

# Výzkum magnetické susceptibility granitů v západní části krkonošsko-jizerského kompozitního masivu

Magnetic susceptibility survey of granites in the western part of the Krkonoše-Jizera Composite Massif

TOMÁŠ ŽITNÝ<sup>1</sup> – JOSEF KLOMÍNSKÝ<sup>2</sup>

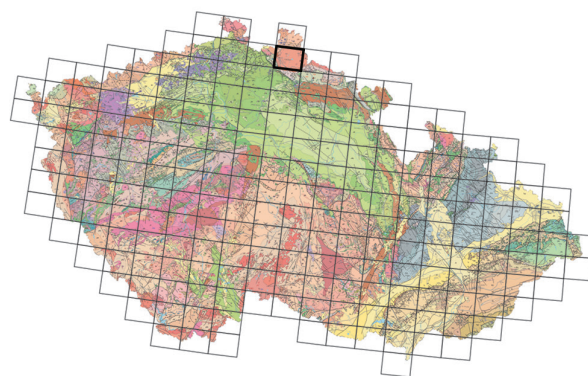
<sup>1</sup> Letná 232, 471 24 Mimoň; zitnytomas@gmail.com

<sup>2</sup> Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; josef.klominsky@geology.cz

Please cite this article as: Žitný, T. – Klomínský, J. (2018): Magnetic susceptibility survey of granites in the western part of the Krkonoše-Jizera Composite Massif. – Geoscience Research Reports, 51, 2, 157–162. (in Czech)

**Key words:** Magnetic susceptibility, Krkonoše-Jizera Composite Massif, Jizera Granite, Liberec Granite, rock discrimination

**Summary:** The Liberec and Jizera granites are most dominant rocks in the western part of the Krkonoše-Jizera Composite Massif (KJCM). These two types of biotite granite show mutual transitions. On mesoscopic scale, these rock types differ in grain size and in quantity and size of K-feldspar phenocrysts. There are also differences in their magnetic susceptibility. Typical Liberec Granite (LG) shows the most frequent MS values of  $1.7 \times 10^{-3}$  SI units, whereas the authentic Jizera Granite (JG) is characterized by values about 10 times lower, i.e. about  $0.13 \times 10^{-3}$  SI units. Medium-grained strongly porphyritic biotite granite (Jizera type) is the main rock-type in the Jizerské hory Mts. The strongly porphyritic biotite granite shows in places linear to planar orientation of K-feldspar phenocrysts and mafic microgranular enclaves and schlieren. The fresh rock is light grey, often with slightly pink shade. Groundmass is composed of plagioclase, K-feldspar, biotite, chlorite, rare hornblende and accessory minerals (zircon, apatite, titanite, allanite, and ilmenite). Subhedral K-feldspar of pink to light red colour forms phenocrysts 3–5 cm, and exceptionally 7 cm long. Plagioclase forms smaller phenocrysts. K-feldspar phenocrysts are often rimmed by white plagioclase resembling the rapakivi texture. Coarse- to medium-grained porphyritic biotite granite (Liberec type) constitutes deeper parts of the Krkonoše-Jizera Composite Massif. It crops out on the surface as the rock underlying the Jizera granite, mainly in deeply eroded parts of the massif and along its southern boundary. Fresh rock has a pinkish colour caused by phenocrysts of K-feldspar, which occupies nearly half of its volume. The phenocrysts are usually short prismatic, up to 3 by 2 cm in size. The coarse-grained groundmass (5–10 mm) is composed of plagioclase, quartz, K-feldspar, some biotite, minor hornblende, muscovite, and accessory zircon, apatite, titanite, allanite, magnetite, ilmenite, and pyrite.



(03-14 Liberec)

Visual discrimination of these two very similar granites has until now been rather subjective, bringing complications and uncertainty during the field mapping. The main problem is definite recognition of the individual rock types in the vicinity of their demarcation line because of their gradational nature. Field parameters are not always sufficient for classification of both rocks within their domains. Specific geochemical characteristics of the Liberec and Jizera granites have been applied to demarcate their boundaries. Based on more precise geochemical discrimination between these two granites it is possible to state that the Liberec Granite is overlain by the Jizera type and that the Liberec Granite represents a more advanced differentiation stage in the magmatic evolution of the Krkonoše-Jizera Composite Massif. Based on magnetic susceptibility (MS) survey of these granitoids also two major granite types have been recognized: (i) Coarse-grained porphyritic Liberec Granite (LG), (ii) Medium-grained porphyritic Jizera Granite (JG). The basic statistical parameters MS values ( $10^{-3}$  SI) measured at various outcrops and average MS of each rock type are summarized in Table 1, and frequency (%) distributions of MS values in several classes for various granite types are also shown in the histogram (Fig. 3).

The observed variations in MS values have been classified into magnetite series ( $> 3.0 \times 10^{-3}$  SI) and ilmenite series ( $\leq 3.0 \times 10^{-3}$  SI) granites, which corresponds to oxidized type and reduced type granites respectively, and are indeed a reflection of oxygen fugacity ( $fO_2$ ) intrinsic to source regions. The highest MS values were recorded in lowland region between the Liberec and Tanvald towns mostly on LG outcrops. Liberec Granite belongs to magnetite series (75% strongly oxidized) granites. Most widely distributed Jizera Granite in the central part of western part of the Krkonoše-Jizera Composite Massif belongs to ilmenite (95% strongly reduced) granites.

Liberecký a jizerský granit jsou dominantními horninovými typy v západní části krkonošsko-jizerského kompozitního masivu (KJKM, Klomínský et al. 2010). Vizuální struk-

turní a petrografické parametry těchto dvou podobných granitů, až dosud poněkud subjektivní, způsobují nejistotu v jejich rozlišování při geologickém mapování (Klomínský

1969). Hlavním problémem je klasifikace jednotlivých typů granitů v blízkosti jejich demarkační linie z důvodů jejich gradačního vztahu (obr. 1). K demarkaci libereckého a jizerského granitu použili Jarchovský et al. (2010) s úspěchem diskriminační analýzu rozdílných obsahů MgO a TiO<sub>2</sub>. Touto metodou byl také potvrzen předpoklad, že liberecký granit tvoří podloží jizerského granitu a že liberecký granit reprezentuje stav pokročilejší diference stavu magmatického vývoje KJKM.

Zde použité měření magnetické susceptibilitě (MS) je dalším kvantitativním parametrem k terénnímu rozlišení jizerského a libereckého granitu (Klomínský – Woller 2010) podle množství obsažených feromagnetických minerálů (magnetitu a ilmenitu).

### Petrografická charakteristika a terénní vztahy granitů libereckého a jizerského

Jizerský a liberecký granit jsou dva typy biotitického granitu, které se vyznačují vzájemnými přechody (Klomínský 2009). V mezoskopickém měřítku se liší velikostí zrn základní hmoty a velikostí vyrostlic draselného živce. Liší se také v hodnotách magnetické susceptibilitě (MS). Magnetická susceptibilita libereckého granitu se pohybuje v rozpětí 0,6–11,13 × 10<sup>-3</sup> SI, zatímco MS jizerského granitu je desetkrát nižší, v rozpětí 0,1–0,6 × 10<sup>-3</sup> SI (obr. 2 a 3).

Středně zrnitý, výrazně porfyrický biotitický granit jizerského typu se vyznačuje často lineární až planární orientací vyrostlic draselných živců a častými mikrogranulárními enklávami a biotitickými šlírky. Základní hmota jizerského granitu se skládá z plagioklasu, K-živce, bio-

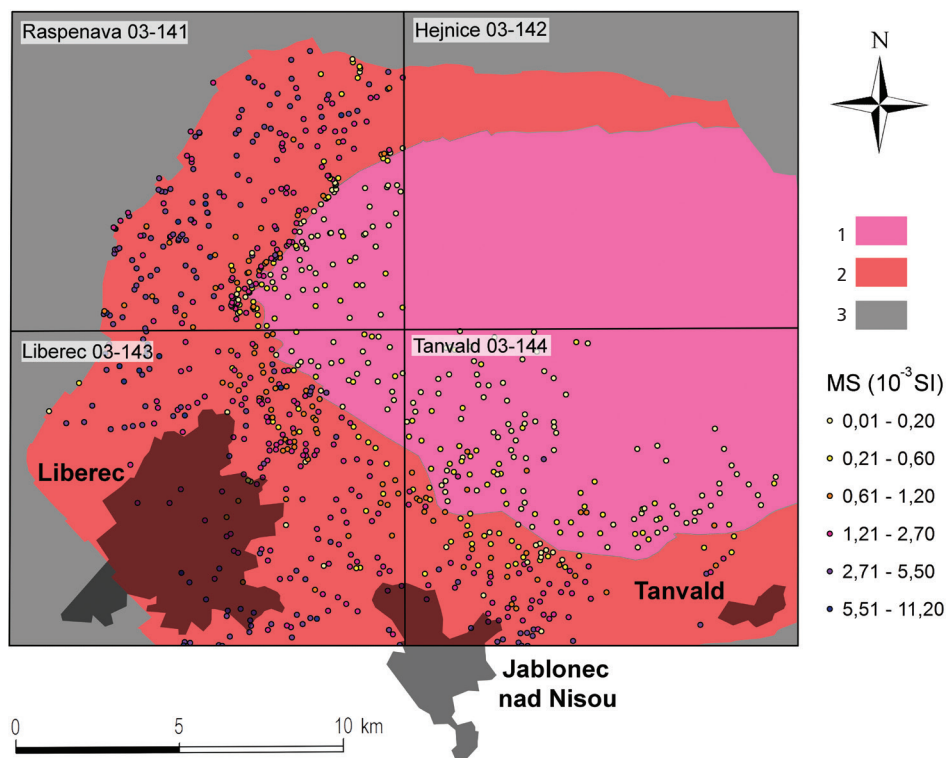
titu, nehojného amfibolu a akcesorických minerálů (apatitu, allanitu, zirkonu a ilmenitu). Vyrostlice narůžovělého K-živce, často lemované bílým plagioklasem, připomínající textury typu Rapakivi, tvoří v hornině 3–5 cm, výjimečně až 7 cm velké vyrostlice.

Hrubozrný až středně zrnitý porfyrický biotitický granit libereckého typu tvoří hlubší části krkonošsko-jizerského kompozitního masivu. Na povrchu se nachází v podloží jizerského granitu hlavně v okrajových partiích jeho západního segmentu. Typický liberecký granit má růžovou barvu, neboť obsahuje hojné růžové vyrostlice K-živce prizmatického tvaru o velikosti 2–3 cm. V hrubozrné základní hmotě je obsažen plagioklas, křemen, biotit, vzácné amfibol, muskovit a akcesorie (zirkon, apatit, titanit, allanit, magnetit a pyrit).

### Metodika měření a způsob zpracování databáze magnetické susceptibilitě granitů

Měření magnetické susceptibilitě granitů v západní části krkonošsko-jizerského kompozitního masivu bylo provedeno na rovných plochách výchozů granitů pomocí kapesního kapametru SM-20. Rozsah měření byl od 0,000 do 999 × 10<sup>-3</sup> SI při unikátní citlivosti přístroje 1 × 10<sup>-6</sup> SI. Naměřená data (v jednotkách SI) nebyla korigována z důvodů jednotné hrubosti povrchů výchozů granitů.

Vstupní data obsahují zeměpisné souřadnice bodů, údaje o jejich nadmořské výšce (pro digitální model reliéfu) a údaje o magnetické susceptibilitě hornin, měřené přímo v terénu. Studovaným územím jsou mapové listy 03-141 Raspenava, 03-143 Liberec a 03-144 Tanvald geologické mapy 1 : 25 000 (obr. 1).

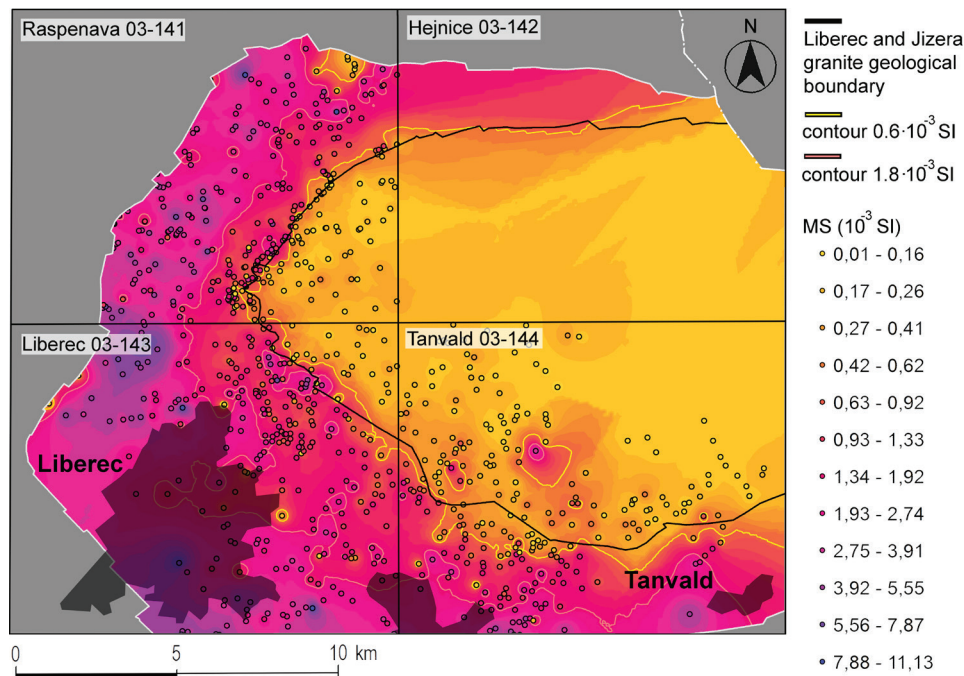


Obr. 1. Západní segment krkonošsko-jizerského kompozitního masivu. Lokality měření magnetické susceptibilitě (MS). 1 – jizerský granit, 2 – liberecký granit, 3 – krkonošsko-jizerské krystalinikum.

Fig. 1. Western segment of the Krkonoše-Jizera Composite Massif. Localities of the magnetic susceptibility measurements (MS). 1 – Jizera Granite, 2 – Liberec Granite, 3 – Krkonoše-Jizera crystalline complex.

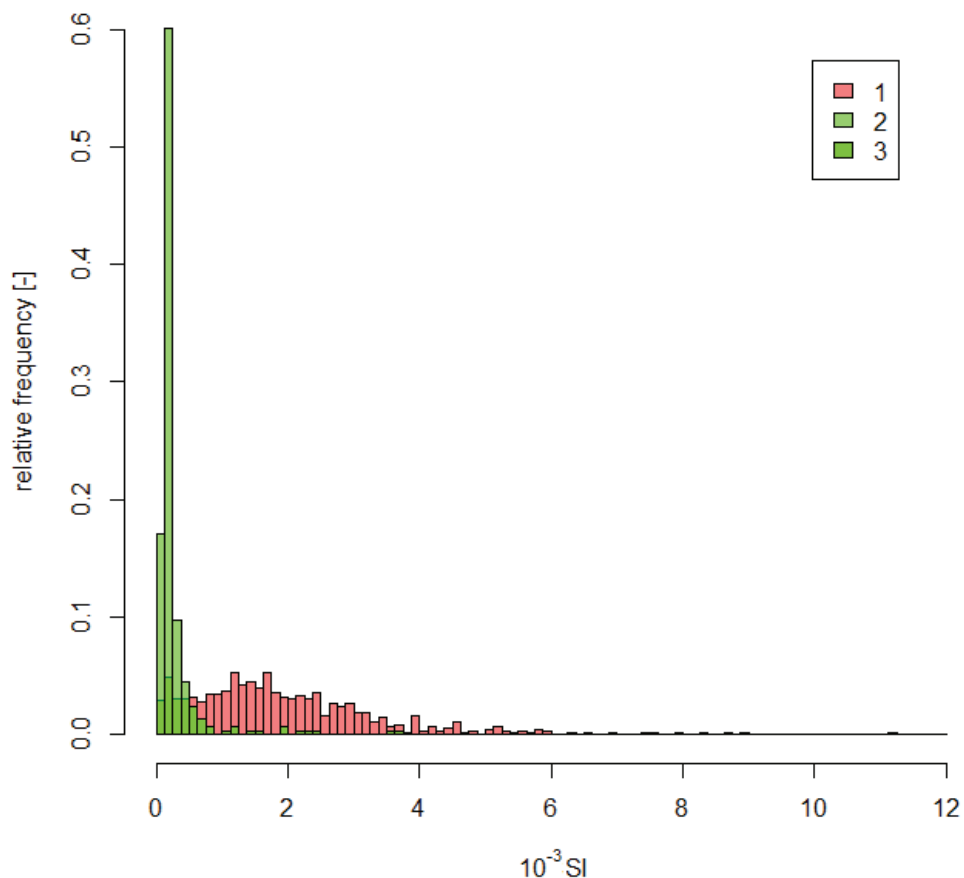
Obr. 2. Mapa terénního měření magnetické susceptibility (MS) v západním segmentu krkonoško-jizerského kompozitního masivu. Izolinie  $0,6 \times 10^{-3}$  SI lemuje geologickou hranici jizerského a libereckého granitu. Území mezi izoliniemi  $1,8 \times 10^{-3}$  a  $0,6 \times 10^{-3}$  SI náleží tranzitivní facii libereckého granitu.

Fig. 2. Map of the magnetic susceptibility field measurements in the western part of the KJCM. Magnetic susceptibility contours represent boundary between the Jizera and Liberec granites according to petrophysical field discrimination.  $0.6 \times 10^{-3}$  SI contour outlines the field of the Jizera Granite. The area between contours  $1.8 \times 10^{-3}$  and  $0.6 \times 10^{-3}$  SI is occupied by Transitional Granite (marginal facies of the Liberec Granite). Red area ( $> 1.8 \times 10^{-3}$  SI) represents outcrops of the Liberec Granite.



Obr. 3. Histogram relativní četnosti magnetické susceptibility libereckého granitu, jizerského granitu v západním sektoru krkonoško-jizerského kompozitního masivu (1 223 měření). 1 – liberecký granit, 2 – jizerský granit, 3 – tranzitivní facie libereckého granitu.

Fig. 3. Frequency histogram of the Jizera and Liberec granites magnetic susceptibility field measurements in the western segment part of the KJCM (1 223 localities). 1 – Liberec Granite, 2 – Jizera Granite, 3 – Transitional Granite (marginal facies of the Liberec Granite).



Hodnoty MS byly změřeny na 1223 lokalitách. Histogram magnetické susceptibility obou granitů ve studovaném území KJKM je uveden na obr. 3. Veškerá data byla zpracována v programu ESRI ArcMap a ESRI ArcScene, verze 10.2. Nejprve byl vytvořen digitální model reliéfu (DMR) studované oblasti rastrovou

spline interpolací (vstupní data byla v síti  $100 \times 100$  m) a následně byla zpracována naměřená data magnetické susceptibility. Data MS byla interpolována pomocí metod IDW (Inverse Distance Weighting) a krigingu. Následně byla interpolovaná data vykreslena prostorově pomocí údajů z DMR (obr. 5).

Tabulka 1. Základní statistické parametry libereckého a jizerského granitu  
Table 1. Basic statistic parameters of the Liberec and Jizera granites

Granite type	Number of measurements	Mean	Standard deviation	Quartile 25%	Median	Quartile 75%	Mode
Liberec granite	935	1.91	1.39	0.95	1.68	2.61	1.70
Jizera granite	288	0.28	0.43	0.135	0.17	0.24	0.13

## MS diskriminace libereckého a jizerského granitu

Geologická hranice mezi libereckým a jizerským granitem v západním segmentu krkonošsko-jizerského masivu vymezená podle zrnitosti základní hmoty a velikosti vyrostlic draselného živce je stínována izolinií MS  $0,6 \times 10^{-3}$  SI (obr. 2). Mapa terénního měření magnetické susceptibilitě reprezentuje petrofyzikální diskriminaci mezi prostorem vyplněným jizerským a libereckým granitem. Podle detailního měření MS provedeného v téměř 6 km dlouhém bedřichovském tunelu v Jizerských horách je gradační zóna v podloží jizerského granitu reprezentována přibližně 150 m mocnou zónou s hraničními hodnotami od 0,2 do  $0,6 \times 10^{-3}$  SI (Klomínský – Woller 2010).

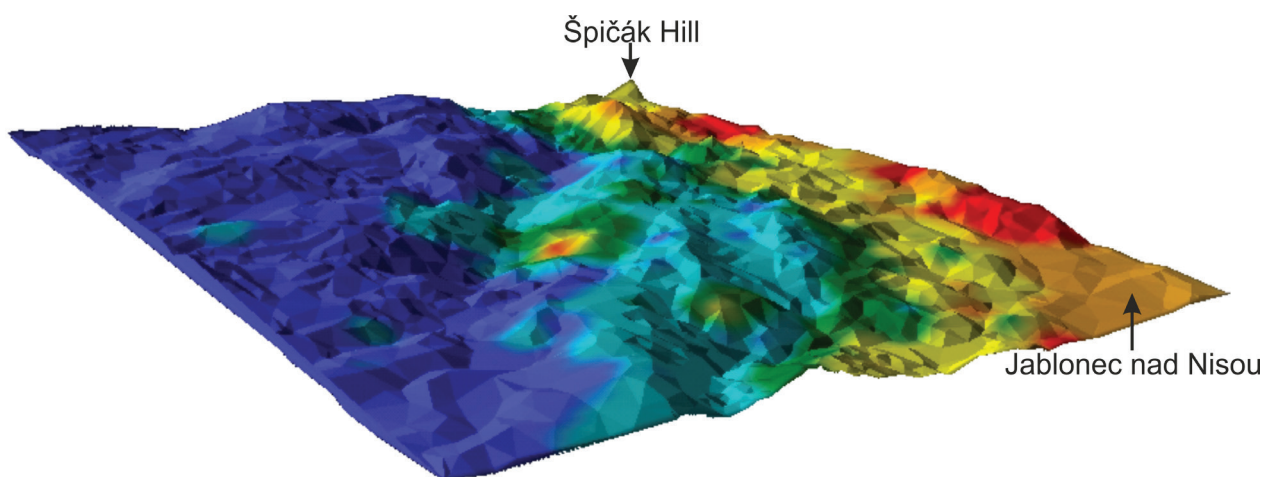
3D model magnetické susceptibilitě na listu Tanvald (obr. 4) a 3D model magnetické susceptibilitě jizerského a libereckého granitu v západním segmentu krkonošsko-jizerského masivu (obr. 5) indikují subhorizontální orientaci a nerovnoměrnou mocnost i morfologickou složitost kontaktní (gradační) facie libereckého granitu omezenou izoliniemi od 0,6 do  $1,8 \times 10^{-3}$  SI. Variabilita MS v poli jizerského granitu také indikuje „stíny“ kontaktní (gradační) facie libereckého granitu v jeho podloží (obr. 5).

Tento typ granitu pravděpodobně reprezentuje i vzájemnou interakci oxidačně-redukčních podmínek mezi libereckým a jizerským granitem. Regionální rozdíly v hodnotách MS v západním segmentu KJKM reprezentují hranici mezi ilmenitovou a magnetitovou řadou granitů s rozdílnou metalogenetickou specializací (Ishihara 1977).

## Výsledky a diskuse

Průměrné hodnoty MS ( $\times 10^{-3}$  SI) naměřené na různých skalních výchozech pro každý horninový typ jsou uvedeny v tab. 1 a četnost jejich MS hodnot (%) v několika třídách je prezentována jako histogram na obr. 3. Zjištěný rozsah hodnot MS pro oba typy granitů v západním segmentu krkonošsko-jizerského masivu je mezi 0,033 a  $11,65 \times 10^{-3}$  SI. Zjištěné variace hodnot MS jsou klasifikovány do magnetitové ( $> 3,0 \times 10^{-3}$  SI) a ilmenitové série ( $\leq 3,0 \times 10^{-3}$  SI) granitů (Ishihara 1977), které odpovídají oxidačním a redukčním typům granitů (Takagi – Tsukimura 1997).

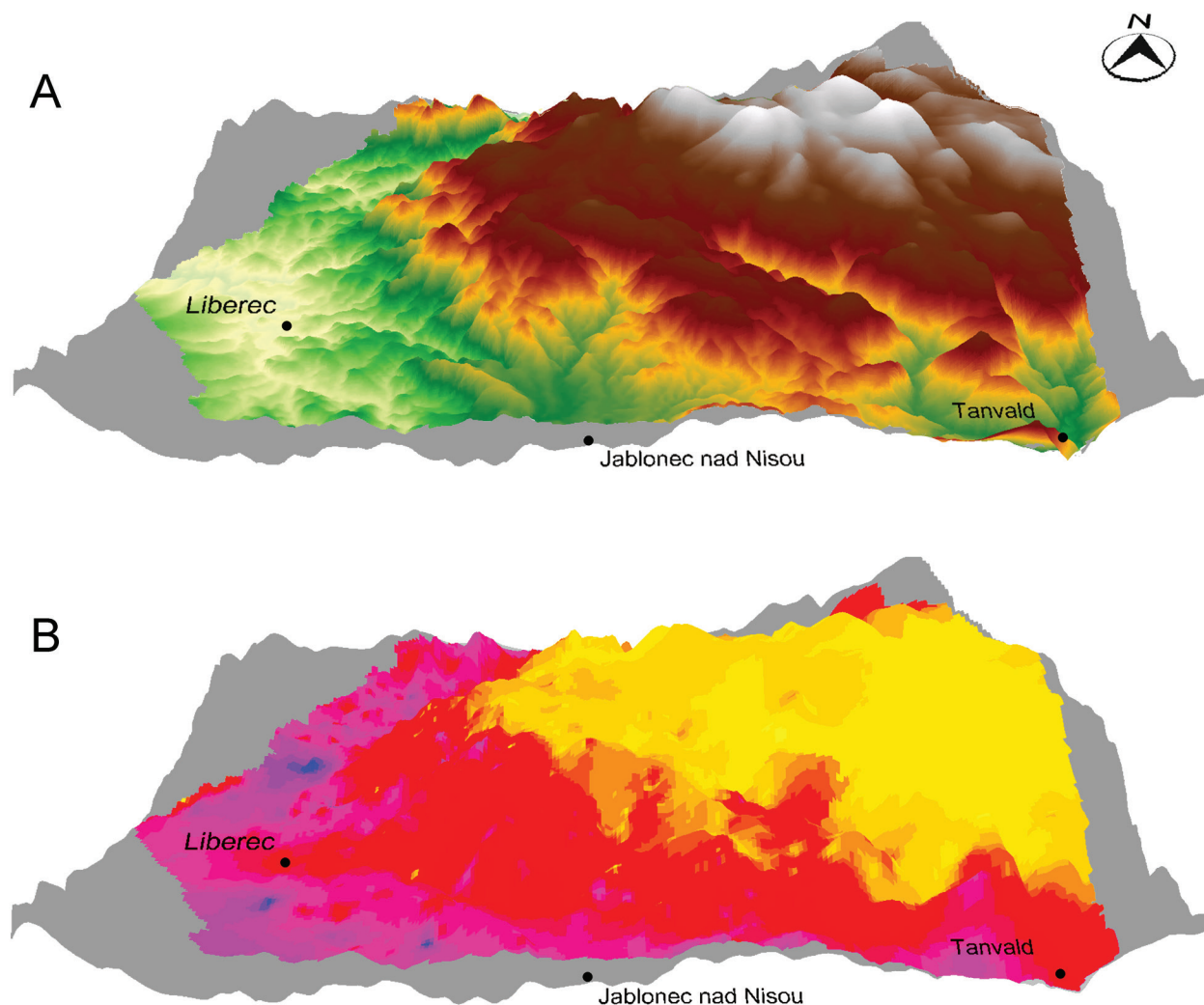
Geneze oxidovaných a redukovaných granitů je vysvětlována rozdíly v obsahu  $SO_2$  a poměru  $SO_2/H_2S$  v jejich zdrojových magmatech (Takagi – Tsukimura 1997). Když



Obr. 4. Magnetická susceptibilita jizerského a libereckého granitu v digitálním 3D modelu reliéfu (DRM) mapy 1 : 25 000 Tanvald (pohled od SZ k JV). Nížinu na pravé straně mapy tvoří liberecký granit s vysokou MS (červená a žlutá barva) a horská část mapy patří jizerskému granitu s nízkou MS (modrá a zelená).

Fig. 4. Magnetic susceptibility of the Jizera and Liberec granites in the digital 3D model relief (DRM) of the Tanvald map sheet 1 : 25 000 (view from NW to SE). The lowland on the right side is occupied by the Liberec Granite with high magnetic susceptibility (red and yellow), and the highland on the left side is formed by the Jizera Granite with low magnetic susceptibility (blue and green).





Obr. 5. Digitální model reliéfu studovaného území při pohledu od jihu. A – model morfologie západní části krkonoško-jizerského kompozitního masivu. Zelené pole – morfologická nížina a hluboká údolí, hnědé a bílé – horský terén; B – regionální distribuce magnetické susceptibility hornin západního segmentu KJKM. Červené pole – liberecký granit, oranžové – jeho tranzitní facie, žluté – jizerský granit. Fig. 5. Digital relief model of studied area. A – the morphological model of the western part of the Krkonoše-Jizera Composite Massif. View from the South. Green field – morphological low, brown and white – morphological high; B – regional distribution of MS in the digital relief model of the western part of the Krkonoše-Jizera Composite Massif. View from the South. Red field – the Liberec Granite, orange – its transient facies, yellow – the Jizera Granite.

magma obsahuje 250–1,700 ppm  $\text{SO}_2$  jako dominantní sulfidy,  $\text{SO}_2$  oxiduje silikáty železa a tak může krystalizovat od 0,2 do 1,5 modálních procent magnetitu. Tento proces produkuje oxidované granity. Naproti tomu když magmata obsahují  $\text{SO}_2$  pod 250 ppm, pak žádný nebo jen stopy magnetitu mohou krystalizovat. Tak vznikají redukované typy granitů. Podle chemických analýz liberecký granit obsahuje v průměru 200 ppm  $\text{SO}_2$ , zatímco v jizerském granitu je jeho obsah vždy pod touto hodnotou (Klomínský et al. 2006, Vondrovic et al. 2015).

MS hodnoty hornin patřící podle geologického mapování (Klomínský et al. 2006, Verner et al. 2013) do území jizerského granitu kolísají od 0,1 do  $0,6 \times 10^{-3}$  SI s průměrem  $0,28 \times 10^{-3}$  SI. Tento granit tak patří k velmi redukovaným typům ilmenitové série granitů, které vznikly tavením starších metapelitických a karbonátových hornin zemské

kůry, přítomných v nadloží stropu krkonoško-jizerského masivu. V jizerském granitu reprezentují četné biotitické enklávy a šlíry tyto restity hornin jeho pláště.

MS hodnoty hornin nacházející se podle geologického mapování v poli libereckého granitu (Klomínský et al. 2006, Verner et al. 2013, Vondrovic et al. 2015) kolísají od 0,1 do  $11,65 \times 10^{-3}$  SI s průměrem  $1,91 \times 10^{-3}$  SI reprezentujícím tak oxidační podmínky magmatického zdroje nepostiženého postmagmatickými fluidy. Jde o oxidovaný typ magmatické série granitů s obsahem infrakrustálního materiálu magmatického původu.

*Poděkování. Výzkum byl podpořen projektem České geologické služby č. 32115 „Urbanistická geologie města Liberce“. Autoři děkují Jaromíru Ulrychovi a Veronice Štědré za cenné připomínky, které přispěly ke zkvalitnění textu.*

## Literatura

- ISHIHARA, S. (1977): The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. – *Min. Geol.* 27, 293–305.
- JARCHOVSKÝ, T. – FEDIUK, F. – KLOMÍNSKÝ, J. – SCHOVÁNEK, P. (2010): Geochemická diskriminace libereckého a jizerského granitu v západní části krkonošsko-jizerského kompozitního masivu. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2009*, 219–222.
- KLOMÍNSKÝ, J. (1969): Krkonošsko-jizerský granitoidní masiv. – *Sbor. geol. Věd, Geol.* 15, 7–133.
- KLOMÍNSKÝ, J. (2009): Architecture of the Krkonoše-Jizera Composite Massif granites and recent activity of their tectonic network in the Bedřichov water-supply tunnel in Jizerské hory Mts. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2008*, 154–157.
- KLOMÍNSKÝ, J. – ADAMOVÁ, M. – BURDA, J. – JARCHOVSKÝ, T. – KACHLÍK, V. – KOŘÁN, V. – KRÍBEK, B. – MANOVÁ, M. – NEKOVARÍK, Č. – ŠALANSKÝ, K. (2006): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 03-323 Jablonec nad Nisou s textovými vysvětlivkami. – 62 str. Čes. geol. služba. Praha.
- KLOMÍNSKÝ, J. – JARCHOVSKÝ, T. – RAJPOOT, G. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. *Lugicum*. – 78 str. Čes. geol. služba. Praha.
- KLOMÍNSKÝ, J. – WOLLER, F., ed. (2010): Geological studies in the Bedřichov water supply tunnel. Technical report 02/2010. – 104 str. SÚRAO, Čes. geol. služba. Praha.
- TAKAGI, T. (2004): Origin of magnetite and ilmenite-series granitic rocks in the Japan Arc. – *Amer. J. Sci.* 304, 169–202.
- TAKAGI, T. – TSUKIMURA, K. (1997): Genesis of oxidized- and reduced-type granites. – *Econ. Geol.* 92, 81–86.
- VERNER, K. – MRÁZOVÁ, Š. – BRÍZOVÁ, E. – BURIÁNEK, D. – HOLUB, F. – KLOMÍNSKÝ, J. – MALÍK, J. – MARTÍNEK, K. – PECINA, V. – RAMBOUSEK, P. – RUKAVIČKOVÁ, L. – SKÁCELOVÁ, D. – SKÁCELOVÁ, Z. – ŠTOR, T. – VRÁNA, S. – ŽÁČKOVÁ, E. (2013): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 03-142 Hejnice a 03-231 Jizerka s textovými vysvětlivkami. – 143 str. MS Čes. geol. služba. Praha.
- VONDROVIC, L. – KLOMÍNSKÝ, J. – BRÍZOVÁ, E. – BURIÁNEK, D. – HAVLÍČEK, P. – KOŠULIČOVÁ, M. – MALÍK, J. – MARTÍNEK, K. – PECINA, V. – RAMBOUSEK, P. – RAPPRIČH, V. – RUKAVIČKOVÁ, L. – SIDORINOVÁ, T. – SKÁCELOVÁ, D. – SKÁCELOVÁ, Z. – ŠTOR, T. – VRÁNA, S. – VERNER, K. (2015): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 03-322 Raspenava s textovými vysvětlivkami. – 202 str. MS Čes. geol. služba. Praha.