RADOVI Zavoda za znanstveni rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti	2	9—29	2 slike	Varaždin 1988.

UDK 551.24,615.79(497.13)

Izvorni znanstveni rad
Original Scientific Paper

ANTUN ŠIMUNIĆ

GEOLOŠKO-TEKTONSKA OSNOVA TERMOMINERALNIH VRELA U VARAŽDINSKIM TOPLICAMA

GEOLOGICAL-TECTONIC BASIS OF TERMO-MINERAL SPRINGS IN VARAŽDINSKE TOPLICE

Based on research into the geological-tectonic structure of Varaždinsko-topličko and the northern part of Kalnik mountains, the accumulation, circulation and heating of the water is explained, as well as the existance of thermo-mineral springs in Varaždinske toplice.

The enlargement of the protected area is also proposed so thata the part of northern slopes of Kalnik mountains could be included.

1. UVOD

Na temelju geoloških istraživanja koja su izvođena na području Varaždinskotopličkoga gorja, Kalničkoga gorja te Ivančice došlo se do novih spoznaja o pojavi termalnih izvora i načinu zagrijavanja termomineralne vode u Varaždinskim toplicama.

Geološka istraživanja vršena su u okviru izrade Osnovne geološke karte listova Varaždin i Koprivnica te raznih tematskih zadataka.

Koristim se ovom prilikom da zahvalim kolegama Mati Pikiji i Radovanu Avaniću, dipl. inž. geol., koji su sudjelovali u terenskim istraživanjima.

2. POVIJEST DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Termalni izvori u Varaždinskim toplicama spadaju među najpoznatije i najduže iskorištavane toplice u SR Hrvatskoj.

Opće je poznato da su izvori bili iskorištavani za vrijeme starih Rimljana, a J. Čabrijan (1966) navodi da su oni bili korišteni

Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, p. p. 213, YU — 41000 Zagreb.

još u prethistorijsko doba. Prema najnovijim podacima M. Maleza (1983) ljudi su se zadržavali u blizini termalnih izvora tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena.

Pojava termalnih vrela u Varaždinskim toplicama pobuđivala je interes mnogobrojnih stručnjaka koji su ih proučavali sa svojih aspekata. Nemoguće je navesti sve radove i zbog toga će biti navedeni samo radovi onih koji su termalna vrela u Varaždinskim toplicama proučavali s geološkoga gledišta.

Prva geološka istraživanja naših krajeva započeli su autsrijski geolozi sredinom prošlog stoljeća. To bi se moglo smatrati i početkom geoloških istraživanja termalnih vrela u Hrvatskoj. Otada postoje i prve kemijske analize svih poznatijih toplica u našim krajevima. Detaljnija istraživanja pojedinih toplica započela su nakon donošenja Zakona o zaštitnom području izvora iz 1885. godine. Tim članom pružena je vlasnicima izvora mogućnost zaštite termalnog vrela, kojom su se oni obilato koristili. Tako u Arhviu Geološkog instituta postoji originalan izvještaj C. Voyta iz 1890. godine, koji sadrži geološku kartu Kalničkoga i Varaždinskotopličkoga gorja te topografsku kartu zaštitnog područja. U tim kartama ucrtana su osim glavnog izvora još tri izvora čija je voda imala temperaturu 20—25 °C. Oni se nalaze zapadno od glavnog izvora, a njihovo pojavljivanje i položaj pokušat ćemo objasniti u daljnjem tekstu. Interesantna su i njegova razmišljanja o zagrijavanju vode, ali na to ćemo se osvrnuti u posebnom poglavlju.

Početkom 20. stoljeća nastali su vrlo značajni radovi D. Gorjanović-Krambergera; (1894, 1904, 1907 i 1908) u kojima je obrađivao geološku problematiku termalnih vrela sjeverne Hrvatske. On je smatrao da se vrela pojavljuju na rasjedima, koje je nazivao »termalnim linijama«. Prema njemu Varaždinske i Stubičke toplice kao i izvor kod Sv. Jane nalaze se na tzv. »Balatonskom rasjedu«, dok su Krapinske i Stubičke toplice povezane tzv. »Zagorskom termalnom linijom«, a Tuheljske, Krapinske, Šemičke i Sutinske toplice su na tzv. »Krapinskoj termalnoj liniji«. Porijeklo i zagrijavanje vode Gorjanović je objašnjavao postvulkanskom aktivnošću.

S. Miholić (1940) u potpunosti je prihvatio Gorjanovićevu teoriju o termalnim linijama, samo što je uz tri Gorjanovićeve dodao još jednu svoju. Ona započinje u istočnoj Sloveniji i povezuje terme kod Topličice i Dobrne s Varaždinskim toplicama. Nije se složio s teorijom C. Voyta i Gorjanovića o zagrijavanju vode, nego je na temelju brojnih kemijskih analiza zaključio da je termalna voda u toplicama sjeverne Hrvatske vadoznog porijekla. Poznati su brojni radovi S. Miholića (1952, 1959) te S. Miholića i L. Traunera (1952) u kojima je objavio rezultate kemijskih analiza termalnih voda u Hrvatskoj.

A. Šarin i dr. (1979) izvršili su korelaciju kemijskog sastava termalnih voda u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i zaključili da sve vode imaju vrlo sličan sastav.

Nepubliciranih izvještaja, koji se uglavnom nalaze po raznim arhivima, ima mnogo više. To su pretežno kompilacijski radovi, čija se tematika odnosila na određivanje zaštitnih zona oko termalnih izvora i povećavanje kapaciteta. Među takve radove spada i izvještaj J. Baća i M. Heraka (1962) u kojem navode da je kapacitet izvora iznosio oko 45—50 l/sek, a izdažnost bušotine oko 45 l/sek.

Među najnovije publicirane radove spada monografija H. Ivković i R. Peroš (1981) »Mineralne i termalne vode SR Hrvatske«, koja je zapravo bibliografija i daje pregled svih publikacija o pojedinom vrelu. Iz ove se monografije vidi da se najviše autora bavilo proučavanjem kemijskog sastava termalnih voda, a da su vrlo rijetki pokušali objasniti porijeklo i uzroke zagrijavanja vode.

3. GEOLOŠKA GRAĐA BLIŽE OKOLICE VARAŽDINSKIH TOPLICA

Da bi se mogla objasniti pojava termalnih vrela, kao i mehanizam zagrijavanja vode, važno je poznavanje geološke građe okolice izvora. Iz pregledne geološke karte (sl. 1) vidljivo je da se u okolici Varaždinskih toplica pojavljuju naslage gornjeg trijasa, donjeg i srednjeg miocena, sarmata, panona, donjeg ponta, pliokvartara i kvartara.

3.1. Dolomiti i vapnenci gornjeg trijasa T_3

Trijaske naslage izbijaju na površinu na području Ljubelja, Velikog Drenovca i u jarcima sjeveroistočno od Ljubelja, a nabušene su u Varaždinskim toplicama. Prema podacima J. Baća i M. Heraka (1962) u bušotini B-1 dolaze na dubini od 20 m, u B-2 na 47—49 m. Jezgra bušotine nalazi se u gradskom muzeju u Varaždinskim toplicama.

Prema sedimentološkim analizama, koje su izvršene iz uzoraka sakupljenih na površinskim izdancima, to su stromatolitni dolomiti, sitnozrnati vapnenci, vapnenačke i dolomitno-vapnenačke breče, kalcitni dolomiti i vapnenci s ostacima megalodontida (Al. Šimunić i An. Šimunić (1979). Ovi sedimenti taložili su se u plitkom marinskom području na tzv. »karbonatnoj platformi«, koja je u srednjem i gornjem trijasu bila rasprostranjena na području Hrvatske, Slovenije, Austrije i dr. Za kasnije objašnjenje hidrogeoloških karakteristika potrebno je spomenuti da se ispod navedenih karbonatnih sedimenata vjerojatno nalaze klastiti s eruptivima, koji su inače poznati na području Ivančice (Šimunić i dr. 1979). Iz geoloških profila (sl. 2) vidljivo je da se pretpostavlja veza između trijaskih naslaga na površini i nabušenih dolomita u Varaždinskim toplicama, jer je na taj način najjednostavnije objasniti cirkulaciju, zagrijavanje i kemijski sastav termalne vode.

Debljina trijaskih dolomita i dolomitičnih vapnenaca nije poznata, ali se može pretpostaviti da se ona kreće od 400 do 600 m.

3.2. *Klastiti donjeg i srednjeg miocena* $M_{1,2}$

Između sedimentacije gornjotrijaskih karbonata i donjomiocenskih klastita postoji vrlo velika stratigrafska praznina. Postavlja se pitanje da li se u tako velikom vremenskom periodu nisu taložili nikakvi sedimenti ili je stratigrafska praznina nastala uslijed erozije? Treba pretpostaviti da su se naslage jure, krede i paleogena taložile, ali da su erodirane prije sedimentacije mlađih naslaga. To potvrđuju nalazi velikih sekundarnih blokova trijaskih vapnenaca i dolomita, jurskih vapnenaca i krednih pješčenjaka u krednoj vulkanogeno-sedimentnoj seriji. Ove naslage nalaze se južno od područja prikazanog na geološkoj karti, tj. u središnjem dijelu Kalnika. Isto tako veliki blokovi trijaskih, jurskih, krednih i paleocenskih vapnenaca izgrađuju tzv. kalničku breču, od koje je izrađen južni kalnički greben. Jedan dio navedenih starijih stijena mogao bi se nalaziti i ispod mlađih naslaga.

Klastične naslage donjeg i srednjeg miocena imaju veliku rasprostranjenost na sjevernim obroncima Kalničkoga gorja i u bližoj okolici Varaždinskih toplica. One su u literaturi poznate pod nazivom »oligocenske ugljenonosne naslage«. Prema novijim istraživanjima pretpostavlja se da su nastale tijekom akvitana i burdigala (Šimunić i dr. 1981). Zasad, zbog rijetkih nalaza provodnih fosila i međusobne sličnosti sedimenata, nema pouzdanih kriterija za njihovo detaljnije raščlanjivanje. To su paraličke naslage koje diskordantno leže na gornjotrijaskoj podlozi. Nastale su kao produkt rastrožbe istaknutog reljefa. Zbog toga u bazi obično dolaze polimiktni konglomerati ili krupnozrnati pijesci, a zatim slijede pjeskoviti lapori i gline s proslojcima mrkog ugljena i tufova te na kraju pijesci i pješčenjaci. Nagle promjene u sedimentaciji u lateralnom i vertikalnom smislu ukazuju na sinsedimentacijske tektonske pokrete, a pojave tufova na vulkansku aktivnost. Veće količine tufova poznate su u jarcima u blizini termalnih izvora u Varaždinskim toplicama. To je vjerojatno navelo C. Voyta (1890) da pretpostavi postvulkansko porijeklo termalne vode, što je kasnije prihvatio i D. Gorjanović.

Među sedimentima dominaraju grublji klastiti: konglomerati, šljunci i pijesci. Posebno su interesantne krupne valutice, promjera 10—15 cm, rjeđe 20—30 cm, koje su nastale rastrožbom visokometamorfnih stijena. Zbog pojave tih valutica u bazi donjeg miocena stariji autori su pretpostavljali da jezgru Kalničkoga gorja čine gnajsovi i graniti te visokometamorfni škriljavci (Vukotinović 1852). Pijesci i pješčenjaci pretežno su kvarcni, a sastav »teške mineralne frakcije« ukazuje da su oni produkti rastrožbe metamorfnih stijena. Visokometamorfne stijene danas nigdje u blizini ne izbijaju na površinu, te zbog toga treba pretpostaviti da

je u blizini postojalo izdignuto područje iz kojega se vršila distribucija materijala. Promjer kao i slaba zaobljenost najvećih valutica pokazuje da one nisu daleko transportirane. Slične valutice zapazio je i B. Crnković (1965) s južne strane Medvednice. Danas najbliži izdignuti masiv izgrađen od granita i gnajsova nalazi se u Moslavačkoj gori. Osim toga granit je nabušen kod Vrbovca na dubini od 185 m. Mnogi autori povezuju ove stijene u tzv. »Moslavačko-vrbovački prag«. Trebalo bi pretpostaviti da se taj »prag« tijekom donjeg i većim dijelom srednjeg miocena protezao do južnih padina Kalničkoga gorja i jugoistočnih padina Medvednice. Ovu pretpostavku potvrđuje i bušotina kod Križevaca (Hećimović i Šimunić (1986), koja je ispod donjomiocenskih naslaga na dubini od 1500 m nabušila metamorfne stijene.

Prava debljina ovih naslaga nije poznata jer zbog velike tektonske poremećnosti nisu mogle biti izmjerene. S obizrom na transgresivni karakter sedimenata, debljina može varirati od nekoliko metara do nekoliko stotina metara. U Tumaču Osnovne geološke karte lista Varaždin (Šimunić i dr. 1981) pretpostavlja se da najveća debljina ne prelazi 400 m.

3.3. Badenski konglomerati, vapnenci i lapori M_2^2

Naslage badena su najizrazitiji transgresivni član neogena u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Njihovoj sedimentaciji prethodila je vrlo intenzivna orogenetska faza, koja je poremetila sve postojeće strukture.

Marinska transgresija naišla je na vrlo izražen reljef. U prvo vrijeme je područje današnjega Kalnika bilo izdignuto i predstavljalo je otok u badenskom moru. S tog otoka vršeno je pretaloživanje materijala, te su na taj način nastale debele naslage polimiktnih, krupnozrnatih konglomerata i breča koje u obliku pojasa okružuju Kalničko gorje. Valutice u konglomeratu dobro su zaobljene, promjera 2 do 5 cm, rijetko 10 cm. Vrlo je značajno da su valutice lokalnog porijekla, tj. da su nastale rastrožbom stijena koje i danas čine jezgru planine. Pretežno su izgrađene od kvarca, zatim dijabaza, spilita, raznih tipova krednih pješčenjaka, a rjeđe vapnenca i dolomita. Valutice su vezane kalcitnim cementom. Najveća debljina baznih konglomerata poznata je na području potoka Ljube, gdje ona iznosi 20 do 25 m.

U gornjem dijelu badena za vrijeme maksimalne transgresije čitavo područje Kalnika bilo je preplavljeno morem. Na to upućuju erozijski ostaci badenskih naslaga koje se nalaze na grebenima i vrhuncima Kalnčikoga gorja na nadmorskim visinama 400 do 500 m. To je navelo E. Prelogovića (1975) da pretpostavi kako je Kalnik neotektonski izdignut oko 500 m. U bazi tih erozijskih ostataka ne dolaze više krupnozrnati konglomerati ili breče, nego sitnozrnati kvarcni konglomerati, pješčenjaci ili biogeni vapnenci. Zbog toga se može pretpostaviti da u blizini nije više bilo izdignutog reljefa s kojeg bi se vršila erozija i denudacija materijala.

Nakon taloženja baznih naslaga započela je sedimentacija pješčenjaka, vapnenačkih lapora i laporovitih vapnenaca. Boja sedimenata je najčešće žuta ili sivožuta.

Pješčenjaci su determinirani kao litoareniti i pjeskoviti biospariti (Šimunić i dr. 1981). Detritus je subzaobljen, rjeđe zaobljen i povezan kalcitnim cementom.

Vapnenački lapori i laporoviti vapnenci prevladavaju u višim dijelovima badena. Međusobno se razlikuju prema sadržaju karbonatne komponente, koja varira u rasponu od 60—93 %.

Stratigrafska pripadnost badenskih naslaga vrlo dobro je dokumentirana brojnim nalazima makrofaune i mikrofaune. Među makrofosilima prevladavaju oštrige (*Pycnodonta cochlear*), a česti su i pekteni (*Chlamys opercilaris, C. latissima,* i dr.). Debljina badenskih naslaga može jako varirati jer se radi o priobalnim i plitkovodnim sedimentima. Pretpostavlja se da najveća debljina varira od 200 do 300 m .

3.4. Lapori i vapnenci sarmata i donjeg panona M_3^1

Na preglednoj geološkoj karti i profilu (sl. 1 i 2) zajedno su prikazane naslage donjeg sarmata i donjeg panona. To je učinjeno jer naslage koje nemaju ukupnu debljinu veću od 100 m ne mogu, zbog mjerila karte, biti posebno izdvojene.

Sarmatski sedimenti konkordantno i kontinuirano slijede na badenskima. Oni u obliku uskog, ponekad tektonikom isprekidanog pojasa okružuju Kalničko i Varaždinskotopličko gorje. Njihov nalaz ispod Ljubelja (kota 558), na nadmorskoj visini između 350 i 400 m, pokazuje da su nekada prekrivali čitavo područje. Nalaz sarmatskih i donjopanonskih naslaga na toj visini pokazuje da su neotektonski pokreti na području Kalničkoga i Varaždinskotopličkoga gorja započeli mnogo kasnije nego što se to dosada pretpostavljalo.

Taloženje sarmatskih naslaga započelo je u brakičnoj sredini, čije začetke nalazimo već u gornjem badenu. Promjena saliniteta vode, koja je bila izazvana širim geotektonskim pokretima, dovela je do naglog izumiranja marinskih i razvoja brakičnih vrsta moluska. Na najvećem dijelu terena zapažena je uniformnost litofacijesa, što ukazuje na slične paleogeografske i sinsedimentacijske prilike u bazenu. U litološkom sastavu dominiraju pločasti, laporoviti vapnenci, vapnenački lapori, lapori i bituminozni lapori, a rjeđe su sitnozrnati pješčenjaci. Naslage su pretežno tankouslojene i listićave, a boja im varira od svjetložute do sive. U njima se ponekad može zapaziti cikličnost u sedimentaciji.

Kronostratigrafska pripadnost opisanih naslaga odgovara ekvivalentima donjeg i eventualno dijelu srednjeg sarmata u Bečkom bazenu. Dokumentirana je brojnim nalazima makrofaune i mikrofaune. Najzastupljeniji provodni makrofosili su *Erilia dissita dissita* i *Cardiuma gleichenbergennse,* a dosta često nalaze se i *C. vindobonense* i *Donax dentiger.*

Debljina sarmatskih sedimenata iznosi 30—50 m, a samo iznimno do 70 m.

Tijekom donjeg panona nastavljeno je taloženje pločastih, laporovitih vapnenaca, sivožućkaste boje, koji su u literaturi poznati pod nazivom »bijeli lapori«. Zbog oslađivanja bazena došlo je do potpunog izumiranja sarmatskih vrsta, koje se nisu mogle prilagoditi novim uvjetima života. Donjopanonski sedimenti sadrže karakteristične vrste makrofaune, kao npr. *Radix croatica* i *Gyraulus praeponticus*, koje ukazuju na gotovo potpuno oslađen bazen. Sedimentacijske prilike u tom bazenu bile su vrlo slične u cijeloj sjeverozapadnoj Hrvatskoj.

Debljina donjopanonskih naslaga na čitavom području ne prelazi 50 m.

3.5. Lapori, pijesci i pješčenjaci gornjeg panona M_3^2

Gornji panon na sjevernim padinama Kalničkoga i južnim padinama Varaždinskotopličkoga gorja ima specifičan razvoj, kakav se inače susreće u dubokim dijelovima Dravske i Savske potoline.

Početkom gornjeg panona nastavljena je kontinuirana sedimentacija laporovitih vapnenaca i vapnenačkih lapora, koji se od donjopanonskih sedimenata razlikuju samo po promjeni fosilnog sadržaja i većoj debljini slojeva. Uslijed povećanog saliniteta vode izumrle su slatkovodne vrste i pojavile se brakične. U ovim sedimentima dosta su česti nalazi kongerija (*Congeria banatica* i *C. zagrabiensis*), zatim limnokardida (*Limnocardium wincleri*) i drugih moluska. Ovaj dio gornjeg panona poznat je u literaturi pod nazivom naslage »Banatica«. Debljina sedimenata sa sjeverne strane Kalnika iznosi oko 50 m, a s južne strane oko 250 m (Šimunić 1986). To je zbog toga što je sa sjeverne strane Kalnika došlo do promjena u sedimentaciji, koje su bile uzrokovane sinsedimentacijskim tektonskim pokretima. Nakon što se istaložilo oko 50 m naslaga »Banatica« započelo je postupno spuštanje sjevernog dijela Kalničkoga gorja i taloženja klastita. To nije bila izolirana pojava, nego je bio stvoren veliki »podvodni kanal« pravca istok—zapad kojim se po J. Šimonu (1980) vršila distribucija klastičnog materijala s područja Alpa u Panonski bazen. Tijekom gornjeg panona »podvodni kanal« se konstantno spuštao i u njemu se vršila ritmička sedimentacija pijesaka, pjeskovitih lapora, glina, a ponekad i sitnih, kvarcnih šljunaka. M. Pikija i Al. Šimunić (1979) detaljnije su proučavali ove naslage, te smatraju da se one mogu uvrstiti u tzv. »resedimentiranu porodicu«, tj. da su nastale kombiniranim djelovanjem »mutnih tokova« i podvodnih klizanja. Detaljnim stratimetrijskim snimanjem utvrđeno je da im se debljina kreće od 650 do 700 m (Pikija i dr. 1981), a ujedno je i nađena fosilna dokumentacija za utvrđivanje stratigrafske pripadnosti. Određene vrste makrofosila i mikrofosila identične su s vrstama koje dolaze u naslagama »Banatica«.

3.6. *Lapori i pijesci donjeg ponta* $Pl1_1^1$

Na terenu se vidi da klastiti gornjeg panona postupno prelaze u donji pont. Granični dio karakteriziraju siltozni, slabo uslojeni lapori u kojima se zajednički pojavljuju fosili iz oba stratigrafska člana. U višim dijelovima donjeg ponta istaloženi su dobro uslojeni lapori, siltozni lapori i pijesci, koji se međusobno izmjenjuju. U laporima je zapažena koncentracija listićavih minerala uz slojne plohe. Pijesci su po sedimentno-petrografskim karakteristikama potpuno identični s pijescima gornjeg panona. Prema tome, može se zaključiti da je sedimentacija klastita tijekom ponta proširena na čitavo područje, koje je prikazano na geološkoj karti, ali je kasnije najveći dio tih naslaga erodiran. Danas su ostale sačuvane samo sa sjeverne strane Vraždinskotopličkoga gorja i kod sela Črnile. Iz opisanih naslaga sakupljena je dosta brojna makrofauna, kojom je utvrđena njihova stratigrafska pripadnost. Iz Tumača Osnovne geološke karte (Šimunić i dr. 1981) vidi se da najčešće dolaze vrste *Paradacna abichi* i *P. lenzi*.

Debljina naslaga donjeg ponta procjenjuje se na 200 do 400 m, što ovisi o stupnju erozije.

Sedimenti gornjeg ponta (tzv. naslage »Rhomboidea« nisu nađeni na području koje je obuhvaćeno geološkom kartom, što ne znači da se nisu taložili, već da su erodirani.

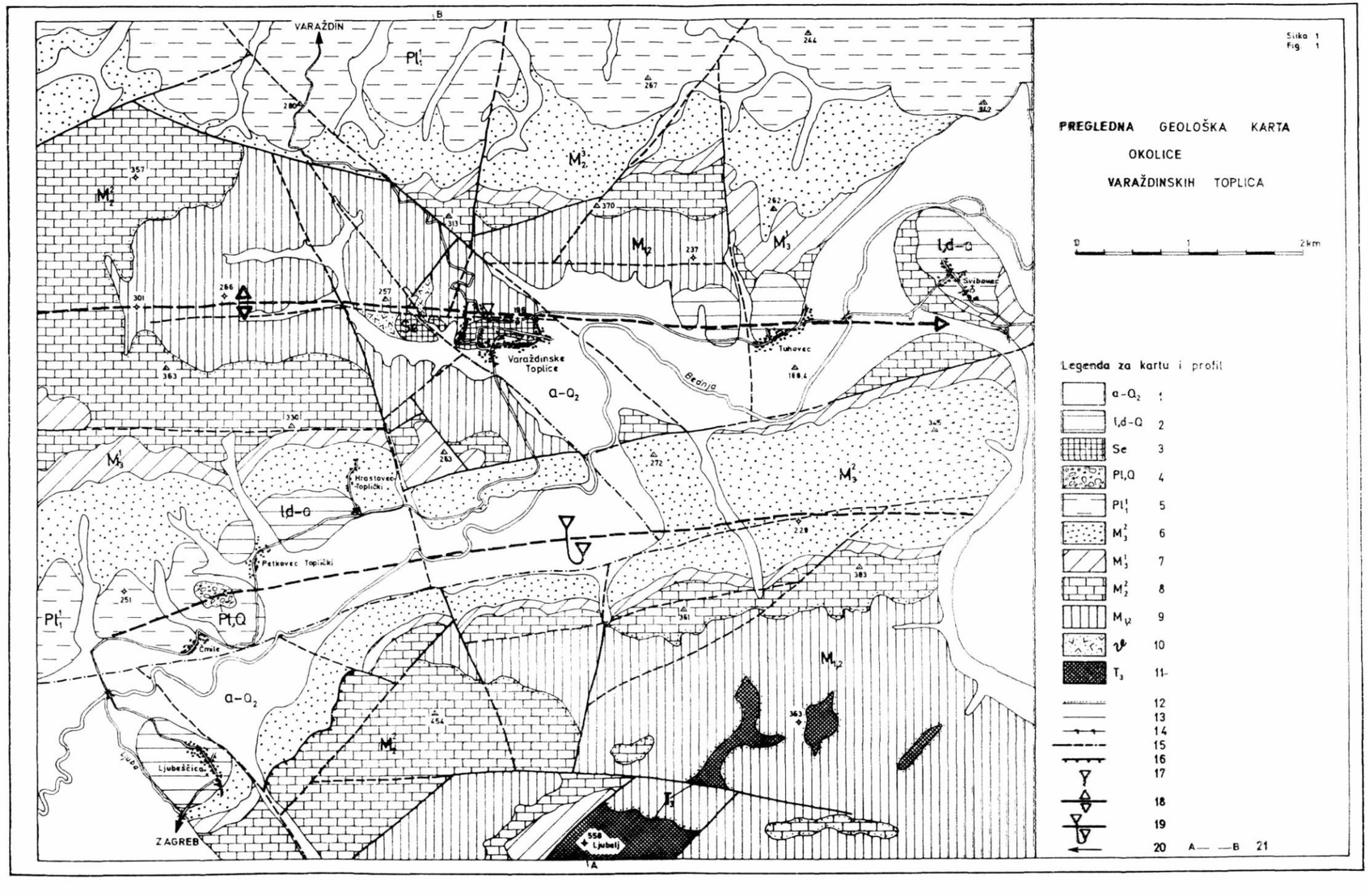
3.7. *Plio-pleistocenski šljunci i pijesci Pl, Q*

Plio-pleistocenski šljunci i pijesci nađeni su na vrlo maloj površini, sjeverno od sela Črnile, gdje predstavljaju erozijski ostatak nekad šire rasprostranjenosti sedimenata. Posebno su izdvojeni samo zbog toga što imaju veliko značenje za rekonstrukciju tektonskih zbivanja u čitavom području. To su krupni, dosta dobro zaobljeni, polimiktni šljunci i krupnozrnati pijesci, koji su nastali rastrožbom stijena na području Ivančice i Kalnika. Njihova sedimentacija započela je nakon neotektonskih izdizanja i intenzivne erozije spomenutih planina. Pojavu tih šljunaka i pijesaka trebalo bi detaljnije istražiti jer nije isključeno da su neke valutice s područja Pohorja ili Alpa, što bi ukazivalo na mlađe pokrete nego što ih zasad prepostavljamo.

U ovim naslagama nisu nađeni nikakvi fosilni ostaci, te njihova stratigrafska pripadnost nije potpuno jasna.

3.8. *Sedra Se*

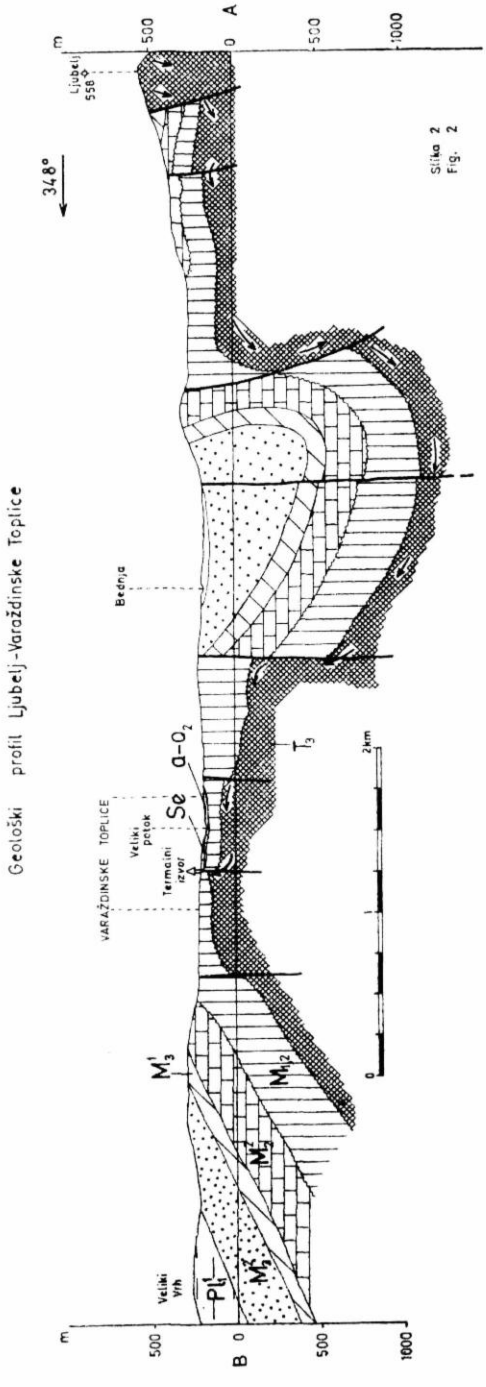
Naslage sedre nalaze se uz termalne izvore u Varaždinskim toplicama. Nastala je inkrustacijom kolacijeva karbonata iz tople vode te pojava sedre markira aktivne i presahle termalne izvore. Sedra je puna različito orijentiranih šupljina koje su nastale prilikom njezine sedimentacije. Termalna voda prelijevala se preko mahovina, trava i grmlja koje je raslo u blizini izvora. Hlađenjem vode oslobađao se ugljični dioksid, a kalcijev karbonat se taložio po bilju.



Sl. *(Fig.)* 1.

Legenda za Preglednu geološku kartu i profil. *Key for the Index Map and profile.*

1. aluvijalni sedimenti; šljunci, pijesci i gline *(alluvial sediments; pebbles, sands and clays),*
2. les-deluvij; glinoviti siltovi, siltozne gline i pijesci *(loess-delluvial; clay silts, silty clays and sands),*
3. sedra *(travertine),*
4. plio-pleistocenski šljunci i pijesci *(plio-pleistocenean pebbles and sands),*
5. donji pont; lapori i pijesci *(Lower Pontian; marl and sands),*
6. gornji panon; lapori, pijesci i pješčenjaci *(Upper Pannonian; marl, sands and sand stone),*
7. sarmat i donji panon; lapori i vapnenci *(Sarmatian and Lower Pannonian; marl and lime-stones),*
8. baden; konglomerati, vapnenci i lapori *(Badenian; conglomerates, lime-stones and marl),*
9. donji i srednji miocen; pijesci, šljunci, lapori i gline *(Lower and Middle Miocene; sands, pebbles, marl and clays),*
10. donjomiocenski tufovi *(Lower Miocenean tuffs),*
11. gornji trijas; dolomiti i vapnenci *(Upper Triassic; dolomites and lime-stones),*
12. tektonsko-erozijska granica *(tectonic-erosional border),*
13. normalna geološka granica *(normal-geological border),*
14. prevrnuta, normalna granica *(overturned, normal border),*
15. normalni rasjed *(normal fault),*
16. reversni rasjed *(reverse fault),*
17. termomineralni izvor *(thermo-mineral spring),*
18. os antiklinale *(axis of anticline),*
19. os prevrnute sinklinale *(axis of overturned syncline),*
20. pretpostavljen smjer toka vode *(presumed direction of water circulation)*
21. trasa profila *(profile route).*


Geološki profil Ljubelj-Varaždinske Toplice
m
500
0
500
1000
A
B
Ljubelj
558
348°
Slika 2
Fig. 2
Bednja
VARAŽDINSKE TOPLICE
Veliki potok
Termalni izvor
Veliki Vrh
Se
a-O2
T3
M1/2
M2
M3
Pl1
2km
0
1

Sl. (*Fig.*) 2.

Kasnije, kada je organska tvar istrunula, ostale su šupljine. Sedra je djelomično uslojena i u njoj je nađeno dosta inkrustiranih kućica puževa, koje pripadaju vrsti *Lymnaea truncatula*. U sedri je postojala spilja koja je tijekom paleolita bila nastanjena ljudima. M. Malez (1983) našao je u toj spilji ostatke nosoroga, koji je u okolici Varaždinskih toplica živio tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena. Prema tome, taloženje sedre moralo je započeti već početkom pleistocena, tj. odmah nakon neotektonskih pokreta i erozije kojom je započelo stvaranje današnjeg reljefa. Velike količine sedre ukazuju na dugotrajnu aktivnost termalnih vrela, kao i na veliko otapanje stijena kroz koje prolazi voda. Prema debljini istaložene sedre moglo bi se pretpostaviti da su termalni izvori u Varaždinskim toplicama najstariji u SR Hrvatskoj.

3.9. Glinoviti siltovi, siltozne gline i pijesci l, d-Q

Na području Petkovca, Tuhovca i Svibovca izdvojene su naslage glinovitih siltova, siltoznih glina i glinovitih pijesaka žutosmeđe boje. U njima ponekad ima sitnih limonitnih konkrecija i rijetkih valutica šljunka. Nastali su rastrožbom prapora ili starijih neogenskih naslaga. U dubljim zasjecima, na području Svibovca, može se vidjeti kako ove deluvijalne naslage prelaze u pravi prapor (les).

3 10. Aluvijalni sedimenti a-Q_2

U dolini Bednje i njezinih pritoka te u dolinama potoka sa sjeverne strane Varaždinskotopličkoga gorja istaloženi su šljunci, pijesci i gline. Nastali su rastrožbom i pretaloživanjem starijih naslaga. Njihova najveća debljina ne prelazi 10 m.

4. TEKTONSKI ODNOSI

Tektonski odnosi u širem području Varaždinskih toplica vrlo su složeni, što se vidi iz Pregledne geološke karte i profila (sl. 1 i 2). Uočljiva su dva tipa tektonskih pokreta. To su tangencijalni potisci, koji su doveli do boranja površinskih dijelova litosfere, i radijalna kretanja, koja su dovela do rasjedanja te vertikalnih i subvertikalnih pomicanja blokova.

4.1. Slijed tektonskih zbivanja

Iz prethodnih poglavlja vidljivo je da je područje Kalničkoga i Varaždinskotopličkoga gorja u najvećem dijelu svoje geološke prošlosti bilo preplavljeno vodom i da su se glavni tektonski pokreti zbivali za vrijeme relativno kratkih kopnenih faza.

Zbog male površine terena, kao i zbog nedostatka jurskih i krednih naslaga, ne mogu se rekonstruirati predneogenski pokreti. Prema podacima s područja Ivančice i južnog dijela Kalničkoga gorja

(Šimunić i Hećimović 1979) može se zaključiti da je tektonska aktivnost bila vrlo jaka u kredi i početkom eocena. Ovi pokreti odgovarali bi austrijskoj, suphercinskoj i pirinejskoj fazi alpske orogeneze.

Prije badenske transgresije čitavo područje sjeverozapadne Hrvatske bilo je ponovno zahvaćeno vrlo snažnim tektonskim pokretima. Oni najvjerojatnije odgovaraju štajerskoj fazi alpske orogeneze. Uslijed tangencijalnih potisaka pravca sjever—jug došlo je do boranja, rasjedanja navlačenja. Tom prilikom uništene su starije strukture, a stovren je »pretcrtež« za sve mlađe tektonske pokrete. Na području Kalničkoga gorja došlo je do navlačenja kredne vulkanogeno-sedimentne serije na donjomiocenske klastite, u čijoj se podlozi nalaze trijaski dolomiti. Ova navlačna granica nalazi se u dolini potoka Ljuba i proteže se duž čitavoga Kalničkoga gorja (Šimunić i dr. 1982). Štajerska orogenetska faza stvorila je inicijalne forme, iz kojih su se kasnije razvile velike plikativne strukture u Hrvatskom zagorju.

Velika debljina konglomerata i breča koje se nalaze u bazi badenskih naslaga ukazuju da je bio stvoren istaknuti reljef, koji bi površinski približno odgovarao današnjem Kalniku. Čitavo područje postupno je spušteno, tako da je do sarmata bilo potpuno preplavljeno morem. U gornjem panonu sjeverni dio Kalničkoga gorja brže se spuštao od južnoga, što se odrazilo različitom sedimentacijom. U južnom dijelu taložili su se lapori »Banatica«, a u sjevernom klastiti. Tijekom ponta sedimentacijske prilike u bazenu ponovno su se izjednačile, tako da su se taložili lapori i pijesci na čitavom području.

Neotektonski pokreti započeli su nakon završnog ciklusa sedimentacije, koji je trajao od badena do gornjeg ponta. Ovi pokreti odgovarali bi rodanskoj i vlaškoj fazi alpske orogeneze, odnosno najmlađem dijelu neotektonskih pokreta koji su djelovali tijekom pliocena i kvartara.

Teško je rekonstruirati pravi slijed tektonskih zbivanja za to najmlađe razdoblje, ali vidljivo je da su se i najmlađi neogenski sedimenti borali i rasjedali. Sa sjeverne strane Kalničkoga gorja došlo je do fleksurnih povijanja, a zatim i do reversnog rasjedanja te manjeg navlačenja badenskih na gornjopanonske naslage kod Kalničke Kapele.

Tektonski pokreti formirali su velike plikativne strukture, čiji su segmenti prikazani na Preglednoj geološkoj karti (sl. 1). To su antiklinala Varaždinske toplice—Margečan, sinklinala Lobor—Zajezda—Petkovec i antiforma Ljubelja. Kao što će se vidjeti iz daljnjeg teksta, ove plikativne strukture igraju važnu ulogu prilikom kretanja i zagrijavanja vode.

Nakon boranja započelo je izdizanje Kalničkoga i Varaždinsko-topličkoga gorja. Pritom se Kalničko gorje izdizalo znatno brže, što je povećalo eroziju i denudaciju, pa su starije stijene izbile na po-

vršinu, što je bitno za akumulaciju vode. Ova kretanja odvijala su se uz velike vertikalne i kose rasjede, čije se pružanje podudara s osima bora. Važno je naglasiti da skokovi uz rasjede nisu bili tako veliki da bi se pokidala veza među trijaskim naslagama, koje su glavni nosioci termomineralne vode.

Česti potresi u ovom području, čiji se epicentri nalaze na sjevernim padinama Kalnika, pokazuju da neotektonska kretanja još uvi jek nisu završena.

4.2. Opis tektonskog rasporeda

Istraživano područje sastoji se od tri veće strukturne jedinice i velikog broja tektonskih blokova. Na Preglednoj geološkoj karti prikazani su dijelovi triju velikih plikativnih formi koji se mogu pratiti duž čitavoga Hrvatskog zagorja. To su: antiklinala Varaždinske toplice—Margečan, sinklinala Lobor—Zajezda—Petkovec i antiforma Ljubelja.

Antiklinala Varaždinske toplice—Margečan proteže se prema istoku do sela Cvetkovec, a prema zapadu ide preko Lepoglave, Jesenja i Hromeca u Sloveniju. U jezgri su nabušeni trijsaki dolomiti u Varaždinskim toplicama i Završju, a trijaske stijene izbijaju na površinu kod Sv. Duha (blizu Ivanca) te između Lepoglave i Hromeca. To je tzv. »Andezitna linija« ili niz »Hum——Brda—Željeznica«, koju je opisao D. Gorjanović-Kramberger (1904). S. Miholić (1940) smatrao je tu »liniju« četvrtom »termalnom linijom« u Hrvatskom zagorju.

Novim straživanjima (Šimunić i Hećimović 1979) pokazalo se da se ustvari radi o poremećenoj antiklinali čija jezgra mjestimično izbija na površinu. Radi objašnjenja pojave termalnih vrela treba napomenuti da u području Varaždinskih toplica antiklinala poprima oblik izdužene brahiantiklinale. Jezgra antiklinale (trijaski dolomiti) izdignuta je i nalazi se 20 do 50 m ispod površine (Bać i Herak 1962). Os bore tone prema istoku i zapadu, pa zbog toga nema više termalnih izvora.

Sinklinala Lobor—Zajezda—Petkovec ima slično protezanje duže osi kao i prethodna antiklinala, samo što ona prolazi s južne strane Strahinščice i Ivančice, a kod Novog Marofa se povija i dolazi sa sjeverne strane Kalničkoga gorja. Prema zapadu se nastavlja u Sloveniju, a prema istoku dopire do rasjeda Ludbreg—Koprivnica. Taj rasjed je granica između Dravske potoline i Kalničkoga gorja. U jezgri sinklinale nalaze se sedimenti gornjeg ponta, koji na području Varaždinskih toplica isklinjavaju. U području Kalničkoga gorja sinklinala je jako sužena, a os bore nagnuta je prema sjeveru.

Antiforma Ljubelja proteže se u pravcu istok—zapad, duž sjevernih padina Kalničkoga gorja. Ona zapravo predstavlja neotektonski izdignut dio antiklinale Strugača — Budinščina. Nastala

je kombiniranim djelovanjem tangencijalnih i radijalnih pokreta. U jezgri se nalaze trijaski dolomiti, koji su tijekom neogena bili preplavljeni morem. To dokazuje pojava sarmatskih i panonskih naslaga ispod samog vrha Ljubeja na nadmorskoj visini oko 450 m. Nalaz tih naslaga važan je za dokumentaciju početka neotektonskih izdizanja. Prilikom boranja u pliocenu, na sjevernom rubu strukturne jedinice, došlo je do ustrmljavanja i prevrtanja naslaga mlađeg neogena. To je dovelo do fleksurnih povijanja i rasjedanja, a os bore nagnuta je prema sjeveru.

Područje prikazano na Geološkoj karti ispresijecano je mnogobrojnim rasjedima. To su pretežno vertikalni rasjedi, osim na sjevernim padinama Kalničkoga gorja, gdje ima i vrlo značajnih reversnih rasjeda. Postanak rasjeda vezan je uz pliocensko boranje terena, kao i neotektonska izdizanja tijekom gornjeg pliocena i kvartara. Pružanje rasjeda najčešće je u pravcu istok—zapad (»alpski pravac«), ali ima i nekoliko većih rasjeda čije je pružanje u pravcu sjeverozapad—jugoistok (»dinarski pravac«).

Rasjedi alpskog pravca najvjerojatnije su se razvili iz klivaža aksijalne ravnine. Oni su vrlo značajni za pojavu termalnih izvora u Varaždinskim toplicama. Uz jedan manji rasjed koji se nalazi u samom tjemenu bore locirana su četiri termalna izvora, od kojih je najaktivniji onaj u parku uz rimske iskopine. U šarniru bore trijaski su dolomiti najbliže površini, pa je bio dovoljan manji rasjed koji je omogućio izbijanje termalne vode.

Za pojavu vrela važni su i rasjedi pravca sjeverozapad—jugoistok, od kojih jedan prolazi dolinom Velikog potoka, a drugi jarkom u kojem su staklenici. Područje između rasjeda predstavlja izdignuti blok na kojem se nalazi najstariji dio grada Varaždinske Toplice. Neotektonskim izdizanjem ovoga bloka trijaski dolomiti došli su bliže površini, što je znatno olakšalo izbijanje termomineralne vode. Osim toga, rasjedi sjeverno od termalnih vrela sprečavaju cirkulaciju vode prema sjeveru.

5. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE STIJENA

Radi objašnjenja cirkulacije vode u podzemlju bit će ukratko opisane hidrogeološke karakteristike stijena. Prema podacima J. Baća i M. Heraka (1962) termalna voda izbija iz trijaskih dolomita. Iz poglavlja o tektonici vidi se da su dolomiti i vapnenci od svog postanka pa do danas bili zahvaćeni mnogobrojnim tektonskim pokretima, uslijed čega su se borali, rasjedali i drobili, te je velik dio prešao u tektonsku breču. Osim toga bili su i nekoliko puta izloženi karstifikaciji, što je, iako se to ne vidi izvana, u njima stvorilo kanale i šupljine. Prema tome, dolomiti mogu upijati velike količine oborinske vode, koja se postupno spušta u podzemlje. Da bi se usmjerilo kretanje vode, ispod i iznad dolomita moraju biti nepropusne naslage. Ispod dolomita mogu se

očekivati srednjotrijaski klastiti, kao što je slučaj na području Ivančice. Na dolomitima leže donjomiocenski klastiti, koji su u cjelini nepropusni, iako se sastoje od izmjene lapora i pijeska. Najvažnije je da u donjem dijelu tih klastita prevladavaju lapori i gline. Mlađe naslage neogena sastoje se od izmjene propusnih i nepropusnih sedimenata, što omogućuje cirkulaciju vode u smjeru nagiba slojeva. U tim sedimentima su manji izvori koji nemaju vezu s termalnim vrelima u Varaždinskim toplicama.

6. KRETANJE I ZAGRIJAVANJE TERMALNE VODE

Postoje dvije oprečne teorije o postanku i zagrijavanju termalne vode u toplicama sjeverozapadne Hrvatske.

Prema prvoj, termalna voda je rezultat postvulkanske aktivnosti, tj. vulkanski plinovi i pare probijaju se uz duboke rasjede prema površini i stvaraju termalna vrela. Glavni predstavnik ove teorije bio je D. Gorjanović-Kramberger (1904 i 1907). Takvo mišljenje bilo je općeprihvaćeno krajem devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća, mjestimično se održalo i do danas. Aktivnost vulkana može se utvrditi i na temelju stijena koje oni stvaraju, a to su eruptivi i tufovi. Mlađih eruptiva nema u bližoj okolici Varaždinskih toplica. Najbliže i najmlađe eruptive spominje M. Kišpatić (1909) kod Možđenaca, ali to je manja pojava koja kasnije nije nikada nađena. Nađeni su samo tufovi, koji su uloženi u badenske naslage, što znači da su stariji od 15 milijuna godina. Tufovi su poznati i uz same termalne izvore u Varaždinskim toplicama, ali oni pripadaju donjem miocenu ili čak oligocenu i prema tome stariji su od 25 miljuna godina. U središnjem dijelu Kalničkoga gorja ima krednih eruptiva i tufova, ali oni su stariji od 70 milijuna godina. Osim toga, sve navedene stijene bile su izložene vrlo jakim tektonskim pokretima i danas se ne nalaze na mjestu gdje su nastale. Prema toj teorji imali bismo u Hrvatskom zagorju desetak još uvijek aktivnih »vulkanskih ognjišta«. Kada bi postojali, ti bi »vulkani« sigurno proradili tijekom pliocena, kada je sjeverozapadna Hrvatska bila zahvaćena vrlo jakim tektonskim pokretima.

Prema drugoj teoriji, koju je dokazao S. Miholić (1940), termalna voda je vadoznog porijekla. Ona se nakuplja u trijaskim dolomitima i vapnencima u planinama Hrvatskog zagorja a uz »termalne linje« izbija na površinu. Prema tome, termalni izvori bili bi velika uzlazna vrela. Miholić je uz tri Gorjanovićeve »termalne linije« dodao i jednu svoju. Prema njemu temperatura vode ovisi o dubini spuštanja i geotermalnoj stepenici u tom području. K. Jenko i T. Jagačić (1962) došli su do zaključka da se voda u Tuheljskim i Krapinskim toplicama pojavljuje u tjemenu antiklinale i da njena temperatura zavisi o dubini neogenske sinklinale ispod koje voda prolazi. Do sličnih zaključaka

došli su i J. Bać i M. Herak (1962) za Varaždinske i Stubičke toplice. Kasnije se pokazalo (Šimunić i Hećimović 1979) da se svi termalni izvori u Hrvatskom zagorju nalaze na tjemenima međusobno paralelnih antiklinala. Za njihovo pojavljivanje nije potreban neki veliki regonalni rasjed (»termalna linija«), nego manji rasjedi, koji u kombinaciji s plikativnom strukturom dovode vodonosne horizonte bliže površini. Ova teorija provjerena je bušenjem u Tuheljskim i Šemničkim toplicama (Šimunić i Hećimović 1981), zatim u Krapinskim toplicama i južnim padinama Kalnika (Šimunić 1986a i 1986b) te u Križevcima (Hećimović i Šimunić 1986). Prema tome, može se zaključiti da voda u podzemlju cirkulira po principu spojenih posuda, i to s područja višega u područje nižega tlaka. Pritom veliku ulogu imaju rasjedi i plikativne strukture, koji mogu dovesti do prekida vodonosnih slojeva. Vrlo je interesantno da u istoj sinklinali voda jednom cirkulira od sjevera prema jugu, a drugi put od juga prema sjeveru. Prvi je slučaj u Sutinskim, a drugi u Varaždinskim toplicama, a sve ovisi o nadmorskoj visini kolektorskih stijena. Kemizam vode ovisan je o kemijskom sastavu stijena kroz koje ona prolazi i o vremenu koje se voda zadržava u podzemlju. Prema tome, moglo bi se zaključiti da se voda u Varaždinskim toplicama najduže zadržavala u podzemlju, jer sadrži više otopljenih tvari nego bilo koja termalna voda u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Starost vode može se utvrditi analizom ^{14}C, ali taj podatak nije nam poznat za Varaždinske toplice. Analogno prema Sutinskim toplicama, voda u Varaždinskim toplicama ne bi smijela biti mlađa od 20.000 godina.

Iako se to sadašnjim analizama ne može dokazati, svi izneseni geološko-tektonski aspekti ukazuju na to da se najveći dio vode koja danas izvire u Varaždinskim toplicama nakuplja na sjevernim padinama Kalničkoga gorja. Tu trijaski vapnenci i dolomiti izbijaju na površinu, a nadmorska visina im je 200 do 350 m veća nego nabušenim dolomitima u Varaždinskim toplicama. To je neobično važno zbog stvaranja hidrostatskog pritiska, koji je uz propusnost stijene bitan za pokretanje vode na principu spojenih posuda. Najviše su izdignuti trijaski dolomiti na području Ljubelja (558 m), a nadmorska visina termalnog vrela je 198,7 m. Zbog toga treba naglasiti da zaštitno područje za termalna vrela nije samo bliža okolica Varaždinskih toplica, kao što se to dosada pretpostavljalo, nego su to i sjeverne padine Kalnika. Prekomjerna eksploatacija trijaskih dolomita i vapnenaca mogla bi poremetiti hidrostatski tlak i smanjiti kapacitet izvora. Nešto slično događa se za vrijeme velikih suša s južne strane Kalnika u dubokom bunaru kod Vratna, koji inače daje hipotermalnu vodu (Šimunić 1986a).

Za manji dio termalne vode treba pretpostaviti da se nakuplja na istočnom dijelu Ivančice, te da se po dolomitima i vapnencima spušta u podzemlje. To potvrđuju i hipotermalni izvori (17—22 °C) u Podevčevu i Topličici kod Novog Marofa.

Na svom putu kroz podzemlje voda otapa stijene kroz koje prolazi te stvara kanale i spilje, što može povećavati kapacitet, ali i mijenjati lokaciju pojedinog izvora. Zasad nema podataka o podzemnim kanalima na području Varaždinskih toplica, ali se za orijentaciju može navesti da su u Krapinskim toplicama nabušene šupljine visoke do 8 m (Šimunić 1986b). Treba pretpostaviti da podzemni kanali postoje i u bližoj okolici termalnih vrela u Varaždinskim toplicama, što povrđuju i velike količine sedre. Naslage sedre su najveće u sjevernoj Hrvatskoj, što ukazuje na dugotrajnu aktivnost izvora i otapanje stijena kroz koje prolazi voda.

Da bi se voda zagrijala od 8° do 56 °C, ona se mora spustiti približno do 1.300 m dubine, jer geotermalna stepenica za to područje, prema A. Rubiniću (1961) iznosi 25,6 do 27 m. Srednja godišnja temperatura za to područje iznosi 8—10 °C. Nije poznato koliko je ona iznosila krajem pleistocena, kada se nakupljala voda koja danas izvire, ali razlika vjerojatno nije velika.

Temperatura vode u Varaždinskim toplicama dosta je stalna i kroz posljednjih 100 godina nije se izmijenila. Tako npr. C. Voyt (1890) navodi temperaturu od 45 °R, što bi preračunano bilo 56,25 °C, a tolika je temperatura vode i danas. U literaturi se još navode temperature od 55,8° do 58 °C, ali do tih je razlika vjerojatno dolazilo zbog nejednako baždarenih toplomjera ili zbog razlike u srednjoj godišnjoj temperaturi.

Već je prije navedeno da se voda kreće po trijaskim karbonatima, zapravo uz granicu gornjeg trijasa i donjeg miocena. Ako se zbroji srednja debljina neogenskih sedimenata koje u dnu sinklinale leže na dolomitima, onda ukupna debljina naslaga iznosi 1.300 do 1.400 m, a to je upravo ona dubina koja je potrebna da se voda od 8 °C zagrije do 56 °C. Točniji račun se ne može postaviti jer voda na putu od dna sinklinale do izvora sigurno gubi jedan dio topline budući da usput zagrijava okolne stijene. Osim toga postoje i prije spomenute razlike u srednjoj godišnjoj temperaturi, kao i neki drugi dosad nepoznati faktori.

7. SAŽETAK

Područje bliže okolice Varaždinskih toplica (sl. 1), zahvaća sjeverne padine Kalničkoga i središnji dio Varaždinskotopličkoga gorja. Najstarije stijene koje izbijaju na površinu su dolomiti i vapnenci gornjeg trijasa. Iste stijene nabušene su i u Varaždinskim toplicama, gdje su glavni nosioci termominealne vode. Gornjotrijaske naslage bile su zahvaćene tektonskim pokretima, zbog čega su jako zdrobljene i raspucale. Ova tektonizacija znatno je povećala njihova kolektorska svojstva. Pretpostavlja se veza između dolomita i vapnenaca na području sjevernih padina Kalnika i nabušenih dolomita u Varaždinskim toplicama.

Na trijaske karbonate transgresivni su donjomiocenski klastiti. Oni se sastoje od šljunka, pijeska, lapora, glina, tufova i proslojaka ugljena. Ti se sedimenti međusobno lateralno i vertikalno izmjenjuju, zbog čega su dosta slabo propusni. Uz granicu s dolomitima i vapnencima pojavljuju se velike valutice, promjera 10—30 cm, koje su nastale rastrožbom visokometamorfnih stijena. Takve stijene nisu poznate na području Kalnika ni Ivančice, pa se može pretpostaviti da se »Moslavačko-vrbovečki prag«, u donjem miocenu, protezao do južnih padina Kalnika. S obzirom na transgresivni karakter donjomiocenskih klastita, njihova najveća debljina nije poznata, ali se pretpostavlja da ne prelazi 400 m.

Nakon vrlo intenzivnih tektonskih pokreta u srednjem miocenu čitavo područje bilo je zahvaćeno marinskom transgresijom. U prvo vrijeme Kalnik je predstavljao uzvišenje s kojeg se vršila erozija i denudacija krupnoklastičnog materijala, ali već početkom sarmata čitavo područje bilo je potpuno preplavljeno. Sedimentacija se uz postupno oslađivanje, održala do gornjeg ponta. Tijekom gornjeg neogena istaloženo je oko 1.800 m naslaga, od kojih je oko 600 m gornjopontskih sedimenata potpuno erodirano. Veliku debljinu imaju gornjopanonski sedimenti (650—700 m), što ukazuje na vrlo intenzivne sinsedimentacijske pokrete. Tijekom badena, sarmata i donjeg panona taložili su se lapori i vapnenci, a u pontu pijesci i pjeskoviti lapori.

Nakon gornjeg ponta došlo je do vrlo intenzivnih tektonskih pokreta. Teško je rekonstruirati slijed tektonskih zbivanja, ali je vidljivo da su i najmlađi neogenski sedimenti bili borani i rasjedani. Neotektonski pokreti formirali su plikativne strukture velikih dimenzija, čiji su segmenti prikazani na Preglednoj geološkoj karti (sl. 1). To su antiklinala Varaždinske toplice—Margečan i antiforma Ljubelja te između njih sinklinala Lobor—Zajezda—Petkovec. Ove bore vrlo su značajne zbog objašnjavanja sistema zagrijavanja termalne vode. Nakon boranja došlo je do izdizanja Kalničkoga i Varaždinskotopličkoga gorja. Pritom je dolazilo do različitih kretanja pojedinih blokova uz normalne i kose rasjede. Važno je naglasiti da »skokovi« blokova nisu bili tako veliki da bi se pokidale veze među trijaskim dolomitima, koji su glavni nosioci termalne vode.

Neotektonskim pokretima najviše je izdignuto područje Ljubelja, gdje se vrši akumulacija vode. Voda se po vapnencima i dolomitima spušta ispod dna neogenske sinklinale (oko 1.300 m), putem se zagrijava, zatim se diže do tjemena antiklinale te uz manji rasjed izbija na površinu. Da bi se voda mogla kretati po sistemu spojenih posuda, uz propusnost stijena važan je i hidrostatski tlak. Taj se tlak dobiva zbog razlike u nadmorskoj visni dolomita, koja iznosi 200 do 350 m. Najviše su izdignuti trijaski dolomiti na području Ljubelja (558 m), a nadmorska visina termalnog izvora je 198,7 m.

Prema A. Rubiniću (1961) geotermalna stepenica za sjeverozapadnu Hrvatsku iznosi 25,6° do 27°, pa je za zagrijavanje vode od 8° do 56°C potrebno da se ona spusti do dubine od 1.300 do 1.400 m. To je upravo ukupna debljina neogenskih naslaga koje se nalaze u sinklinali Lobor—Zajezda—Petkovec.

Za jedan dio termalne vode treba pretpostaviti da se nakuplja na istočnim dijelovima Ivančice. To potvrđuju hipotermalni izvori u Podevčevu i Topličici kod Novog Marofa.

8. LITERATURA

Bać, J. & Herak, M. (1962): Prilog za određivanje užih i širih zaštitnih zona termomineralnih izvora u Hrvatskoj. Fond struč. dok. Geološkog zavoda, br. 3500a, Zagreb.

Čabrijan, J. (1966): Varaždinske toplice. Povijesni pregled. Vijesti muzealaca i konzervatora Hrvatske. 15,5, 3—5, Zagreb.

Crnković, B. (1965): Nalaz kristalinskih valutica u oligocenskim konglomeratima Medvednice. Geol. vjesnik, 18, 41—52, Zagreb.

Gorjanović-Kramberger, D. (1984): Geologija gore Samoborske i Žumberačke. Rad Jugosl. Akad. znan. i umjet., 120, 1—82, Zagreb.

Gorjanović-Kramberger, D. (1904): Geologijska prijegledna karta kraljevine Hrvatske-Slavonije. Tumač geologijske karte Zlatar-Krapina, 1—25, Zagreb.

Gorjanović-Kramberger, D. (1907): Die geotektonischen Verhältnisse des Agramer Gebirges und die mit densellen im Zusammenhang stehenen Erscheinungen. Anhang zu den Abhandl. preuss. Akad. Wiss. 1—30, Berlin.

Gorjanović-Kramberger, D. (1908): Geologijska prijegledna karta i Tumač geologijske karte Zagreb. Izdanje Geol. povj. 1—75, Zagreb.

Hećimović, I. & Šimunić, A. (1986): Istražna bušotina na termalnu vodu, »Križevčanka-1«. Fond struč. dokumenata Geol. zavoda, br. 311/86. Zagreb.

Iveković, H. & Peroš, R. (1981): Mineralne i termalne vode SR Hrvatske. Jugosl. akad. znan. i umjet., 1—190, Zagreb.

Jenko, K. & Jagačić, T. (1962): Rezultati geološkog kartiranja W dijela Hrvatskog Zagorja. Fond struč. dok. GZ, 3528, Zagreb.

Kišpatić, M. (1909a): Dacit od Moždjenca kod Novog Marofa. Rad Jugosl. akad. znan. i umjetn., 179, 63—67, Zagreb.

Malez, M. (1983): Razvoj kvartara, fosilnog čovjeka i njegovih materijalnih kultura na tlu sjeverne Hrvatske. Varaždinski zbornik, Jugosl. akad. znan. i umjet. i Skupštine općine Varaždin, 129—145. Varaždin.

Miholić, S. (1940): Kemijska analiza termalnih vrela u Hrvatskom zagorju. Rad Jugosl. akad. znan. i umjet., Matematičko-prirodoslovni odijel. 267, 1—80, Zagreb.

Miholić, S. (1952): Kemijski sastav i svojstva mineralnih voda. Godišnjak Balenol. klimat. inst. NR Hrv., 1, 7—18, Zagreb.

Miholić, S. (1959): Istraživanje termalnih vrela Hrvatskog Zagorja. Ljetopis Jugosl. akad. znan. i umjet., 63, 326—328, Zagreb.

Miholić, S. & Trauner, L. (1952): Mineralne vode u Hrvatskoj. Godišnjak Balneol.-klimat. inst. NR Hrvatske, 1, 59—134, Zagreb.

Pikija, M. & Šimunić, Al. (1979): Prilog rješavanju taložnih sustava pješčanih tijela — prirodni rezervoar na površinskim izdancima neogena na području jugozapadnog dijela panonskog bazena. Fond struč. dok. Geološkog zavoda, br. 163/79, Zagreb.

Pikija, M., Šimunić, Al. & Šimunić, An. (1981): Miocenske naslage sjevernog pobočja Kalnika. Labor. za metode geološ. kartiranja, Rudar-geol. fakultet, 243—250, Beograd.

Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. vjesnik, 28, 97—108, Zagreb.

Rubinić, A. (1961): Temperaturni odnosi u Panonskom bazenu na području Hrvatske, Nafta, 10, 257—261, Zagreb.

Šarin, A., Babić, Ž. & Raljević, B. (1979): Prilog poznavanju termalnih i mineralnih voda sjeverozapadne Hrvatske. IV. god. znan. skup Sekcije za primjenu geol. geof. i geokem. Znan. savjet za naftu Jugosl. akad. znan. i umjet. 173—185, Zagreb.

Šimon, J. (1980): Prilog stratigrafiji i taložnom sustavu pješčanih reservoara Sava-grupe, naslaga mlađeg terijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. Disertacija, RGN fakultet, Zagreb.

Šimunić, Al. & Šimunić, An. (1979): Litofacijelno raščlanjivanje mezozojskih naslaga Kalničkog gorja. Zbornik radova IV. god. znanstv. skupa Sekcije za primjenu geol., geofiz. i geokem. Znan. savjeta za naftu Jugosl. akad. znan. i umjet., (A), 7, 125—137, Zagreb.

Šimunič, An. (1983): Pregled geološke građe sjeverozapadne Hrvatske. Varaždinski zbornik, Jugosl. akad. znan. i umjet. i Skupština općine Varaždin, 41—52, Varaždin.

Šimunić, An. (1986a): Geološke i hidrogeološke karakteristike bliže okolice dubokog bunara »Vratno-1«. Fond stručnih dokumenata Geološkog zavoda br. 37/86, Zagreb.

Šimunić, An. (1986b): Geološka istraživanja, lociranje bušotine i izvještaj o rezultatima bušenja Krapinskih Toplica. Fond stručnih dokumenata Geološkog zavoda, br. 175/86, Zagreb.

Šimunić, An. & Hećimović, I. (1979): Tektonski odnosi sjeverozapadne Hrvatske (Ivanščica, Kalnik i Ravna gora). Zbornik radova Znan. savjet za naftu, JAZU, Sekcija za primjenu geologije, geofizike i geokemije, IV. god. znanst. skup, 187—198, Zagreb.

Šimunić, An. & Hećimović, I. (1981): Strukturno-geološka istraživanja područja Kumrovca i Tuhelja s posebnim osvrtom na mogućnost nalaza termomineralne vode. Fond stručnih dokumenata Geološkog zavoda, br. 39/81, Zagreb.

Šimunić, An., Šimunić, Al. & Milanović, M. (1979): Geološka građa Ivanščice i Ravne gore. Geol. vjesnik, 31, 157—174, Zagreb.

Šimunić, An., Pikija, M., Hećimović, I. & Šimunić, (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Varaždin, L 33—69, 1—75, Geol. zavod Zagreb, 1982, Savezni geol. zavod, Beograd.

Šimunić, An., Naidenovski, J. & Šimunić, Al. (1982): Geološki odnosi sjeverozapadnog dijela Dravske depresije i istočnih obronaka Kalničkog gorja. Zbornik radova X jub. kongresa geol. Jugosl. 1, 107—122, Budva.

Šimunić, An., Pikija, M. & Hećimović, I. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ, list Varaždin, 1:100 000, L 33—69, Geol. zavod, OOUR za geol. i paleont. Zagreb, 1971—1978, Savezni geološki zavod, 1983, Beograd.

Vovt, C. (1890): Mnienje — Vrhu podijeliti se imajućeg štinog okoliša za kupelj Varaždinske Toplice, nalazeću se u kraljevini Hrvatskoj, županije Varaždinske u kotaru Novimarof. Fond. struč. Geol. zavoda, br. 4165, Zagreb.

Vukotinović, Lj. (1853): Einige Mittheilungen über das Kalniker ebirge in Croatien. Jahrb. Geol. Reichsanst. 4/3, 550—552, Wien.

ANTUN ŠIMUNIĆ

GEOLOGICAL-TECTONIC BASIS OF THERMO-MINERAL SPRINGS IN VARAŽDINSKE TOPLICE

In the neighborhood of Varaždinske Toplice (Fig. 1) lie the northern slopes of Kalnik and the central part of Varaždinskotopličko mountains. The oldest rocks that crop out to the surface are dolomites and lime-stones from the Upper Triassic. The same rocks were found by drilling in Varaždinske Toplice, and most of the thermo-mineral water is contained in these rocks.

The Upper Triassic layers have been hit by numerous tectonic stirs for which reason they are heavily crushed and split. This tectonization has greatly increased their capacity for accumulation. The connection between the dolomites and lime-stones in the area of the northern slopes of Kalnik, and the dolomites found by drilling in Varaždinske Toplice is presumed.

The Lower Miocene clasts are transgressive on the Triassic carbonates. They consist of various pebbles, sands, marl, tuff and ribs of coal. Because these sediments alternate laterally and vertically, their porosity is rather poor. Large cobbles, measuring 10—30 cm in diameter, orginating from destruction of high-rank metamorphic rocks, appear at the boundary of the dolomites and limestones. Such rocks are not known in either Kalnik or the Ivančica area, so it is presumed that the »Moslavačko-Vrbovečki shelf« extended in the Lower Miocene to the southern slopes of Kasnik. Because of the transgressive character of the Lower Miocenean clasts, their greatest thickness is not known, although it is not presumed to exceed 400 m.

After the very intensive tectonic movements in the Middle Miocene, the whole area was under the marine transgression. At first, Kalnik was an elevation from where large clastic materials were eroded and denuded, but at the beginning of the Sarmatian the whole area was completely overflown. Sedimentation, together with gradual sweetening, lasted unitl the Upper Pontian.

During the Upper Neogene, approximately 1800 m of strata were deposited. Of these, roughly 600 m of Upper Pontian sediments are completely eroded. The great thickness of Upper Pontian sediments (650—700 m) suggests very intense synsedimentation movements. During the Badenian, Sarmatian and Lower Pannonian,

marl and limestones were mainly deposited while sands and sandy marl mostly appear during the Pontian.

The tectonic movements of great intensity occur after the Upper Pontian. It is difficult to reconstruct the chain of tectonical events, but it is clear that even the younger sediments of the Neogene were folded and rifted. Neotectonic movements formed plicated structures of great dimensions, the segments of which are shown on the Index Map (Fig. 1). These are the anticline Varaždinske Toplice—Margečan and antiform Ljubelj, and, between them, the syncline Lobor—Zajezda—Petkovec. These folds are very important for the explanation of the system of thermal-water heating. After the folding ceased, the elevation of Kalnik and Varaždinskotopličko mountains took place. The various movements of separete blocks towards normal and inclined clefts happened contemporaneously. It should be emphasized that »leaps« of the blocks were not so big as to cut off the connections among the Triassic dolomites, which are the main containers of the thermal waters.

The Ljubelj area is the part most elevated by the neotectonic movements, and it is there where water accumulater. Limestones and dolomites conduct water down under the bottom of the Neogene syncline (about 1300 m). The water is heated as it travels downwards. Afterwards, it rises up to the top of the anticline and reaches the surface throughe the small fault. For the water to be able to run through the system of linked containers, hydrostatic pressure is of great importance. This pressure arises due to the differences of 200—350 m in height above sea level in the dolomites. Triassic dolomites from the Ljubelj area are the most elevated (558 m) and the thermal spring is 198,7 m above sea level.

According to A. Rubinić (1961) the geothermal gradient for northern Croatia is 25,6 to 27 °C. Water would have to go as for as 1300 to 1400 m deep in order to be heated from 8° to 56 °C. This is the very thickness of the Neogene strata located in the Lobor—Zajezda—Petkovec syncline.