

## MORDENIT Z HORNIN TĚŠÍNITOVÉ ASOCIACE V PODBESKYDÍ (MORAVA, ČESKÁ REPUBLIKA)

MORDENITE FROM TESCHENITE ASSOCIATION ROCKS IN BESKYDY PIEDMONT AREA  
(MORAVIA, CZECH REPUBLIC)

DALIBOR MATÝSEK, JAKUB JIRÁSEK, ONDŘEJ POUR

### Abstract

Matýsek, D., Jirásek, J., Pour, O., 2024: Mordenit z hornin těšinitové asociace v Podbeskydích (Morava, Česká republika). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 109, 1, 71–82 (with English summary).

*Mordenite from Teschenite Association Rocks in Beskydy Piedmont area (Moravia, Czech Republic)*

Teschenite Association Rocks, Early Cretaceous igneous rocks bound to the Silesian Unit of the flysch Outer Carpathians, are typical for the zeolites in the fissures, amygdaloid cavities, rock matrix, as well as in their contact metamorphic rocks. Previously described minerals of the zeolite group include analcime, natrolite, phillipsite, harmotome, heulandite-Ca, ferrierite-Ca, and thomsonite-Ca. Two occurrences of the mordenite were newly recognized in Straník (GPS N 49° 33.130' E 017° 59.330') and Fryčovice (GPS N 49° 40.810' E 018° 13.727' a N 49° 40.738' E 018° 13.710'). At both sites mordenite forms very thin acicular aggregates in the cavities of undoubtedly effusive rocks, filled by younger calcite. It is orthorhombic, space group  $Cmc2_1$ , with unit-cell parameters refined from powder X-ray diffraction:  $a = 18.121(1)$ ,  $b = 20.474(2)$ ,  $c = 7.5213(8)$  Å (Fryčovice) and  $a = 18.1265(3)$ ,  $b = 20.4527(3)$ ,  $c = 7.5185(2)$  Å (Straník). The quantitative chemical composition by EDS are given for both sites. However, their reliability is reduced by nature of very thin crystals (2.5 μm), where analyses from polished section probably overestimate calcium content due to enveloping calcite, whereas analyses from crystals etched by the 10% solution of the acetic acid show significant increase the content of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>. The zeolite framework is not affected by etching, with perfect reproducibility giving exactly the same  $T_{Si} = 0.83$  for both cases.

*Key words:* mordenite, zeolite, powder X-ray diffraction data, Teschenite Association Rock, Czech Republic

Dalibor Matýsek, Department of Geological Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15/ 2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic, e-mail: dalibor.matysek@vsb.cz

Jakub Jirásek, Department of Geological Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15/ 2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic, e-mail: jakub.jirasek@vsb.cz

Ondřej Pour, Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5, Czech Republic, e-mail: ondrej-pour@geology.cz

### ÚVOD

Pro většinu hornin těšinitové asociace v Podbeskydích je podstatným znakem přítomnost minerálů zeolitové skupiny, zejména analcimu, v základní hmotě. Zeolity se vyskytují i na puklinách, v mandlovcových dutinách a také v kontaktně a hydrotermálně metamorfovaných či metasomatizovaných sedimentech v okolí těles vulkanitů. V případě základní hmoty hornin byly dosud popsány analcim a natrolit (Tschermak 1866; Rohrbach 1885). Tschermak také jako první zjistil, že horniny těšinitové asociace jsou převážně analcimické. Smulikowski (1929a, b) a po něm řada dalších autorů uvádí přítomnost natrolitových pseudo-

morfóz po nefelinu. PACÁK (1926) popsal natrolit jako hojnou složku základní hmoty řady typických těšinitů a uvádí i nálezy jeho variet (*hydronefelit, ranit* aj.). Difrakčně a mikroanalýzami stanovený thomsonit-Ca ve směsi s převládajícím natrolitem ze základní hmoty těšinitu popsal MATÝSEK a JIRÁSEK (2016).

Z puklin a dutin těchto hornin byly ze zeolitů dosud popsány analcim a natrolit (TSCHERMAK 1860), phillipsit a thomsonit (PACÁK 1926), heulandit-Ca (KOLENATI 1854 *ho uvádí pod názvem stilbit, v rejstříku pak má „heulandit = stilbit“, definitivně ho jako heulandit-Ca popisují* RUSEK a VALOŠEK 1968), ferrierit-Mg a harmotom (KUDĚLÁSKOVÁ *et al.* 1990). Z kontaktně metamorfovaných hornin byl popsán analcim (GLOCKER 1852) a natrolit (MATÝSEK 1988). Posledně uvedený autor popsal z některých lokalit i horniny nazvané jako analcimické a analcim-natrolitické kontaktní rohovce. Naopak za nepotvrzené nálezy se od doby jejich první publikace považují skolecit (TSCHERMAK 1860), stilbit (MÖHL 1875, *pokud tedy nejde o starý název pro heulandit, viz výše*) a mezolit (PACÁK 1926).

Mordenit je platným minerálem zeolitové skupiny (COOMBS *et al.* 1997), popsaným v roce 1864 (How 1864) z výchozů bazaltoidů nedaleko vesnice Morden v zálivu Fundy (Nové Skotsko, Kanada). Jde o minerál s ideálním vzorcem  $(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40})\text{O}_{96} \cdot 28 \text{H}_2\text{O}$ , kdy v kanálových kationtech v naprosté většině případů dominuje sodík nad vápníkem, draslíkem, vzácněji i hořčíkem, baryem, stronciem a olovem (PASSAGLIA 1975; PASSAGLIA a SHEPPARD 2001). Mordenit je specifickým strukturním typem zeolitů (framework typ MOR), je rombický, souhrnná prostorová grupa *Cmcm* (63), nebo má defektní strukturu, patřící do grupy *Cmc2<sub>1</sub>* (36) (SIMONCIC a ARMBRUSTER 2004). Struktura minerálu se vyznačuje přítomností velkých kanálů, které vedou ve směru osy c. Největší kanály jsou tvořeny z kruhů, sestávajících z 12 tetraedrů o maximálním teoretickém průměru 6,7 Å (IZA-SC 2022).

Minerál obvykle vzniká z nízkoteplotních hydrotermálních roztoků a krystalizuje do dutin magmatických hornin, vzniká ale také diagenézí tufů a mořských sedimentů s vulkanogenní příměsí (citace v PASSAGLIA a SHEPPARD 2001; DEER *et al.* 2004).

Cílem tohoto příspěvku je seznámit veřejnost se dvěma nálezy mordenitu - zeolitu, který dosud z hornin těšinitové asociace nebyl uváděn. Oba byly uskutečněny v moravské části výskytu těchto hornin a podařilo se je jednoznačně charakterizovat mineralogickými metodami.

## GEOLOGICKÁ SITUACE

Horniny těšinitové asociace se nachází ve spodnokřídových sedimentech slezské jednotky Vnějších Karpat, kde tvoří výlevy láv, ložní a výjimečně i pravé žíly (MENČÍK *et al.* 1983; WŁODYKA 2010). Vnější flyšové Karpaty tvoří externí zónu karpatského pásemného pohorí, táhnoucího se z východu České republiky do jižního Polska, Slovenska, Ukrajiny a dál k jihovýchodu. Ty jsou součástí alpsko-karpatsko-dinárského orogénu (SCHMID *et al.* 2008). V oblasti česko-polského Podbeskydí obsahují flyšové Karpaty zvrásněné horninové sledy s příkrovovou stavbou stáří svrchní jura až spodní miocén, které byly v rámci karpatské orogeneze přesunuty přes část výplně karpatské předhlubně (PÍCHA *et al.* 2006).

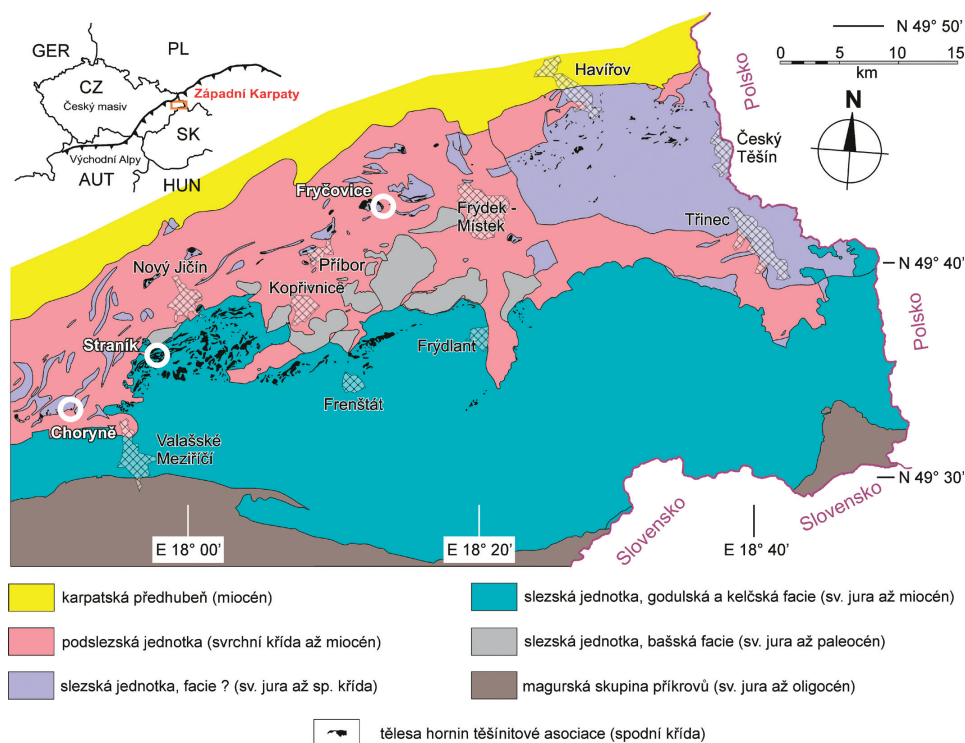
Ve slezském příkrovu svrchnojurského až oligocénního stáří převládají marinní flyšové sedimenty slezské pánve (MENČÍK *et al.* 1983; PÍCHA *et al.* 2006), které vznikaly na karbonátové platformě, na kontinentálním svahu a pod ním. V sedimentech spodní části vrstevního sledu (téměř výhradně v hradištském souvrství) se vyskytují četná drobnější tělesa vulkanitů těšinitové asociace (obr. 1), radiometricky datovaná do hauterivu až albu (spodní křída) - LUCINSKA-ANCKIEWICZ *et al.* (2002), SZOPA *et al.* (2014), BRUNARSKA a ANCKIEWICZ (2019). Pro synsedimentární vulkanismus svědčí paleontologicky doložené stáří okolních sedimentů v rozpětí valangin až apt (např. ELIÁŠ *et al.* 2003).

Vzhledem k vysoké variabilitě minerálního složení a strukturně-texturních znaků jsou horniny těšinitové asociace dosud předmětem odborné diskuze, která jde mimo rámec tohoto příspěvku. Obecně jsou tyto horniny popisovány např. jako alkalické lamprofyry,

alkalické bazaltoidy nebo i metabazika (ŠMÍD 1978; DOSTAL a OWEN 1998; WŁODYKA 2010; MATÝSEK *et al.* 2018). Typická je pro ně řada alterací, jako jsou zeolitizace, chloritizace, smektitizace, karbonatizace a silicifikace (např. ŠMÍD 1978; DOLNÍČEK *et al.* 2010; MATÝSEK *et al.* 2018; KROPÁČ *et al.* 2020).

## METODIKA VÝZKUMU

Pro identifikaci minerálních fází byla využita prášková rentgenová difrakční analýza provedená na Institutu geologického inženýrství na VŠB-TU v Ostravě (analytik D. Matýsek). Měření probíhalo na difraktometru Bruker-AXS D8 Advance s pozičně citlivým detektorem LynxEye za podmínek: záření CuK $\alpha$ /Ni filtr, 40 kV/40 mA, krok 0,014° 2 $\theta$ , čas na kroku 0,25 s, součet pěti opakovaných měření. Především pro ověření správnosti interpretace a také pro výpočty mřížkových parametrů byla použita upravená Rietveldova metoda zpřesňování strukturních dat z práškové RTG difrakce. Byl použit program Bruker-AXS Topas, verze 5. Vstupní strukturní data pro mordenit byla převzata z práce SIMONCICOVÉ a ARMBRUSTERA (2004) a variantně i MARTUCCIOVÉ *et al.* (2003).



Obr. 1. Schematická geologická mapa výskytů hornin těšínské asociace v české části Podbeskydí s vyznačením studovaných lokalit (podle MATÝSKA a JIRÁSKA 2016). Poznámky: kontakty mezi podslezskou, slezskou a magurskou jednotkou jsou vždy tektonické (násunové plochy), facie slezské jednotky označená v legendě „?“ je pravděpodobně erozním zbytkem godulské a kelčské facie.

Fig. 1. Schematic geological map of the occurrences of the Teschenite Association Rocks in the Czech part of the Podbeskydí area with the positions of the studied localities (adapted after MATÝSEK and JIRÁSEK 2016). Note: contacts between the Subsilesian, Silesian, and Magura units are always tectonic (thrusts), the uncertain facies most likely represent incomplete erosional remnants of the Godula and Kelč facies.

Sledování morfologie vzorků bylo provedeno na přírodním povrchu vzorků a na leštěných nábrusech za použití autoemisního elektronového mikroskopu FEI Quanta-650 FEG od firmy FEI (nyní Thermo Fishes Sci.). Morfologie zeolitů byla pozorována i po naleptání vzorků v kyselině octové (ca. 10% po dobu 12 hodin).

Chemické analýzy jehlic mordenitu byly provedeny pomocí autoemisního elektronového mikroskopu Tescan Mira3, osazeného dvojitou energiově-disperzní spektrometry Oxford Instruments Ultim Max 100. Analýzy byly pořízeny za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, absorbovaný proud cca 3 nA, pracovní vzdálenost 15 mm, načítací čas 10 s. Pro minimalizaci degradace vzorku pod svazkem byla spektra snímána z plochy 5×5 μm. Pro kvantifikaci analýz byly použity SPI minerální standardy: albit (Na *Kα*), plagioklas (Ca *Kα*, Al *Kα*), forsterit (Mg *Kα*), křemen (Si *Kα*), ortoklas (K *Kα*), almandin (Fe *Kα*) a baryt (Ba *La*). Obsah kyslíku byl vypočten ze stechiometrie. Analýzy byly zpracovány pomocí softwaru AZtec 6.0 (Oxford Instruments).

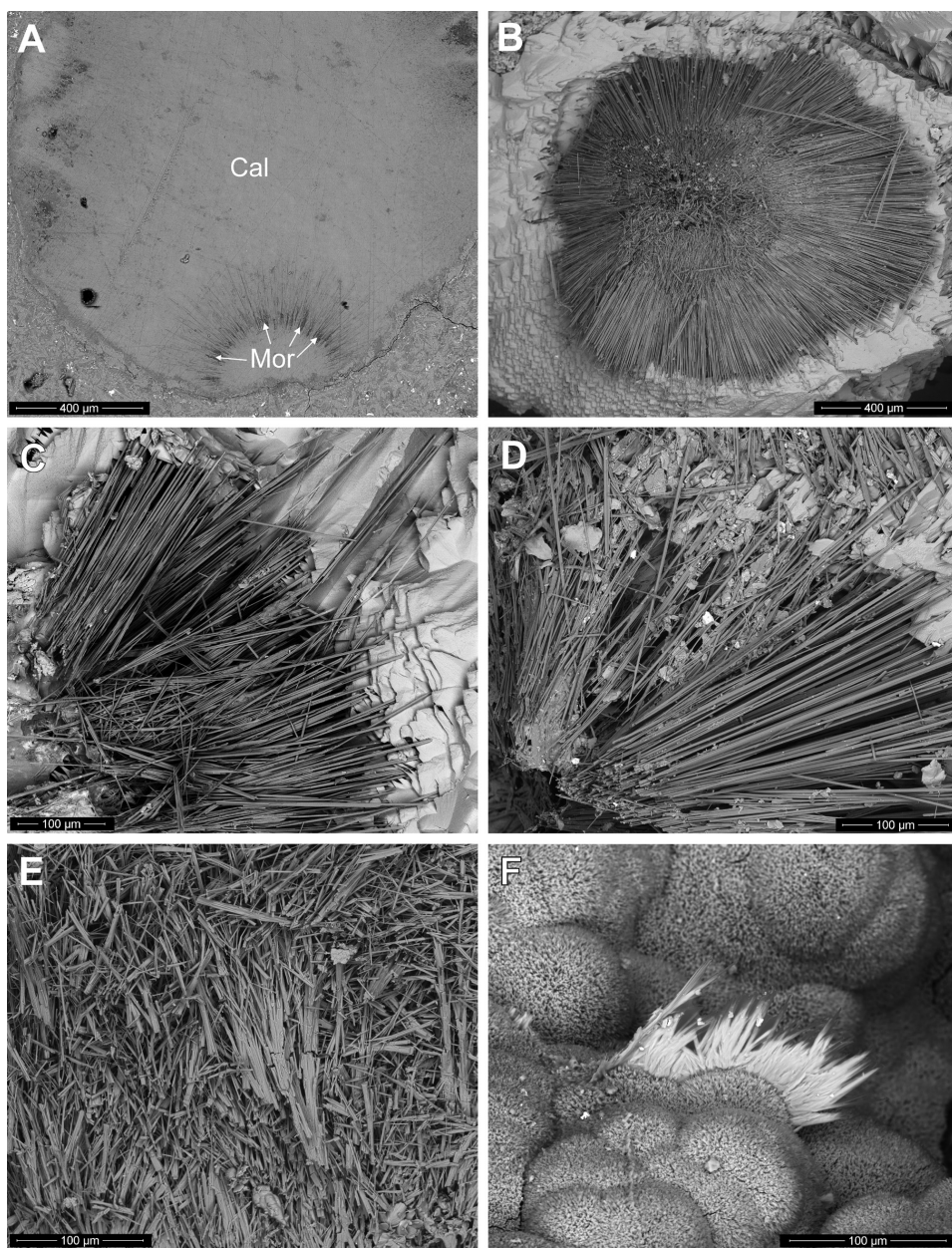
## CHARAKTERISTIKA MINERALIZACE

V horninách těšinitové asociace se dosud podařilo objevit dva výskyty mordenitu. Prvím z nich je lokalita **Straník** u Nového Jičína. Vzorky, ve kterých zde byl mordenit nalezen, pochází ze sběrů prvního z autorů prováděných kolem roku 1985, kdy přibližně v oblasti GPS souřadnic N 49° 33,130' E 017° 59,330' probíhala úprava lesní cesty a byl v zářezu odkryt materiál skalního podloží. Nejbližší okolí lokality obsahuje řadu petrograficky různorodých těles hornin těšinitové asociace, včetně nálezů dokládajících výlevný charakter alespoň některých z nich (tufy, tufity, polštářové lávy).

Mordenit byl na lokalitě identifikován v úlomcích hydrotermálních křemen-karbonátových žilných výplní se složitou stavbou. Jednalo se o úlomky žil se zapracovanými klasy okolního vulkanitu o celkové mocnosti až ca. 25–30 cm. Hornina v okolí odpovídala jemnozrnným silně karbonatizovaným, občas i silicifikovaným bazaltoidům, které bývají v oblasti Podbeskydí běžně a tradičně označovány jako monchiquit. Nicméně se na lokalitě jedná nepochybně o subkvatický výlevný vulkanit. Střední část úlomků žilných výplní je tvořena mikrokrytalickou křemennou hmotou typu chalcedonu až achátu, následuje hrubozrnný kalcit. Mordenit byl zjištěn až po odleptání na samém okraji žil, kde vytváří zónu hustě nahlučených jehlicovitých krystalů (obr. 2E), zarostlých v kalcitu o mocnosti ca. 2–3 mm. Po odleptání má vzhled vaty, je bílý až slabě nazelenalý (obr. 3).

Druhou lokalitou s výskytem mordenitu jsou **Fryčovice**, kde se výchozy vyvěřelin nachází na obou březích a v korytě řeky Ondřejnice, mezi GPS souřadnicemi N 49° 40,810' E 018° 13,727' a N 49° 40,738' E 018° 13,710'. KLVAŇA (1897) ani PACÁK (1926) tuto lokalitu ve svých přehledných dílech neuvádějí, z okolí obce popisují jen alterované olivínem bohaté pikritické horniny, a to ze sz. okolí obce v prostoru vrchu Sovinec (353,8 m n. m.). První a dosud také jediná publikovaná zmínka o zdejší lokalitě pochází z práce MATĚJKY a ROTHY (1953), kteří na nespecifikované lokalitě v obci (u obce) našli ve vyvěřelinách polštářové lávy. V nepublikované rigorózní práci ŠMÍD (1978) do těsné blízkosti koryta potoka umístil 4 dokumentační body v drobných izolovaných tělesech vyvěřelin, které označil jako olivínický monchiquit, pikritový mandlovec, biotiticko-těšinitický fourchit a těšinitický pyroxenit. Tento autor uvádí (včetně fotografie) i výchoz polštářových láv v zářezu cesty severozápadně od kostela. Ten dnes již neexistuje.

Revizní výzkum autorů tohoto příspěvku v roce 2023 potvrdil přítomnost alterovaných vyvěřelin v korytě vodoteče, výchozy v jeho březích byly z větší části zničeny regulačními pracemi po povodních v roce 1997. Výchozy odkrývají silně alterované mandlovec, které mají minimálně v části lokality jednoznačně stavbu polštářových láv. Většina mandlí je vyplněna bílým kalcitem, místy jsou na okrajích mandlí patrné růžové až světle červené zóny, které obsahují mikroskopické agregáty jehlicovitého mordenitu. Všechny horniny z lokality jsou velmi silně alterované, měkké a rozpadavé.



Obr. 2. Mordenit zobrazený pomocí zpětně odražených elektronů (BSE). A - výplň mandlovcové dutiny s radiálním agregátem mordenitu (Mor) v kalcitu (Cal), B-E - jehlicovité agregáty částečně vyleptané z kalcitu, F - jehlice „mordenitu“ na jílovém minerálu vyleptané z kalcitu. A-D Fryčovice, E - Straník, F - Choryně. Foto D. Matýšek, 2023.

Fig. 2. Mordenite depicted by the back-scattered electrons (BSE). A - radial mordenite (Mor) in calcite (Cal) filling the amygdaloid cavity, B-E - acicular aggregates partly etched from calcite, F - etched acicular "mordenite" on clay mineral. A-D Fryčovice, E - Straník, F - Choryně. Photo D. Matýšek, 2023.

Mikroskopicky se oba výskyty mordenitu příliš neliší. Minerál vytváří agregáty velmi tenkých jehlic (průměr kolem ca. 1  $\mu\text{m}$ , max. 2,5  $\mu\text{m}$ ), které jsou v detailu uspořádány obvykle radiálně (obr. 2A, B, D) a nasedají na stěny mandlí (obr. 2A-D, F, 4) nebo puklin (obr. 2E). Mordenit na lokalitě Straník je doprovázen listkovitými agregáty minerálu ze skupiny slíd a lokálně je slabě impregnován křemenem. Na lokalitě Fryčovice byly kromě mordenitu zjištěny i chlorit, slídový minerál, albit, dolomit, pyrit a analcim. Část mandlovců (bez patrných růžových lemů) obsahuje pouze albit v podobě novotvořených agregátů jehlicovitých, kostrovitě vyvinutých krystalů s délkou do 25  $\mu\text{m}$ , které bývají pokryté tenkým lemem draselného živce. Je možné říci, že popisovaná hornina z lokality Fryčovice neodpovídá pikritům ani olivinickým lamprofyřům. V nábrusech totiž vůbec nebyly zjištěny pseudomorfózy po olivínu ani Cr-bohaté minerály oxyspinelové skupiny. Nejspíše se tedy jedná o velmi silně alterovanou bazaltoidní horninu.

Práškové RTG difrakční analýzy byly prováděny na ručně separovaném materiálu po částečném odstranění kalcitu odleptáním v roztoku kyseliny octové. Získaná difrakční data velmi dobře odpovídají datům pro mordenit. Rietveldova analýza ukázala, že model defektní struktury podle SIMONCICOVÉ a ARMBRUSTERA (2004) poskytuje věrohodnější výsledky (nižší hodnoty chybových parametrů) než strukturní data pro grupu *Cmcm* podle MARTUCCIOVÉ *et al.* (2003). Výsledky výpočtu mřížkových parametrů jsou uvedeny v tab. 1. Relativně velká chyba u vzorku z lokality Fryčovice je způsobena vysokým podílem kalcitu ve vzorku.



Obr. 3. Bílý agregát jehlicovitého mordenitu z lokality Straník částečně vyleptaný z kalcitu. Foto J. Jirásek, 2024.  
Fig. 3. White aggregate of acicular mordenite from Straník, partially etched from calcite. Photo J. Jirásek, 2023.



Obr. 4. Bílý až narůžovělý agregát jehlicovitého mordenitu z lokality Fryčovice na okraji mandlovcové dutiny, částečně vyleptaný z kalcitu. Foto J. Jirásek, 2024.

Fig. 4. White to pinkish aggregate of acicular mordenite from Fryčovice at the edge of the amygdaloid cavity, partially etched from calcite. Photo J. Jirásek, 2023.

Tabulka 1. Mřížkové parametry mordenitu a jejich srovnání s publikovanými daty. Poznámka: \* použit vstupní strukturální model SIMONCICOVÉ a ARMBRUSTERA (2004), \*\* použit vstupní strukturální model MARTUCCIOVÉ *et al.* (2003).

Table 1. Unit-cell parameters of mordenite and their comparison with the published ones. Note: \* used structure according to SIMONCIC and ARMBRUSTER (2004), \*\* used structure according to MARTUCCI *et al.* (2003).

vzorek	zdroj	soustava, grupa	a (Å)	b (Å)	c (Å)
natural m. $K_{2,80}Na_{1,49}Ca_{2,06}Sr_{0,05}Mg_{0,04}$	ALBERTI <i>et al.</i> (1986)	ort., <i>Cmc2<sub>1</sub></i>	18,094(1)	20,516(1)	7,524(1)
natural m. $Na_{3,51}K_{0,14}Ca_{1,89}Mg_{0,09}Sr_{0,01}$	MARTUCCI <i>et al.</i> (2003)	ort., <i>Cmcm</i>	18,120(1)	20,494(1)	7,531(1)
natural m. $K_{2,99}Ca_{1,85}Na_{1,06}$	SIMONCIC a ARMBRUSTER (2004)	ort., <i>Cmc2<sub>1</sub></i>	18,096(4)	20,473(4)	7,515(2)
synthetic Na-m.	SIMONCIC a ARMBRUSTER (2004)	ort., <i>Cmc2<sub>1</sub></i>	18,131(2)	20,507(2)	7,5221(5)
Fryčovice	tato práce	ort., <i>Cmc2<sub>1</sub></i>	18,121(1)	20,474(2)	7,5213(8)
Straník*	tato práce	ort., <i>Cmc2<sub>1</sub></i>	18,1265(3)	20,4527(3)	7,5185(2)
Straník**	tato práce	ort., <i>Cmcm</i>	18,1264(4)	20,4528(4)	7,5188(3)

Vzhledem k velmi malé šířce mordenitových jehlic bylo bodové mikrochemické složení z lokality Straník měřeno jak na leštěném nábrusu, tak na vyseparovaných jehlicích po částečném odleptání kalcitu kyselinou octovou. V případě ještě drobnějších jehlic z lokality Fryčovice byly měřeny pouze vyleptané a vyseparované jehlice. Množství vody ve vzorové jednotce nebylo zjišťováno nezávislými metodami, ale dopočteno na základě poměru  $(\text{Si}+\text{Al})/\text{H}_2\text{O}$  v ideálním, vzorci.

Empirický vzorec neleptaného mordenitu z lokality Straník je  $\text{Na}_{1,04}\text{Ca}_{1,43}\text{K}_{0,85}\text{Ba}_{0,07}(\text{Al}_{8,18}\text{Si}_{39,90})\text{O}_{96,00} \cdot 27,96 \text{H}_2\text{O}$  (tab. 2), v případě leptaného vzorku je to  $\text{Na}_{2,64}\text{Ca}_{1,00}\text{K}_{0,35}\text{Ba}_{0,06}(\text{Al}_{8,43}\text{Si}_{39,87})\text{O}_{96,00} \cdot 27,83 \text{H}_2\text{O}$  (tab. 3). Je evidentní, že leptání mělo výrazný vliv na obsah kanálových a dutinových kationtů. Není ale možné jednoznačně prohlásit neleptané výsledky za kvalitnější, protože vyšší obsah Ca v nich může souviset také s tím, že do analýzy se v objemu materiálu měřeném elektronovým svazkem přibírá i část vápničku z kalcitu, obklopujícího velmi tenké jehlice mordenitu. Neleptané vzorky však výrazně lépe odpovídají známému vzorci minerálu, ve kterém obecně dominuje sodík nad vápníkem a dalšími kationty. V obou případech vychází index  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0,83$ , takže je patrné, že leptání nemělo žádný vliv na alumosilikátovou kostru mordenitu. Tato hodnota je v dobrém

Tabulka 2. Chemické složení neleptaného mordenitu ze Straníku (hm. %) a přepočítání koeficientů empirického vzorce na 96 atomů kyslíku. \* Obsah vody byl dopočten na základě poměru  $(\text{Si}+\text{Al})/\text{H}_2\text{O}$  z teoretického vzorce.

Table 2. Chemical composition of non-etched mordenite from Straník (wt.%) and calculation of its empirical formula coefficients based on the 96 oxygens. \* Water content is calculated based on the  $(\text{Si}+\text{Al})/\text{H}_2\text{O}$  ratio in the theoretical formula.

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Na <sub>2</sub> O	0,86	0,72	0,74	0,68	0,66	0,55	1,09	1,10	1,02	1,15	0,93
K <sub>2</sub> O	1,07	1,30	1,23	1,24	1,35	1,25	0,90	0,93	0,88	0,85	0,78
CaO	4,28	5,77	4,29	4,43	4,01	4,45	4,04	3,86	4,01	3,87	4,05
BaO	0,56	0,59	0,63	0,59	0,61	0,55	0,53	0,66	0,57	0,43	0,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,14	10,67	11,17	11,18	11,19	11,10	11,17	11,21	11,31	11,26	11,16
SiO <sub>2</sub>	64,07	61,58	64,78	64,47	64,09	64,28	64,00	64,23	64,58	64,33	64,38
H <sub>2</sub> O*	25,87	24,85	26,12	26,02	25,89	25,92	25,85	25,94	26,09	25,99	25,98
total	107,86	105,48	108,96	108,61	107,80	108,10	107,58	107,93	108,46	107,88	107,76
Na <sup>+</sup>	1,043	0,894	0,885	0,816	0,798	0,663	1,318	1,327	1,223	1,385	1,121
K <sup>+</sup>	0,851	1,062	0,968	0,979	1,074	0,991	0,716	0,738	0,694	0,674	0,619
Ca <sup>2+</sup>	2,854	3,958	2,835	2,937	2,678	2,963	2,700	2,573	2,657	2,576	2,698
Ba <sup>2+</sup>	0,138	0,148	0,152	0,143	0,149	0,134	0,130	0,161	0,138	0,105	0,117
Σ	4,886	6,061	4,840	4,875	4,699	4,750	4,864	4,798	4,713	4,739	4,554
Al <sup>3+</sup>	8,177	8,050	8,119	8,154	8,221	8,129	8,211	8,218	8,244	8,244	8,177
Si <sup>4+</sup>	39,898	39,421	39,954	39,896	39,953	39,942	39,918	39,953	39,940	39,962	40,025
Σ	48,075	47,471	48,073	48,050	48,174	48,071	48,130	48,172	48,184	48,206	48,202
H <sub>2</sub> O	27,956	28,312	27,957	27,971	27,899	27,959	27,925	27,900	27,893	27,880	27,883
T <sub>Si</sub>	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83



souladu s publikovaným poměrem 0,80–0,86 pro zkoumaný minerál (COOMBS *et al.* 1997). Obsahy dalších prvků (Mg, Sr, Fe) byly vždy pod mezí detekce přístroje.

Z lokality Fryčovice byl získán empirický vzorec pouze pro leptané mordenitové jehlice, protože jde o krystaly o menší tloušťce než z předchozí lokality. Jeho zápis je možné uvádět v podobě  $\text{Na}_{1,13}\text{Ca}_{1,75}\text{K}_{1,06}\text{Mg}_{0,04}(\text{Al}_{13,15}\text{Si}_{35,76})\text{O}_{96,00} \cdot 27,47 \text{H}_2\text{O}$  (tab. 4). Stejně jako v předchozím případě lze předpokládat, že nízká kvalita vzorku (tenké jehlice, po leptání kyselinou, neleštěný povrch), navíc v kombinaci s menším množstvím měřených bodů, se odráží ve snížené vypovídací hodnotě výsledného vzorce. Svědčí o tom i index  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0,73$ , který vyšel mimo běžný rozsah pro tuto minerální fázi. Nepředpokládáme tedy, že jde o dosud nepopsaný Ca-dominantní mordenit, ale že jde spíše o vliv analytického postupu.

Další z možných lokalit mordenitu v horninách těšinitové asociace je Choryně. V leptaných dutinách se podařilo zdokumentovat minerál (obr. 2F), který morfologicky i orientačním chemickým složením odpovídá mordenitu. Vzhledem k nedostatku materiálu se zatím nepodařila ověřit jeho struktura, a jeho totožnost s mordenitem zůstává sporná.

Tabulka 3. Chemické složení leptaného mordenitu ze Straníku (hm. %) a přepočítání koeficientů empirického vzorce na 96 atomů kyslíku. \* Obsah vody byl doložen na základě poměru  $(\text{Si}+\text{Al})/\text{H}_2\text{O}$  z teoretického vzorce.

Table 3. Chemical composition of etched mordenite from Straník (wt.%) and calculation of its empirical formula coefficients based on the 96 oxygens. \* Water content is calculated based on the  $(\text{Si}+\text{Al})/\text{H}_2\text{O}$  ratio in the theoretical formula.

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Na <sub>2</sub> O	2,16	5,36	5,11	1,45	0,84	0,91	1,32	1,60	1,45	1,82	1,77
K <sub>2</sub> O	0,44	0,63	0,66	0,49	0,35	0,38	0,37	0,33	0,36	0,41	0,39
CaO	2,94	3,00	2,89	2,94	2,87	2,96	2,95	2,98	2,91	2,93	2,96
BaO	0,50	0,43	0,32	0,43	0,47	0,40	0,61	0,82	0,48	0,54	0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,30	11,52	11,34	10,93	11,06	11,08	11,54	11,59	11,26	11,42	11,21
SiO <sub>2</sub>	62,97	63,11	62,03	63,51	61,44	61,78	64,10	63,93	63,10	63,37	63,37
H <sub>2</sub> O*	25,53	25,64	25,21	25,60	24,92	25,04	26,00	25,95	25,56	25,70	25,64
total	105,83	109,69	107,56	105,35	101,95	102,55	106,89	107,20	105,12	106,19	105,80
Na <sup>+</sup>	2,636	6,413	6,229	1,783	1,066	1,148	1,600	1,939	1,787	2,224	2,169
K <sup>+</sup>	0,352	0,496	0,529	0,396	0,292	0,315	0,295	0,263	0,292	0,330	0,314
Ca <sup>2+</sup>	1,994	1,984	1,947	1,998	2,012	2,063	1,977	1,995	1,982	1,979	2,005
Ba <sup>2+</sup>	0,123	0,104	0,079	0,107	0,120	0,102	0,149	0,201	0,120	0,133	0,114
Σ	5,105	8,997	8,783	4,284	3,490	3,628	4,022	4,398	4,180	4,666	4,602
Al <sup>3+</sup>	8,428	8,379	8,402	8,169	8,528	8,493	8,505	8,536	8,434	8,484	8,351
Si <sup>4+</sup>	39,873	38,945	38,996	40,276	40,198	40,182	40,084	39,950	40,104	39,943	40,056
Σ	48,302	47,324	47,398	48,445	48,727	48,675	48,589	48,486	48,538	48,426	48,408
H <sub>2</sub> O	27,828	28,400	28,355	27,743	27,583	27,612	27,660	27,720	27,689	27,753	27,764
T <sub>Si</sub>	0,83	0,82	0,82	0,83	0,82	0,83	0,82	0,82	0,83	0,82	0,83

Tabulka 4. Chemické složení leptaného mordenitu z Fryčovic (hm. %) a přepočítání koeficientů empirického vzorce na 96 atomů kyslíku. \* Obsah vody byl dopočten na základě poměru (Si+Al)/H<sub>2</sub>O z teoretického vzorce.

Table 4. Chemical composition of etched mordenite from Fryčovice (wt.%) and calculation of its empirical formula coefficients based on the 96 oxygens. \* Water content is calculated based on the (Si+Al)/H<sub>2</sub>O ratio in the theoretical formula.

	mean	1	2	3
Na <sub>2</sub> O	0,95	0,94	1,13	0,77
K <sub>2</sub> O	0,89	0,92	0,94	0,82
CaO	5,79	4,62	9,46	3,29
MgO	0,12	0,00	0,00	0,37
BaO	0,06	0,18	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,00	0,00	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,19	11,18	9,70	12,70
SiO <sub>2</sub>	60,75	62,87	55,26	64,14
H <sub>2</sub> O*	20,63	21,33	18,74	21,82
total	100,43	102,04	95,23	104,03
Na <sup>+</sup>	1,128	1,088	1,435	0,860
K <sup>+</sup>	1,058	1,064	1,194	0,915
Ca <sup>2+</sup>	3,056	2,673	6,008	1,836
Mg <sup>2+</sup>	0,069	0,000	0,000	0,207
Ba <sup>2+</sup>	0,035	0,104	0,000	0,000
Σ	5,795	4,929	8,638	3,818
Fe <sup>3+</sup>	0,045	0,000	0,000	0,136
Al <sup>3+</sup>	13,145	12,936	12,322	14,177
Si <sup>4+</sup>	35,756	36,372	35,097	35,800
Σ	48,947	49,307	47,419	50,113
H <sub>2</sub> O	27,473	27,258	28,343	26,819
T <sub>Si</sub>	0,73	0,74	0,74	0,72

## ZÁVĚR

V horninách těšinitové asociace v Podbeskydích se podařilo prokázat dva výskyty mordenitu, který zde dosud nebyl popsán. V obou případech jde o minerál krystalizující do dutin výlevných vulkanitů, doprovázený mladším kalcitem. Světové výskyty mordenitu dokládají velmi nízkou teplotu vzniku tohoto minerálu, menší než 160 °C (např. IJIMA a UTADA 1972; BARGAR a BEESON 1984; NOH a BOLES 1989). Není však jasné, zda k mineralizaci horninových dutin došlo v závěru procesu vzniku uvedených hornin ze zbytkových roztoků a magmatického tepla, nebo jde o alterační produkty spojené s metamorfózou oceánského dna, případně s pohřbením a cirkulací hydrotermálních roztoků v rámci násunů flyšových Karpat.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato studie byla podpořena grantovým projektem GA ČR 21-30043S Paragenese a vmístění hlubokomořských alkalických bazaltoidů: případ svrchnokřídového magmatismu severní Tethydy. Rádi bychom poděkovali oběma recenzentům, P. Paulišovi a J. Tomanovi, za připomínky vedoucí ke zvýšení kvality rukopisu.

## LITERATURA

- ALBERTI, A., DAVOLI, P., VEZZALINI, G., 1986: The crystal structure refinement of a natural mordenite. - *Zeitschrift für Kristallographie*, 175, 1-4, 249-256.
- BARGAR, K. E., BEESON, M. H., 1984: Hydrothermal alteration in research drill hole Y-6, Upper Fire Hole River, Yellowstone National Park, Wyoming. - U.S. Geological Survey Professional Paper 1054-B, 1-24.
- BRUNARSKA, I., ANCKIEWICZ, R., 2019: Geochronology and Sr-Nd-Hf isotope constraints on the petrogenesis of teschenites from the type-locality in the Outer Western Carpathians. - *Geologica Carpathica*, 70, 3, 222-240.
- COOMBS, D. S., ALBERTI, A., ARMBRUSTER, T., ARTIOLI, G., COLELLA, C., GALLI, E., GRICE, J. D., LIEBAU, F., MANDARINO, J. A., MINATO, H., NICKEL, E. H., PASSAGLIA, E., PEACOR, D. R., QUARTIERI, S., RINALDI, R., ROSS, M., SHEPPARD, R. A., TILLMANN, E., VEZZALINI, G., 1997: Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the Subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. - *The Canadian Mineralogist*, 35, 6, 1571-1606.
- DEER, A., HOWIE, R., WISE, W. S., ZUSSMAN, J., 2004: *Rock Forming Minerals*. vol. 4B. Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites. - The Geological Society, London.
- DOLNÍČEK, Z., URUBEK, T., KROPÁČ, K., 2010: Post-magmatic hydrothermal mineralization associated with Cretaceous picrate (Outer Western Carpathians, Czech Republic): interaction between host rock and externally derived fluid. - *Geologica Carpathica*, 61, 4, 327-339.
- DOSTAL, J., OWEN, J. V., 1998: Cretaceous alkaline lamprophyres from northeastern Czech Republic: geochemistry and petrogenesis. - *Geologische Rundschau*, 87, 1, 67-77.
- ELIÁŠ, M., SKUPIEN, P., VAŠIČEK, Z., 2003: Návrh úpravy litostratigrafického členění nižší části slezské jednotky na českém území (vnější Západní Karpaty). - *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské, řada hornicko-geologická*, 49, 8, 7-13.
- GLOCKER, E. F., 1852: Über einige Erscheinungen an Kalkspathformen: III. Kalkspath von Jannowitz bei Alt-Titschein in Mähren. - *Verhandlungen der kaiserlichen leopoldisch-carolinischen Akademie der Naturforscher*, 15, 2, 804-811.
- HOW, D. C. L., 1864: On mordenite, a new mineral from the trap of Nova Scotia. - *Journal of the Chemical Society*, 17, 100-104.
- IJIMA, A., UTADA, M., 1972: A critical review on the occurrence of zeolites in sedimentary rocks in Japan. - *Japanese Journal of Geology and Geography*, 42, 61-83.
- IZA-SC, 2022: Database of zeolite structures. Structure Commission of the International Zeolite Association, dostupné z <http://www.iza-structure.org/databases/>
- KOLENATI, F. A., 1854: *Die Mineralien Mährens und österreichisch Schlesiens, deren Fundorte und ökonomisch-technische Verwendung*. - Verlag von Buschak & Irrhang, Brno, 123 pp.
- KLVAŇA, J., 1897: Tešenity a pikrity na severovýchodní Moravě. - *Rozpravy České akademie pro vědy, slovesnost a umění v Praze, třída II*, 6, 23, 1-93.
- KROPÁČ, K., DOLNÍČEK, Z., UHER, P., BURIÁNEK, D., SAFAI, A., URUBEK, T., 2020: Zirconian-niobian titanite and associated Zr, Nb, REE-rich accessory minerals: Products of hydrothermal overprint of leucocratic teschenites (Silesian Unit, Outer Western Carpathians, Czech Republic). - *Geologica Carpathica*, 71, 4, 343-360.
- KUDĚLÁSKOVÁ, M., KUDĚLÁSEK, V., MATÝSEK, D., 1990: Zeolity v pikritech těšinitové asociace na lokalitě Hončova hůrka u Příbora (severní Morava). - *Časopis pro mineralogii a geologii*, 35, 3, 317-321.
- LUCIŇSKA-ANCKIEWICZ, A., VILLA, I. M., ANCKIEWICZ, R., SLACZKA, A., 2002:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of alkaline lamprophyres from the Polish Western Carpathians. - *Geologica Carpathica*, 53, 1, 45-52.
- MARTUCCI, A., SACERDOTI, M., CRUCIANI, G., DALCONI, C., 2003: In situ time resolved synchrotron powder diffraction study of mordenite. - *European Journal of Mineralogy*, 15, 3, 485-493.
- MATEJKA, A., ROTH, Z., 1953: Zpráva o geologickém mapování v širším okolí Staříče a Brušperka. - *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1952*, 57-61.
- MATÝSEK, D., 1988: Kontaktní metamorfismus hornin těšinitové asociace. - *Časopis Slezského muzea, série A*, 37, 2, 77-86.

- MATÝSEK, D., JIRÁSEK, J., 2016: Occurrences of slawsonite in rocks of the Teschenite Association in the Podbeskydí Piedmont area (Czech Republic) and their petrographical significance. - *The Canadian Mineralogist*, 54, 5, 1129–1146.
- MATÝSEK, D., JIRÁSEK, J., SKUPIEN, P., THOMSON, S. N., 2018: The Žermanice sill: new insights into the mineralogy, petrology, age, and origin of the teschenite association rocks in the Western Carpathians, Czech Republic. - *International Journal of Earth Sciences*, 107, 7, 2553–2574.
- MENCÍK, E., ADAMOVÁ, M., DVOŘÁK, J., DUDEK, A., JETEL, J., JURKOVÁ, A., HANZLÍKOVÁ, E., HOUŠA, V., PESLOVÁ, H., RYBÁŘOVÁ, L., ŠMÍD, B., ŠEBESTA, J., TYRÁČEK, J., VAŠÍČEK, Z., 1983: *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. - Academia, Praha, 307 p.
- MÖHL, H., 1875: Mikromineralogische Mittheilunge: II. Fortsetzung. - *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie*, 690–724.
- NOH, J. H., BOLES, J. R., 1989: Diagenetic alteration of perlite in the Guryongpo Area, Republic of Korea. - *Clays and Clay Minerals*, 37, 1, 47–58.
- PACÁK, O., 1926: Sopečné horniny na severním úpatí Beskyd moravských. - *Česká akademie věd a umění, Praha*, 232 p.
- PASSAGLIA, E., 1975: The crystal chemistry of mordenites. - *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 50, 1, 65–77.
- PASSAGLIA, E., SHEPPARD, R. A., 2001: The crystal chemistry of zeolites. - *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 45, 1, 69–116.
- PICHA, F. J., STRÁNÍK, Z., KREJČÍ, O., 2006: Geology and hydrocarbon resources of the Outer Western Carpathians and their foreland, Czech Republic. - In: Golonka, J., Picha, J. (Eds.), *The Carpathians and their foreland: geology and hydrocarbon resources*, 49–175. - AAPG Memoir 84, Tulsa.
- ROHRBACH, C. E. M., 1885: Ueber die Eruptivgesteine im Gebiete der schlesisch-mährischen Kreideformation. - *Mineralogische und petrographische Mittheilungen*, 7, 1, 1–63.
- RUSEK P., VALOŠEK Č., 1968: Hončova hůrka u Příbora - zajímavá mineralogická lokalita Pobeskydí. *Přírodovědný sborník*, 24, 79–88.
- SIMONCIC, P., ARMBRUSTER, T., 2004: Peculiarity and defect structure of the natural and synthetic zeolite mordenite: A single-crystal X-ray study. - *American Mineralogist*, 89, 2, 421–431.
- SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K., 2008: The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system - correlation and evolution of tectonic units. - *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 1, 139–183.
- SMULIKOWSKI, K., 1929a: Materiały do znajomości skał magmowych Śląska Cieszyńskiego. - *Archiwum Towarzystwa naukowego we Lwowie, Wydział III matematyczno-przyrodniczy*, 5, 1–122.
- SMULIKOWSKI, K., 1929b: Les roches éruptives de la zone sub-beskidique en Silésie et Moravie. - *Kosmos A54*, 749–850.
- SZOPA, K., WŁODYKA, R., CHEW, D., 2014: LA-ICP-MS U-Pb apatite dating of Lower Cretaceous rocks from teschenite-picrite association in the Silesian Unit (southern Poland). - *Geologica Carpathica*, 65, 4, 273–284.
- ŠMÍD, B., 1978: Výzkum vyvřelých hornin těšinitové asociace. - MS, Ústřední ústav geologický, Praha, 153 p.
- TSCHERMAK, G., 1860: Über secundäre Mineralbildungen in dem Grünsteingebirge bei Neutitschein. - *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 40, 8, 113–147.
- TSCHERMAK, G., 1866: Felsarten von ungewöhnlicher Zusammensetzung in den Umgebungen von Teschen und Neutitschein. - *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 53, 260–286.
- WŁODYKA, R., 2010: Ewolucja składu mineralnego skał cieszyńskiej prowincji magmowej. - *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice*, 232 p.