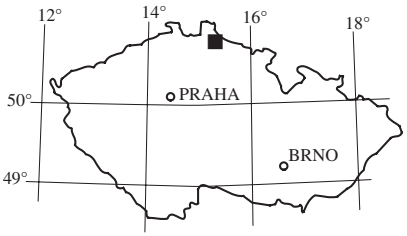
GEOTERMÁLNÍ POLE V ZÁPADNÍ ČÁSTI KRKONOŠSKO-JIZERSKÉHO MASIVU – FIKCE NEBO REALITA?

Geothermal field in the western past of the Krkonoše-Jizera granite massif – fiction or reality?

JOSEF KLOMÍNSKÝ

Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

(03-14 Liberec)



Key words: Krkonoše-Jizera granite massif, geothermal energy, heat production, thermal waters

Abstract: Jelenia Góra–Cieplice geothermal region shows a high potential for geothermal energy within the the eastern part of the Krkonoše-Jizera granite massif. Another geothermal field can be expected in the Liberec basin in western section of the same granite massif, where shallow carbonated mineral water source with increased temperature (Vratislavice spring of 13.5 °C) is located in the similar geological and tectonic environment.

Na území Jizerských hor a Krkonoš jsou již z historických dob známy výrony minerálních i termálních pramenů. Jejich výskyt se nachází v prostoru krkonošsko-jizerského masivu a v jeho periferii. Patří sem kyselky a radonové vody např. Lázně Libverda, Vratislavice, Bílý Potok, Świeradów Zdrój a Czerniawa Zdrój), ale i termální prameny v Janských Lázních s teplotou vody ca 29 °C a především Cieplice Śląskie Zdrój u Jelení Góry. V těchto lázních termální voda na povrchu dosahuje teploty 44 °C při vydatnosti všech pramenů 5 m^3/h. Vrty z období 1971–1997 do hloubky 2000 m prokázaly v polské části krkonošsko-jizerského masivu přítomnost značného množství horké vody dosahující teploty téměř 100 °C. Indikátorem přítomnosti termální vody je též relativně vysoký geotermální gradient (79 μW/m^2) v prostoru krkonošsko-jizerského masivu (DOWGIAŁŁO 2002). Perspektiva podobných zdrojů geotermální energie může mít tak reálný základ i v jiné části tohoto granitového masivu. Takovým územím může být liberecká kotlina s relevantní geologicko-strukturní konfigurací jako je terén v okolí Jelení Góry. J. Dowgiałło již v roce 1976 vymezil celou plochu krkonošsko-jizerského masivu včetně jeho periferie za prognózní území k vyhledávání slabě mineralizovaných termálních vod. Většinu údajů a citací k tomuto tématu uvádí DOWGIAŁŁO (1976, 1985, 2000, 2002).

Geologie a geomorfologie krkonošsko-jizerského masivu

Krkonošsko-jizerský granitový masiv je největším intruzivním tělesem svrchnokarbonského stáří v prostoru lugika při severní hranici České republiky a Polska. Na dnešním povrchu zaujímá plochu přesahující 1000 km^2. Litologicky jej tvoří pět hlavních typů granitů. Největší plochu zaujímají granity jizerského a libereckého typu (obr. 1A). Hrubozrnný biotitický porfyrický liberecký granit je rozšířen jak v Jelenogorské, tak i v Liberecké kotlině. Směrem do hornaté části krkonošsko-jizerského masivu přechází do výrazně porfyrického granitu jizerského typu. Menší území zabírají mladší tělesa středně zrnitého granitu harrachovského typu a drobnozrnného typu Šišák v Krkonoších. Jedním z nejstarších je tanvaldský alkalicko-živcový granit při jižním okraji krkonošsko-jizerského masivu.

Povrch krkonošsko-jizerského masivu je charakteristický dvěma zcela kontrastními geomorfologickými celky. Morfologicky pozitivní klenbovitou částí masivu je jádro Jizerských hor a hlavní hřeben Krkonoš, zatímco rozsáhlá deprese pánvovitého tvaru tvoří jelenogorskou kotlinu v sv. části masivu a libereckou kotlinu v jeho západní části (obr. 1C). Maximální rozdíly nadmořských výšek povrchu krkonošsko-jizerského masivu dosahují ca 1300 m (vrchol Sněžky 1602 m n. m., Jelenia Góra ca 350 m n. m. a Liberec 340 m n. m).

Jak Jelenogorská, tak i Liberecká kotlina leží v blízkosti významných regionálních zlomů, které krkonošsko-jizerský masiv na Z i V tektonicky omezují (obr. 1B). Na východě je to vnitrosudetský zlom a na západě zlom šimonovicko-machnínský, patřící k roji lužického tektonického pásma sudetského směru. Liberecká kotlina má tak charakter příkopové propadliny, jejíž vznik sahá přinejmenším do terciéru (KLOMÍNSKÝ et al. 2004).

V obou pánevních strukturách se hromadí povrchové vody v říční síti, která drenuje elevace krkonošsko-jizerského masivu. Retence povrchových vod v nejnižších nivó krkonošsko-jizerského masivu usnadňuje jejich pronikání do zlomových struktur v podloží uvedených pánevních struktur.

Tektonická síť krkonošsko-jizerského masivu

Tektonická segmentace jeví značnou míru uspořádanosti napříč celým krkonošsko-jizerským masivem, a to zejména z hlediska podobné orientace. Základní síť křehkého porušení masivu je reprezentována systémy sudetského (sz.-jv.) směru a krušnohorského (sv.-jz.) směru (obr. 1B). Hustota této sítě má hierarchické uspořádání od jednotlivých puklin v masivním čerstvém granitu až po jejich roje různé hustoty v hydrotermálně přeměněném granitu, slévající se do tektonických zón často mnohametrových mocností. V západní části krkonošsko-jizerského masivu jsou tektonické struktury sudetského směru vesměs starší než struktury krušnohorského směru. Struktury sudetského směru mají charakter dilatačních zlomů s velmi pestrou výplní. Příkladem může být vratislavický zlom (KLOMÍNSKÝ et al. 2005). Hydrotermálně alterovaný liberecký granit zde nese znaky různě intenzivního drcení až mylonitizace. V takovémto prostředí se často vyskytují permské žíly bazaltandezitů (tzv. melafyrů) několikametrových mocností. Při opakování pohybů na těchto zlomech byly melafyry patrně v mezozoiku přeměněny na tektonické brekcie a stmeleny několika generacemi křemene, často s hematitem. Takové zlomy později sloužily jako přívodní dráhy kenozoických neovulkanitů prostorově i geneticky spjatých s pozdějším stadiem vývoje oherského riftu. Zlomy tohoto druhu, délky a směru již dlouho slouží jako vodiče zemětřesných vln ze vzdálenějších epicenter. Jsou to také kolektory prostých i minerálních vod včetně výronů CO_2 a případně i radonu (např. vývěr Vratislavické kyselky).

Struktury krušnohorského směru patří v české částí granitového masivu mezi sevřené zlomy a jsou na výplně méně bohaté. Z hlediska vodivosti podzemních vod jsou vodonosnější zlomy sudetského směru; podobně na tom jsou místa křížení s „krušnohorským“ zlomem.

Tepelná produkce krkonošsko-jizerského granitového masivu

Termální produkce granitu je považována za hlavní zdroj termální energie, která významně prodlužuje životnost hydrotermálního režimu vyvřelin. Toto suché teplo vzniká rozpadem radioaktivních izotopů uranu, thoria a draslíku, zastoupených v granitech jednak v akcesorických minerálech a jednak v draselném živci. Mnohé granity v Českém masivu patří do skupiny se zvýšenou (kolem 4 $\mu W/m^3$) až anomální (6 $\mu W/m^3$) termální produkcí (OSTŘIHANSKÝ 1992). Většina z těchto granitových intruzí je klasifikována jako uranonosná. Sem patří i granity krkonošsko-jizerského masivu, kde tepelná produkce dosahuje hodnoty 5–6 $\mu W/m^3$ při průměrném obsahu U 12,7 ppm, Th 25 ppm a 4,5 % K_2O (JELIŃSKI 1965). Krkonošsko-jizerský masiv převyšuje průměrnou termální produkci granitů (2,5 $\mu W/m^3$) více než dvojnásobně. Jestliže jedna jednotka tepelné produkce (HGU) odpovídá 0,417 $\mu W/m^3$ = 13,2 J/m^3 za rok, pak jeden kubický metr krkonošsko-jizerského granitu vyprodukuje ca 14 HGU nebo 188 J/m^3 za rok. To je při enormní kubatuře celého masivu (několika tisíc kubických kilometrů) a jeho geologickém stáří (ca 310 milionů let) gigantické množství tepelné energie.

Teplo uvolněné z hornin může být dnes měřeno na zemském povrchu nebo ve vrtech jako zemský tepelný tok. Nejvyšší hodnoty tepelného toku, zaznamenané v severní části Českého masivu (80–100 $\mu W/m^2$) souvisí s vysokou radioaktivitou pozdně variských granitů krušnohorského batolitu a krkonošsko-jizerského masivu. Podle RYBACHA (1976) celkové radiogenní teplo generované v průměrném granitu přispívá k zemskému tepelnému toku pláště hodnotou 2,5 $\mu W/m^2$ na 1 km mocnosti granitu. V případě krkonošsko-jizerského masivu jeho mocnost se pohybuje v řádu několika kilometrů, takže může být tento příspěvek tepla značný.

Minerální a termální prameny v krkonošsko-jizerském masivu

Cieplice Śląskie Zdrój u Jelení Góry

Lázně Cieplice leží asi 5 km na jihozápad od města Jelenia Góra v nadmořské výšce ca 350 m n. m. při soutoku řeky Kamienné a Wrzosóvky. Termální prameny zde vyvěrají z granitu krkonošsko-jizerského masivu ve vzdálenosti do 5 km od okrajového sudetského zlomu.

Termální prameny jsou zde známy již z historických dob. Lázně zde vznikly mezi 17. a 19. stoletím. Teplota vody na povrchu dosahuje 44 °C při vydatnosti 5 m^3/h. Jejím hlavním typem je sulfáto – bikarbonátová voda se zvýšeným obsahem sodíku, fluoru a křemíku. Celková její mineralizace nepřesahuje 650 ppm (DOWGIAŁŁO 2000).

Vrty C1 a C2 v letech 1971–1972 zjistily v hloubce pod 700 m značné množství horké vody . Přeliv z vrtu C2 dosahoval 40 m^3/h (při tlaku 2,5 atm) a přesahoval tak několikrát produkci přírodních pramenů. Nejvyšší teplota vody v přelivu byla 68 °C. V roce 1997 byl vrt C1 prohlouben do hloubky 2002,5 m. Tento vrt je vyhlouben ve středně zrnitém až hrubozrnném často porfyrickém biotitickém granitu, který protínají četné žíly lamprofyrů. Hydrotermálně alterovaný (kaolinizovaný) granit je místy prostoupen množstvím puklin a tektonických zón. Silné přítoky termální vody byly pozorovány v hloubkách 731 až 873 m a 943 až 1050 m z tektonických zón sudetského (sz.-jv.) směru, zatímco od 1600 m do 2002,5 m byl vrt prohlubo-

ván v tektonické zóně krušnohorského (sv.-jz.) směru. V hloubce 1601 m byl také zaznamenán znovu silný přítok termální vody dosahující teploty 76,4 °C a v konečné hloubce vrtu teplota vody stoupla na 87,8 °C. Proud artéské vody dosahoval množství 110 m^3/h (při tlaku 3,4 atm). Teplota na výstupu z vrtu byla 86,7 °C. Karotáž vrtu C1 zjistila maximální teplotu 97,7 °C. Dowgiałło (2000) se domnívá, že tato hodnota není nejvyšší, neboť systém cirkulace termální vody v hloubce 2000 m nekončí. Podle tohoto autora je pravděpodobné, že teplota vody v hloubce 2500 m může dosáhnout 115–120 °C a zóna cirkulace termální vody může dosahovat hloubky až 3000 m.

Vratislavice nad Nisou

Na jihovýchodním okraji liberecké kotliny se nachází zdroj uhličité minerální vody známé jako vratislavická kyselka. Tato komerčně využívaná voda je jímána ze dvou zdrojů v hloubce mezi 92 až 216 m při vydatnosti 20 a 30 litrů za minutu. Její teplota se pohybuje mezi 12,8 a 13,5 °C a pro další využití je třeba ji zchlazovat. Celková mineralizace vratislavské kyselky je 240 až 340 ppm při obsahu 35 ppm Si. Zdroje této minerální vody se nacházejí v silně alterovaném libereckém granitu na tektonické struktuře sudetského (sz.-jv.) směru.

Aplikace chemické geotermometrie k odhadu teploty v podzemním rezervoáru vratislavické kyselky

K odhadu teploty minerální vody ve spodní části cirkulačního systému slouží celá řada chemických geotermometrů, vycházejících z chemického složení vody a předpokladu existence rovnováhy s minerálním složením okolních hornin. Podle Dowgiałła (2002) termální vody s nízkou entalpií v prostoru krkonošsko-jizerského masivu jsou ředěny meteorickými vodami, a proto většina chemických geotermometrů může sloužit jen jako hrubý odhad teplot ve spodních částech cirkulačního systému. Podobně hodnotí použití chemických geotermometrů pro minerální vody krkonošského masivu také Lesniak a Nowaková (1993). Pouze chalcedonový geotermometr poskytuje podle Dowgiałła (2002) realističtější data o hloubkových teplotách relativně chladných minerálních vod. Chalcedonový geotermometr v případě vratislavické minerální vody ukazuje na její teplotu od 64 do 105 °C ve spodní části cirkulačního systému. Obdobné údaje uvádí i Dowgiałło (1985) pro uhličité vody z lokalit Świeradów Zdrój a Cziernawa (obr. 1B), kde obsahy Si (30–70 ppm) indikují teploty až 90 °C ve spodní části cirkulačního systému.

Perspektivita geotermálních polí v krkonošsko-jizerském masivu

Dowgiałło (2002) definoval některé faktory vymezující výskyty geotermálních polí v prostoru krkonošsko-jizerského masivu a jeho okolí:

- Přítomnost lokálního vysokého tepelného toku s významným vlivem radiogenního tepla granitu
- Existence značných rozdílů v nadmořské výšce termálního pole a jeho okolí, dovolující meteorickým vodám hloubkovou penetraci do drenážních tektonických zón situovaných v topografických depresích
- Přítomnost husté sítě puklin doprovázejících hlavní zlomová pásma
- Přítomnost uhličitých vod, indikující jejich hluboký oběh spojený s přívodními drahami terciérního alkalického vulkanismu.

Všechna tato kritéria splňuje nejen geotermální pole v okolí Jelení Góry, ale také Liberecká kotlina a morfologická deprese údolí řeky Smědé v širším okolí Lázní Libverda na s. okraji krkonošsko-jizerského masivu.

Závěr

1. Nejhlubší vrt (C-1) v granitovém tělese Českého masivu v Cieplicích u Jelení Góry zastihl v hloubce 2 km termální vodu o vysoké teplotě (97,7 °C) a přítoku 15 l/s. Zóna cirkulace termální vody pravděpodobně dosahuje hloubky až 3000 m při teplotě přes 100 °C.
2. Vrt se nachází v porfyrickém granitu krkonošsko-jizerského masivu a hlavní přítoky termálních vod pocházejí z tektonických zón sudetského a krušnohorského směru.
3. Vysoká termální produkce granitu krkonošsko-jizerského masivu (6 μW/m^3)je považována za hlavní zdroj vysoké teploty jeho termálních vod.
4. Zvýšená retence povrchových vod v pánevních strukturách a hlubokých údolích krkonošsko-jizerského masivu usnadňuje jejich pronikání do podložního roje tektonických struktur sudetského i krušnohorského směru.
5. Spekulace o přítomnosti vysokotermálních vod v technicky dosažitelných hloubkách v podloží liberecké kotliny je založena na podobnosti geologické a tektonické pozice, jakou má pánevní struktura u Jelení Góry.
6. Objev hloubkové cirkulace vysokotermálních vod podél tektonických zón krkonošsko-jizerského masivu, kde teplota vody někde již v hloubce 500 m dosahuje 60 °C může být mementem pro konstruktéry podzemního úložiště radioaktivního odpadu v prostředí granitových masivů.
7. Jedním z faktorů kontrolujících termální potenciál granitových masivů je hodnota jejich tepelné produkce. Tento údaj může složit ke klasifikaci intruzivních těles např. z hlediska jejich vhodnosti k výstavbě podzemního úložiště radioaktivního úložiště.

Literatura

Dowgiałło, J. (1976): Wody termalne Sudetow. – Acta geol. pol., 26, 4, 617–643.

Dowgiałło, J. (1985): Geochemical temperature indicators and their application to Sudetic thermal waters. Proceedings of the Conference State of Surveying and Prospects of Utilization of Thermal Waters. – Warszawa, Kraków, 68–81.

Dowgiałło, J. (2000): Thermal water prospecting results at Jelenia

Góra–Cieplice (Sudetes, Poland) versus geothermal forecasts. – Environmental Geol., 39, 5, 433–436.

DOWGIAŁŁO, J. (2002): The Sudetic geothermal region of Poland. – Geothermics, 31, 3, 343–359.

DOWGIAŁŁO, J. (2002): Water-rock interaction in some mineral waters in the Sudetes, Poland: Implications for chemical geothermometry. – Ann. Soc. Geol. Polon., 63, 101–118.

CIĘŻKOWSKI, W. – GRÖNING, M. – LEŞNIAK, P. M. – WIESE, S. M. – ZUBER, A. (1992): Origin and age of thermal waters in Cieplice Spa, Sudeten, Poland, inferred from isotope, chemical and noble gas data. – J. Hydrogeol., 140, 89–117.

JELIŃSKI, A. (1965): Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzglednieniem innych masywów granitoidowych Dolnego Śląska. – Inst. Geol. Biul., 193, Z badań złoźkruszców, 5, 5–102. Warszawa.

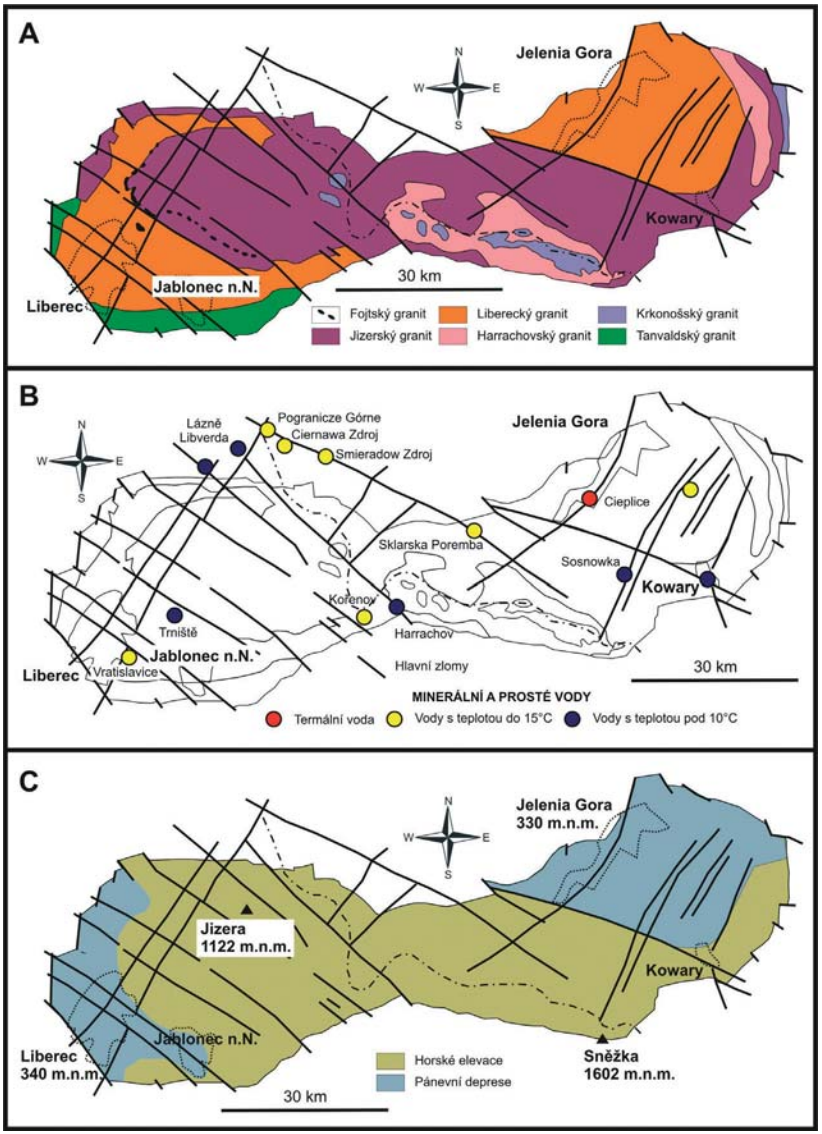
KLOMÍNSKÝ, J., ed. (2004): Základní geologická mapa České republiky 1: 25 000 s vysvětlivkami, 03-143 Liberec. – 68 s. Čes. geol. služba. Praha.

KLOMÍNSKÝ, J. – BĚLOHRADSKÝ, V. – FEDIUK, F. – SCHOVÁNEK, P. (2005): Vratislavický zlom – nový odkryv u Liberce v severních Čechách. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2004, 35–38.

OSTŘIHANSKÝ, L. (1992): The structure of the Earth's crust and the heat-flow – heat production relationship in the Bohemian Massif. In: KUKAL, Z. (Ed.): Proceedings of the 1st International Conference on the Bohemian Massif, Prague, Czechoslovakia, Sept. 26–Oct. 3, 1988, 210–217. – Čes. geol. úst. Praha.

RYBACH, L. (1976): Radioactive heat production and its relation to other petrophysical paremeters. – Pure appl. Geophys., 114, 309–318.

Barevný obrázek je v příloze 16



A – hlavní typy granitů v krkonošsko-jizerském masivu. B – pozice termálních, minerálních a prostých vodních zdrojů v tektonické síti krkonošsko-jizerského masivu. C – vztah zdrojů minerálních a prostých vod v krkonošsko-jizerském masivu k jeho hlavním morfologickým strukturám.

K článku J. Klomínského na str. 179