

APLIKACE POČÍTAČOVÉHO MODELOVÁNÍ PŘI VYUŽÍVÁNÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

Use of computer modeling in geothermal energy utilization

PETR LUKEŠ

Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

Key words: Geothermal energy, heat pumps, modeling software

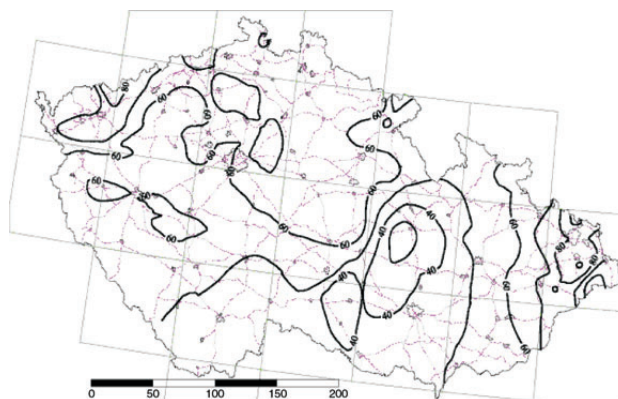
Abstract: The balanced utilization of all existing power sources is a general idea of energy policy, at present. According to the prices of energy, which grow up rapidly, utilization of the Earth temperature as power source for heat pumps seems to be very attractive. Computer modeling of rock temperature is a very important part of the heat pump projects. Before drilling of the boreholes, especially in big heat pump systems, computer modeling should be used. Two softwares, which were analyzed, have been chosen as promising means for these purposes. Results are summarized in this article.

Trendem v energetické politice posledních let je prosazování vyrovnaného zastoupení všech energetických zdrojů. Jejich role je přímo závislá na hodnocení jak z hlediska trvale udržitelného rozvoje, tak z hlediska ekonomických ukazatelů. Kromě primárních zdrojů (fosilních paliv, tj. klasické elektrárny, a uranu) to platí i pro tzv. alternativní zdroje. Tímto pojmem označujeme zdroje nebo energii, která vzniká jinak než spalováním fosilních paliv či štěpením jaderného paliva (CENEK et al. 2001). Mezi ty pak můžeme zařadit zdroje obnovitelné, tedy zdroje, které jsou obnovitelné přírodními procesy. Je nutno zmínit, že někteří autoři tak označují i některé primární zdroje; např. karbonský metan či bionafta jsou často označovány jako zdroje alternativní, byť jde o fosilní paliva (u bionafty jen částečně), nejsou ovšem již zdroji obnovitelnými. Obnovitelné zdroje jsou tedy brány jako jakási podmnožina zdrojů alternativních. Česká republika kryje obnovitelnými zdroji zatím asi jen 2 % energetické bilance. V měřítku existence lidstva a jeho potřeb lze obnovitelnými zdroji chápat nevyčerpatelné formy energie Slunce a Země (a také Měsíce). Můžeme říci, že obnovitelné zdroje energie mají svůj původ z největší části v jaderných přeměnách v nitru Slunce. Těmito reakcemi se přeměňuje sluneční vodík (který obnovován není) na helium za uvolnění velkého množství energie. Ze Slunce je energie předávána na Zemi ve formě záření. Energetický příkon ze Slunce je ve vzdálenosti, v níž se nachází Země, přibližně $1300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Ne všechny obnovitelné energie, jak již bylo zmíněno, mají svůj původ ve Slunci. V menší míře je tu zastoupeno slapové působení Měsíce, které je příčinou přílivu a odlivu moří a oceánů. Dalším obnovitelným zdrojem energie, jejíž původ není ve slunečním záření, je energie z jaderných reakcí v nitru Země, tedy geotermální energie. Zde je však nutno poznamenat, že zejména ve svrchních partiích zemské kůry se na této energii kromě tepla z nitra Země částečně podílí také sluneční záření. Společně s rostoucími cenami energie pocházející z primárních zdrojů nabývá využívání tohoto druhu energie stále většího významu. Stále větší oblibu si v souladu s tímto trendem získává i využívání geotermální energie tepelnými čerpadly.

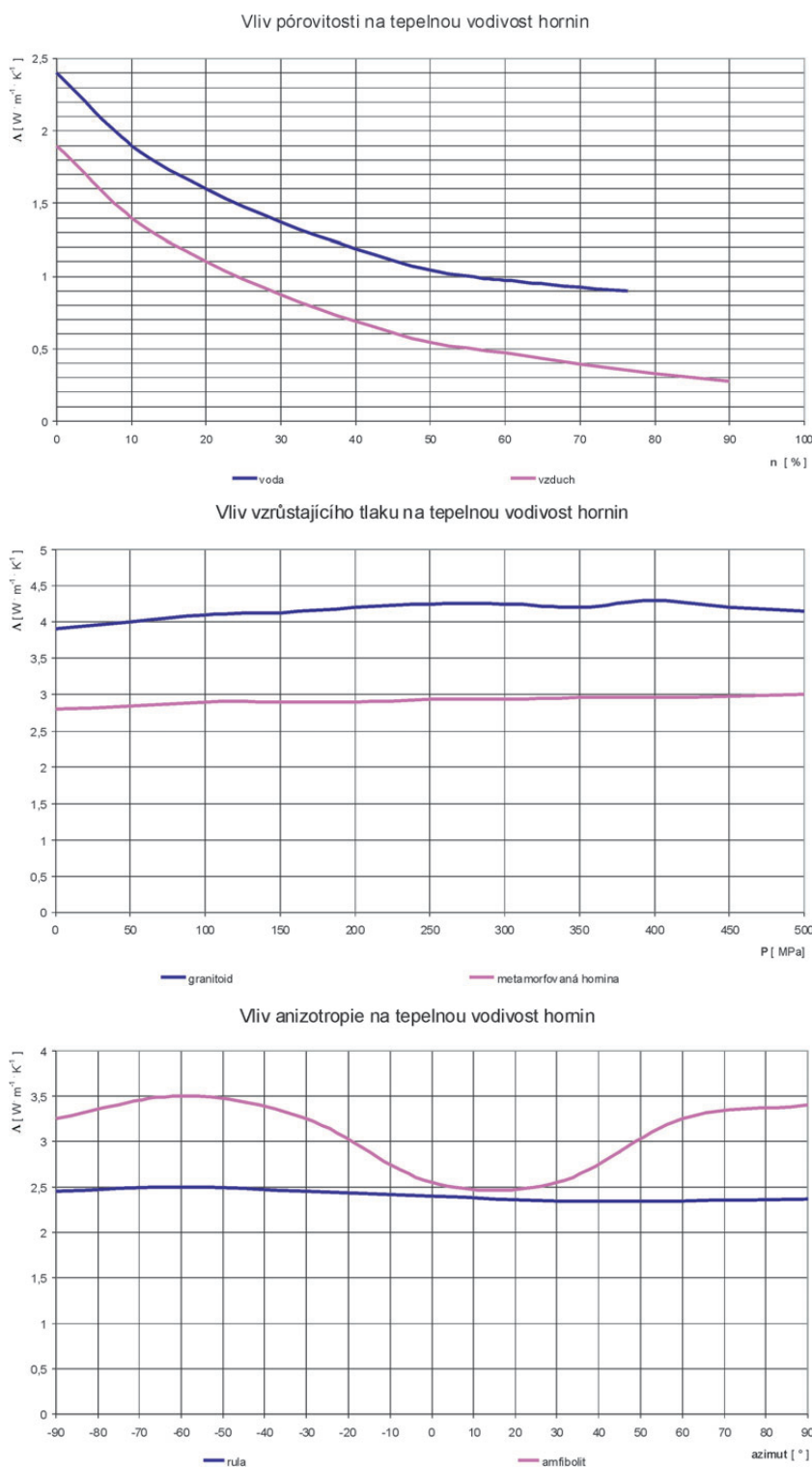
Geotermální energie je chápána jako tepelná energie Země. Ve svrchních částech zemské kůry, které jsou dostupné lidské činnosti, se pak ve větší či menší míře přidává ještě naakumulovaná energie Slunce. Geotermální energie má tedy původ jak endogenní, tak exogenní. Jde o čistý a levný zdroj energie. Pro výrobu elektrické energie má pouze místní význam, a to v oblastech, které jsou většinou spjaty se sopečnou aktivitou (např. Itálie, Island, Japonsko, USA). Stále větší oblibu si geotermální energie získává pro účely vytápění formou tzv. tepelných čerpadel. V tabulce 1 je uveden počet instalovaných tepelných čerpadel v posledních letech, kde je jasně vidět u některých států poměrně rychlý nárůst počtu instalací těchto

Tabulka 1. Počet instalovaných tepelných čerpadel ve vybraných státech Evropy podle RYŠKY (2006)

rok země	2003	2004	2005	nárůst oproti r. 2004 (%)
Rakousko	3 780	5 129	6 100	19
Německo	15 838	19 636	25 486	30
Švédsko	68 100	100 215	101 350	1
Švýcarsko	8 695	9 796	12 008	23
Finsko	8 540	12 648	22 307	76
Francie	13 700	17 300	25 200	46
Norsko	55 081	35 390	40 000	13
Estonsko	510	750	1 095	46
Irsko	1 300	1 800	2 300	28
Holandsko	1 557	1 800	1 891	5
Česko	1 200	2 400	4 000	67



Obr. 1. Mapa tepelného toku q [$\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$] v ČR. Nejvyšších hodnot tepelný tok dosahuje v západních Čechách a na Ostravsku (hodnoty nad $80 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$), nejnižší hodnoty jsou v oblasti Českomoravské vysočiny (méně než $40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$); podle MYSLILA a STIBITZE 2000.



Obr. 2. Závislost tepelné vodivosti na pórovitosti, tlaku a anizotropii hornin (podle CLAUSERA a HUYENGESE 1995).

zařízení. Tepelná čerpadla využívají tzv. mělkou geotermální energii, jinak také nízkopotenciální. Ta z větší části pochází ze slunečního záření, z menší části pak z vnitřních zemských zdrojů (radioaktivní rozpad atd.). Pokud je původ geotermální energie prokazatelně endogenní (zpravidla v hlubších partiích zemské kůry), označujeme ji naopak jako vysokopotenciální.

Zdroje energie a její využití

Oba dva zmiňované druhy energie vznikají přeměnou radioaktivních prvků – zejména ^{235}U , ^{238}U , ^{40}K a ^{232}Th – v zemské kůře. Energie nízkopotenciální je značně ovlivněna tepelným zářením Slunce. Není zatím zcela jasné, do jaké míry je teplota horninového prostředí ovlivněna tímto zdrojem. Názory na tuto problematiku se liší. Podle některých autorů (RYŠKA et al. 2004) podíl slunečního záření na akumulaci tepla v horninách činí dokonce 97–98 %, zbytek připadá na vnitřní zdroje Země. Lze předpokládat, že v oblastech zvýšené sopečné a tektonické aktivity, resp. v horninách se zvýšeným obsahem radioaktivních prvků, se procentuální podíl vnitřních zdrojů o jednotky procent zvýší.

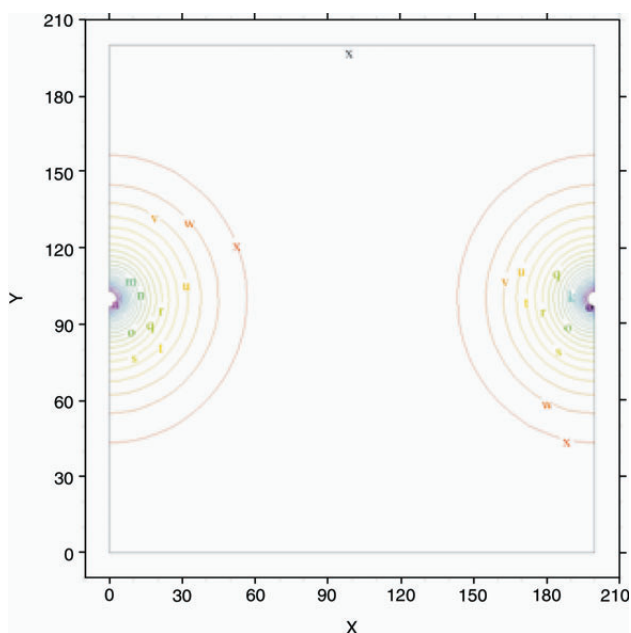
V podmínkách České republiky (obr. 1) můžeme uvažovat, až na výjimky ve formě různých anomálií, pouze s využitím nízkopotenciální energie.

Nízkopotenciální geotermální energie, resp. teplo, které ze Země tepelné čerpadlo odebírá, je přenášeno na povrch zejména třemi mechanismy: sáláním, prouděním a vedením. V litosféře je z těchto tří mechanismů dominující vedení. Nicméně, jsou tu dvě výjimky (CLAUSER – HUYENGESE 1995):

- Pokud je hydraulická propustnost hornin dostatečně velká, proudění může být stejně nebo dokonce i více účinný mechanismus pro přenos tepla, což je častý případ např. v sedimentárních pánvích. V horninách krystalických může k tomu docházet také, pokud jsou silně tektonicky porušeny.

- Při teplotě okolí nad $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ začíná sálání tepla značně přispívat k celkovému přenosu tepla ve zcela polykrystalických materiálech. Velký význam má při teplotách nad $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. V monokrystalických materiálech a sklu (např. obsidiánu) se ale složka sálání stává významnou již při $200\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tepelná čerpadla, jakožto zařízení odebírající teplo z okolního prostředí, se rozlišují podle toho, odkud je teplo čerpáno. Známe tak systémy země–voda, voda–voda (též studna–studna), vzduch–voda. Méně rozšířené jsou i systémy, které využívají tepla odpadního vzduchu atp. Z hlediska efektivity jsou nevhodnější systémy voda–voda, i když často narážíme na překážky jako nedostatečný přítok (l/s) a fakt, že médium (voda), ze kterého se teplo odebírá, má korozivní vlastnosti a navíc často chemické složení,



Obr. 3. Ukázka z výstupu programu SVHeat. Obrázek znázorňuje horizontální řez dvou svislých vrtů ve stanovené hloubce pod povrchem a jeho izotermy za určitý čas provozu tepelného čerpadla.

kteří samo o sobě podněcuje korozi a zkracuje tak životnost zařízení. Pro běžné potřeby, např. vytápění rodinného domu, se proto nečastěji používá systém země–voda. Forma zemní smyčky (plošný kolektor v nevelké hloubce pod povrchem) má nevýhodu v potřebě velké plochy pozemku, navíc využití tohoto pozemku je potom omezené např. pro zemědělské využití, stromy apod. Proto je a i v budoucnu bude nejoblíbenějším způsobem získávání geotermálního tepla z vrtu nebo ze soustavy vrtů.

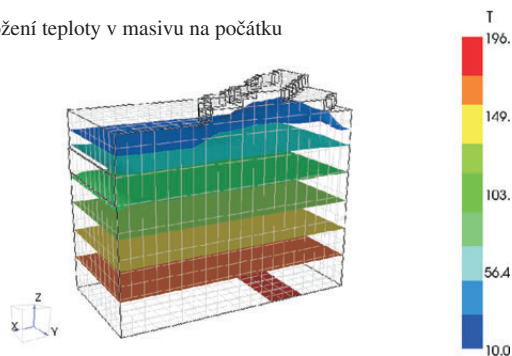
Před realizací vrtu nebo soustavy vrtů pro tepelné čerpadlo je třeba jej nejprve navrhnut a nadimenzovat, jelikož horninové prostředí, kde máme zájem vrty umístit, je zpravidla místo od místa odlišné. Jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska technického je proto dimenzování naprosto nezbytné. Návrh vrtu pro tepelné čerpadlo by se měl opírat o empirii, hlavně pak ale o vytvoření modelu prostředí a modelování teplotních změn v čase pro danou lokalitu. Z těchto poznatků teprve je možné určit, jak hluboký by měl vrt být, případně počet vrtů atd. Z tohoto důvodu byla vyvinuta celá řada modelovacích softwarů. Tento software byl zhodnocen v rámci diplomové práce (LUKEŠ 2006).

Výsledky

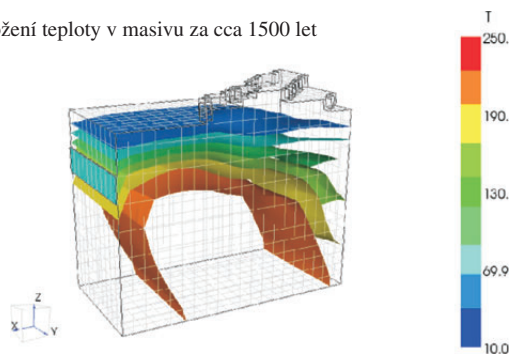
Pro porovnání byly vybrány dva softwary (SVHeat kanadské firmy SoilVision Systéme Ltd. a PetraSim americké firmy Thunderhead Engineering), které se jeví jako nejvhodnější pro účely modelování šíření tepla v horninovém masivu (a byla možnost je vyzkoušet), a dále bylo provedeno stručné zhodnocení ostatního softwaru, který je dostupný na trhu a je možné ho použít pro účely modelování.

Pro modelování teplotních podmínek v okolí vrtů pro tepelná čerpadla se jeví nejvýhodnější SVHeat. Výstupy z něj se dají snadno udělat v požadovaném měřítku v řezu,

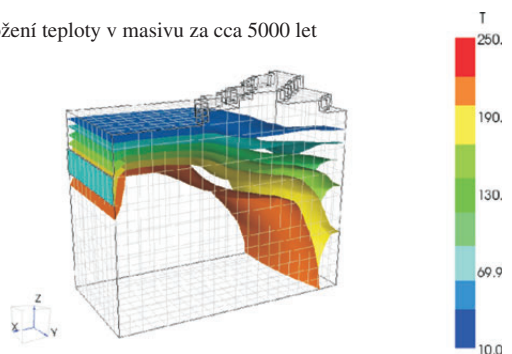
Rozložení teploty v masivu na počátku



Rozložení teploty v masivu za cca 1500 let



Rozložení teploty v masivu za cca 5000 let



Obr. 4. Znázornění rozložení tepla v masivu v průběhu let, staletí a tisíciletí (výstup z programu PetraSim).

kde jsou vidět jednotlivé izoliny o stejné teplotě, což je pro tento účel podstatné. Pro vědecké účely je naopak vhodnější program PetraSim. Ten je ovšem daleko složitější a jeho řádné zvládnutí je daleko obtížnější, také je vhodný spíše pro velká měřítka (řádově kilometrů). Dá nám prostorovou představu o teplotních podmínkách v horninovém masivu. V podmínkách Česka, kde je možné počítat s využitím geotermální energie v její nízkopotenciální formě, se zdá být dostačující SVHeat. Je tu většinou homogenní prostředí, tj. prostředí, kde nebývají větší rozdíly ve fyzikálních vlastnostech horniny po celé délce vrtů, které jsou zpravidla do 150 m hluboké, jsou dostatečně blízko sebe a teplota se zvyšuje jen ve vertikálním směru, tj. se vzrůstající hloubkou. V horizontálním směru se teplota hornin mění jen vlivem chodu tepelného čerpadla, což není problém v programu zohlednit. Vize využití programu PetraSim je spíše u projektování hlubkových geotermálních vrtů a tam, kde se počítá s využíváním vysokopotenciální geotermální energie. Tam se již nehomogenita prostředí (různé typy hornin, tektonika apod.) zpravidla projeví.

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

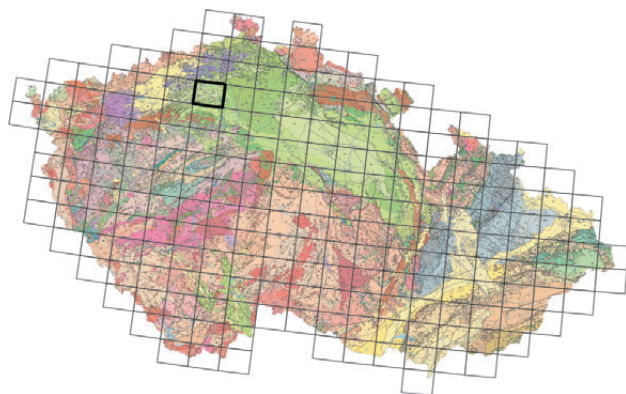
¹ Hlavní tř. 78, 141 00 Praha 4

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 neprovádějí žádné nepříznivé důsledky jako třeba u spalování jakýchkoli paliv. Podnětem k zvýšenému zájmu o geoter-