

Modelování teplotních podmínek v okolí vrtu nemusí být bezpodmínečně nutné pro vlastní funkci tepelného čerpadla. Jeho potřebu by ale vždy měla posoudit osoba, která se v této problematice pohybuje, má v ní zkušenosti a má také samozřejmě znalosti o geologických podmínkách v místě plánovaného vrtu (druhy hornin, přítoky podzemních vod a různá jiná specifika). Z ekonomického hlediska je vhodné věnovat se studiu podmínek lokality, kde má být vrt pro tepelné čerpadlo umístěn, v co největší míře. Může se stát, že vrt bude předdimenzován a náklady na jeho zřízení budou zbytečně vysoké. Nebo zcela opačně, může dojít k poddimenzování soustavy a výkon takového systému bude pracovat s daleko menší efektivitou, což se v důsledku promítne do ekonomiky provozu. Z poznatků, které byly zjištěny modelováním, lze vyvodit optimální délku vrtu, případně počet těchto vrtů, jejich umístění atd.

Závěr

Co se týče praktického využití, je program SVHeat vhodný pro modelování teplotního pole kolem vrtů. Další etapu návrhu vrtu (výpočet topného faktoru, délku vrtu, počet vrtů atd.) je nutno řešit buď jiným softwarem či aplikací, nebo „ručním“ výpočtem. V tomto ohledu je nesporně výhodnější použít software EED 2.0. V některých případech, například pokud bychom měli soustavu vrtů či nějaké atypické pod-

mínky, střety zájmů apod., může být užitečné vidět, jak bude vypadat rozložení teplotního pole po letech provozu tepelného čerpadla či po dosažení statického stavu. Software, který by dokázal stejně dobře jak modelování, tak generování finálních údajů, ze kterých by bylo možno vytvořit návrh vrtu, (který by byl přímo určen k takovému účelu) a byl přitom relativně „uživatelsky přívětivý“, ještě bohužel vyvinut nebyl či je ve fázi vývoje. Je to dáno tím, že zřizování a provoz tepelných čerpadel je záležitostí velmi mladou, jejíž počátek se datuje teprve do devadesátých let minulého století.

Literatura

- CENEK, M. et al. (2001): Obnovitelné zdroje energie. – FCC PUBLIC, Praha, 208 s.
- CLAUSER, CH. – HUYENGES, E. (1995): Thermal Conductivity of Rocks and Minerals. In: AGU Reference Shelf 3 – Handbooks of Physical Constants, 105–127. – Amer. Geophys. Union.
- LUKEŠ, P. (2006): Využití vrtů jako zdroje energie pro tepelná čerpadla. Diplomová práce. – Vys. šk. báňská – Techn. univ. Ostrava.
- MYSLIL, V. – STIBITZ, M. (2000): Geothermal resources of the Czech Republic – general overview. – Proc. World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 337–341.
- RYŠKA, J. et al. (2004): Problematika dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla. – OKD, DPB, a. s., Paskov, 25 s.
- RYŠKA, J. (2006): Zkušenosti s realizací testu teplotní odezvy ve vrtech pro tepelná čerpadla. – Acta Montanistica Slovaca, 11, 1, 149–153.
- THODE, R. – STIANSON, J. (2004): 2D/3D Geothermal Modeling Software Tutorial Manual, SoilVision Systems Ltd. – Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 60 s.

PRVNÍ HLUBINNÝ GEOTERMÁLNÍ VRT V ČESKÉM MASIVU

The first deep geothermal borehole in the Bohemian Massif

VLASTIMIL MYSLIL¹ – JIŘÍ BURDA² – JIŘINA ČTYROKÁ³ – JANA DRÁBKOVÁ² – KAREL POŠMOURNÝ⁴ – ZDENĚK TÁBORSKÝ² – VLADIMÍR ŽÁČEK²

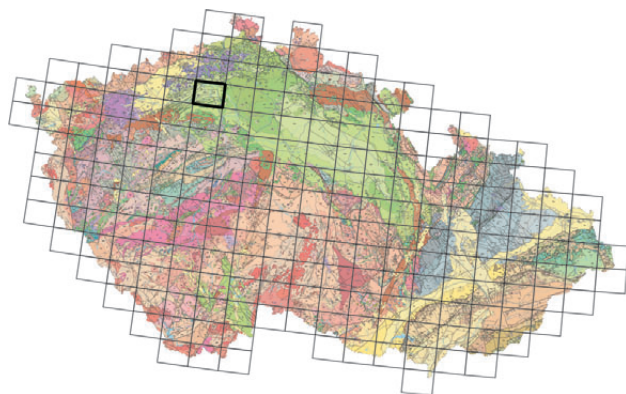
¹ Hlavní tř. 78, 141 00 Praha 4

² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

³ Na Julisce 5, 160 00 Praha 6

⁴ Na Malém klínu 20, 182 00 Praha 8

(02-43 Litoměřice)



Key words: geothermic, geology, heat flow, petrology, mineralogy, paleontology, stratigraphy, Litoměřice region

Abstract: Exploratory well PVGT-LT 1 was drilled in the North Bohemian town Litoměřice during 2006–2007 period. The well reached the depth 2110 m. The main task of the exploratory well was to study the thermal potential of the geothermally promising tectonic structure of the Ohře rift. A temperature of 63.5 °C and heat flow of 85 mW.m⁻² have been detected at the base of the PVGT-LT 1 well. The sedimentary complexes of Quaternary, Upper Cretaceous and Permo-Carboniferous age were penetrated first, the Teplice rhyolite massif (ignimbrite) and the metamorphic rocks of the Teplá-Barrandien unit later on. The results of the exploratory well PVGT-LT 1 represent promising conditions for the future technical activities on the geothermal power-plant.

Zájem o využívání zemského tepla souvisí především se snahami omezit emise škodlivých a skleníkových plynů. Jde o energii čistou a ekologickou a její využívání neprovázají žádné nepříznivé důsledky jako třeba u spalování jakýchkoli paliv. Podnětem k zvýšenému zájmu o geoter-

mální energii bylo i několik stadií ropné krize v druhé polovině 20. století a rovněž obavy o vyčerpání klasických energetických zdrojů.

Z uvedených důvodů navrhlo Ministerstvo průmyslu a obchodu program Trvalá prosperita, v jehož rámci byl v letech 2006–2007 firmou Geomedia, s. r. o., ve spolupráci s dalšími řešiteli předložen a realizován projekt výzkumu a vývoje (VaV MPO 0803 ev. č. 2A-1TP1/043), který se zabýval možnostmi geotermického využití litoměřické struktury. Tato struktura byla vytipována jako velmi vhodná na základě studií geotermálních poměrů Českého masivu na území naší republiky.

Úkol byl rozdělen na následující časové a věcné etapy:

rok 2006

- zhodnocení geotermální struktury Litoměřice
- zpracování geologického a technického projektu vrtu PVGT-LT 1
- zahájení hloubení průzkumného geotermálního vrtu
- sledování a vyhodnocování vrtného postupu a karotážních měření;

rok 2007

- dokončení vrtných prací (předpokládaná hloubka vrtu 2000–2500 m)
- odběr vzorků hornin, vody a plynů
- laboratorní zpracování odebraných vzorků
- karotážní měření, speciálně termokarotáže
- vystrojení vrtu pro další sledování a monitoring
- vyhodnocení realizovaných vrtných prací, hloubková extrapolace
- zpracování ideového projektu provozních vrtů do hloubky 5 km pro budoucí geotermální elektrárnu.

Hlavním cílem úkolu VaV bylo realizování středně hlubokého vrtu v litoměřické geotermální struktuře, a to přímo ve městě Litoměřice. Provedení vrtu mělo umožnit:

- získat nové hodnoty teplotního pole do hloubky cca 2000–2500 m,
- odběr a analýzu vzorků hornin krystalinika z podloží pokryvných útvarů křídového a permokarbonského stáří v pokračování oherského riftu,
- prověřit rychlosti vrtání a podmínky hloubení geotermálního vrtu v daných horninových, tlakových a teplotních poměrech,
- získat nové lokální hodnoty tepelné vodivosti hornin i tepelného toku pro detailní modelové řešení,
- získat podklady pro optimalizaci nutných podkladů a prací pro budoucí další lokality využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie a tepla.

Geologické poměry

Širší okolí městské aglomerace Litoměřic je v z. části české křídové sedimentární pánve. Křídové horniny v tomto úseku pánve jsou převážně mírně ukloněné k severu, jako celé jihozápadní křídlo. V této části křídové pánve jsou zachovány sedimenty turonu (pískovce, slínovce a opuky) a cenomanu (méně zpevněné kaolinické pískovce a jílovce). Jak sedimenty turonského stáří, tak hlavně sedimenty cenomanského souvrství jsou zvodnělé. V sever-

ním okolí Litoměřic je v turonských a cenomanských uloženinách vytvořena tlaková zvodeň s podzemní vodou prohřátou až na cca 30 °C.

Druhohorní sedimentární formace jsou uloženy na pánevních sedimentech permokarbonského stáří. Tyto sedimentární struktury jsou charakteristické střídáním pískovců, jílovců a slepenců, jen v některých vrstvách karbonu jsou polohy uhelných lupků až slují. Horniny permokarbonských pánevních struktur jsou většinou vodními a teplotními izolátory, což ovlivňuje poměrně rychlé zvyšování teplotního gradientu.

Podloží sedimentárních formací – krystalinikum tvořené převážně metamorfovanými horninami – je začleňováno k teplesko-barrandienské oblasti, která se stýká na SZ s oblastí krušnohorskou. Na rozhraní uvedených dvou jednotek se nalézá oherský rift. Vymezují ho dva okrajové (hlavní) riftové zlomy – krušnohorský na SZ a litoměřický při jv. okraji prolomu; oba mají sv.-jz., tj. krušnohorský směr. Podle řady autorů má litoměřický zlom hlubinný dosah až do svrchní části zemského pláště a odděluje krystalinikum Krušných hor a Slavkovského lesa od bloku teplesko-barrandienského. Důležité jsou zde nejenom jeho hlubinné projevy, ale i morfologicky sledovatelné tvary dnešního povrchu území, hlavně na jeho sz. omezení. Je zřejmé zásadního významu i z hlediska geotermální energie, tj. proudění zemského tepla. V práci KOPECKÉHO (1978), v novějších pak ZIEGLERA (1990, 1994), SENGÖRA (1995), ULRYCHA et al. (1998) a dalších je oherský rift charakterizován jako území se zvýšenou vulkanickou aktivitou, která kulminovala ve středním oligocénu až spodním miocénu (cca 32–24 mil. let). Toto území má charakter asymetrického příkopu s dobře vymezeným zlomovým svahem na SZ a morfologicky téměř nezřetelným omezením na JV. Z pohledu geologického je shodný s dalšími riftovými strukturami evropského kenozoického riftového systému, především z hlediska časového zařazení magmatické aktivity a přítomnosti dvou geochemicky odlišných sérií vulkanických produktů, které jsou považovány za preriftové a riftové stadium vývoje.

Tektonická a magmatická aktivita v oherském riftu se v průběhu geologického vývoje posouvala od SV k JZ, kde končila vulkanismem, recentními vertikálními pohyby, zvýšeným tepelným tokem a úniky CO₂ v sokolovské a chebské terciérní pánvi.

Na litoměřickém zlomu končí výrazné tíhové minimum krušnohorské oblasti. Stará i neoidní geologická mobilita geologických pochodů podél litoměřického zlomu svědčí o jeho hlubinném dosahu.

Zhodnocení průzkumného geotermálního vrtu PVGT-LT 1

Průzkumný geotermální vrt PVGT-LT 1 umožnil kromě svého hlavního poslání – prověření geotermických poměrů území pro budoucí vybudování geotermální elektrárny v Litoměřicích – i řadu pozorování, důležitých pro poznání geologických a mineralogických poměrů tohoto území. Dále uvádíme ty, které pokládáme za nejvýznamnější.

Zjednodušený stratigrafický profil vrtu:

hloubka (m)	geologická charakteristika
0–15	navážka
15–25	kvartér – pleistocén
25–90	svrchní křída – střední turon
90–165	svrchní křída – spodní turon
165–190	svrchní křída – cenoman
190–460	permokarbon – svrchní červené (líňské) souvrství
460–500	svrchní karbon – svrchní šedé (slánské) souvrství
500–600	svrchní karbon – spodní červené (týnecké) souvrství
600–780	svrchní karbon – spodní šedé (kladenské) souvrství
780–900	teplický ryolit – ignimbrit (báze svrchního karbonu?)
900–2110	svor až fylit (svrchní proterozoikum?), bez známek kontaktní metamorfózy, tzn. že minimálně 100 m hlouběji není vyvřelina.

Stratigrafický příspěvek

Zajímavé poznání přinesl palynologický výzkum neuhelných vzorků permokarbonských hornin, zastížených vrtem, který provedla J. Drábková. Regionálně jsou zdejší permokarbonské usazeniny součástí mšensko-roudnické pánve. Podle palynologického rozboru jsou na bázi celé sedimentární série horniny karbonského stáří. Palynologie rovněž ukázala, že v období stephanu koexistovala již současně se stephanskou flórou na sušších stanovištích flóra permského charakteru. Z okolních vrtů (Br-1 Be-1, Lib-1, Str-1 a MT-1) ani z ostatních karbonských pánví Českého masivu není tento jev popisován, protože byly zkoumány především uhelné vzorky a jejich ekvivalenty a suchomilnější prvky permského charakteru v nich byly nalezeny jen ojediněle. Stejný trend koexistence flóry permského charakteru ve stephanu a stephanské flóry v permu byl zjištěn např. ve francouzských permokarbonských pánvích.

Doplňující poznání teplického ryolitu – ignimbritu

Zjištění ignimbritové horniny – teplického ryolitu, která je analogická vzdálenější altenbersko-teplické kaldeře, ukazuje na strukturální komplikovanost místa vrtu, zvláště vezmeme-li v úvahu představu o časové etapovitosti této svrchnopaleozoické vulkanogenní struktury během vývoje teplicko-altenberské kaldery, včetně ukládání pyroklastických proudů v okolí a její závěrečný kolaps. Nedořešené zůstává vysvětlení zjištěného výskytu teplického ryolitu v hloubce litoměřické struktury, popř. spojení tohoto výskytu s obdobnými horninami v Opárenském údolí a na Teplicku v rozdílných výškových úrovních.

Petrografická charakteristika metamorfik

Metamorfované sedimenty vystupují od cca 900 m až do konečné hloubky vrtu 2110 m. Jsou považovány za součást

krystalinika tepelsko-barrandienské oblasti neboli bohemika. Při petrografickém studiu zjistil V. Žáček převažující svory s granátem a kyanitem, místy se sillimanitem a staurolitem, přecházející až do fylitů. Předpokládá se, že zkoumané horniny vznikly v metamorfních podmínkách od horní hranice facie zelených břidlic až do spodní části facie amfibolitové.

Byly zde zastíženy i horniny výrazně hydrotermálně alterované, většinou argilitizované, ale i silicifikované. Typickým minerálem alterací je illit. Alterace tvoří místy zóny, složené zejména z karbonátů, illitu a sulfidů železa, které protínají horninové komplexy metamorfik.

Sulfidy a izotopické složení síry

Ve vrtu PVGT-LT 1 byl v hloubce 1835 m zjištěn kromě pyritu i pyrhotin, jehož vznik vyžaduje teploty vyšší než 50 °C. Rozklad pyrhotinu při interakci s čerpanou vodou do vrtu bude proto vzhledem k podmínkám jeho vzniku pravděpodobně rychlejší než u pyritu a může tak být důvodem pozorovaného velkého množství sraženin Fe-oxidů a Fe-hydroxidů z vody vyčerpané na povrch.

Izotopické složení síry obou sulfidů ($\delta^{34}\text{S}$ –11,01 pyrit $\delta^{34}\text{S}$ –9,77 pyrhotin) je ve shodě s údaji, že bohemikum, kam je řazeno i studované území, je velkým rezervoárem sulfidické síry s negativními hodnotami $\delta^{34}\text{S}$; tato skutečnost je interpretována jako důsledek vzniku sulfidů bakteriální redukcí mořského sulfátu ve svrchním proterozoiku.

Impregnace pyritu a pyrhotinu v drcené zóně svorů až fylitů nasvědčuje existenci hydrotermálního procesu a má tedy význam i z hlediska regionální metalogeneze celého území.

Monazit

Velmi zajímavé je zjištění poměrně hojně zastoupeného akcesorického monazitu, fosforečnanu s obsahem ceru (Ce) a dalších prvků vzácných zemin (Nb, Y) ve zdejších metamorfitech. Byl zjištěn mineralogickým výzkumem pomocí elektronové mikrosondy v nejhlubších částech vrtu PVGT-LT 1. Vzhledem k charakteru zkoumaného materiálu, což byla horninová drť, nelze se k jeho spojení s určitými horninami blíže vyjadřovat. Je známo, že monazit kromě zastoupení v pegmatitech (což zde nepochybně není) bývá přítomen jako akcesorie při pozdně magmatické až pomagmatické albitizaci některých žul vulkanicko-plutonických komplexů (zde připadá v úvahu altenbersko-teplická kaldera?) nebo jako minerál ze žil alpské parageneze nebo greisenů, popř. jako akcesorie v různých typech rulových hornin a ftanitů.

Důležité výsledky z hlediska geotermiky

Nejdůležitější poznatky přinesl vrt z hlediska využití geotermální energie. Jsou to zejména:

Teplotní poměry vypočtené podle termometrických záznamů z okolních vrtů byly potvrzeny i na vrtu PVGT-LT 1. V hloubce 2110 m byla ověřena dříve výpočtem indikovaná teplota 63,5 °C. Struktura je v metamorfních horninách

proteplená a teplotní gradient $G_t = 33,4 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$ je vyšší než průměrná hodnota na Zemi.

Termometrie vrtu prokazuje postupné zvyšování přírůstků tepla s hloubkou. Přírůstky můžeme rozdělit na dva samostatné úseky, a to 0–900 m a 900–2100 m, s odlišnými regresními polynomickými rovnicemi. Extrapolováním těchto rovnic dostáváme v hloubce 5 km teplotu v rozmezí 178–207,5 °C. Toto rozmezí vypočtených teplot je velmi příznivé pro využití zemského tepla.

Poslední teplotně měřený úsek 2000–2100 m vykazuje náhlé zvýšení teplotního gradientu, což indikuje zvýšený výstup zemského tepla po poruchové zóně hlubšího dosahu v zemské kůře, popř. indikuje i blízkost hornin s vyšší tepelnou vodivostí nebo bližší teplotní centrum v hloubce desítek kilometrů pod povrchem s teplotou až cca 800–900 °C.

Petrografický rozbor a chemické složení minerálů, jak již bylo uvedeno, ukazuje na hydrotermální alteraci hornin v určitých partiích zastížených vrtem. Tato alterace může mít souvislosti s neoidním vulkanismem, nelze však vyloučit i vliv starších hydrotermálních přeměn. Vrt je vzdálen jen několik kilometrů od hlavní skupiny vulkanitů Českého středohoří, kde je možné předpokládat v dřívější časové etapě i oběh horkých fluid.

Celá oblast s novým vrtem PVGT-LT 1 je v režimu proteplení hydrotermálními fluidy jako výsledek kombinace hydraulického efektu proudění podzemních vod z krušnohorské infiltrační oblasti, prohrátí v oblasti riftové zóny a interakce s neoidními vulkanity a jejich pyroklastiky. Minerogenetický výzkum zdejších rudních akumulací olova, zinku, uranu, železa, zirkonu a titanu, jakož i akumulací nerudných minerálů – fluoritu, barytu, nerostů fosforu a křemene – ukazuje na cirkulaci fluid probíhající v minulých geologických údobích, popř. až do recentu.

Původní předpoklad, že vrt zastihne tektonickou zónu, ve které by mohla proudit podzemní voda nebo plyn (např.

metan z permokarbonu), případně termální voda (na základě analogie s výskytem termální vody v rulle v podloží severočeské hnědouhelné pánve), se zcela nepotvrdil. V podloží sedimentů však byly v puklinách a drcených pásmech zaznamenány jen velmi omezené pohyby silně mineralizovaných vod sulfatického typu. Lze tedy konstatovat, že jak ignimbrit, tak podložní krystalinikum i celé tektonické pásmo, kterým vrt prochází, jsou prakticky bez vody, a tedy bez hydraulické komunikace s povrchem, popř. s nadložními kolektory křídly.

Vrt PVGT-LT 1 potvrdil, že výběr lokality byl správný, protože zastihl silně drcenou tektonickou zónu v širokém pásmu styku dvou základních geologických jednotek Českého masivu při jv. okraji oherského riftu. Podle nově přehodnocených geofyzikálních měření (gravimetrie a magnetometrie) je velmi reálný předpoklad výskytu magmatického tělesa v hloubce plánovaného využívání geotermální energie, což je jeden z příznivých faktorů pro vybudování podzemního puklinového výměníku tepla.

Literatura

- KOPECKÝ, L. (1978): Neoidic taphrogenic evolution and young alkaline volcanism of the Bohemian Massif. – Sbor. geol. Věd, Geol., 31, 91–107.
- MYSLIL, V. et al. (2007): Závěrečná zpráva o řešení projektu v programu Trvalá prosperita MPO. – MS Min. průmyslu a obchodu. Praha.
- SENGÖR, A. M. C. (1995): Sedimentation and tectonics of fossil rift. In: BUSBY, C. J. – INGERSOLL, R. V.: Tectonics of sedimentary basin. – Blackwell Science, 53–117, Oxford.
- ULRYCH, J. – CAJZ, V. – ADAMOVIČ, J. (1998): Magmatism and Rift Basin Evolution, Excursion Guide and Abstracts (IGCP Project 369, Final Session, Liblice, September 7–11, 1998). – Czech Geol. Surv., 97 str.
- ZIEGLER, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. – Shell Internationale Petroleum Maatschappij, The Hague, 239.
- ZIEGLER, P. A. (1994): Cenozoic rift systém of Western and Central Europe: an overview. – Geol. Mijnbouw, 73, 99–127.