

# Príčiny zmien kvality termálnych minerálnych vôd v balneotechnických zariadeniach

*Ing. Jarmila BOŽÍKOVÁ, PhD., Prof. Ing. Jozef MARTOŇ, PhD.*  
Stavebná fakulta STU, Katedra zdravotného inžinierstva,  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava, SR, e-mail: bozikova @svf.stuba.sk

---

## ÚVOD

V Slovenskej republike je veľmi dlhá tradícia využívania nesmierneho prírodného bohatstva, ktoré sa spája s minerálnymi a termálnymi vodami, liečivými plynmi i prirodzene sa vyskytujúcimi rašelinami, slatinami a inými zeminami, ktoré majú veľmi užitočné vlastnosti pre ľudské zdravie. Prírodné minerálne termálne vody predstavujú zložitý chemický systém – voda + plyny + soli s veľmi nestabilnou rovnováhou. Táto nerovnováha systému na jednej strane stanovuje ich balneoterapeutickú, čiže liečivú cenu a na druhej strane vytvára vážne technické ťažkosti pri ich zachytávaní, doprave, akumulovaní a využívaní, ako i pri ich tepelnej úprave pri zneškodňovaní po ich využití.

## VLASTNOSTI MINERÁLNYCH A TERMÁLNYCH VÔD

Rozmanitosť typov minerálnych a geotermálnych vôd podmieňuje rôzny charakter usadenín v potrubiach a technologických zariadeniach. Napr. pri doprave týchto vôd s vysokým obsahom železa vplyvom kontaktu so vzdušným kyslíkom sa vytvárajú železité usadeniny. Znížením koncentrácie voľného plynného oxidu uhličitého pod jej rovnováhu, vytvárajú sa v potrubí veľmi súvislé uhličité nánosy – tvorba travertínu. Zmenou termodynamických podmienok, následkom výstupu vody na zemský povrch sa môžu a vytvárajú sa nánosy sádry, kamennej soli a iných solí. Dynamická rovnováha nastáva vtedy, kedy sa rýchlosti rozpúšťania jednotlivých chemických zložiek rovnajú (tlak nasýtenia). V geologickej praxi sa pod pojmom tlak nasýtenia rozumie tok, pri ktorom dochádza k oddeľovaniu sa bubliniek plynnej fázy od roztoku, t.j. dochádza k vzniku tzv. kritického tlakového bodu  $p_c$ , ktorý je vždy nižší, ako tlak nasýtenia.

V potrubiach ktorými sa dopravuje voda s obsahom síry niekedy možno pozorovať usadeniny koloidnej síry a pri súčasnej prítomnosti sírovodíka a železa sa vo vode tvorí sírnik železnatý, pričom voda získava čiernu farbu. Niekedy sa môžu vytvárať usadeniny, ktoré sú výsledkom životnej činnosti mikroorganizmov. Často vzniknutá korózia a inkrusty na inžinierskych zariadeniach tieto veľmi často vyradujú z prevádzky, resp. znižujú liečebné vlastnosti minerálnej a termálnej vody.

Analýza prevádzky balneotechnických systémov, prístrojov a zariadení ukazuje, že minerálne a termálne vody sú agresívne na mnohé kovy i betónové stavebné konštrukcie. Napríklad sa zistilo, že pri doprave sírovodíkových vôd oceľové potrubia boli vyradené z prevádzky za 4-6 mesiacov, vody s NaCl za 1 rok a uhličité vody počas 2-3 rokov. Tak isto ešte rýchlejšie boli vyradené z prevádzky betónové a železobetónové potrubia odvádzajúce už využité geotermálne vody.

V súčasnosti na Slovensku existuje 17 liečebných kúpeľov, ktoré využívajú prírodné minerálne a termálne vody pre balneoterapeutické účely. 102 zdrojov

minerálnych vôd je štátnymi orgánmi vyhlásené buď za prírodné liečivé zdroje (83) alebo za zdroje minerálnej stolovej vody (19), ktoré sú bežné aj v predaji.

V príspevku uvádzame výsledky riešenia niektorých problémov pri využívaní termálnych vôd v kúpeľoch Piešťany. Kúpele Piešťany, ako je iste všetkým dobre známe, patria medzi najvýznamnejšie kúpeľné zariadenia na Slovensku a svojimi dosahovanými liečebnými výsledkami sa radia medzi popredné protireumatické kúpele v Európe.

Výskyt zvláštneho, treba povedať daru prírodu – termálnej minerálnej liečivej vody a sírneho bahna ako základného média pre kúpeľnú a liečebnú starostlivosť prináša kúpeľom aj sporadické technické problémy, zvlášť vtedy, keď pri rekonštrukcii, či obnove a modernizácii príslušných technických zariadení sa nedodržia základné teoretické princípy a praktické poznatky. Treba povedať, že vyskytujúce sa problémy v kúpeľných prevádzkach sú špecifické a sú v závislosti od charakteru minerálnych a termálnych vôd.

## ZDROJE VODY V KÚPEĽOCH PIEŠŤANY

Chemický typ piešťanskej prírodnej liečivej termálnej minerálnej vody ( $\text{CaMg}/\text{SO}_4\text{HCO}_3$ ) je výsledkom obehu vo vápencových, dolomitových a bridlicových horninách [4]. Podľa najnovších geofyzikálnych výskumov hlavný pozdĺžny zlom sa tiahne zo severu na juh cez mestskú časť Piešťan, je však relatívne uzavretý a iba čiastočne umožňuje výstup minerálnym vodám k povrchu. Mladšie a plytšie zlomy priečne prebiehajúce od Banky na Kúpeľný ostrov pretínajú predchádzajúce staršie pozdĺžne zlomy v južnej časti Kúpeľného ostrova a tu vytvárajú optimálne podmienky na výstup termálnych vôd až na povrch. Výstup podmieňujú hydrostatické a hydrodynamické tlaky. Pramenná oblasť má kryhovú stavbu s najvyššie vysunutou kryhou mezozoických (druhotných) hornín v južnej časti Kúpeľného ostrova (Obr.1). Hydrogeologickým prieskumom sa zistilo, že je možné zachytávať termálne vody v druhotnej akumulácii na báze horninových vrstiev mladších treťohôr. Vybudovala sa sústava hĺbkovo záchytných objektov – vrtov, ktoré odvádzajú termálnu vodu z bazálnych pieskocov a zlepcov neogénu až na povrch s hydrodynamickým pretlakom bez čerpania. Kvalitatívne ovplyvnenie vrtov vodným dielom Madunice je v týchto polohách pozitívne. Výdatnosti vytekajúcich teriem sa pri zvyšovaní hladiny povrchových vôd zväčšujú.

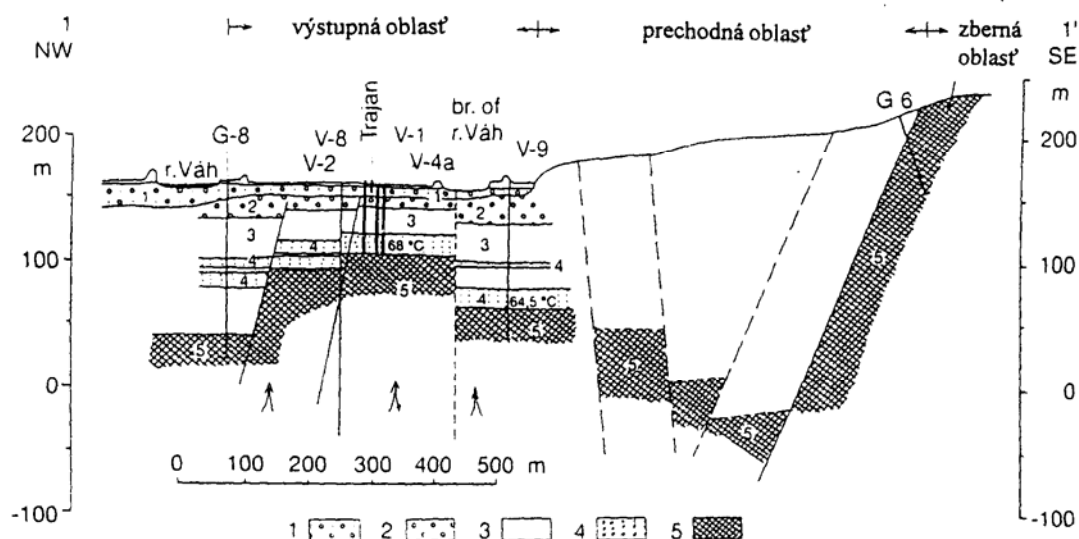
Z existujúcich zdrojov v kúpeľoch Piešťany sú pre účely balneoterapie v súčasnosti využívané tri vrty a studňa Trajan. Ich vystrojenie resp. technické a hydrogeologické parametre sú nasledovné :

Studňa Trajan: je spúšťaná dokonalá kruhová studňa hlboká 8,4 m, prehĺbená dvoma vrtmi s priemerom 400 mm do hĺbky 11,2 m. Výdatnosť je maximálne  $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} = 13,89 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Tab.1. Základné údaje o vrtoch**

Vrt	Hĺbka vrtu [m]	Úsek perforácie [m]	Pažnice drevené	Priemer vrtu [mm]	Výdatnosť [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
V-1	55,2	46,0-50,5	segmentové	180	4,0
V-4a	56,2		preglejkové	187	10,0
V-8	54,2	41,0-44,0 44,5-54,0	preglejkové	186	8,0

**Obr.1** Pozdĺžny profil naprieč hydrogeologickou štruktúrou piešťanských termálnych vôd: 1 kvartérne riečne sedimenty – štrky, piesky, 2 neogénne konglomeráty (zlepence), 3 neogénne íly, 4 neogénne pieskovce, 5 mezozoické sedimenty s triasovými karbonátmi a evaporitmi [2]



Obsah rozpustených pevných látok, teda celková mineralizácia piešťanskej liečivej vody je približne  $1450 \text{ mg.l}^{-1}$  [4]. Predpokladané celkové množstvo minerálnej termálnej vody v žriedlovej oblasti Piešťan je  $45 \text{ l.s}^{-1}$ . Kúpele čerpajú a využívajú len  $35 \text{ l.s}^{-1}$ , zvyšné množstvo (približne  $10 \text{ l.s}^{-1}$ ) nie je možné zachytiť existujúcimi technickými zariadeniami. Časť týchto vôd uniká nekontrolovateľnými cestami do periférie štvrtohorných náplavových vrstiev, kde postupne splýva s obyčajnými vodami.

### PROBLÉMY PRI OCHLADZOVANÍ LIEČIVEJ VODY

Termálna voda sa kúpeľnícky využíva v balneoterapiách Irma, Napoleon, Pro Patria a v balneoterapii pri komplexe liečebných domov BALNEA v severnej časti Kúpeľného ostrova mimo oblasti výveru piešťanských žriedel. Nakoľko teplota vody v zdrojoch (V-1, V-4a, V-8 a studňa Trajan) dosahuje  $65 \div 69,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  na prelive, je potrebné časť tejto vody schladiť, aby sa po zmiešaní termálnej a schladenej termálnej vody v aplikačných zariadeniach dosiahla predpísaná teplota pre príslušné terapie.

V kúpeľoch Piešťany bol viacročný problém sfarbenia, t. j. zčernania schladenej termálnej minerálnej vody pri aplikácii vo vaňových ako i bazénových zariadeniach. Preto cieľom práce bolo na základe využitia teoretických poznatkov a skutočných meraní navrhnúť optimálne riešenie na odstránenie sfarbenia vody. Išlo o technický a hydraulický problém, ktorého riešenie bolo treba rozvrhnúť do týchto postupov:

1. Analyzovať celý systém využívania minerálnej termálnej vody od zachytávania, akumulácie a prívodu vody do liečebných ústavov.
2. Spracovať niekoľkoročné pozorovania základných parametrov zdrojov vody.
3. Uskutočniť merania základných parametrov.
4. Na základe uvedených poznatkov a skutočných meraní navrhnúť opatrenia na odstránenie vážnych nedostatkov.
5. Sledovať a overiť účinnosť prijatých opatrení. Sledovanie sa uskutočňovalo počas 6 mesiacov.

Zásobovanie termálnou vodou predstavuje zložitý hydraulický a technologický systém, ktorý je vytvorený viacerými prvkami rôznorodých strojno-technologických zariadení:

- zdroje vody tvoria v súčasnosti 3 vrty a 1 studňa Trajan
- Akumulačnú stanicu ktorú tvoria: 4 horizontálne čerpadlá, rozvodné potrubie s armatúrami, výmenníky tepla typu Korobon – slúžiace na schladenie termálnej vody z teploty 68 °C na 40 °C.
  - 6 akumulčných nádrží na teplú termálnu minerálnu vodu a 6 na schladenú termálnu minerálnu vodu,
  - 2 rozdeľovačov na teplú a schladenú termálnu minerálnu vodu, 2 tlakových filtrov s náplňou alkalickej hmoty na odstránenie agresívneho CO<sub>2</sub>,
  - dopravné potrubia z ocele a polypropylénu DN 150, dĺ. 1200 m,
  - vnútorné rozvody,
  - aplikačné zariadenia – 25 ks. vaní, 2 hypertermálne bazény, 2x75 m<sup>3</sup> zrkadliská, 2 rehabilitačné bazény asi 125 m<sup>3</sup> a 2 vodoliečebné zariadenia.

#### *Kvalitatívne aspekty problému*

Piešťanské termálne vody sú sulfáto-karbonátogénneho typu s veľkou mineralizáciou do 1450 mg.l<sup>-1</sup>. Sulfán a jeho iónové formy sú za oxických podmienok vo vodách nestabilné a vtedy môžu chemicky a biochemicky oxidovať až na sírany. Rýchlosť oxidácie ovplyvňuje hlavne pH a obsah prirodzených katalyzátorov (Mn, Ca, Fe a iné).

Čerpanie síranovej vody z prameňa pomocou ponorného čerpadla zabezpečuje minimálne odplynenie vody. K väčším stratám sulfánu dochádza pri akumulácii vody. Je to spôsobené stykom so vzduchom v nádržiach. Okrem styku so vzduchom sa musí termálna sírna voda chrániť proti styku s korozívnym materiálom. V opačnom prípade vznikajú sulfidy ťažkých kovov, ktoré znehodnocujú a znižujú obsah sulfánu vo vode. Korozívne účinky sulfánu patria medzi najsilnejšie. Straty sulfánu, ktoré vznikajú oxidáciou, vznikom plynnej zložky spôsobujú rýchlu inkrustáciu, čo spôsobuje rôzne technologické problémy.

Uskutočnili sa analýzy z dostupného čierneho sedimentu z potrubia. Výsledky potvrdili, že zmena sfarbenia vody je produktom oxidácie sulfánov, pričom podstatou zrazeniny je FeS. Ukázalo sa, že železo, ktoré sa vo vodách vyskytuje v dvoj a trojmocnej forme, zohráva kľúčovú úlohu pri riešení daného problému.

Uskutočnené merania preukázali, že k zčernaniu vody dochádza za určitých špecifických podmienok, ktoré charakterizuje najmä posun pH do *alkalickej* oblasti, dosiahne sa určité presýtenie a nukleácia Fe (FeS), pričom priebeh reakcie spôsobuje zmena prietoku vody v potrubiach, zmena teploty, spontánne prevzdušňovanie a obsah sulfánu po zmiešaní teplej a schladenej termálnej minerálnej vody v aplikačnom zariadení, doba zdržania vody v systéme a spôsob plnenia a vyprázdňovania akumulčných nádrží.

### *Kvantitatívne aspekty problému*

Vzhľadom k tomu, že viaceré hydraulické parametre vplyvajú alebo podporujú sfarbenie vody bolo treba sledovať tieto ukazovatele:

- a) potreba schladenej termálnej minerálnej vody
- b) výrobu a režim odberu schladenej termálnej minerálnej vody
- c) doby zdržania v potrubnom distribučnom systéme
- d) doby zdržania v akumulčných nádržiach.

Výroba schladenej termálnej minerálnej vody sa podriaďuje potrebe balneoterapií v jednotlivých kúpeľných objektoch. Ukázalo sa, že v prevádzkovom systéme dochádza k pomerne vysokým stratám vody. Bolo doporučené osadiť vodomery v jednotlivých balneoterapiách, na základe ktorých bude možné podrobne bilancovať potrebu vody, resp. lokalizovať plytvanie s vodou a straty vody.

K narušeniu prirodzeného kyslíkového režimu schladenej termálnej minerálnej vody dochádza v akumulčných hydrofórových nádržiach, kde sa na zabezpečenie pretlaku používa stlačený vzduch. Doba zdržania v potrubnom systéme podľa prietoku sa pohybuje od 30 minút do 4 1/2 hod, preto dobu zdržania, ktorá môže predĺžiť strávanie nestabilných modifikácií zlúčenín železa a sulfánov treba posudzovať spolu pôsobením potrubí s akumulčnými nádržami.

Prívodné a odberné potrubia sú z hydrostatického hľadiska nevhodne situované, t.j. v tretine dĺžky akumulčnej nádrže, čo má nepriaznivý vplyv na prúdenie v akumulčnej nádrži. Takéto usporiadania potrubí vyvoláva vznik tzv. mŕtvych kútov, so stagnáciou vody, sedimentáciou Fe a s následným zhoršovaním akosti schladenej termálnej vody. Táto skutočnosť má výrazný vplyv na stanovenie skutočnej doby zdržania, ktorá sa odlišuje od vypočítanej doby.

K ovplyvňovaniu skutočnej doby zdržania pristupuje aj vzájomná spolupráca jednotlivých nádrží, ktoré pracujú za zložitých nestacionárnych podmienok vyprázdňovania a plnenia. V dôsledku toho dochádza aj k zmene akosti schladenej termálnej minerálnej vody vplyvom stárnutia nestabilných modifikácií zlúčením železa a sulfánov, a tým aj k sfarbeniu vody.

### **ZÁVER**

Vykonaním celého radu hydraulicko – technologických meraní sa získali poznatky, ktoré na základe ich realizácie v kúpeľoch Piešťany, pomohli eliminovať problém sfarbenia – zčernania vody. Na návrh konkrétnych opatrení bolo treba poznať:

- obsah a charakter plynov a ďalších chemicky labilných látok – (železa, síry, uhličitany a pod.) , prevádzkové podmienky systému prípravy, akumulácie a dopravy vody.

Ukázalo sa, že hlavnou príčinou sfarbovania vody je, že v systéme zásobovania vodou sa neudržia anaeróbne – anoxické podmienky, čím dochádza k oxidácii nestabilného sulfánu a jeho iónových foriem.

Vzhľadom na skutočnosti, že na prebudovanie systému zásobovania vodou neboli toho času vytvorené podmienky, požadovaný efekt eliminácie sfarbenia bolo treba dosiahnuť úpravou prevádzkových podmienok. Predovšetkým išlo o

- a) výmenu materiálu potrubia z liatinového na plastové (na liatinových sú silné inkrusty železitého pôvodu).
- b) Výmena stlačeného vzduchu za inertný plyn ( $N_2$ ,  $CO_2$ ) – v tlakových nádržiach
- c) miešanie – cirkulácia vody v nádrži, odkiaľ by mohla byť vedená do akumulčných nádrží,

- d) zabezpečiť zníženie doby zdržania vody, vyradením niekoľkých akumuláčnych nádrží zo systému, až po ich úplné vylúčenie.
- e) chemickú stabilizáciu chemicky nestabilných látok vo vode – dávkovaním indiferentných elektrolytov na stabilizáciu pH.

Počas 4 ročného sledovania realizovaných opatrení sa ukázali navrhnuté a realizované opatrenia správne, nakoľko nedochádzalo k sfarbovaniu vody. Potvrdilo sa, že podceňovanie základných poznatkov a zákonitostí prúdenia preplyných vôd môže spôsobiť vážny technicko-prevádzkový problém, ktorého odstránenie je zložité. V príspevku je uvedená problematika, ktorá bola sledovaná aj v rámci výskumnej úlohy VÚ 1/7135/20.

## LITERATÚRA

- 1 Božíková, J., Mikita, M., Mohler, I. a Ilavský, I.(1995): *Zhodnotenie postupov pri odstraňovaní sfarbenia schladenej termálnej vody*. Záverečná správa úlohy 04-69-95, SvF STU Bratislava, 56 s.
- 2 Franko, O.(1998): *Piešťany – thermal H<sub>2</sub>S water and mud*, Environmental Geology 36 (3-4) December 1998, 215-218 s.
- 3 Krahulec, P.(1977): *Minerálne vody Slovenska 1. Balneografia a krenografia*, Osveta Martin, 456 s.
- 4 Melioris, L.(1992): *Zhodnotenie účinnosti ochranných pásiem a opatrení určených pre prírodné liečivé zdroje kúpeľného miesta Piešťany vzhľadom k vodnému dielu Madunice*, Správa pre MZ SR – Inšpektorát kúpeľov a žriedel, Bratislava, 71s .