

Přehled minerálních asociací a litologie mramorů české části moldanubika (Český masiv)

Mineral assemblages and lithology of marbles of the Bohemian part of the Moldanubian Zone (Bohemian Massif)

STANISLAV HOUZAR^{1)*}, MILAN NOVÁK²⁾, JAROSLAV CÍCHA³⁾

¹⁾Mineralogicko-petrografické oddělení, Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, 659 37, Brno;
*e-mail: shouzar@mzm.cz

²⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova universita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno

³⁾Prácheňské muzeum, Velké náměstí 114, 397 24 Písek

HOUZAR S, NOVÁK M, CÍCHA J (2017) Přehled minerálních asociací a litologie mramorů české části moldanubika (Český masiv). Bull Mineral Petrolog 25(2): 113-140 ISSN 2570-7337

Abstract

Several types of locally abundant marbles occur in variegated complexes of the southern Bohemia with distinctive mineral assemblages and lithology of the host rocks. The following types were distinguished: (1) Silicate-calcite marbles (Cal + Di + Ttn ± Tr ± Qz ± Pl ± Kfs ± Wo); (2) pure calcite marbles, locally with dolomite (Cal + Phl ± Di ± Qz ± Dol and Tr + Cal + Phl); (3) graphite-calcite marbles, locally with silicates (Cal + Phl + Gr + Di + Py ± Dol); (4) calcite-dolomite marbles (Fo + Cal + Dol ± Chl (Spl) ± Chu ± Chn and Di + Cal + Dol) with accessory geikielite, baddeleyite and zirconolite and (5) dolomite marbles (Dol + Tr ± Cal ± Phl ± Fo). The peak-T conditions at $T \geq 650$ °C and $P_{\text{CO}_2} < 0.6$ are indicated by the assemblage Di + An + Wo in calcite marbles and Spl + Fo ($X_{\text{Mg}} \approx 1$) with geikielite and baddeleyite in dolomite marbles, respectively. The retrograde post-peak-T at < 550 °C is characterized by the assemblage Dol + Tr and serpentinization of forsterite. The following regions were defined in this area based on their geology and lithology: (A) calcite marbles with quartzites overlying lower Monotonous unit; (B) Český Krumlov region with marbles closely associated with graphites and partly with amphibolites; (C) rather small bodies of marbles associated with Gföhl migmatites, granulites and durbachites; (D) giant bodies (> 300 m thick) of calcite marbles in the western part of the Moldanubicum.

Key words: mineral assemblage, microprobe analyses, marble, lithology, regional distribution, Moldanubian Zone, Bohemian Massif

Obdrženo: 9. 10. 2017; přijato: 21. 10. 2017

Úvod

Moldanubické mramory byly vzhledem ke svému praktickému významu, převážně jako surovina k pálení vápna (obr. 1), částečně i dekorační a stavební kámen, předmětem zájmu již nejstarších badatelů. Tyto horniny, téměř výhradně organogenního původu, tvořící vložky v rulách a svorech byly důkazem pro metasedimentární původ části jihočeského krystalinika. Už v 19. století byly v jižních Čechách jejich výskyty pečlivě mapovány a postupně byla věnována pozornost i jejich horninovým asociacím (např. mramor - grafit) i některým vybraným minerálům. Přehledně tyto informace zhodnotil Katzer (1902). Tyto starší i pozdější údaje kriticky shrnují přehledné geologické mapy měřítka 1 : 200 000 a příslušné vysvětlivky k těmto mapám, podrobněji pak mapy měřítka 1 : 25 000 a jejich vysvětlivky. Jsou v nich uvedeny základní petrografické charakteristiky mramorů i doprovodných hornin v jednotlivých úsecích pestrých jednotek, naopak minerální asociace mramorů jsou v nich pouze soupisem minerálů bez jakýchkoliv identifikačních dat a často i vzájemných vztahů (Kodym et al. 1961; Čech et al. 1962; Jenček, Vajner 1968).

Od této doby byly mramorům věnovány dílčí práce, některé lokality byly petrograficky popsány a určeny také

některé minerály. Celkový přehled těchto prací, společně se základní charakteristikou moldanubických mramorů, je uveden v publikaci Houzara a Nováka (2001).

Význam mramorů a jejich minerálních asociací v krystalinických komplexech tkví v jejich použitelnosti pro litologické korelace jednotlivých jednotek a subjednotek. Jejich minerální asociace jsou citlivé na změny teploty a aktivit různých složek (H_2O , CO_2 , F, S, Cl, B) ve fluidní fázi a proto mohou doplňovat informace o podmínkách metamorfózy, zjištěné v jiných typech hornin. Z geologického pohledu jde v případě mramorů o jedinečné doklady přítomnosti suprakrustálních elementů v geologicky značně složitých jednotkách.

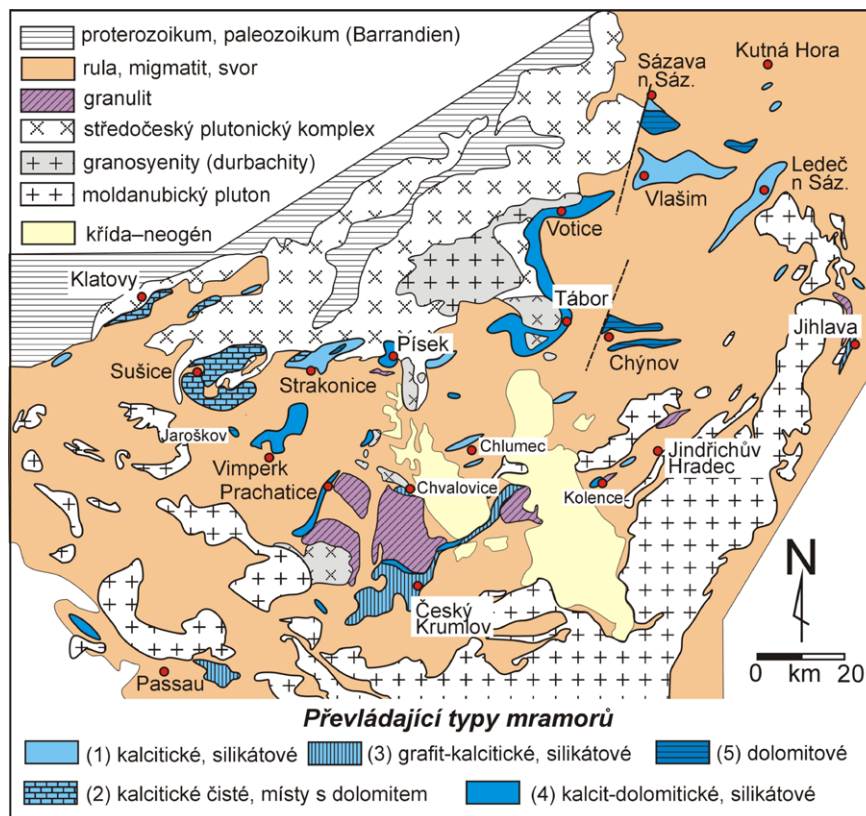
Geologická situace

Moldanubikum jižních a středních Čech (šumavské a české moldanubikum) představuje litologicky, metamorfne a zejména strukturně značně složitý komplex metamorfovaných hornin proterozoického až staropaleozoického stáří, které byly v několika intervalech proniknuty magmatickými horninami (převážně granitoidy) prevariského a variského stáří (Vrána 1992; Vrána, Štědrá 1997; Vrána 2005; Janoušek et al. 2006; Finger et al. 2007; Lardeaux et al. 2014; Faryad, Žák 2016). Současné rozdělení, ať už

litostratigrafické (pestrá a jednotvárná jednotka) nebo tektonometamorfní (drosendorfská a gföhlská jednotka) tuto složitost zdaleka nevystihuje a v detailu může být i značně zavádějící. Příčinou je, kromě komplikovaného strukturního vývoje, poměrně nedostatečné litologicko-metamorfní vymezení těchto jednotek, případně i přenášení některých termínů z jiných částí moldanubika do tohoto prostoru (srov. Finger et al. 2007; Cháb et al. 2008).



Obr. 1 Lom na kalcitický mramor s vápenkou v Mladíkově u Vacova. Foto J. Cícha, 2016.



Obr. 2 Geologická skica české části moldanubika s oblastmi častějších výskytů mramorů. Pozn.: Vyznačeny jsou úseky pestrých sekvencí s mramory, které v nich až na výjimky tvoří jednotlivé polohy desítky metrů nebo jednotky metrů mocné. V některých případech jsou zaznamenány i jednotlivé lokality.

Drosendorfská jednotka sdružuje obvykle jednotku jednotvárnou (v podloží) a pestrou (v nadloží) ve smyslu starších autorů (např. Zoubek et al. 1988). Je tvořena převážně (poly-) a multifázově metamorfovanými a deformovanými metapelity v úrovni MP/MT-HT amfibolitové facie střední kůry ($T = 600 - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 200 - 700\text{ MPa}$), převážně rulami a migmatity (cordieritické migmatity). Metapelity obsahují v různém množství vložky kvarcitu,

amfibolitů, metakarbonátů, vápenato-silikátových a grafitických hornin i metamorfovaných magmatitů (ortorul) různého složení a stáří (Jenček, Vajner 1968; Košler et al. 2014). Místy se nacházejí zóny s nižší úrovní metamorfózy (biotit-muskovitické ruly až svory), pokládané buď za méně metamorfované úseky moldanubika, nebo za produkty rozsáhlých retrográdních procesů ve střížných zónách (kaplická zóna, chýnovská zóna, zóna Královského Hvozdu; Vrána, Bártek 2005).

Gföhlská jednotka zahrnuje převážně leukokratiní migmatity a granulity, obsahující menší tělesa ultrabazických hornin, eklogitů a metamorfovaných Fe-skarnů (dříve byla označována jako tzv. *granulitová formace*; Zoubek et al. 1988). V těchto horninách, exhumovaných z úrovně spodní kůry a svrchního pláště, se lokálně dochovaly reliktní (U)HP-HT asociace granulitové a eklogitové facie odpovídající $T > 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $P > 1.4\text{ GPa}$. Její součástí je také v Rakousku vymezená raabská jednotka, tvořená amfibolity, s grafitickými kvarciti a mramory (Fritz 1995). V současné stavbě moldanubika zaujímá gföhlská jednotka často nejvyšší tektonickou pozici (Dallmeyer et al. 1995; Cháb et al. 2008; Schulmann et al. 2014; Lardeaux et al. 2014).

Metodika

Metodickým základem uvedené studie byla terénní revize asi 230 lokalit mramorů v jihočeském moldanubiku v uplynulých třiceti letech. Minerální asociace byly studovány na vybraných lokalitách ve výbrusech v procházejícím i odraženém světle. Rozlišení kalcitu a dolomitu bylo provedeno na makrozorcích barvením $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Houzar 2004). Byly využity také spolehlivé údaje z literatury (hlavně po roce 2000), v případě starší literatury, až na výjimky, odkazujeme na publikaci Houzara, Nováka (2001).

Studium chemismu minerálů bylo realizováno na společném

pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PŘF MU a ČGS (analytik R. Škoda, P. Gadas, R. Čopjaková) za použití přístroje Cameca SX 100. Měření probíhalo za těchto podmínek: vlnově disperzní mód, urychlovací napětí 15 keV, proud svazku 10 a 20 nA, velikost svazku 2 - 7 μm . Při analýze jednotlivých oxidů a silikátů bylo využito těchto standardů: almandin (Fe K α); sanidin (Al K α , K K α); albit (Na K α); baryt (Ba K α); pyrop (Mg K α); wollastonit (Si, Ca K α); Sn (Sn K α), columbit (Nb K α), spessartin (Mn K α , Si K α); titanit, anatas (Ti K α , Si K α); CrTa₂O₆ (Ta K α), topaz (F K α); vanadinit (Cl K α , V K α); chromit (Cr K α); gahnit (Zn K α); U (U K α), ScVO₄ (Sc K α); brabantit (Th K α), Ni₂SiO₄ (Ni K α); fluorapatit (P K α); SrSO₄ (Sr K α , S K α); zirkon (Zr K α); fosfáty příslušných REE prvků (Ce, La, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.02 - 0.05 hm. %). Raw data byla korigována pomocí X-phi korekce (Merlet 1994).

Rentgenová difrakční data pro minerály humitové skupiny byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (J. Sejkora, Národní muzeum, Praha) s PSD- detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly nanášeny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.02°, načítací čas 1 s/krok detektoru), v intervalu 5 - 65° 2 θ .

Zkratky minerálů jsou uvedeny, až na výjimky, podle Whitney a Evans (2010), zkratka *apfu* znamená počet atomů ve vzorci, zkratky Amp = blíže neurčený Ca-Mg-Fe-Al amfibol, MHbl = magneziohornblend, Zirc = zirkonolit a HChu = hydroxyl-klinohumit, HChn = hydroxyl-chondroit.

Hlavní petrografické typy studovaných mramorů

Na základě variability minerálních asociací a poměru kalcit : dolomit : silikáty lze pro studovaný region jižních (částečně i středních) Čech s určitým zjednodušením vyčlenit několik hlavních typů mramorů (obr. 2, tab. 1):

- (1) silikát-kalcitické mramory
- (2) čisté kalcitické mramory, místy s dolomitem
- (3) grafit-kalcitické mramory, místy silikátové
- (4) kalcit-dolomitické mramory
- (5) dolomitové mramory

(1) Silikát-kalcitické mramory

představují nejrozšířenější typ mramorů. Jde o šedobílé až zelenošedé horniny tvořené kalcitem (téměř veškeré MgO je v silikátové formě), převážně drobné až středně zrnité. Tvoří spíše menší tělesa (řádově m až desítky m mocná) v sekvencích pararul s četnými vložkami diopsidových rul a (negrafitických) kvarcitů. Základní minerální asociaci Cal + Di + Ttn \pm Tr \pm Qz \pm Pl \pm Kfs v případě mramorů v migmatizovaných rulách s cordieritem doplňuje wollastonit. Jsou pro ně typické postupné přechody do diopsidických rul (*erlanů*) až diopsidických kvarcitů, případně pyroxen-granátických skarnoidů. V některých případech se střídají silikátové a karbonátové polohy, řádově v cm až dm. V důsledku rozdílné kompetence karbonátů a silikátů jsou takové mramory nezřídka detailně disharmonicky provrásněné.

(2) Čisté kalcitické mramory, místy s dolomitem,

jsou poměrně rozšířenými horninami zejména v nejzápadnější části studované oblasti (sušicko-horažďovická, částečně klatovská subjednotka), kde vytvářejí tělesa o mocnosti desítek až stovek metrů v relativně monotónních biotitických (\pm Crd) rulách (Malecha et al. 1960). Jsou převážně čisté bílé až šedobílé, nejčastěji středně zrnité až velmi hrubozrné, ojediněle jemnozrné (asociace Cal + Phl \pm Di \pm Qz \pm Dol a Tr + Cal + Phl). Asociace Cal + Qz je stabilní v celém objemu těles (Strašín, Mladíkov, Hejná), pouze v místech infiltrace H₂O (\pm SiO₂) bohatých fluid vzniká wollastonit a kalcit dostává světle modrou barvu (Nezdice). Hranice s okolními pararulami jsou převážně relativně ostré, bez přechodů. Tento typ mramoru obsahuje místy podřízeně (< 0.1 % z celkového objemu těles) protáhlé čočkovité polohy šedých silikátových dolomitických hornin s typickou asociací Fo + Spl \pm Chu, vzácně s akcesorickými minerály Ti a Zr. Zrna oranžového hydroxyl-klinohumitu v nich dosahují vzácně velikosti až několik cm, u diopsidu až > 10 cm (Houzar, Novák 2001; Čopjaková et al. 2008; Červený 2012).

(3) Grafit-kalcitické mramory, místy silikátové,

reprezentují lokálně rozšířený typ s různým podílem grafitu a silikátové složky, obvykle s menším podílem dolomitu. Jsou to šedé, středně zrnité a často páskované horniny, v nichž se střídají karbonátové a silikáty bohatší proužky; šířka světlých pásků je větší než u tmavých

Tabulka 1 Typy a hlavní minerální asociace mramorů české části moldanubika

Typ mr.	Převažující velikost těles	Minerální asociace			Typová lokalita
		hlavní	vedlejší	typický znak	
(1)	(dm) - - desítky m	Cal+Di*+Ttn \pm Tr (Amp)	Qz+Pl \pm Phl \pm Kfs	v migmatitech Wo** +Di+Cal asociace s Fe skarny	Ledeč n/Sáz. Písecká Smoleč
(2)	desítky - - stovky m	Cal+Phl+Tr \pm Di \pm Qz	Wo+Cal	ojediněle Dol+ Fo+Spl \pm Chu velmi čisté mramory	Hejná Nehodiv
(3)	desítky m	Cal+Dol+Gr+Phl+Tr (Ed)+Di	a) Fo+Cal ; b) Scp (Ma) + Cal \pm ?Zo (Czo)	ojediněle Dol+Chu \pm Spl páskované mramory	Č. Krumlov Vyšný
(4)	m - - desítky m	Dol+Cal+ Fo +Chl I + Phl \pm Prg	a) Spl (\pm Zn) \pm Chu \pm Chl II; b) Dol+Cal+ Chn \pm Cln	akces. baddeleyit a zirkonolit žilné Mg \rightarrow Ca skarny (Czo, Me)	Horní Záblatí Modlenice
(5)	desítky m	Dol+Tr+Cal+Phl	Cal+Chl \pm Fo ; ?Spl	sdužené s čistými kalcitickými mramory	Chýnov Č. Šternberk

(1) - Silikát-kalcitické mramory; (2) - čisté kalcitické mramory, místy s dolomitem; (3) - grafit-kalcitické mramory, místy silikátové; (4) - kalcit-dolomitické mramory; (5) dolomitové mramory.

* tučně jsou vyznačeny rovnovážné asociace, důležité z hlediska prográdní metamorfózy

** tučnou kurzívou specifické minerály z asociací nejvyššího stupně metamorfózy daného typu



Obr. 3 Grafit-silikátový mramor (typ 3), Vyšný u Českého Krumlova. Velikost bloku 2 × 1.5 m. Foto S. Houzar, 2016.



pásků s podílem grafitu (obr. 3). Tvoří tělesa různých mocností, řádově od několika metrů do desítek metrů v rulách, často grafitických, s vložkami kvarcitů, diopsidových rul a amfibolitů. Převládající typ těchto mramorů obsahuje grafit jen v akcesorickém množství, a to v podobě deformovaných hexagonálních krystalů a lupínků o velikosti 0.1 - 2 mm. Silně grafitické mramory jsou relativně vzácné, nezděna jemnozrnné, mylonitizované, se samostatnými agregáty až polohami čistého kryptokrystalického grafitu (Čech et al. 1962). Minerální asociace $Cal + Phl + Gr + Di + Py \pm Dol$ lokálně zahrnuje marialit, edenit a tremolit, forsterit, vzácně křemen, plagioklas, ojediněle uvit-dravitový turmalín, případně sulfidy Fe, Zn, Mn (Kříbek 1988; Houzar, Novák 2001). K tomuto typu přísluší i specifický „karbonatitoid“, vystupující společně s běžnými mramory a grafity v Bližné, s amfiboly (edenit, magneziohornblend, richterit a ferriwinchit), někdy obrůstajícími Na-Fe³⁺ bohatým diopsidem, s flogopitem, molybdenitem a minerály supergrupiny pyrochlóru (Radková 2017).

(4) Kalcit-dolomitické mramory

jsou v některých subjednotkách nejobvyklejšími mramory, tvořícími tělesa menší až střední velikosti (od několika m po několik desítek m). Jedná se o šedobílé, texturně, strukturně i mineralogicky variabilní horniny, které by bylo možno rozdělit na různé subtypy, zejména podle poměru Mg/Si/Al, který je odlišný pro dvě základní asociace těchto mramorů: $Fo + Cal + Dol \pm Chl (Spl)$ a $Di + Cal \pm Dol$. Pro první z nich je charakteristický též klinohumit nebo chondroit a akcesorický Mg-ilmenit-geikielit, případně baddeleyit a zirkonolit. V dolomit-kalcitických typech (kalcit je často retrográdně zbaiven Mg), které se pravidelně objevují při styku s okolními migmatity, je častý tremolit, diopsid, wollastonit a drobná zrna fluorapatitu. V obou asociacích se vyskytuje flogopit, který místy vy-

Obr. 4 Mramor s flogopitem, forsteritem, klinohumitem a spinelem, Bečice u Tábora. Velikost vzorku 8 × 6 cm. Foto J. Cícha.

Obr. 5 Tremolitický mramor, Muckov u Černé v Pošumaví. Velikost ukázky 10 × 8 cm. Foto J. Cícha.

značuje foliaci mramoru, a pargasitové až edenitové amfiboly. Typický je akcesorický obsah sulfidů, nejčastěji pyrhotinu, galenitu a sfaleritu. Charakteristické je zejména rychlé střídání různých kontrastních minerálních asociací v řádově mm a cm vzdálenostech (obr. 4), častá je i jejich distribuce v nepravidelných hnízdech a šmouhách porušujících foliaci mramoru.

(5) Dolomitové mramory

jsou zastoupeny nejméně, místy však v mramorových tělesech převládají a jejich mocnost bývá až několik desítek metrů. Jde o relativně čisté, středně zrnité, bílé (Český Šternberk, Bohdaneč, Jaroškov), vzácněji i šedé (Rovná u Strakonice, Chýnov) texturně homogenní horniny, uložené v biotitických a biotit-muskovitických pararulách, často obsahujících polohy amfibolitů a grafitických kvarcitů. Minerální asociace je jednoduchá: Dol + Tr + Cal + Phl ± Di. Místy se vyskytují i hrubozrnné silikátové partie s bílým diopsidem + tremolitem, vzácný je forsterit. V jeho případě však jde nejspíše o produkt reakce dolomitu s externě přineseným SiO₂ nebo metamorfované diageneticky silicifikované dolomity.

Minerální asociace mramorů a charakteristika vybraných minerálů

Jako mramory se označují metamorfované karbonátové horniny, v nichž podíl kalcitu a/nebo dolomitu přesahuje 50 modálních %. Obsahují různý podíl nekarbonátové složky, zejména silikátů, které vznikly reakcí karbonátů se siliciklastickou složkou v původním sedimentu nebo za přínosu některých komponent (např. Si, Al, Fe, Na, K) z externího zdroje. Minerální asociace mramorů závisí převážně na teplotě a složení fluid, vliv celkového tlaku je spíše vedlejší, ovlivňující převážně složení a chování fluidní fáze, přímo pak stabilitu některých nízkotlakých minerálů, například periklasu nebo monticellitu (srov. Tracy, Frost 1991; Spear 1995). Všechny minerály zjištěné ve studovaných mramorech uvádí tabulka 2, nejdůležitější progradní minerály jsou charakterizovány podrobněji.

Kalcit a dolomit

Přestože jde o hlavní minerály mramorů, byly dosud studovány jen minimálně. V kalcitických mramorech tvoří **kalcit I** převážně izometrická zrna milimetrové velikosti. S rostoucím stupněm deformace se v závislosti na plasticitě vytvářejí heterogenní struktury, v nichž drobnější matrix obklopuje větší zrna kalcitu. V některých mramorech chudých silikáty dosahují zrna kalcitu až centimetrové velikosti, částečně jde o produkty rekrystalizace při zvýšení teploty nebo v důsledku přínosu fluid. Poslední případ je typický pro kalcit modré barvy v asociaci s wollastonitem (Nezdice, Písek - Kamenné doly, Nehodiv u Klatov) a ojedinelý oranžový kalcit s amfibolem z Blížné a Chýnova; příčina jejich zbarvení není známa. Jemně dispergované nekystalické (?) fáze systému Fe-S-H₂S jsou příčinou černého zbarvení některých mramorů z Hejné (Malecha et al. 1960).

V dolomitických mramorech je část kalcitu produktem rekrystalizace kalcitu protolitu (**kalcit I**) a část důsledkem metamorfních reakcí (**kalcit II**). Kalcit v asociaci s dolomitem je relativně chudý Mg (≤ 2.16 % MgO; 0.053 *apfu* Mg), Fe (≤ 0.11 hm. % FeO; 0.002 *apfu* Fe) a Mn (≤ 0.09 % MnO; 0.001 *apfu* Mn). Nízký podíl Mg v kalcitu s četnými odmíšeninami dolomitu naznačují jeho retrogradní rekrystalizaci za relativně nízkých teplot (srov. Ferry 2001). Maximální vypočtená teplota podle dolomit-kalcitového

termometru pro asociaci Cal + Dol + Fo + Chl + Spl + Chu odpovídala ~ 550 °C, což nekoresponduje s podmínkami převažující progradní metamorfózy v moldanubiku.

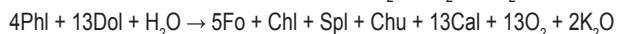
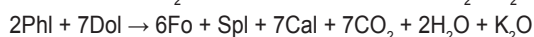
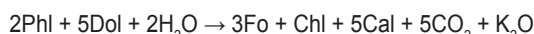
Dolomit tvoří minimálně dvě hlavní generace. Progradní **dolomit I** je produktem rekrystalizace protolitu, vznik retrogradního **dolomitu II** je spojen s odmíšením Mg z kalcitu, migrací Ca-Mg složky a koalescencí zrn při snižování teploty.

Postmetamorfní hydrotermální metasomatické **dolomity III** s křemenem, palygorskitem a sepiolitem (např. Hejná) ponecháváme v tomto příspěvku stranou (srov. Malecha et al. 1960).

Slidy a chlority

Nejrozšířenějším a na většině lokalit převládajícím minerálem mramorů je **flogopit**. Jeho složení je blízké teoretickému, což platí zejména pro dolomitické mramory. Odchytky ve složení se uplatňují jen lokálně, jako v případě fluorem bohatších flogopitů z Písecka a bezželeznatého flogopitu s F > 1.6 *apfu* (s bílou luminiscencí v UV-záření) v Černé v Pošumaví (tab. 3). Podobně nepravidelně kolísá i podíl Na (0.06 - 1.82 hm. % Na₂O; 0.008 - 0.243 *apfu* Na) a Ba (0.00 - 0.43 hm. % BaO; ≤ 0.012 *apfu* Ba). Obsah Cr a V se pohybuje při hranici stanovení.

Flogopit náleží převážně ke starším minerálům. Bývá zatlačován chloritem I a forsteritem, případně spinelem a klinohumitem. Reakce uvádí Novák (1988):



Tabulka 2 Minerály mramorů české části moldanubika

Progradní minerály		
hojné	vzácné	ojedinělé
kalcit I	titanit	ilmnenit*
kalcit II	spinel**	magnetit
dolomit I	hydroxyl-klinohumit	rutil
flogopit***	klinohumit	geikielit
diopsid I	chondroit	gahnit
forsterit	hydroxyl-chondroit	allanit-(Ce)
tremolit I	K-živec I	zirkonolit
křemen I****	plagioklasy Ab (<60)	baddeleyit
edenit	anortit	kinoshitalit
pargasit	marialit	clintonit
chlorit I	zoisit-klinozoisit	uvit
grafit	muskovit	arzenopyrit
fluorapatit	wollastonit	magnezoferrit
zirkon	dravit	magneziofoitit
pyrit	galenit	
pyrhotin	sfalerit	
Retrogradní minerály		
dolomit II; kalcit III; serpentín; mastek; tremolit II (aktinolit); chlorit II; sepiolit; palygorskite; křemen II; fluorit; hydrotalkit-pyroaurit; pumpellyit-Mg; brucit; baryt.		
Minerály metasomatického původu		
wollastonit; diopsid II; hedenbergit; grossular; vesuvian; tremolit III; křemen III; K-(Ba)-živec II; dolomit III; meionit; klinozoisit (<i>thulit</i>)-epidot; scheelit.		

* Mg-ilmenit, vzácně Mn-ilmenit; ** místy Zn-spinel

*** ojedinelé fluorflogopit; **** pouze v kalcitických mramorech

V kalcitických mramorech je flogopit v důsledku nestability asociace Phl + Qz + Cal za vyšších T vzácnější. Má často zvýšený podíl Fe a výrazný pleochroismus v hnědých tónech (*biotit*).

Bezbarvé slídy v mramorech odpovídají někdy **muskovitu**. Nazelenalý muskovit (*damourit*) na Pacově hoře u Chýnova má zvýšený obsah Cr (≤ 0.86 hm. % Cr_2O_3 , ≤ 0.093 apfu Cr), V (≤ 0.45 hm. % V_2O_3) a Ba (≤ 0.12 hm. % BaO) (Vrána 2014); na Kladrubské hoře ≤ 0.10 hm. % Cr_2O_3 (≤ 0.005 apfu Cr), ≤ 0.09 hm. % V_2O_3 a ≤ 0.66 % hm. % BaO.

Velmi vzácné jsou křehké slídy **clintonit**, **kinoshitalit** a **margarit**. První dvě se vyskytují ojediněle na Písecku v asociaci s chloritem, případně spinelem a jsou značně bohaté fluorem (Houzar, Cícha 2016), margarit s vyšším podílem Na ($X_{\text{Na}} 0.24$) zjistil Babůrek (1995) v kalcitickém mramoru u Nýrska.

Chlorit (klinochlor) se vyskytuje minimálně ve dvou generacích, obě jsou chudé Fe a Mn. Prográdní chlorit I s forsteritem může zatlačovat starší flogopit. Při růstu T je

sám zatlačovaný spinelem, v retrográdní fázi mezi nimi vznikají reakční lemy tvořené chloritem II podle reakce $\text{Fo} + \text{Spl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Chl II}$. Prográdní chlorit I se spinelem vykazuje vyšší $^{\text{IV}}\text{Al}$ vzhledem k substituci $^{\text{IV}}\text{Al}$ $^{\text{VI}}\text{Al}$ $\text{Si}_{-1}\text{Mg}_{-1}$ odpovídající vyšší T vzniku (Novák 1988).

Amfiboly

Tremolit až magneziohornblend (Novák et al. 2002) jsou hojnými prográdními minerály kalcitických mramorů v asociaci Tr + Cal + Di \pm Qz (obr. 5). Bohatší F jsou zvláště tremolity chondroitových mramorů (asociace Chn + Tr \pm Chl \pm Cln), ale též tremolit a edenit z Muckova (2.43 - 2.70 hm. % F, 1.067 - 1.181 apfu F) (tab. 4). V dolomitických mramorech se vyskytuje jak prográdní (obr. 6), tak i retrográdní tremolit (oba složením blízké koncovému členu) v asociaci Dol + Tr \pm Phl. Ve složení studovaných amfibolů, které často kolísá i v rámci jedné lokality, jsou patrné dva regionální trendy (obr. 7).

Ojedinělou odrůdou tremolitu, známou z mramoru Chýnovské jeskyně, je sytější fialový *hexagonit*, tvořící

Tabulka 3 Reprezentativní chemické složení slíd a chloritů (hm. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	43.89	42.99	41.68	41.88	40.16	40.34	40.14	46.72	45.01	45.65	34.66	31.31	33.22
TiO ₂	0.50	b.d.	0.64	1.13	0.84	0.99	0.83	b.d.	b.d.	1.39	0.02	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	11.76	12.41	15.34	14.38	15.85	15.91	17.51	34.72	34.89	34.91	48.59	21.45	15.97
Cr ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	0.01	b.d.	0.10	b.d.	b.d.	b.d.
V ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	0.05	0.03	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	b.d.	b.d.	b.d.
FeO	b.d.	0.43	0.24	1.10	1.12	1.83	0.80	0.13	0.10	0.36	0.04	0.36	3.11
MgO	29.1	29.02	27.42	26.77	27.18	26.63	26.59	0.01	2.93	0.83	0.20	34.13	33.39
CaO	b.d.	b.d.	b.d.	0.03	0.02	b.d.	b.d.	0.20	0.81	b.d.	10.36	b.d.	b.d.
BaO	0.12	0.10	0.12	0.05	0.09	b.d.	0.15	0.08	0.15	0.37	b.d.	b.d.	b.d.
Na ₂ O	0.34	0.27	0.87	0.06	0.37	0.97	1.82	0.29	0.44	0.32	1.41	b.d.	0.03
K ₂ O	10.31	10.57	9.41	10.81	9.72	9.10	8.46	11.10	9.75	10.84	b.d.	b.d.	b.d.
H ₂ O**	2.14	2.18	3.54	3.90	4.00	4.14	3.75	4.39	4.42	4.40	4.58	12.87	12.49
F	4.65	4.52	1.70	2.62	0.64	0.36	1.29	0.18	0.10	0.16		0.29	0.26
O=F	-1.96	-1.90	-0.72	-1.10	-0.27	-0.15	-0.54	-0.08	-0.04	-0.07		-0.12	-0.11
TOTAL	100.77	100.59	100.24	100.83	99.80	100.12	100.80	98.80	98.55	99.38	99.86	100.39	98.56
Si ⁴⁺	3.026	2.982	2.876	2.902	2.801	2.804	2.759	3.131	3.024	3.057	2.269	2.887	3.158
Ti ⁴⁺	0.026		0.033	0.059	0.044	0.052	0.043			0.070	0.001		
Al ³⁺	0.956	1.015	1.248	1.174	1.303	1.303	1.419	2.742	2.763	2.755	3.749	2.331	1.789
Cr ³⁺			0.003					0.001		0.005			
V ³⁺				0.003	0.002					0.003			
Fe ²⁺		0.025	0.014	0.059	0.065	0.106	0.046	0.007	0.006	0.020	0.002	0.028	0.247
Mg ²⁺	2.982	3.001	2.821	2.765	2.826	2.759	2.725	0.110	0.293	0.083	0.020	4.692	4.732
Ca ²⁺			0.002	0.001				0.014	0.058		0.727		
Ba ²⁺	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002		0.004	0.002	0.004	0.010			
Na ⁺	0.045	0.036	0.116	0.008	0.050	0.131	0.243	0.038	0.057	0.042	0.179		
K ⁺	0.907	0.935	0.828	0.955	0.865	0.807	0.742	0.941	0.836	0.926			
H ⁺	0.986	1.008	1.629	1.426	1.859	1.921	1.720	1.962	1.979	1.966		7.915	7.922
F ⁻	1.014	0.992	0.371	0.574	0.141	0.079	0.280	0.038	0.021	0.034		0.085	0.078
O ²⁻	10.986	11.008	11.629	11.426	11.859	11.921	11.72	11.962	11.979	11.966		17.915	17.922
CATSUM	7.946	7.997	7.939	7.931	7.961	7.962	7.981	6.988	7.041	6.975	6.945	9.949	9.948
AN SUM	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	18

1 - fluor-flogopit, Černá; 2 - flogopit, Nihošovice; 3 - flogopit, Český Krumlov; 4 - flogopit, Vyšný; 5 - flogopit, Chvalšiny; 6 - flogopit, Kamenný Újezd; 7 - flogopit, Borotín; 8 - muskovit, Vyšný; 9 - muskovit, Údolí; 10 - muskovit, Kladruhy; 11 - margarit*, jz.od Nýrska; 12 - chlorit, Záblatí; 13 - chlorit, Malenice I

* Babůrek (1995); ** vypočteno ze stechiometrie; na hranici stanovení byl ještě zjištěn Mn ≤ 0.002 apfu a ojediněle Pb a Zn ≤ 0.003 , u chloritů Cr ≤ 0.003 - 0.009 apfu; b.d. (ve všech tabulkách) = pod hranici stanovení

drobné porfyroblasty (v centru někdy s reliktním diopsidem) zatlačované mastkem; jde o druhý výskyt na světě a příčina barvy není známa (Litochleb et al. 2004).

Aktinolit je společně s **magneziohornblendem** s podílem Fe převážně produktem retrogradní přeměny diopsidu v kalcitických mramorech (asociace Di + Amp(Act) + Ttn ± Pl ± Qz ± Czo).

Méně hojně jsou Ca-amfiboly **edenit** a **pargasit**, přítomné převážně v mramorech nejsevernější části českokrumlovské subjednotky (Chvalšiny, Kamenný Újezd). Edenit je častější v kalcitických mramorech (Cal + Ed + Phl + Di ± Dol), v dolomitických typech se spinelem a chloritem I je spíše pargasit (Kamenný Újezd, Písecko). Tyto amfiboly se vyskytují často v úzkých neostře omezených



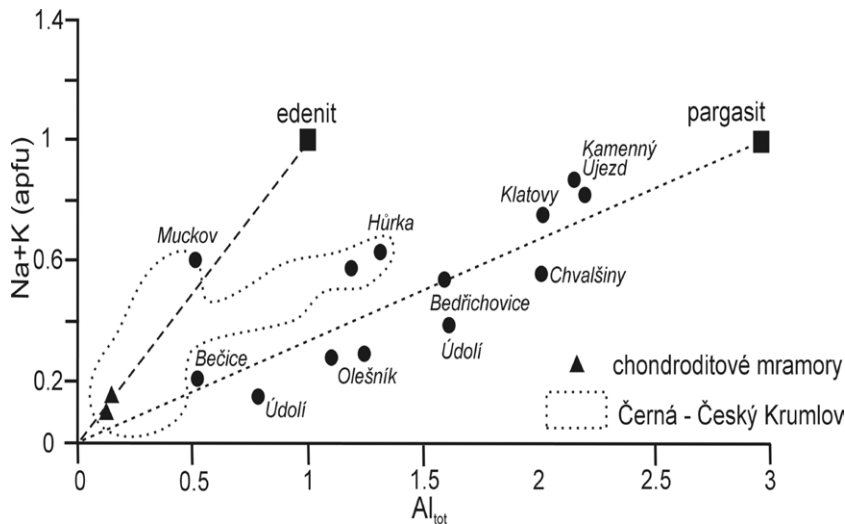
Obr. 6 Tremolit, Chýnov - lom Pacova hora. Velikost ukázky 14 × 8 cm. Foto J. Cícha.

Tabulka 4 Reprezentativní chemické složení amfibolů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Ed	Tr	Ed	Tr	Prg	Tr	MHbl	Prg	Tr	MHbl	Tr	MHbl
SiO ₂	53.91	57.7	51.31	57.16	46.00	58.55	48.03	45.69	59.91	51.31	56.55	51.64
TiO ₂	0.13	0.03	0.19	0.06	1.32	0.11	0.25	0.66	0.01	0.23	0.09	0.69
Al ₂ O ₃	3.40	1.20	7.21	1.32	12.29	0.78	7.60	13.40	0.11	10.80	2.54	7.25
FeO	1.10	1.73	1.22	0.66	1.80	0.45	17.23	2.33	0.74	0.87	1.13	0.69
MnO	b.d.	0.02	b.d.	b.d.	0.03	0.02	0.20	0.05	0.05	0.03	0.02	b.d.
MgO	23.62	23.80	21.57	23.73	20.51	24.73	10.88	20.45	24.78	21.54	23.83	22.27
CaO	13.28	13.84	13.46	13.72	13.80	14.5	12.48	12.93	13.79	13.52	13.64	13.27
ZnO	b.d.	b.d.	b.d.	0.03	0.03	0.01	0.07	b.d.	0.03	b.d.	0.06	0.04
Na ₂ O	1.94	0.23	1.63	0.16	2.70	0.26	0.60	2.62	0.02	1.33	0.63	1.45
K ₂ O	0.33	0.10	0.76	0.26	1.80	0.18	0.61	0.62	0.03	0.20	0.15	0.38
F	2.46	0.72	b.d.	0.91	0.92	1.56	0.37	0.40	0.37	0.57	0.66	0.26
H ₂ O*	1.00	1.87	2.16	1.75	1.71	1.49	1.83	1.94	2.70	1.94	1.89	2.50
O=F	-1.04	-0.30	-	-0.38	-0.39	-0.66	-0.16	-0.17	-0.16	-0.24	-0.28	-0.11
TOTAL	99.68	100.75	99.51	99.38	100.51	101.56	99.53	101.03	101.79	101.4	100.95	99.88
Si ⁴⁺	7.480	7.838	7.139	7.839	6.421	7.859	7.164	6.355	7.988	6.960	7.669	7.120
Ti ⁴⁺	0.014	0.003	0.020	0.006	0.139	0.011	0.028	0.069	0.001	0.023	0.009	0.072
Al ³⁺	0.497	0.163	1.182	0.213	2.022	0.123	1.241	2.197	0.017	1.611	0.406	1.178
Fe ²⁺	0.117	0.197	0.142	0.076	0.126	0.051	2.149	0.271	0.083	0.099	0.128	0.080
Mn ²⁺		0.002			0.004	0.002	0.025	0.006	0.006	0.003	0.002	
Mg ²⁺	4.886	4.820	4.474	4.851	4.268	4.948	2.419	4.240	4.925	4.356	4.818	4.578
Ca ²⁺	1.974	2.014	2.006	2.016	2.064	2.021	1.995	1.927	1.970	1.965	1.982	1.960
Zn ²⁺				0.003	0.003	0.001	0.008		0.003		0.006	0.004
Na ⁺	0.522	0.061	0.440	0.043	0.560	0.068	0.174	0.707	0.005	0.350	0.166	0.388
K ⁺	0.058	0.017	0.135	0.045	0.192	0.031	0.116	0.110	0.005	0.035	0.026	0.067
F ⁻	1.080	0.309		0.395	0.406	0.662	0.175	0.176	0.156	0.245	0.283	0.113
H ⁺	0.920	1.691	2.000	1.605	1.592	1.338	1.823	1.800	1.842	1.753	1.712	1.887
O ²⁻	22.920	23.691	24.000	23.605	23.592	23.338	23.823	23.800	23.842	23.753	23.712	23.887
CATSUM	15.548	15.116	15.538	15.092	15.803	15.117	15.328	15.884	15.006	15.403	15.214	15.446
AN SUM	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

1, 2 - Muckov; 3 - Hůrka; 4 - Vyšný; 5 - Klatovy; 6 - Nihošovice; 7 - Olešník; 8 - Kamenný Újezd; 9, 10 - Údolí; 11 - Bečice; 12 - Bedřichovice

* vypočteno ze stechiometrie; v amfibolech stanoveno rovněž ≤0.005 apfu V a ≤0.004 apfu V



Obr 7 Poměr $Na+K/Al_{tot}$ v amfibolech mramorů z různých subjednotek a lokalit.

polohách fylsilikátů. Chemicky extrémním případem tohoto typu je pargasit z Chýnova, obsahující 19.5 - 20.4 hm. % Al_2O_3 (Vrána 1978).

Diopsid

představuje nejhojnější nekarbonátový minerál v kalcitických mramorech moldanubika (obr. 8), v nichž je produktem reakce $Cal + Tr + Qz \rightarrow Di + CO_2$, probíhající v širokém rozsahu PTX podmínek za $T > 550$ °C (Tracy, Frost

1991). V jeho chemickém složení kolísá převážně obsah Fe (0.00 - 15.00 hm. % FeO; ≤ 0.491 apfu Fe^{2+} ; ≤ 2.92 hm. % Fe_2O_3 , ≤ 0.085 apfu Fe^{3+}), nízký je podíl Mn (0.03 - 0.88 hm. % MnO; ≤ 0.028 apfu Mn) a Zn (0.00 - 0.10 hm. % ZnO; ≤ 0.003 apfu Zn). Část diopsidu má zvýšený ^{IV}Al (≤ 0.032 apfu) a Na (≤ 0.025 apfu) (tab. 5). Chýnovské mramory obsahují Fe-chudý diopsid s $Fe^{3+} > Fe^{2+}$. Chudé Fe jsou zvláště diopsidy ($Hd \leq 5$) dolomitových mramorů v asociaci s flogopitem. V kalcitických mramorech se

Tabulka 5 Reprezentativní chemické složení diopsidu a forsteritu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	diopsid	diopsid	diopsid	forsterit	forsterit	forsterit	forsterit	diopsid	forsterit	diopsid	forsterit	diopsid
SiO ₂	55.09	51.75	51.48	43.31	42.27	41.61	43.13	55.9	42.32	55.63	42.87	55.44
TiO ₂	0.03	b.d.	0.07	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.04	b.d.	0.05
Al ₂ O ₃	0.89	0.21	1.80	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.21	b.d.	0.15	b.d.	0.53
Fe ₂ O _{3⁺}	0.58	2.16	1.42	-	-	-	-	0.58	-	0.40	-	0.79
FeO	b.d.	9.89	12.49	1.01	3.30	7.35	1.88	b.d.	2.99	b.d.	3.68	b.d.
MnO	0.04	0.21	0.12	0.01	0.06	0.11	0.17	0.06	0.18	0.06	0.09	0.03
MgO	18.20	10.99	9.48	57.34	55.90	51.80	56.58	19.00	54.38	18.40	54.32	18.24
CaO	26.10	24.60	23.83	b.d.	0.10	0.04	0.04	25.94	b.d.	26.38	b.d.	26.6
ZnO	0.05	0.02	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.02	b.d.	0.03	0.18	0.10
Na ₂ O	0.15	0.14	0.34	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.03	b.d.	0.07
TOTAL	100.95	99.98	100.31	101.67	101.63	100.91	101.80	101.71	99.88	101.12	101.14	101.31
Si ⁴⁺	1.973	1.969	1.966	1.002	0.990	0.998	1.001	1.985	1.005	1.989	1.009	1.979
^{IV} Al	0.026	0.009	0.032	-	-	-	-	0.009	-	0.006	-	0.020
Ti ⁴⁺	0.001		0.002							0.001		0.001
^{IV} Fe		0.022		-	-	-	-	0.006	-	0.004	-	
Al ³⁺	0.012		0.017					0.009				0.002
Fe ³⁺	0.016	0.040	0.041	-	-	-	-	0.009	-	0.007	-	0.021
Fe ²⁺		0.315	0.399	0.020	0.065	0.147	0.036		0.059		0.072	
Mn ²⁺	0.001	0.007	0.004		0.001	0.002	0.003	0.002	0.004	0.002	0.002	0.001
Mg ²⁺	0.962	0.624	0.540	1.977	1.952	1.853	1.957	1.006	1.926	0.981	1.905	0.971
Ca ²⁺	1.002	1.003	0.975		0.003	0.001	0.001	0.987		1.010		0.997
Zn ²⁺	0.001	0.001						0.001		0.001	0.003	0.003
Na ⁺	0.010	0.010	0.025							0.002		0.005
CATSUM	4.004	4.000	4.000	2.998	42738	3.002	2.999	4.003	2.995	4.003	2.991	4.000
O	6	6	6	4	4	4	4	6	4	6	4	6

1 - Vyšný; 2 - Olešník; 3 - Ledec; 4 - Záblatí; 5 - Borotín; 6 - Bečice; 7, 8 - Údolí; 9, 10 - Chvalšiny; 11, 12 - Bedřichovice
* vypočteno ze stechiometrie

naopak vzácněji vyskytuje hořečnatý **hedenbergit** ($Hd \leq 60$). Z kalcitických (dedolomitizovaných) mramorů v okolí Vimperka (Výškovice, Vnarovy) popsali Žáček a Škoda (2017) Fe-diopsid výjimečně bohatý Zn (≤ 0.89 hm. % ZnO; ≤ 0.024 apfu Zn; ≤ 2.5 mol. % petedunnitové složky), přičemž za zdroj Zn považují akcesorický sfalerit v původních dolomitických mramorech.

Forsterit

vedle flogopitu jde o hlavní silikát v dolomitických mramorech, kde je vázán na asociace chudé Si, K a Na. Místy je doprovázen klinohumitem a spinelem. Jeho složení kolísá od téměř čistého forsteritu (Záblatí, Český Krumlov) až po *oliviny* bohatší Fe (0.76 - 8.05 hm. % FeO; 0.015 - 0.163 apfu Fe) (tab. 5); složení forsteritu z Malovidy u Českého Šternberka bylo pravděpodobně ovlivněno přínosem železa fluidy z externího zdroje (obr. 9). Nízký je obsah Mn (0.00 - 0.19 hm. % MnO; ≤ 0.003 apfu Mn). Podíl Zn je převážně pod hranici stanovení, zaznamenan byl ojediněle v asociaci Fo + Di + Phl + (Zn)Spl z Bedřichovic (≤ 0.18 hm. % ZnO), na hranici stanovení je Ca, Ti a Ni.

V dolomitických mramorech s nízkým Si/Al je velmi rozšířená asociace Fo + Chl I ± Spl. Zcela výjimečně byl forsterit zjištěn v texturně rovnovážné asociaci s diopsidem (Bedřichovice u Votic), která reprezentuje reakci: $3Tr + 5Cal \rightarrow 2Fo + 11Di + 5CO_2 + 3H_2O$ (Novák 1988).

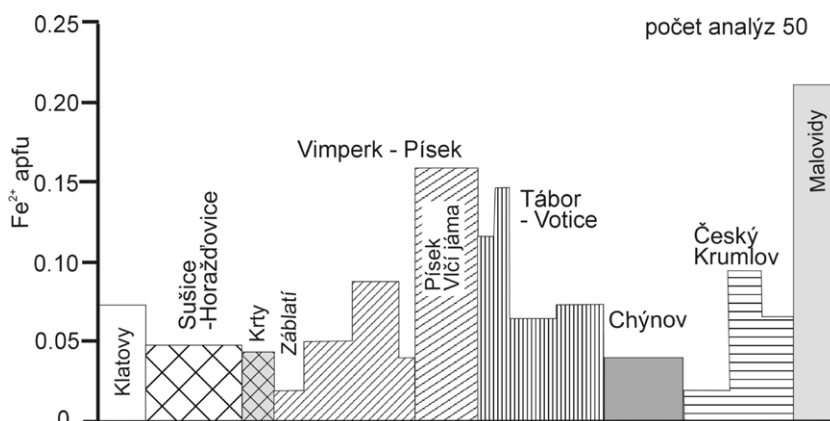
Při retrográdní fázi metamorfózy je forsterit nestabilní. Na styku se spinelem vzniká chlorit II (obr. 10). Nejrozšířenější je zatlačování *minerály skupiny serpentinu* (obr. 11), kdy vznikají *ofikalcity* (Srp + Cal + Dol) až masivní horniny tvořené pouze serpentinem s příměsí mastku v podmínkách vysokého X_{H_2O} a $T < 450$ °C (Boršov, Chvalovice u Netolic, Černá, Kolence). Z forsteritu s kalcitem vzniká retrográdně také tremolit s dolomitem (obr. 12).

Minerály skupiny humitů

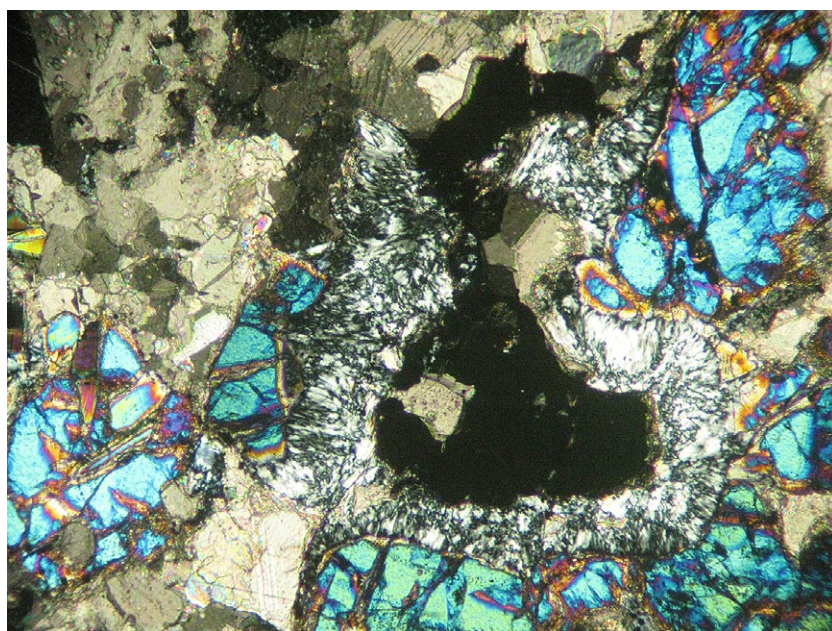
Z minerálů humitové skupiny je běžný hydroxyl-klinohumit, vzácnější klinohumit a chondrodit, které se vyskytují hojněji v subjednotkách vimpersko-písecké a sušicko-horaždovické, vzácně též v jižní části subjednotky táborsko-votické (Bečice, Borotín). Ojedinělé nálezy hydroxyl-klinohumitu pocházejí z Klatov (Loreta) a zcela výjimečně z Lazce, Černé a Českého Krumlova. Chemi-



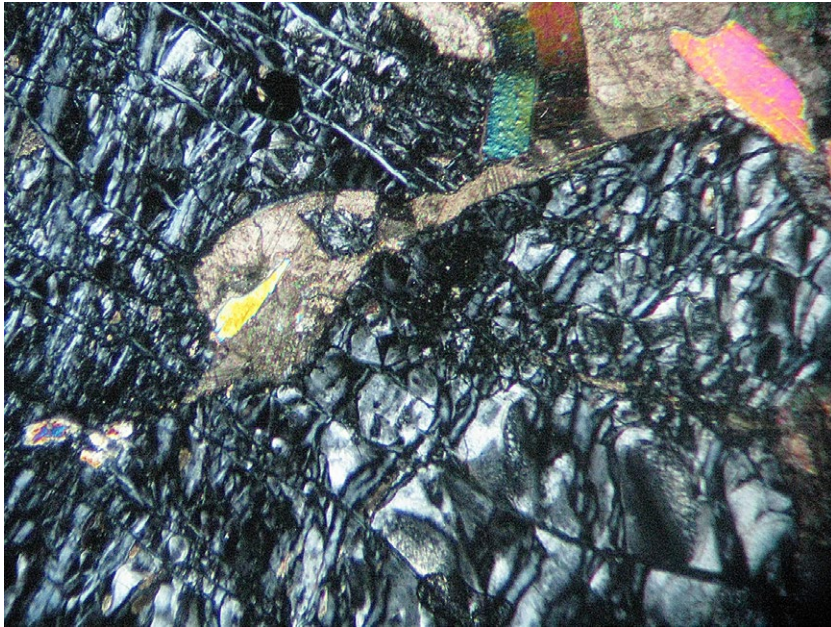
Obr. 8 Diopsid, lom Velké Hydčice. Velikost krystalu 18 × 8 mm. Foto J. Čícha.



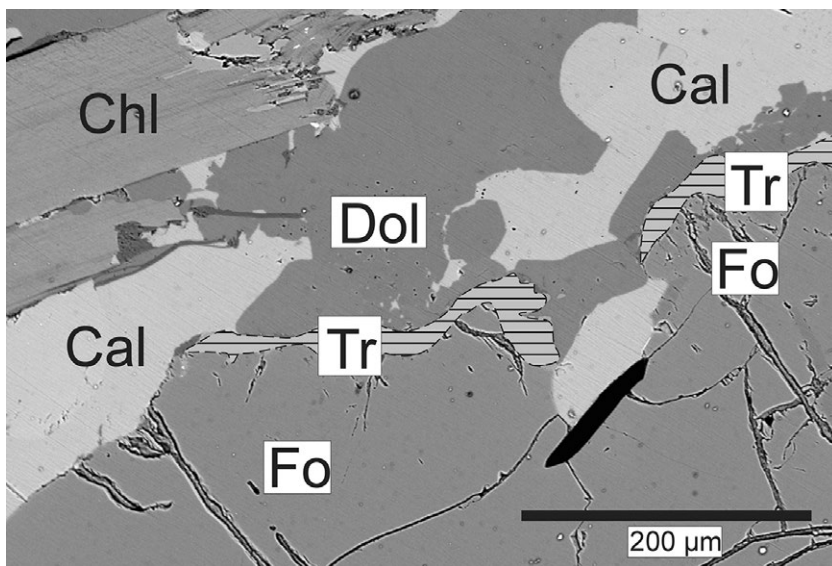
Obr. 9 Obsah Fe-složky ve forsteritech různých subjednotek a lokalit.



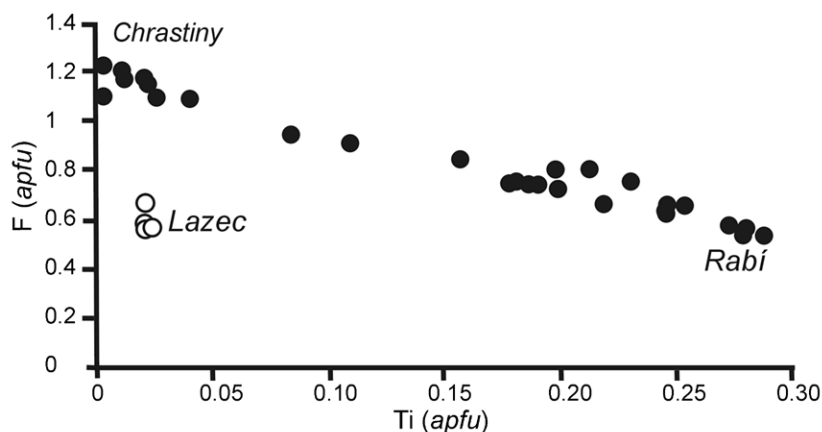
Obr. 10 Chlorit II (šedý) na styku forsteritu a spinelu (černý, izotropní), Kamený Újezd. Zkřížené nikoly, šířka záběru 6 mm. Foto J. Toman.



Obr. 11 Serpentinizovaný forsterit s flogopitem, Kolence. Zkřížené nikoly, šířka záběru 6 mm. Foto J. Toman.



Obr. 12 Forsterit s kalcitem a chloritem l lemovaný na styku s dolomitem úzkou zónou tremolitu (šrafa), Chvalšiny. BSE foto R. Škoda.



Obr. 13 Negativní korelace Ti - F v klinohumitu.

ké analýzy naznačují někdy možnost existence mikroskopických srůstů chondroditu s humitem (na Písecku).

Klinohumit v asociaci s forsteritem se vyznačuje velkou variabilitou obsahu F, respektive negativní korelací F-Ti (obr. 13), odpovídající heterovalentní substituci $\text{TiO}_2\text{M}_{-1}(\text{OH}, \text{F})_{-2}$ ($\text{M} = \text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$), uplatňující se vedle izovalentních substitucí MgFe_{-1} a $(\text{OH})\text{F}_{-1}$, poslední hlavně v typech chudých Ti (Jones et al. 1969).

Většina analýz odpovídá **hydroxyl-klinohumitu**, který je také v průměru nejbohatší Ti (Rabí, Velké Hydčice; tab. 6, obr. 14). Nejvyšší obsah F mají klinohumity z asociací bez forsteritu, například z Chrastiny u Písku (~ 3.6 hm. % F). Z ostatních prvků kolísá obsah Fe (0.72 - 7.61 hm. % FeO; 0.061 - 0.676 apfu Fe), nejvyšší je u Písku - Vičí jámy a u Bečic, nejnižší v Českém Krumlově. Velmi nízký je obsah Mn (≤ 0.16 hm. % MnO) a Zn (≤ 0.07 hm. % ZnO). **Chondrodit** je hojný pouze v okolí Písku (Houzar, Cícha 2016), v jiných subjednotkách je vzácnější (často jde o **hydroxyl-chondrodit**) nebo zcela chybí (obr. 15). Má střední obsah F (7.69 - 8.19 hm. %; 1.387 - 1.481 apfu), nízký obsah Ti (≤ 0.31), Zn (≤ 0.19) a Mn (≤ 0.11 , vše v hm. %). Vyskytuje se v silikáty chudších asociacích s chloritem a fluor-tremolitem ($\text{F} > 0.6$ apfu F), se spinelem a clintonitem.

Živce a skapolity

V asociacích s diopsidem náležejí k hojným minerálům, jejich chemické složení však není příliš známé (tab. 7). Převládají plagioklasy se složením **andezín - labradorit** ($\text{An} < 70$), s kolísavým obsahem Sr (≤ 0.39 hm. % SrO; ≤ 0.009 apfu Sr). Ojedinele byl v texturně rovnovážné asociaci s diopsidem zjištěn **anortit** $\text{An} > 96$ (Vyšný). Vzácnější **draselné živce** v asociaci s diopsidem a titanitem (Olešník, Humpolec, Ledec nad Sázavou aj.) mají někdy zvýšený obsah Ba (≤ 3.29 BaO; ≤ 0.061 apfu Ba).

Podobně je velmi málo známé složení a minerální asociace skapolitů. Z mramorů českokrumlovské subjednotky je uváděn **marialit** bohatý Cl (Kříbek et al. 1997), indikující společně s dravitovým turmalínem možnou metaevaporitovou příměs (Kříbek 1988). Bez jakýchkoliv dokladů jej zmiňuje Janoušek et al. (2008) i z chýnovských mramorů. Skapolit je uváděn z komplexní asociace $\text{Cal} + \text{Tr} + \text{Scp} + \text{Ms} + \text{Phl} + \text{Chl} + \text{Qz} \pm \text{Ab} \pm \text{Kfs} \pm \text{Ttn} \pm \text{Ap} \pm \text{Zrn} \pm \text{Py} \pm \text{Gr}$ z Nehodiva u Klatov (Kuchařová, Pří-

Tabulka 6 Reprezentativní chemické složení klinohumitu a chondroditu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	HChu	HChu	HChu	Chu	HChu	HChu	HChu	HChu	HChu	HChu	Chn	Chn	HChn	Chn
SiO ₂	37.63	37.57	39.11	38.01	37.81	38.83	38.00	38.36	37.30	38.36	34.49	34.44	35.09	34.03
TiO ₂	3.14	2.69	0.68	0.33	1.23	2.60	0.30	3.18	2.38	3.18	0.23	0.31	0.78	0.23
MgO	53.98	55.3	55.21	54.62	54.86	57.27	57.57	55.15	51.74	55.15	58.29	58.11	56.02	52.13
FeO	3.32	0.76	2.55	2.87	2.26	0.72	1.49	2.49	5.47	2.49	1.76	1.53	2.60	7.40
MnO	0.07	0.02	0.02	0.27	0.17	0.07	0.10	0.05	0.09	0.05	0.05	0.06	0.17	0.56
ZnO	0.07	b.d.	b.d.	0.31	0.12	0.01	b.d.	0.03	0.02	0.03	0.04	0.19	b.d.	b.d.
H ₂ O*	1.92	1.62	2.00	1.39	1.44	1.76	2.50	1.99	1.76	1.99	1.59	1.36	3.10	2.41
F	2.02	2.47	1.87	3.06	2.97	2.53	1.76	1.97	2.24	1.97	7.73	8.19	4.67	5.67
O=F	-0.85	-1.04	-0.79	-1.29	-1.25	-1.07	-0.74	-0.83	-0.94	-0.83	-3.25	-3.45	-1.97	-2.39
TOTAL	101.30	99.55	100.72	99.57	99.61	102.73	100.53	102.41	100.06	102.41	100.93	100.74	99.89	100.23
Si ⁴⁺	3.916	3.934	4.059	4.018	3.983	3.938	3.949	3.931	3.964	3.931	1.968	1.969	2.014	2.002
Ti ⁴⁺	0.246	0.212	0.053	0.026	0.097	0.198	0.023	0.245	0.190	0.245	0.010	0.013	0.034	0.010
Mg ²⁺	8.375	8.632	8.543	8.608	8.615	8.659	8.918	8.426	8.196	8.426	4.957	4.952	4.794	4.571
Fe ²⁺	0.289	0.067	0.221	0.254	0.199	0.061	0.129	0.213	0.486	0.213	0.084	0.073	0.099	0.364
Mn ²⁺	0.006	0.002	0.002	0.024	0.015	0.006	0.009	0.004	0.008	0.004	0.002	0.003	0.008	0.028
Zn ²⁺	0.005			0.024	0.009	0.001		0.002	0.002	0.002	0.002	0.008		
H ⁺	1.335	1.182	1.386	0.977	1.010	1.189	1.422	1.361	1.247	1.361	0.605	0.519	1.152	0.945
F ⁻	0.665	0.818	0.614	1.023	0.990	0.811	0.578	0.639	0.753	0.639	1.395	1.481	0.848	1.055
O ²⁻	17.335	17.182	17.386	16.977	17.010	17.189	17.422	17.361	17.247	17.361	8.605	8.519	9.152	8.945
CATSUM	12.838	12.864	12.886	12.955	12.920	12.865	13.028	12.826	12.846	12.826	7.023	7.018	6.952	6.987
AN SUM	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	10	10	10	10

1 - Klatovy; 2 - Záblatí; 3 - Cudrovice; 4, 5 - Malenice II, 6 - Český Krumlov; 7 - Lazec; 8 - Borotín; 9 - Bečice; 10 - Borotín; 11 - Huťský Dvůr; 12 - Nihošovice; 13 - Modlenice; 14 - Malenice I

* vypočteno ze stechiometrie

Tabulka 7 Reprezentativní chemické složení živců, klinozoisitu a skapolitu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	62.44	63.53	58.16	56.82	56.67	52.57	51.57	44.13	43.52	38.93	54.59	54.29
Al ₂ O ₃	19.17	18.29	25.46	26.36	27.69	30.78	31.04	35.34	36.10	28.62	22.81	22.77
FeO	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	0.03	0.05	b.d.	b.d.	b.d.	5.50	b.d.	b.d.
CaO	0.03	0.05	7.24	8.71	9.78	13.54	13.98	19.26	19.92	24.21	8.86	8.84
Na ₂ O	0.75	0.73	7.16	6.41	6.28	3.97	3.76	0.46	0.31	b.d.	8.79	9.00
K ₂ O	14.59	15.21	0.22	0.16	0.22	0.08	0.10	0.07	0.03	b.d.	0.34	0.33
BaO	3.29	0.50	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
SrO	0.17	0.03	0.26	0.34	0.21	0.20	0.22	b.d.	b.d.	b.d.	0.19	0.10
TOTAL	100.50	98.34	98.50	98.80	100.88	101.19	100.68	99.26	99.88	97.26*	95.58	95.33
Si ⁴⁺	2.934	2.988	2.639	2.581	2.531	2.361	2.333	2.054	2.018	3.055	16.081	16.061
Al ³⁺	1.062	1.014	1.361	1.411	1.457	1.629	1.655	1.939	1.973	2.647	7.919	7.939
Fe ²⁺	0.002				0.001	0.002				0.361		
Ca ²⁺	0.002	0.003	0.352	0.424	0.468	0.652	0.678	0.961	0.990	2.036	2.796	2.802
K ⁺	0.875	0.913	0.013	0.009	0.013	0.005	0.006	0.004	0.002		0.128	0.125
Na ⁺	0.068	0.067	0.630	0.565	0.544	0.346	0.330	0.042	0.028		5.020	5.162
Ba ²⁺	0.061	0.009										
Sr ²⁺	0.005	0.001	0.007	0.009	0.005	0.005	0.006				0.032	0.017
CATSUM	5.007	4.994	5.002	5.000	5.019	4.999	5.007	4.999	5.010	8.114	31.977	32.106
O	8	8	8	8	8	8	8	8	8	13	24(Al+Si)	24(Al+Si)

1 - K-živec, Humpolec; 2 - K-živec, Ledec; 3, 4, 5 - andezin, Ledec; 6, 7 - labradorit, Humpolec; 8, 9 - anortit, Vyšný; 10 - klinozoisit, Olešník; 11, 12 - marialit**, Český Krumlov

*v klinozoisitu doloženo ze stechiometrie 1.91 H₂O; ** nepublikované údaje V. Šreina, stanoveno též 2.46 - 2.58 hm. % Cl (1.233 - 1.288 apfu) a 0.10 - 0.17 hm. % F (0.094 - 0.158 apfu); P v živcích pod mezí stanovení; v klinozoisitu stanoven Ti ≤ 0.007 apfu, Mg ≤ 0.005 apfu a Mn ≤ 0.004 apfu.



kryl 2017). Mladší skapolity (**meionit**) se vyskytují převážně jako produkt zatláčování plagioklasů v desilikovaných žilách v mramorech typu (4).

Spinelidy

Jsou typickými minerály dolomitických mramorů, zastoupené převážně **spinelem** s variabilním podílem Fe- a Zn-složky (obr. 16, 17). Vzácnější je gahnit, magnetit a pouze ojediněly magnezioferrit.

Složení spinelidů kolísá od převažujícího téměř čistého Mg členu po spinel s 20 % hercynitové složky (tab. 8). Spinely v subjednotkách Vimperk -Volyně-Písek a Tábor-Votice jsou často zinečnaté, obsahují téměř 50 % gahnitové komponenty (obr. 17). Relativně vzácný je tam **gahnit** (27.42 - 40.76 hm. % ZnO; 0.599 - 0.916 *apfu* Zn) v asociaci s forsteritem. Gahnit s **magnetitem** (0.76 - 1.49 % ZnO), pargasitem (0.47 % ZnO), diopsidem (0.17 % ZnO) a biotitem (0.63% ZnO; vše v hm. %), fluorapatitem a Mg-chloritem je také podstatnou součástí malé polohy v mramoru v Zechovicích u Volyně (Vrána 2004). Bližší studium chemického složení by si zasloužil **magnezioferrit** z Lazce (Zikeš, Welser 2009).

Apatity

Z akcesorických minerálů dominuje ve všech typech mramorů **fluorapatit**. Množství fluoru v apatitu kolísá (0.58 - 3.72 hm. % F; 0.155 - 0.986 *apfu* F), nejvyšší je v asociaci s chondroditem (≤ 4.48 hm. % F; ≤ 1.178 *apfu*) (tab. 9). Ojediněle byl u Kolenců zjištěn vedle fluorapatitu i **chlorapatit** (≤ 4.78 hm. % Cl; ≤ 0.684 *apfu*) a mírně zvýšený podíl Cl je i v apatitech z českokrumlovské subjednotky (≤ 0.52 hm. % Cl; ≤ 0.076 *apfu*).

Obr. 14 Ti-bohatý klinohumit se spinelem, lom Rabí - Lišná. Šířka záběru 6,5 mm. Foto J. Cícha.

Obr. 15 Chondroit, lom Nihošovice. Šířka záběru 6 mm. Foto J. Cícha.

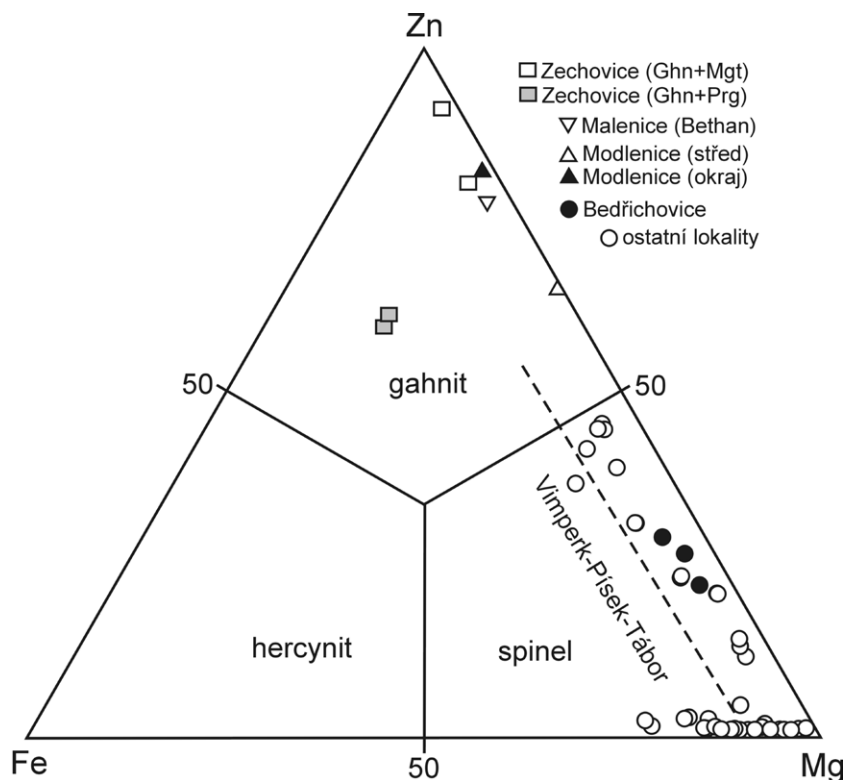
Obr. 16 Spinel, lom Krty. Šířka záběru 5 mm. Foto J. Cícha.

Titanit a allanit

Velmi hojným minerálem mramorů 1. typu je **titanit** v asociaci s plagioklasy, K-živcem, diopsidem a křemenem (obr. 18). Částečně vznikl uvolněním TiO_2 z „biotitu“, který je za vyšší T nestabilní s křemenem a kalcitem, reakcí: Bt

+ Cal + Qz \rightarrow Ttn + Kfs + Di \pm Amp. Vzácněji je ve stejné asociaci doprovázen **allanitem-(Ce)** v drobných, oscilačně zonálních metamiktních zrnech (Olešník, Humpolec, Ledč nad Sázavou; obr. 19). Chemické složení titanitu a allanitu jsou v tabulce 9.

Obr. 17 Složení spinelu v Mg - Fe - Zn diagramu. Část gahnitu ze Zechovic u Volyně (Vrána 2004) má rovněž vyšší obsah Fe^{3+} .

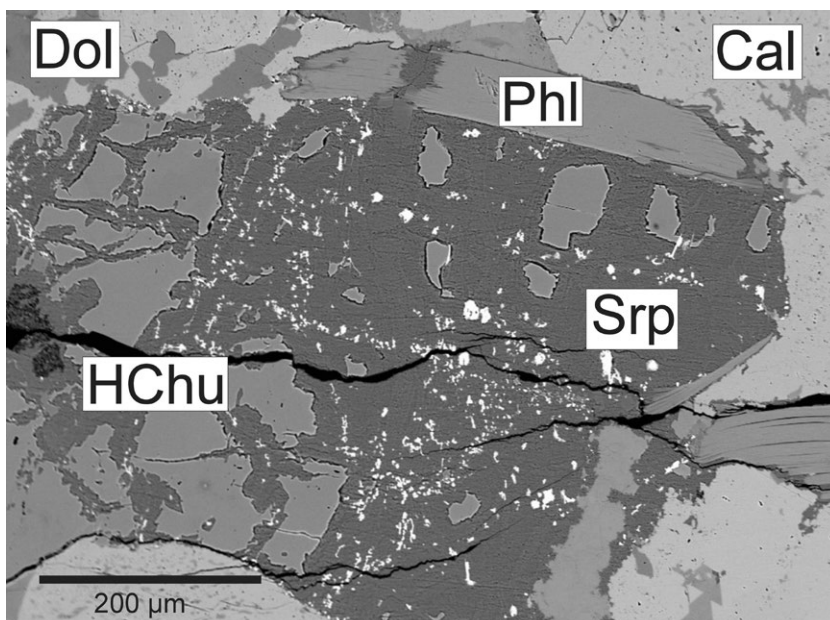
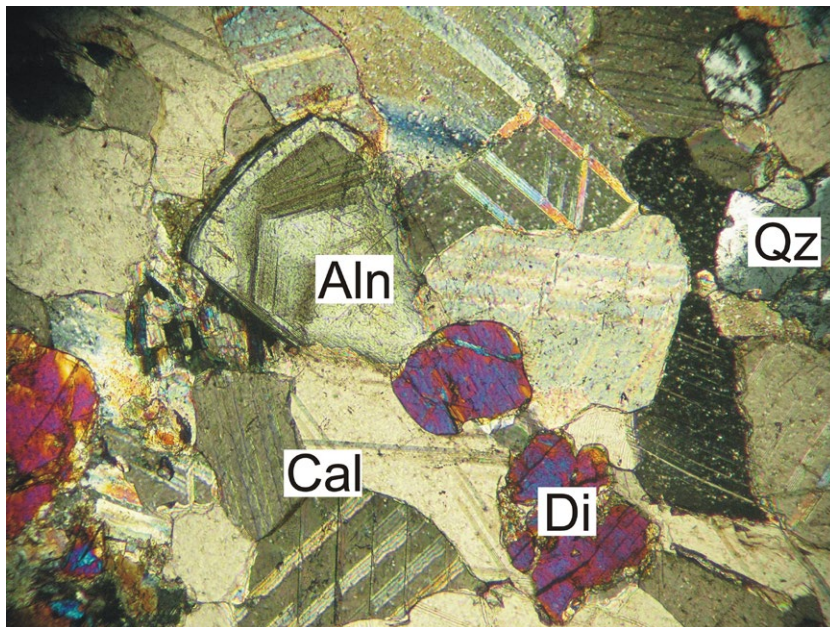
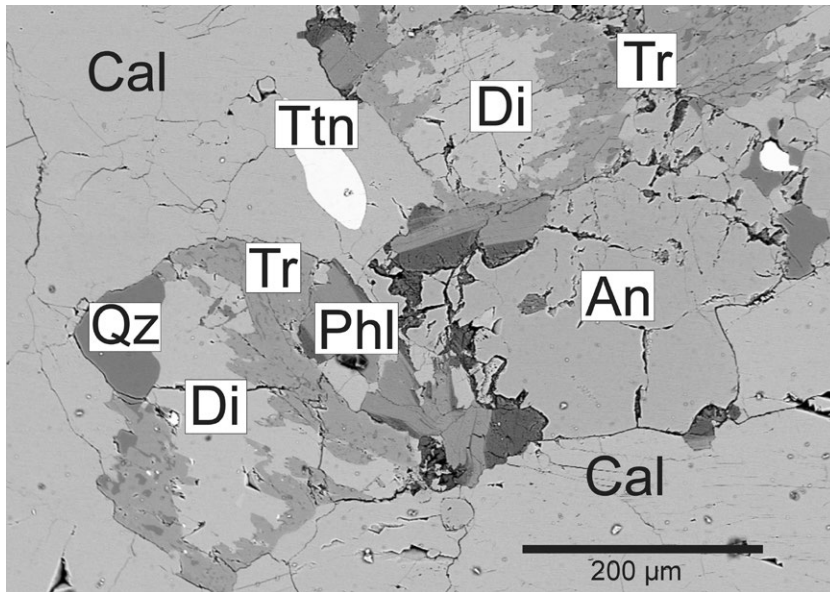


Tabulka 8 Reprezentativní chemické složení spinelidů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	spinel	spinel	spinel	spinel	spinel	gahnit	spinel	spinel	spinel	spinel	spinel	spinel	spinel
TiO_2	0.04	0.07	b.d.	b.d.	0.03	b.d.	b.d.	0.03	0.10	b.d.	0.04	0.04	0.02
Al_2O_3	70.90	68.90	66.57	62.08	65.65	60.62	65.80	69.61	62.89	68.49	68.61	70.52	65.18
Fe_2O_3^+	0.18	1.27	3.35	0.20	1.18	b.d.	0.50	0.31	8.68	1.89	0.29	0.30	1.00
FeO	1.13	1.38	6.79	2.50	1.21	0.13	2.79	3.49	1.80	4.90	6.28	3.45	1.66
MnO	b.d.	b.d.	0.40	0.05	0.08	0.03	b.d.	0.08	0.08	0.07	0.07	b.d.	0.02
MgO	27.40	26.91	22.98	12.26	20.23	8.17	18.67	25.6	26.10	24.65	23.14	25.96	18.17
ZnO	0.16	0.10	0.32	22.50	10.77	30.99	12.70	0.13	0.09	0.23	1.70	0.19	14.30
TOTAL	99.81	99.04	100.47	99.22	99.19	100.08	100.11	99.41	99.93	100.23	99.50	100.46	100.16
Ti^{4+}	0.001	0.001			0.001			0.001	0.002		0.001	0.001	
Al^{3+}	1.995	1.967	1.937	1.994	1.975	2.005	1.985	1.990	1.831	1.965	1.993	1.993	1.978
Fe^{3+}	0.003	0.023	0.062	0.004	0.023		0.010	0.006	0.161	0.035	0.005	0.005	0.019
Fe^{2+}	0.023	0.028	0.140	0.057	0.026	0.003	0.060	0.071	0.037	0.100	0.129	0.069	0.036
Mn^{2+}			0.008	0.001	0.002	0.001		0.002	0.002	0.001	0.001		0.002
Mg^{2+}	0.975	0.972	0.846	0.498	0.770	0.342	0.712	0.926	0.961	0.895	0.850	0.928	0.698
Zn^{2+}	0.003	0.002	0.006	0.444	0.203	0.642	0.228	0.002	0.002	0.004	0.019	0.003	0.267
CATSUM	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

1 - Záblatí; 2 - Cudrovice; 3 - Malenice I; 4 - Malenice II; 5, 6 - Modlenice; 7 - Huťský Dvůr; 8 - Chvalšiny; 9 - Lazec; 10 - Kamenný Újezd; 11 - Bečice; 12 - Borotín; 13 - Bedřichovice

* vypočteno ze stochiometrie



Turmalíny

K vzácnějším akcesorickým minerálům, zaznamenaným dosud pouze v českokrumlovské subjednotce náleží i turmalíny (tab. 10), složením odpovídající **dravitu** (místa až magneziofoititu) a **uvitu** (Kadounová 1987; Zikeš, Welser 2011; Šrein, ústní sdělení). Uvit z Muckova v asociaci s diopsidem a amfibolem je bohatý fluorem (1.30 - 1.54 hm. % F).

Ti-Zr oxidy a zirkon

Specifické Ti-Zr oxidy byly dosud určeny pouze v asociaci Fo + Spl ± Chu. Byl identifikován mikroskopický ilmenit - geikielit (≤ 0.2 mm), zirkonolit a baddeleyit (≤ 20 μm). Dosud byly určeny pouze v subjednotkách sušicko-horažďovické, vimpersko-písecké a u Kolenců. Společný výskyt zirkonu s forsteritem (Čopjaková et al. 2008) představoval donedávna jediný známý výskyt na světě (Proyer et al. 2014). V asociacích s forsteritem a spinelem (bez klinohumitu) se nachází železnatý **geikielit**, zirkonolit a baddeleyit, často vznikly uvolněním Ti při reakci spinelu s klinohumitem (obr. 20). **Zirkonolit** vytváří metamiktní zrna, vzhledem k větší variaci U (2.0 - 10.0 hm. % UO_2) a Th (0.1 - 6.6 hm. % ThO_2), s komplexní zonálností. Úzké lemy zirkonolitu II z Rabí a Velkých Hydčic jsou U bohatší (7.9 - 14.6 hm. % UO_2). Vyskytuje se často s **baddeleyitem** (čistý ZrO_2 se stopami Hf), který může srůstat se zirkonem (Záblatí, Modlenice, Kolence; obr. 21). Zirkonolit z Rabí a Velkých Hydčic byl datován, modelové stáří odpovídá 339 ± 10 Ma. (Čopjaková et al. 2008; Houzar, Cícha 2016). **Zirkon** je vedle fluorapatitu a titanitu dalším hojným akcesorickým minerálem v mramorech s živci a křemenem, v asociaci s dolomitem je výjimečný.

Obr. 18 Titanit s diopsidem, tremolitem, anortitem a flogopitem, Vyšný. BSE foto R. Škoda.

Obr. 19 Oscilačně zonální allanit s diopsidem v kalcitickém mramoru, Olešník. Zkřížené nikoly, šířka záběru 6 mm. Foto J. Toman.

Obr. 20 Bílé inkluze Mg-ilmenitu v serpentinu ztláčujícím hydroxyl-klinohumit, Borotín. BSE foto, R. Škoda.

Grafit a rudní minerály

V souvislosti s akcesorickými minerály stojí za zmínku grafit a rudní minerály (zvláště sulfidy). **Grafit** je dispergován v zrnech kalcitu a křemene (ten někdy zřetelně preferuje!) nebo tvoří nedokonalé, zprohýbané hexagonální krystaly velikosti až 2 mm (Lazec, Vidov, Velechvín). Bývá sdružen s hojným **pyritem**. Velmi častým sulfidem

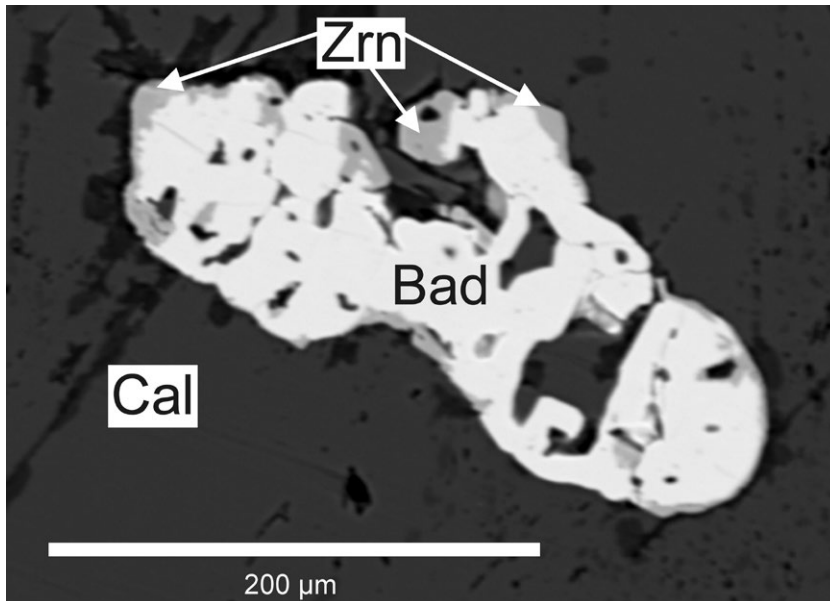
je **pyrhotin** a v dolomitických typech lokálně **sfalerit** a **galenit** (Sudslavice, Záblatí, Borotín, Chýnov, Opalice). Sporadická zrna **scheelitu** souvisejí nejspíše s infiltrací externích fluid do mramorů (Písecko, Onšovice, Chvalovice, Huťský dvůr, Ledec nad Sázavou aj.).

Tabulka 9 Reprezentativní chemické složení apatitu, titanitu a allanitu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	apatit	apatit	apatit	apatit	apatit	titanit	titanit	titanit	titanit	titanit	allanit	allanit
SiO ₂	0.03	0.14	0.10	0.06	0.07	31.22	31.03	30.87	30.82	30.32	33.95	34.73
TiO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	32.93	38.54	35.98	33.40	37.53	0.21	0.21
P ₂ O ₅	42.37	40.05	41.48	41.85	41.72	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.03	0.05
Al ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	4.43	0.90	3.80	4.25	2.26	21.55	22.58
La ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	4.90	4.77
Ce ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.01	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	7.68	8.80
Pr ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		0.05		0.23		0.53	0.64
Nd ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1.96	2.38
FeO	b.d.	b.d.	0.03	b.d.	0.01	0.22	0.10	0.03	0.42	0.14	9.64	9.90
MnO	0.05	b.d.	0.02	b.d.	0.03	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.09	0.16
MgO	0.01	b.d.	0.17	b.d.		b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.41	0.30
CaO	56.99	56.06	54.09	55.22	56.16	29.25	29.15	28.61	28.60	29.01	16.30	16.22
F	4.48	2.77	0.84	3.67	3.48	1.58	0.20	1.00	1.55	0.59	0.41	0.34
Cl	0.01	0.52	4.69	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	-	-
H ₂ O*	-0.31	0.30	0.16	0.03	0.14	-	-	-	-	-	1.50	1.57
O=F	-1.89	-1.17	-0.35	-1.55	-1.47	-0.67	-0.08	-0.42	-0.65	-0.25	-0.17	-0.14
O=CL	-	-0.12	-1.06			-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	101.00	98.93	100.24	99.50	100.42	99.22	100.06	99.51	98.78	99.93	99.28	101.56
Si ⁴⁺	0.002	0.012	0.009	0.005	0.006	1.009	1.006	1.002	1.004	1.000	3.013	3.007
Ti ⁴⁺						0.800	0.940	0.879	0.818	0.931	0.014	0.014
P ⁵⁺	2.967	2.916	3.000	2.992	2.966						0.002	0.004
Al ³⁺						0.169	0.034	0.118	0.163	0.088	2.254	2.304
La ³⁺											0.160	0.152
Ce ³⁺											0.250	0.256
Pr ³⁺							0.001		0.003		0.017	0.020
Nd ³⁺											0.062	0.074
Fe ²⁺			0.002		0.001	0.006	0.003	0.001	0.011	0.004	0.715	0.658
Mn ²⁺	0.004		0.001		0.002						0.007	0.012
Mg ²⁺	0.001		0.022								0.054	0.039
Ca ²⁺	5.051	5.166	4.952	4.997	5.053	1.013	1.013	0.995	0.998	1.025	1.524	1.505
F ⁻	1.172	0.754	0.227	0.980	0.924	0.161	0.021	0.103	0.160	0.062	0.115	0.093
Cl ⁻	0.001	0.076	0.679									
H ⁺	-0.173	0.171	0.094	0.020	0.076						0.885	0.907
O ²⁻	11.827	12.171	12.094	12.200	12.076	4.817	4.958	4.894	4.828	5.006	12.885	12.907
CATSUM	8.037	8.107	7.994	8.002	8.038	3.000	3.000	3.000	3.000	3.056	8.092	8.062
AN SUM	13	13	13	13	13	4.978	4.978	4.997	4.987	5.068	13	13

1 - Nihošovice; 2 - Vyšný; 3 - Kolence; 5 - Ledec; 6 - Humpolec; 7 - Olešník; 8 - Údolí; 9 - Vyšný; 10 - Ledec; 11 - Hradiště; 12 - Olešník; 13 - Humpolec

* vypočteno ze stechiometrie; b.d. = pod mezí stanovení; apatit: S < 0.007; Na < 0.018; Th < 0.001; Y < 0.002; La < 0.003; Ce < 0.003; Pr < 0.005; Nd < 0.005; titanit: < 0.003 Mg, Nb a Na; < 0.004 Zr; Sn pod mezí stanovení; allanit: < 0.002 U, Th, Y; < 0.012 Sr; < 0.005 Sm, Ho a Gd; (vše v apfu)

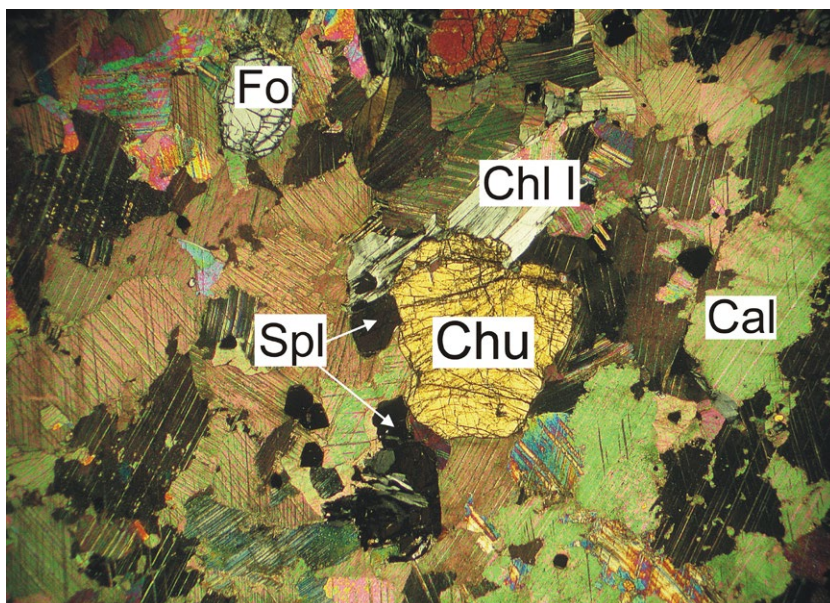


Obr. 21 Baddeleyit obrůstáný zirkonem v kalcitu (černý), Kolence. BSE foto, R. Škoda.

Tabulka 10 Reprezentativní chemické složení turmalínů

	uvit Vyšný	dravit Vyšný
SiO ₂	37.20	37.41
TiO ₂	0.51	0.37
B ₂ O ₃ *	10.69	10.75
Al ₂ O ₃	29.75	32.27
V ₂ O ₃	1.64	0.12
Cr ₂ O ₃	0.18	0.85
FeO	0.11	b.d.
MnO	b.d.	0.03
MgO	12.12	10.91
CaO	3.12	1.95
Na ₂ O	1.27	1.66
K ₂ O	0.08	0.02
H ₂ O	2.78	3.04
F	0.63	0.13
O=F	-0.27	-0.05
Celkem	99.81	99.45
Si ⁴⁺	6.048	6.048
Ti ⁴⁺	0.062	0.045
B ³⁺	3.000	3.000
Al ³⁺	5.700	6.149
V ³⁺	0.214	0.016
Cr ³⁺	0.023	0.109
Fe ²⁺	0.015	
Mn ²⁺		0.004
Mg ²⁺	2.937	2.630
Ca ²⁺	0.543	0.338
Na ⁺	0.400	0.520
K ⁺	0.017	0.004
vak.X	0.040	0.138
F ⁻	0.324	0.066
v,w OH ⁺	3.014	3.274
v,wO	0.662	0.660
SUM YZ	8.952	8.952

* vypočteno ze stechiometrie



Obr. 22 Klinohumit se spinelem a chloritem, Klatovy - Loreta. Zkřížené nikoly, šířka záběru 6 mm. Foto J. Toman.

Charakteristika jednotlivých regionálních subjednotek

Na základě regionálně geologické pozice mramorů bylo v oblasti jihočeského moldanubika vyčleněno devět subjednotek charakterizovaných po stránce zastoupení jednotlivých typů mramorů, jejich minerálních asociací a asociujících hornin. Zmíněny jsou i některé izolované výskyty mramorů (tab. 11).

STRÁŽOVSKÁ (KLATOVSKÁ)

Z hlediska minerálních asociací mramorů jde o velmi málo prozkoumanou subjednotku, v níž však bylo zjištěno několik typů mramorů. V migmatizovaných rulách vystupují převážně kalcitické mramory s kolísavým podílem silikátů (typ 1), s asociací Cal + Di + Phl + Ttn ± Pl ± Qz (Bolešiny u Klatov). K této asociaci přistupuje lokálně

wollastonit (částečně externí přínos SiO₂?) a s úbytkem kalcitu přecházejí mramory až do „wollastonitovců“ (Mochtín). Kalcitický mramor u Svinné (10 km ssv. od Železné Rudy), čistý i silikátový s asociací Cal + Di + Qz + Ttn ± živce s přechodem do „wollastonitovce“ (Kudrlička 1983), pravděpodobně náleží také k této subjednotce.

Opačný případ představují relativně čisté, bílé až našedlé, jemnozrnné i hrubozrnné kalcitické mramory, takřka bez silikátů (sv. od Mochtína), k nimž náleží většina mramorů u Nehodivi a na Loretě u Klatov (typ 2). „Nehodivský mramor“ podrobně studovali Kuchařová a Příkryl (2017), kteří uvádějí celkovou asociaci Cal + Tr + Scp + Phl + Ms + Chl + Qz ± Ab ± Kfs ± Ttn ± Ap ± Zrn ± Py ± Gr, část minerálů má zřejmě retrográdní původ. K této asociaci místy přistupuje diopsid a ve vzácném *moderním mramoru* wollastonit. Ojedinelé jsou mladší nažloutlé hydrotermální dolomity s křemenem. Málo známé jsou

Tabulka 11 Přehled subjednotek s mramory v české části moldanubika

Subjednotka	mramory			horninová sekvence			
	dolomitické	kalcitické	karbonáty > 90%	grafit	amfibolit	kvarcit	
strážovská (klatovská)	+	+++	++	-	-	+	
sušicko-horažďovická*	+	+++	+++	-	-	+	
strakonická	++	++	+	+	-	++	
vimpersko-písecká	++	+++	++	-	-	+	
táborsko-votická	++	++	-	-	+	+	
českokrumlovská	++	++	+	+++	+++	+	
chýnovská	+++	++	++	+	+++	++	
českošternberská	+++	++	++	+	+++		
vlašimsko-ledečská	-	+++	+	-	-	++	
Jaroškov	+++	+	+++	-	-	-	
Chlumeck u Č. Bud.	-	+++	-	-	-	-	
Kolence	++	+	+	-	++	-	
	minerální asociace						
	spinel	klinohumit > chondroit	Ti-Zr akcesorie	tremolit + dolomit	wollastonit	Na-skapolit	Fe-sulfidy
strážovská (klatovská)	+	+	-	-	++	+	+
sušicko-horažďovická*	++	+	+	-	++	-	-
strakonická	+	+++	-	+	+	-	+
vimpersko-písecká	++	++	++	-	++	-	+
táborsko-votická	++	+	?	-	+	-	+
českokrumlovská	+	+***	-	++	-	++	+++
chýnovská	?	-	-	++	-	?	-
českošternberská	-	-	-	++	-	-	-
vlašimsko-ledečská	-	-	-	-	+	?	++
Jaroškov	+	?	-	++	-	-	-
Chlumeck u Č. Bud.	-	-	-	-	+	-	+
Kolence	++	-	+	-	-	-	-

* s nezdicke-soběšickou; ** pouze Krty; *** pouze ojedinele a izolovaně; ? nepotvrzeno

mramory, jejichž asi 20 m mocné těleso je odkryto v třípatrovém podzemním lomu na Loretě. Podle materiálu z povrchových lomů jde o relativně čisté kalcitické mramory s asociací Cal + Tr ± Phl ± Di. Výjimečně obsahují tenké polohy mramorů s asociací Cal + Dol + Fo + Spl ± Chu (obr. 22, tato práce). Zmíněné čisté mramory připomínají, kromě výrazně menší mocnosti, mramory subjednotky sušicko-horažďovické.

V nejzápadnějším výběžku subjednotky, jz. od Nýrsky, vystupují v granát-muskovit-biotitických pararulách Královského hvozdu mramory jen ojedinele. Babůrek (1995, 2004) odtud studoval grafitický dolomit-kalcitický mramor s akcesorickým křemenem a chloritem ($X_{Mg} > 0.95$) v asociaci s margaritem, metamorfovaný za $T = 425 - 455$ °C a cca 500 - 700 MPa.

Čistý kalcitický mramor u Skelné Huti obsahoval završněné, budinované polohy pyroxen-granátického skarnu s epidotem, místy bohatého magnetitem. Jde o jediný výskyt Fe-skarnu v mramoru v západní části jihočeského moldanubika, připomínající skarny v Posázaví či skarny svrateckého krystalinika (tato práce).

SUŠICKO-HORAŽĎOVICKÁ

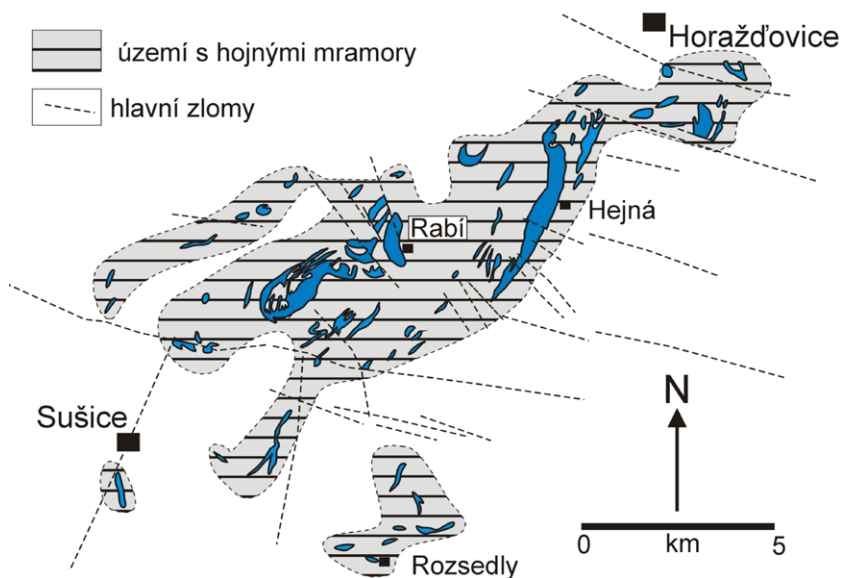
Tato subjednotka je značně bohatá poměrně čistými hrubozrnnými kalcitickými mramory (> 95 % karbonátů), vytvářejícími tělesa o mocnosti až > 300 m, která nemají

v moldanubiku obdoby (obr. 23 a 24). Tvoří vložky v monotónních biotitických rulách a migmatitech s cordieritem, kde jsou doprovázeny výrazně méně mocnými tělesy silikátových mramorů 1. typu. Lokálně, zejména při podloží těles, se vyskytují často drobněji zrnité, šedé dolomitové mramory. Místy se nacházejí u Velkých Hydčic černošedé, hrubozrnné, oproti ostatním mramorům difúzně omezené kalcitické mramory bez silikátů. Dalším typickým znakem je častá hydrotermální dolomitizace podél zlomů (Malecha et al. 1960; Houzar, Novák 2001 a citace tam uvedené).

Jen nepatrný podíl (cca < 0.1 % z celkového objemu těles) zaujímají někdy poměrně hrubozrnné dolomit-kalcitické mramory s forsteritem, spinelem, klinohumitem a akcesorickými Zr-Ti minerály (Gk, Rt, Bdy, Zirc), jinak typickými pro subjednotku vimpersko-píseckou (Čopjaková et al. 2008; Houzar, Cícha 2016).

Na JV od Sušice vystupují v prostoru **Strašín - Rozsedly - Nezdice - Soběšice** podobné, ale málo prozkoumané, velmi čisté kalcitické mramory s asociací Cal + Phl + Tr + Di ± Wo. Blíže byla popsána jen lokalita Nezdice, kde byl velmi podrobně prostudován wollastonit (obr. 25), tvořící četné tenké polohy v namodralém mramoru, a zvláště jeho alterace (Žák et al. 1997).

Některé izolované lokality situované na JZ od této subjednotky nebyly blíže studovány. Kalcitický mramor



Obr. 23 Výskyt mramorů v sušicko-horažďovické subjednotce.



Obr. 24 Lom Velké Hydčice odkrývá jedno z největších těles mramorů v moldanubiku. Foto J. Cícha, 2009.



Obr. 25 Wollastonit, lom Nezdice. Velikost ukázky 12 × 10 cm. Foto J. Cícha.

chudý silikáty ($Cal + Phl \pm Tr \pm Ttn$) tvoří minimálně 10 m mocnou vložku v sillimanit-biotitických rulách s kvarcitu u **Hartmanic**. Podružně tam jsou zastoupeny drobnější polohy jemnozrnného šedého mramoru bohatšího diopsidem. U **Annína** se vyskytují polohy drobné až jemnozrnných bílých, převážně kalcitických mramorů do mocnosti několika dm s řídkým, jemně rozptýleným flogopitem, drobně šupinatým grafitem a lokálně s forsteritem. Mramory se zachovaly jen v reliktech, z větší části jsou mylonitizovány a zatlačovány asociací $Wo + Di + Grs (\pm Ves, Sch)$.

STRAKONICKÁ

Strakonická subjednotka začíná na JZ drobnějšími tělesy kalcitických mramorů, sdružených převážně s diopsidovými rulami a kvarcitu. Mocnější tělesa jsou vyvinuta zejména u Hradce - Krtů (velký činný kamennolom), u Radomyšle a severně od Rovné (obr. 26).

U **Krtů** vystupují přes 100 m mocná tělesa bílých, relativně čistých kalcitických mramorů (typ 2) s flogopitem, s podřízenými polohami drobné a jemnozrnných šedobílých dolomitů s flogopitem, forsteritem a spinelem; vzácnější je klinohumit. V mramoru jsou vložky pararul a kvarcitů. Ojedinelé jsou projevy mladší hydrotermální dolomitizace ($\pm Qz, Plg$). Celkově tento výskyt připomíná mramory sušicko-horažďovické subjednotky.

Ostatní mramory v okolí Strakonice jsou kalcitické, převážně silikátové, s převládající asociací $Cal + Di + Pl + Kfs + Ttn \pm Qz$, úzce sdružené s diopsidovými rulami. U **Rovné** na vrchu Chlum se vyskytuje poloha šedého dolomitového mramoru, místy s forsteritem a amfibolem (typ 5).

V nejvýchodnějším ukončení přiléhá pestrá jednotka k písecké subjednotce, respektive podolskému komplexu. Dominují tu v okolí **Brlou** kalcitické mramory bohaté diopsidem, plagioklasy a křemenem, lokálně s wollastonitem. Podřízeně se vyskytuje i dolomit-kalcitický mramor se vzácnějším forsteritem a drobným spinelem (Brlou - Podolí).

VIMPERSKO-PÍSECKÁ

Typickým znakem subjednotky jsou silně diverzifikovaná menší tělesa mramorů (typ 4), obsahující tenké vložky rul, někdy grafitických, i kvarcitů (Malenice, Modlenice, Sudslavice, Cudrovice a Záblatí u Prachatic). Bývají proniknuty žilami granitoidů. V

centrech a při podloží těles se mohou vyskytovat relativně čisté dolomitické typy (Dol + Fo + Phl ± Amp), při okrajích menší vložky diopsidových kalcitických mramorů, lokálně s wollastonitem. Střídají se s polohami bílých hrubozrnných, poměrně čistých kalcitických mramorů (Cal + Phl + Tr). Poblíž kontaktů s migmatity na okrajích i uvnitř těles se nacházejí typické klinohumitové mramory (Fo + Spl + Chl + Chu) s charakteristickými akcesorickými minerály (baddeleyit, Mg-ilmenit, geikielit, zirkonolit, galenit a sfalerit).

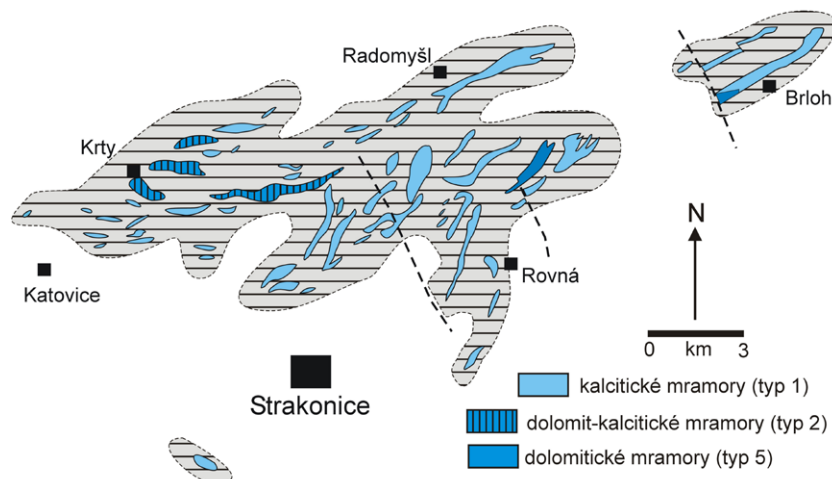
Specifickou minerální asociaci Mag + Ghn + Prg se vyznačuje menší poloha mramoru ve velkém dolomit-kalcitickém tělese u Zechovic, jinde v moldanubiku nezjištěná (Vrána 2004). Stark (1928) zmiňuje výskyt mramoru u Volar, který vedle flogopitu a spinelu obsahuje až 30% forsteritu.

Relativně časté jsou drobné polohy dolomit-kalcitických chondroditových (Chn + Phl + Chl ± Spl ± Cln) a klinohumitových mramorů v migmatitech a metagranitech podolského komplexu v okolí Písku (obr. 27). Podrobně je popsali Houzar, Cícha (2016). Pouze na lokalitě Písecká Smoleč se vyskytuje hrubozrnný kalcitický mramor chudý silikáty (Cal + Phl ± Tr ± Gr ± Di).

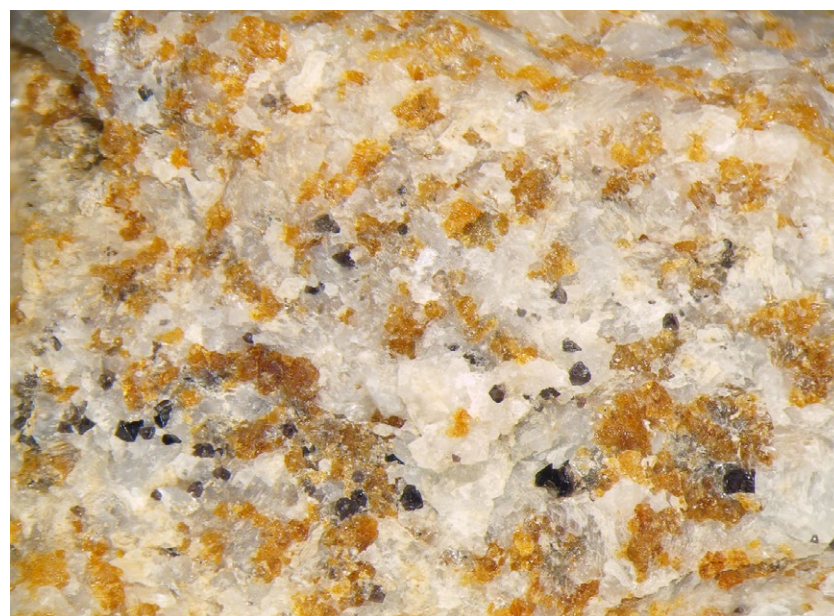
TÁBORSKO-VOTICKÁ

Velmi málo známá je oblast se sporadickými mramory, které se vyskytují podél středočeského plutonického komplexu, tvořeném zde převážně hyperpotasickými syenitoidy Čertova břemene a tábořského plutonu, přibližně od Milevska (Oltyně), až po Vočice.

Jsou uloženy v pestrém komplexu sillimanit-biotitických pararul a cordieritických migmatitů s četnými diopsidovými pararulami, vzácnějšími amfibolity a kvarcity, místy grafitickými. Jde o převážně malá tělesa kalcit-dolomitických mramorů (typ 4), většinou s hojnými silikáty (Cal + Dol + Fo + Spl ± Di ± Chl ± Chu). Klinohumit je velmi vzácný (Bečice, Borotín); asociace jsou někde relativně bohaté Fe (forsterit a spinel v Bečicích) nebo Zn (spinel; Bedřichovice). Typickou, ale vzácnou akcesorií je galenit. Rozdílem oproti jiným subjednotkám je ojedinělý společný výskyt diopsidu s forsteritem. Kalcitické typy mramorů mají rovněž asociace bohatší železem s akcesorickým pyritem a pyrotinim: Cal + Phl (častý je *hnědě pleochroický biotit*) + Di + Pl (*oligoklas - labradorit*) + Ttn + Ap ± Kfs. Detailnějšímu výzkumu brání vesměs špatné odkryvy; drobná tělesa zajímavějších mramorů byla takřka vytěžena, významné historické lomy u Borotína a Bedřichovic jsou téměř zaniklé.



Obr. 26 Výskyt mramorů ve strakonické subjednotce.

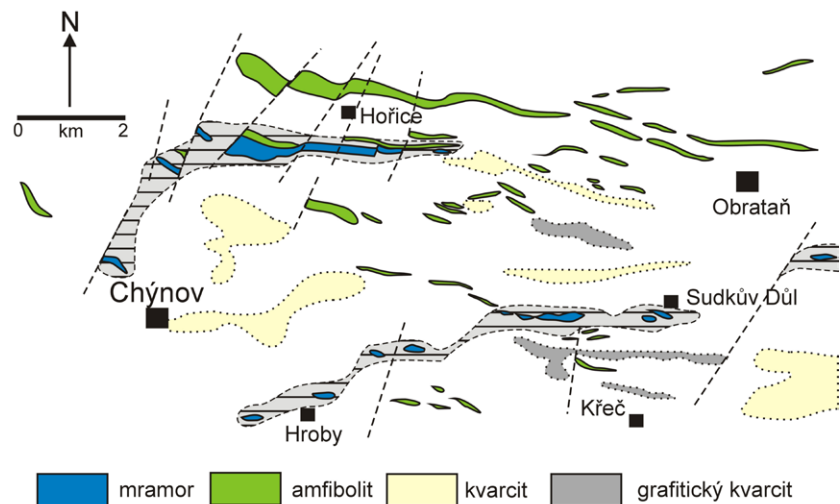
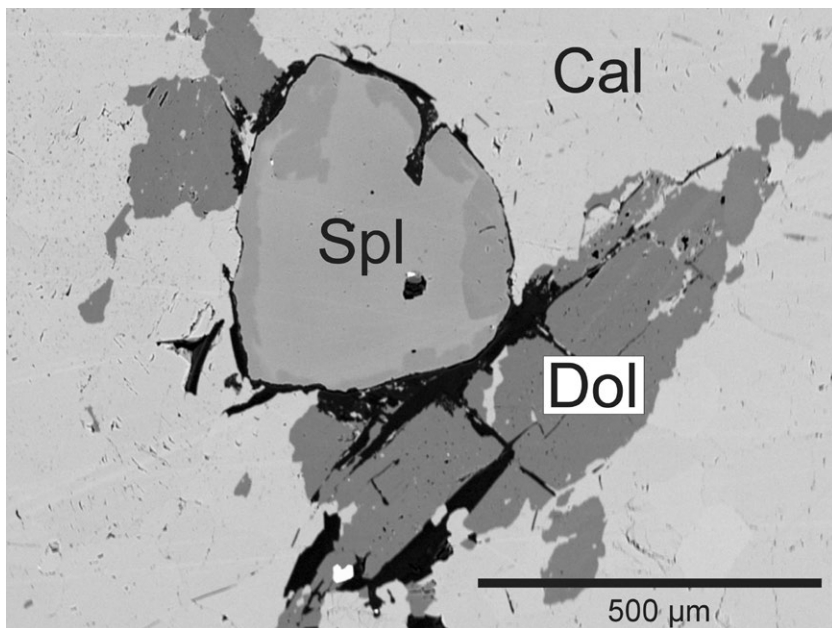
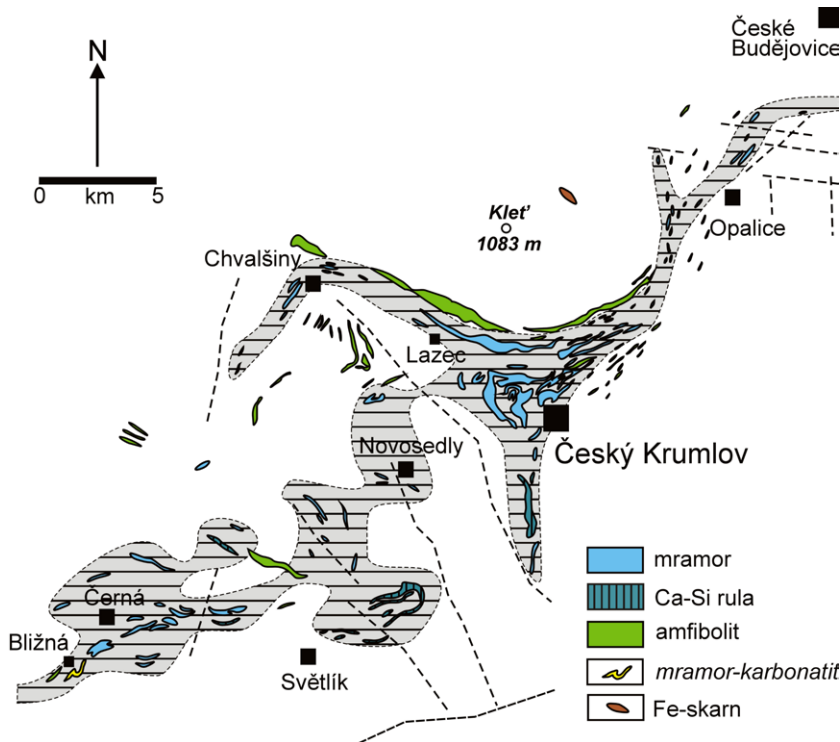


Obr. 27 Spinel-chondroditový mramor, Hradiště u Písku. Šířka záběru 15 mm. Foto J. Cícha.

ČESKOKRUMLOVSKÁ

Subjednotka zahrnuje několik litologicky odlišných typů mramorů. Dominují kalcitické mramory, často s typickou páskovanou texturou (typ 3), v úzké asociaci s grafitickými rulami až čistými grafity, podřízeně se vyskytují i dolomitové typy o zřetelně menší mocnosti. Mramory objemově převládají nad diopsidovými rulami (*erlany*), ojedinělý je skarnoid (Wo + Di + Grs + Ves) u Hořic na Šumavě (Kadounová 1987; Čech et al. 1962; Welsler, Zikeš 2016).

Mramory se táhnou jz. od nádrže Lipno přes mocnější tělesa u Černé a Bližné, maximálních mocností dosahují u Vyšného a Českého Krumlova a jejich menší polohy postupně pokračují přes Boršov a vyznívají až sv. od Českých Budějovic u Velechvína (obr. 28). Zcela unikátní je v rámci Českého masivu výskyt mramoru s „karbonatitovým charakterem“ v Bližné s minerály skupiny pyrochlóru a s molybdenitem Re-Os modelového stáří 493 a 497 Ma (Šarbach et al. 1985; Drábek, Stein 2015, Radková 2017). Náznaky podobné mineralizace jsou známy i od Muckova (Houzar, Novák 2002).



V mramorech s dolomitem přistupuje vedle krystalického grafitu (≤ 1 mm) jen místy hojný serpentinizovaný forsterit (Černá, vzácněji Český Krumlov, Boršov), spinel (Chvalšiny, Kamenný Újezd) a ojediněle akcesorický klinohumit (Černá, Český Krumlov). Podél severního okraje subjednotky, přibližně od Chvalšín po Kamenný Újezd se s amfibolity při kontaktu pestré jednotky s granulity Blanského lesa vyskytují menší tělesa mramorů bohatších dolomitem (typ 4). K nim náleží ojedinělá poloha mramoru, zastížená v grafitovém dolu u Lazce, s forsteritem, klinohumitem, Fe-Mg spinelem a magnezioferitem, která podlehla silné retrogradní alteraci za vzniku hydrotalkitu-pyroauritu (obr. 29), hydromagnezitu a brucitu (Zikeš, Welsler 2009). Výskyt periklasu, který zmiňují Janoušek et al. (2008), není pravděpodobný.

CHÝNOVSKÁ

Ve východním okolí Chýnova vystupuje komplex biotit-muskovitických rul a dolomitových i kalcitických mramorů sdružených a střídajících se s amfibolity (hlavně typ E-MORB, vedle NOIB typu, s vyšším poměrem Fe^{3+}/Fe^{2+} , lokálně s Mn-bohatým granátem), případně i kvarcitu, pravděpodobně ordovického stáří (Suk et al. 1977, Janoušek et al. 2008). V relativně čistých mramorech o mocnosti až přes 100 m se vyskytují tenké (\leq dm) polohy „metabauxitů“ s nazeleňalým Cr-muskovitem, plagioklasem, rutilem, korundem, dravitem, s reliktním kyanitem, zoisitem; lokálně s pargasitem, spinelem (?), klinochlorem a křemenem (Vrána 2014). V podloží mramorové sekvence vystupují grafitické kvarcitu, k mramorům však nemají užší vztah. Naopak bílé, silikáty chudé, karbonát (kalcit > dolomit) - křemenné páskované horniny představují místy přímé nadloží dolo-

Obr. 28 Výskyt mramorů v českokrumlovské subjednotce.

Obr. 29 Zonální spinel s dolomitem a hydrotalkitem (černý), Lazec. BSE foto R. Škoda.

Obr. 30 Výskyt mramorů, amfibolitů a kvarcitů v chýnovské subjednotce.

mitových těles. Na západě je výskyt zdejších mramorů výrazně ohraničen některými zlomy směru blanické brázdy (obr. 30). K východu mramory postupně vyznívají východně od Obrataně; naopak tímto směrem narůstá podíl biotitických pararul s kvarcitem (jde tam podle Suka et al. 1977 o brachyantiklinální uzávěr).

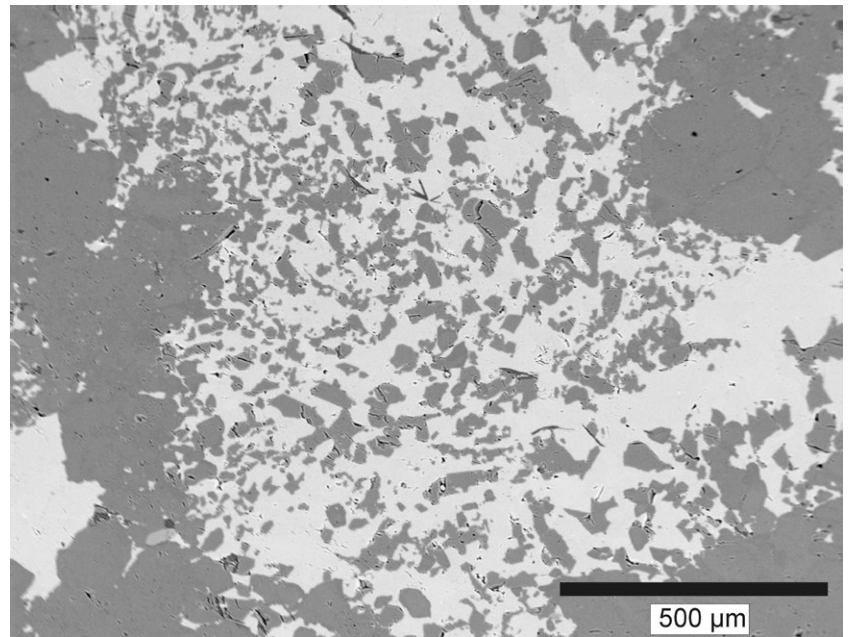
Základní minerální asociace bílých drobnozrnných mramorů Dol + Tr + Cal ± Phl ± Di (Pacova hora) je ojediněle rozšířena o pargasit (Vrána 1978) a forsterit (Údolí - Josafat). V kalcitických i dolomitových mramorech v Chýnovské jeskyni (i na jiných lokalitách) byly zjištěny porfyroblasty mikroklínu, čočkovité agregáty diopsidu obrůstané tremolitem a zatlačované mastkem a ojediněle drobné porfyroblasty tremolitu (*hexagonit*). Z akcesorických rudních minerálů lze zmínit galenit (Litochleb et al. 2004).

Moderní petrologické zpracování PT-podmínek metamorfózy „chýnovské zóny“ chybí. Přítomnost reliktní HP asociace Zo + Ky, pargasitického amfibolu a původně Mg-kalcitu (lokalita Údolí, obr. 31) a naopak dominující asociace Dol + Tr může naznačovat výrazné retrogradní přepřerování původních HP/HT asociací. Pozice forsteritu (lokalita Údolí - Josafat) v asociaci není zatím jasná (relikty progradní HT metamorfózy?). Otevřenou otázkou zůstává v asociaci postavení spinelu (Suk et al. 1977; Vrána 1978) a marialitu, který zmiňuje Janoušek et al. (2008).

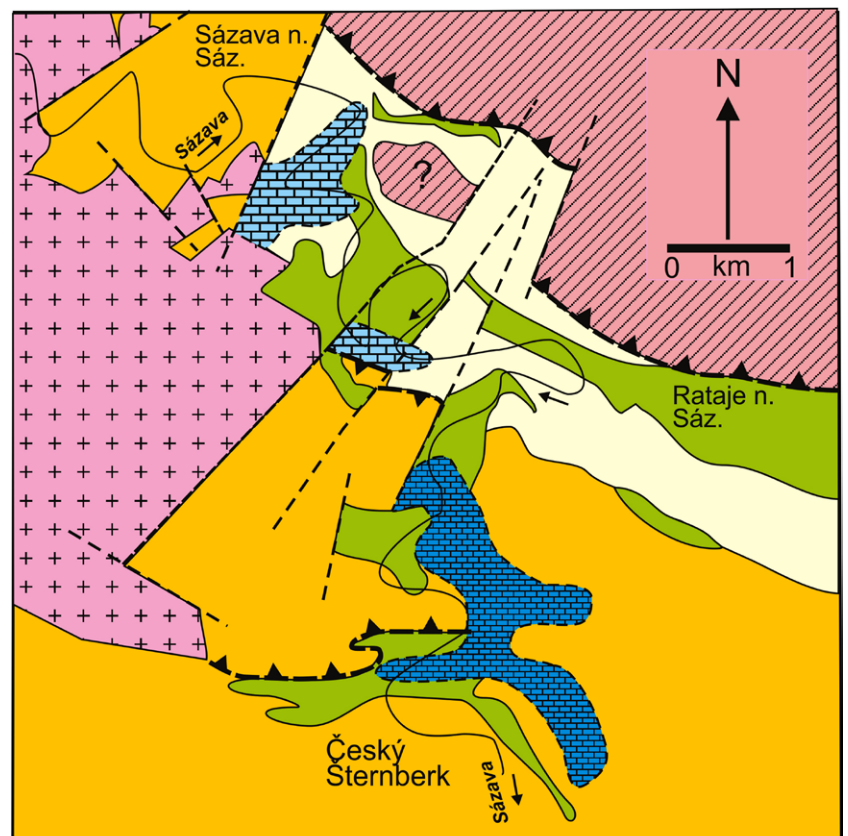
ČESKOŠTERNBERSKÁ

Subjednotka leží ve složitém tektonickém uzlu na styku středočeského plutonického komplexu, kutnohorského krystalinika a moldanubika (obr. 32). Tomu odpovídá i výskyt několika typů mramorů (Houzar, Novák 2001). Nejpodrobněji tuto oblast charakterizoval Kachlík (1999).

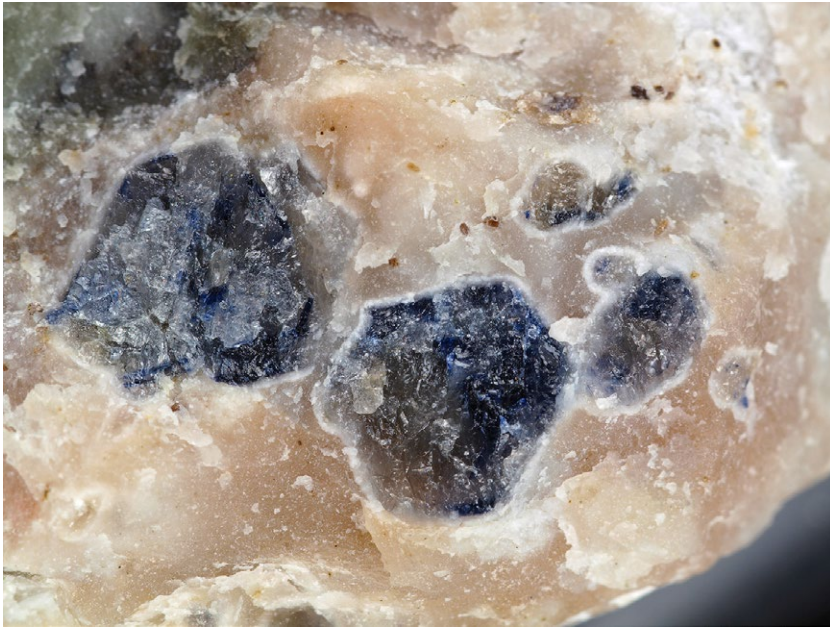
V migmatitizovaných biotitických rulách, s menšími vložkami diopsidických a grafitických pararul (Soběšín), místy s mocnými polohami amfibolitů, se nacházejí převážně velmi čisté dolomitové mramory (typ 5) s asociací Dol + Tr + Cal + Phl ± Di ± Fo (Český Šternberg - Nový Dvůr, Soběšín, Malovidy, Pertoltice, Bohdaneč). Specifická metasomatická mineralizace Tr + Di ± Tlc je známa také z Bohdaneče (velký činný lom); u Malovidy ji doprovází komplexní Pb-Zn-Cu-Fe-Sb-Ag-Mo-Sn-Hg zrudnění (Šrein et al. 2007). Výskyt čistých dolomitových a kalcit-dolomitových mramorů připomíná chýnovskou subjednotku; relikty



Obr. 31 Četné odmišleniny dolomitu (tmavý) v kalcitu (světlý) v dolomitovém mramoru, Údolí-Josafat. BSE foto, R. Škoda.



Obr. 32 Geologická situace mramorů u Českého Šternberka v Posázaví (upraveno podle Kachlíka 1999).



starší HT/HP metamorfózy tu však v mramorech nebyly zjištěny.

Zcela jiné složení má mramor v opuštěných lomech na Bílém kameni u **Sázavy nad Sázavou**. Tvoří přes 100 m mocné těleso čistého bílého kalcitického mramoru (0.2 - 1.2 hm. % MgO) v dvojslídnych pararulách až svorech ratajské zóny. Nekarbonátová příměs prakticky chybí, jen výjimečně se vyskytuje diopsid, tremolit a flogopit < 1 % (Koutek 1936).

VLAŠIMSKO-LEDEČSKÁ

Celou subjednotku charakterizují pouze kalcitické mramory 1. typu v migmatitizovaných sillimanit-biotitických pararulách a migmatitech s cordieritem. Jsou doprovázeny diopsidovými rulami až skarnoidy, četné jsou také kvarcité (René 2002).

Západně, v okolí **Vlašimi a Zruč nad Sázavou**, se v biotitických a sillimanit-biotitických pararulách, místy s obsahem grafitu, vyskytují jen menší tělesa kalcitických mramorů 1. typu. Jsou zastoupeny poměrně čisté i silikáty bohaté typy (Vlašim - Jinšov, Trhový Štěpánov), přecházející do diopsidických rul. Karbonátová sekvence obsahuje dále menší množství kvarcitu, vzácnější jsou amfibolity, grafitické horniny až na malé výjimky chybějí. Pro tuto subjednotku jsou charakteristické polohy regionálně metamorfovaných granát-pyroxenických Fe-skarnů lokálně zrudněných magnetitem. Mramory tvoří ojediněle drobné vložky přímo ve skarnech (Vlastějovice) nebo vystupují v jejich blízkosti (Zliv) a obsahují pak pyroxeny a granáty bohatší Fe než v mramorech v pararulách (Němec 1991; Drahota et al. 2005).



Obr. 33 Korund v meionitu s relikty anortitu, lom Krty II. Šířka záběru 18 mm. Foto J. Cícha.

Obr. 34 Klinozoisit (thulit) v silikátovém mramoru, Chvalovice. Šířka záběru 12 mm. Foto J. Cícha.

Obr. 35 Mramory s polohami amfibolitů v lomu na Pacově hoře u Chýnova. Foto archiv Správy Chýnovské jeskyně, 1965.

Ve východní části subjednotky se četné mramory nacházejí v širším okolí **Ledče nad Sázavou**, kde tvoří poměrně mohutná tělesa až 50 - 100 m mocná, jejichž četnost a mocnost postupně klesá k SSV, JJZ i k Z. Dominuje v nich minerální asociace Cal + Di + Tr + Qz + Ttn ± Pl ± Kfs ± Ap ± Zo (Czo) ± Aln. Mramory byly místy relativně dobře propustné pro fluida, neboť asociace je lokálně obohacena o Fe (Hd, Amf, Po, Py) a mladší křemen; obsahují také minerály stabilní při vyšším X_{H_2O} (Grs, Czo, Ves). Prostorové vztahy s magnetitovými Fe-skarny zde chybějí, typickým doprovodem mramorů jsou však pyroxen-granátické skarnoidy s W (± Sn) mineralizací, například u Ledče a Nezdína (Švestka, Pauliš 2010).

IZOLOVANÉ LOKALITY

Kromě výše zmíněných subjednotek bylo zjištěno i několik samostatných lokalit mramorů, které nebylo možno jednoznačně přiřadit.

Na západ od Vimperka byl v minulosti otevřen velký kamenolom na známý dekorační mramor v **Jaroškově** (u Stach), dnes téměř zaniklý. Jde o mocné těleso dolomitových mramorů, doprovázené mramory s vyšším podílem kalcitu, silikátů a diopsidovými rulami. Je uloženo v migmatitizovaných sillimanit-biotitických pararulách, které jsou prostoupeny leukokratními až biotitickými granity a žilami granitových porfyrů. Byly tam zjištěny převážně čisté dolomitové mramory (Dol + Cal + Phl ± Fo ± Srp), které jsou také omezeně přístupné ve výchozech (typ 5). Ve vrtech byly nalezeny vzácně dolomit-kalcitické typy se serpentinizovaným forsteritem a chloritem, ojediněle se spinelem, diopsidem, muskovitem a živci. V nepublikovaném posudku Andrese et al. (1966) jsou uváděny i některé další minerály (Qz, Grt, „chondroit“), jejichž určení není dostatečné. V případě křemene, uváděného v asociaci s dolomitem, jde spíše o záměnu za apatit. Lokalita nebyla nově studována, jedinou výjimkou je práce Kuchařové a Příkryla (2017), kteří uvádějí asociaci Dol + Cal + Phl + Chl + Ms + Py.

Větší pozornost byla věnována několika lokalitám severně od Českých Budějovic. V biotitických (± Ms ± Sil ± Crd) rulách s četnými kvarcipy se tu objevují silikáty bohaté kalcitické mramory 1. typu (Cal + Di + Qz + Ttn ± Tr ± Czo ± Wo) v pruhu od **Olešníka** přes **Chlumec** (Rachačky) až k **Soběslavi**. Dále k Pacovu se uplatňují místo vložek mramorů spíše kvarcipy, kalcitické mramory se ojediněle vyskytují u **Nemojova** a **Humpolce** i v širším okolí Jindřichova Hradce (**Ratiboř**, **Okrouhlá Radouň**).

Specifický a poměrně neznámý je izolovaný výskyt mramoru u obce **Kolence** jz. od Jindřichova Hradce. Vystupují v biotitických pararulách a cordieritických migmatitech, proniklých apofýzami dvojslídnych granitů, s vložkami amfibolitů a granulitů (Pletánek, Suk 1976). Mramory v opuštěném zatopeném lomu odpovídají kalcit-dolomitickému typu (4) se silně serpentinizovaným forsteritem. Minerální asociace Cal + Dol + Fo + Spl (ojediněle baddeleyit, geikielit a chlorapatit) bude předmětem dalšího studia.

Metasomatické minerální asociace v mramorech

Minerální asociace moldanubických mramorů mohou být obohaceny o minerály, vzniklé za přínosu komponent fluidy z externího zdroje. Platí to jak pro vysoce mobilní H_2O , F, Si, Fe, Na, K, tak i pro složky relativně inertní. Přestože tato problematika leží mimo rámec této práce, je nutné vztahy mramorů a přilehlých magmatických (granitoidy) i metamorfovaných (migmatity, metabazity) hornin

alespoň stručně zmínit. Jednoznačné odlišení produktů izochemické metamorfózy a asociací ovlivněných importem může být totiž často obtížné a bez modálního a izotopického studia až nemožné (Ferry et al. 2011).

Tělesa mramorů, zejména ta, která jsou uložena v migmatitech, jsou ve všech studovaných subjednotkách při okrajích i blíže center často proniknuta žilami hrubozrnných granitů, syenitů až dioritů o mocnosti několika cm - dm. Reakční lemy na kontaktu těchto žil s **kalcitickými mramory** často chybějí nebo jsou omezeny pouze na několik mm mocnou zónu Pl + Di + Ttn ± Qz ± Wo (Hejná, Mladíkov, Sázava aj.). Vzácnějším případem jsou kontaktní skarny, tvořené směrem od mramoru ke granitu zónami Wol → Cpx → Grs → Cpx (+ Pl + Ttn), často s vesuvianem a scheelitem (Písecko, Hořice, Nihošovice, Annín, Humpolec, Zliv - Vápenka; např. Fišera et al. 1986; Drahotka et al. 2005; Červený 2012; Welsler, Zikeš 2016). K podobné mineralizaci náleží částečně skarn se scheelitem a Nb-titanitem v Písku (Houzar et al. 2008). Přínos SiO_2 včetně některých dalších složek vedl ke vzniku tenkých křemenných žil se scheelitem nebo dravitem u Chýnova (Vrána 1978; Litochleb et al. 2004), turmalín-amfibol-diopsidových žil v Muckově a křemen-fluoritové mineralizace v Kožlí u Ledče.

V **dolomitických mramorech** jsou žíly granitoidů značně až úplně desilikované, vždy bez slíd, s bazickými plagioklasy, (Ba-)K-živci, diopsidem a amfiboly, akcesorickým titanitem, allanitem-(Ce) a výjimečně korundem (obr. 33). Zvláště typický je zrnitý růžový klinozoisit (obr. 34) a prehnit (Štědrá 2011), místy i stébelnatý skapolit (Mei > 50), přičemž tyto minerály jsou často vyvinuty ve více generacích. Plagioklasy jsou zatlačované šedozeleňým celistvým chloritem, tzv. *pseudofitem* (Čkyně, Plav, Vidov). Pro dolomitické mramory jsou rovněž specifické metasomatické reakční žíly (Mg-skarny) s vnější zónou Fo + Cal, dále zónou Phl + Chl (může chybět) a vnitřní zónou bílého diopsidu. Reakcí externích, SiO_2 bohatých fluid s dolomitem vznikly podobně tremolit-diopsidové žíly (± Tlc) u Bohdanče a u Malovid (s Fe-forsteritem a rudními minerály), údaj o výskytu tamního monticellitu (Šrein et al. 2007) je nutno revidovat. V dolomitických mramorech se také objevují hrubozrnné agregáty tremolitu a diopsidu, nízkoteplotní žilky palygorskity a sepiolitu, minerály skupiny serpentinu, mastek a vzácně brucit (Houzar, Novák 2001; Litochleb et al. 2004).

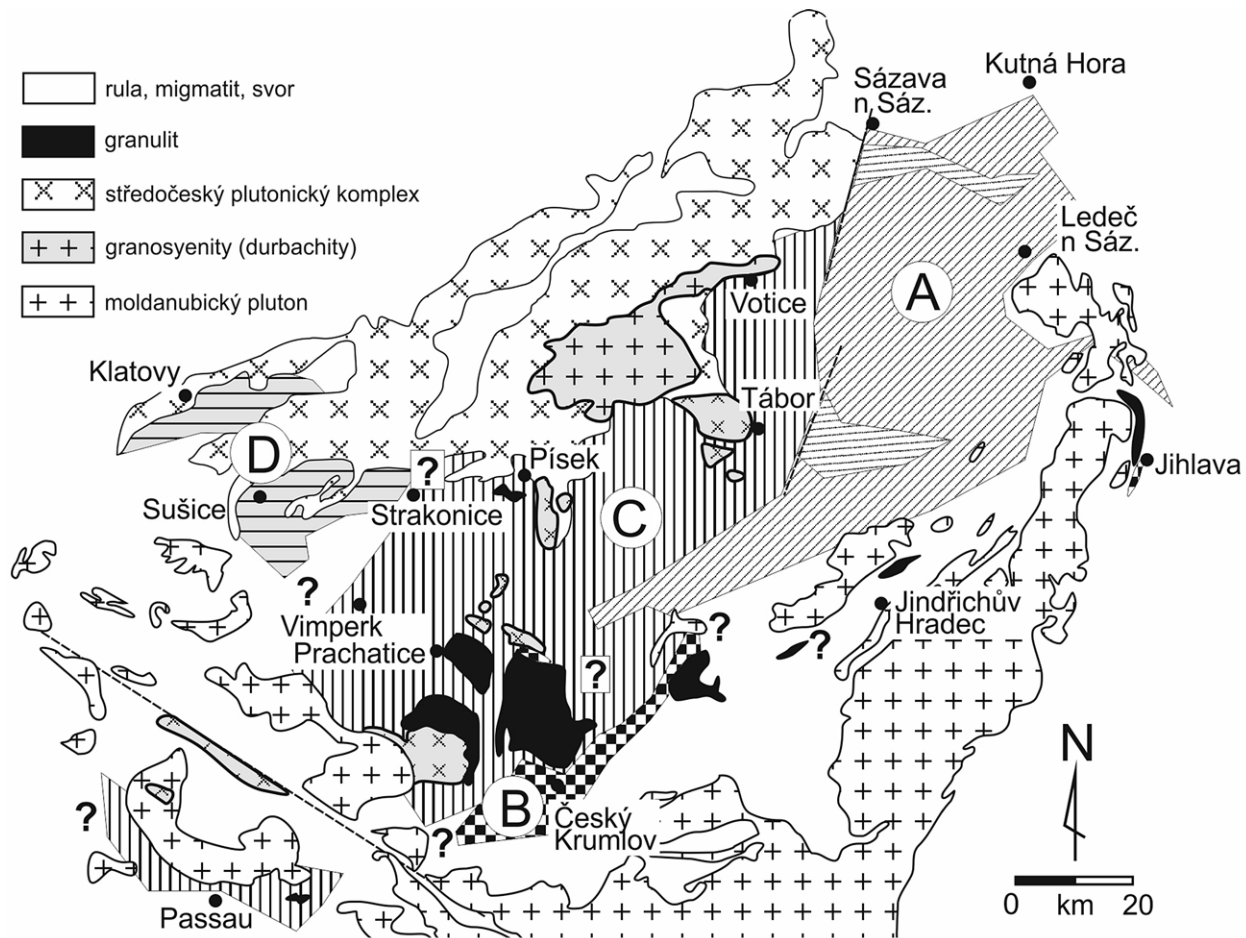
Diskuse

Korelace mramorů v české části moldanubika

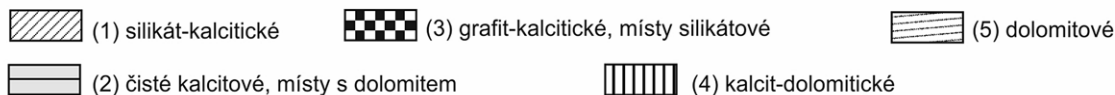
Jednotlivé subjednotky s mramory v moldanubiku jižních a částečně středních Čech, které se navzájem odlišují různým vzájemným poměrem jednotlivých typů a litologií (typy 1 - 5), lze navzájem regionálně korelovat v rámci čtyř oblastí (obr. 36).

Největší **oblast (A)** zaujímá prostor mezi Vlašimí, Ledčí nad Sázavou, Jindřichovým Hradcem a severním okolím Českých Budějovic (obr. 35). Zde se vyskytují převážně kalcitické mramory (typ 1) s četnými diopsidovými rulami („erlany“) a kvarcipy, jejichž protolitem byly vápence s různým podílem siliciklastik, méně i pelitického podílu, omezeně s příměsí vulkanické složky. Nelze vyloučit ani malý podíl dolomitu, i když Mg v silikátech mramorů může pocházet i z pelitické komponenty.

Ve stejném regionu (A), ve dvou výrazně omezených územích (chýnovská a českošternberská subjednotka), vystupují s čistými dolomitovými mramory (typ 5) také



Typy mramorů



rozdělení A–D viz text práce

Obr. 36 Regionální rozšíření jednotlivých typů mramorů v české části moldanubika na základě jejich minerálních asociací.

čisté kalcitické mramory (typ 2). Okolními horninami jsou tam převážně muskovit-biotitické (Chýnov) až biotitické pararuly (Český Šternberk). Mramory jsou úzce sdružené s metabazity, které se s nimi často střídají (obr. 35). Protolitem těchto mramorů byly částečně silně dolomitované vápence, vzniklé v podmínkách velmi příznivých pro karbonátovou sedimentaci (oxidické podmínky bez přínosu siliciklastik).

Subjednotka chýnovská je někdy srovnávána s mramory okolí Českého Krumlova (Vrána 1992, 2011; Janoušek et al. 2008), avšak českokrumlovská **oblast B** (obr. 36), vymezená mezi Černou v Pošumaví a východním okolím Českých Budějovic, je od ní částečně odlišná. Úzký vztah mramorů k pararulám s vysokým obsahem grafitu, stejně jako častá páskovaná textura střídajících se karbonátových a silikátových poloh (v řádu mm až cm) jsou pro tuto subjednotku typické. Dolomitové typy jsou tam vzácnější. Interpretace některých křemenem bohatých mramorů jako regresních sedimentů (Zoubek 1953) může být chybná. Je možné, že jde o metamorfované produkty diagenetické nebo synmetamorfózní silicifikace vápenců. Sedimentace karbonátů, částečně v menších hypersalinních pánvích (aktivní kontinentální okraj nebo

prostředí riftu), s lokálním přínosem siliciklastické a zvláště pelitické složky se střídala s anoxickými podmínkami, které posléze převládly v případě sedimentace protolitu grafitů (Kříbek 1988). Jen lokálně se uplatnily metabazity. Pouze tato subjednotka odpovídá pestré jednotce drosendorfské v tom smyslu, jak byla původně vymezena v okolí Drosendorfu v Rakousku (Finger et al. 2007; Cháb et al. 2008).

Podél severního okraje této subjednotky na styku s jednotkou gřohlskou (granulity Blanského lesa aj.), se společně s hojnými amfiboly vyskytují ojediněle menší polohy mramorů se spinelem (Lazec, Kamenný Újezd), odpovídající spíše mramorům vimpersko-písecké subjednotky (viz oblast C níže). Podobný vztah existuje i mezi mramory v moldanubiku Waldviertelu v Rakousku a na západní Moravě, kde je tento lokální pestrý vývoj pokládán za součást tzv. raabské podskupiny gřohlské jednotky (Fritz 1995).

Mramory vimpersko-písecké a tábořsko-votické subjednotky (**oblast C**) jsou často dolomitické, s minerálními asociacemi odpovídajícími vyšším metamorfózním podmínkám (Spl + Fo + Bdy) na hranici granulitové facie. Tvoří obvykle menší, převážně ojedinělá tělesa v jinak mo-

notónních migmatitech („*gföhlské ruly*“) s granulity. Patrně jde o relikt pestré jednotky, včleněné do komplexu hornin spodnokorového původu při jeho výzdvihu do vyšší úrovně a následně tektonicky přepracovaného v podmínkách HT-MP(LP) metamorfózy až anatexe (srov. Vrána, Šrámek 1999; Schulmann et al. 2014). Vliv na minerální asociace těchto mramorů mohl mít i přínos T a fluid v souvislosti s intruzí durbachitových těles (Janoušek, Holub 2007; srov. též Leichmann et al. 2017). Za zmínku stojí častý výskyt klinohumitu a chondroditu i charakteristický podíl Zn v některých minerálech (Spl, Di), specifický pro obě subjednotky.

Velká tělesa kalcitických mramorů v sušicko-horažďovické a částečně klatovské **oblasti D** nemají v moldanubiku Českého masivu nikde období. Vysoký karbonátový podíl a tvar těles odpovídá riftogenní sedimentaci, která nebyla po dlouhou dobu přerušována přínosem siliciklastik. Původní vápencový protolit byl částečně dolomitizován už v předmetamorfním stadiu, místy rozsáhlá je také post-metamorfní hydrotermální dolomitizace (Malecha et al. 1960). Otázkou zůstává vznik asociace Fo + Spl + Chu ± Di (Zirc, Gk, Bdy), kde nelze vyloučit kontaktní vliv středočeského plutonu (346 - 343 Ma); datování zirkonolitu (339 ± 10 Ma) by tuto možnost podporovalo (Čopjaková et al. 2008).

Výzkum složení protolitu moldanubických mramorů nebyl dosud proveden. Z celohorninových analýz mramorů, bez detailního studia jejich konkrétních minerálních asociací, nelze o jeho složení a litofaciálním charakteru činit podrobnější závěry. Tím méně pak o stáří celé pestré jednotky moldanubika, jak se pokusil Procházka (2007), neboť nejspíše nešlo o jednotný sedimentační prostor. Studium distribuce a variability minerálních asociací ukazuje na výrazné metamorfní a částečně i metasomatické ovlivnění chemického složení původního sedimentárního karbonátu.

Srovnání mramorů české části moldanubika s přílehlými jednotkami

Na jihozápad od studované jihočeské oblasti, v bavorské části moldanubika (**bavariku**), vystupují monotónní komplexy migmatitů prostoupených granitoidy moldanubického plutonu. Jsou postiženy výraznou *bavorskou* fází HT/LP metamorfózy stáří 330 - 315 Ma (Finger et al. 2007). Teprve podél levého břehu Dunaje přibližně v prostoru Vilshofen - Passau - Kropfmühl nacházíme pestré vločky mramorů, amfibolitů a ve východní části i četných poloh grafitických hornin (Teuscher 1981; Zoubek et al. 1988). Jsou tu zastoupeny relativně čisté kalcitické mramory, mramory kalcit-dolomitické a grafitické (částečně s krystalickým grafitem). Relativně častým minerálem je serpentinizovaný forsterit (ofkalcit), flogopit, místy diopsid a klinohumit, případně chondrodit? Typický je spinel, vzácněji Zn-spinel až gahnit (Vilshofen), pyrotin a sfalerit, růžový „zoisit“ a skapolit (Kropfmühle - Pfaffenreuth). Na kontaktech s granity jsou místy vyvinuty zonální Grt + Ves + Wo skarny (Wimmer 1981).

Minerální asociace mramorů, úzce sdružených s grafitickými rulami, se značně podobá některým mramorům českokrumlovské subjednotky (Černá, Chvalšiny, Lazec). S okolím Pasova porovnal Zoubek et al. (1988) litologické poměry grafitového ložiska Chvalovice u Netolic, zdůraznil výskyt forsteritu v mramorech a vymezil dílčí pestrá jednotka (Chvalovice - Kropfmühl Group). Část pestré sekvence s ojedinělými mramory v migmatitech (*anatektických rulách*) na SZ od Pasova (Rathmannsdorf, Vilshofen an der Donau) je nejpodobnější subjednotce

vimpersko-písecké. Tuto litologickou korelaci podporuje také zjištění leukokratických migmatitů *gföhlského* typu obsahujících relikt „granulitové“ HP/HT asociace granát + kyanit + ternární živec (s exsolucemi rutilu v granátu a lemy zirkonu datovanými na 340 Ma) u Aubachu z. od Kropfmühlu (Teipel et al. 2012). Za zmínku stojí také tamní výskyt ultradraselných magmatických hornin durbachitového typu (stáří 335 Ma), tzv. palitů (Finger et al. 2007). Detailnější informace o minerálních asociacích mramorů bavarika a podmínkách jejich vzniku však dosud chybějí.

Mramory v **rakouské části moldanubika** byly studovány zejména Högelsbergerem (1989). Z drosendorfské jednotky (s. s.), v níž jsou mramory sdruženy s grafitickými rulami, kvarcity (ale i amfibolity), popsal několik typů mramorů a jejich minerálních asociací, stabilních v podmínkách T 700 - 500 °C a P 700 MPa. Z nich dominuje asociace Cal + Phl + Tr + Di ± Dol ± Kfs ± Pl ± Scp, vzácnější je Cal + Dol + Phl + Fo ± Tr ± Di. Tento typ mramorů odpovídá typu grafit-kalcitických mramorů, místy silikátových (typ 3), převažujících v českokrumlovské subjednotce. Asociace s forsteritem (± Spl, tato práce) je vzácná, zjištěná pouze na jediné lokalitě u Ober Edlitz, která leží při kontaktu drosendorfské pestré jednotky s jednotkou *gföhlskou*. Na jediné lokalitě bílých mramorů (Töpenitzgraben) se vyskytuje také rovnovážná asociace Dol + Tr (Högelsberger 1989), na Moravě typomorfní pro mramory olešnické (resp. vratěnské) jednotky (Houzar 1999). Menší výskyty mramorů v *gföhlské* jednotce (raabská subjednotka) byly studovány jen minimálně (Knobloch 2004; Kolitsch, Gröbner 2008; Löffler, Kolitsch 2011). Z několika lokalit (Kochholz u Melku, lom Loja u Persenbeugu), přiléhajících ke komplexu *gföhlských* rul s granulity a amfibolity, pochází Mg-spinel, forsterit a klinohumit, tedy asociace odpovídající mramorům typu 4 nebo mramorům severní části českokrumlovské subjednotky (Lazec).

Mramory v **moravské části moldanubika** byly již dříve popsány podrobněji, byly studovány jejich minerální asociace (Novák 1988; Houzar, Novák 2001; Houzar 2004) a částečně provedena i korelace s mramory přílehlých jednotek (olešnická a vranovská jednotka, svratecké a poličské krystalinikum). Vykazují, co do vymezených typů, minerálních asociací i regionálně-geologické pozice, *velmi podobné až shodné znaky s českou částí moldanubika* (Houzar, Novák, připravováno do tisku). Ve srovnání s jihočeskou částí moldanubika zde chybějí čisté mramory 2. typu (Sušice - Horažďovice); dolomitové mramory typu 5 (Český Šternberk, Bohdaneč, Jaroškov) jsou ojedinělé a nebývají úzce sdruženy s amfibolity. Grafit-obsahující mramory (typ 3) jsou řazeny převážně k olešnické, případně vranovské jednotce, pokládáným zde většinou za součást moravika.

Závěr

Práce shrnuje proměnlivost minerálních asociací mramorů a diskutuje rozdíly či podobnosti jednotlivých pestrých komplexů obsahujících mramory.

Tyto pestré komplexy v jihočeském moldanubiku lze rozdělit do devíti subjednotek, lišících se minerálními asociacemi, velikostí a stavbou jednotlivých těles i asociujícími horninami: subjednotky strážovské (klatovské), sušicko-horažďovické, strakonické, vimpersko-písecké, táborsko-votické, českokrumlovské, chýnovské, českošternberské a vlašimsko-ledečské.

Minerální asociace mramorů jsou často variabilní, a to i v rámci jedné lokality nebo dokonce vzorku, naopak

existují zřetelné zákonitosti v rozšíření těchto asociací v regionálním měřítku. Běžné progradní asociace Cal + Dol + Phl ± Amp a Cal + Di + Ttn + Pl ± Kfs ± Qz se vyskytují téměř ve všech subjednotkách. Omezeně se uplatnily naproti tomu asociace Cal + Dol + Fo + Chl + Spl ± Chu ± Chn, s akcesorickým geikielitem, zirkonolitem a baddeleyitem, a asociace s Cl-marialitem a anortitem (± Ms). Podmínky vzniku minerálních asociací mramorů nebyly v české části moldanubika dosud dostatečně detailně prostudovány. Maximálními teplotám metamorfózy odpovídá v kalcitických mramorech asociace Di + An + Wo, v dolomitických mramorech Spl + Fo + Gk + Bdy (srov. Ferry 1996, 2001), s minerály s vysokým X_{Mg} korespondujícími s $T \geq 650 - 700$ °C při P_{CO_2} většinou < 0.6 . To odpovídá podmínkám metamorfózy pestré jednotky moldanubika (Dallmeyer et al. 1995). Kolísání složení fluidní fáze se také projevuje závislostí distribuce dílčích minerálních asociací na velikosti těles. Malé, řádově metrové polohy jsou v tomto směru značně diferencované a mají minerální asociace stabilní při nižším X_{CO_2} (HChu >> Chu) v důsledku importu H_2O z okolních hornin. Na základě nízkého obsahu Mg v kalcitu v asociaci s dolomitem (obvykle $< 1.5 - 2.5$ hm. % MgO) a tremolitem lze předpokládat výraznou retrogradní reekvilibraci části asociací za $T < 550$ °C. Typickou retrogradní asociací je Dol + Tr, která je stabilní v podobných podmínkách zejména při vyšším X_{CO_2} (Tracy, Frost 1991). Otázkou je možnost zachování některých výštlakých asociací. Vysoký $P_{tot} \leq 0.9$ GPa lze odvodit například z reliktní asociace Zo + Ky v *metabauxitu* v mramoru na Pacově hoře u Chýnova (Vrána 2014).

Z hlediska rozšíření mramorů a jejich minerálních asociací lze vymezit rozsáhlou oblast A, odpovídající pestré jednotce s kvarcitu, ležící v bezprostředním nadloží monotónní jednotky, dále úzce vymezenou českokrumlovskou (oblast B), odpovídající pestré jednotce drosendorfské v Rakousku, neostře ohraničenou oblast C s menšími polohami mramorů sdruženými s gföhlskými migmatity, granulity a durbachity, a oblast D s nejmocnějšími tělesy relativně čistých kalcitických mramorů v moldanubiku (obr. 36). Z regionálně-geologického hlediska je uvedené vymezení nutně zjednodušené. V rámci zaměření této publikace nebylo možno řešit komplikovanou geologickou stavbu ani vývoj českého moldanubika, vyplývající z procesů polyfázové deformace způsobené několikanásobnou změnou orientace pole napětí během trvání metamorfických podmínek.

Poděkování

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862). Autoři děkují recenzentům, RNDr. S. Vránovi, CSc. a ing. P. Paulišovi, za formální i odborné připomínky, které umožnily vylepšit rukopis. Za informace o výskytu některých mramorů a minerálů a spolupráci v terénu děkujeme rovněž T. Kadlecovi, F. Krejčovi, A. Kuchařové, V. Šreinovi a J. Zikešovi.

Literatura

- ANDRES E, CMUNTOVÁ M, ČTYROKÝ V, PRANTL F (1996) Závěrečná zpráva - Šumavské mramory, dílčí zpráva Jaroškov (etapa vyhledávacího průzkumu. MS, Geofond GF P0 22 916
- BABŮREK J (1995) High, medium and low pressure assemblages from the Czech part of the Královský Hvozd Unit (KHU) in the Moldanubian Zone of SW Bohemia. J. Czech Geol. Soc., 40: 115-126
- BABŮREK J (2004) Polymetamorphic Evolution of the Královský Hvozd Unit (W Bohemia, Bohemian Massif). Krystalinikum 30: 121-149
- ČECH V (ed.) (1962) Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XVII České Budějovice a M-33-XVIII Vyšší Brod. 1-191, Nakl. ČSAV, Praha
- ČERVENÝ A (2012) Minerály horního Pootaví. 1-117, Městské muzeum a město Horažďovice
- ČOPJAKOVÁ R, VRÁNA S, HOUZAR S, ČERVENÝ A, MALEC J (2008) Zirkonolit, baddeleyit a geikielit v klinohumit-spinel-forsteritových mramorech v okolí Horažďovic a Prachatic, jihozápadní Čechy. Acta Mus Morav Sci geol 93: 37-51
- DALLMEYER RD, FRANKE W, WEBER K (1995) Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe (Chapter VII. Moldanubian Zone). 317-466, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg
- DRÁBEK M, STEIN H (2015) Molybdenite Re-Os dating of Mo-Th-Nb-REE rich marbles: pre-Variscan processes in Moldanubian Variegated Group (Czech Republic). Geol Carpath 66: 173-179
- DRAHOTA P, PERTOLD Z, PUDILOVÁ M (2005) Three types of skarn in the northern part of the Moldanubian zone, Bohemian Massif - implications for their origin. J Czech Geol Soc 50: 19-33
- FARYAD WS, ŽÁK J (2016) High-pressure granulites of the Podolsko complex, Bohemian Massif: An example of crustal rocks that were subducted to mantle depths and survived a pervasive mid-crustal high-temperature overprint. Lithos 247: 246-260
- FERRY JM (1996) Three novel isograds in metamorphosed siliceous dolomites from the Ballachulish aureole, Scotland. Am Mineral 81: 485-494
- FERRY JM (2001) Calcite inclusions in forsterite. Am Mineral 86: 773-779
- FERRY JM, USHIKUBO T, VALLEY JW (2011) Formation of Forsterite by Silicification of Dolomite during Contact Metamorphism. J Petrol 52: 1619-1640
- FINGER F, GERDES A, JANOUŠEK V, RENÉ M, RIEGLER G (2007) Resolving the Variscan evolution of the Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. J Geosci 52: 9-28
- FIŠERA M, RYBKA R, MORAVCOVÁ H (1986) Kontaktní skarn se scheelitem ze Semic u Písku. Čas Nár Muz Ř přírod 155: 72-80
- FRITZ H (1995) The Raabs Serie, a probable Variscan suture in the SE Bohemian Massif. Jb Geol B-A 138: 639-653
- HÖGELSBERGER H (1989) Die Marmore und Kalksilikatgesteine der Bunten Serie - Petrologische Untersuchungen und geologische Konsequenzen. Jb Geol B-A 132: 213-230
- HOUZAR S (1999) Charakteristika mramorů u Jemnice na jz. Moravě. Geol Výzk Mor. Slez v roce 1998 6: 112-114
- HOUZAR S (2004) Metamorfované karbonátové horniny v geologické stavbě a vývoji jihovýchodní části Českého masivu. Disertační práce, ÚGV PřFMU Brno

- HOUZAR S, ČIČHA J (2016) Chondroitové a klinohumitové mramory podolského komplexu na Písecku a jejich fluorem bohatá Mg-Si-Ti-Ba-Zr minerální asociace (moldanubikum, Český masiv). Bull mineral - petrolog Odd Nár Muz (Praha) 24: 33-45
- HOUZAR S, LITOCHEB J, SEJKORA J, CEMPIREK J, ČIČHA J (2008) Unusual mineralization with niobian titanite and Bi-tellurides in scheelite skarn from Kamenné doly quarry near Písek, Moldanubian Zone, Bohemian Massif. J Geosci 53: 1-16
- HOUZAR S, NOVÁK M (2001) Mramory na jihovýchodním okraji Českého masivu. Vlastiv Sbor Vysočiny Odd Věd přír 15: 3-33.
- HOUZAR S, NOVÁK M (2002) Marbles with carbonatite-like geochemical signature from variegated units of the Bohemian Massif, Czech Republic, and their geological significance. J Czech Geol Soc 47: 103-109
- CHÁB J, BREITER K, FATKA O, HLADIL J, KALVODA J, ŠIMÚNEK Z, ŠTORCH P, VAŠIČEK Z, ZAJÍC J, ZAPLETAL J (2008) Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. 1-283, Česká geologická služba, Praha
- JANOUSEK V, GERDES A, VRÁNA S, FINGER F, ERBAN V, FRIEDL G, BRAITHWAITE CJR (2006): Low-pressure granulites of the Lišov massif, southern Bohemia: Viséan metamorphism of Late Devonian plutonic arc rocks. J Petrol 47: 705-744
- JANOUSEK V, HOLUB FV (2007) The causal link between HP-HT metamorphism and ultrapotassic magmatism in collisional orogens: case study from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. Proceed. Geolog. Association 118: 75-86
- JANOUSEK V, VRÁNA S, ERBAN V, VOKURKA K, DRÁBEK M (2008) Metabasic rocks in the Varied Group of the Moldanubian Zone, southern Bohemia: their petrology, geochemical character and possible petrogenesis. J Geosci 53: 31-46
- JENČEK V, VAJNER V (1968) Stratigraphy and relations of the groups in the Bohemian part of the Moldanubicum. Krystalinikum 6: 105-124
- JONES NW, RIBBE PH, GIBBS GV (1969) Crystal chemistry of the humite minerals. Am Mineral 54: 391-411
- KADOUNOVÁ Z (1987) Petrologický, petrochemický a strukturní výzkum ložisek grafitu Městský vrch a jeho vztah k horninám krumlovské pestré skupiny. Diplomová práce PŘFUK Praha
- KACHLÍK V (1999) Relationship between Moldanubicum, the Kutná Hora Crystalline Unit and Bohemicum (Central Bohemia, Czech Republic): A result of the poly-phase Variscan nappe tectonics. J Czech Geol Soc 44: 201-291
- KATZER F (1902) Geologie von Böhmen (Der geognostische Aufbau und die geologische Entwicklung des Landes mit besonderer Berücksichtigung des Erzvorkommens und der verwendbaren Minerale und Gesteine). 1-1606, Taussig Verlag Prag
- KNOBLOCH G (2004) Unverhofft kommt oft die Entdeckung einer unbekanntenen kleinen Sphalerit-Lagerstätte im Dunkelsteinerwald, Niederösterreich. Mineralien-Welt 15: 28-33
- KODYM O (ed.) et al (1961) Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XXVI Strakonice. 1-149, Nakl. ČSAV Praha
- KOLITSCH U, GRÖBNER J (2008) Apatit, Hydrozinkit, Ilmenit, Klinohumit, Rutil und Sillimanit von Kochholz, Dunkelsteinerwald, Niederösterreich. In: NIEDERMAYR G et al. Neue Mineralfunde aus Österreich Carinthia LVII 198/118: 259-270
- KOŠLER J, KONOPÁSEK J, SLÁMA J, VRÁNA S (2014) U-Pb zircon provenance of Moldanubian metasediments in the Bohemian Massif. J Soc London 171: 83-95
- KOUTEK J (1936) Ložisko krystalického vápence v Sázavě nad Sázavou. Věst St geol úst 12 3-4: 61-67
- KŘÍBEK B (1988) Litologický, strukturní a metamorfni vývoj grafitových ložisek krumlovské pestré skupiny moldanubika. Sbor Symp Hornic Příbram (Geol. a technol. uranu, grafitu, lithia a vzác zemin), 255-269. Vyd ČSVTS Praha
- KŘÍBEK B, HLADÍKOVÁ J, FRÝDA J (1997) Scapolite and anhydrite-bearing rocks from the Moldanubian zone of the Bohemian Massif: Metamorphosed exhalites and evaporites. J Czech Geol Soc 42: 62
- KUDRLIČKA V (1983) Javorná, zapomenutý kout Šumavy I. Příroda a skláři. 1-315, Vyd TEPS, Praha
- KUCHAŘOVÁ A, PŘIKRYL R (2017) Mineralogical and geochemical (stable C and O isotopes) variability of marbles from the Moldanubian Zone (Bohemian Massif, Czech Republic): Implications for provenance studies. Environ Earth Sci 76 DOI 10.1007/s12665-016-6348-0
- LARDEAUX JM., SCHULMANN K, FAURE M, JANOUSEK V, LEXA O, SKRZYPEK E, EDEL JB, ŠTÍPSKÁ P (2014) The Moldanubian Zone in French Massif Central, Vosges/Schwarzwald and Bohemian Massif revisited: Differences and similarities. In SCHULMANN K, MARTÍNEZ CATALÁN JR, LARDEAUX JM, JANOUSEK V, OGGIANO G (eds.) The Variscan Orogeny: Extent, Timescale and the Formation of the European Crust. 7-44. Geological Society Spec Publ 405. London
- LEICHMANN J, GNOJEK I, NOVÁK M, SEDLÁK J, HOUZAR S (2017) Durbachites from the Eastern Moldanubicum (Bohemian Massif) - erosional relics of large, flat tabular intrusions of ultrapotassic melts: geophysical and petrological records. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 106: 59-77
- LITOCHEB J, SEJKORA J, KREJČA F, ŠREIN V, ŠREINOVÁ B (2004) Pacova hora u Chýnova (Chýnovská jskyně a lom) - nové poznatky mineralogického výzkumu. Bull mineral - petrolog Odd Nár Muz (Praha) 1: 64-78
- LÖFFLER E, KOLITSCH U (2011) Die Mineralien der Loja bei Persenbeug, Niederösterreich (II). Mineralien Welt, 22: 51-62
- MALECHA A, SUK M, VACHTL J (1960) Geologie a petrologie krystalinika mezi Sušicí a Horažďovicemi. Sbor Ústř úst geol 26: 531-583
- MERLET C (1994) An accurate Computer Correction Program for Quantitative Electron Probe Microanalyses. Microchim Acta 114/115: 363-376
- NĚMEC D (1991) Regional typization of the iron skarns of the Bohemian-Moravian heights. Acta Mus Morav Sci natur 76: 51-82
- NOVÁK M (1988) Petrologie metamorfovaných dolomitických hornin při severovýchodním okraji moldanubika. Disertační práce, PŘFUK Praha
- NOVÁK M, HOUZAR S, NĚMEČKOVÁ M (2002) Amfiboly tremolitových mramorů v České masivu. Sbor Konf Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2002 (Olomouc), 63-66. Vyd Palackého univerzita Olomouc

- PLETÁNEK J, SUK M (1976) Poznámky ke stratigrafii a stavbě jihočeského moldanubika. Výzk práce Ústř úst geol 9: 7-28
- PROCHÁZKA V (2007) Složení moldanubických mramorů - významný argument pro prekambričké stáří pestré skupiny. Sbor Jihoč muz Čes Buděj Příř vědy 47: 27-38
- PROYER A, BAZIOTIS I, MPOSKOS E, RHEDE D (2014) Ti- a Zr-minerals in calcite-dolomite marbles from the ultrahigh-pressure Kimi Complex, Rhodope Mountains, Greece: Implications for the *P-T* evolution based on reaction textures, petrogenetic grids, and geothermobarometry. *Am Mineral* 99: 1429-1448
- RADKOVÁ P (2017) Mineralógi a petrografi a metakarbonátových hornín z Bližnej pri Černé v Pošumaví. Diplomová práca, ÚGV PířF MU Brno
- RENÉ M (2002) Kvarcity v moldanubiku mezi Pelhřimovem a Voticemi. *Zpr geol výzk v roce 2002* 35-37
- SCHULMANN K, LEXA O, JANOUŠEK V, LARDEAUX JM, EDEL JB (2014) Anatomy of a diffuse cryptic suture zone: An example from the Bohemian Massif, European Variscides. *Geology* 42: 275-278
- SPEAR SF (1995) Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. 1-799, Mineral Soc Am Monograph Series, Washington
- STARK M (1928) Umwandlungsvorgänge in Gesteinen des Böhmerwaldes. *Lotos* 76: 1-77
- SUK M, ŠALANSKÝ K, ZIMA J (1977) Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 23-134 Černovice. 1-43, Ústřední ústav geologický, Praha
- ŠARBACH M, DRÁBEK M, VESELOVSKÝ F (1985) Mo-Th-Nb-lanthanoidová mineralizace mramorů na dole Václav v Bližné. *Geol Průzk* 27: 9-10
- Šrein V, Šreinová B, Sejkora J, Šťastný M, Kolman B (2007) Mineralogická charakteristika metasomatického rudního ložiska Malovidy u Českého Šternberka. 14-15: 149-158
- ŠTĚDRÁ V (2011) Ca-Ba-Mn trhlinová mineralizace s různým klinozoisitem, vázaná na mramor, u Záblatí na Prachaticku. *Zpr geol výzk v roce 2011* 44: 144-148
- ŠVESTKA J, PAULÍŠ P (2010) Malayait z Horního Nezdína u Ledče nad Sázavou. *Bull mineral - petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 18: 96-98
- TEIPEL U, FINGER F, ROHRMÜLLER J (2012) Remnants of Moldanubian HP-HT granulites in the eastern part of the Bavarian Forest (southwestern Bohemian Massif): evidence from SHRIMP zircon dating and whole rock geochemistry. *Zeitsch Deutsch Gesellsch Geowiss* 163: 137-152
- TEUSCHER EO (1981) Die Graphitlagerstätten des Passauer Waldes. In: Troll G (ed.) *Mineralvorkommen in östlichen Bayerischen Wald. Aufschluss, Sonderband 31 (Bayer. Wald)* 91-100, Heidelberg
- TRACY RJ, FROST BR (1991) Phase equilibria and thermobarometry of calcareous, ultramafic and mafic rocks, and iron formations. In: KERRICK MD (ed): *Contact metamorphism, Reviews in Mineralogy* 26 207-289, Vyd. Mineral Soc America
- VRÁNA S (1978) Hliníkem bohatý pargasit a dravit z Chýnova u Tábora. *Čas Mineral Geol* 23: 435
- VRÁNA S (1992) The Moldanubian zone in southern Bohemia: polyphase evolution of imbricated crustal and upper mantle segments. In KUKAL Z (ed.) *Proceed 1st Inter. Conf. on the Bohemian Massif 1988*, 331-336, Česká geol služba, Praha
- VRÁNA S (2004) Gahnit a pargasit v krystalickém vápenci s magnetitem v Zechovicích u Volyně v jižních Čechách. *Bull mineral - petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 12: 214-216
- VRÁNA S (2005) Geologie metamorfítů moldanubika. In Breiter K (ed.) *Sborník abstrakt a exkurzní průvodce. 2. sjezd ČGS (Slavonice 2005)* 105-106. Slavonice
- VRÁNA S (2011) Manganese-rich garnet-quartz rocks and gneisses in the Bohemian part of the Moldanubian Zone: lithostratigraphic markers. *J Geosci* 56: 359-374
- VRÁNA S (2014) Korund-kyanit-zoisit-muskovitická hornina z Chýnova u Tábora. *Zprávy o geologických výzkumech* 47: 144-148
- VRÁNA S, BÁRTEK J (2005): Retrograde metamorphism in a regional shear zone and related chemical changes: The Kaplice Unit of muscovite-biotite gneisses in the Moldanubian Zone of southern Bohemia, Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 50: 43-57
- VRÁNA S, ŠRÁMEK J (1999) Geological interpretation of detailed gravity survey of the granulite complex in southern Bohemia and its structure. *Věst čes geol úst* 74: 261-277
- VRÁNA S, ŠTĚDRÁ V (1997) Geological model of Western Bohemia related to the KTB borehole in Germany. *Sbor geol věd Geol* 47: 1-240
- WELSER P, ŽIKEŠ J (2016) Minerály erlanů v okolí Černé v Pošumaví. *Minerál Speciál (Černá v Pošumaví a okolí - Mineralogie a geologie)* 45-51
- WHITNEY DL, EVANS BW (2010) Abbreviations for names of rock forming minerals. *Amer Mineral* 95: 185-187
- WIMMER G (1981) Neue Mineralfunde in der Graphitgrube Kropfmühl, Passauer Wald/Niederbayern. In: Troll G (ed.) *Mineralvorkommen in östlichen Bayerischen Wald. Aufschluss, Sonderband 31 (Bayer Wald)*, 101-111, Heidelberg
- ŽIKEŠ J, WELSER P (2009) Nové minerály z lokality Lazec u Českého Krumlova. *Minerál* 17: 301-306
- ŽIKEŠ J, WELSER P (2011) Nové nálezy minerálů v lomu Vápenný vrch. *Minerál* 19: 9-11.
- ZOUBEK V (1953) III. zpráva o výzkumu a mapování v jihočeské grafitové oblasti. *Věst Ústř úst geol* 28: 40-41
- ZOUBEK V, FIALA J, VAŇKOVÁ V, MACHART J, STETTNER G (1988) Moldanubian region. In: ZOUBEK V (ed.) *Precambrian in Younger Fold Belts*, 183-267. Vyd John Wiley & Sons, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore
- ŽÁČEK V, ŠKODA R (2017) Zinek v diopsidu v mramorech moldanubika jižních Čech. *Zpr geol Výzk* 50: 73-79
- ŽÁK K, DOBEŠ P, VRÁNA S (1997) Formation conditions of various calcite types and unusual alteration products of wollastonite in calcite marble near Nezdice (Varied Group of Moldanubicum), Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 42: 17-25