

Rotavské varhany – vulkanologická studie

Varhany (Stone Organ Hill) at Rotava – a volcanologic study

Petr Rojík

Příbramská 381, CZ-357 01 Rotava
petr.rojik@email.cz

Abstrakt

Pomocí geologického mapování, petrografických, geochemických a strukturně geologických metod byla popsána architektura a složení vulkanického tělesa Varhan u Rotavy a jeho vztah k okolnímu horninovému prostředí. Varhany jsou vytlačenou kupou třetihorního stáří, která vznikla jediným klidným výlevem viskózní lávy bazanitového složení nad ústím protáhlého jícnu a jejím rychlým utuhnutím na limburgit.

Klíčová slova

Geologie, Rotava, Varhany, kamenné varhany, sloupcovitá odlučnost, limburgit, vulkanická kupa, Krušné hory

Abstract

The architecture and composition of the volcanic body „Varhany“ („Stone organ“) near Rotava and its relationship to the rock background was studied by means of geological mapping and petrological, geochemical, and structural geological methods. The body is likely a single cumulo-dome of basanitic composition and of Tertiary age, elevated during one volcanic effusion above a prolonged vent and subsequently solidified to limburgite.

Key words

Geology, Rotava, Varhany volcanic body, stone organ, columnar jointing, limburgite, cumulo-dome, Krušné hory Mountains

1. Úvod

Základní práci o petrografii vulkanitů v okolí Rotavy napsal již před sto lety Heinrich (1907). Dílčí poznatky zveřejnili Jiránek (1969), Škvor et al. (1970), Červená et al. (1979) a Shrbený (1980). Od té doby nebyly Rotavské varhany

geologicky zkoumány. Řada zásadních otázek, týkajících se vzniku a podstaty kopce, jeho povrchového či podpovrchového původu, vulkanických fází a strukturně geologické stavby, dosud nebyla zodpovězena. Také pracovníci ochrany přírody a krajiny postrádali důkladnější informaci o předmětu ochrany přírodní památky Rotava. Po dohodě s odborem životního prostředí Městského úřadu Kraslice byla na jaře 2009 vytvořena studie, jejíž podstatné části přebírá i tento článek.

2. Metodika

Obrys lokality a nejdůležitější skalní výchozy byly geodeticky zaměřeny pomocí přesné GPS a zakresleny do geometrického plánu měřítka 1:500 (viz článek Proměny, obr. 10). Geologická stavba zájmového území a blízkého okolí byla zjišťována podrobným geologickým mapováním do Základní mapy ČR měřítka 1:10 000. Petrografické výzkumy včetně přípravy nábrusů, výbrusů, optického studia v polarizačním mikroskopu NIKON Eclipse E600 a mikrofotografií byly provedeny autorem práce v laboratořích České geologické služby v Praze – Barrandově. Makropetrografický charakter byl studován na leštěných nábrusech, zhotovených v MineralCentru Klášterec nad Ohří. Rentgenovou difrakční analýzu provedl Dr. Michal Řehoř ve VÚHU Most na difraktometru D 5000 Siemens. Rtg. difraktogram byl snímán na PC datastanici Sicomp PC-32 D pomocí programů Diffpac AT. Bylo získáno kvalitativní spektrum v práškovém stavu v rozsahu 2θ 2-800. Chemická analýza horniny byla pořízena v laboratoři VÚHU Most. Strukturně geologické studium bylo provedeno na výchozech pomocí geologického kompasu (výrobce Freiburger Präzisionsmechanik, SRN). Byla změřena orientace osy sloupců, tzn. jejich lineace – směr a velikost úhlu sklonu. Na každém stanovišti bylo provedeno několik měření, která byla zprůměrována. Výsledky měření byly vyneseny do plánu měřítka 1:500. Na lomové stěně Varhan byla lineace sloupců měřena ve dvou řadách: asi 1 m nad základnou stěny a na horní hraně stěny. Původní číselná dokumentace je uložena u autora zprávy. Údaje byly měřeny v gradech (kruh rozdělen do 400 gradů: S 0^g či 400^g, V 100^g, J 200^g, Z 300^g.) Dále byla měřena šířka sloupců a sledovány podélné, příčné a diagonální změny hranolů. Objemová magnetická susceptibilita hornin byla měřena kappametrem KT-5C (výrobce Geofyzika Brno).

3. Širší geologický rámec

Varhany a Skalka v Rotavě jsou pozůstatkem vulkanických událostí v tzv. oherském riftu v třetihorách. Obě sblížené lokality tvoří dva články vulkanického švu, který vymezoval severní okraj podkrušnohorského prolomu. Erodované vulkány mají tendenci se řadit do linie směru V-Z, která je na českém území 18 km dlouhá a zhruba vyznačená sídly Hradecká, Heřmanov, Rotava, Smolná, Kraslice, Landesgemeinde (výběžek území SRN) a Počátky, odkud pokračuje do okolí saského Adorfu.

Některé z vulkanických hornin tohoto švu tvoří skalní výchozy, které byly uměle rozkryté kamenolomy. K nejvýznamnějším výchozům patří vedle Varhan a Skalky zejména velký lom Kernberg (Illmesberg, Štěrkovna, Rotava) mezi Rotavou a Jindřichovicemi. Tento největší čedičový lom v České republice odkrýval v období mezi světovými válkami přes 40 m vysoké kamenné varhany, které byly mimořádnou turistickou atrakcí (a byly by jí také dnes). Následující těžbou pak byl kopec nejen zarovnan, ale stěnový lom se změnil v jámový. Těžba kamene sestoupila 65 m pod úroveň okolního terénu a odkryla sopečné hrdlo, které se do hloubky trychtýřovitě zužuje a podle interpretace vrtů přechází do přírodní trhliny. Nyní jsou v jihovýchodním svahu zatopeného lomu odkryta pyroklastika z explozivní fáze sopky.

K dalším významným výchozům zmíněné vulkanické zóny patří „čedičové varhánky“ Kleehübl nad Kraslicemi – Bělídlem (Bleigrund), které obsahují xenolity hornin zemského pláště. Lůmek Kappenbühl v Heřmanově u Jindřichovic odkrýval vějířek vodorovných sloupců čediče v přírodní dráze magmatu.

4. Popis lokality

4. 1. Reliéf krajiny

Přírodní památka Rotava je řazena mezi nejvýznamnější geomorfologické tvary západních Čech, spolu s lokalitami Soos, Komorní hůrka, Železná hůrka, Vysoký kámen, Šibeniční vrch u Kraslic, Údolí Ohře, Svatošské skály, Boč a Trpasličí jeskyně (Král 1975).

Vrch Lehmberg tvoří zhruba V-Z orientovaný, mírně zalomený, převážně bezlesý hřbet s plochou základny 0,5838 ha (Heinich 1907). Kopec vystupuje z okolní zarovnané zalesněné krajiny, kterou převyšuje o 40 m. Protáhlý hřbet je uprostřed zalomený a zúžený, až odškrcený. Na koncích je rozšířený a vyklenutý do dvou elevací Varhany (východní) a Skalka (západní). Varhany byly otevřeny stěnovým lomem, jehož stupně dosahují výšek 14 + 2 m. Skalka je na západě ukončena příkrým, svislým až převislým skalním srázem a suťovými osypy, které upadají do erozního údolí Novoveského potoka.

Stěna Varhan je pozůstatkem kamenolomu, který odkryl nádherné kamenné varhany z pravidelně sloupcovitě odlučného čediče. Stěna je v základně 64 m dlouhá, orientovaná S-J, má příkrý až téměř svislý úklon k V a výšku až 14,3 m (obr. 1a, 1b).

Vrchlík Varhan je pracovní název nízké lomové stěny zhruba trojúhelníkového průřezu, která je předsazena nad hlavní stěnou Varhan. Odkrývá kamenné



Obr. 1a. Lomová stěna Varhan. Foto P. Rojík.

Fig. 1a. The quarry wall. Photo by P. Rojík.



Obr. 1b. Pravidelné uspořádání sloupců. Varhany – jižní část lomové stěny. Foto P. Rojik.
Fig. 1b. Regular setting of basaltic columns. Southern part of the quarry. Photo by P. Rojik.

varhánky. Je 10 m dlouhá, orientovaná SVS-JZJ, má příkrý úklon k V a výšku 2,0 m (obr. 2). Celková výška obou lomových stěn spolu s ukloněným odstupkem je 18,0 m.

Hřeben Varhan je pracovní označení pro přirozený výchoz – ostrý hřeben z kamenných varhan, 51 m dlouhý, 2,5 – 4 m vysoký, orientovaný VJV-ZSZ, zužuje se k Z (obr. 3).

Severní bok Varhan v zalesněném svahu odkrývá tři přirozené výchozy směru Z-V s kamennými varhánkami, které jsou orientované protiklonně vůči hřebenu Varhan. Zaměřen byl nejzápadnější výchoz, ostatní leží na spojnici měřičských bodů č. 58 a 7. Severní a jižní svahy Varhan jsou konvexně vyklenuté a provázené pruhem zarostlé sutě.



Obr. 2. Vrchlík Varhan. Foto P. Rojík.

Fig. 2. „The canopy“ above the Stone Organ. Photo by P. Rojík.

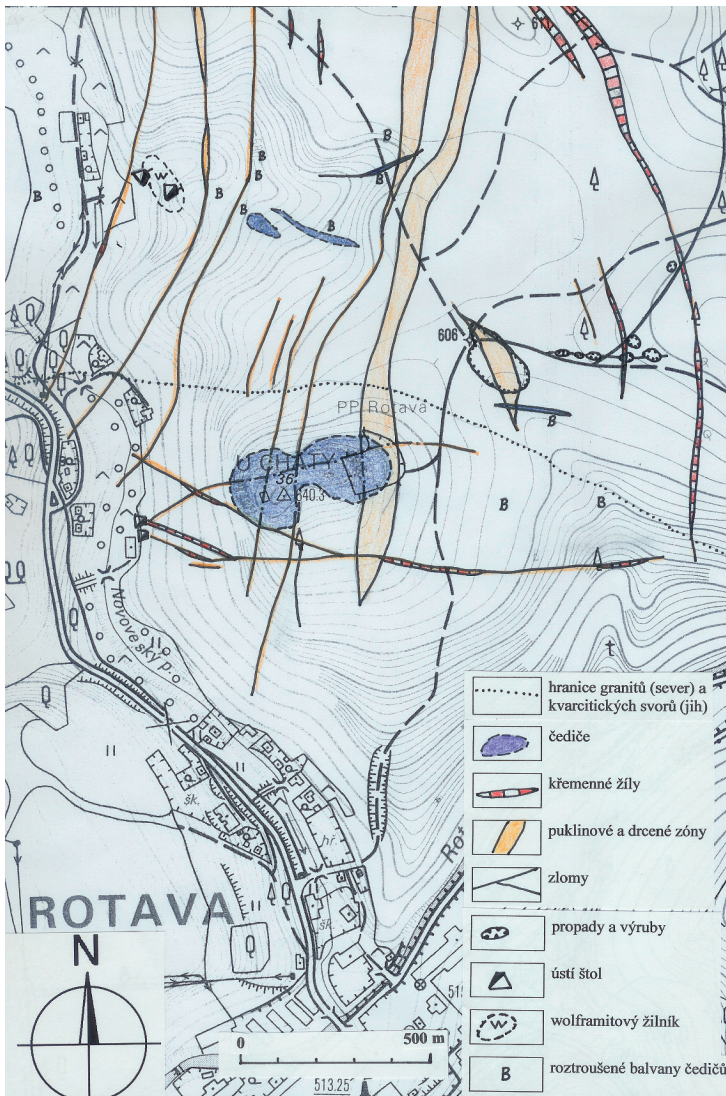


Obr. 3. Hřeben Varhan. Foto P. Rojík.

Fig. 3. „The chine“ of the Stone Organ Hill. Photo by P. Rojík.

4. 2. Tektonická stavba

Podle geologické mapy (obr. 4) vyrůstají čedičové suky Varhan a Skalky z prostředí kvarcitických svorů a kvarcitů. Kontakt krystalických břidlic se žulami prochází v současném erozním řezu asi 150 m severně od úpatí kopce. Odtud se kontaktní plocha noří k JZJ pod čediče, což dokládá kontaktní metamorfóza krystalických břidlic. Čedičové magma tedy při výstupu bylo ve styku se žulami a teprve v závěrečné fázi výstupu proniklo krystalickými břidlicemi.



Obr. 4. Geologická mapa okolí Varhan a Skalky s důrazem na tektonické prvky. Topografický podklad: Základní mapa ČR 1:10 000.

Fig. 4. Geological map of the surroundings of Stone Organ and Skalka hills, with emphasis on tectonics.

Zalesněná náhorní plošina v severovýchodním okolí Varhan v nadmořské výšce 600 až 610 m nese reliktu kaolinicky zvětralých žul. To dokazuje, že se jedná o třetihorní zarovnaný povrch – sníženou parovinu (etchplén). Základna čedičových suků je v nadmořské výšce 610 až 620 m. Čediče tedy leží mírně nad úrovní etchplénu, ale vesměs pod úrovní dřívější paroviny, která ležela v oligocénu asi 30 m nad úrovní dnešního etchplénu (podle porovnání s ostrůvky třetihorních sedimentů a kaolínů západně od Rotavy) a v době výlevů čediče již byla pravděpodobně snížena.

Oblast je silně prostoupená zlomy, které se projevují jako zóny drcených hornin, puklinové a trhlinové svazky. Nejstarší z nich je žilník Hahnbach 800 m severozápadně od Skalky v údolí Novoveského potoka. Křemenné žilky obsahují také wolframit, arzenopyrit, pyrit, molybdenit, turmalín aj. Geneticky jsou spojené s žulou karbonského stáří. Žilník Hahnbach byl báňsky otevřen roku 1950 dvěma štolami na průzkum wolframové rudy (Chrt 1950).

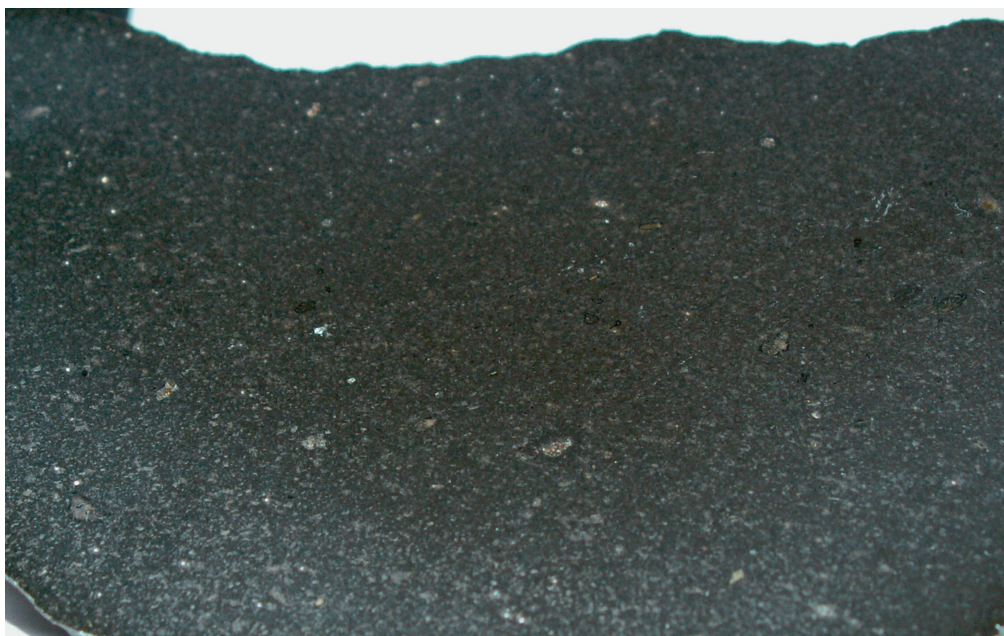
Další dvě soustavy tektonických poruch jsou výrazně mladší. Nově zjištěná soustava zlomů a trhlin přibližně směru V-Z je vyplněna žilným křemenem a místy hematitem (Fe_2O_3). Hematit byl před staletími kután dvěma krátkými štolami na západním úpatí Flössbergu u bývalého internátu učňů a několika šachticemi v plochem terénu 600 až 1000 m východně od Varhan. Krátké dilatační trhliny směru Z-V měly v třetihorách rozhodující roli při výstupu čedičových magmat. Ve směru na SZ až V od Varhan se pravděpodobně nachází několik čedičových žil, které mají směr V-Z, ale pro malé rozměry netvoří výchozy.

Třetí soustava zlomů má zhruba severojižní směr. Zlomy se často větví do drcených a mineralizovaných zón, širokých několik metrů až desítek metrů. Patří k „rotavské tektonické zóně“ (Rojík 2004), která porušuje všechny ostatní horniny a zlomy. Na jednotlivých zlomových větvích, uspořádaných kulisovitě, se nasčítává horizontální posun řádově až 600 m. Tato struktura vznikla v třetihorách, jak dosvědčuje její spojitost se zónou kaolinizovaných žul u kóty 606 asi 400 m severovýchodně od Varhan. Podle paleomagnetických měření orientovaných vzorků mezi Rotavou a Novou Vsí jsou některé části zlomového pásma recentní a také v nich leží ohniska některých zemětřesení podle průběžně zveřejňovaných údajů Geofyzikálního ústavu AV ČR. Tektonická zóna je tedy dlouhodobě aktivní.

4. 3. Petrografie

Heinich (1907) označil horninu Varhan jako bazalt – čedič v užším smyslu („Magmabasalt“). V mikroskopickém obraze se vyvřelina skládá ze žlutohnědých krystalků augitu, které jsou hypautomorfně omezené, téměř bez inkluzí, často zdvojitě, s přesypátkovou strukturou. Mezi zrnky augitu se nachází proměnlivé množství skla, které je světlejší než augit, místy až čiré, jindy karbonatizované či zkalené alteracemi. Hnědavé a zelenavé sklo, místy s plynovými bublinami, uzavírá zrnka magnetitu, augitu, olivínu a ojedinělé bezbarvé jehličky apatitu(?). Magnetit tvoří hojná, rovnoměrně rozptýlená zrna a krystaly. Vyrostlice jsou tvořeny augitem, olivínem a magnetitem. Augit je často zdvojitě, zonární, s přesypátkovou strukturou, žlutohnědý s odstínem do fialova. Olivín je automorfní, často korodovaný do kostrovitých tvarů, místy zdvojitě, s obrubou augitových krystalků (Heinich 1907).

Škvor et al. (1970) označili horninu Varhan jako limburgit. Jeho petrografické charakteristiky (včetně nespecifikovaných Škvorových rukopisů 1957 a 1964, na něž poukázali Jiránek 1969 a Červená et al. 1979) jsou zcela obdobné Heinichovým.

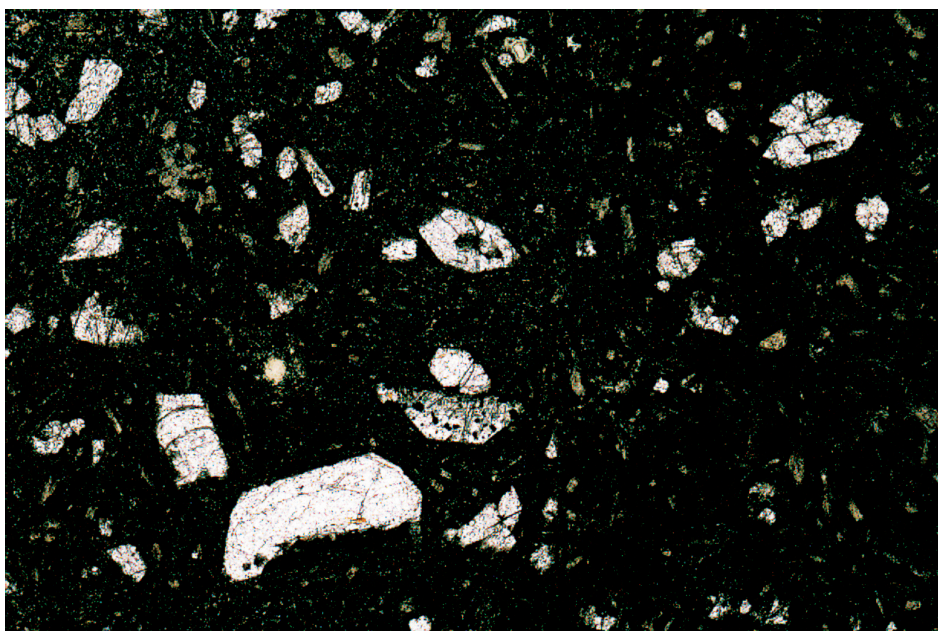


Obr. 5. Limburgit – leštěný nábrus. Varhany. Foto K. Kaloudová.

Fig. 5. Limburgite – a polished sample. Quarry wall. Photo by K. Kaloudová.

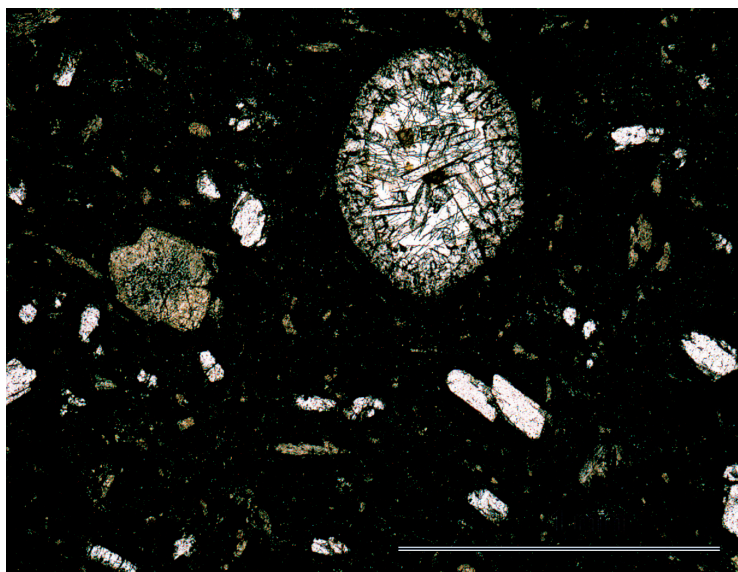
Jiránek (1969) rovněž určil horninu jako limburgit. Charakterizoval ji jako porfyrickou vyvřelinu s vyrostlicemi augitu (2-5 mm) a olivínu (1-3 mm), která v základní hmotě obsahuje augit, magnetit a sklo s krystality, ve výplni mandlí kalcit a druhotné nerosty uralit (tvoří se z augitu), neurčený Fe-minerál (z augitu a magnetitu) a serpentín (z olivínu). Sukcese vylučování minerálů z magmatu byla následující: vyrostlice magnetitu – vyrostlice olivínu – vyrostlice augitu – magnetit základní hmoty – augit základní hmoty – sklo – kalcit (Jiránek 1969).

Nově provedený výzkum vcelku potvrzuje závěry Heinicha (1907), Jiráňka (1969) a Škvora et al. (1970). Vyvřelina je černošedá, homogenní, s řídkce rozptýlenými drobnými mandlemi (obr. 5). Horninu Varhan lze označit jako limburgit, protože masivní zesklivatění nedovolilo krystalizaci plagioklasu ani nefelínu, dokonce ani v jádře tělesa uprostřed lomové stěny. Přítomnost vyrostlic olivínu (obr. 6, 7a, 7b) spolu s chemickým složením horniny (tab. 1) dokazují, že magma nemělo bazaltové složení v úzkém smyslu, ale bylo blízké



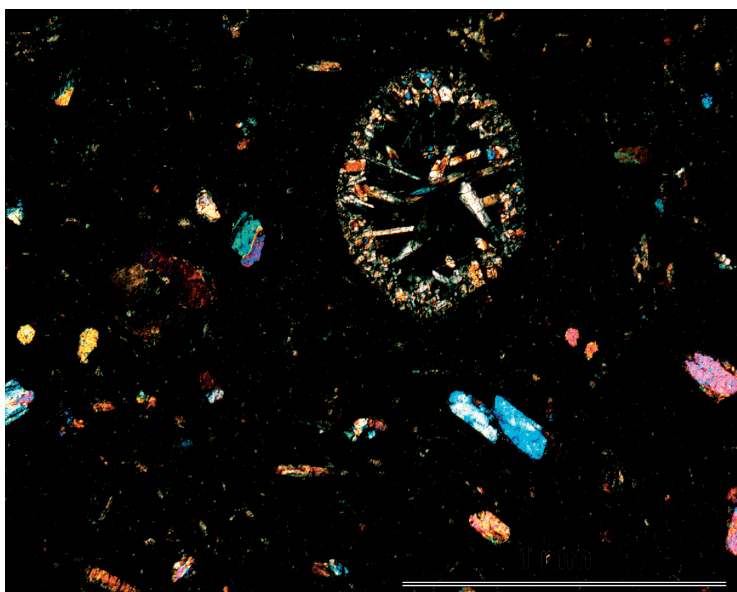
Obr. 6. Limburgit (mikrofoto, nikoly //). Vyroستlice augitu a korodované vyroستlice olivínu plavou ve vulkanickém skle. Zrnka magnetitu jsou uzavřena v augitu, olivínu i ve skle. Varhany, lomová stěna, střed, 1 m nad základnou lomu. Foto P. Rojík.

Fig. 6. Limburgite (microphoto, nicols //). Phenocrysts of augite and corroded olivine embedded in volcanic glass, grains of magnetite surrounded by augite, olivine and glass. Quarry, middle part, 1 m above the base. Photo by P. Rojík.



Obr. 7a. Limburgit (mikrofoto, nikoly //) s agregátem zrn pyroxenu a reakční amfibolovou obrubou (xenolit?), vlevo vyrostlice zdvojitěného olivínu. Varhany, lomová stěna, střed, 1 m nad základnou lomu. Foto P. Rojík.

Fig. 7a. Limburgite (microphoto, nicols //). Aggregate of pyroxene grains with a reaction hornblende rim (xenolite?), phenocryst of twinned olivine (left). Quarry, middle part, 1 m above the base. Photo by P. Rojík.



Obr. 7b. Limburgit, popis totožný s obr. 7a, zkřížené nikoly. Foto P. Rojík.

Fig. 7b. Limburgite, for description see Fig. 7a, nicols x. Photo by P. Rojík.

Č.	Lokalita	Hornina	κ /SI·10 ⁻³ /	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	z.ž.
1	Darčí vrch	nefelinický bazanit	19,5	32,11	1,65	12,61	13,36	0,21	13,72	16,12	4,47	0,82	1,65	1,19	2,09
2	Hradecký vrch	sodaliticko-olivinický nefelinit	22,1	35,47	2,81	13,35	11,37	0,20	12,28	13,65	4,80	0,87	1,70	1,00	2,50
				39,41	2,40	10,64	11,12	0,21	12,19	14,81	3,30	0,86	0,48	1,38	3,05
3	Větrník j. od Heřmanova	olivinický nefelinit	7,3	38,92	2,73	12,96	11,33	0,26	12,17	12,08	4,05	1,10	1,54	0,91	1,88
				41,71	2,13	11,10	10,94	0,20	11,28	13,96	3,23	1,07	0,12	1,18	2,64
4	Kapenbühl s. od Heřmanova	sodalitický olivinický nefelinit	18,0	36,45	1,74	12,54	12,85	0,20	11,64	14,18	4,81	1,08	1,33	1,01	2,17
				40,29	2,32	10,33	11,08	0,22	13,27	13,62	3,51	0,81	0,40	1,24	2,55
5	Hinkenbühl z. od Heřmanova	nefelinický bazanit	21,8	35,63	1,67	12,04	13,00	0,27	14,64	13,14	4,15	0,88	1,34	0,98	2,26
				40,03	2,24	10,38	11,84	0,40	12,38	13,49	2,90	0,62	0,25	1,24	3,83
6	lom Kernberg Jindřichovice	nefelinický bazanit	15,7	48,76	2,27	11,08	12,37	0,16	4,23	9,93	5,94	1,57	1,58	1,11	1,00
				44,66	2,67	13,03	10,75	0,17	9,05	11,48	3,97	1,55	0,10	0,94	1,32
7	Varhany Rotava	nefelinický bazanit	7 ÷ 17	37,88	3,71	12,87	14,65	0,06	11,20	9,63	4,71	0,99	0,02	0,01	4,26
		olivinický nefelinit		41,67	3,05	12,20	12,94	0,21	10,17	11,35	3,28	1,43	0,10	0,80	2,80
8	Skalka Rotava	nefelinický bazanit	5 ÷ 14	38,48	2,97	8,08	12,72	0,16	9,22	8,62	3,19	1,74	1,75	0,95	nest.
		po přepočtu na 100 %		43,79	3,38	9,19	14,47	0,18	10,49	9,79	3,63	1,98	1,99	1,08	nest.
9	Sklenský vrch	nefelinický bazanit	18 ÷ 33	32,33	2,09	13,06	13,73	0,22	13,99	13,90	4,59	0,74	1,33	1,17	2,84
10	KleehtůbKraslice	olivinický nefelinit		33,56	2,31	9,04	12,88	0,20	13,06	16,01	2,77	1,33	1,28	1,14	nest.
11	Sněženský vrch	olivinický nefelinit	28,0	33,49	3,82	12,04	13,11	0,21	14,08	11,77	3,39	0,90	1,79	1,09	4,31
12	Landesgemeinde	olivín.-nefel.mellitit	?	29,64	2,80	8,11	9,97	0,19	15,47	15,57	1,91	0,47	0,02	0,01	15,84
13	Kuželka z. od Počátek	meliliticko-olivinický nefelinit (zvětralý)	28,8	34,56	3,66	10,10	13,86	0,24	13,34	9,21	3,38	1,21	1,46	1,07	7,91

Tabulka 1. Petrografický typ, magnetická susceptibilita a chemické složení efuziv ve vulkanické zóně Hradecká – Rotava – Kraslice – Počátky. Vysvětlivka: z.ž. = ztráta žháním. Chemické analýzy: VÚHU Most 2004, 2009 (normálním písmem) a Shrbený 1980 (kurzívou).

Table 1. Petrography, magnetic susceptibility and chemical composition of effusive rocks in the volcanic zone Hradecká – Rotava – Kraslice – Počátky. Explanation: z.ž. = loss on ignition. Chemical analyses: VÚHU Most 2004, 2009 (normal) and Shrbený 1980 (italics).

nefelinickému bazanitu až olivinickému nefelinitu. Textura horniny Varhan je všesměrná, místy s náznakem fluidálního usměrnění. Struktura je porfyrická s hemikrystalickou základní hmotou, ojediněle s náznakem fluidální struktury.

Obsahuje jen sporadické fragmenty krystalických břidlic a granitů (obr. 8). Oválné xenolity jemno- až střednozrnných biotitických žul převládají nad ostrohrannými úlomky kontaktně metamorfovaných kvarcitických svorů.

4. 4. Geochemie

První sondudochemického složení čedičů v pruhu mezi Hradeckou a Kraslicemi provedl Heinrich (1907) na příkladu dvou oxidů. Obsah SiO_2 je nejvyšší uprostřed zóny v čediči Kernbergu, zatímco směrem k okrajům jeho zastoupení klesá. Obsah CaO má opačnou tendenci (Heinrich 1907). První kompletní silikátové analýzy některých čedičů mezi Hradeckou a Rotavou publikoval Shrbený (1980). Kolekce silikátových analýz (tab. 1) je dosud nejúplnější v celé vulkanické zóně. Všechny tyto horniny jsou bazické až ultrabazické, nenasycené, alkalické. Jsou



Obr. 8. Xenolit biotitické žuly v navětralém čediči. Varhany, deponie hranolů pod kamenolomem. Foto P. Rojík.

Fig. 8. Xenolite of biotitic granite in weathered basaltic rock. Deposit of quarried columns. Photo by P. Rojík.

poměrně bohaté na oxidy Ti, Fe, Ca, Mg. Velká chemická variabilita hornin dokazuje vysoký stupeň diferenciacce magmatu.

Obsahy SiO_2 a K_2O (tab. 1) výrazně klesají z prostřední, největší lokality Kernberg mezi Rotavou a Jindřichovicemi směrem ke koncovým malým efuzím na V (Daňčí vrch u Hradecké) a na Z (Landesgemeinde u Počátek). V případě Al_2O_3 je tato tendence méně zřetelná a projevuje se pouze západním směrem. Vyšší obsahy oxidů SiO_2 , K_2O a většinou i Al_2O_3 lze pokládat za indikátory kontaminace magmat při jejich průchodu horninami zemské kůry a při vytváření magmatických rezervoárů.

Obsahy MgO a CaO se zvyšují od Kernbergu směrem k V (Daňčí vrch) a zejména k Z (Landesgemeinde). Méně výrazná je tato tendence u oxidů železa, vyjádřeno sumárním Fe_2O_3 . Vyšší obsahy MgO , CaO a Fe_2O_3 lze pokládat za indikátory původní taveniny.

Oxidy TiO_2 a Na_2O mají v celé zóně poměrně málo rozkolísané obsahy. Jsou to typické, indikační prvky alkalického vulkanismu, které svědčí o příbuznosti magmat v celé zóně.

Ultrabazická hornina z lomu Landesgemeinde (olivinicko-nefelinický melilitit) se svým chemickým i mineralogickým složením nejvíce blíží představě původního, primitivního, nediferencovaného magmatu ze zemského pláště. Při podobném původu a stáří vyvřelin celé zóny pak můžeme poměřovat stupeň kontaminace láv právě s vyvřelinou z Landesgemeinde.

Umístění rotavských lokalit Varhany a Skalka dobře zapadá do nastíněných trendů. Obě tělesa leží v západním křídle zóny blíže prostřední efuzi Kernberg a patří k poměrně větším útvarům. Jejich složení má blíž k čedičům Kernbergu než k ultrabazické hornině v Landesgemeinde. Jejich chemické složení a poměrně velké množství xenolitů ukazují na značnou míru kontaminace láv horninami ze svrchní části zemské kůry. Míra kontaminace je vyšší na Skalce než na Varhanách. Projevuje se vyššími obsahy SiO_2 a K_2O (po přepočtu na sumu 100 %). Ochuzení Al_2O_3 je specifické a lze ho vysvětlit složením kontaminujících hornin – kvarcitů a kvarcitických svorů s velmi nízkým obsahem hliníku.

4. 5. Strukturně geologické poměry

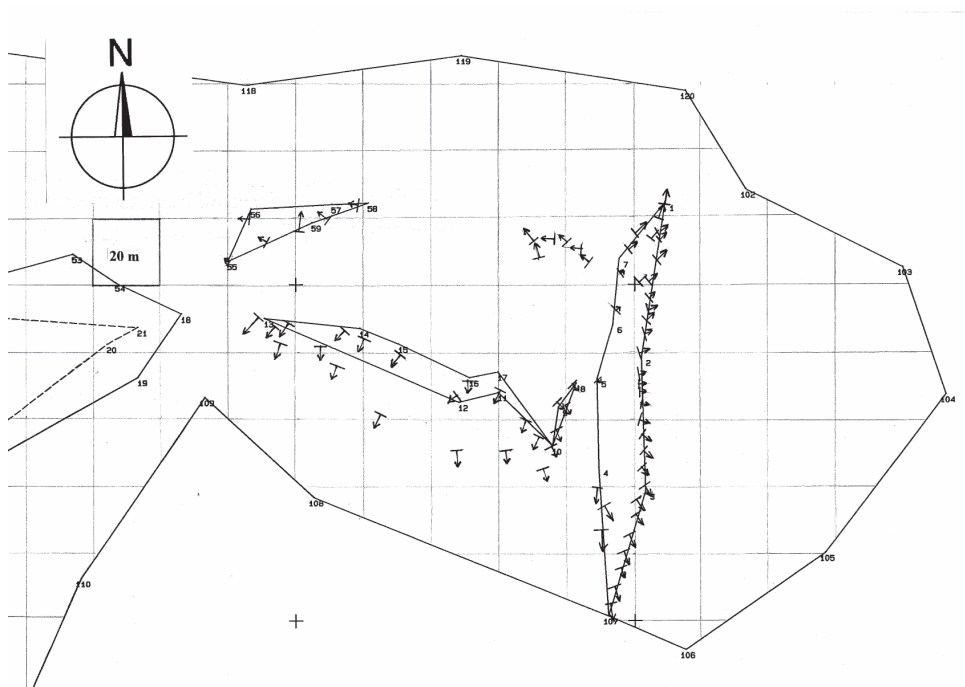
Dominantním strukturním prvkem Flössbergu je sloupcovitá odlučnost čedičů (obr. 1). Z literatury však vyplývá, že dosud nikdo systematicky neproměřoval lineaci, polyedrii ani šířku sloupců.

Obecně platí, že odlučnost čedičů je výsledkem vnitřního pnutí při ochlazování a smršťování lávy. Sloupce jsou orientované kolmo na kontaktní plochu, jíž láva předává teplo a od níž postupuje chladnutí směrem do nitra vulkanického tělesa. Při povrchovém výlevu je touto plochou zemský povrch. Proto jsou sloupce utuhlých lávových proudů orientovány kolmo na reliéf krajiny v době výlevu. Hlouběji pod zemským povrchem kopíruje kontaktní plocha průběh přírodní trhliny. Proto jsou zde sloupce orientovány přibližně vodorovně, tedy kolmo na svislý přívod. Mělce pod zemským povrchem se přírodní dráha trychtýřovitě rozšiřuje do vulkanického hrdla, které má válcovitou kontaktní plochu, jejíž úklon se směrem nahoru plynule zmenšuje. Důsledkem toho se sloupce směrem nahoru postupně zpříkřují. Tyto jevy jsou sledovatelné v lomu Kernberg 1 km jihovýchodně od Varhan.

Pokud tedy orientace sloupců vyznačuje tvar chladících ploch, můžeme zrekonstruovat podobu třetihorního vulkanického tělesa, jeho přívod, hrdlo a výlev.

Ve stěně Varhan jsou sloupce rozevřené do vějíře, který se sbíhá směrem vzhůru (obr. 1). Lineace osy sloupců se mezi protilehlými konci stěny plynule mění (viz obr. 9) od 9° (orientace k S) po 187° (orientace k J). Uprostřed lomové stěny sloupce zapadají velmi strmě k V. Úhel zapadání sloupců se zestrmuje od protilehlých konců (40° na J, popř. 55° na S) směrem ke středu stěny (maximum 85°). Architektura stěny je mírně asymetrická; sloupce mají největší svislost poněkud blíže severnímu okraji stěny u měřičského bodu č. 2 (obr. 9). Okolo místa, kde se sklon sloupců nejvíce blíží vertikále, je i nejstrmější gradient změny lineace. Ve vrchlíku nad hlavní stěnou Varhan mají sloupce podobnou orientaci jako na hlavní stěně.

V západním předpolí lomové stěny, tzn. v profilu kolmo na protažení hřebene, se sloupce zestrmuji od jižního a severního úpatí směrem do blízkosti vrcholu. Na výchozech v zalesněném severním boku mají sloupce úklon k S až SZ, zatímco v jižním svahu a na špici je úklon hranolů protiklonný. V podélném



Obr. 9. Varhany – lineace. Šipky ukazují směr sklonu osy sloupců, délka šipek znázorňuje velikost sklonu (vodorovný průmět). Měřítko: délka strany čtverce 20 m.

Fig. 9. Lineation of columns on the Varhany (Stone Organ Hill). Arrows: dip direction of column axes, length of arrows: dip angle (horizontal projection). Scale: square shape 20 m.

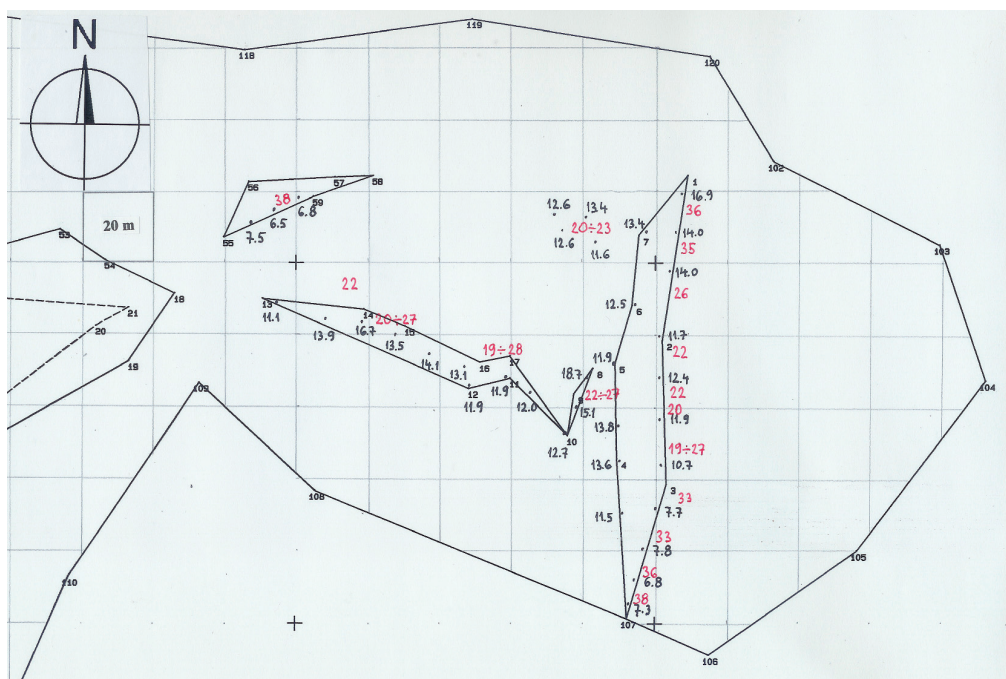
profilu přes hřeben Varhan se směr sloupců mění od západního konce (250° , směr JZ) k východnímu umělému ukončení vrchlíkem a stěnou Varhan (182° , tj. směr JJV). Ve stejném směru se úklon sloupců zestrňuje ze 30° na 72° . Z toho vyplývá, že i hřeben Varhan má ve všech směrech vějířovité uspořádání hranolů. Pouze východní část vějíře byla odlámána kamenolomem.

Celkem má tedy návrší Varhan periklinální architekturu čedičových sloupců, podobnou milíři nebo stanu. Uprostřed návrší u měřičského bodu 5 (obr. 9) jsou hranoly vztyčené do vertikály. Struktura sloupců Varhan je spojitá, uzavřená do jediného celku. Od sousední čedičové elevace Skalka je oddělena diskordancí. Struktura Varhan nemá zcela kruhovou základnu, ale je protažena ve směru hřebene Varhan, tj. asi 20° (VJV-ZSZ). V profilech směru S-J, tedy shodně s lomovou stěnou, je osa struktury, vyznačená nejpříkřejším úklonem sloupců, mírně asymetrická, vychýlená k S. V detailu vykazují sloupce mírné směrové a sklonové odchylky od uvedeného schématu.

Uspořádání sloupců Varhan je podobné jako v lokalitě Kernberg, kterou výstižně charakterizoval Laube (1876) jako „kupu s milířovitě konvergující sloupcovitou stavbou“. Architektura Varhan je však mnohem pravidelnější a dokonalejší.

Šířka čedičových sloupců Varhan (obr. 10) se plynule zeslabuje od boků lomové stěny (severní okraj 36 cm, jižní okraj 38 cm) do střední části (19 až 22 cm). Rozdíl mezi nejtenčími a nejsilnějšími sloupci je tedy dvojnásobný. Stejná tendence je patrná i v profilech směru S-J přes hřeben Varhan. V podélném směru Z-V šířka sloupců osciluje v užším rozpětí. Ve směru vertikálním zůstává tloušťka sloupců téměř stálá (obr. 11). Jen ojediněle lze pozorovat podélné štěpení či spojování sloupců.

Polyedrie čedičových sloupců Varhan osciluje kolem čísla 6 (obr. 12). Hranoly jsou převážně šestiboké, často pěti- a sedmiboké, vzácně čtyř- a osmiboké a nikdy tří- a devítiboké. Při nestejnomořné šířce ploch hranolů však vznikají zdánlivě trojboké hranoly.



Obr. 10. Varhany – šířka sloupců (červeně, v cm) a objemová magnetická susceptibilita κ (černě, $\times 10^{-3}$ SI). Měřítko: délka strany čtverce 20 m.

Fig. 10. Width of columns (red, in cm) and volume magnetic susceptibility κ (black, in $\times 10^{-3}$ SI) on the Varhany (Stone Organ Hill). Scale: square shape 20 m.



Obr. 11. Stálá šířka sloupců ve vertikálním směru v lomové stěně Varhan. Foto P. Rojík.

Fig. 11. Constant width of columns in vertical direction. The quarry wall. Photo by P. Rojík.



Obr. 12. Polyedrie čedičových sloupců na hřebenu Varhan. Foto P. Rojík.

Fig. 12. Polyhedral basaltic columns. Chine of the hill. Photo by P. Rojík.

Čedičové sloupce se příčně štípou a dělí pod úhlem okolo 30° , který využívali kameníci. Příčné obloukové a pérové pukliny pod úhlem 25° vůči boku sloupců svědčí o vnitřním napětí v chladnoucí lávě (obr. 13).

Objemová magnetická susceptibilita Varhan je řádově zvýšená proti okolním horninám, ale pohybuje se v běžném rozmezí čedičů. Původcem magnetických vlastností je feromagnetický minerál magnetit Fe_3O_4 (obr. 6). Susceptibilita horniny kolísá v rozmezí dvou řádů:

$$\kappa = X \cdot 10^{-3} \text{ až } X0 \cdot 10^{-3} [\text{SI}]$$

Průměrná hodnota je $\kappa = 12,09 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$ (počet měření $n = 37$, směrodatná odchylka $s = 2,88$). Nejzajímavějším zjištěním je plynulý růst hodnot magnetické susceptibility podél stěny Varhan z jižního konce ($\kappa = 6,8 \text{ až } 7,3 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$) po severní okraj ($\kappa = 16,9 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$), tj. více než o dvojnásobek.



Obr. 13. Diagonální rozpukání sloupců v úhlu 25° od boků hranolu. Varhany, střed lomové stěny. Foto P. Rojík.

Fig. 13. Oblique jointing of columns at angle of 25° . Quarry, middle part. Photo by P. Rojík.

4. 6. Vulkanologická interpretace

Rotavské varhany jsou součástí vulkanické zóny směru V-Z mezi Hradeckou a Počátkami. Při geologickém mapování okolí Varhan (obr. 4) byly zjištěny dilatační zlomy směru okolo V-Z. Jejich průběh poměrně přesně zapadá do osy protažení tělesa Varhan a sousední Skalky. Lze předpokládat, že fungovaly jako přírodní trhliny magmatu.

Návrší Varhan má periklinální, milířovitou architekturu čedičových sloupců. Struktura je protažena ve směru hřebene Varhan, který zhruba vyznačuje průběh přírodní trhliny. V příčném směru je osa struktury mírně vychýlena k severu. Architektura sloupců je nepřerušená, uzavřená do jednoho celku. Jedná se tedy o jediné těleso, vzniklé při jedné vulkanické události.

Pravidelné uspořádání čedičových sloupců v lomové stěně prozrazuje, že výstup lávy byl mimořádně klidný, rovnoměrný, téměř bez turbulencí. Dokládá to i poměrně nízké zastoupení žulových, svorových a kvarcitových xenolitů. Láva byla v době tuhnutí již značně odplyněná, jak dokazuje poměrně nízká porozita a spíše vzácná přítomnost mandlovcových dutinek. Vzhledem k vysokému obsahu SiO_2 musela být značně viskózní. Byla vytlačena při poměrně klidné efuzi a přitom zřejmě zaplnila i přívod sopky. Podobný případ, názorně odkrytý do větší hloubky, lze pozorovat v nedalekém lomu Kernberg. Láva Varhan překryla zarovnaný povrch, který byl již z větší části zbavený kaolinických zvětralin. Masivní zesklivatění horniny, dokonce i v jádru tělesa, je důkazem mimořádně rychlého utuhnutí lávy.

Sloupcovitá odlučnost Varhan je odezvou lávy na rychlé chladnutí, provázené vnitřním pnutím a smršťováním objemu po směru největšího teplotního spádu. Chladicí plochou zde nemohl být pouze zemský povrch, jinak by kontrakční sloupce byly uspořádány navzájem rovnoběžně a zhruba svisle, jako např. lávový příkrov na Ryžovně. Chladnutí lávy postupovalo zejména od boků sopouchu, který se směrem dolů nálevkovitě zužoval a zpříkřoval. Prohnutý průřez sopouchu pak způsobil i milířovité uspořádání sloupců.

Pro plynulý vzestup magnetické susceptibility z jižního okraje po severní konec Varhan lze navrhnout toto vysvětlení: Nositel magnetických vlastností je magnetit, jehož množství stoupá směrem k severu lomové stěny. Magnetit jako nejdříve krystalizující a zároveň nejtěžší minerál měl tendenci segregovat

se od zbylé taveniny a klesat ke dnu podzemního magmatického rezervoáru. Při výlevu viskózní lávy na povrch se tedy nejdříve objevily partie relativně chudší magnetitem, které vytvořily jižní část lokality (např. vlivem svažitosti terénu). Další porce kontinuálního výlevu lávy, přicházející ze stále nižších částí rezervoáru, se přimykaly k severní straně tuhnoucího čedičového výlevu.

Varhany jsou s největší pravděpodobností povrchovým sopečným útvarem – vytlačenou kupou nad žilným přívodem. Jedná se o ne zcela běžnou kombinaci dvou vulkanických forem. (Příroda však nepracuje se šablonami.) Označení „žilná kupa“, které použil Jiránek (1969), přiléhavě vystihuje její protažení. Protože však čedič na zemském povrchu netvoří žílu, ale byl vytlačen z trhliny, je možné použít označení „trhlinová kupa“, analogicky s pojmem trhlinový vulkán.

Vytlačené kupy zpravidla vznikají z velmi viskózních láv, vyhřezávajících nad jícnem vulkánu. Kupy tvoří spíše menší, příkré pahorky (Guðmundsson & Kjartansson 1996). Viskózní lávy intermediárního a kyselého složení se nevylévají z kráterů, ale jako polotuhé pasty jsou vytlačovány do podoby dómů či kup se sklonem svahů 45 až 75° (Rast 1987). Nemají proto na vrcholu kráter. Kupy mají homolovitý či bochníkovitý tvar. Tvoří se na zemském povrchu nebo v jícnu pod vrstvami vyvržených tufů, které jsou později erodovány (Kettner 1957).

5. Závěr

- Bylo provedeno geodetické zaměření a morfologický popis návrší Varhan včetně obvodové linie čedičů a dokumentace skalních odkryvů (obr. 9).
- Byla sestavena podrobná geologická mapa Varhan, sousední Skalky a jejich okolí v měřítku 1:10 000 (obr. 4). Mapa odhaluje pravděpodobný průběh zlomů a přírodních trhlín čedičových magmat.
- Petrografickým výzkumem byl potvrzen starší poznatek, že horninou Varhan je limburgit s dominancí vulkanického skla a s poměrně nízkým obsahem xenolitů připovrchových hornin (obr. 6, 7a, 7b).

- Podle chemické analýzy (tab. 1) je čedič Varhan středně bazická, nenasycená, alkalická hornina, kontaminovaná silikátovými horninami při výstupu lávy zemskou kůrou.
- Na všech výchozech byla změřena orientace (lineace) osy čedičových sloupců – směr a velikost úhlu sklonu. Výsledky měření byly vyneseny do plánů 1:500 (obr. 9). Byla proměřena šířka a polyedrie sloupců i objemová magnetická susceptibilita hornin (obr. 10) s cílem odlišit případné vulkanické fáze.
- Byla zjištěna periklinální, milířovitá architektura čedičových sloupců Varhan. Vulkanická struktura je protažená ve směru blízkém V-Z podle pravděpodobné přírodní trhliny (obr. 9).
- Souhrnným vyhodnocením analýz a strukturních měření bylo zjištěno, že Varhany jsou pravděpodobně vytlačenou kupou. Vznikly při jediné vulkanické události, kdy viskózní láva byla vytlačována z přírodní trhliny. Výstup lávy byl mimořádně klidný, bez turbulencí.
- Celé návrší Varhan obsahuje významné geologické fenomény, které si zaslouží zákonnou ochranu a rozšíření ze současných hranic přírodní památky Rotava do nově navržených hranic (obr. 9 – obvodová linie).

Poděkování

Děkuji Dr. Jiřímu Hejkalovi s kolektivem za podpoření této práce, Ing. Martinu Fastovi za geodetické zaměření lokality, Dr. Zdenku Táborskému a Tamaře Sidorinové za pomoc při pořízení mikrofotografií, Dr. Michalu Řehořovi za pořízení rentgenové a chemické analýzy a Jiřímu Lipkovi za vyhotovení leštěných nábrusů.

Prameny a literatura

- Červená A., Hofman K., Hostička M., Kočandrlová E., Nesvadbová J. & Znamenáný P. (1979): Státní přírodní rezervace Rotava. Inventarizační průzkum provedený v letech 1978-1979. – Ms. SPPOP Plzeň.
- Guðmundsson A. T. & Kjartansson H. (1996): Land im Werden. Ein Abriß der Geologie Islands. – Reykjavík.

- Heinich R. (1907): Die geologisch-petrographischen Verhältnisse der Umgebung von Rothau im böhmischen Erzgebirge. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 23. Beilage Band, 474-528, Stuttgart.
- Chrt J. (1950): Zpráva o výsledcích geologické prospekce v oblasti Rotavy v okrese kraslickém. – Ms. Západočeské rudné doly, Dubí u Teplíc.
- Jiránek J. (1969): Neovulkanity západní části Krušných hor. – Dipl. pr., UK, Praha. Geofond.
- Jokély J. (1857): Zur Kenntnis der geologischen Beschaffenheit des Egerer Kreises in Böhmen. – Jahrbuch der k.k. geologischen Reichs-Anstalt, 8, 1, 1-82, Wien.
- Kettner R. (1957): Všeobecná geologie, 1. díl. – Praha.
- Král V. (1975): Některé geomorfologicky významné skalní tvary v severní části Západočeského kraje. – Studia Geographica, 51, 77-81, GGÚ ČSAV Brno.
- Laube G. C. (1876): Geologie des böhmischen Erzgebirges, I. – 1-208, Prag.
- Rast H. (1987): Vulkane und Vulkanismus (3. Auflage). – Leipzig.
- Rojík P. (2004): Tektonosedimentární vývoj sokolovské pánve a její interakce s územím Krušných hor. – Ph.D. thesis, Přírodovědecká fakulta Univ. Karlovy, Praha.
- Rojík P., Hladil J., Lisá L., Sidorinová T., Stradiotová A. & Vylita T. (2007): Za geologickými zajímavostmi Karlových Varů, Sokolovské pánve a západních Krušných hor. – Sborník 20. exkurze ČGS, Praha.
- Shrbený O. (1980): Chemical composition of alkaline neovolcanics of the Krušné hory Mts., Bohemia. – Věst. Ústř. úst. geol., 55, 1, 5-10, Praha.
- Škvor V. (ed.), Kačura G., Králík F., Laboutka M., Pácal Z., Pokorný L., Polanský J., Šťovíčková N., Valín F. & Sattran V. (1970): Závěrečná zpráva o geologických výzkumech Krušných hor a Smrčín. – Ms. ÚÚG Praha.
- [http://www.ig.cas.cz/cz/seismicka-sluzba/aktualni-seismicka-aktivita_\(Geofyzikální ústav AV ČR, Praha\)](http://www.ig.cas.cz/cz/seismicka-sluzba/aktualni-seismicka-aktivita_(Geofyzikální ústav AV ČR, Praha))

