

<https://doi.org/10.46861/bmp.28.246>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

3D distribúcia minerálnych inklúzií v granátoch z lokalít Lesné - Potičky a Beňatinská voda (Slovenská republika)

3D distribution of mineral inclusions in garnets from the localities Lesné - Potičky and Beňatinská voda (Slovak Republic)

PAVOL MYŠĽAN^{1)*}, PETER RUŽIČKA¹⁾, TOMÁŠ MIKUŠ²⁾ A MIROSLAV HAIN³⁾

¹⁾Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika; *e-mail: myslan.pavol@gmail.com

²⁾Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Ďumbierska 1, 974 11 Banská Bystrica, Slovenská republika

³⁾Ústav merania, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

MYŠĽAN P, RUŽIČKA P, MIKUŠ T, HAIN M (2020) 3D distribúcia minerálnych inklúzií v granátoch z lokalít Lesné - Potičky a Beňatinská voda (Slovenská republika). Bull Mineral Petrolog 28(2): 246-260 ISSN 2570-7337

Abstract

Visualization of garnets and their mineral inclusions was performed by X-ray microtomography by reconstructing 3D image from 1800 measured 2D X-ray projections. Visualization procedure of 3D distribution of mineral inclusions was based on the different absorption of X-ray radiation between the host garnet and mineral inclusions. 3D visualization provided a realistic picture of a distribution of the 126 identified mineral inclusions in garnet from rhyolite and rhodacite Beňatinská voda and 21 inclusions in garnet from Lesné - Potičky (Slovak Republic). Composition of garnet from locality Lesné - Potičky is $Alm_{71.0-73.7}Prp_{8.3-9.0}Grs_{14.7-16.6}$ and from locality Beňatinská voda is $Alm_{72.1-73.2}Prp_{5.5-5.9}Grs_{18.3-19.4}$. Mineral inclusions in garnets from locality Lesné - Potičky are represented by fluorapatite, zircon, ilmenite, annite and magmatic melts preserved in the form of glass inclusions trapped in apatite inclusions. Mineral inclusions in garnets from locality Beňatinská voda are represented by fluorapatite, zircon and plagioclase $An_{78.53-57.12}$. Chemical composition of zircons and fluorapatites are similar from both localities. Based on the chemical composition, the high-pressure origin of garnets associated with I-type magmas was confirmed.

Key words: X-ray microtomography, 3D distribution, mineral inclusions, garnet, Lesné - Potičky, Beňatinská voda, Slovak Republic

Obdrženo 18. 5. 2020; přijato 14. 10. 2020

Úvod

Rtg. mikrotomografia je nedeštruktívna metóda priestorového zobrazovania minerálov vrátane minerálnych inklúzií. Zároveň poskytuje štatistické výstupy zamerané na kvantitatívne charakteristiky objemovej distribúcie jednotlivých fáz. Článok je zameraný na 3D rekonštrukciu objemovej distribúcie minerálnych inklúzií v granátoch z lokalít Lesné - Potičky a Beňatinská voda. Na vyjadrenie chemického zloženia vizualizovaných inklúzií a hostiteľských granátov sa použila elektrónová mikroanalýza. V texte pre označenie počítačovej tomografie sa používa jej skrátená forma μ CT.

Lokalizácia

Podľa geomorfologického členenia lokalita **Lesné - Potičky** patrí do Pozdišovského chrbta Východoslovenskej pahorkatiny (Mazúr, Lukniš 1980). Tvorí súčasť Východoslovenskej nížiny, ktorá vyplňa priestor medzi Slanskými a Vihorlatskými vrchmi (obr. 1a).

Skúmaná lokalita predstavuje opustený kameňolom (obr. 1b) južne od obce Lesné sz. od Michaloviec. Poloha lokality zodpovedá $48^{\circ}47.482'$ severnej šírky a $21^{\circ}48.309'$ východnej dĺžky s nadmorskou výškou 220 m.

Lokalita **Beňatinská voda** podľa geomorfologického členenia patrí do podcelku Popriečny v rámci Vihorlatských vrchov (Mazúr, Lukniš 1980). Podcelok Popriečny, vystupujúci južne od údolia potoka Beňatinská voda, tvorí súčasť morfologicky izolovaného stratovulkánu Popriečny, ktorého východná časť sa nachádza za štátnou hranicou na území Ukrajiny (Žec et al. 1997b). Skúmaná lokalita predstavuje opustený kameňolom (obr. 1c) jv. od obce Beňatina. Poloha lokality zodpovedá $48^{\circ}48.129'$ severnej šírky a $22^{\circ}21.062'$ východnej dĺžky s nadmorskou výškou 527 m.

Geologická charakteristika

Telesá granátických ryolitov až ryolitových tufov pri obci Lesné (obr. 2a) vystupujú na zlomovom systéme smeru SZ-JV na sv. okraji podvihorlatskej panvy s K-Ar datovaným vekovým intervalom 14.0 - 15.2 mil. rokov (Vass et al. 1978). Na lokalite Potičky (kóta 217) sú starou lomovou ťažbou povrchovo odkryté strmo uklonené izolované dómatické extruzívne telesá ryolitov v neogénnych sedimentoch (Baňacký et al. 1987). Ryolity majú charakteristickú fluidálnu textúru a nepravidelnú blokóvu až hrubú lavicovú odlučnosť. Na protifahej strane 1 km jv. od obce Lesné pod kótou Hôrka (228) sa v opustenom

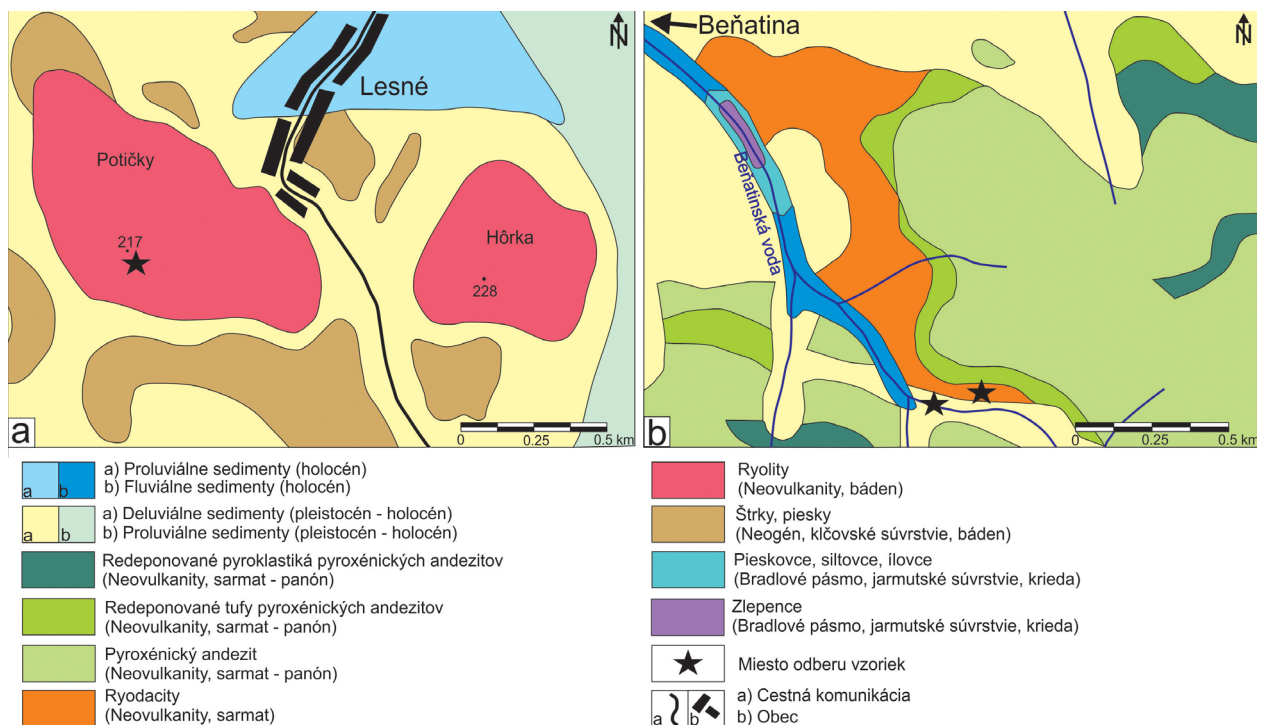
kameňolome vyskytujú prevažne ryolitové tufy (obr. 2a). Svetlosivé a doskovité ryolity z Lesného majú porfyrickú štruktúru s výrastlicami kremeňa, živcov a biotitu. Medzi výrastlicami je prítomný makroskopicky viditeľný granát tmavočervenej farby s výrazným leskom s priemernou veľkosťou do 1 mm. Základná hmota ryolitov je jemnozrná, zložená z plagioklasov, kremeňa a sanidínu. Z akce-

sorických minerálov je zastúpený zirkón a apatit, ktoré sú často uzavreté v biotite.

Ryodacitové extruzívne teleso Beňatinská voda, ktoré je súčasťou andezitového stratovulkánu Popriečny, sa formovalo v období stredného sarmatu, čo potvrdilo K-Ar datovanie s hodnotou 12.0 ± 0.5 mil. rokov (Pécskay et al. 1995; 2002). Výsledky datovania sa zhodujú s ostatný-



Obr. 1 Lokalizácia skúmaného územia: a) v mape Slovenskej republiky; b) pohľad na opustený kameňolom Potičky pri obci Lesné; c) opustený kameňolom v údolí potoka Beňatinská voda, šírka záberu 30 m. Foto P. Ružička 2019.

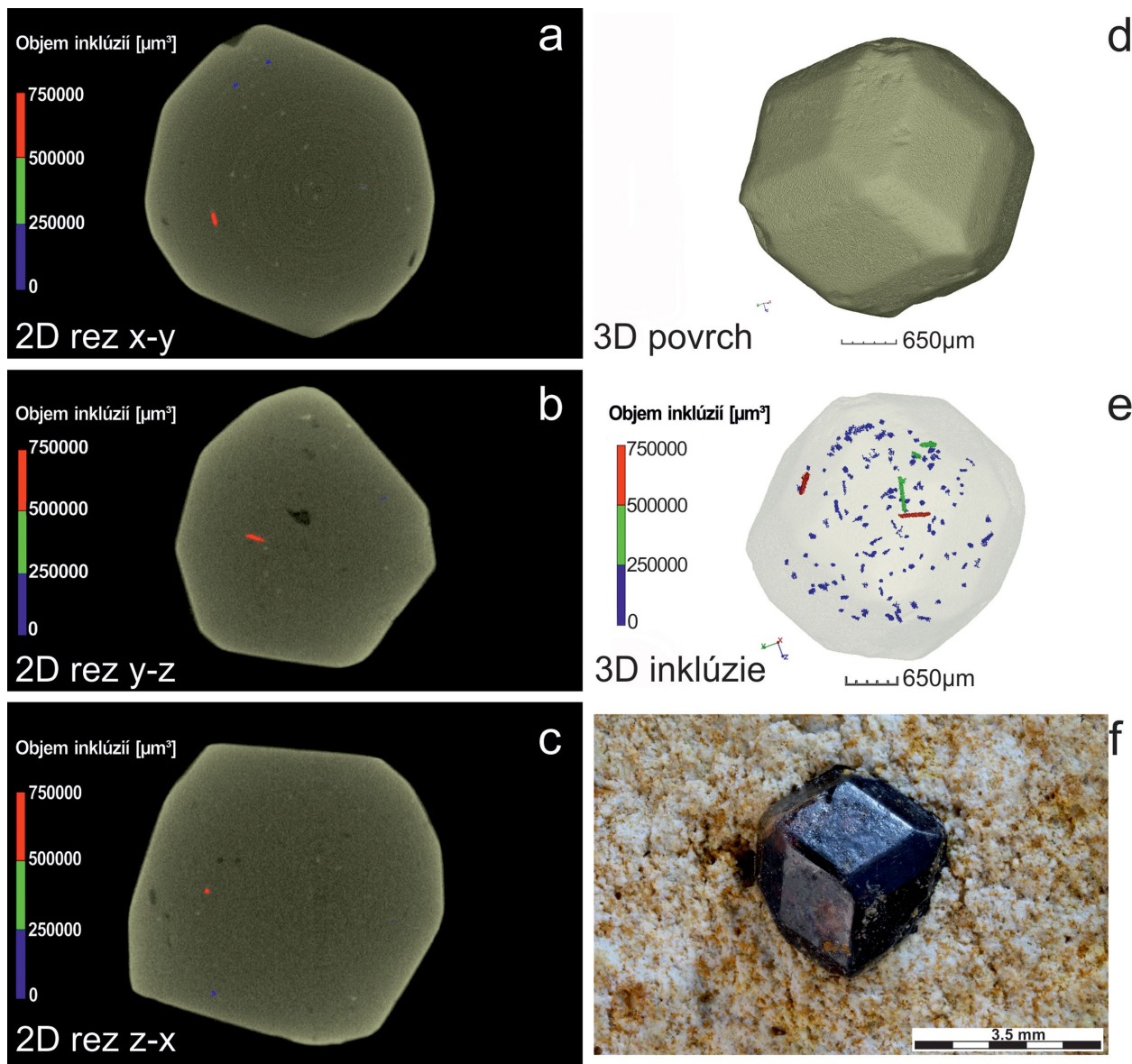


Obr. 2 Zjednodušená geologická mapa skúmaného územia: a) Lesné (mapa modifikovaná podľa Baňackého (1988); b) Beňatinská voda (mapa modifikovaná podľa Žeca et al. 1997a) s vyznačenými miestami odberu vzoriek.

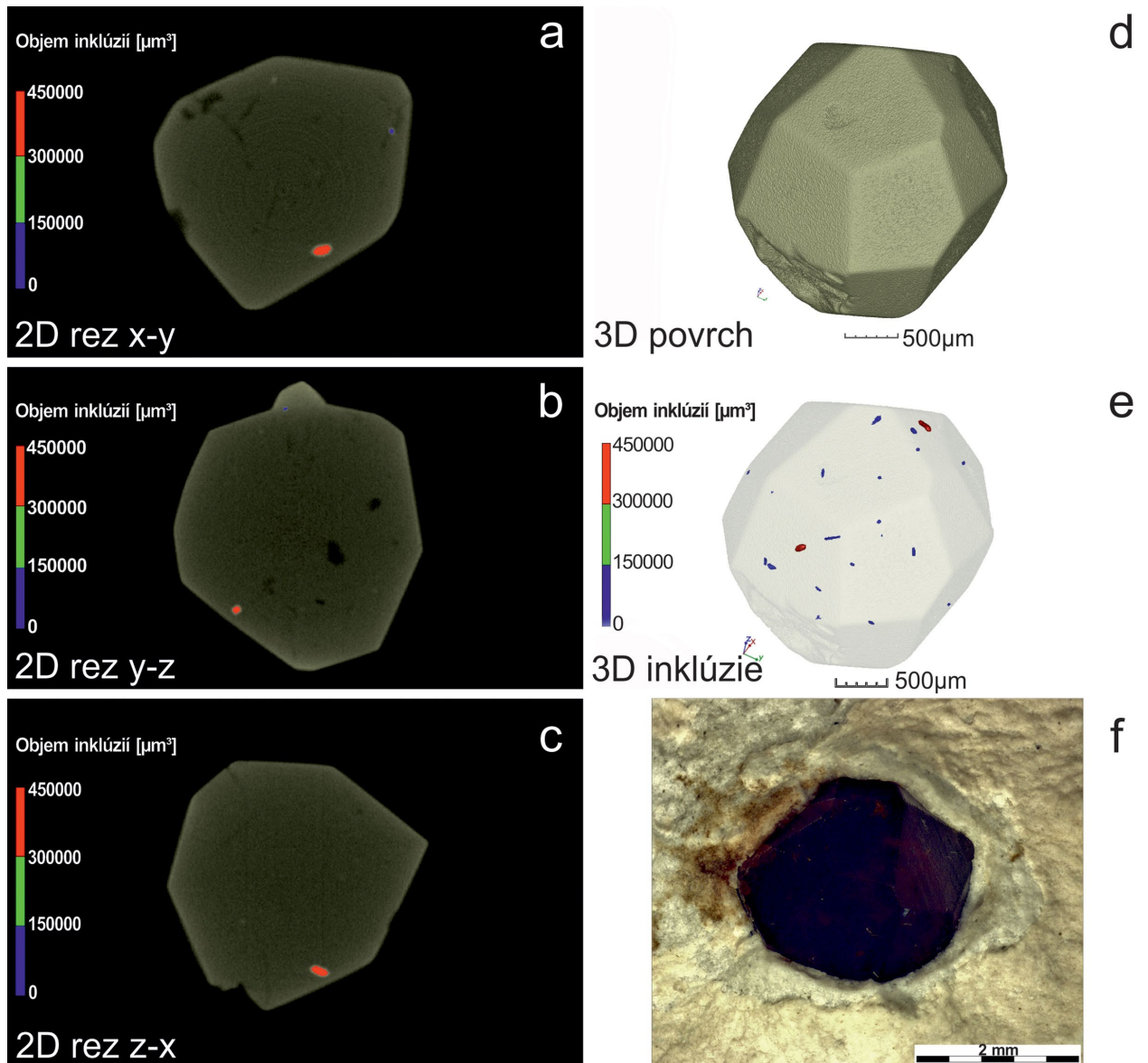
mi ryodacitovými extrúziami stratovulkánu Popriečny na Ukrajine (Pécskay et al. 2000). Na povrchu vystupujúce teleso granátického ryodacitu Beňatinskej vody predĺžené v smere SZ-JV (obr. 1c, 2b), sa nachádza v stykovej zóne bradlového pásma a vnútrokarpatského paleogénu. Vo východnej časti je ryodacitové teleso čiastočne prekryté explozívno-efuzívnymi produktmi sarmatských formácií stratovulkánu Popriečny. Vnútrná stavba telesa je dobre odkrytá v opustenom kameňolome na jeho južnej strane. Svetlý ryodacit má hrubostípcovú odlučnosť s náznakom vejárovitej stavby. V okrajovej časti telesa je tmavý ryodacit s fluidálnou textúrou. Hornina je slabo porfyrická, výrastlice živcov dosahujú veľkosť 1.5 mm a výrastlice kremeňa priemerne do 1 mm. Štruktúra základnej hmoty je mikroliticko-felzitická, tvorená lištami biotitu a živcov (veľkosť 0.2 - 0.8 mm), drobnejšími mikrolitmi a rekryštalizovaným sklom. Na okraji telesa je vyvinutá brekcia tvorená úlomkami sklovitého ryodacitu a úlomkami paleogénnych sedimentov (Kaličiak et al. 1995; Žec et al. 1997b).

Metodika

Vzorky granátických ryolitov (Lesné - Potičky) až ryodacitov (Beňatina) boli odoberané z opustených kameňolomov a z hornej časti potoka Beňatinská voda (obr. 2). Štúdium priestorovej distribúcie a objemovej kvantifikácie minerálnych inklúzií v granátoch prebiehalo pomocou metódy rtg. mikrotomografie. Na Ústave merania SAV v Bratislave bol priestorovo skenovaný jeden granát z lokality Lesné – Potičky a jeden z lokality Beňatinská voda na rtg. mikrotomografe Nanotom 180 (GE Phoenix). Mikrotomografické snímání (μ CT) granátov bolo realizované pri nasledovných analytických podmienkach: urýchľovacie napätie 150 kV, prúd 90 mA, akumuláčný čas detektora 500 ms. Transmisný volfrámový terčik predstavuje bodový zdroj rtg. žiarenia s nanofokusáciou a výkonom 15 W. Detektor rtg. žiarenia scintilačného typu (CsI) s maticovým fotodetektorom má rozlíšenie 2300 x 2300 pixelov (jeden pixel má 50 x 50 μ m). Voxelové rozlíšenie pri re-

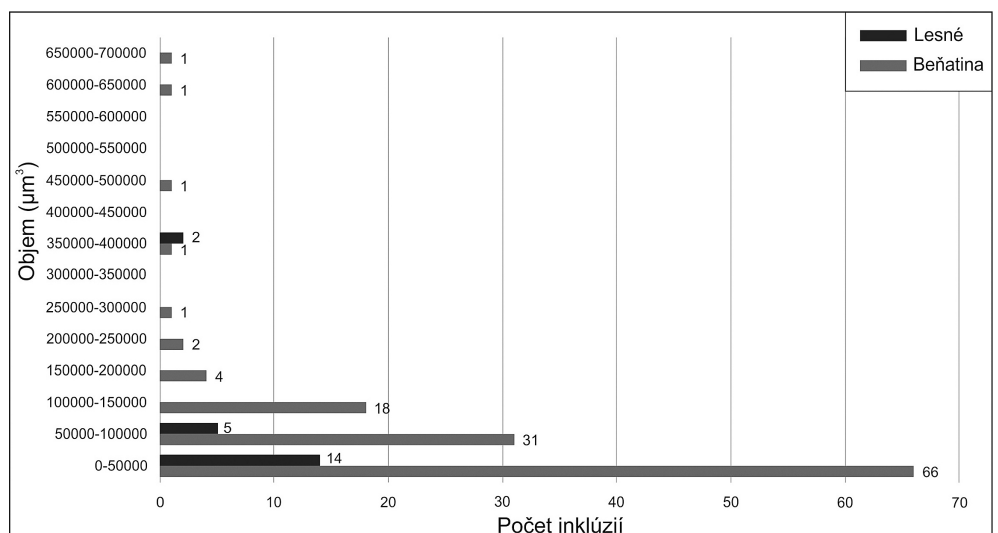


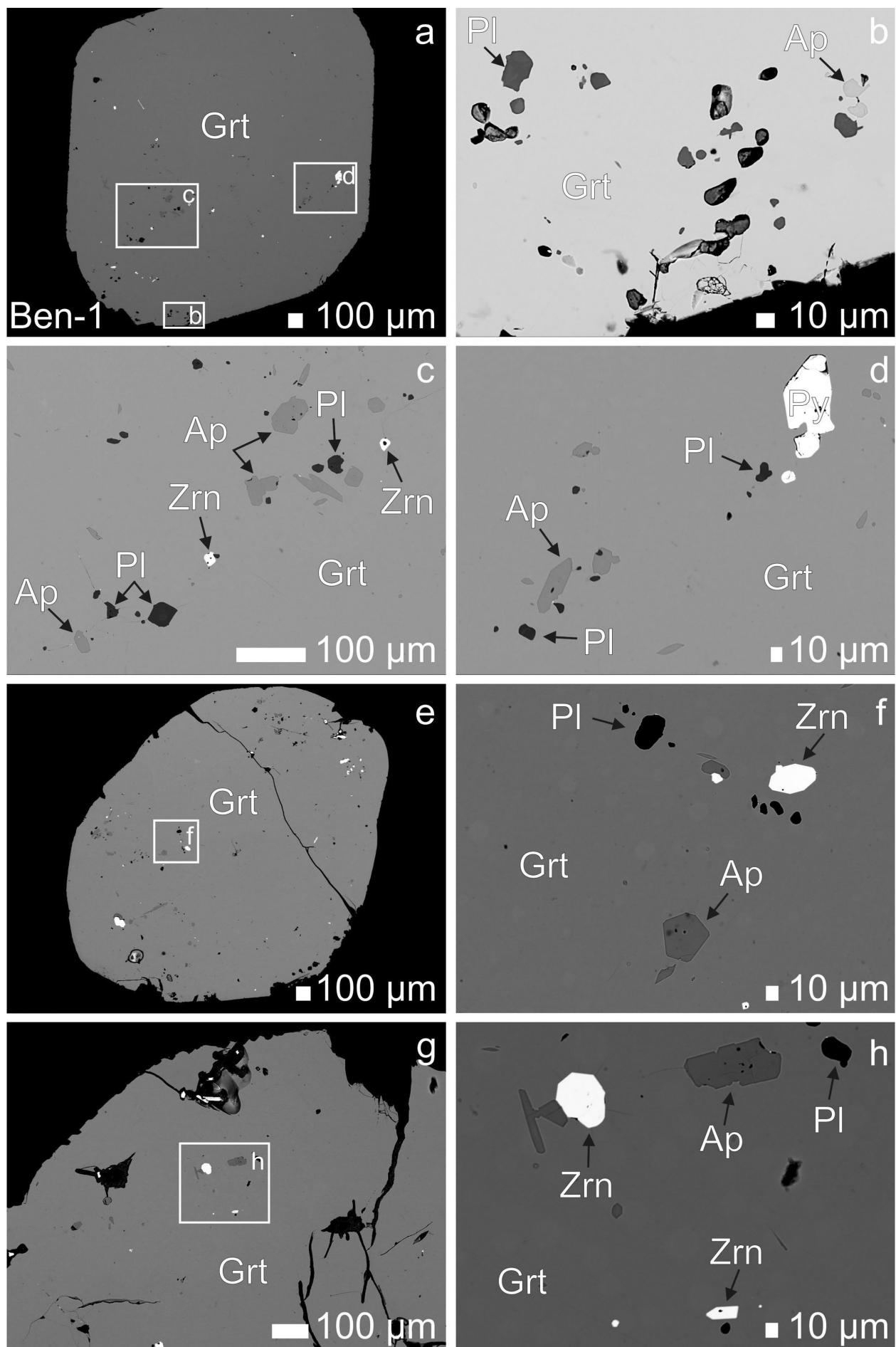
Obr. 3 Výsledky mikrotomografického snímání granátu z lokality Beňatinská voda (vzorka Ben-1): a-c) 2D rezy v troch kolmých rovinách; d) 3D vizualizácia povrchu granátu; e) 3D vizualizácia distribúcie 126 minerálnych inklúzií v granáte s pseudofarebne zvýraznenými detailmi skupinovými objemovými veľkosťami v transparentne upravenom hostiteľskom granáte. Foto M. Hain; f) pozícia granátu v ryodacite. Foto J. Demian.



Obr. 4 Výsledky mikrotomografického snímání granátu z lokality Lesné - Potičky (vzorka Les-2): a-c) 2D rezy v troch kolmých rovinách; d) 3D vizualizácia povrchu granátu; e) 3D vizualizácia distribúcie 21 minerálnych inklúzií v granáte s pseudofarebne zvýraznenými detailmi skupinových objemových veľkostí v transparentne upravenom hostiteľskom granáte. Foto M. Hain; f) pozícia granátu v rýolite. Foto P. Myšľan.

Obr. 5 Distribučný graf vyjadrujúci početnosť objemového zastúpenia minerálnych inklúzií v dvoch rtg. mikrotomograficky analyzovaných granátoch z lokalít Lesné a Beňatina.





Obr. 6 BSE zobrazenie analyzovaných fáz prítomných v granátoch z lokality Beňatinská voda. Foto T. Mikuš. Skratky minerálov: Grt - granát, Zrn - zirkón, Ap - apatit, Pl - plagioklas, Py - pyrit. Vzorka Ben-1 je granát, ktorý bol mikrotomograficky spracovaný.

←

konštrukcii 3D obrazu dosahuje minimálnu hodnotu 0.5 μm pri objektoch veľkých 1 mm.

Postup snímania, spracovania a vyhodnotenia μCT granátov prebiehal v troch fázach:

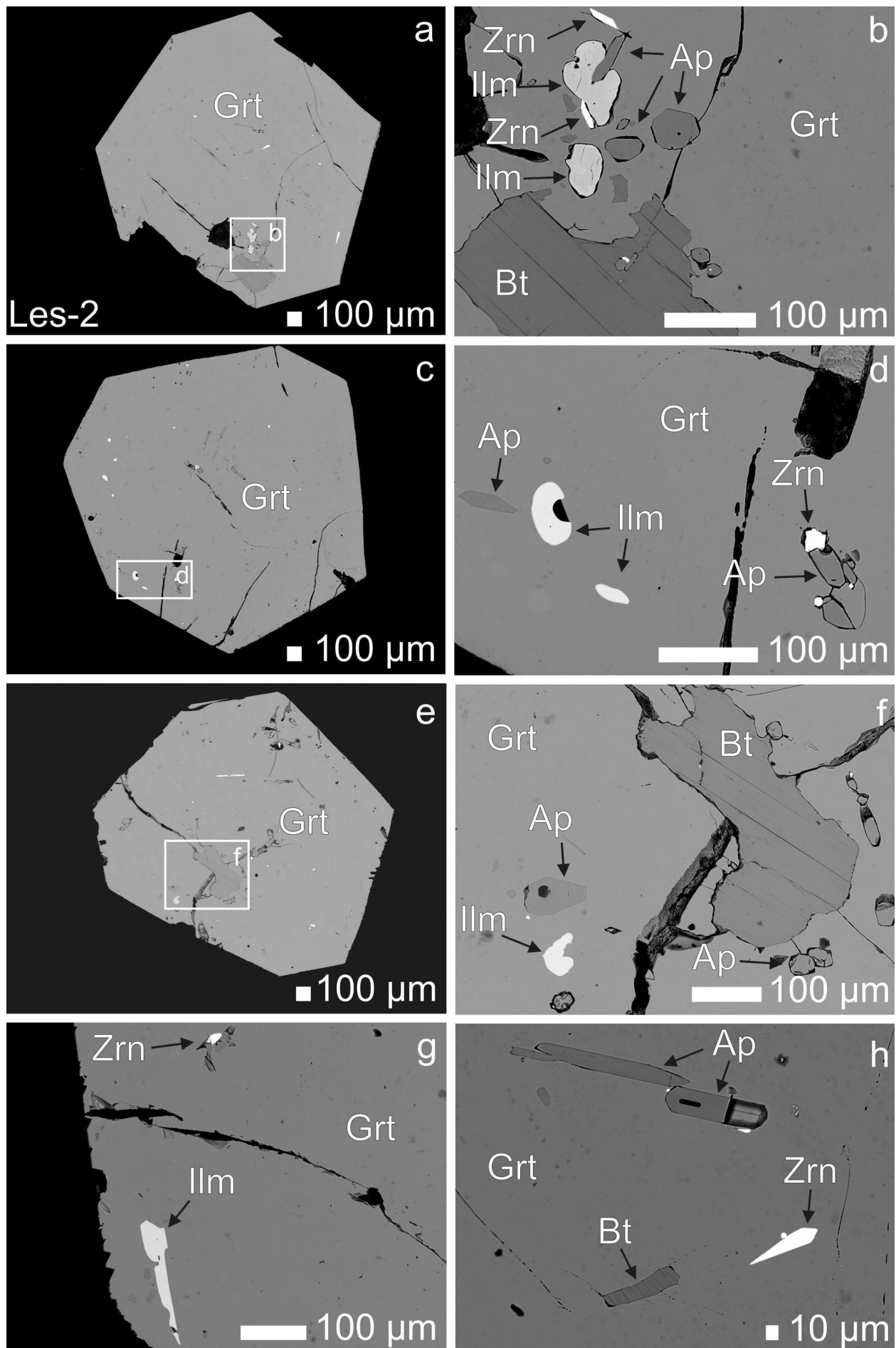
1. Fáza snímania 1800 röntgenových 2D projekcií granátu v kužeľovom rtg. zväzku premietaných na plošný 2D detektor postupnou rotáciou granátu okolo svojej osi o 360° s definovaným krokom uhlového pootočenia o $0^\circ 12'$;
2. Fáza počítačovej rekonštrukcie 3D obrazu zo súboru nameraných 2D rtg. projekcií pomocou klastra ôsmich vysokovýkonných počítačov s využitím rekonštrukčného softvéru Datas|x;
3. Fáza počítačového spracovania, 3D vizualizácie a analýzy objemových dát pomocou softvéru VG StudioMAX 2.1 s cieľom objemovej kvantifikácie a stanovenia distribúcie minerálnych inklúzií v granáte.

Na získanie štatistických údajov bolo vyseparovaných 16 granátov z obidvoch lokalít, ktoré boli následne použité na identifikáciu chemického zloženia granátov a ich minerálnych inklúzií. Zhotovené leštené nábrusy po naparení uhlíkom boli študované v elektrónovom mikroskopu JEOL JXA 8530FE na Ústave vied o Zemi

Slovenskej akadémie vied v Banskej Bystrici. Vzorky boli analyzované pri urýchľovacom napätí 15 kV a prúde 20 nA. Priemer elektrónového lúča sa prispôboval počas merania v rozsahu 1 - 8 μm . Použila sa ZAF korekcia. Plošná distribúcia minerálnych inklúzií v granátoch sa pozorovala v spätne rozptýlených elektrónoch (BSE - back scattered electron). Na meranie silikátov, apatitu a Fe-Ti oxidov boli použité prírodné a syntetické štandardy (rtg. línie): Si (K α) - ortoklas a albit, Ti (K α) - rutil, Zr (L α) - kubická zirkónia, Al (K α) - albit a ortoklas, Fe (K α) - hematit, Zn (K α) - gahnit, Sr (L α) - celestín, Mn (K α) - rodonit, Mg (K α) - diopsid a biotit, Ca (K α) - diopsid a apatit, Na (K α) - albit, K (K α) - ortoklas, Ba (L α) - barit, P (K α) - apatit, F (K α) - fluorit, Cl (K α) - tugtupit, S (K α) - barit, Hf (M α) - kubická zirkónia, Th (M α) - torianit, U (M β) - UO₂, Sc (K α) - ScVO₄, Y (L α) - YPO₄, La (L α) - LaPO₄, Ce (L α) - CePO₄, Dy (L α) - DyPO₄, Er (L α) - ErPO₄, Yb (L α) - YbPO₄, Lu (L α) - LuPO₄, Nb (L α) - LiNbO₃, Sm (L β) - SmPO₄, Pr (L β) - PrPO₄, Nd (L α) - NdPO₄. Elektrónové mikroanalýzy boli prepočítané v zmysle platných klasifikácií granátov (Grew et al. 2013), slúd (Tischendorf et al. 2007) a apatitu (Pasero et al. 2010). V texte používané slovenské názvy minerálov sú upravené podľa Ozdína a Uhera (2002).

Tabuľka 1 Reprezentatívne elektrónové mikroanalýzy granátov (hm. %) prepočítané na 8 katiónov (apfu) a zastúpenie ich koncových členov (mol. %). Obsahy FeO a Fe₂O₃ boli prepočítané na základe nábojovej bilancie molekuly.

Lokalita	Beňatinská voda						Lesné - Potičky					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	36.35	36.95	36.19	36.44	36.48	36.43	37.32	37.29	37.39	37.31	37.64	37.44
TiO ₂	0.37	0.38	0.38	0.44	0.37	0.34	0.29	0.22	0.26	0.27	0.27	0.27
Al ₂ O ₃	20.21	20.70	20.31	20.38	20.21	20.47	21.05	21.11	21.12	20.88	21.24	21.03
Fe ₂ O ₃	1.42	1.26	0.99	1.42	1.25	0.67	0.13	0	0	0	0	0
FeO	32.04	32.24	31.60	31.72	31.78	31.96	32.23	32.26	32.05	31.89	32.00	31.90
MnO	0.95	0.98	0.84	1.07	0.97	0.84	1.58	1.52	1.60	1.26	1.68	1.71
MgO	1.35	1.39	1.37	1.31	1.45	1.38	2.27	2.22	2.17	2.19	2.15	2.17
CaO	6.54	6.89	6.81	6.90	6.72	6.70	5.48	5.24	5.64	5.60	5.52	5.83
Suma	99.24	100.77	98.50	99.67	99.23	98.80	100.33	99.85	100.23	99.39	100.50	100.35
Si ⁴⁺	2.963	2.962	2.965	2.956	2.969	2.974	2.986	2.998	2.994	3.011	3.006	2.995
Al ³⁺	0.037	0.038	0.035	0.044	0.031	0.026	0.014	0.002	0.006	0	0	0.005
Suma Z	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.011	3.006	3.000
Ti ⁴⁺	0.022	0.023	0.023	0.027	0.023	0.021	0.017	0.013	0.016	0.016	0.016	0.016
Al ³⁺	1.905	1.917	1.927	1.904	1.909	1.943	1.971	1.997	1.987	1.987	1.999	1.976
Fe ³⁺	0.087	0.076	0.061	0.087	0.077	0.041	0.008	0	0	0	0	0
Suma Y	2.015	2.016	2.011	2.017	2.008	2.005	1.996	2.011	2.002	2.003	2.016	1.992
Fe ²⁺	2.184	2.161	2.165	2.152	2.163	2.182	2.157	2.169	2.146	2.152	2.137	2.134
Mn ²⁺	0.066	0.067	0.058	0.074	0.067	0.058	0.107	0.103	0.109	0.086	0.114	0.116
Mg ²⁺	0.164	0.165	0.167	0.158	0.175	0.168	0.270	0.266	0.259	0.264	0.256	0.259
Ca ²⁺	0.571	0.591	0.598	0.599	0.586	0.586	0.470	0.451	0.484	0.484	0.472	0.499
Suma X	2.985	2.984	2.989	2.983	2.992	2.995	3.004	2.989	2.998	2.986	2.979	3.008
Alm	73.16	72.41	72.44	72.14	72.30	72.86	71.81	72.77	71.71	72.46	72.14	70.97
Prp	5.51	5.55	5.60	5.29	5.86	5.62	9.00	8.82	8.61	8.71	8.46	8.60
Sps	2.21	2.23	1.96	2.47	2.23	1.94	3.55	3.43	3.61	2.83	3.76	3.85
Adr	0.82	0.74	0.60	0.86	0.75	0.40	0.06	0	0	0	0	0
Grs	18.31	19.07	19.39	19.24	18.85	19.17	15.58	15.09	16.13	16.22	15.86	16.60



Obr. 7 BSE zobrazenie analyzovaných fáz prítomných v granátoch z lokality Lesné - Potičky. Foto T. Mikuš. Skratky minerálov: Grt - granát, Zrn - zirkón, Ap - apatit, Bt - biotit (annit), Ilm - ilmenit. Vzorka Les-2 je granát, ktorý bol mikrotomograficky spracovaný.

←

Výsledky

3D distribúcia minerálnych inklúzií v granátoch

K prvým μ CT výstupom patria 2D projekcie granátov z Lesného (obr. 3a-c) a Beňatinskej vody (obr. 4a-c) v rôzne zvolených rovinách resp. rezoch. Následne z nich boli rekonštruované 3D vizualizácie povrchu granátov s viditeľnými kryštalovými plochami a s finálnym zobrazením vnútornej konfigurácie minerálnych inklúzií (obr. 3d-e, 4d-e). Makroskopicky sú dobre rozpoznateľné kryštalové tvary granátov (obr. 3f, 4f). Granát z lokality Lesné - Potičky má prevládajúci kryštalový tvar tetragón-tri-oktaéder a granát z lokality Beňatinská voda má tvary rombododekádra a tetragón-tri-oktaédra.

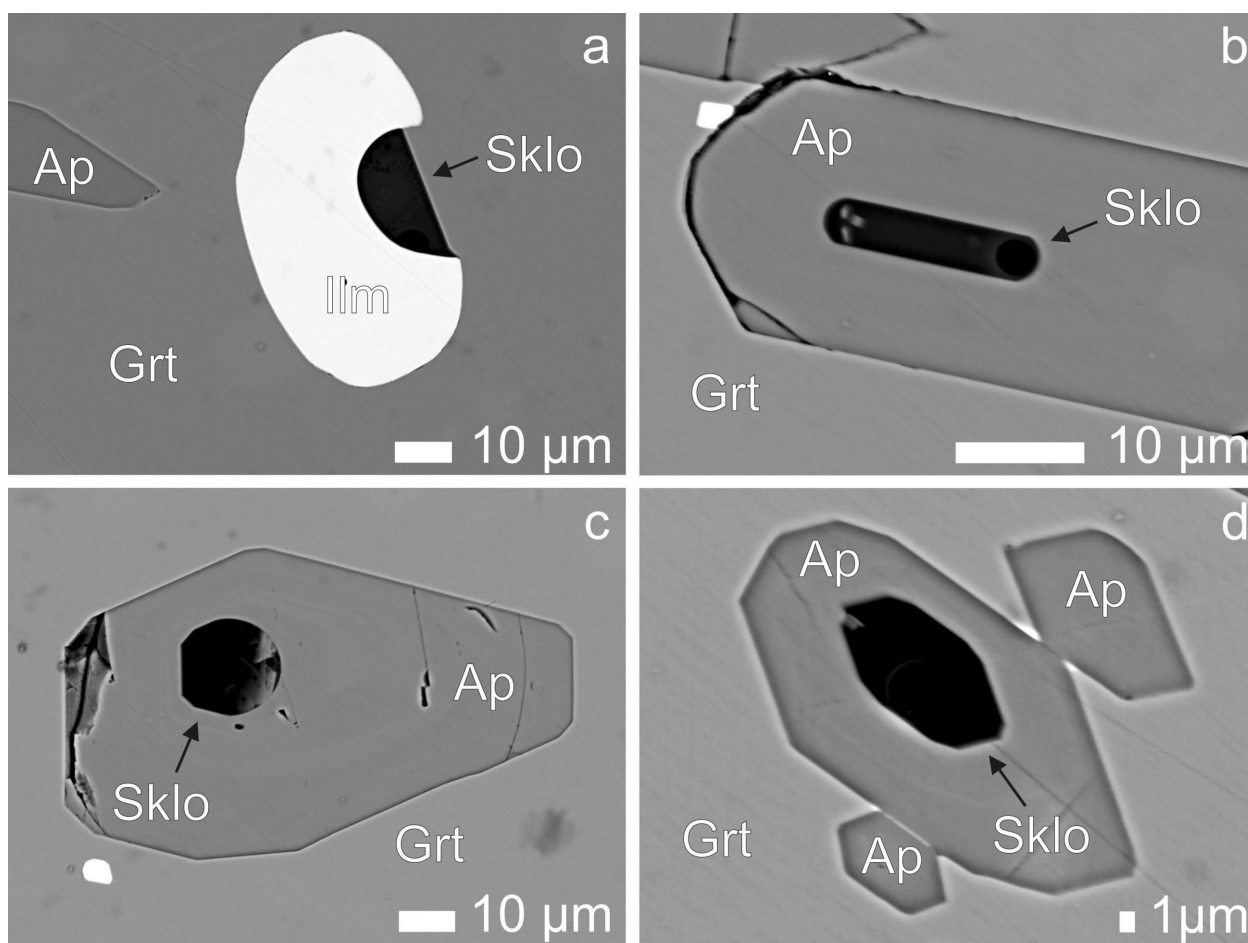
Postup vizualizácie 3D distribúcie minerálnych inklúzií vychádzal z rozdielnej absorpcie meracieho zväzku rtg. žiarenia medzi hostiteľským granátom a jeho inklúziami. Inklúzie prejavovali najvyššiu absorpciu, pretože oproti granátom majú odlišné chemické zloženie, čím vytvárajú dostatočný obrazový kontrast. Na základe vyššej lokálnej absorpcie rtg. žiarenia v oblasti minerálnych inklúzií bolo možné v 3D rekonštruovanom obraze vyextrahovať jednotlivé inklúzie s ich prirodzeným tvarovým ohraničením.

Výsledná 3D vizualizácia poskytla reálny distribučný obraz objemového zastúpenia minerálnych inklúzií v granátoch, ktorá bola štatisticky spracovaná. Jednotlivé veľkostné skupiny objemového zastúpenia minerálnych inklúzií v granátoch boli pseudofarebne zvýraznené (obr. 3e, 4e).

V granáte veľkosti 2.6 mm z lokality Lesné - Potičky bolo identifikovaných 21 minerálnych inklúzií s rôznym objemovým zastúpením (obr. 5). V granáte veľkosti 3.5 mm z lokality Beňatinská voda bolo identifikovaných 126 minerálnych inklúzií s variabilným objemovým zastúpením (obr. 5).

Identifikácia granátov a minerálnych inklúzií

Plošnú distribúciu zastúpenia minerálnych inklúzií v granátoch poskytlo štúdium nábrusov v režime BSE (obr. 6, 7, 8). Prevažne tmavočervené granáty z lokality Lesné - Potičky a Beňatinská voda majú dominantne zastúpenú almandínovú zložku (70.97 - 73.16 mol. %) s nižším podielom grosulárovej zložky (15.09 - 19.39 mol. %) a minimálne je zastúpená pyropová (5.29 - 9.00 mol. %) a andraditová (0 - 0.86 mol. %) zložka (obr. 9a; tab. 1). Granáty z lokality Lesné - Potičky majú voči granátom z lokality Beňatinská



Obr. 8 BSE zobrazenie analyzovaných tavenín v granátoch z lokality Lesné - Potičky. Foto T. Mikuš. Skratky minerálov: Grt - granát, Ap - apatit, Ilm - ilmenit.

voda viac zastúpenú pyropovú a spessartínovú zložku, menej dominantná je almandínová a grosulárová zložka. V granátoch z lokality Beňatinská voda (obr. 6) boli identifikované minerálne inklúzie zastúpené zirkónom (tab. 2), fluórapatitom (tab. 3; obr. 9b), plagioklasom (tab. 5; obr. 9c), minoritne aj pyritom. Plagioklasy majú zloženie $An_{78.53-57.12}$. Z minerálnych inklúzií bol v granátoch (obr. 7) z lokality Lesné - Potičky identifikovaný zirkón (tab. 2), fluórapatit (tab. 3; obr. 9b), ilmenit (tab. 4), annit (tab. 6; obr. 9d) a tavenina acidného zloženia (tab. 7; obr. 11). Ilmenit obsahuje 1.99 - 2.26 mol. % geikielitovej ($MgTiO_3$) a 1.11 - 1.27 mol. % pyrofanitovej ($MnTiO_3$) komponenty. Minerály apatitovej superskupiny sú dominantne zastúpené fluórapatitom na oboch lokality, s podielom F 0.582 - 0.726 *apfu*, Cl 0.034 - 0.042 *apfu* a OH 0.236 -

0.378 *apfu*. Zirkóny zo skúmaných lokalít obsahujú 0.011 - 0.016 *apfu* Hf bez výrazného obohatenia o Y+REE prvky (max. do 0.016 *apfu*).

Genetická interpretácia granátov a inklúzií tavenín

Primárne magmatické granáty s dominantným zastúpením almandínovej zložky na základe experimentálnych údajov (Green 1977) môžu kryštalizovať priamo z peraluminóznej silikátovej taveniny vo vysokotlakových podmienkach (nad 7 kbar) a pri vyšších teplotách (~1000 °C) indikujúcich hĺbku nad 25 km. Od metamorfného pôvodu sa odlišujú neprítomnosťou metamorfných fáz (staurolit, sillimanit, cordierit) a charakteristickým tvarom ich okrajov. Nízky obsah MnO (do 2 hm. %) a vyšší obsah CaO (nad 5 hm. %) indikuje magmatický pôvod granátov vykryštalizovaných z taveniny uloženej v magmatickom rezervoári

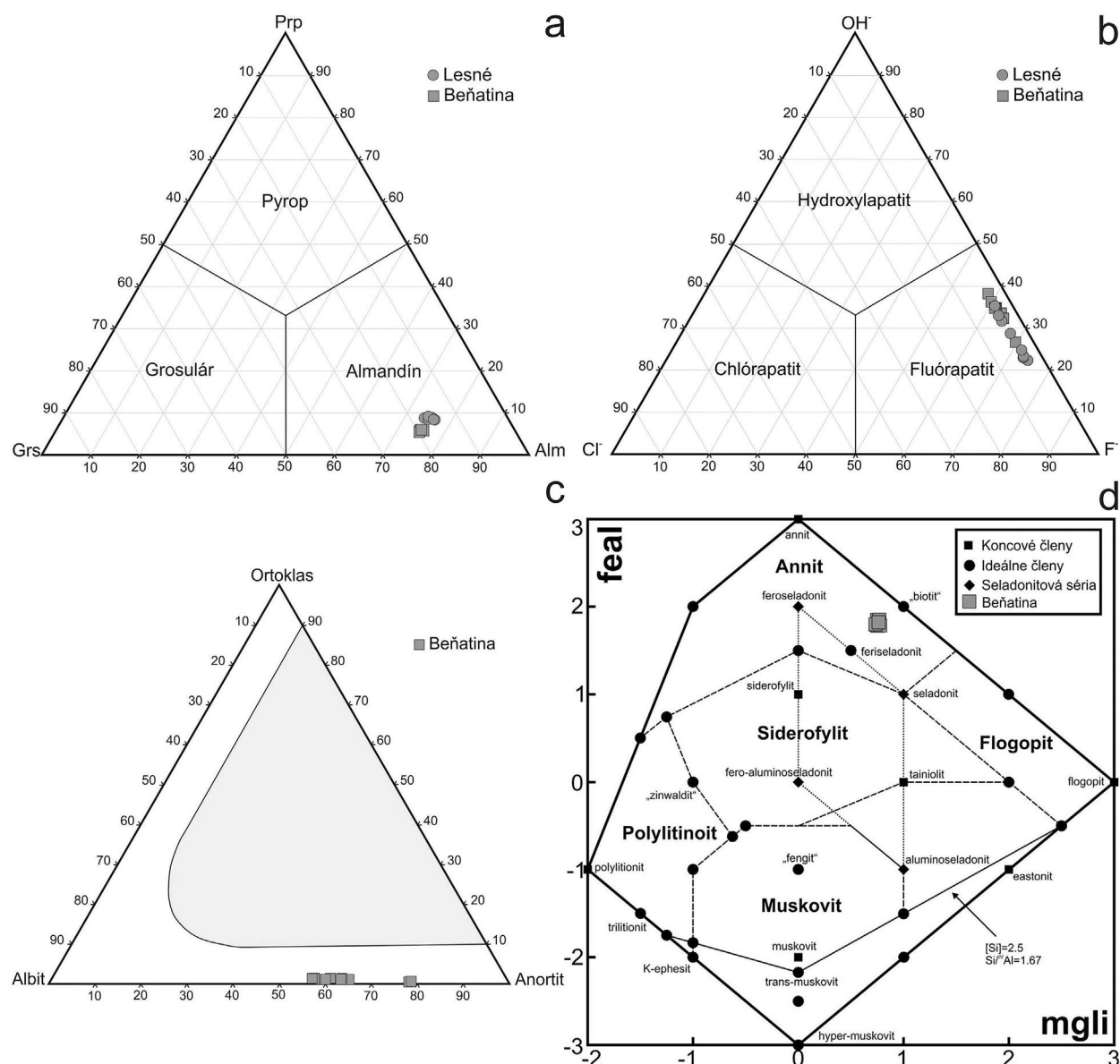
Tabuľka 2 Reprezentatívne elektrónové mikroanalýzy zirkónu (hm. %) prepočítané na 4 kyslíky (*apfu*).

Lokalita	Beňatinská voda					Lesné - Potičky				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Analýza										
SiO ₂	32.90	32.61	32.67	32.39	32.92	32.83	32.93	32.92	31.99	32.22
TiO ₂	0	0.09	0.04	0.05	0	0.10	0.37	0.14	0.06	0.03
ZrO ₂	64.74	65.64	64.23	65.12	63.56	61.70	64.51	65.25	64.29	65.44
HfO ₂	1.28	1.30	1.82	1.24	1.39	1.34	1.35	1.50	1.41	1.21
ThO ₂	0.05	0.03	0.03	0.09	0.01	0.20	0.16	0.10	0.01	0.14
UO ₂	0.06	0.11	0.07	0.10	0.07	0.19	0.22	0.12	0.08	0.12
Al ₂ O ₃	0.08	0.01	0	0.01	0.74	0.86	0.02	0.07	0.16	0
Sc ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0.02	0.07	0.04	0	0.11
Y ₂ O ₃	0.14	0.16	0.04	0.22	0.10	0.69	0.59	0.25	0.20	0.56
La ₂ O ₃	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0
Ce ₂ O ₃	0.03	0.02	0	0	0	0.04	0	0.01	0.01	0.09
Dy ₂ O ₃	0.10	0.04	0.08	0.04	0.01	0.12	0.09	0.03	0.05	0.06
Er ₂ O ₃	0	0.05	0.02	0.04	0.02	0.13	0.13	0	0.04	0.12
Yb ₂ O ₃	0.09	0.05	0.05	0.12	0.07	0.18	0.14	0.06	0.03	0.33
Lu ₂ O ₃	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0.01	0.06	0.04
FeO	1.14	0.87	0.89	0.88	0.85	2.08	1.14	1.14	0.72	1.04
MnO	0	0.06	0.11	0.09	0.05	0.19	0.04	0.01	0	0.02
CaO	0.05	0.03	0.03	0.03	0.45	0.34	0.05	0.08	0.31	0.04
BaO	0.20	0.13	0	0	0	0.04	0.03	0.21	0	0
Suma	100.85	101.20	100.08	100.40	100.25	101.05	101.83	101.93	99.43	101.56
Si	1.003	0.994	1.004	0.995	1.003	0.998	0.997	0.996	0.991	0.984
Ti	0	0.002	0.001	0.001	0	0.002	0.008	0.003	0.001	0.001
Al	0.003	0	0	0	0.027	0.031	0.001	0.002	0.006	0
Suma B	1.006	0.996	1.005	0.996	1.029	1.031	1.006	1.002	0.998	0.985
Zr	0.963	0.975	0.963	0.975	0.944	0.915	0.953	0.963	0.971	0.975
Hf	0.011	0.011	0.016	0.011	0.012	0.012	0.012	0.013	0.012	0.011
Th	0	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001
U	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Sc	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0	0.003
Y	0.002	0.003	0.001	0.004	0.002	0.011	0.010	0.004	0.003	0.009
La	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
Dy	0.001	0	0.001	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001
Er	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001
Yb	0.001	0	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.003
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0
Fe	0.029	0.022	0.023	0.023	0.022	0.053	0.029	0.029	0.019	0.026
Mn	0	0.002	0.003	0.002	0.001	0.005	0.001	0	0	0
Ca	0.002	0.001	0.001	0.001	0.015	0.011	0.002	0.002	0.010	0.001
Ba	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0.002	0	0
Suma A	1.012	1.018	1.008	1.018	0.997	1.015	1.014	1.017	1.019	1.034
Suma A+B	2.018	2.014	2.014	2.014	2.026	2.046	2.020	2.019	2.017	2.019
Y+REE	0.004	0.004	0.002	0.005	0.003	0.016	0.013	0.005	0.005	0.015

Tabuľka 4 Reprezentatívne elektrónové mikroanalýzy ilmenitu (hm. %) prepočítané na 2 katióny (apfu).

Lokalita	Lesné - Potičky				
	Analýza	1	2	3	4
SiO ₂	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02
TiO ₂	50.73	49.10	49.53	48.71	50.35
Al ₂ O ₃	0.09	0.08	0.10	0.09	0.08
FeO ₁	46.31	46.56	45.94	46.49	45.76
MnO	0.55	0.57	0.60	0.53	0.57
MgO	0.61	0.58	0.57	0.54	0.55
ZnO	0.03	0	0.07	0.03	0.04
Suma	98.33	96.93	96.83	96.39	97.37
Si	0.001	0.001	0.001	0	0.001
Ti	0.973	0.955	0.965	0.953	0.976
Al	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
Fe	0.988	1.007	0.995	1.011	0.986
Mn	0.012	0.012	0.013	0.012	0.013
Mg	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
Zn	0	0	0.001	0.001	0.001
Suma	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

naše analýzy. V ryodacitoch z Beňatinskej vody granáty tvoria 0.12 - 3.70 obj. % horniny, kým v Lesnianskych ryolitoch bolo stanovené zastúpenie granátov v rozsahu 0.08 - 1.5 obj. % (Jakabská, Timčák 1978; Šalát et al. 1979). Čech a Matherny (1958) skúmali morfológiu granátov z ryolitov južne od Lesného a podľa ich vyjadrenia predstavujú spojky tetragón-tri-oktaédra, ktorý prevláda nad rombododekaédrom. Slávik (1970) považuje almandínové granáty za typomorfné minerály potvrdzujúce prítomnosť ryodacitových extrúzií v neovulkanitoch Vihorlatu.



Obr. 9 Analyzované fázy vynesené do klasifikačných diagramov: a) granátová superskupina (Grew et al. 2013); b) apatitová superskupina (Pasero et al. 2010); c) živce; d) sludy (Tischendorf et al. 2007).

Podľa Konečného et al. (2010) majú almandínové granáty v ryolitových až ryodacitových extrúziách Lesné a Beňatina, ktoré vznikli počas sarmatského vulkanizmu, pomerne homogénne zloženie a obsahujú inklúzie zirkónu a apatitu magmatického pôvodu. Fenokrysty granátov s rozmermi od 0.2 do 3 mm pravdepodobne vznikli pri kryštalizácii magmy v magmatickom rezervoári v hĺbke cca 50 až 70 km za vysokých tlakov (Zorkovský 1953; Šalát et al. 1979). Magmatické granáty s dominantným almandínovým zložením môžu kryštalizovať v hĺbke nad 25 km priamo v magmatickom rezervoári s M-/I-typovými magmatickými taveninami pri tlakoch nad 7 kbar a teplote ~1000 °C, pričom dosahujú hodnoty MnO do 2 hm. % a obsah CaO nad 5 hm. % (Green 1977, 1992; Harangi et al. 2001; Bach et al. 2012). Granáty analyzované v tejto práci z lokalít Lesné a Beňatina dosahujú hodnoty CaO v intervale 5.24 - 6.90 hm. % a MnO 0.84 - 1.71 hm. %, čo potvrdzuje ich predpokladaný genetický pôvod zhodujúci sa s prácami predchádzajúcich autorov.

Záver

Priestorové zobrazenie reálnej objemovej distribúcie a veľkostí zosnímaných minerálnych inklúzií v granátoch umožňuje nedeštruktívnym spôsobom získať doplnujúce informácie priebehu genetických procesov, ktoré sa odohrali počas geodynamického vývoja skúmanej oblasti. Pomocou rtg. mikrotomografie bolo priestorovo zobrazených 126 minerálnych inklúzií v granátoch z Beňatinskej

vody a 21 inklúzií v granátoch z lokality Lesné - Potičky, pričom každá inklúzia má stanovený objem a vizualizovanú priestorovú pozíciu. Podľa 3D zobrazenia minerálnych inklúzií a na základe ich mikrosondových analýz predpokladáme, že zobrazené tvary zodpovedajú inklúziám zirkónov, fluóropatitom, ilmenitom a pyritom, ktoré obsahujú rtg. kontrastnejšie prvky, umožňujúce ich výraznejšie obrysové vyobrazenie tvarov.

Zastúpenie troch dominantných koncových členov v rámci zloženia granátov z lokality Lesné - Potičky je nasledovné $Alm_{71.0-73.7}Prp_{8.3-9.0}Grs_{14.7-16.6}$ na rozdiel od zloženia granátov z Beňatinskej vody $Alm_{72.1-73.2}Prp_{5.5-5.9}Grs_{18.3-19.4}$. Na základe chemického zloženia sa potvrdil vysokotlakový pôvod granátov asociovaných s I-typovými magmami.

Zloženie inklúzií zirkónov a fluóropatitov v granátoch z obidvoch skúmaných lokalít je veľmi podobné. Rozdiely sú hlavne v zastúpení ostatných inklúzií, pričom v granátoch z lokality Lesné - Potičky bol identifikovaný ilmenit, annit a tavenina uzavretá v inklúziách apatitu, kým v granátoch z Beňatinskej vody bol prítomný bázický plagioklas dominantnejšie zastúpený anortitovým komponentom.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0050 a grantom VEGA 1/0151/19. Vyslovujeme poďakovanie recenzentom článku za podnetné pripomienky, ktoré prispeli k skvalitneniu rukopisu.

Tabuľka 5 Reprezentatívne elektrónové mikroanalýzy plagioklasov (hm. %) prepočítané na 5 katiónov (apfu). Obsahy FeO a Fe₂O₃ boli prepočítané na základe nábojovej bilancie molekuly.

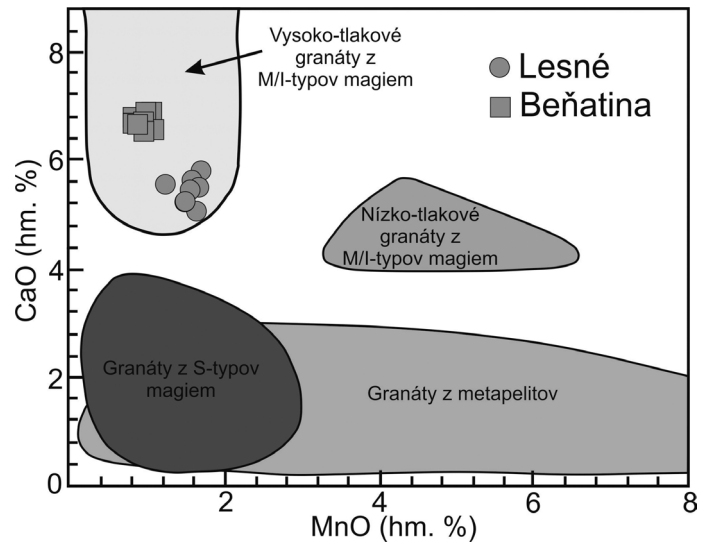
Lokalita	Beňatinská voda							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Analýza								
SiO ₂	53.67	52.23	48.53	53.59	52.88	53.09	48.30	52.03
Al ₂ O ₃	28.95	29.48	32.09	28.91	29.26	29.18	32.40	30.04
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.70	0.79	0.60	0.75	0.64	0.57	0.69	0.66
MnO	0.03	0.04	0.07	0.07	0.06	0.04	0.06	0.07
SrO	0.09	0.05	0.05	0.09	0.03	0.04	0.05	0.07
CaO	11.68	12.53	15.48	11.40	12.14	11.99	15.59	12.76
Na ₂ O	4.40	3.91	2.36	4.59	4.21	4.38	2.30	3.73
K ₂ O	0.18	0.19	0.06	0.21	0.20	0.19	0.09	0.18
Suma	99.69	99.21	99.24	99.61	99.42	99.46	99.47	99.54
Si ⁴⁺	2.438	2.393	2.240	2.438	2.413	2.420	2.227	2.376
^{IV} Al ³⁺	0.562	0.607	0.760	0.562	0.587	0.580	0.773	0.624
^{VI} Al ³⁺	0.989	0.984	0.986	0.989	0.987	0.988	0.987	0.992
Suma T	3.989	3.984	3.986	3.989	3.987	3.988	3.987	3.992
Fe ²⁺	0.027	0.030	0.023	0.029	0.024	0.022	0.026	0.025
Mn ²⁺	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003
Sr ²⁺	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
Ca ²⁺	0.569	0.615	0.766	0.556	0.594	0.585	0.770	0.624
Na ⁺	0.388	0.347	0.211	0.405	0.372	0.387	0.206	0.331
K ⁺	0.010	0.011	0.003	0.012	0.012	0.011	0.005	0.010
Suma M	0.997	1.006	1.008	1.007	1.005	1.007	1.011	0.995
Albit	40.13	35.66	21.55	41.60	38.08	39.35	20.95	34.24
Anortit	58.81	63.18	78.10	57.12	60.72	59.54	78.53	64.68
Ortoklas	1.06	1.16	0.35	1.28	1.21	1.11	0.52	1.08

Tabuľka 6 Reprezentatívne elektrónové mikroanalýzy slúd (hm. %) prepočítané na 11 kyslíkov (apfu). Symbol * vyjadruje dopočítanie H₂O. Obsahy FeO a Fe₂O₃ boli prepočítané na základe nábojovej bilancie molekuly.

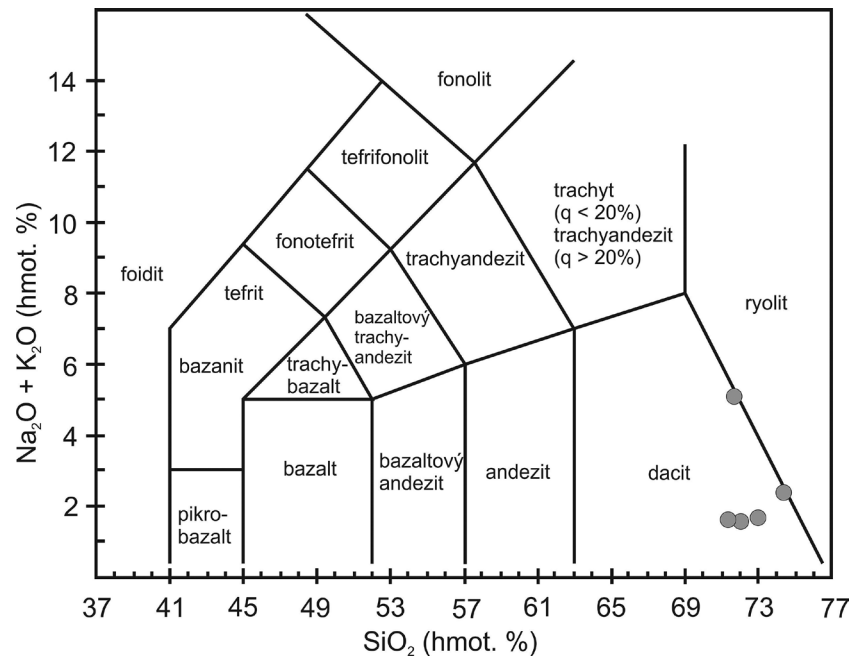
Lokalita	Lesné - Potičky					
Analýza	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	35.68	35.62	36.11	36.24	35.88	35.97
TiO ₂	4.24	4.17	4.63	4.64	4.20	4.19
Al ₂ O ₃	15.30	15.26	15.28	15.39	15.32	15.51
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
FeO	26.89	26.09	26.25	25.79	26.46	26.03
MnO	0.07	0.08	0.13	0.13	0.20	0.08
MgO	6.37	6.44	6.59	6.41	6.92	6.99
Na ₂ O	0.19	0.21	0.18	0.29	0.24	0.18
K ₂ O	9.08	9.08	9.12	8.76	9.03	9.09
BaO	0.45	0.50	0.46	0.46	0.48	0.56
F	0	0	0	0.05	0.49	0.09
Cl	0.13	0.14	0.14	0.13	0.15	0.14
H ₂ O*	3.87	3.85	3.90	3.88	3.70	3.87
-O=F	0	0	0	-0.02	-0.21	-0.04
-O=Cl	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
Suma	102.25	101.40	102.76	102.11	102.82	102.60
Si ⁴⁺	2.741	2.751	2.749	2.762	2.708	2.736
^{IV} Al ³⁺	1.259	1.249	1.251	1.238	1.292	1.264
Suma T	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti ⁴⁺	0.245	0.242	0.265	0.266	0.238	0.240
^{VI} Al ³⁺	0.126	0.141	0.120	0.144	0.070	0.127
Fe ²⁺	1.727	1.685	1.671	1.644	1.670	1.656
Mn ²⁺	0.004	0.005	0.008	0.008	0.013	0.005
Mg ²⁺	0.729	0.741	0.748	0.729	0.779	0.793
□	0.168	0.185	0.188	0.209	0.230	0.180
Suma M	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ba ²⁺	0.013	0.015	0.014	0.014	0.014	0.017
Na ⁺	0.028	0.031	0.027	0.043	0.035	0.026
K ⁺	0.889	0.895	0.886	0.852	0.870	0.882
□	0.069	0.059	0.073	0.091	0.081	0.076
Suma I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
F ⁻	0	0	0	0.013	0.117	0.021
Cl ⁻	0.017	0.018	0.018	0.016	0.019	0.018
OH ⁻	1.983	1.982	1.982	1.971	1.864	1.962
Suma A	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Tabuľka 7 Reprezentatívne elektrónové mikroanalýzy magmatických tavenín (hm. %).

Lokalita	Lesné - Potičky				
Analýza	1	2	3	4	5
P ₂ O ₅	0.34	0.09	4.64	3.70	3.31
SiO ₂	74.42	71.70	73.01	71.40	72.09
TiO ₂	0.11	0.09	0.06	0.06	0
Al ₂ O ₃	12.73	12.65	12.4	12.52	12.43
FeO _{Total}	0.49	1.21	0.27	0.39	0.45
MnO	0.09	0.05	0.08	0.08	0.01
MgO	0	0.09	0.02	0.01	0.01
SrO	0.04	0.01	0.06	0.04	0.04
BaO	0.04	0.16	0.08	0.03	0.05
CaO	2.40	2.46	3.14	4.20	4.20
Na ₂ O	0.71	0.95	0.47	0.36	0.49
K ₂ O	1.69	4.14	1.21	1.25	1.08
Suma	93.05	93.61	95.06	94.02	94.16



Obr. 10 Zobrazenie analyzovaných granátov v CaO vs. MnO diagrame podľa Harangi et al. (2001).



Obr. 11 Analyzované taveniny v granátoch z lokality Lesné - Potičky zobrazené v TAS (Total Alkali vs. Silica) diagrame (Le Bas et al. 1986).

Literatúra

- BACH P, SMITH I E M, MALPAS J G (2012) The origin of garnets in andesitic rocks from the Northland Arc, New Zealand, and their implication for sub-arc processes. *J Petrol* 53(6): 1169-1195
- BAŇACKÝ V (1988) Geologická mapa severnej časti Východoslovenskej nížiny 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava
- BAŇACKÝ V, VASS D, KALIČIAK M, REMŠÍK A, POSPÍŠIL Ľ (1987) Vysvetlivky ku geologickej mape severnej časti Východoslovenskej nížiny 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 7-117
- BROUSSE R, BIZOUARD H, ŠALÁT J (1972) Grenats des andésites et des rhyolites de Slovaquie, origine des grenats dans les séries andésitiques. *Contr Miner Petrol* 35: 201-213
- ČECH F, MATHERNY M (1958) Granáty z ryolitov (lok. Lesné) a tufitov podvihorlatskej uhoľnej panvy (lok. Hnojné). *Geol Zbor Geol Carpath* 9, 2: 241-252
- DYDA M, RUŽIČKA P, HAIN M (2017) Crystal size distribution (CSD) of titanite inclusions in grossular from a calc-silicate rock in the Malé Karpaty Mts., Slovakia. *Miner Slov* 49, 2: 113-123
- FEDIUKOVÁ E (1975) Garnets from neovolcanics in Slovakia. *Krystalinikum* 11: 53-62
- GREEN T H (1992) Experimental phase equilibrium studies of garnet-bearing I-type volcanics and high-level intrusives from Northland, New Zealand. *Trans Royal Soc Edinburgh, Earth Sci* 83: 429-438
- GREEN T H (1977) Garnet in silicic liquids and its possible use as a P-T indicator. *Contr Miner Petrol* 65(1): 59-67
- GREW E S, LOCOCK A J, MILLS S J, GALUSKINA I O, GALUSKINE V, HALENIUS U (2013) Nomenclature of the garnet supergroup. *Am Miner* 98: 785-811
- HARANGI S, DOWNES H, KÓSA L, SZABÓ C, THIRLWALL M F, MASON P R D, MATTEY D (2001) Almandine garnet in calc-alkaline volcanic rocks of the Northern Pannonian Basin (Eastern-Central Europe): Geochemistry, petrogenesis and geodynamic implications. *J Petrol* 42(10): 1813-1843
- HUDDLESTONE-HOLMES C R, KETCHAM R A (2005) Getting the inside story: using computed X-ray tomography to study inclusion trails in garnet porphyroblasts. *Am Miner* 90, 11-12: 1-17

- JAKABSKÁ K, TIMČÁK G (1978) The determination of garnet content of rocks by different methods. *Geol Zbor Geol Carpath* 29, 1: 161-166
- JAKABSKÁ K, TIMČÁK G, FIAČANOVÁ E, ČINČÁROVÁ M (1973) The relation of microhardness to the physical and chemical properties of garnets from volcanic rocks of the West Carpathians. *Geol Zbor Geol Carpath* 24, 1: 177-190
- KALIČIAK M, KONEČNÝ V, LEXA J, KONEČNÝ P (1995) Geologická stavba Vihorlatských vrchov. *Záp Karpaty, sér geol* 18: 7-98
- KONEČNÝ P, BAČO P, KONEČNÝ V (2010) Acid Miocene volcanism in the Eastern Slovakia, variable sources and magma forming processes: constraints from petrology and geochemistry. XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association. In: *Geologica Balcanica Abstracts Volume*. Chatzipetros A, Melfos V, Marchev P, Lakova I, (Eds). Thessaloniki, Greece, 199-200
- LE BAS MJ, LE MAITRE RW, STRECKEISEN A, ZANETTIN B (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J Petrol* 27: 745-750
- MAZÚR E, LUKNIŠ M (1980) Geomorfologické jednotky (mapa 1: 500 000). In: Mazúr E, Jakál J (eds.): *Atlas SSR. SAV a Slov úrad geod a kart Bratislava*, 54-55
- OZDÍN D, UHER P (2002) Slovenské názvy minerálov. *Minerály schválené Medzinárodnou mineralogickou asociáciou do konca roku 2001*. ŠGÚDŠ, Bratislava, 1-195
- PARISATTO M, TURINA A, CRUCIANI G, MANCINI L, PERUZZO L, CESARE B (2018) Three-dimensional distribution of primary melt inclusions in garnets by X-ray microtomography. *Am Miner* 103: 911-926
- PASERO M, KAMPF AR, FERRARIS C, PEKOV IV, RAKOVAN J, WHITE TJ (2010) Nomenclature of the apatite supergroup minerals. *Eur J Mineral* 22: 163-179
- PÉCSKAY Z, LEXA J, SZAKÁCS A, BALOGH K, SEGHEDI I, KONEČNÝ V, KOVÁCS M, MÁRTON E, KALIČIAK M, SZÉKY-FUX V, PÓKA T, GYARMATI P, EDELSTEIN O, ROSU E, ŽEC B (1995) Space and time distribution of Neogene-Quaternary volcanism in the Carpatho-Pannonian region. *Acta Vulcanol* 7, 2: 15-28
- PÉCSKAY Z, SEGHEDI I, DOWNES H, PRYCHODKO M, MACKIV B (2000) K/Ar dating of Neogene calc-alkaline volcanic rocks from transcarpathian Ukraine. *Geol Carpath* 51, 2: 83-89
- PÉCSKAY Z, KALIČIAK M, KONEČNÝ V, LEXA J, ŽEC B (2002) Geochronology of the Neogene volcanism in the Vihorlatské vrchy mountain range, Eastern Slovakia. *Proceedings of XVII. Congress of Carpathian-Balkan Geological Association*. *Geol Carpath* 53, Spec Issue: 203-205
- RUŽIČKA P, HAIN M, BAČIK P, MILOVSKÁ S, JUHÁSZ P (2013) 3D distribúcia titanitových inklúzií v granáte z lokality Modra-Harmónia (Malé Karpaty, Slovensko). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 21, 2: 131-142
- VASS D, TÖSZÉR J, BAGDASARJAN G P, KALIČIAK M, ORLICKÝ O, ĎURICA D (1978) Chronológia vulkanických udalostí na východnom Slovensku vo svetle izotopických a paleomagnetických výskumov. *Geol Práce Spr* 71: 77-88
- SIECK P, LOPEZ-DONCEL R, DAVILA-HARRIS P, AGUILLON-ROBLES A, WEMMER K, MAURY R C (2019) Almandine garnet-bearing rhyolites associated to bimodal volcanism in the Mesa Central of Mexico: Geochemical, petrological and geochronological evolution. *J South Amer Earth Sci* 92: 310-328
- SLÁVIK J (1970) Minerály rozsypov vulkanitov Vihorlatu, ich geologický a prospekčný význam. *Miner Slov* 2, 7: 231-248
- ŠALÁT J, ROZLOŽNÍK L, TIMČÁK G, JAKABSKÁ K, ČINČÁROVÁ M (1979) Vlastnosti granátov neovulkanitov Západných Karpát a ich petrologická interpretácia. In: *Sympóziium o petrogenéze a geochemii geologických procesov*. Veda, Bratislava, 231-242
- TISCHENDORF G, FÖRSTER H J, GOTTESMANN B, RIEDER M (2007) True and brittle micas: composition and solid-solution series. *Mineral Mag* 71, 3: 285-320
- ZORKOVSKÝ B (1953) Granát z granatického ryolitu z lokality „Potičky“ južne od obce Lesná na východnom Slovensku. *Geol Zbor Geol Carpath* 4, 3-4: 823-824
- ŽEC B (ED.), KALIČIAK M, KONEČNÝ V, LEXA J, JACKO S ML, KAROLI S, BAŇACKÝ V, POTFAJ M, RAKÚS M, PETRO Ľ, SPIŠÁK Z (1997a) Geologická mapa Vihorlatských a Humenských vrchov 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava
- ŽEC B (ED.), KALIČIAK M, KONEČNÝ V, LEXA J, JACKO S ML, BAŇACKÝ V, KAROLI S, POTFAJ M, RAKÚS M, PETRO Ľ, SPIŠÁK Z, BODNÁR J, JETEL J, BOOROVÁ D, ŽLINSKÁ A (1997b) Vysvetlivky ku geologickej mape Vihorlatských a Humenských vrchov 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 5-254