meritve v času testiranja kažejo, da površinski vodi v Rečici in Savinji opazno odstopata od termalne vode (Slika 11). Imata za približno 0,47 ‰ težjo izotopsko sestavo kisika in za 5 ‰ težjo izotopsko sestavo vodika, ob enakem času (19.4.2023 ob običajnem hidrološkem stanju) ima skladno s pričakovanji najtežjo izotopsko sestavo reka Savinja. To pomeni, da vanjo dotekajo padavine z najvišjo temperaturo relativno glede na ostale vode. Razlika sestave značilno presega napake analiz in lahko rečemo, da je rečna voda izotopsko značilno drugačna kot termalna voda, zato se lahko uporablja kot sledilo za izračun deleža mešanja različnih voda.

Iz meritev (Slika 12) je opazno povsem enako nihanje izotopske sestave v času med Rečico in K-2/95, medtem ko za K-1/72 interpretiramo, da ima verjetno približno 10-dnevni zamik spremembe sestave vode.

Ker sta stabilni izotopski sestavi kisika in vodika v vodi premo-sorazmerni, smo za analizo uporabili le izotop kisika in preprosto masno bilanco. Ob tem predpostavimo, da so bili vsi vzorci, razen dne 13. 4. 2023, odvzeti v običajnem, srednjem hidrološkem stanju. Ob predpostavki, da ima termalna voda sestavo izotopa kisika -10,46 ‰ (najnižja izmerjena vrednost med testiranjem vrtin v 2023, v K-1), sestava Rečice pa se ob vsakem vzorčenju spreminja glede na padavine, dobimo izračun, da je bil delež Rečice v termalni vodi iz K-2/95 ob pričetku črpanja približno 28%. Nato je v 2. koraku z največjo količino črpanja narasel na 29%, v 3. koraku na 35% in v 4. koraku na 43%, vendar so bili to tudi pogoji visokega hidrološkega stanja rek. Za K-1/72 isti način izračuna pokaže delež 0% 13.4., 6% 23.3., 52% 3.4. in 67% 19.4. Očitno je, da se na območju vrtin voda zagotovo tudi fizično meša s plitvejšo vodo, ki ni termalna, njen delež pa se v času dokaj spreminja, odvisno tudi od hidroloških pogojev.



Slika 12: Časovno spreminjanje izotopske sestave kisika med testiranjem. Dvojni rezultat 19.4. je posledica ponovne analize, na podlagi katere smo ugotovili, da je bila verjetno napaka v rezultatu K-2, zato je potrebno prevzeti novo vrednost.

Preglednica 7: Rezultati 4 vzorčenj vode ob izvedbi preizkusa v 2023

Ime $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	K-1/72	K-2/95	Rečica	Savinja	Stanje
23/03/2023	-10,41	-10,25	-9,68	/	Začetek črpanja K-2
03/04/2023	-10,19	-10,31	-9,94	/	Največji odvzem iz K-2, 2. korak črpanja
13/04/2023	-10,46	-10,17	-9,63	/	Nižji, 4. korak črpanja K-2, visoko hidrološko stanje
19/04/2023	-10,06	-10,47	-9,95	-9,83	Pred koncem črpanja iz K-2
19/04/2023 – ponovitev analize	-10,12	-10,24			Ponovitev analize zaradi visokega spominskega efekta

4 Ocena kapacitete geotermalnega vodonosnika v Laškem

Izvedli smo 26 dni in 21 ur trajajoč črpalni preizkus na K-2/95 ter v tem času imeli dve visoki hidrološki stanji. Iz statistične obdelave in korelacij sklepamo, da je termalni vodonosnik v Laškem hidravlično homogen in dobro povezan s plitvo podzemno oz. površinsko vodo ter zato izjemno dovzeten na zunanje spremembe, tj. padavine in posledično vodostaj Savinje. Nekoliko daljši odzivni čas vodostaja Savinje na padavine (cca. 24 ur) je posledica obsežnega napajalnega območja Savinje. Vrtine K-1/72, K-2/95 in V-7/67 so med seboj dobro povezane in v njih v 2 – 4 urah opazimo odziv, povezan s spremenjeno črpalno količino.

Za cilj naše raziskave je izjemno pomembna ugotovitev, da smo ob stalnem črpanju (povprečno 5,9 l/s) v K-1/72 ter sočasnem črpanju v K-2/95 nad 18,0 l/s, ugotovili stalno zniževanje temperature termalne vode v slednji zaradi vdora hladne podzemne oziroma rečne vode. Tudi sprememba izotopske sestave termalne vode kaže na zmanjševanje deleža termalne vode pri največjih količinah in visokih hidroloških stanjih, vendar so bili odvzeti le 4 vzorci, zato je ta ocena še negotova. V prihodnje in ob izgradnji nove vrtine priporočamo ob izvedli stalnega črpanja dnevno vzorčenje termalne vode iz vseh objektov ter analizo izotopske sestave najprej vsaj vsake 3 dni (vmesni vzorci so za rezervo) ter vključno v času višjega hidravličnega stanja, da bi se signal nihanja sestave bolj jasno odražal in bi se tudi časovno lahko bolj zanesljivo opredelilo njegovo potovanje skozi sam vodonosnik.

Na podlagi izvedene raziskave priporočamo, da **skupni odvzem termalne vode iz vseh vrtin na območju Zdravilišča Laško ne sme presegati 19,0 l/s. Če črpamo kot v času testiranja povprečno 5,9 l/s iz K-1/72, to pomeni, da je iz druge vrtine priporočljivo stalno črpati največ do 13,0 l/s. Trenutni največji odvzem, ki traja kakšno uro ali dve, je lahko večji in skladen z ugotovljeno kapaciteto vrtine.**

Trenutno je podeljena koncesija za K-1/72 s 200.000 m³/leto, za K-2/95 s 140.000 m³/leto in za V-7/67 za 10.000 m³/leto. Predlagana največja možna količina črpanja bi tako znesla za K-2/95 lahko 410.000 m³/leto s pogojem, da se iz vrtine V-7/67 termalna voda ne odvzema.

5 STROKOVNO MNENJE O IZVEDLJIVOSTI REINJEKCIJE V THERMANI D.D.

Namen reinjekcije je ohraniti vodno bilanco geotermalnega vodonosnika in se brez vpliva na okolje znebiti toplotno izrabljene termalne vode. Reinjekcija je potrebna predvsem v hidravlično zaprtih regionalnih peščenih vodonosnikih v SV Sloveniji, kjer je naravno napajanje vodonosnika za ekonomsko rabo geotermalne energije na številnih lokacijah premajhno. Podobno velja predvsem za območja, kjer je zajema termalne vode z vrtinami, globin večjih od 1 km in ki so bolj oddaljena od napajalnega območja. Na območju con naravnega iztekanja z ascedentnim, navpičnim iztekanjem termalne vode skozi prelomne cone na površje reinjekcija tudi v svetu ni pogosta. V Sloveniji je bilo opravljeno testno reinjeciranje v takšen razpoklinski sistem v Šmarjeških Toplicah, ki je bilo neuspešno, saj je voda v nekaj urah pritekla nazaj na površje. V podoben sistem se reinjecira voda v Izlakah, vendar je tam črpalna vrtina globoka 800 m, tri ponikalne vrtine pa le 50 m. Ta odpadna termalna voda se ponika stran od cone naravnega iztoka v plitek del s hladno podzemno vodo, ki ni neposredno hidravlično povezana s termalno vodo.

Iz navedenega testiranja sledi mnenje, da zaradi homogenosti in izredne hidravlične prepustnosti območja Zdravilišča Laško ni priporočljivo vračati toplotno izrabljene termalne vode z reinjektiranjem v vrhnji del dolomitnega vodonosnika, ker bi s tem hladili pritekajočo termalno vodo (s temperaturo približno 33 – 36 °C) iz večjih globin. Že v najplitvejši termalni vrtini K-2/95 (73,5 – 94 m) se sledi mešanje s hladno, plitvo podzemno vodo in dodatno reinjeciranje hladne vode v to območje. bi zagotovo povzročilo hitro znižanje temperature termalne vode v produkcijskih vrtinah.

Vplivi posegov z vrtanjem in vzpostavitvijo vračanja v dani razpoklinski sistem geotermalnega vodonosnika so zelo nepredvidljivi. Namreč, v razpokah se že naravno mešata hladna in topla voda, zelo velik vpliv, tudi na večje globine zajema, ima hidravlično stanje bližnjih rek oz. plitve podzemne vode, poleg tega pa območje dotoka termalne vode ni dovolj natančno znano in razmejeno v prostoru. Ustrezno mesto vračanja ohlajene vode na območje sedanjih vrtin, je brez dodatnih geološko-geofizikalnih raziskav zelo zahtevno določiti tako, da ne bi bilo neželenih posledic za rabo, ki se bi kazale kot znižanje temperature pridobljene termalne vode ali porušenje dinamičnega ravnotežja v vodonosniku.

Obstaja realna možnost, da bi se skozi preferenčne prelomne cone vzpostavila povezava med vodo, ki bi se v vodonosnik vračala skozi reinjekcijsko vrtino, in črpalnimi vrtinami. Da bi to preprečili, bi morali ohlajeno termalno vodo vračati v termalni vodonosnik precej južneje od Zdravilišča Laško, pri Mariji Gradcu, in skozi zelo globoko reinjekcijsko vrtino (vsaj 1,8 km globine). Vrtanje takšne vrtine ekonomsko ni opravičljivo, hkrati pa lahko zaradi hidravličnih značilnosti sistema tu predvidimo rabo termalne vode brez reinjekcije, v kolikor se je odvzema toliko, da se ohranja dinamično ravnovesje. To pomeni, da ne sme biti stalnega trenda nižanja gladine ali spremembe temperature na kateri koliko vrtini.

V kratkoročnem smislu je smiselna in manj tvegana prilagoditev rabe termalne vode tako, da se odpadni termalni vodi pred izpustom v okolje dodatno odvzame toplota in se v okolje izpušča voda s temperaturo, ki ustreza okoljevarstvenim standardom in v količinah, ki omogočajo vzdrževanje dinamičnega ravnovesja in s tem dobrega količinskega in kakovostnega stanja geotermalnega vodonosnika.

Vračanja termalne vode na območju Thermane Laško d.d. z reinjekcijsko vrtino na ožjem območju zdravilišča ne priporočamo.

6 LITERATURA

- Gregorič, M., 1947: Poročilo o ugotovitvah glede vzroka temperaturnim spremembam termalne vode v zdravilišču Laško. 3 str. Maribor. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.
- Henn, K. F., 1872: Das Kaiser Franz-Josefsbad bei Markt Tüffer in Steiermark Dritte Auflage. 34 str., Wilhelm Braumüller, Wien.
- Jelovšek, E., 2002: Preteklost in razvoj termalnega kopališča v Laškem. V. Laški zbornik 2002 (ur. J. Maček), str. 173 – 209, Laško (prispevek je nastal leta 1976).
- Kleinhaus, L., 1860: Das Kaiser-Franz-Josefs-Bad bei Markt Tüffer in Steiermark. 46 str., Verlag von Heinrich Hübner, Leipzig.
- Lapanje, A., 1996: Hidrogeologija zdravilišča Laško. Diplomsko delo, 88 str. Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- Matoz, T., in Hötzl, M., 1995a: Poročilo o vrtini L-1/95. 6 str., Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.
- Lapanje, A., Rikanovič, R., Rajver, D., Matoz, T., Marinko, M., Kumelj, Š., Levičnik, L., Rman, N., Prestor, J., Mali, N., Ogorelec, B., 2005: hidrogeološke strokovne osnove za izkoriščanje termalne vode v Zdravilišču Laško. 78 str. 33. pril.
- Macut, M., 2022: Vpliv padavin in reke Savinje na količinsko stanje termalne vode v Laškem: magistrsko delo. 56 str., 18 pril.
- Matoz, T., in Hötzl, M., 1995b: Poročilo o vrtini K-2/95. 8 str., Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.

- Matoz, T., Lapanje, A. Aktivacija in testiranje vrtine V-7/67 v kompleksu Zdravilišča Laško. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 2007.
- Nadbath, M. Meteorološka postaja Laško. Naše okolje, 2021, let. 19, št. 7, str. 33–38.
- Noe, H., in v. Schön-Perlshof, M. R., 1891: Theodor Gunkel's Kaiser Franz Joseph-Bad Tüffer in Unter-Steiermark. 53 str., Buchdruckerei "Gutenberg", Graz.
- Nosan, A., in Mencej, Z., 1973: Poročilo o izvedbi kaptažne vrtine K-1/72 na termalnem območju v Laškem. 5 str., Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.
- Rman, N., Matoz, T. Program monitoringa z načrtom izvajanja za obdobje 2022-2024 : vrtine K-1/72, K-2/95 in V-7/67, družbe Thermana d. d. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 2021.
- Volk, J., 1968: Hidrogeologija toplic Laško. 62 str. Diplomsko delo Oddelek za montanistiko Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani.