

pontu postupovala priamo na sedimenty sarmatu v oblasti Mochoviec a Kozároviec pozdĺž zlomov a grábenov orientovaných v smere SZ - JV, pričom sedimentácia neprekročila hrast' Kozmálovských vrškov v smere na juhovýchod.

Pliocén - dák (volkovské súvrstvie) je produktom sladkovodnej limnickej a fluviatilno-limnickej sedimentácie (Priehodská a Harčár, 1988). Sedimenty dáku vznikali ako súčasť pliocénnej delty rieky Hron, ktorá tiekla z oblasti stredného Slovenska smerom na juhozápad a ústila do jazera v komjatickej priehlbine. V oblasti Vrábel sú zastúpené predovšetkým deltové sedimenty (nemčinianske piesky, striedané so zriedkavými preplástkami ílov). Ďalej k juhozápadu postupne prevládajú typy limnickej sedimentácie. Sedimenty dáku znamenali rozšírenie sedimentačného priestoru levicej kryhy do jej okrajových častí a transgredovali tak na juhovýchodný okraj Tribeča, ako aj na severozápadný okraj Kozmálovských vrškov.

Koniec pliocénu a začiatok kvartéru znamenali novú štruktúrnú prestavbu levicej kryhy. Oblasť centrálnej časti priehlbiny medzi Tribečom a Kozmálovskými vrškami je charakterizovaná zdvihom, čím bola podmienená erózia a rozrušovanie starších útvarov a foriem reliéfu, najmä vrchnopliocénnej poriečnej rovne (Priehodská a Harčár, 1988).

4.5 Hydrogeotermálne pomery

Pri hodnotení hydrogeotermálnych pomerov levicej kryhy je potrebné zobrať do úvahy, že sa jedná o jeden z najmenších útvarov geotermálnych vôd na území Slovenska s rozlohou 190,875 km² (Kullman ml. et al., 2005), v ktorom doteraz existuje iba jeden využívaný geotermálny vrt Po-1 v Podhájskej. Až do odvrtnia reinjektážneho vrtu GRP-1 v Podhájskej neboli žiadne priame údaje na hodnotenie teplotných pomerov v levicej kryhe. Ich hodnotenie bolo založené na hodnotení regionálneho trendu medzi centrálnou depresiou podunajskej panvy a stredoslovenskými neovulkanitmi, ktoré vychádzalo z lineárnej interpolácie so zohľadnením významných geologických rozhraní (Král et al., 1985).

Počas realizácie prvej hydrodynamickej skúšky na reinjektážnom vrte GRP-1 v r. 1986 bola pri výdatnosti voľného prelivu 26,6 l.s⁻¹ v hĺbke 1 300 m nameraná teplota 79 °C, v hĺbke 1 400 m 80,2 °C a v hĺbke 1 460 m 82,4 °C. Na základe nameraných údajov bol zostavený teplotný profil reinjektážneho vrtu GRP-1 za statických podmienok, ktorý je uvedený v tab. 4.5.1.

Tab. 4.5.1 Teplotný profil reinjektážneho vrtu GRP-1 v Podhájskej (Fendek et al., 1989a)

Hĺbka (m)	Teplota (°C)	Hĺbka (m)	Teplota (°C)
0	12	800	58
100	17	900	64
200	23	1 000	69
300	29	1 100	72
400	35	1 200	74
500	41	1 300	77
600	46	1 400	80
700	52	1 500	84

V závislosti od hĺbky uloženia terciérneho podložia sa potom teplota na jeho strope pohybuje v intervale 50 – 75 °C. Priemerná hodnota teplotného gradientu pre sedimenty neogénu je 58,3 °C.km⁻¹, mezozoika je 28,8 °C.km⁻¹ a paleozoika je 36,5 °C.km⁻¹. Priemerná tepelná vodivosť neogénnych sedimentov je 1,58 W.m⁻¹.K⁻¹, mezozoika je 3,27 W.m⁻¹.K⁻¹. Hodnota hustoty tepelného toku pre sedimenty neogénu je 92,1 mW.m⁻², pre mezozoikum je 94,2 mW.m⁻² a pre paleozoikum je 102,2 mW.m⁻². Pomerne vysoká hodnota hustoty tepelného toku pre horniny paleozoika môže byť zaťažená chybou vo výpočte priemerného teplotného gradientu, ktorého hodnota je ovplyvnená malou hrúbkou (72 m) paleozoika (Fendek et al., 1989a).

Vyššie uvedené hodnoty geotermických parametrov poukazujú na značnú geotermickú aktivitu levickej kryhy, ktorá je vyššia ako u väčšiny perspektívnych štruktúr alebo oblastí Slovenska pre získanie geotermálnej energie.

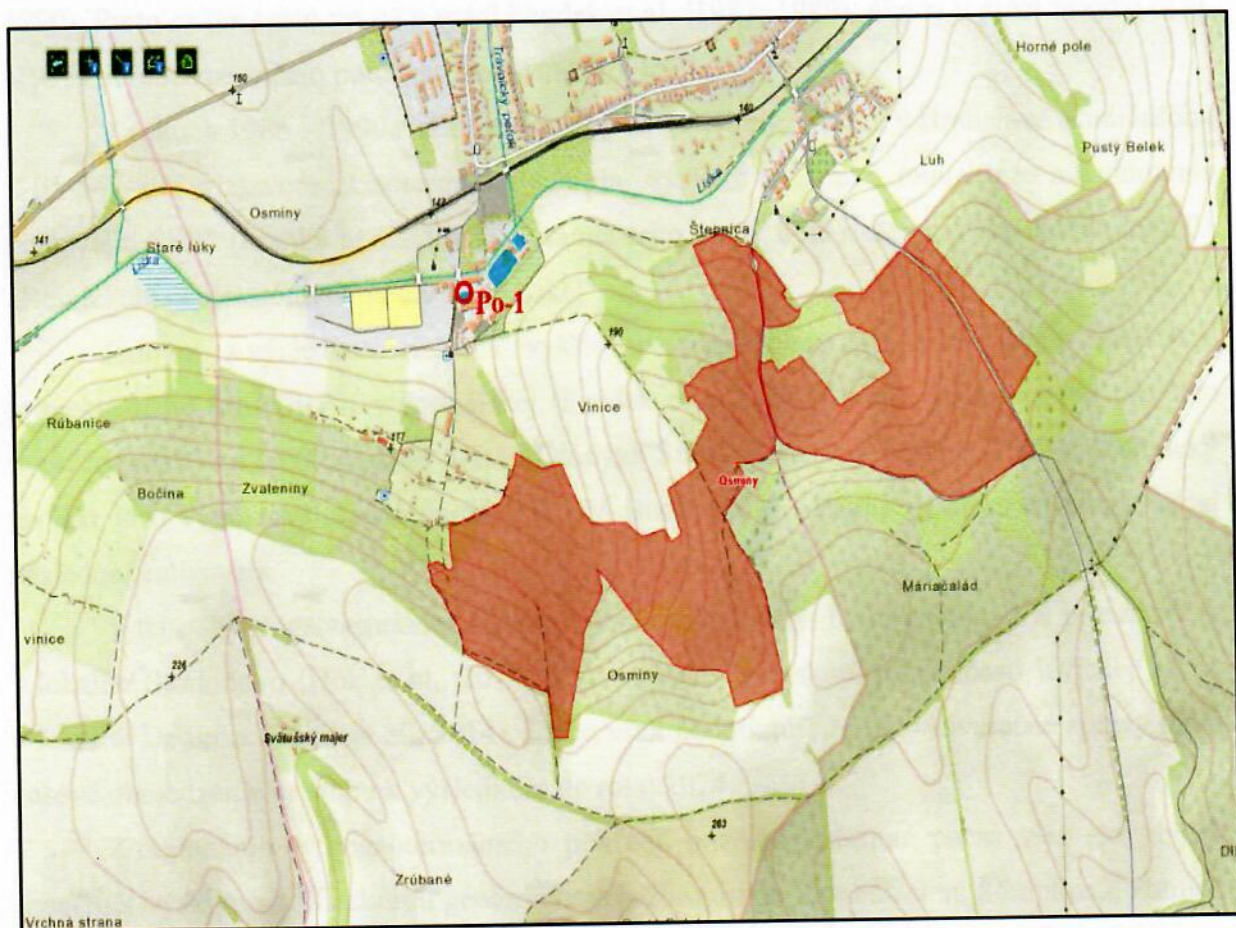
V levickej kryhe sa vyskytujú geotermálne vody výlučne výrazného Na-Cl typu (S₁Cl) 71,2 – 86,2 c_i z_i %, s mineralizáciou 12 – 20 g.l⁻¹. Mineralizácia vôd v štruktúre klesá v smere zo západu na východ z 19,8 g.l⁻¹ (Po-1) na 12 – 14 g.l⁻¹ (Pozba-4). Pomer HCO₃/Cl je 0,07 – 0,25. Geneticky ide o degradované marinogénne vody, ktoré v neogéne (najskôr v bádene) vsiakli do dna sedimentačného bazénu (triasových dolomitov) a tam sa zachovali a metamorfovali na styku voda – hornina (Remšík et al., 1990).

V levickej kryhe sú akumulované statické zásoby geotermálnych vôd. Zásoby geotermálnej energie boli hodnotené pre exploatáciu systémom reinjektáže pomocou modelového riešenia. Modelovaním reinjektáže na lokalite Podhájska pri exploatovanom a zároveň reinjektovanom množstve 50 l.s⁻¹ na jednu dvojicu vrtov so vzdialenosťou vrtov 2 km sa ukázalo, že čelo chladnejšieho frontu sa k exploatačnému vrtu dostane za viac ako 40 rokov. Aplikáciou týchto výsledkov na celú oblasť bolo neobnovované prognózne využiteľné množstvo geotermálnej energie hodnotené na 126 MW_t (Franko et al., 1995).

4.6 Územia chránené osobitnými predpismi

Predmetná lokalita patrí z hľadiska ochrany prírody a krajiny k územiám s I. stupňom ochrany. V hodnotenom území nie sú lokalizované žiadne veľkoplošné či maloplošné chránené územia. V širšom okolí hodnotenej lokality sa nenachádza žiadne chránené vtáčie územie.

Južne a juhovýchodne od Podhájskej, avšak mimo záujmovej lokality, sa nachádza územie Natury 2000 s kódom SKUEV0087 Osmíny (obr. 4.6.) s rozlohou 98,840 ha, ktoré je v správe CHKO Dunajské luhy.



Obr. 4.6 Lokalizácia územia Natura 2000 Osmíny

Predmetom ochrany sú tu panónsko-balkánske cerové lesy, eurosibírske dubové lesy na spraši a piesku, xerotermné kroviny a karpatské a panónske dubovo-hrabové lesy.

5. DOTERAJŠIA GEOLOGICKÁ PRESKÚMANOSŤ

V levickej kryhe prebiehal v šesťdesiatych rokoch minulého storočia geologický prieskum na uhľovodíky pri Pozbe. Realizovali sa tu 4 vrty P-1 až P-4 s hĺbkami 1 335 m, 1 601 m, 1 602 m a 1 317 m (Gaža, 1962a; Gaža, 1962b; Gaža, 1963; Gaža, 1966), v ktorých bola dokumentovaná prítomnosť geotermálnych vôd chemického typu Na-Cl. V roku 1973 realizoval národný podnik Nafta Gbely prvý geotermálny vrt Podhájska-1 v rámci geologickej úlohy „Získanie termálnej vody a jej ťažba k hospodárskemu využitiu“ (Čermák a Gaža, 1973). Pre tento vrt sa neskôr zaužívalo označenie P-1, ktoré však kolidovalo s označením vrtu P-1 Pozba, používalo sa aj označenie Podh.-1 (Biela, 1978; Remšík, 1987; Remšík et al., 1990). Preto sa pre tento vrt už v práci Fendek et al. (1987; 1989), ako aj v práci Franko et al. (1995) definitívne začalo používať označenie Po-1.

V rokoch 1986 – 1990 riešil Geologický ústav Dionýza Štúra v Bratislave štátnu úlohu S-01-547-807 s názvom „Geotermálna energia, výskum možností reinjektáže a hodnotenie potenciálu SSR“ (Franko et al., 1985). V rámci tejto úlohy bola riešená aj čiastková úloha 01 „Reinjektáž geotermálnych vôd v Podhájskej“.

Jedným z výsledkov riešenia vyššie uvedenej čiastkovej úlohy bola realizácia reinjektážneho vrtu GRP-1 v Podhájskej (Fendek et al., 1987) podľa geologického projektu vypracovaného na Geologickom ústave Dionýza Štúra (Remšík a Franko, 1983). Technický projekt vrtu vypracovala spoločnosť VIKUV Budapešť (F. Pálfalvi), ktorá uvedený vrt aj následne realizovala.

V tejto hydrogeotermálnej štruktúre bol realizovaný hydrogeologický prieskum aj v lokalite Bardoňovo (Hók et al., 2014) a geotermálny prieskum južnej časti levickej kryhy v lokalite Dedinka (Šujan et al., 2014). Treba však podotknúť, že tieto záverečné správy majú časové obmedzenie prístupu k výsledkom do roku 2024.

Z regionálno-hydrogeotermálneho pohľadu poznatky získané počas viac ako dvoch desaťročí výskumu a prieskumu geotermálnych zdrojov na Slovensku sú komplexne zhrnuté v „Atlase geotermálnej energie Slovenska“ (Franko et al., 1995). V textovej časti atlasu je uvedený súhrn geologických, geofyzikálnych, hydrogeotermických a geochemických poznatkov, ktoré boli získané počas skúmania geotermálnej energie. Základom atlasu sú poznatky, ktoré boli získané hlavne základným výskumom, pri ktorom sa podstatne rozšírili poznatky o terciérnej výplni paniev a kotlín, o predterciérnom podloží celých vnútorných

Západných Karpát a hlavne o teplotnom poli, tepelnom poli a hydrogeotermálnych pomeroch. Charakteristika Levickej kryhy a vrtov Po-1 a GRP-1 je v Atlase na str. I-28.

Geotermálna aktivita územia je v Atlase znázornená v mapách, ku ktorým patrí tematická geotermálna mapa, mapa tepelného toku na povrchu, mapa tepelného toku na Moho-diskontinuitu, geotermálne mapy Slovenska, mapy geotermálnej aktivity vymedzených oblastí, hydrogeotermálne mapy vymedzených oblastí, mapy technologických vlastností geotermálnych vôd a ich likvidácie po tepelnom využití. Mapy sú doplnené rezmi, karotážnymi profilmi geotermálnych vrtov a tabuľkami s údajmi získanými geologickými prácami. Levická kryha je súčasťou mapy Podunajská panva – východ na str. III-36 – III.51 (Franko et al., 1995).

Poznatky o geotermálnych zdrojoch Slovenska zo základného výskumu sa stali súčasťou „Atlasu geotermálnych zdrojov Európy“ (Remšík et al. in Hurter a Haenel, eds., 2002). Súčasťou tohto atlasu je stručná hydrogeotermálna charakteristika s hodnotením zdrojov perspektívnych oblastí (vrátane Levickej kryhy), pričom detailnejšie je tu hodnotená Liptovská kotlina a centrálna depresia podunajskej panvy.

Výsledky geologického výskumu a prieskumu zdrojov geotermálnych vôd na Slovensku boli použité pre zostavenie mapy „Zdroje geotermálnych a minerálnych vôd“ (Fendek et al. in Atlas krajiny SR, 2002), ktorá je súčasťou Atlasu krajiny Slovenskej republiky, vydaného MŽP SR a SAŽP v r. 2002. Na mape je schematicky znázornená geologická stavba územia, hlavné kolektory geotermálnych vôd, perspektívne oblasti alebo štruktúry geotermálnych vôd, výdatnosti a teplota zdrojov, ako aj tepelný výkon geotermálnych vôd.

6. POSTUP RIEŠENIA GEOLOGICKEJ ÚLOHY

6.1 Metodika, postup a časová nadväznosť realizovaných prác

Realizácia geotermálneho vrtu Po-1 Podhájska bola ukončená záverečnou správou v roku 1973 (Čermák a Gaža, 1973). Odvtedy je tento vrt využívaný na vykurovanie skleníkov a plnenie bazénov. V súčasnosti je majiteľom a prevádzkovateľom vrtu firma GEO TERMÁL Podhájska, s.r.o., Zdravotnícka 322/2, 941 48 Podhájska, ktorý je zároveň objednávatelom realizovaných geologických prác.

Postup a realizácia geologických prác, ako aj použitá metodika, sú zamerané tak, aby v daných prírodných podmienkach s existujúcim stavom preskúmanosti, bol splnený požadovaný cieľ. S prihliadnutím na geologické, hydrogeotermálne a hydraulické pomery predmetného územia boli v rámci tejto geologickej úlohy realizované nasledovné geologické práce:

1. Prípravné práce:

- a/ Terénna obhliadka.
- b/ Vypracovanie projektu geologickej úlohy.
- c/ Ohlásenie geologických prác na Štátnom geologickom ústave Dionýza Štúra.
- d/ Vypracovanie písomného pokynu na zber a zaznamenávanie údajov o priebehu realizovanej poloprevádzkovej hydrodynamickej skúšky.

2. Zozbieranie archívnych podkladov, ich sumarizácia a reinterpretácia, vrátane podkladov od objednávateľa.

3. Realizácia poloprevádzkovej hydrodynamickej prelivovej skúšky (HDS) v trvaní 26,75 dňa (642 hodín) – vykonanie skúšky za súčinnosti objednávateľa pri plnej prevádzke geotermálneho vrtu.

4. Zabezpečenie kompletnej chemickej analýzy geotermálnej vody.

5. Vyhodnotenie údajov :

- a/ Dokumentácia a vyhodnotenie režimu využívania geotermálneho vrtu za obdobie 4 rokov a počas HDS.
- b/ Dokumentácia a vyhodnotenie kvality geotermálnej vody za obdobie využívania geotermálneho vrtu Po-1 na základe archívnych údajov a počas HDS.

6. Spracovanie záverečnej správy:

- a/ Určenie využiteľných množstiev geotermálnych vôd z vrtu Po-1 Podhájska.
- b/ Spracovanie záverečnej správy z doplnkového hydrogeologického prieskumu a jej predloženie do Komisie pre schvaľovanie množstiev podzemných vôd MŽP SR (Ďalej len Komisia) v dvoch exemplároch.
- c/ Príprava oponentského konania (prerokovanie pripomienok oponenta) a obhajoba v Komisii.
- d/ Zpracovanie pripomienok vzniknutých v procese schvaľovania a vypracovanie definitívnej záverečnej správy v 4 exemplároch.

Na základe vyššie uvedených skutočností pre splnenie požiadaviek objednávateľa na stanovenie využiteľného množstva geotermálnych vôd v kategórii B pre geotermálny vrt Po-1 Podhájska pri jeho exploatacii voľným prelivom bola realizovaná poloprevádzková odberová skúška formou voľného prelivu v čase od 05. 12. 2019 (5:00 hod) do 31. 12. 2019 (23:00 hod), t. j. po dobu 26,75 dňa (642 hodín).

Podľa dĺžky čerpacej skúšky (26,75 dňa) sa v zmysle STN 73 6614, časť IV. Čerpacej skúšky, Príloha 1: „*Rozdelenie čerpacích skúšok podľa účelu a doby trvania*“ jedná o poloprevádzkovú čerpaciu skúšku za akú je považovaná skúška s dobou trvania nad 21 dní.

Hydrodynamická skúška po dobu trvania 26,75 dňa bola realizovaná pri plnej prevádzke areálu Podhájska za súčinnosti objednávateľa a pri plnej prevádzke geotermálneho vrtu Po-1 a GRP-1 v Podhájskej.

6.2 Technické práce

Hydrodynamická skúška bola realizovaná za súčinnosti objednávateľa pri plnej prevádzke geotermálneho vrtu. Počas jej realizácie boli využité existujúce technologické zariadenia a okrem úpravy exploatačného režimu zabezpečeného reguláciou, ktorá mala za následok zvýšenie výdatnosti voľného prelivu, neboli realizované ďalšie technické práce.

Počas realizácie hydrodynamickej skúšky na geotermálnom vrtu Po-1 Podhájska bolo celé množstvo geotermálnej vody, ktoré bolo využité na vykurovanie skleníkov po ochladení vo výmenníkovej stanici, reinjektované pomocou reinjektážneho vrtu GRP-1 Podhájska priamo do kolektorov geotermálnych vôd (Príloha 2).

Tá časť geotermálnej vody, ktorá bola použitá na plnenie bazénov (Príloha 3), bola po nariadení obvyčajnými podzemnými vodami v zmysle povolenia Okresného úradu Nitra, odboru starostlivosti o životné prostredie, oddelenia ochrany prírody a vybraných zložiek životného prostredia č. s.: OU-NR-OSZP2-2018/043189 zo dňa 12. 12. 2018 vypúšťaná do povrchového toku Liska (Príloha 4).

Počas hydrodynamickej skúšky boli s krokom 6 hodín merané na ústí geotermálneho vrtu Po-1 hodnoty teploty a tlaku. Celková výdatnosť voľného prelivu bola meraná kontinuálne pomocou automatického monitoringu inštalovaného vo výmenníkovej stanici. Pre kontrolu bola celková výdatnosť meraná aj jedenkrát za 24 hodín, a to v ranných hodinách, objemovou metódou za použitia tzv. detského bazéna, ktorý bol plnený ochladenou geotermálnou vodou pretekajúcou cez výmenníky do existujúceho vratného potrubia. Toto

potrubie sa v zimnej sezóne bežne využíva aj na plnenie ostatných bazénov. V letnej sezóne, keď je výmenníková stanica odstavená, sú bazény plnené geotermálnou vodou priamo z vrtu Po-1 Podhájska.

V reinjektážnej stanici, lokalizovanej vo vzdialenosti viac ako 2 km od exploatačného vrtu Po-1, boli na ústí reinjektážneho vrtu GRP-1 počas poloprevádzkovej hydrodynamickej skúšky každých 6 hodín merané hodnoty teploty, tlaku a výdatnosti reinjektovaných geotermálnych vôd.

6.3 Geologické činnosti

Geologické práce začali terénnou obhliadkou za účelom posúdenia možnosti realizácie projektovanej hydrodynamickej skúšky pri plnej prevádzke areálu s využitím existujúcej technológie. Následne bol vypracovaný projekt geologickej úlohy.

Popri realizácii poloprevádzkovej hydrodynamickej skúšky pri exploatacii geotermálnych vôd z vrtu Po-1 Podhájska voľným prelivom za súčinnosti objednávateľa pri plnej prevádzke v trvaní 26,75 dňa (642 hodín) boli spracovávané archívne podklady, ich sumarizácia a reinterpretácia, vrátane podkladov od objednávateľa. Potom nasledovalo vyhodnotenie týchto údajov a režimu využívania geotermálneho vrtu, zdokumentovanie priebehu realizovanej hydrodynamickej skúšky, vyhodnotenie kvality geotermálnej vody, určenie využiteľných množstiev geotermálnych vôd a spracovanie záverečnej správy z doplnkového hydrogeologického prieskumu.

Kvalitatívne požiadavky na vykonávanie všetkých požadovaných geologických prác vychádzali z podmienok stanovených v zákone č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon) v znení neskorších predpisov a vo vyhláske MŽP SR č. 51/2008 Z. z., ktorou sa vykonáva geologický zákon v znení neskorších predpisov.

6.4 Vzorkovacie práce

Počas odberovej skúšky realizovanej na geotermálnom vrtu Po-1 Podhájska voľným prelivom bola dňa 13. 12. 2019 akreditovaným laboratóriom EUROFINS BEL/NOVAMANN s. r. o. Komjatická 73, 940 02 Nové Zámky na ústí vrtu odobraná a analyzovaná vzorka geotermálnej vody.

6.5 Laboratórne práce

Laboratórne práce spočívali v analýze vyššie spomínanej odobranej vzorky akreditovaným laboratóriom EUROFINS BEL/NOVAMANN s. r. o. Komjatická 73, 940 02 Nové Zámky.

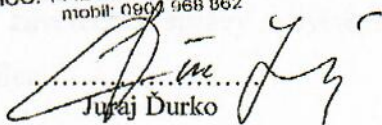
6.6 Geodetické činnosti

Geotermálny vrt Po-1 Podhájska bol polohopisne zameraný v súradnicovom systéme S-JTSK. Výškovy bol zameraný v súradnicovom systéme JTSK a Bpv (Balt po vyrovnaní). Jeho súradnice sú (obr. 6.6.1):

X : 1 294 364,86

Y: 483 024,35

Z: 138,76 m n. m.

Zameranie vrtu.	
Dňa 29.11.2019. bol zameraný vrt v katastrálnom území Svätuša obec Podhájska. Na meranie bol použitý meračský prístroj Leica GPS 900 CS. Lokalita: Termálne kúpalisko Podhájska.	
Namerané hodnoty v JTSK a Bpv:	
Y = 483 024,35 X = 1294 364,86 h = 138,76 m	
Vyhotoval dňa 30.11.2019. Juraj Ďurko.	
 Juraj Ďurko geodet 941 51 POZBA č. 264 IČO: 14424576 EIC: 1028584667 mobil: 0900 968 062	

Obr. 6.6.1 Zameranie geotermálneho vrtu Po-1 Podhájska

Okolie geotermálneho vrtu bolo od jeho realizácie niekoľkokrát upravované (navážka, dlažba), a tak je v súčasnosti výšková súradnica Z terénu v zhode s výškou osadenia manometra, ktorým sa meria dynamická hodnota hydrostatického tlaku na ústí vrtu.

6.7 Spôsob nakladania s odpadmi

Vzhľadom na to, že hydrodynamická skúška bola realizovaná za plnej prevádzky areálu Podhájska s využitím existujúceho technologického zariadenia, bez realizácie

akýchkoľvek technických prác, tak počas realizácie doplnkového hydrogeologického prieskumu nevznikli žiadne odpady.

6.8 Spôsob zabezpečenia geologického diela

Geotermálny vrt Po-1 Podhájska sa nachádza na pozemkoch GEO TERMÁLu Podhájska, s.r.o., Zdravotnícka 322/2, 941 48 Podhájska, je zastrešený a pravidelne udržiavaný objednávateľom.

6.9 Opatrenia na elimináciu a minimalizáciu vplyvu technických prác na životné prostredie

V rámci riešenia geologickej úlohy na geotermálnom vrte Po-1 Podhájska neboli realizované žiadne technické práce a poloprevádzková hydrodynamická skúška bola realizovaná za plnej prevádzky areálu Podhájska.

Z toho dôvodu nebolo potrebné počas realizovaných meraní vykonávať žiadne osobitné kroky nad rámec doteraz aplikovaných opatrení na ochranu životného prostredia.

6.10 Spôsob digitálneho spracovania údajov

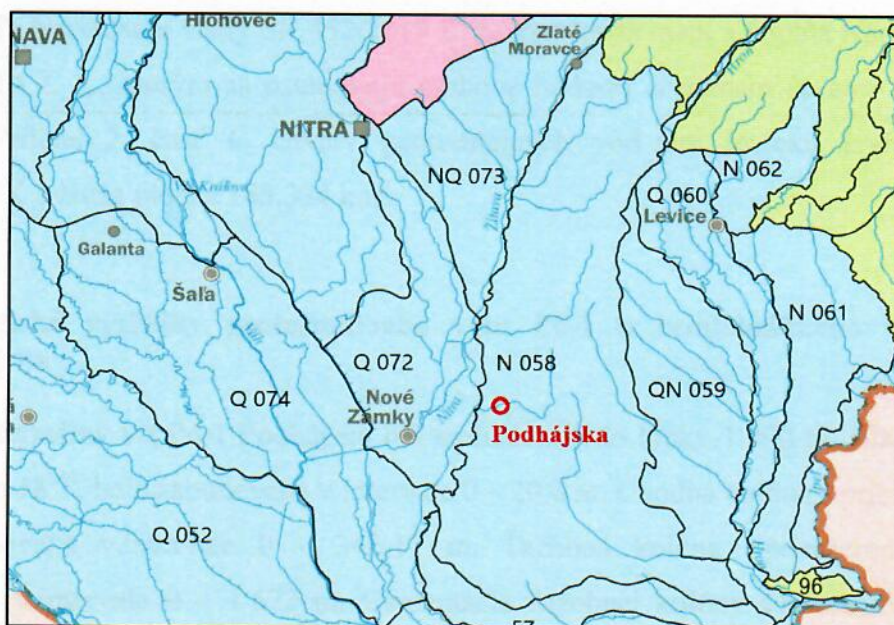
Údaje zaznamenané počas poloprevádzkovej hydrodynamickej skúšky boli spracované v tabuľkovom procesore Microsoft Excel. Pre zostavenie záverečnej správy a vytvorenie obrázkov či príloh boli použité ďalšie nástroje balíka MS-Office.

7. VÝSLEDKY RIEŠENIA GEOLOGICKEJ ÚLOHY

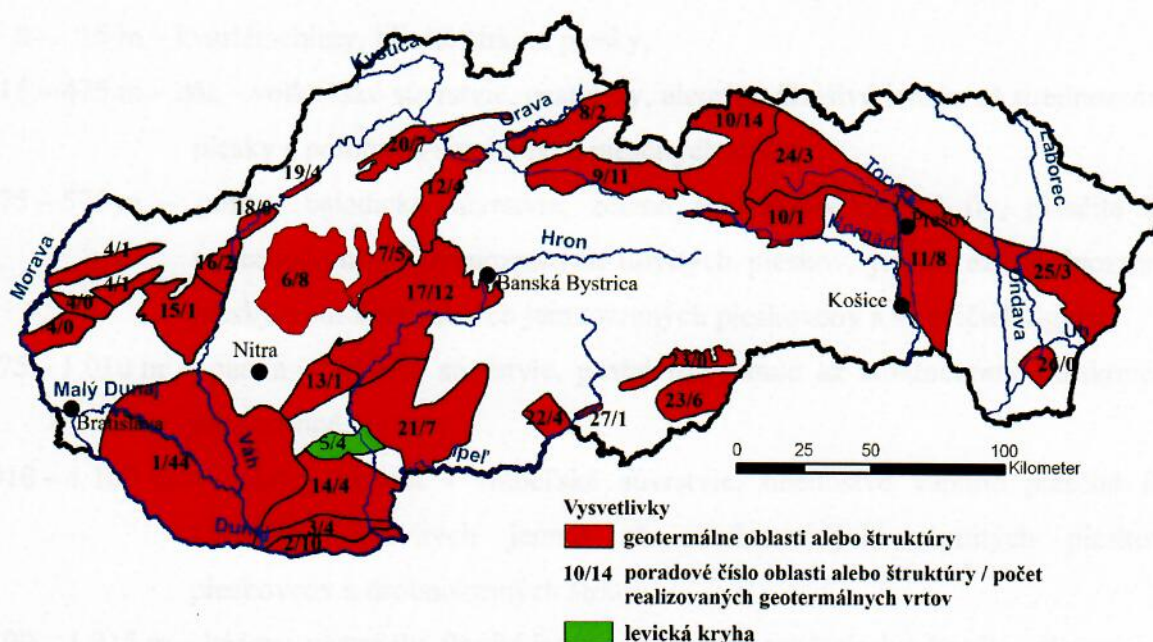
7.1 Priestorové vymedzenie geotermálneho rezervoáru

Podľa hydrogeologickej rajonizácie Slovenska (Šuba et al., 1984) patrí hodnotené územie ku hydrogeologickému rajónu N 058 Neogén Hronskej pahorkatiny. Najbližší rajón k lokalite Podhájska je na východnej strane QN 059 Kvartér hronských terás v Podunajskej nížine a na západnej strane Q 072 Kvartér Nitry od mesta Nitra po Nové Zámky (obr. 7.1.1).

Z hydrogeotermálneho hľadiska vo vzťahu k možnosti vyžívanía geotermálnej energie toto územie patrí do levickej kryhy (Franko et al., 1995). Jeho lokalizácia je na obr. 7.1.2.



Obr. 7.1.1 Lokalizácia rajónu N 058 v mape hydrogeologických regiónov (Malík et al. in Atlas krajiny SR, 2002), upravené



Poznámka: 1- centrálna depresia podunajskej panvy, 2-komárňanská vysoká kryha, 3-komárňanská okrajová kryha, 4-viedenská panva, 5-levická kryha, 6-topoľčiansky záliv a Bánovská kotlina, 7-Hornonitrianska kotlina, 8-skorušinská panva, 9-Liptovská kotlina, 10-levočská panva Z a J časť, 11-Košická kotlina, 12-Turčianska kotlina, 13-komjatická depresia, 14-dubnícka depresia, 15-trnavský záliv, 16-piešťanský záliv, 17-stredoslovenské neovulkanity SZ časť, 18-Trenčianska kotlina, 19-ilavská kotlina, 20-Žilinská kotlina, 21-stredoslovenské neovulkanity JV časť, 22-hornostřásko-trenčská prepadlina, 23-Rimavská kotlina, 24-levočská panva SV časť, 25-humenský chrbát, 26-štruktúra Beša-Čičarovce, 27-Lučenská kotlina.

Obr. 7.1.2 Lokalizácia perspektívnych oblastí geotermálnych vôd SR (podľa Fendek in Negm a Zelenáková Eds., 2019, upravené)

Podľa Nariadenia vlády SR 452/2019 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa Nariadenie vlády SR 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd sa v Prílohe 2, časť C Útvary geotermálnych vôd pre levickú kryhu s kódom SK300210FK uvádza plocha 185,334 km².

7.2 Geologické výsledky geotermálneho vrtu Po-1 a reinjektážneho vrtu GRP-1 Podhájska

Geotermálny vrt Po-1 Podhájska bol realizovaný do hĺbky 1 900 m. Riadiaca kolóna s priemerom 18^{5/8}“ bola zabudovaná v intervale 0 – 20,8 m. Úvodná kolóna s priemerom 13^{3/8}“ bola zabudovaná v intervale 0 – 342,17 m. Ťažobná kolóna s priemerom 9^{5/8}“ bola zabudovaná v intervale 0 – 1 672 m. Cementácia ťažobnej kolóny s priemerom 9^{5/8}“ bola realizovaná oknom v hĺbke 1 157 m. Hĺbkový interval 1 672 – 1 900 m nebol zapažený.

Litostratigrafický profil geotermálneho vrtu Po-1, spracovaný na základe archívnych údajov (Čermák a Gaža, 1973; Biela, 1978; Fendek et al., 1989a), je:

- 0 – 15 m – kvartér - hlíny, hlinité štrky a piesky,
- 15 – 475 m – dák - volkovské súvrstvie, pestré íly, aleurity, žltosivé jemno až strednozrnné piesky s polohami sivobielych piesčitých štrkov,
- 475 – 575 m – pont - beladické súvrstvie, zeleno sivé slabo vápnité íly, piesčité íly s prechodom do jemnozrnných ílovitých pieskov, jemno až strednozrnné piesky s polohami sivých jemnozrnných pieskovcov a vrstvičiek lignitu,
- 575 – 1 010 m – panón - ivánske súvrstvie, pestré íly, jemno až strednozrnné pieskovce, jemnozrnné,
- 1 010 – 1 100 m – spodný sarmat - vrábeľské súvrstvie, hnedosivé vápnité piesčité íly s polohami ílovitých jemno až strednozrnných vápnitých pieskov, pieskovcov a drobnnozrnných štrkov,
- 1 100 – 1 215 m – báden - pestré íly, ílovité jemno až strednozrnné piesky, bazálne zlepence,
- 1 215 – 1 590 m – stredný trias - dolomity, dolomitické vápence, kryštalicke vápence, tektonické brekcie a rauwaky,
- 1 590 – 1 740 m – spodný trias - lúžňanské súvrstvie, kremenné pieskovce s vložkami sericitických bridlíc,
- 1 740 – 1 900 m – perm (vrchné paleozoikum) - metamorfované živcové a litické droby.

Reinjekčný vrt GRP-1 Podhájska bol realizovaný do hĺbky 1 470 m. Riadiaca kolóna s priemerom 368 mm bola zabudovaná v intervale 0 – 47 m. Úvodná kolóna s priemerom 9^{5/8}“ bola zabudovaná v intervale 0 – 950 m. Ťažobná kolóna s priemerom 7“ bola zabudovaná v intervale 0 – 1 470 m. Cementácia ťažobnej kolóny s priemerom 7“ bola realizovaná oknom v hĺbke 950 m.

Litostratigrafický profil reinjekčného vrtu GRP-1 je (Fendek et al., 1989a):

- 0 – 10 m – kvartér - hlíny, hlinité štrky a piesky,
- 10 – 165 m – dák - volkovské súvrstvie, pestré íly, aleurity, žltosivé jemno až strednozrnné piesky s polohami sivobielych piesčitých štrkov,
- 165 – 302 m – pont - beladické súvrstvie, zeleno sivé slabo vápnité íly, piesčité íly s prechodom do jemnozrnných ílovitých pieskov, jemno až strednozrnné piesky s polohami sivých jemnozrnných pieskovcov a vrstvičiek lignitu,
- 302 – 834 m – panón - ivánske súvrstvie, pestré íly, jemno až strednozrnné pieskovce, jemnozrnné,
- 834 – 960 m – spodný sarmat - vrábeľské súvrstvie, hnedosivé vápnité piesčité íly s polohami ílovitých jemno až strednozrnných vápnitých pieskov, pieskovcov a drobnnozrnných štrkov,
- 960 – 975 m – báden - pestré íly, ílovité jemno až strednozrnné piesky, bazálne zlepenice,
- 975 – 1 295 m – stredný trias - dolomity, dolomitické vápence, kryštalicke vápence, tektonické brekcie a rauwaky,
- 1 295 – 1 398 m – spodný trias - lúžňanské súvrstvie, kremenné pieskovce s vložkami sericitických bridlíc,
- 1 398 – 1 470 m – perm (vrchné paleozoikum) - metamorfované živcové a litické droby.

Na základe silikátovej analýzy sa ukázalo, že zdrojovým materiálom regionálne metamorfovaných živcových a litických drob boli alkalické granity. Tektonická príslušnosť prevrtaných mezozoických hornín bola na základe ich litologickej a mikrofaciálnej charakteristiky, postupnosti vystupovania v nadloží kryštalinika, ako aj informácií získaných z vrtov realizovaných v blízkom okolí geotermálneho vrtu Po-1 Podhájska (Šurany-1, Pozba-1, Pozba-2, GRP-1 Podhájska), priradená k chočskému alebo vyšším príkrovom, v podloží ktorých sa nachádza mezozoický obal (kremenné pieskovce slabo tlakovo usmernenej textúry s vložkami sericitických bridlíc) prislúchajúci veporiku (Fendek et al., 1989a).

Na základe litostratigrafického profilu geotermálneho vrtu Po-1 a reinjektážneho vrtu GRP-1 môžeme predpokladať, že hlavnými kolektormi geotermálnych vôd na lokalite Podhájska sú triasové karbonáty tektonicky priradované k hroniku, ktorých hrúbka sa pohybuje v intervale 232 – 375 m. Podružne sa k nim môžu pridávať aj bádenské klastiká a výsledky reometrie poukazujú, že v menšej miere (okolo 10 % z celkovej výdatnosti) to môžu byť aj spodnotriasové kremenné pieskovce (pozri kap. 7.3), čo v rámci vnútorných Západných Karpát nie je celkom bežný jav ani z pohľadu výskytu obyčajných podzemných vôd.

7.3 Hydrodynamické skúšky a ich interpretácia

Výskyt geotermálnych vôd na lokalite Podhájska bol overený exploatačným geotermálnym vrtom Po-1 (Čermák a Gaža, 1973) a reinjektážnym vrtom GRP-1 (Fendek et al., 1987). Exploatačným vrtom Po-1 hlbokým 1 900 m boli zabudované kolektory geotermálnych vôd 9^{5/8}" (244,47 mm) pažnicou v hĺbkovom intervale 1 170 – 1 672 m. Hĺbkový interval 1 672 – 1 900 m nebol zapažený. Reinjektážnym vrtom GRP-1 hlbokým 1 470 m boli zabudované kolektory geotermálnych vôd pažnicou priemeru 7" (177,8 mm) v hĺbkovom intervale 995 – 1 365 m.

Na exploatačnom geotermálnom vrte Po-1 prvé merania urobila Nafta n. p. Gbely po zabudovaní vrtu v júni 1973. Výdatnosť voľného prelivu bola okolo 50 l.s⁻¹, teplota na ústí vrtu 85 °C a tlak 0,392 MPa. Výdatnosť voľného prelivu bola stanovená odborným odhadom, lebo v tom čase nebolo na vrte vhodné technologické zariadenie na meranie takéhoto množstva preplyných geotermálnych vôd (Čermák a Gaža, 1973). Geologický prieskum, n. p. Ostrava urobil v roku 1979 separačné testy vlastným pojazdným laboratóriom za účelom sledovania obsahu a zloženia plynov, ktoré sú súčasťou geotermálnej vody exploatovanej z vrtu Po-1. Počas testov bol voľný preliv upravený škrtaním vrtu na hodnotu 1,6 – 1,8 l.s⁻¹. Obsah voľného plynu sa pohyboval v intervale 0,42 – 0,60 m³.m⁻³ (Holuša, 1979). Prvé komplexné hydrodynamické merania boli na vrte realizované až VIKUV-om Budapešť v období máj – jún 1982. Počas týchto hydrodynamických meraní bola na vrte zistená maximálna výdatnosť pri voľnom prelive v množstve 41,66 l.s⁻¹, teplota na ústí vrtu 82,5 °C a tlak 0,044 MPa. Statická hladina bola zaklesnutá v hĺbke 3,73 m pod terénom. Obsah voľného plynu sa pohyboval v intervale 1,43 – 5,06 m³.m⁻³ (Ambrus, 1982). Posledné komplexné hydrodynamické merania na vrte Po-1 boli realizované v r. 1988. Počas nich bola

na vrte zistená maximálna výdatnosť pri voľnom prelive $36,6 \text{ l.s}^{-1}$, teplota na ústí vrtu 82°C a tlak $0,064 \text{ MPa}$. Statická hladina bola zaklesnutá v hĺbke $20,19 \text{ m}$ pod terénom. Obsah voľného plynu sa pohyboval v intervale $0,635 - 2,493 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Fendek et al., 1989a).

V exploatačnom vrte Po-1 sa na celkovej výdatnosti vrtu $41,66 \text{ l.s}^{-1}$ podieľajú (Ambrus, 1982):

- $39,3 \%$ – bádenské klastiká zabudované v hĺbkovom intervale $1\,170 - 1\,215 \text{ m}$,
- $41,7 \%$ – stredotriasové karbonáty zabudované v hĺbkovom intervale $1\,400 - 1\,550 \text{ m}$,
- $19,0 \%$ – spodnotriasové kremenné pieskovce zabudované v hĺbkovom intervale $1\,620 - 1\,740 \text{ m}$.

Výsledky reometrie z reinjektážneho vrtu GRP-1 realizovanej pri výdatnosti $35,0 \text{ l.s}^{-1}$ ukázali, že na celkovej výdatnosti vrtu sa podieľajú (obr. 7.3, Fendek et al., 1987):

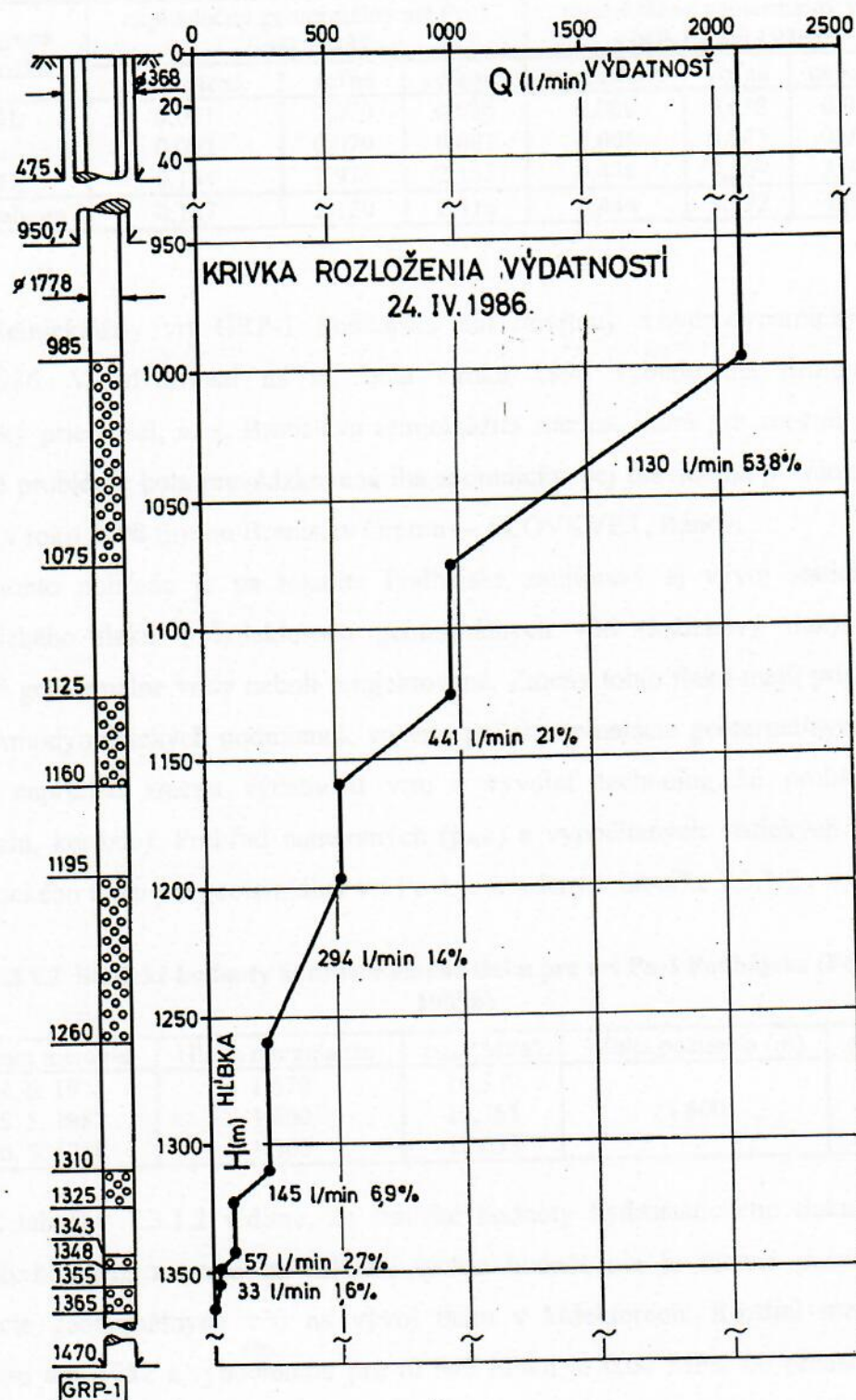
- $88,8 \%$ – stredotriasové karbonáty zabudované v hĺbkovom intervale $985 - 1\,260 \text{ m}$,
- $11,2 \%$ – spodnotriasové kremenné pieskovce zabudované v hĺbkovom intervale $1\,310 - 1\,365 \text{ m}$.

Z uvedeného vidíme, že hlavnými kolektormi geotermálnych vôd na lokalite Podhájska sú triasové karbonáty tektonicky priradované k hroniku, ktorých hrúbka sa pohybuje v intervale $232 - 375 \text{ m}$.

7.3.1 Tlakové pomery

Na reinjektážnom geotermálnom vrte GRP-1 boli doteraz realizované jediné komplexné hydrodynamické merania VIKUV-om Budapešť v období apríl – máj 1986. Počas týchto hydrodynamických meraní sa obsah voľného plynu pohyboval v intervale $3,16 - 4,81 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Fendek et al., 1987). Príklad zastúpenia jednotlivých plynných zložiek vo voľnom a rozpustenom plyne je pre lokalitu Podhájska uvedený v tabuľke 7.3.1.1.

Z tabuľky 7.3.1.1 vidíme, že u obidvoch vrtov viac ako $98 \text{ obj. \%}$ obsahu rozpustenej plynnej zložky tvorí oxid uhličitý (CO_2) a najmenší podiel – menej ako $0,5 \text{ obj. \%}$ má metán (CH_4). Podobné zastúpenie môžeme vidieť aj pri porovnaní obsahu voľnej plynnej zložky a celkovom zastúpení jednotlivých plynných zložiek, kde oxid uhličitý je zastúpený $93 - 98 \text{ obj. \%}$ a metán $1 - 4 \text{ obj. \%}$.



Obr. 7.3 Výsledky reometrie na reinjektážnom vrte GRP-1 Podhájska (Fendek et al., 1987)

Tab. 7.3.1.1 Obsah plynu v geotermálnej vode na lokalite Podhájska v $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Fendek et al., 1989b)

Plynná zložka	exploatačný geotermálny vrt Po-1 (máj 1988)			reinjektážny geotermálny vrt GRP-1 (máj 1986)		
	rozpustená	voľná	celková	rozpustená	voľná	celková
CH ₄	0,001	0,079	0,080	0,000	0,038	0,038
N ₂	0,002	0,079	0,081	0,006	0,045	0,051
CO ₂	0,184	1,971	2,155	0,438	3,509	3,947
Celkom	0,187	2,129	2,316	0,444	3,592	4,036

Reinjektážny vrt GRP-1 Podhájska bol dovŕtaný a hydrodynamicky odskúšaný v roku 1986. V nadväznosti na to, bola v roku 1998 vybudovaná firmou Slovenský plynárenský priemysel, a. s. Bratislava reinjektážna stanica, ktorá pre značnú poruchovosť a finančné problémy bola prevádzkovaná iba sporadicky. Jej pravidelná prevádzka začala po odkúpení v roku 2008 firmou Branislav Oremus – SLOVKVET, Bánov.

Z tohto pohľadu je na lokalite Podhájska zaujímavý aj vývoj statických hodnôt hydrostatického tlaku v kolektoroch geotermálnych vôd (ložiskový tlak) v čase, keď využívané geotermálne vody neboli reinjektované. Zmeny tohto tlaku majú priamy vplyv na zmenu termodynamických podmienok vo vrte počas exploatácie geotermálnych vôd. Môžu spôsobiť napríklad zmenu výdatnosti vrtu a vyvolať technologické problémy vo vrte (inkrustáciu, koróziu). Prehľad nameraných (p_{mer}) a vypočítaných statických (p_{vyp}) hodnôt hydrostatického tlaku pre geotermálny vrt Po-1 je uvedený v tabuľke 7.3.1.2

Tab. 7.3.1.2 Statické hodnoty hydrostatického tlaku pre vrt Po-1 Podhájska (Fendek et al., 1989b)

Dátum merania	Hĺbka merania (m)	p_{mer} (MPa)	Hĺbka počítania (m)	p_{vyp} (MPa)
24. 6. 1973	1 670	16,379	1 600	16,293
28. 5. 1982	1 600	15,765		15,725
30. 5. 1988	1 300	12,633		15,562

Z tabuľky 7.3.1.2 vidíme, že statické hodnoty hydrostatického tlaku boli merané v rôznych hĺbkach, a preto na základe týchto hodnôt nie je možné posudzovať vplyv exploatácie geotermálnych vôd na vývoj tlaku v kolektoroch. Rozdiel medzi hodnotou nameranou v r. 1982 a vypočítanou pre tú istú hĺbku je 0,04 MPa, čo predstavuje 0,25 % z hodnoty nameranej z čoho vyplýva, že vypočítaná hodnota je porovnateľná s nameranou, lebo rozdiel nepresahuje chybu určenia absolútnej hodnoty tlaku meraním v tom čase pomocou mechanického manometra ($\pm 0,5$ %). Vypočítané statické hodnoty hydrostatického

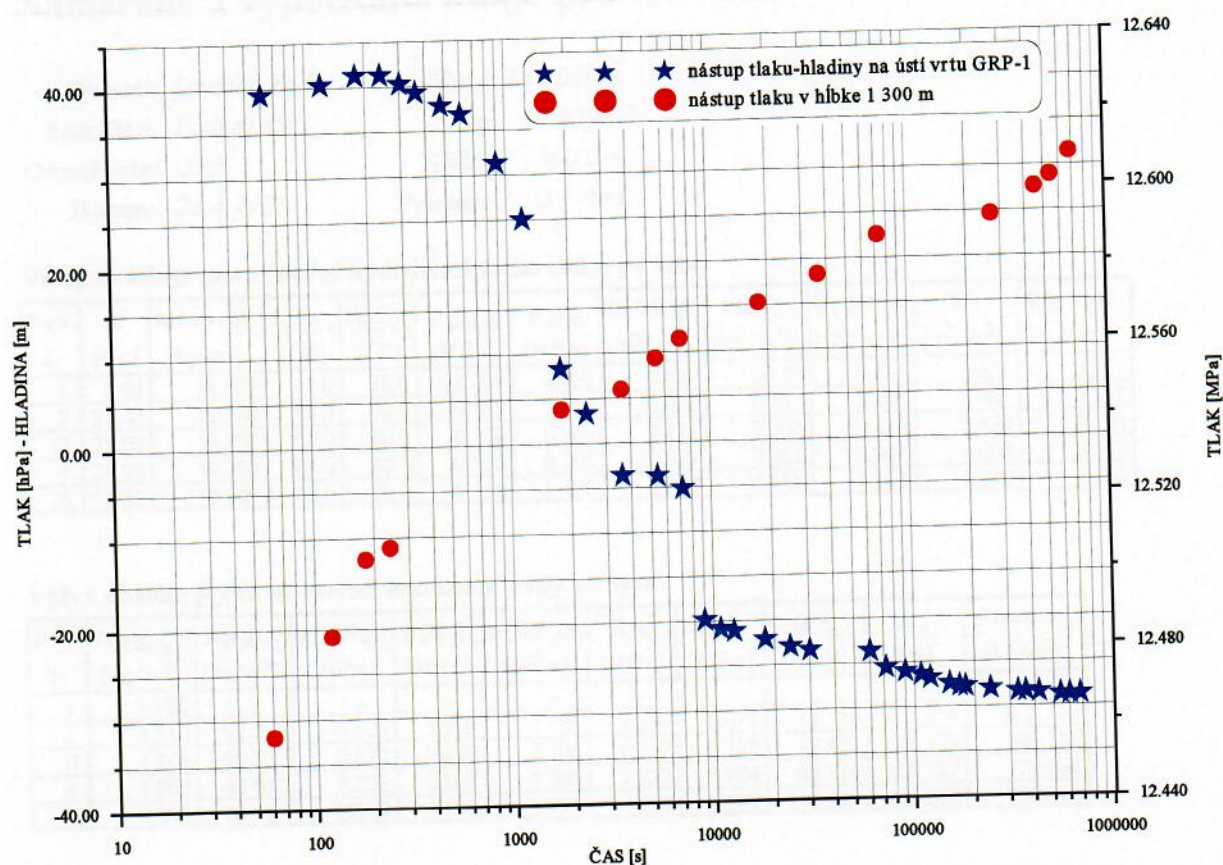
tlaku však už jednoznačne poukazujú na výrazný pokles ložiskového tlaku, ktorý za obdobie 15 rokov poklesol o 0,731 MPa, t.j. o 4,48 %. Tento negatívny dopad exploatacie geotermálnych vôd u tohto typu hydrogeotermálnej štruktúry (zatvorená) sa dá eliminovať iba realizáciou reinjektáže tepelne využitých geotermálnych vôd. Pravidelná reinjektáž tepelne využitých geotermálnych vôd sa prakticky začala realizovať až v roku 2008, keď sa majiteľom vybudovanej reinjektážnej stanice stala firma Branislav Oremus – SLOVKVET, Bánov.

Jedným z príkladov atypického správania sa geotermálnych a preplynených vôd oproti obyčajným vodám viazaných na štruktúry s napätou hladinou podzemných vôd, pri ktorom dochádza k takému paradoxu, že pri znížení hydrostatického tlaku v hĺbke (vytvorenie depresie pri určitej výdatnosti) hodnota tlaku na ústí vrtu neklesá ale stúpa, čo je spôsobené narastajúcim termoliftom a gasliftom a naopak. Vplyv teploty a vznosu plynu dokáže eliminovať depresiú hydrostatického tlaku v hĺbke po určitú hranicu spôsobujú tento paradox, ktorý zaniká až pri dostatočne veľkej depresii.

Vyššie uvedený paradox si najlepšie uvedomíme na skutočnosti, že zo štruktúr s obyčajnými podzemnými vodami, ktoré majú zaklesnutú statickú hladinu niekoľko metrov pod terénom, nemôžeme exploatovať vodu voľným prelivom, čo všeobecne neplatí pre geotermálne vody, u ktorých sa v tomto prípade jednoznačne prejavuje vplyv termoliftu a gasliftu. Jedným z praktických príkladov tejto skutočnosti je aj vrt GRP-1 Podhájska, v ktorom bola počas hydrodynamických skúšok zistená statická hladina v hĺbke 28,79 m pod terénom (Fendek, 1998). Voľný preliv bol vyvolaný pomocou dvojhodinového kompresorovania, pri ktorom bolo vzduchové potrubie o priemere 3^{1/2}" zapustené do hĺbky 90 m. Výdatnosť voľného prelivu sa postupne ustálila na hodnote 28 l.s⁻¹, teplota vody na ústí vrtu na 69 °C a tlak na hodnote 0,158 MPa.

Z uvedeného vyplýva ďalší rozdiel, a to, že u geotermálnych vôd nemôžeme tak ako u obyčajných vôd určiť veľkosť depresie vyvolanej exploataciou z hodnôt hladín (tlakov) nameraných na ústí vrtu, lebo ich statická hodnota je niekedy menšia ako dynamická. Napríklad na ústí vrtu GRP-1 bola nameraná dynamická hodnota hydrostatického tlaku 0,158 MPa, čo po prepočítaní na výšku vodného stĺpca predstavuje dynamickú hladinu vo výške 17,04 m nad terénom t.j. o 45,83 m viac ako bola hodnota statickej hladiny vo vrte. Táto skutočnosť je zrejmá aj z obr. 7.3.1.1, kde priebeh tlaku-hladiny na ústí vrtu GRP-1 je úplne opačný ako nástup tlaku v hĺbke 1 300 m. Aj napriek tomu sa ale pri prognózach

množstiev geotermálnych vôd nezaobídeme bez hodnoty maximálnej depresie, ktorú je možné dosiahnuť na geotermálnych vrtoch pri voľnom prelive.



Obr. 7.3.1.1 Porovnanie priebehu stúpajúcej skúšky na ústí a v hĺbke pre vrt GRP-1 Podhájska (Fendek, 1998)

Maximálnu depresiu, ktorú môžeme na geotermálnom vrte dosiahnuť pri jeho exploatacii voľným prelivom, určuje okamžitá statická hodnota tlaku na ústí vrtu definovaná Fendekom (1989). Okamžitá statická hodnota tlaku na ústí vrtu zahŕňa v sebe všetky skutočnosti majúce vplyv na mernú hmotnosť geotermálnych vôd a tým aj na ich piezometrickú výšku. Reálna okamžitá statická hodnota tlaku na ústí vrtu GRP-1 sa v závislosti od výdatnosti, teploty a obsahu plynu pohybuje v intervale 0,280 – 0,659 MPa (tab. 7.3.1.3) a na ústí vrtu Po-1 v intervale 0,139 – 0,828 MPa (tab. 7.3.1.4).

Pri exploatačných geotermálnych vrtoch má veľký praktický význam určenie polohy bodu evázie plynov vo vrte, ktorá podmieňuje vznik chemicko-technologických problémov. V prípade, že geotermálna voda je presýtená voči kalcitu a dolomitu a parciálny tlak nasýtenia oxidu uhličitého je väčší ako dynamická hodnota hydrostatického tlaku na ústí vrtu, vzniká vo vrte inkrust, čo platí aj pre geotermálnu vodu zachytenú vrtmi GRP-1 a Po-1 v Podhájskej.

Tab. 7.3.1.3 Hodnotenie tlakových pomerov pre reinjektážny vrt GRP-1 Podhájska (Fendek, 1998)

Namerané a vypočítané údaje pre vrt: GRP-1

Oblasť: *Levická kryha* Kóta: *141.090m*
 Lokalita: *Podhájska* *g: 9.809m/s²*
 Označenie: *GRP-1* Hĺbka: *1300.0m*
 Dátum: *23.4.1985* Priemer: *0.178m*

Vstupné údaje pre výpočet hydrostatického tlaku vo vrte

Por. č.	Q [l/s]	Mineral. [kg/m ³]	t _{ústia} [°C]	t _{hĺbk} [°C]	p _{ústia} [MPa]	p _{atm} [MPa]	V(CH ₄) _i [m ³ /m ³]	V(N ₂) _i [m ³ /m ³]	V(CO ₂) _i [m ³ /m ³]	Σ V _i [m ³ /m ³]	Σ V(vol) _i [m ³ /m ³]
1.	0.00	19.300	12.0	78.0	-28.790	0.100	0.099	0.183	3.317	3.599	3.326
2.	27.33	19.300	69.0	80.0	0.158	0.100	0.095	0.161	3.205	3.461	3.198
3.	28.66	19.300	69.0	80.0	0.158	0.100	0.111	0.209	3.119	3.439	3.164
4.	28.58	19.300	69.0	80.0	0.158	0.100	0.038	0.051	3.947	4.036	3.592
5.	28.58	19.300	69.0	80.0	0.158	0.100	0.058	0.150	4.802	5.010	4.552

Vplyv obsahu plynu namernú hmotnosť vody vo vrte

Por. č.	Δρ _{g_{viaz}} [kg/m ³]	Δρ _{g_{vol}} [kg/m ³]	p(CH ₄) _i [MPa]	p(N ₂) _i [MPa]	p(CO ₂) _i [MPa]	Σ p _i [MPa]	Δ p _g [MPa]	Δ h _g [m]	h _e [m]	ρ _{nad h_e} [kg/m ³]
1.	1.505	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.	1.513	52.357	0.573	1.878	1.135	3.586	0.679	73.704	407.014	833.702
3.	1.448	55.503	0.670	2.438	1.105	4.212	0.720	78.432	478.119	846.725
4.	1.952	46.561	0.229	0.595	1.398	2.222	0.604	65.134	258.737	779.985
5.	2.348	76.453	0.350	1.749	1.701	3.800	0.992	110.405	458.929	786.934

Výsledky výpočtu hydrostatického tlaku vo vrte

Por. č.	Δρ _{min} [kg/m ³]	Δ p _{str}	ρ _t [kg/m ³]	ρ _{priem} [kg/m ³]	Δ p _t [MPa]	Δ h _t [m]	tlak p [MPa]	h _p [m]	H [m n.m.]	p _{okam} [MPa]	p _{okr} [MPa]
1.	12.037	--	1006.696	1006.696	--	--	12.553	1271.210	112.300	--	--
2.	11.855	6.850	991.538	939.181	0.189	19.434	12.180	1316.245	157.335	0.577	0.365
3.	11.855	6.379	991.465	935.962	0.190	19.530	12.143	1316.246	157.336	0.618	0.401
4.	11.855	6.346	991.996	945.435	0.183	18.838	12.265	1316.238	157.328	0.497	0.280
5.	11.855	6.345	992.305	915.852	0.179	18.436	11.882	1316.233	157.323	0.874	0.659

Poznámka: Q – výdatnosť, Mineral. – mineralizácia, t_{ústia} – teplota na ústí vrtu, t_{hĺbk} – teplota v hĺbke výpočtu tlaku, p_{ústia} – tlak na ústí vrtu (v prípade znamienka mínus ide o hladinu vody pod terénom v m), p_{atm} – atmosferický tlak, V(CH₄)_i – parciálny objem CH₄, V(N₂)_i – parciálny objem N₂, V(CO₂)_i – parciálny objem CO₂, Σ V_i – celkový objem plynu, Σ V(vol)_i – celkový objem voľného plynu, Δρ_{g_{viaz}} – vplyv rozpusteného plynu na mernú hmotnosť vody, Δρ_{g_{vol}} – vplyv voľného plynu na mernú hmotnosť vody, p(x)_i – parciálny tlak nasýtenia jednotlivých plynných zložiek, Σ p_i – celkový tlak nasýtenia plynu, Δp_g – gaslift, Δh_g – výška vodného stĺpca zodpovedajúca hodnote gasliftu, h_e – hĺbka bodu evázie plynov, ρ_{nad h_e} – priemerná merná hmotnosť tekutiny nad bodom evázie plynov, Δρ_{min} – vplyv mineralizácie na mernú hmotnosť vody, ρ_t – merná hmotnosť vody vo vrte zohľadňujúca iba vplyv teploty, ρ_{priem} – priemerná merná hmotnosť vody vo vrte, Δp_t – termolift, Δh_t – výška vodného stĺpca zodpovedajúca hodnote termoliftu, tlak p – hodnota hydrostatického tlaku v danej hĺbke, h_p – tlaková výška, H – piezometrická výška, p_{okam} – okamžitá statická hodnota tlaku na ústí vrtu, p_{okr} – reálna okamžitá statická hodnota tlaku na ústí vrtu.

Tab. 7.3.1.4 Hodnotenie tlakových pomerov pre exploatačný geotermálny vrt Po-1 Podhájska (Fendek, 1998)

Namerané a vypočítané údaje pre vrt: Po-1

Oblasť: Levická kryha Kóta: 137.820m
 Lokalita: Podhájska g: 9.809m/s²
 Označenie: Po-1 Hĺbka: 1600.0m
 Dátum: 20.5.1988 Priemer: 0.244m

Vstupné údaje pre výpočet hydrostatického tlaku vo vrte

Por. č.	Q [l/s]	Mineral. [kg/m ³]	t _{ústia} [°C]	t _{hĺbk} [°C]	P _{ústia} [MPa]	P _{atm} [MPa]	V(CH ₄) _i [m ³ /m ³]	V(N ₂) _i [m ³ /m ³]	V(CO ₂) _i [m ³ /m ³]	Σ V _i [m ³ /m ³]	Σ V(vol) _i [m ³ /m ³]
1.	0.00	18.800	12.0	91.0	-20.190	0.101	0.084	0.472	2.256	2.812	2.493
2.	29.83	18.800	80.0	95.0	0.124	0.101	0.084	0.472	2.256	2.812	2.493
3.	29.83	18.800	80.0	95.0	0.124	0.101	0.009	0.096	2.096	2.201	1.850
4.	36.66	18.800	80.0	95.0	0.084	0.101	0.001	0.025	0.957	0.983	0.635
5.	36.66	18.800	80.0	95.0	0.080	0.101	0.080	0.081	2.155	2.316	2.129
6.	36.66	18.800	80.0	95.0	0.064	0.101	0.086	0.146	2.847	3.079	2.693

Vplyv obsahu plynu na mernú hmotnosť vody vo vrte

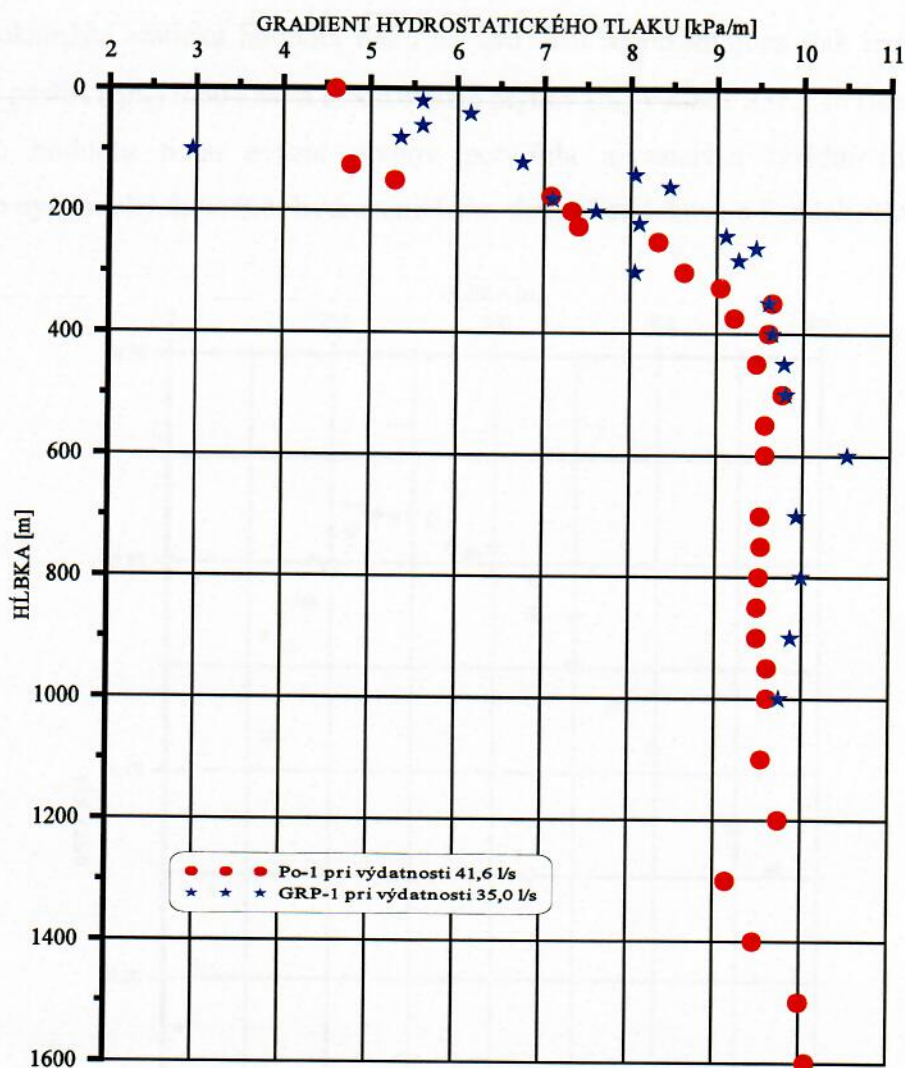
Por. č.	Δρ _{giaz} [kg/m ³]	Δρ _{gvol} [kg/m ³]	p(CH ₄) _i [MPa]	p(N ₂) _i [MPa]	p(CO ₂) _i [MPa]	Σ p _i [MPa]	Δ p _g [MPa]	Δ h _g [m]	h _e [m]	ρ _{nad h_e} [kg/m ³]
1.	0.938	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.	1.004	47.161	0.564	5.532	0.934	7.030	0.747	81.394	780.925	888.342
3.	1.048	21.389	0.060	1.125	0.868	2.053	0.339	35.919	220.907	843.667
4.	0.484	5.831	0.007	0.293	0.396	0.696	0.092	9.610	62.377	867.577
5.	1.030	35.790	0.537	0.949	0.892	2.379	0.565	60.802	284.670	794.210
6.	1.368	50.370	0.578	1.711	1.178	3.467	0.795	86.907	420.977	799.690

Výsledky výpočtu hydrostatického tlaku vo vrte

Por. č.	Δρ _{min} [kg/m ³]	Δ p _{str}	ρ _t [kg/m ³]	ρ _{priem} [kg/m ³]	Δ p _t [MPa]	Δ h _t [m]	tlak p [MPa]	h _p [m]	H [m n.m.]	P _{okam} [MPa]	P _{okr} [MPa]
1.	11.644	--	1003.704	1003.704	--	--	15.554	1579.810	117.630	--	--
2.	11.625	1.796	982.733	935.571	0.325	33.713	14.818	1612.864	150.684	0.871	0.730
3.	11.625	1.796	982.870	961.481	0.323	33.488	15.228	1612.862	150.682	0.464	0.323
4.	11.625	2.615	982.348	976.517	0.331	34.344	15.415	1606.642	144.462	0.228	0.139
5.	11.625	2.615	982.788	946.998	0.324	33.622	14.945	1606.224	144.044	0.691	0.607
6.	11.625	2.615	983.075	932.705	0.320	33.151	14.723	1606.637	144.457	0.916	0.828

Pri exploatacii geotermálnych vôd pomocou hlbinného čerpadla sa bez určenia polohy bodu evázie plynov vo vrte prakticky nezaobídeme vzhľadom na to, že pri čerpaní dvojfázovej zmesi dochádza ku kavitácii čerpadla, ktorá vedie k jeho deštrukcii.

Výpočtom určený bod evázie plynov sa pre vrt GRP-1 pohybuje v intervale 257 – 459 m (tab. 7.3.1.3) a pre vrt Po-1 v intervale 62 – 781 m (tab. 7.3.1.4) v závislosti od celkového množstva plynu a podielu jednotlivých plynných zložiek. Podobný interval polohy bodu evázie plynov môžeme určiť aj na základe merania tlakového gradientu (obr. 7.3.1.2).



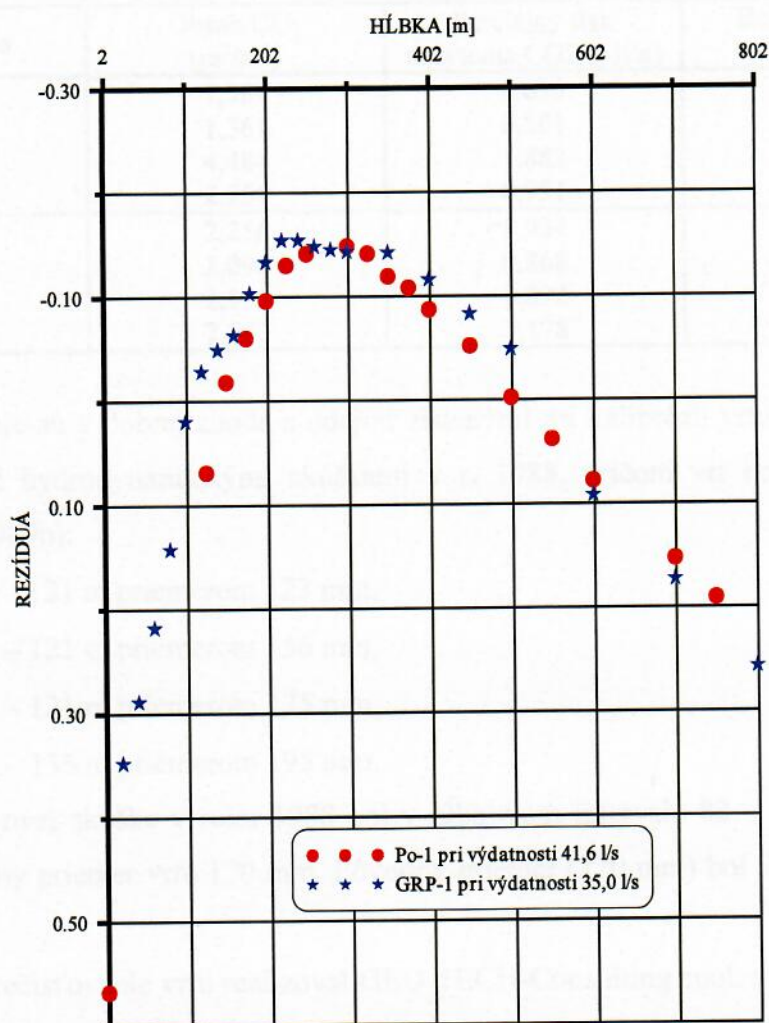
Obr. 7.3.1.2 Priebeh gradientu dynamických hodnôt hydrostatického tlaku v geotermálnom vrte Po-1 a reinjektážnom vrte GRP-1 Podhájska (Fendek, 1998)

Určenie polohy bodu evázie plynov v takomto širokom intervale je pre praktické účely nevyhovujúce. Ak je podiel termoliftu a gasliftu na celkovej depresii vrtu 100 %, potom polohu bodu evázie plynov môžeme spresniť pomocou okamžitej statickej hodnoty tlaku na ústí vrtu ak si uvedomíme, že jej hodnota sa vo vrte s ustálenými pomermi približuje hodnote nameranej depresie. Ak termolift považujeme za hodnovernú hodnotu, potom odchýlky od nameranej depresie môže spôsobovať iba gaslift a jemu zodpovedajúci tlak nasýtenia, ktorý zase určuje polohu bodu evázie plynov.

Z toho vyplýva, že k zhode medzi nameranou depresiou a reálnou okamžitou statickou hodnotou tlaku na ústí vrtu dôjde vtedy, ak je v konečnom dôsledku správne určený bod

evázie plynov. Výpočet pre reinjektážny vrt GRP-1 ukázal, že najbližšie k nameranej depresii má reálna okamžitá statická hodnota tlaku na ústí vrtu reprezentujúca tlak nasýtenia (Σp_i) 2,222 MPa, gaslift (Δp_g) 0,604 MPa a bod evázie plynov (h_e) v hĺbke 256,7 m (tab. 7.3.1.3).

Túto hodnotu bodu evázie plynov potvrdila aj analýza rezíduí (obr. 7.3.1.3) nameraných dynamických hodnôt hydrostatického tlaku (Fendeková a Fendek, 1993).



Obr. 7.3.1.3 Priebeh rezíduí dynamických hodnôt hydrostatického tlaku v geotermálnom vrte Po-1 a reinjektážnom vrte GRP-1 Podhájska (Fendek, 1998)

Rovnakým spôsobom stanovený bod evázie plynov pre exploatačný vrt Po-1 leží v hĺbke 300 m (obr. 7.3.1.2 a 7.3.1.3) a výpočtom určený v hĺbke 284,7 m (tab. 7.3.1.4).

Z pohľadu vzniku inkrustov tvorených karbonátmi je rozhodujúci parciálny tlak nasýtenia oxidu uhličitého (p_{CO_2}) a jemu zodpovedajúci bod evázie CO_2 . Ich hodnoty sú pre exploatačný vrt Po-1 Podhájska uvedené v tabuľke 7.3.1.5.

Ako dokumentuje tabuľka 7.3.1.5, priemerná hodnota bodu evázie CO₂ pre merania realizované vo vrte Po-1 v r. 1982 je 115,7 m a pre merania realizované v r. 1988 je 119,2 m. Ak nezoberieme do úvahy hodnoty zodpovedajúce maximálnemu obsahu CO₂, potom môžeme v exploatačnom vrte Po-1 očakávať uvoľňovanie CO₂ od hĺbky 150 m.

Tab. 7.3.1.5 Hĺbka bodu evázie oxidu uhličitého pre exploatačný vrt Po-1 Podhájska

Rok merania	Obsah CO ₂ (m ³ /m ³)	Parciálny tlak nasýtenia CO ₂ (MPa)	Bod evázie CO ₂ (m)
1982	1,589	0,615	68
	1,361	0,561	61
	4,484	1,882	221
	2,256	0,951	113
1988	2,256	0,934	107
	2,096	0,868	105
	2,155	0,892	115
	2,847	1,178	150

Tieto údaje sú v dobrej zhode s údajmi zistenými pri kalibrácii vrtu Po-1, ktorá bola realizovaná pred hydrodynamickými skúškami v r. 1988, pričom vrt bol prekalibrovaný (Fendek et al., 1989b):

- v hĺbke 90 – 121 m priemerom 123 mm,
- v hĺbke 18 – 121 m priemerom 156 mm,
- v hĺbke 18 – 121 m priemerom 175 mm,
- v hĺbke 18 – 136 m priemerom 195 mm.

Po prelivovej skúške v roku 1988 bol v hĺbkovom intervale 82 – 175 m karotážou zistený minimálny priemer vrtu 170 mm. Pôvodný priemer (220 mm) bol iba do hĺbky 20 m pod terénom.

Ďalšie prečisťovanie vrtu realizoval GEO-TECH-Consulting spol. s r. o. v apríli 2003 (Rusko, 2003). Na odvrtnutie inkrustu bola použitá stupňovitá tvrdokovová korunka zložená z priemerov koruniek 156, 175 a 195 mm, ktoré boli po vonkajšom obvode osadené diamantovými elementami zabezpečujúcimi dočisťovanie požadovaného priemeru sondy. Najproblémovejší sa ukázal úsek v hĺbke 123 – 129 m, v ktorom bol postup vŕtania veľmi pomalý za vysokého odporu vrtného náradia. Od hĺbky 146 m vrtné náradie prechádzalo voľne, bez akéhokoľvek odporu. Prečisťovanie vrtu bolo ukončené kalibráciou priemeru 195 mm do hĺbky 150,6 m (Rusko, 2003).

7.3.2 Hydraulické parametre

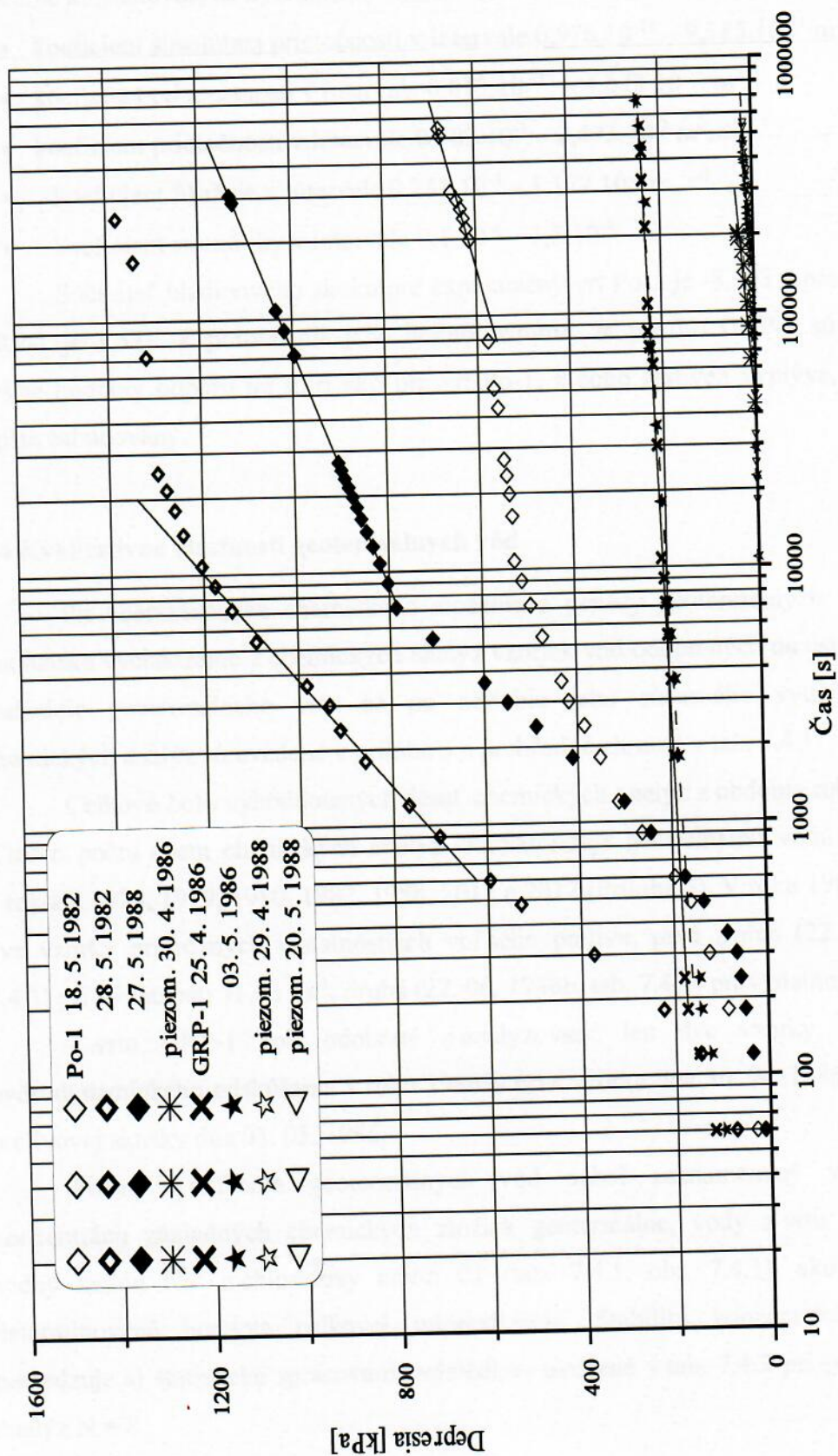
Výpočet hydraulických parametrov bol urobený pomocou zjednodušeného Jacobovho riešenia Theisovej rovnice, ktoré v prípade splnenia podmienok platnosti dáva rovnaké výsledky a navyše ešte umožňuje detailnejšie rozčlenenie priebehu hydrodynamickej skúšky a jej hlbšiu analýzu, čo má potom aj dopad na objektivitu výpočtu a celkovú hodnotu hydraulických parametrov.

Na geotermálnych vrtoch Po-1 a GRP-1 v Podhájskej bolo realizovaných viacero hydrodynamických skúšok, ktorých priebeh je v semilogaritmickej mierke znázornený na obr. 7.3.2.1. Z tohto obrázku je zrejmé, že priebeh hydrodynamických skúšok charakterizuje viacmenej nekonečnú zvodnenú vrstvu bez prejavu výraznej okrajovej podmienky. Výsledky týchto skúšok boli použité na určenie hydraulických parametrov kolektorov geotermálnych vôd pomocou metodiky uvedenej v práci Fendeka (1997).

Koeficient storativity S bolo možné určiť na základe meraní realizovaných na vrte GRP-1 v r. 1986, keď vrt Po-1 Podhájska slúžil ako pozorovací a naopak na základe meraní realizovaných na vrte Po-1 v r. 1988, keď vrt GRP-1 slúžil ako pozorovací. Určenie koeficientu storativity na základe údajov nameraných na pozorovacích vrtoch umožnilo vypočítať aj súčiniteľ hladinového skoku ϕ , charakterizujúci odpory na filtri vrtu, ktoré môžu byť spôsobené:

- zmenou priepustnosti v dôsledku úniku výplachu do bezprostredného okolia vrtu,
- hydraulickým odporom filtra vrtu,
- dodatočným upchatím filtra alebo jeho časti počas využívania vrtu,
- kolmatáciou alebo narušením pôvodnej štruktúry kolektora v tesnom okolí vrtu.

Na základe vyššie uvedeného vidíme význam určenia hodnoty súčiniteľa hladinového skoku hlavne pre reinjektážny vrt. Narastanie jeho hodnoty sa odráža priamo na náraste dynamických hodnôt hydrostatického tlaku, čo môže signalizovať napríklad kolmatáciu vrtu.



Obr. 7.3.2.1 Priebeh hydrodynamických skúšok na vrtoch Po-1 a GRP-1 v Podhájskej

Na základe komplexného vyhodnotenia realizovaných hydrodynamických skúšok môžeme konštatovať, že hydraulické vlastnosti kolektorov geotermálnych vôd charakterizujú:

- koeficient absolútnej prietochnosti v intervale $0,976 \cdot 10^{-11} - 9,185 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$,
- koeficient priepustnosti v intervale $0,813 \cdot 10^{-13} - 4,373 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$,
- koeficient prietochnosti v intervale $0,302 \cdot 10^{-3} - 2,473 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,
- koeficient filtrácie v intervale $0,251 \cdot 10^{-5} - 1,177 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- koeficient storativity v intervale $0,1 \cdot 10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-4}$.

Súčiniteľ hladinového skoku pre exploatačný vrt Po-1 je -8,903 a pre reinjektážny vrt GRP-1 je 1,571. Z porovnania jeho hodnôt vidíme, že pre vrt GRP-1 sú charakteristické vyššie hodnoty odporu na filtri ako pre vrt Po-1, z čoho zároveň vyplýva, že vrt Po-1 bol lepšie zabudovaný.

7.4 Kvalitatívne vlastnosti geotermálnych vôd

Pri charakteristike chemického zloženia a genézy geotermálnych vôd z vrtu Po-1 Podhájska vychádzame z chemických analýz vzoriek vôd odobraných na ústí vrtu od obdobia realizácie geotermálneho vrtu až po obdobie jeho súčasného využívania. Výsledky chemických analýz sú uvedené v prílohe 3 a prehľadné zhrnuté v tab. 7.4.1.

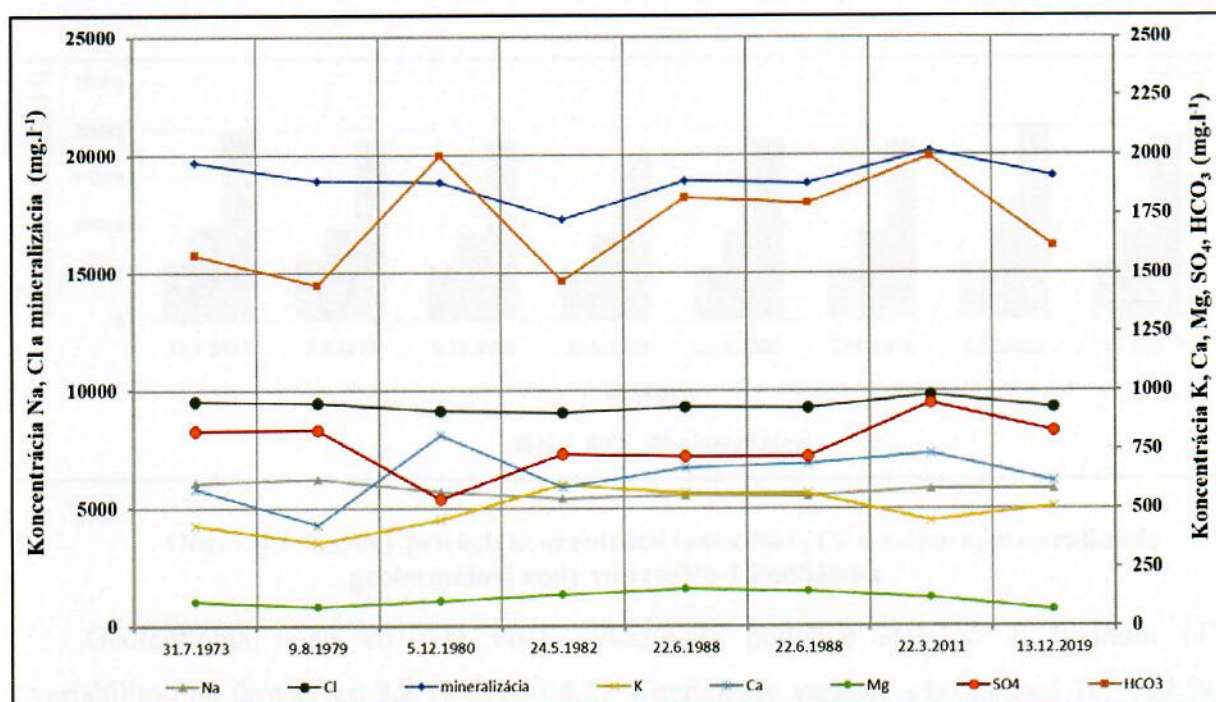
Celkovo bolo vyhodnotených desať chemických analýz z obdobia rokov 1973 – 2019. Z tohto počtu osem chemických analýz charakterizuje geotermálnu vodu z vrtu Po-1, a to v rokoch 1973, 1979, 1980, 1982, 1988, 2011 a 2012 (Príloha 5). V roku 1988 boli odoberané dve vzorky pri rôznych výdatnostiach voľného prelivu, prvá z nich (22. 06. 1988a – tab. 7.4.1) pri výdatnosti $31,66 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, druhá (22. 06. 1988b, tab. 7.4.1) pri výdatnosti $36,66 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Z vrtu GRP-1 boli odobraté a analyzované len dve vzorky, a to počas jeho hydrodynamického odskúšania v roku 1986 – prvá vzorka dňa 30. 04. 1986 a druhá na konci prelivovej skúšky dňa 03. 05. 1986.

Počas využívania geotermálnych vôd nebol zaznamenaný výraznejší rozkyv koncentrácií základných chemických zložiek geotermálnej vody z vrtu Po-1, ktorými sú sodný kation Na^+ a chloridový anión Cl^- (tab. 7.4.1, obr. 7.4.1), ako aj nimi výrazne determinovaná hodnota celkovej mineralizácie. Stabilitu koncentrácií týchto zložiek potvrdzuje aj štatistické spracovanie výsledkov uvedené v tab. 7.4.2 pri počte spracovaných analýz $N = 8$.

Tab. 7.4.1 Prehľad výsledkov chemických analýz geotermálnych vôd z vrtov Po-1 a GRP-1 Podhájska

Vrt	Jednotka	31.7.1973	9.8.1979	5.12.1980	24.5.1982	30.4.1986	3.5.1986	22.6.1988a	22.6.1988b	22.3.2011	13.12.2019
		Po-1	Po-1	Po-1	Po-1	GRP-1	GRP-1	Po-1	Po-1	Po-1	Po-1
pH	-	6,5	6,7	-	2660,32	6,75	6,75	7,1	7,2	6,62	7,0
el. vodivosť	mS.m ⁻¹	-	2600,0-	-	-	-	-	2549,72	2549,72	2640,0	2500,0
mineralizácia	mg.l ⁻¹	19675,3	18897,0	18825,54	17274,9	19169,32	19148,75	18883,4	18802,8	20148,0	19096,0
Li ⁺	mg.l ⁻¹	-	-	20,5	25,0	20,5	21,25	30,8	28,6	28,6	15,3
Na ⁺	mg.l ⁻¹	6071,4	6223,2	5700	5409,4	5830,0	5900,0	5557,7	5527,6	5830,0	5840,0
K ⁺	mg.l ⁻¹	426,9	352,0	450	600,0	150,0	156,0	561,0	561,0	448,0	509,0
NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	12,7	13,3	15,52	12,6	13,8	15,0	18,2	21,0	15,4	17,4
Mg ²⁺	mg.l ⁻¹	103,0	82,0	105,0	131,6	107,5	106,25	157,2	147,1	119,0	69,0
Ca ²⁺	mg.l ⁻¹	584,0	430,0	810,0	590,0	760,0	725,0	671,0	687,5	734,0	618,0
Sr ²⁺	mg.l ⁻¹	-	-	35,0	-	41,0	40,0	-	-	34,6	34,8
Fe ²⁺	mg.l ⁻¹	2,1	1,5	3,4	1,8	17,6	5,2	0,6	0,6	< 0,1	0,1
Mn ²⁺	mg.l ⁻¹	-	0,0	0,032	pod MS	0,16	0,07	pod MS	pod MS	0,03	0,013
F ⁻	mg.l ⁻¹	-	-	-	1,5	-	-	3,8	3,5	< 4	2,98
Br ⁻	mg.l ⁻¹	49,3	47,0	-	46,0	-	-	45,0	45,0	< 20	54,30
Cl ⁻	mg.l ⁻¹	9536,1	9471,5	9111,0	9050,0	9058,5	9121,35	9290,0	9260,0	9810,0	9300,0
I ⁻	mg.l ⁻¹	3,2	-	-	5,2	-	-	3,6	3,6	3,44	3,21
NO ₂ ⁻	mg.l ⁻¹	-	-	0	0,02	0,015	-	pod MS	pod MS	< 5	0,1
NO ₃ ⁻	mg.l ⁻¹	-	-	0	0,8	-	-	1,3	0,9	< 16,5	7,55
SO ₄ ²⁻	mg.l ⁻¹	827,5	830,6	539,48	730,0	835,65	833,2	720,0	720,0	948,0	828
HCO ₃ ⁻	mg.l ⁻¹	1574,2	1445,7	1994,13	1464,0	2295,55	2186,8	1817,8	1793,4	1993,0	1615
H ₂ SiO ₃	mg.l ⁻¹	18,2	17,8	14,8	20,0	13,7	13,5	21,2	20,7	21,3	19,0
HBO ₂	mg.l ⁻¹	-	-	-	190,0	-	-	92,5	83,8	124,0	129,0
CO ₂ vol'ný	mg.l ⁻¹	299,2	781,0	722,37	458,9	219,78	443,95	655,6	646,8	232,0	217,8
H ₂ S	mg.l ⁻¹	-	-	-	-	0	0	-	-	0,0357	< 0,01



Obr. 7.4.1 Časový priebeh vybraných zložiek geotermálnej vody vo vrte Po-1 Podhájska

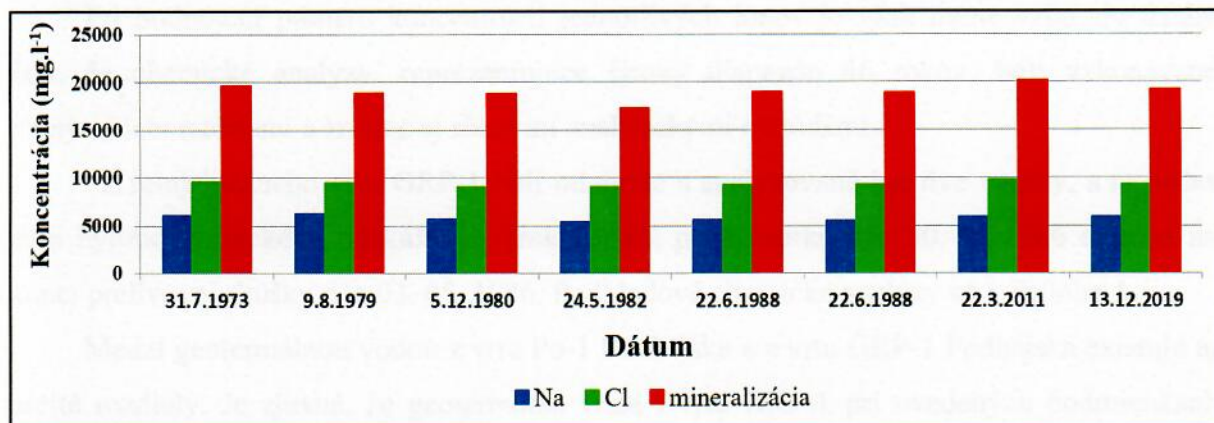
Ako vyplýva z výsledkov štatistického spracovania 8 analyzovaných vzoriek geotermálnej vody z vrtu Po-1 (tab. 7.4.2), najnižšiu variabilitu vyjadrenú hodnotou koeficienta variácie nižšou ako 10 % majú práve koncentrácie Na^+ , Cl^- a hodnoty celkovej mineralizácie.

Tab. 7.4.2 Štatistické vyhodnotenie vybraných zložiek z chemických analýz geotermálnych vôd z vrtu Po-1 Podhájska

Parameter	N (-)	pH (-)	Mineralizácia (mg.l ⁻¹)	Na ⁺ (mg.l ⁻¹)	K ⁺ (mg.l ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.l ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.l ⁻¹)	Cl ⁻ (mg.l ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.l ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)
priemer	8*	6,9	18950,4	5769,9	488,5	114,2	640,6	9353,6	767,9	1712,2
medián	8*	6,9	18890,2	5765,0	479,5	112,0	644,5	9295,0	778,8	1704,2
minimum	8*	6,5	17274,9	5409,4	352,0	69,0	430,0	9050,0	539,5	1445,7
maximum	8*	7,2	20148,0	6223,2	600,0	157,2	810,0	9810,0	948,0	1994,1
smerodajná odchýlka	8*	0,3	830,9	278,6	83,6	30,6	114,1	245,6	120,6	219,5
koeficient variácie (%)	8*	3,8	4,4	4,8	17,1	26,8	17,8	2,6	15,7	12,8

Poznámka: * pre pH sa N = 7

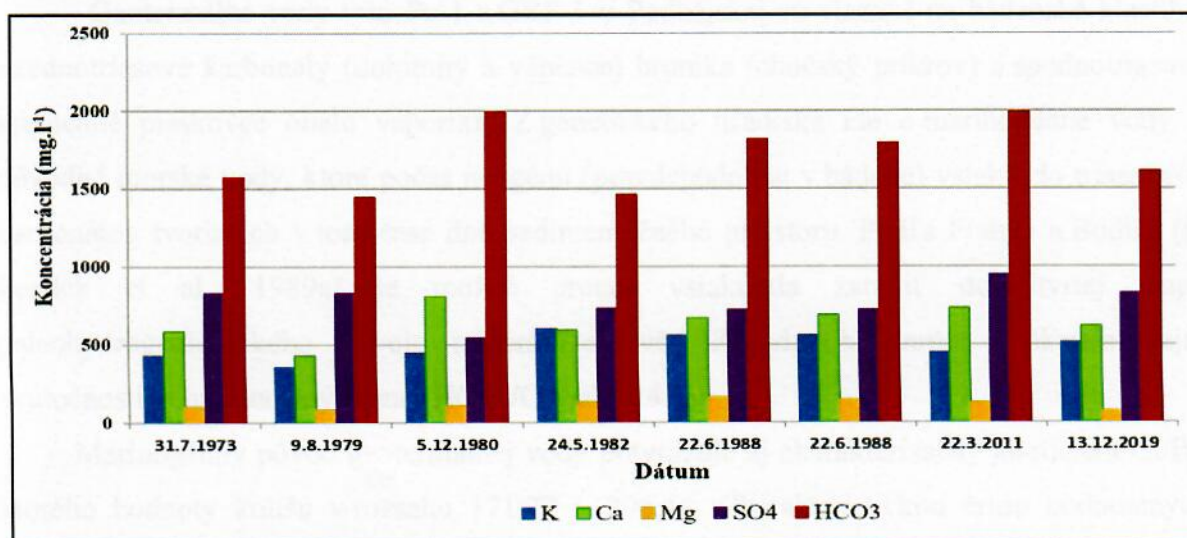
Stabilitu dominantných zložiek chemického zloženia geotermálnej vody vo vrte Po-1 Podhájska potvrdzuje aj obr. 7.4.2, na ktorom sú vynesené koncentrácie sodíkových a chloridových iónov a hodnota celkovej mineralizácie.



Obr. 7.4.2 Časový priebeh koncentrácií iónov Na⁺, Cl⁻ a celkovej mineralizácie geotermálnej vody vo vrte Po-1 Podhájska

Geotermálna voda vo vrte Po-1 vykazovala podobne stabilnú aj hodnotu pH s variabilitou na úrovni len 3,8 % (tab. 7.4.2). Koeficienty variácie s hodnotami 10 – 20 %, ktoré sa všeobecne tiež považujú za ukazovatele nízkej miery variability, boli zistené pre koncentrácie K⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻ a HCO₃⁻. Najvariabilnejšia koncentrácia s hodnotou koeficienta variácie 26,8 % bola preukázaná pri hodnotách pre Mg²⁺.

Na obr. 7.4.3 sú vynesené ostatné významnejšie zložky chemického zloženia geotermálnych vôd vo vrte Po-1.



Obr. 7.4.3 Časový priebeh koncentrácií ďalších vybraných iónov v geotermálnej vode vo vrte Po-1 Podhájska

Pri hodnotení pomeru koncentrácií jednotlivých iónov je však nutné vziať do úvahy fakt, že chemické analýzy, reprezentujúce široký diapazón 46 rokov, boli vykonávané rôznymi laboratóriami a zrejme aj rôznymi analytickými metódami.

Z reinjektážneho vrtu GRP-1 boli odobraté a analyzované len dve vzorky, a to počas jeho hydrodynamického odskúšania v roku 1986, prvá vzorka dňa 30. 04. 1986 a druhá na konci prelivovej skúšky dňa 03. 05. 1986. Podkladové chemické analýzy sú v Prílohe 4.

Medzi geotermálnou vodou z vrtu Po-1 Podhájska a z vrtu GRP-1 Podhájska existujú aj určité rozdiely. Je zjavné, že geotermálna voda z vrtu GRP-1 pri uvedených podmienkach odberu vykazovala v dvoch vzorkách o niečo vyšší obsah HCO_3^- a badateľne znížený obsah draslíka K^+ . Aj tab. 7.4.3 potvrdzuje, že 2 analýzy vody z vrtu GRP-1 indikujú do určitej miery odlišné chemické zloženie v porovnaní s vodou z vrtu Po-1. V oboch prípadoch síce ide o marinogénnu vodu s výrazným základným chemickým typom Na-Cl (tab. 7.4.1 a 7.4.3), v prípade vody z vrtu GRP-1 je však indikovaná nižšia vyhranenosť marinogénnej genézy, čo sa prejavuje nižšími hodnotami indexu S1(Cl) oproti geotermálnej vode z vrtu Po-1, vyššími hodnotami koeficientu HCO_3/Cl , aj mierne zvýšenou hodnotou indexu A2. Charakteristické sú aj vyššie hodnoty Fe^{2+} vo vode z vrtu GRP-1. O indikáciách musíme však hovoriť preto, lebo z vrtu GRP-1 boli vyhodnotené iba 2 vzorky vo veľmi krátkom časovom odstupe (Vrana, 2020 – ústna informácia).

Geotermálne vody vrtu Po-1 a GRP-1 v Podhájskej sú viazané na bádenské klastiká, stredotriasové karbonáty (dolomity a vápence) hronika (chočský príkrov) a spodotriasové kremenné pieskovce obalu veporika. Z genetického hľadiska ide o marinogénne vody – pôvodné morske vody, ktoré počas neogénu (pravdepodobne v bádene) vsiakli do triasových karbonátov tvoriacich v tom čase dno sedimentačného priestoru. Podľa Franka a Bodiša (in Fendek et al., 1989a) je možné proces vsiaknutia zaradiť do štvrtej etapy paleohydrogeologického vývoja minerálnych vôd Západných Karpát. Dôkazom tejto skutočnosti je hmotnostný pomer HCO_3/Cl (tab. 7.4.3).

Marinogénny pôvod geotermálnej vody potvrdzuje aj charakterizačný koeficient Cl/Br , ktorého hodnoty kolíšu v rozsahu 171,27 – 206,44. Charakteristickou črtou hodnotených geotermálnych vôd je prevládajúca S1(Cl) zložka s hodnotou c z % vyššou ako 66 % (tab. 7.4.3), čo umožňuje hydrogeochemicky charakterizovať geotermálnu vodu z vrtov Po-1 a GRP-1 ako vodu základného výrazného natrium-chloridového typu. Hodnota S1(Cl) zložky

je stabilná, u vody z vrtu Po-1 kolíše v rozsahu 84,030 – 87,163; geotermálna voda z vrtu GRP-1 má u tejto zložky len o málo nižšiu hodnotu 82,281 – 82,818.

Tab. 7.4.3 Základné charakterizačné koeficienty pre geotermálne vody z vrtov Po-1 a GRP-1 Podhájska

Dátum odberu	Vrt	SI(Cl)	SI(SO ₄)	S2(SO ₄)	A2	Na/K	Mg/Ca	SO ₄ /M	HCO ₃ /Cl	Cl/Na	Cl/Br
31.7.1973	Po-1	86,032	1,942	3,568	8,227	24,188	0,290	0,027	0,095	1,018	193,43
9.8.1979	Po-1	86,533	4,313	1,288	7,656	30,068	0,314	0,028	0,088	0,987	201,52
5.12.1980	Po-1	84,011	0,000	3,733	10,821	21,542	0,213	0,018	0,127	1,036	-
24.5.1982	Po-1	87,163	0,000	5,448	6,863	14,784	0,339	0,027	0,079	1,089	194,67
30.4.1986	GRP-1	82,281	2,439	3,163	12,115	66,099	0,230	0,028	0,147	1,007	-
3.5.1986	GRP-1	82,818	2,536	3,051	11,543	64,32	0,241	0,027	0,139	1,002	-
22.6.1988	Po-1	84,916	0,000	4,871	9,710	16,848	0,386	0,024	0,113	1,084	206,44
22.6.1988	Po-1	84,848	0,000	4,892	9,605	16,757	0,352	0,024	0,112	1,086	205,78
22.3.2011	Po-1	84,030	4,520	5,000	9,96	22,132	0,400	0,030	0,118	1,091	-
13.12.2019	Po-1	85,640	2,320	3,300	8,69	19,510	0,180	0,030	0,100	1,030	171,27

Hodnota pomeru SO₄/M okolo 0,02 – 0,03 vylučuje pôvod síranovej zložky z rozpúšťania čistých sadrovcov, resp. anhydritu – táto zložka vo vode nemá sulfatogénny pôvod (Fláková et al., 2010).

Podľa klasifikácie na základe mineralizácie (Franko et al., 1975) ide o minerálne vody silno mineralizované (od 10 do 35 g.l⁻¹), vysokoteplotné – hypertermálne (od 70 do 100 °C). Vody sú preplynené hlavne CO₂ (217,08 – 781 mg.l⁻¹, tab. 7.4.1) a majú zvýšený obsah síranov (539,5 – 948,0 mg.l⁻¹, tab. 7.4.2). V ich kationovom zložení prevláda Na⁺, potom Ca²⁺, K⁺ a Mg²⁺, v prípade aniónov je postupnosť Cl⁻ → HCO₃⁻ → SO₄²⁻. Z ďalších prvkov je vo zvýšenej miere zastúpené stroncium, z aniónov aj F⁻, Br⁻ a I⁻. Prítomnosť NH₄⁺ je primárneho biogénneho pôvodu, ktorý je charakteristický pre podobné typy geotermálnych vôd a neodráža kontamináciu vôd zo sekundárnych zdrojov.

Počas využívania geotermálnych vôd nebol zaznamenaný výraznejší rozkyv koncentrácií jednotlivých chemických zložiek týchto vôd. K zmenám v koncentráciách Ca²⁺, Mg²⁺ a HCO₃⁻ (tab. 7.4.1, 7.4.2, obr. 7.4.1, 7.4.3) dochádza pravdepodobne tvorbou voľného CO₂ nad bodom evázie plynov vo vrte, vplyvom čoho dochádza k porušeniu „rezervoárovej“ bikarbonátovej rovnováhy a následnému vzniku CaCO₃. Geotermálna voda je presýtená voči kalcitu a výrazne nedosýtená voči dolomitu a sadrovcu.

Môžeme teda konštatovať, že z hľadiska časových zmien chemického zloženia geotermálnych vôd a hydrogeochemických charakterizačných koeficientov v priebehu exploatacie geotermálnej vody z vrtu Po-1 neboli zistené výraznejšie zmeny hodnôt hydrogeochemických parametrov.

Z pohľadu mikrobiologických a biologických ukazovateľov bola geotermálna voda vo vrte Po-1 (analýza z 13. 12. 2019) nezávadná (Príloha 5).

Geotermálne vody na lokalite Podhájka vykazujú tendenciu k tvorbe inkrustu. Pretože vody oboch vrtov Po-1 aj GRP-1 majú vysokú koncentráciu chloridov a síranov, je pravdepodobná aj vysoká chloridová a síranová korózia. Pri koncentrácii Fe^{2+} až do $17,6 \text{ mg.l}^{-1}$ je potrebné počítať aj s tvorbou zákalu z $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Vzhľadom na vysoký obsah solí s ohľadom na tvorbu a ochranu životného prostredia je možné geotermálne vody na lokalite Podhájka využívať v prevažnej miere iba systémom reinjektáže.

Výskyt reliktných morských vôd na lokalite Podhájka nie je na Slovensku ojedinelý. Tieto geotermálne vody sa na Slovensku okrem levickej kryhy vyskytujú napríklad aj vo viedenskej panve, v centrálnej depresii podunajskej panvy, komjatickej depresii, Košickej kotline a v štruktúre Beša-Čičarovce. Geotermálne vody tohto druhu boli vo vyššie uvedených oblastiach overené vrtnými prácami a ich chemické zloženie je známe na základe realizovaných fyzikálno-chemických rozborov.