

Chemické složení amfibolů v polétavém prachu z vybraných lokalit Brněnska

Chemical composition of amphiboles in airborne dust from a selected localities of the Brno region

David Buriánek^{1,2} ✉, Jiří Svatuška²

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00 Brno, Česká republika

² Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika

Key words:

Czech Republic, South Moravia, Brno, Rosice, Rajhradice, dust, airborne fibres, source rocks, chemical properties of amphibole

✉ david.burianek@geology.cz

Editor:

Zdeněk Losos

Abstract

This study aimed to characterise the morphological and chemical properties of amphiboles from airborne dust samples collected from three localities in Brno and its surroundings. We analysed approximately 3 g of airborne dust particles from each sample. The mineralogical and morphological characteristics of the dust particles were examined by polarised-light microscopy and electron microprobe analysis. All studied airborne dust inorganic particles with length $\geq 5 \mu\text{m}$ show a ratio $\leq 3 : 1$ or diameter of $> 3 \mu\text{m}$ and therefore do not be potentially dangerous to human health. We compared the chemical analyses of airborne needle-like dust particles (tremolite-actinolite, magnesiohornblende, pargasite; $\text{Si} = 6.32\text{--}7.90$ apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) = 0.34\text{--}0.84$) with existing chemical composition amphiboles from possible source areas. The amphibole in airborne dust from the locality in the centre of the Brno town is completely dominated by actinolite and magnesiohornblende ($\text{Si} = 6.48\text{--}7.56$ apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) = 0.50\text{--}0.80$) derived from basic and ultrabasic rocks of the Central Basic Belt of the Brno Massif. The granitoids of the Brno massif can be also a significant source of dust particles. Anthropogenic activity can explain a substantial proportion of amphibole from a relatively small body of amphibolites near Želešice (quarry in the Central Basic Belt of the Brno Massif) because these rocks are widely used as sanding material in the entire Brno agglomeration. The second locality of Rosice (west of Brno) is dominated by amphiboles ($\text{Si} = 6.51\text{--}7.90$ apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) = 0.55\text{--}0.84$) from the west and northwest metamorphic units (Moravian and Moldanubicum). However, amphiboles from the rocks of the Brno massif are also presented. Amphiboles in the airborne dust from the Rajhradice (locality situated S from Brno) predominantly originated from the rocks of the Central Basic Belt of the Brno Massif ($\text{Si} = 6.85\text{--}7.63$ apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) = 0.50\text{--}0.78$). Calcareous microfossils suggest that an essential component of the dust is also the material transported from the southeast, where dominated sediments of the Carpathian Flysch units and their foreland. Our results validate amphiboles as valuable minerals for identifying source areas from which dust has been derived and confirm dominant wind flows in the SE and NW directions.

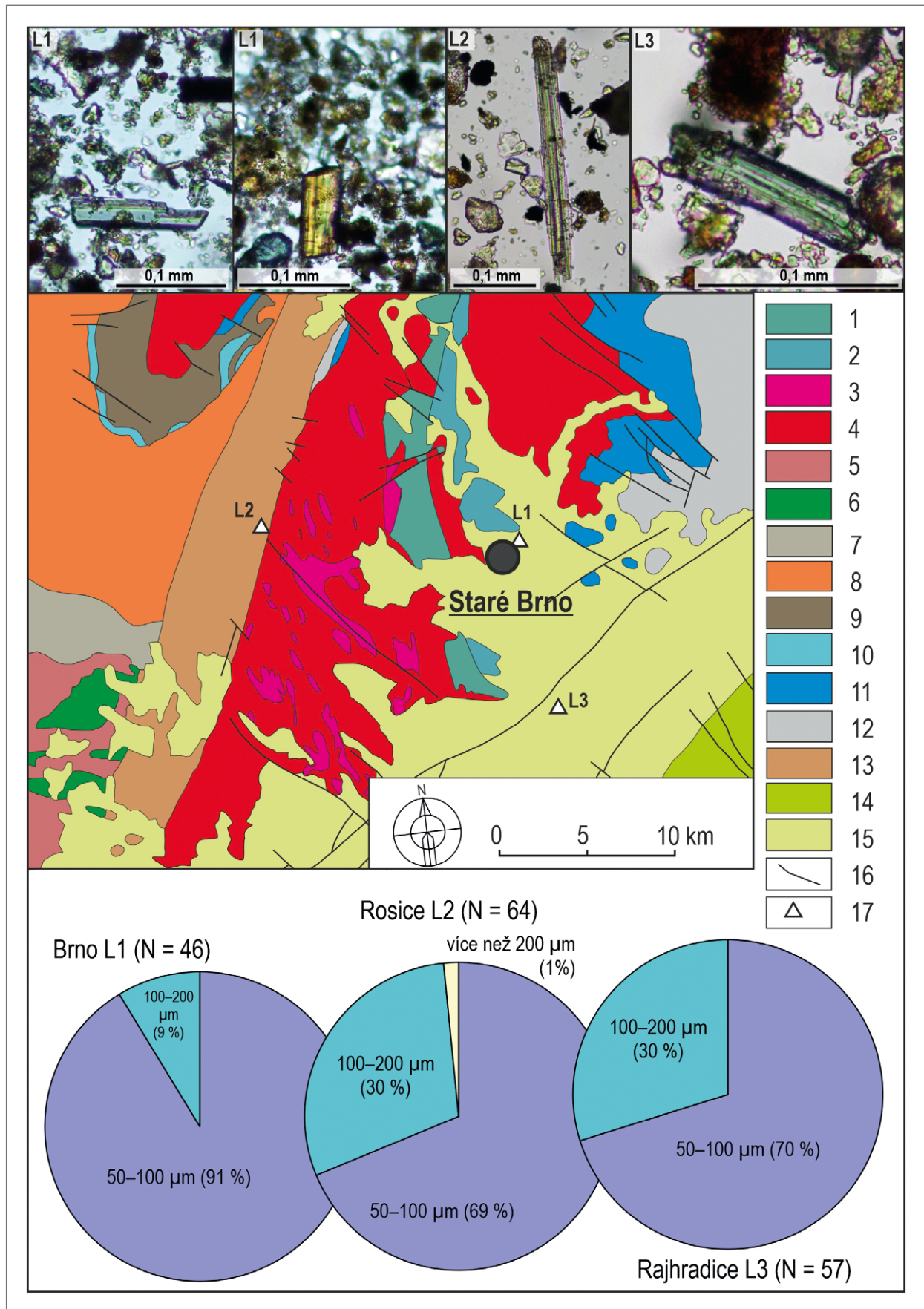
Doporučená citace článku:

Buriánek, D., Svatuška, J. (2022): Chemické složení amfibolů v polétavém prachu z vybraných lokalit Brněnska. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 29, 1–2, 25–35.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2022-20874>

Úvod

V přírodě se vyskytuje řada minerálů ve vláknité formě. Jedná se zejména o amfiboly, hadcové azbesty, zeolity (natrolit nebo clinoptilolit), palygorskite, sillimanit a wollastonit. Všechny tyto minerály se za určitých podmínek (orba, drcení kameniva) mohou dostávat do polétavého prachu. Mezi prachovými částicemi se často vyskytují i další typy vláken, které je nutné od minerálních azbestů odlišit (například vlákna celulózy, vlasy a i umělá minerální vlákna). Polétavý prach je součástí atmosférického aerosolu, což je soubor tuhých a kapalných



Obr. 1. Schematická geologická mapa Brněnského okolí (upraveno podle <https://mapy.geology.cz/geocr500/>) s lokalizací studovaných vzorků a příklady morfologie typických amfibolových zrn. Ve spodní části jsou koláčové diagramy, které zobrazují zastoupení jednotlivých morfologických typů jehlic amfibolů (šířka větší než 3 μm). Legenda: 1–2 centrální bazický pás brněnského masivu (1 – diorit, gabro, ultrabazické horniny a amfibolity, 2 – metavulkanity), 3–4 granitoidy brněnského masivu (3 – diorit až tonalit,



částic o velikosti v rozsahu 1 nm až 100 μm , suspendovaných (tj. vznášejících se) v atmosféře. Vzniká odnosem částic větrem ze zemědělských, stavebních a těžebních ploch. Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem jsou spalovací procesy, hlavně v automobilových motorech a elektrárnách a další vysokoteplotní procesy, jako je tavení rud a kovů nebo svařování (např. Fečko et al. 2003; Holoubek et al. 2005).

V posledních letech se poměrně často diskutuje o vlivu vláknitých respirabilních minerálních částic na kvalitu života v některých částech Jihomoravského kraje. Jako příklad můžeme uvést příspěvky „Kloboučtí řeší azbestová vlákna v ovzduší“ otištěný 29. srpna 2013 v Deníku, (<https://www.denik.cz>); nebo „Zrádný azbest z lomů. Experty překvapila rakovinotvorná vlákna v ulicích Brna“ otištěný 9. září 2018 v Lidových novinách (<https://www.lidovky.cz>). Takové mediální kampaně mají za cíl šokovat veřejnost, nejsou však podloženy seriózními daty, která by bylo možno ověřit (viz Buriánek 2014). Azbest je souhrnné označení pro skupinu silikátů, kam patří i jemně vláknité amfiboly (Leake et al. 1997; Hawthorne a Oberti 2007) a chryzotil. Vláknité minerály (azbesty) jsou běžnou součástí našeho životního prostředí. Lidský organizmus se s nimi dokáže bez vedlejších následků vyrovnat, pokud nedojde k masivní a opakované expozici (těžba hadcového azbestu, stavebnictví). Teprve po dlouhodobé expozici (řádově desítky let) se může projevit onemocnění jako je zaprášení plic, tzv. azbestóza (difuzní fibróza plic = zdravá plicní tkáň je nahrazována vazivem) a podstatně závažnější bronchogenní karcinom plic (např. Donaldson et al. 2010). Riziko onemocnění v nepracovním prostředí je velice malé (např. Lajčíková a Hornychová 2010).

V této práci charakterizujeme chemické a mineralogické vlastnosti polétavého prachu z Brna a okolí. Cílem je ověřit přítomnost azbestů a zjistit odkud pochází amfibol, který je nejhojnějším jehlicovitým minerálem v tomto materiálu. Pro studium byl odebrán prach na střeších tří budov v Brně a okolí (obr. 1). Lokality byly zvoleny tak, aby reprezentovaly odlišná prostředí v rámci brněnské aglomerace. Střed města reprezentuje lokalita Leitnerova 22, průmyslovou oblast lokalita Rosice a oblast bez průmyslu lokalita Rajhradice. Důležité je také ověřit, zda se liší chemické složení amfibolů na základě odlišné pozice lokality ať již z hlediska antropogenní aktivity nebo z hlediska geologické situace v okolí odběrového místa. Pomocí optické mikroskopie byla studována morfologie prachových částic. Následně jsme pomocí detailního

výzkumu na elektronové mikrosondě ověřili chemické složení vláknitých a jehlicovitých minerálů.

Metodika

Odběr vzorků proběhl v jarních měsících roku 2021, přičemž vzorky byly odebrány pomocí smetáčku a lopatky. Celková hmotnost studovaných vzorků se pohybovala od 30 do 400 g. První vzorek pochází z budovy Leitnerova 22 (N 49,1903864, E 16,6031275; 400 g), druhý vzorek ze střech domu na Wolkerově ulici v Rosicích (N 49,18210, E 16,39329; 100 g) a třetí ze střechy domu na Hlavní ulici v Rajhradcích (N 49,09210, E 16,62851; 30 g). Vzorek byl poté zbaven makroskopických nečistot organického původu (stébla, listy), homogenizován a opakovaně, po stupních, kvartován. Výsledná hmotnost vzorku byla kolem 10 g. Vzorek L1 znečištěný ptačím trusem byl následovně oxidován peroxidem vodíku (chemický vzorec H_2O_2). Tento proces proběhl v deseti opakovaných cyklech přibližně při teplotě 100 °C. Další dva vzorky byly po odběru pouze vysušeny a zbaveny větších nečistot. Menší část ze všech tří vzorků byla zalita do epoxidu pro zhotovení leštěného preparátu na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity. Zbytek vzorků byl použit pro mikroskopické studium. Prach byl ponořen do vody rozprostřené na podložním sklíčku a prostudován pod mikroskopem Nikon Eclipse ME600. Za těchto podmínek byl zaznamenáván počet jehlicovitých a vláknitých zrn v kvartovaném vzorku o hmotnosti 3 g. Zrna byla rozdělena podle morfologie a podle optických vlastností. Pro vyhodnocení byla použita metodika, která označuje za azbestová vlákna minerály, u nichž je vzhledový poměr $\geq 3 : 1$, délka $\geq 5 \mu\text{m}$ (o průměru menším než $3 \mu\text{m}$). V tomto případě nerozlišujeme mezi azbesty a úlomky amfibolu. Tato metodika však vede k nadhodnocení počtu „neazbestových“ štěpných úlomků ve srovnání s dlouhými, tenkými azbestovými vlákny. Štěpné úlomky jsou méně bioreaktivní nežli azbestoformní vlákna a proto nezvyšují riziko rakoviny (Gamble a Gibbs 2007).

Chemické složení vybraných minerálů bylo analyzováno pomocí elektronové mikrosondy CamecaSX-100 (operátor J. Haifler) na Pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy (Společné pracoviště Ústavu geologických věd PřF MU a České geologické služby). Měření probíhalo ve vlnově disperzním módu za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, průměr elektronového svazku $5 \mu\text{m}$, proud 30 nA, načítací čas 20 sekund. Jako standardu bylo užito (Ka X-ray linie): augit (Si, Mg),

4 – granit až granodiorit), 5–6 moldanubikum (5 – migmatit a ortorula, 6 – serpentinit a amfibolit), 7–10 moravikum (7 – olešnická skupina, 8 – bítešská ortorula a amfibolit, 9 – skupina Bílého potoka, 10 – mramory) 11 – devonské vápence, 12 – kulmské droby a břidlice, 13 – sedimenty boskovické pánve, 14 – prachovce až pískovce karpatského flyšového pásma (paleogén-neogén), 15 – kvarterní sedimenty a neogenní molasa, 16 – zlomy, 17 – studované lokality.

Fig. 1. Schematic geologic map of Brno surroundings (modified according to <https://mapy.geology.cz/geocr500/>) showing studied samples locations and examples of typical morphology of amphibole grains. The pie charts at the bottom show the contribution of individual morphological types of amphibole needles (width greater than $3 \mu\text{m}$). Legend: 1–2 Central Basic Belt of the Brno Massif (1 – diorite, gabbro, ultrabasic rocks and amphibolites, 2 – metavolcanic rocks), 3–4 granitoids of the Brno Massif (3 – diorite to tonalite, 4 – granite to granodiorite), 5–6 Moldanubicum (5 – migmatite and orthogneiss, 6 – serpentinite and amphibolite), 7–10 Moravicum (7 – Olešnice group, 8 – Bíteš orthogneiss and amphibolite, 9 – Bílý potok group, 10 – marbles) 11 – Devonian limestones, 12 – Culmina greywacke and shale, 13 – sedimentary rocks of the Boskovice basin, 14 – siltstones to sandstones Carpathian flysch zone (Paleogene-Neogene), 15 – Quaternary sediments and Neogene molasse, 16 – faults, 17 – studied localities.

Tab. 1. Reprezentativní chemické složení amfibolu (skupina = OH, F, Cl; podskupina Ca) ze vzorků L1 (Brno), L2 (Rosice) a L3 (Rajhradice), hm. % = hmotnostní procenta, apfu = atomů na vzorcovou jednotku (přepočteno na základ 23 kyslíků ve vzorcové jednotce).

Tab. 1. Representative chemical composition of amphibole (group = OH, F, Cl; subgroup Ca) from samples L1 (Brno), L2 (Rosice) and L3 (Rajhradice), wt. % = weight percent, apfu = atoms per formula unit (recalculated on a basis of 23 oxygen atoms in the formula unit).

Vzorek	L1	L2	L3	L1	L2	L2	L3	L2	L2	L2	L2
Druhy	aktinolit			magnezihornblend				magnezihoferhornblend			pargasit
hm. %											
SiO ₂	51,45	55,79	54,43	50,31	44,18	46,52	48,51	45,31	44,80	42,98	44,04
TiO ₂	0,62	0,08	0,08	0,52	0,68	1,05	0,56	0,85	0,93	1,33	0,94
Al ₂ O ₃	3,59	1,42	4,50	8,00	12,12	8,45	6,89	10,46	12,22	10,98	14,18
V ₂ O ₃	0,03	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,09	0,07	0,03	0,07
Cr ₂ O ₃	0,11	0,25	0,02	0,45	0,08	0,00	0,01	0,00	0,12	0,03	0,06
Fe ₂ O ₃	1,47	0,29	0,77	0,00	3,84	2,54	1,47	6,41	6,06	7,51	4,76
FeO	9,26	10,03	8,70	8,27	11,05	15,15	14,79	11,25	9,24	12,27	7,25
MnO	0,27	0,53	0,22	0,21	0,27	0,29	0,37	0,44	0,24	0,40	0,21
NiO	0,03	0,00	0,09	0,07	0,12	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03
ZnO	0,30	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00
MgO	16,27	17,23	16,98	16,24	11,36	10,24	11,37	10,89	11,91	9,46	13,38
CaO	12,18	12,16	12,04	13,27	12,25	12,20	12,76	11,03	11,54	11,40	11,58
Na ₂ O	0,68	0,38	0,57	1,00	1,70	1,08	0,60	1,25	1,35	1,46	2,20
K ₂ O	0,31	0,13	0,11	0,01	0,21	0,65	0,51	0,33	0,45	0,57	0,38
H ₂ O ⁺	1,93	1,96	2,07	2,10	1,82	1,69	1,82	1,78	1,79	1,61	1,81
F	0,33	0,29	0,07	0,00	0,09	0,14	0,17	0,12	0,11	0,17	0,10
Cl	0,01	0,01	0,00	0,03	0,08	0,07	0,03	0,03	0,01	0,02	0,00
O = F, Cl	-0,14	-0,12	-0,03	-0,01	-0,05	-0,07	-0,08	-0,06	-0,05	-0,08	-0,04
Celkem	98,70	100,43	100,64	100,49	99,84	100,07	99,83	100,17	100,80	100,19	100,96
apfu											
Si	7,471	7,883	7,626	7,113	6,506	6,929	7,172	6,665	6,496	6,434	6,316
Al	0,529	0,117	0,374	0,887	1,494	1,071	0,828	1,335	1,504	1,566	1,684
Σ T-pozice	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,067	0,008	0,008	0,056	0,075	0,117	0,063	0,094	0,102	0,150	0,101
Al	0,086	0,120	0,368	0,447	0,610	0,412	0,372	0,478	0,584	0,370	0,713
V	0,004	0,000	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,010	0,008	0,004	0,008
Cr	0,012	0,028	0,002	0,050	0,009	0,000	0,001	0,000	0,014	0,003	0,007
Fe ³⁺	0,161	0,030	0,082	0,000	0,424	0,285	0,164	0,710	0,661	0,845	0,513
Ni	0,004	0,000	0,011	0,008	0,014	0,003	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003
Zn	0,032	0,000	0,000	0,000	0,005	0,006	0,005	0,000	0,000	0,002	0,000
Mn ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,025	0,004	0,014	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	1,111	1,184	0,978	0,977	1,362	1,886	1,829	1,317	1,056	1,511	0,794
Mg	3,523	3,629	3,547	3,424	2,494	2,274	2,507	2,389	2,574	2,111	2,860
Σ C-pozice	5,000	4,999	4,999	4,991	5,000	5,000	4,989	4,998	5,000	4,999	4,999
Mn ²⁺	0,033	0,064	0,026	0,000	0,030	0,022	0,000	0,055	0,029	0,051	0,026
Fe ²⁺	0,013	0,001	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,065	0,026	0,075
Ca	1,895	1,841	1,807	2,000	1,932	1,946	2,000	1,738	1,794	1,829	1,780
Na	0,059	0,095	0,127	0,000	0,038	0,031	0,000	0,141	0,112	0,094	0,119
Σ B-pozice	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,132	0,010	0,027	0,273	0,447	0,280	0,172	0,216	0,266	0,329	0,493
K	0,058	0,023	0,019	0,002	0,039	0,123	0,096	0,061	0,083	0,109	0,070
Σ A-pozice	0,190	0,033	0,046	0,285	0,486	0,403	0,290	0,277	0,349	0,438	0,563
OH	1,846	1,851	1,951	1,994	1,790	1,684	1,788	1,750	1,742	1,614	1,750
F	0,152	0,129	0,032	0,000	0,041	0,064	0,079	0,053	0,052	0,080	0,046
Cl	0,002	0,003	0,000	0,006	0,019	0,017	0,008	0,008	0,002	0,006	0,000
O	0,000	0,017	0,017	0,000	0,150	0,235	0,126	0,189	0,204	0,300	0,203
Σ W-pozice	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	1,999

ortoklas (K), jadeit (Na), chromit (Cr), almandin (Al), andradit (Fe, Ca), rodonit (Mn), TiO (Ti). Krystalochemický vzorec amfibolu byl v souladu s platnou klasifikací

Hawthorn et al. (2012) normalizován metodami Si-Ca-&Li = 15 a Si-Mg&Li = 13. Amfiboly byly přepočteny

programem Microsoft Excel. Reprezentativní chemické složení je uvedeno v tabulce 1.

Jako srovnávací materiál byly odebrány vzorky ze zvětralín, které vznikají na horninách bohatých minerály serpentínové skupiny (RV001, lom Hrubšice; N 49,0947692, E 16,2745800) a na horninách bohatých amfibolem (RV002; odkryv na silnici mezi Dukovany a Mohelnem; N 49,1003139, E 16,1946317), opuštěný lom Bosonohy (N 49,1792689, E 16,5358339), výchoz v městské části Brno-Bystrc (N 49,2302069, E 16,5094889) a lom Želešice (N 49,1270058, E 16,5615189).

Charakteristika studovaných vzorků

Vzorek L1 byl odebrán na střeše budovy České geologické služby, Leitnerova 22 v Brně (obr. 1). Zrnatost většiny částic odpovídá jemnozrnnému prachu až střednězrnnému písku (podle měření v mikroskopu dominují velikosti od 0,004 až 0,53 mm). V materiálu dominují ostrohranná zrna křemene a albitu (Ab_{99-96}). Méně je zastoupen amfibol, draselný živec, lupínky chloritu, biotitu a muskovitu (obr. 2a). Vzácně se vyskytují zrna klinopyroxenu, magnetitu, hematitu, ilmenitu, apatitu, kalcitu a pumpellyitu-(Al). Významná je antropogenní příměs zejména úlomky skla a strusky. Hojně jsou zejména sklovité nebo maghemitové sférolitické částice. Tyto mikrosféry jsou typickými produkty vysokoteplotního spalování uhlí (Fečko et al. 2003). Byly zjištěny i zbytky organického materiálu (např. vlasy, peří, rostlinná pletiva). Většina jehlicovitých zrn má podle měření v mikroskopu velikost 4 až 100 μm jen vzácně se vyskytují zrna do 180 μm (tab. 2).

Vzorek L2 (obr. 1) střecha domu v Rosicích obsahoval velké množství sazí. Zrnatost většiny částic odpovídá střednězrnnému prachu až střednězrnnému písku (většina zrn má podle měření v mikroskopu velikost 0,009 až 0,51 mm). Hojně jsou zastoupená ostrohranná zrna křemene, albitu, dále pak amfibol (obr. 2b), lupínky biotitu, chloritu, a muskovitu. Draselný živec se vyskytuje jako samostatná ostrohranná zrna nebo jako srůsty s plagioklasem. Vzácně se vyskytují i drobné úlomky hornin (chlorit + křemen). Poměrně hojná jsou zrna kalcitu. Bylo zjištěno jedno zrno granátu ($Alm_{76}Prp_{20}Adr_2Sps_2$) a přítomen je také, apatit, titanit, magnetit a ilmenit. Významná je antropogenní příměs zejména sférolitické částice strusky (mikrosféry), nepravidelné úlomky a vlákna tvořená sklem. Hojně jsou organické zbytky (úlomky rostlinných pletiv, zbytky hmyzu). Většina jehlicovitých zrn má podle měření v mikroskopu velikost 9 až 200 μm , nejdelší amfibol měl délku 280 μm (tab. 2).

Vzorek L3 (obr. 1) střecha domu v Rajhradcích. Zrnatost většiny částic odpovídá jemnozrnnému prachu až střednězrnnému písku (většina zrn má podle měření v mikroskopu velikost 0,005 až 0,50 mm). V materiálu dominují ostrohranná zrna křemene, draselného živce a albitu. Méně jsou zastoupeny lupínky biotitu, chloritu a muskovitu (obr. 2c). Poměrně hojná jsou také zrna kalcitu a úlomky vápnitých mikrofosilií (foraminifery, úlomky schráněk brachiopodů). Místy jsou patrně drobné úlomky hornin (aktinolit + albit, draselný živec + plagioklas +

Tab. 2. Rozdělení amfibolů ze studovaných vzorků podle morfologie (všechny jehlice mají průměr > 3 μm), N = počet zrn, % = procentuální zastoupení.

Tab. 2. Distribution of amphiboles from the studied samples according to morphology (all needles have a diameter > 3 μm), N = number of grains, % = percentage.

Vzorek	50–100 μm	100–200 μm	nad 200 μm	celkem
L1 (N)	42	4	0	46
L2 (N)	44	19	1	64
L3 (N)	40	17	0	57
L1 (%)	91,3	8,7	0,0	100
L2 (%)	68,8	29,7	1,6	100
L3 (%)	70,2	29,8	0,0	100

křemen). Vzácně se vyskytují zrna klinopyroxenu, magnetitu, hematitu, titanitu a apatitu. Bylo zjištěno jedno zrno granátu ($Alm_{55}Grs_{25}Adr_6Prp_7Sps_6$). Úlomky antropogenních materiálů, jako struska jsou vzácné. Většina jehlicovitých zrn má podle měření v mikroskopu velikost 5 až 150 μm (tab. 2).

Výsledky studia v optickém mikroskopu

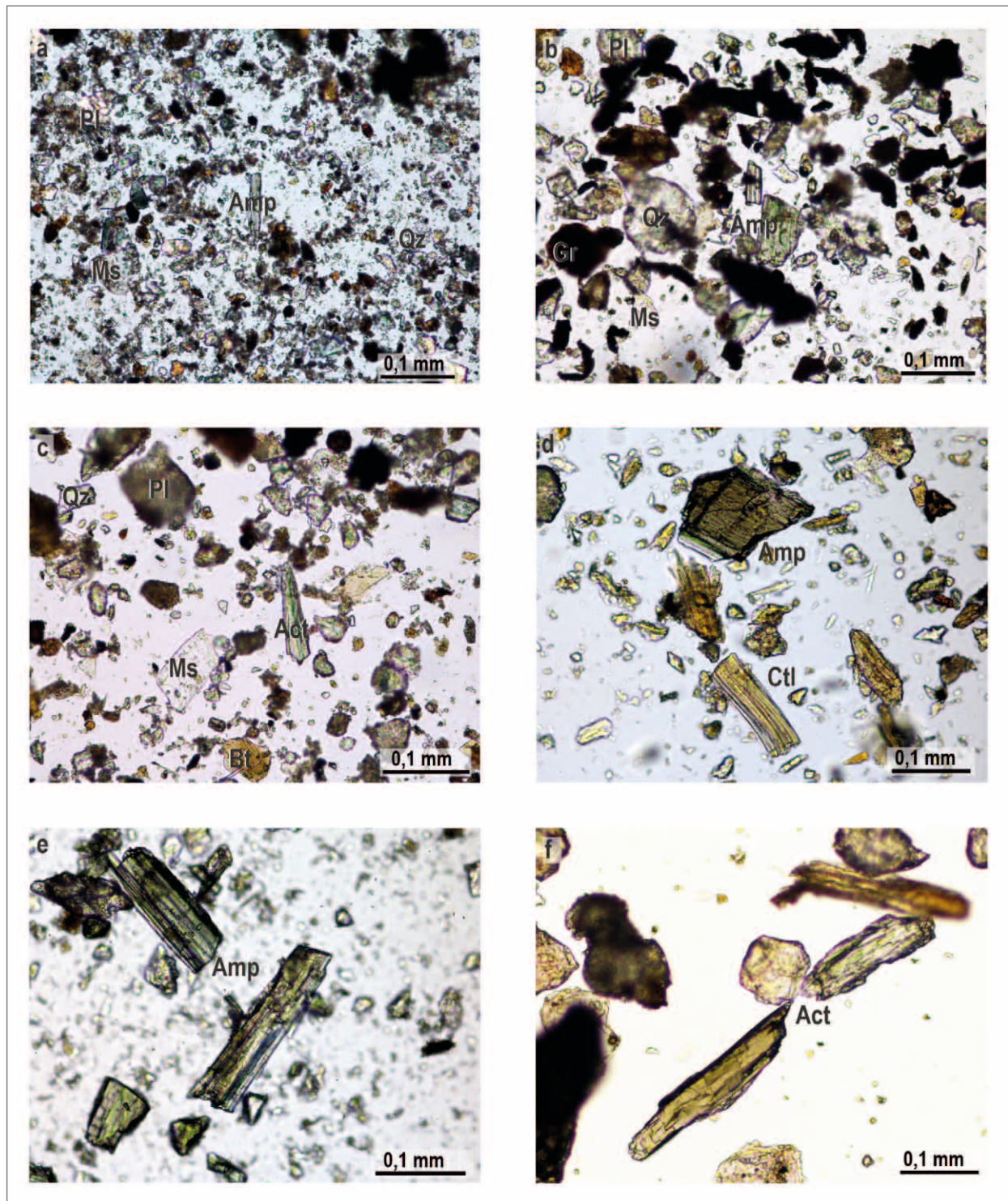
Chryzotil (obr. 2d) nebyl zjištěn v žádném ze tří vzorků studovaných vzorků prachu. Ve vzorcích L1 a L3 dominovaly sloupcovité až krátce jehlicovité amfiboly (obr. 1, 2a, 2c) s nevýrazným pleochroizmem (α = nažloutlá až světle žlutohnědá; γ = světle zelená až světle hnědozelená). Okraje jsou většinou nerovné někdy slabě zaoblené. Tyto amfiboly se podobají materiálům ze srovnávacích vzorků z lokalit Bystrc (obr. 2e), Želešice (obr. 2f) a Bosonohy. Některé amfiboly ze vzorku L2 se podobají svými optickými vlastnostmi amfibolu z dioritů na lokalitě Bystrc a amfibolu z gabra od Mohelna (obr. 2e). Tyto amfiboly jsou krátce sloupcovité s výrazným pleochroizmem (α = žlutá až světle zelená; γ = modrozelená až hnědozelená).

Výsledky studia pomocí elektronové mikrosondy a jejich shoda s možnými zdrojovými horninami

Ve vzorku L1 bylo pořízeno 13 analýz amfibolu ve vzorku L2 15 analýz a ve vzorku L3 pak 9 analýz (obr. 3). Tyto analýzy byly porovnány s chemickým složením amfibolů z předpokládaných zdrojových hornin. Poté byly přiřazeny k nejpravděpodobnější skupině zdrojových hornin (kombinace vzhledu v optickém mikroskopu a chemického složení). Pokud daná analýza náležela více zdrojům, byl zvolen ten, který měl v klasifikačním diagramu menší plošný rozsah.

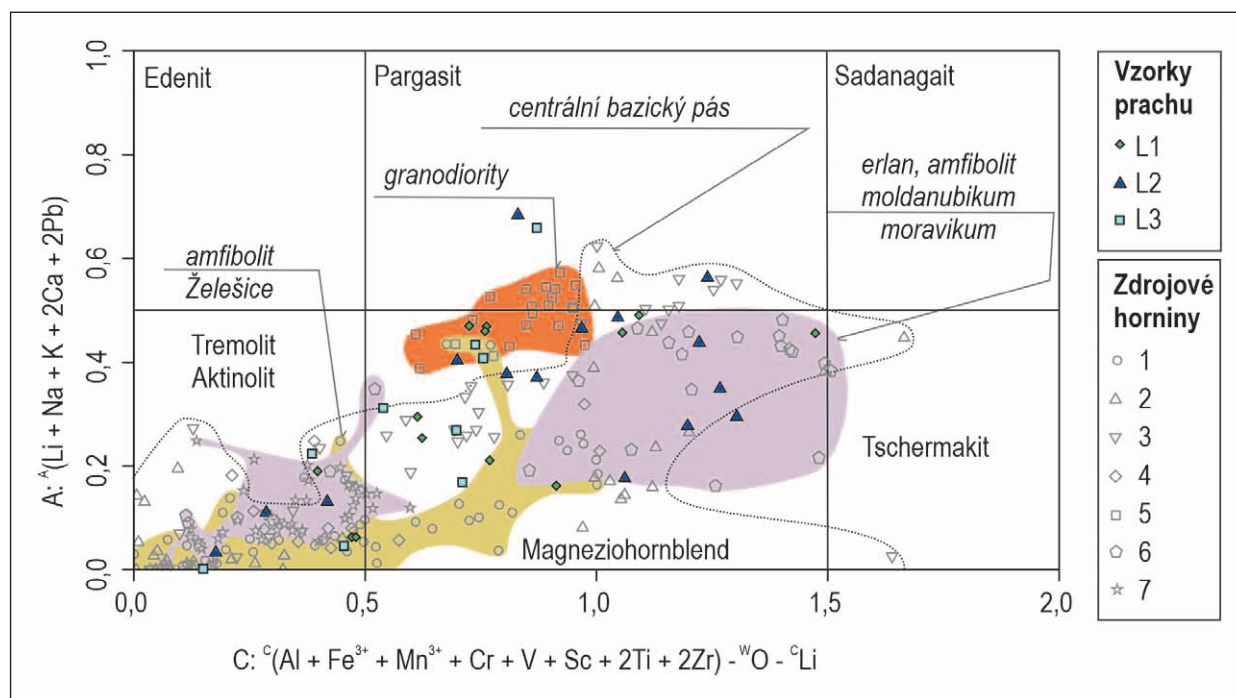
Pro aktinolity ($Si = 7,47-7,56$ apfu; $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,76-0,80$; $Ca = 1,79-1,90$ apfu) a magneziohornblendy ($Si = 6,48-7,17$ apfu; $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,50-0,78$; $Ca = 1,44-2,01$ apfu) ze vzorku L1 v centru Brna (obr. 3) byly jako hlavní zdrojové horniny interpretovány slabě metamorfované horniny centrálního bazického pásu brněnského masivu (tab. 3; obr. 4; 38 %). Stejně zastoupení také mají amfiboly, které patrně pochází z amfibolitového tělesa u Želešic. Zbývajících 23 % reprezentují amfiboly z granodioritů brněnského masivu.

Pro aktinolity ($Si = 7,58-7,88$ apfu; $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,75-0,80$; $Ca = 1,82-1,94$ apfu), magneziohornblendy



Obr. 2. Mikrofotografie amfibolů z potenciálních zdrojových hornin a ze studovaných vzorků: (a) vzorek L1 z lokality Brno, (b) vzorek L2 z lokality Rosice, (c) vzorek L3 z lokality Rajhradice, (d) amfibol a chrysotil z lokality Mohelno (moldanubikum), (e) amfibol z dioritu v centrálním bazickém pásu (Bystrc), (f) aktinolit z lokality Želešice v centrálním bazickém pásu brněnského masivu. Zkratky minerálů: Amp = amfibol, Act = aktinolit, Ctl = chrysotil, Bt = biotit, Gr = grafit, Ms = muskovit, Pl = plagioklas, Qz = křemen.

Fig. 2. Microphotographs of amphiboles from potential source rocks and studied samples: (a) L1 sample from Brno locality, (b) L2 sample from Rosice locality, (c) L3 sample from Rajhradice locality, (d) amphibole and chrysotile from Mohelno locality (Moldanubian Unit), (e) amphibole from diorite in the Central Basic Belt of the Brno Massif (Bystrc), (f) actinolite from the Želešice quarry in the Central Basic Belt of the Brno Massif. Mineral abbreviations: Amp = amphibole, Act = actinolite, Ctl = chrysotile, Bt = biotite, Gr = graphite, Ms = muscovite, Pl = plagioclase, Qz = quartz.



Obr. 3. Klasifikační diagram pro vápnité amfiboly A: $^A(\text{Li} + \text{Na} + \text{K} + 2\text{Ca} + 2\text{Pb})$ vs. C: $^C(\text{Al} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{3+} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Sc} + 2\text{Ti} + 2\text{Zr}) - ^W\text{O} - ^C\text{Li}$, zdrojové horniny (Buriánek 2010, Buriánek ed. 2020, Hanžl ed. 2020, Buriánek et al. 2022): 1 – amfibolity centrálního bazického pásu brněnského masivu, 2 – serpentinit centrálního bazického pásu brněnského masivu, 3 – gabro a diorit centrálního bazického pásu brněnského masivu, 4 – metabazalt centrálního bazického pásu brněnského masivu, 5 – granodiority až diority brněnského masivu, 6 – metamorfované horniny moravika a moldanubika, 7 – durbachity.

Fig. 3. Calcic amphibole classification diagram A: $^A(\text{Li} + \text{Na} + \text{K} + 2\text{Ca} + 2\text{Pb})$ vs. C: $^C(\text{Al} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{3+} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Sc} + 2\text{Ti} + 2\text{Zr}) - ^W\text{O} - ^C\text{Li}$, Source rocks (Buriánek 2010, Buriánek ed. 2020, Hanžl ed. 2020, Buriánek et al. 2022): 1 – amphibolites of the Central Basic Belt of the Brno Massif, 2 – serpentinite of the Central Basic Belt of the Brno Massif, 3 – gabbro and diorite of the Central Basic Belt of the Brno Massif, 4 – metabasalt of the Central Basic Belt of the Brno Massif, 5 – granodiorite to diorite from the Brno Massif, 6 – metamorphic rocks from the Moravian and Moldanubian units, 7 – durbachites (Moldanubian Unit).

(Si = 6,51–7,90 apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0,55\text{--}0,84$; Ca = 1,88–2,09 apfu), pargasity, hastingsity a magnezioferohornblendy (Si = 6,32–6,88 apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0,34\text{--}0,77$; Ca = 1,67–1,95 apfu) ze vzorku L2 (obr. 3) z obce Rosice (z. od Brna) předpokládáme, že většina (tab. 3; obr. 4; 53 %) může pocházet z metamorfovaných

a vyvřelých hornin moldanubika a moravika (hlavně amfibolity, erlany a durbachity). Dále pak 27 % ze slabě metamorfovaných hornin centrálního bazického pásu brněnského masivu. Poněkud méně amfibolů pak patrně pochází z granitoidů brněnského masivu. Zbývajících 7 % se nepodařilo zařadit (jedná se o jednu analýzu).

Tab. 3. Zastoupení WDX analýz amfibolů ze studovaných vzorků přiřazených k jednotlivým skupinám zdrojových hornin: A – granitoidy brněnského masivu, B – serpentinity, gabro a diority centrálního bazického pásu brněnského masivu, C – amfibolity centrálního bazického pásu brněnského masivu, D – metamorfované a vyvřelé horniny moldanubika a moravika, E – nezařazené analýzy, N = počet zrn, % = procentuální zastoupení.

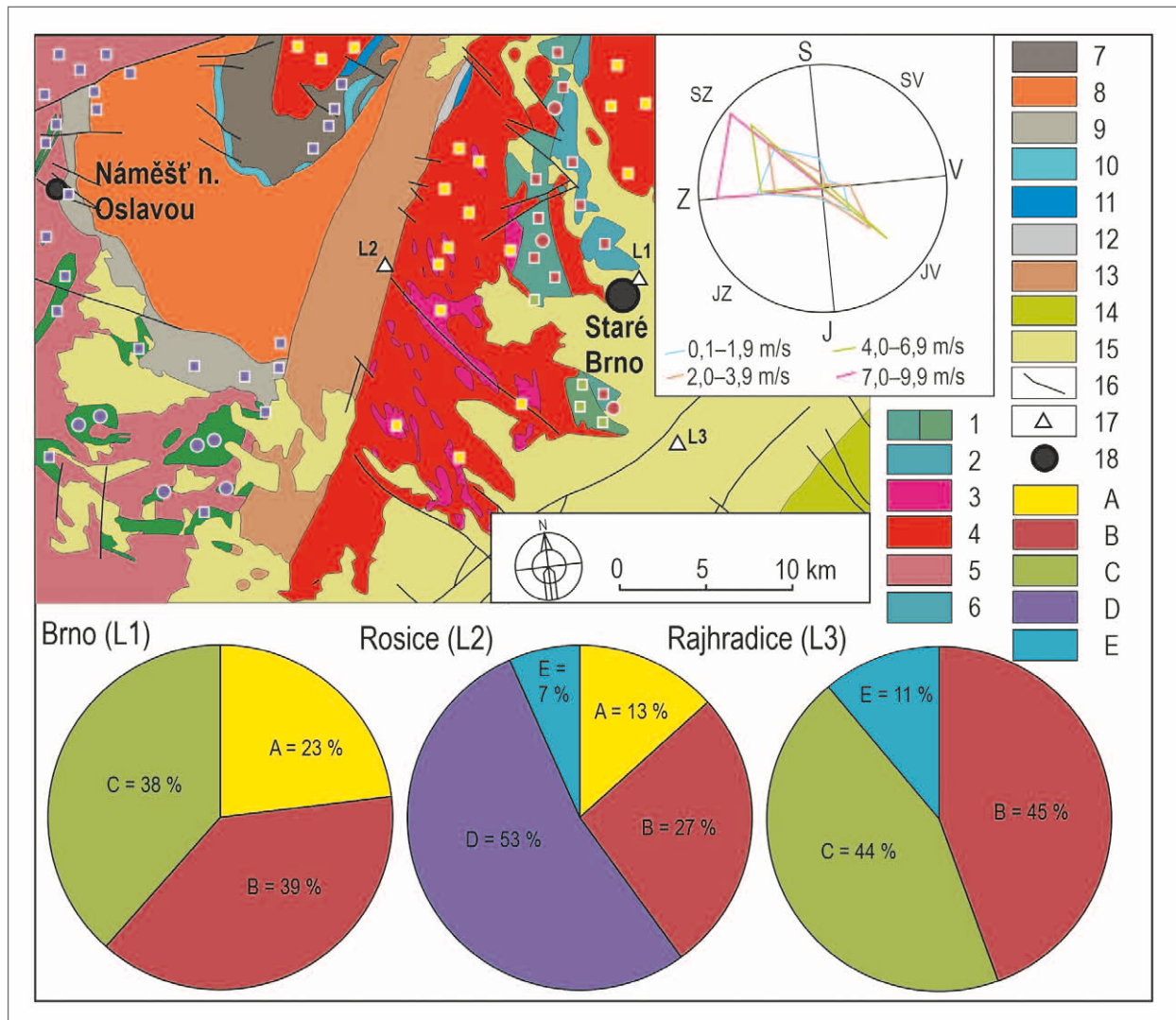
Tab. 3. Amount of amphibole WDX analysis from studied samples assigned to individual groups of source rocks: A – granitoids of the Brno Massif, B – serpentinites, gabbro and diorite of the Central Basic Belt of the Brno Massif, C – amphibolites of the Central Basic Belt of the Brno Massif, D – metamorphic and igneous rocks Moldanubian and Moravian, E – unclassified analyses, N = number of grains, % = percentage.

vzorek	A	B	C	D	E	celkem
L1 (N)	3	5	5	0	0	13
L2 (N)	2	4	0	8	1	15
L3 (N)	0	4	4	0	1	9
L1 (%)	23	38	38	0	0	100
L2 (%)	13	27	0	53	7	100
L3 (%)	0	45	44	0	11	100

Pro aktinolity (Si = 7,45–7,63 apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0,76\text{--}0,78$; Ca = 1,81–1,89 apfu), magneziohastingsit (Si = 6,49 apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0,52$; Ca = 2,02 apfu) a magneziohornblendy (Si = 6,85–7,40 apfu; $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0,50\text{--}0,75$; Ca = 1,78–2,02 apfu) ze vzorku L3 (obr. 3) z obce Rajhradice (j. od Brna) předpokládáme zdroj ze slabě metamorfovaných hornin centrálního bazického pásu brněnského masivu (tab. 3; obr. 4; 45 %), nebo z amfibolitového tělesa u Želešic (44 %). Zbývajících 11 % se nepodařilo zařadit (jedná se o jednu analýzu).

Potencionální zdroje vláknitých a jehlicovitých minerálů v okolí Brna

Výskyty přírodního amfibolového a chrysofilového azbestu jsou především vázány na výskyty serpentinitů, amfibolitů, metagaber, chlorit-tremolických břidelic a skalín (Burkart 1953; Krůta 1966; Novobilský 1982; Hanžl a Melichar 1997; Leichmann a Höck 1997, 2008; Buriánek 2010; Koníčková 2011; <https://mapy.geology.cz/geocr500/>). Tělesa



Obr. 4. Zdrojové horniny amfibolů ze vzorků polétavého prachu na zjednodušené geologické mapě. Větrná ružice v pravé horní části mapy ukazuje převládající směry větru na stanici Troubsko (Fuksová 2012). Legenda: 1–2 centrální bazický pás (1 – diority, gabra, ultrabazika a amfibolity, 2 – metavulkanity), 3–4 granitoidy brněnského masivu (3 – diorit až tonalit, 4 – granit až granodiorit), 5–6 moldanubikum (5 – migmatit a ortorula, 6 – serpentinit a amfibolit), 7–10 moravikum (7 – olešnická skupina, 8 – bítešská ortorula a amfibolita, 9 – skupina Bílého potoka, 10 – mramory), 11 – devonské vápence, 12 – kulmské droby a břidlice, 13 – sedimenty boskovické pánve, 14 – prachovce až pískovce flyšové pásma (paleogén–neogén), 15 – kvarterní sedimenty, 16 – zlomy, 17 – studované lokality, 18 – městská čtvrť nebo město. Ve spodní části koláčové diagramy indikují zastoupení amfibolů z jednotlivých zdrojů. Výskyt chryzotilu je vyznačen na mapě kroužkem a výskyt amfibolu čtverečkem (barvy odpovídají skupině zdrojových hornin, upraveno podle Burkarta 1953; Krůta 1966; Novobilského 1982; Šichtářové 1981; Moravcové 1999; Němece 1999; Wilimského 2001, Leichmanna a Hocka 2008; Buriánka 2010 a Koníčkové 2011): A – granitoidy brněnského masivu, B – serpentinity, gabra a diority centrálního bazického pásu brněnského masivu, C – amfibolity centrálního bazického pásu brněnského masivu, D – metamorfované a vyvřelé horniny moldanubika a moravika, E – nezařazené analýzy.

Fig. 4. Source rocks of amphiboles from the airborne dust samples on a simplified geological map. The wind rose diagram in the upper right part of the map shows the prevailing wind directions at the Troubsko station (Fuksová 2012). Legend: 1–2 Central Basic Belt of the Brno Massif (1 – diorite, gabbro, ultrabasic rocks and amphibolites, 2 – metavolcanic rocks), 3–4 granitoids of the Brno Massif (3 – diorite to tonality, 4 – granite to granodiorite), 5–6 Moldanubicum (5 – migmatite and orthogneiss, 6 – serpentinite and amphibolite), 7–10 Moravicum (7 – Olešnice group, 8 – Bíteš orthogneiss and amphibolite, 9 – Bílý potok group, 10 – marbles), 11 – Devonian limestones, 12 – Culmina greywacke and shale, 13 – sedimentary rocks of the Boskovice basin, 14 – siltstones to sandstones Carpathian flysch zone (Paleogene–Neogene), 15 – Quaternary sediments and Neogene molasse, 16 – faults, 17 – studied localities, 18 – city district or town. The pie charts at the bottom indicate the proportion of amphiboles from each source. The occurrence of chrysotile is marked on the map by a circle and amphibole by a square (colours correspond to the group of source rocks; modified according to Burkart 1953; Krůta 1966; Novobilský 1982; Šichtářová 1981; Moravcové 1999; Němec 1999; Wilimský 2001, Leichmann a Hock 2008; Buriánka 2010 and Koníčková 2011): A – granitoids of the Brno Massif, B – serpentinites, gabbro and diorite of the Central Basic Belt of the Brno massif, C – amphibolites of the Central Basic Belt of the Brno Massif, D – metamorphic and igneous rocks Moldanubian and Moravian, E – unclassified analyzes.

serpentinitů jsou hojná při jihovýchodním okraji moldanubika (např. Koničková 2011; <https://mapy.geology.cz/geocr500/>), tedy západně až jihozápadně od Brna (jedná se hlavně o tělesa, vyskytující se v oblasti mezi obcemi Biskoupky, Hrubšice, Mohelno a Dukovany). V menším množství se tělesa serpentinitů vyskytují i na západním okraji Brna (Modřice, Brno-Kohoutovice, Jinačovice; obr. 1) v dioritové zóně brněnského masivu (Novobilský 1982; Hanžl a Melichar 1997; Leichmann a Höck 1997, 2008; Buriánek 2010). Minerály ze skupiny amfibolů jsou hojně zejména v některých horninách brněnského masivu (Burkart 1953; Krůta 1966; Novobilský 1982; Leichmann a Hock 2008; Buriánek 2010; obr. 4). Magneziohornblendy se vyskytují například v granodioritech u Adamova nebo Ivančic. Gabra až diority v řadě městských částí Brna obsahují aktinolit, magneziohornblend až pargasit (například Brno-Bosonohy, Brno-Komín, Brno-Kohoutovice). Aktinolit až magneziohornblend obsahují amfibolity, které vystupují v okolí Želešic a Hajan. Amfibolity se vyskytují také v moldanubiku a moraviku (Šichtářová 1981; Moravcová 1999; Němec 1999; Wilimský 2001). Amfiboly jsou také součástí durbachitů, které vystupují v moldanubiku západně od míst odběru studovaného prachu. Chemické složení amfibolů z hornin z dříve zmíněných jednotek je poměrně dobře definováno v několika publikacích (Buriánek 2010; Buriánek ed. 2020; Hanžl ed. 2020; Buriánek et al. 2022).

Azbesty také mohou mít antropogenní zdroj, dříve se používaly pro svou chemickou a termální odolnost v řadě oborů od stavebnictví (krytina, izolace) až po dopravu (brzdové destičky). Evropská unie (EU) vydala v roce 1991 směrnici 91/659/EHS upravující prodej a používání azbestových výrobků v EU. Po vstupu ČR do EU legislativa vychází z evropských směrnic a je upravována zákonem č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích. Legislativa v ČR (viz např. Kočí et al. 2013) pokrývá především stavební práce související s expozicí azbestem a materiály jej obsahujícími (včetně ukládání odpadu). Ve stavebnictví se nejčastěji setkáváme s chryzotilovými vlákny (monoklinická soustava, $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), která jsou horninotvorným minerálem serpentinitů. Amfibolové azbesty tvoří díky proměnlivému chemickému složení mineralogicky poněkud pestřejší skupinu. Strukturně patří amfiboly mezi inosilikáty, které mají spojeny tetraedry SiO_4 vrcholovými kyslíky do dlouhých řetězců. V „azbestové“ formě jsou charakterizovány dlouhými tenkými vlákny, zatímco běžně tvoří amfiboly krátká vlákna, jehlice nebo sloupečky. Poměrně běžné jsou vláknité aktinolity a tremolity (tyto dva minerály tvoří isomorfní řadu, monoklinická soustava; $Ca_2(FeMg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$). Jehlicovité krystaly až vláknité agregáty tvoří také antofylit (ortorombická soustava; $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$).

Diskuze

Cílem této práce je detailně prozkoumat zmíněné vzorky a zjistit zastoupení všech jehlicovitých a vláknitých minerálů (především azbestů) o různém poměru délky a šířky. Vláknité a jehlicovité prachové částice jsou

v ovzduší přítomny neustále (otěry a zvětrávání azbestu ve starých krytinách, brzdové destičky automobilů, uvolňování minerálních vláken při orbě aj.). Tyto částice se v ovzduší mohou šířit na velké vzdálenosti. Z atmosféry je odstraňuje déšť a sníh. Část těchto částic se pak deponuje v půdě, kde časem podlehnou mechanické nebo chemické degradaci. Některá azbestová vlákna však ulpívají na vozovce, budovách a dalších druzích tvrdých površích, odkud se mohou po čase znovu šířit. Ukazatelem expozice azbestu je početní koncentrace vláken o délce větší než 5 μm , průměru menším než 3 μm a poměr délky k průměru větší než 3 : 1 v pracovním ovzduší (Kočí et al. 2013). Tato vlákna mohou být součástí atmosférických aerosolů a dostat se dýcháním do lidského organismu (Červenka et al. 2006). Limitní hodnota pro azbestová vlákna ve vnitřních prostorách v Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů v příloze č. 3 uvádí hodnotu 0,1 respirabilních vláken na cm^3 . Postup odběru vzorků uvedený v této části EN ISO 16000-7 vychází ze směrnice VDI 3492 a je určen především pro interiéry budov. Pro vnější prostředí (exteriér) však není Zákonem č. 201/2012 Sb. ze dne 2. 12. 2012 limit pro výskyt respirabilních azbestových vláken v ovzduší specifikován. Člověk exponovaný azbestovému prachu většinu vláken vykašle v hlenu. Pokud se azbest dostane do plic, tak se postupně rozpustí. Důležité je chemické složení, protože v plicích se snadněji rozpouští (vstřebává) chryzotil než amfibolový azbest (Červenka et al. 2006).

Studované vzorky reprezentují depozici polétavého prachu smíšeného s písčítými částicemi transportovanými větrem. Minerální složení všech tří studovaných vzorků prachů je podobné. Dominují zrna křemene a kyselých živců. Ve vzorku z lokality Rajhradice bylo ve srovnání s dalšími dvěma vzorky zjištěno poměrně malé množství antropogenních klastů (skleněné a minerální sférule, úlomky skla, saze). Navíc byly v tomto vzorku zjištěny vápnité mikrofosílie. Vzorky z Rosic a Rajhradic obsahovaly více zrn karbonátů ve srovnání se vzorkem z Brna.

Ve studovaných vzorcích se nepodařilo identifikovat vlákna chryzotilu. Všechny jehlicovité a vláknité minerály odpovídají svým chemickým složením amfibolu. Nejdelší agregát jehlicovitých krystalů dosahuje délky až 280 μm a tloušťky 40 μm (obr. 1). Ostatní jehlice jsou mnohem menší avšak jejich tloušťka buď přesahuje 3 μm (0,003 mm) nebo nedosahuje poměr $\geq 3 : 1$ (tab. 2). Ve studovaných vzorcích se tedy nepodařilo identifikovat částice, které by odpovídaly amfibolovému azbestu.

Chemické složení amfibolu umožnilo diskutovat možné zdroje prachových částic. Chemické složení amfibolů z jednotlivých studovaných lokalit vykazuje značné podobnosti, přesto se podařilo vyčlenit zrna pocházející z odlišných zdrojových hornin (obr. 3). Na všech třech lokalitách se vyskytují aktinolity s podobnou variabilitou chemického složení ($Si = 7,45-7,88$ apfu; $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,75-0,80$; $Ca = 1,79-1,94$ apfu). Také magneziohornblendy na všech třech lokalitách mají podobné chemické složení ($Si = 6,48-7,90$ apfu; $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,50-0,84$; $Ca = 1,44-2,09$ apfu) to naznačuje, že zdrojem amfibolu pro všechny tři vzorky prachu byly podobné horniny.

V případě vzorku z Rosic pozorujeme, že většina amfibolů spadá do pole chemického složení amfibolů z amfibolitů moldanubika a moravika bohužel se toto pole výrazně překrývá s polem amfibolů z hornin brněnského centrálního pásu. Důležité však je, že klasty amfibolů z Rosic mají často výraznější pleochroizmus než amfiboly z ostatních vzorků. Výraznější pleochroizmus je typický například pro amfiboly z gabra od Mohelna.

Pro pochopení původu amfibolů v polétavém prachu je důležitá znalost převládajících směrů větru v okolí Brna. Podle Fuksové (2012) indikují měření ze stanic Žabovřesky, Troubsko a Tuřany, že během období 1961–2000 byl směr proudění SZ oproti ostatním směrům výrazně dominantní a velkou četnost má také směr JV (obr. 4). Tyto údaje poměrně dobře souhlasí s výsledky studia chemického složení amfibolu. Předpokládané zdrojové oblasti amfibolů se totiž nachází z. a sz. od studovaných lokalit a amfiboly tedy mohly být transportovány větry jv. směrem (obr. 4). U lokality Rosice navíc nelze vyloučit masivní přínos materiálu sz. orientovaným větrem, protože zde existuje významný překryv chemického složení amfibolů z centrálního bazického pásu a amfibolů z hornin moldanubika a moravika (obr. 4). U ostatních dvou studovaných lokalit se v jv. směru nachází sedimenty, v nichž je obsah amfibolu nízký. Zajímavý je výrazný podíl amfibolu, který pravděpodobně pochází z amfibolitů Želešického tělesa u prachu z lokality v centru Brna (obr. 4). Existují dvě možná vysvětlení: (a) amfibol má chemické složení podobné ostatním horninám v centrálním bazickém pásu, (b) amfibol pochází z posypového materiálu, který se používá v zimních měsících pro posyp komunikací v brněnské aglomeraci. Na základě znalostí o využití posypového materiálu v Brně preferujeme druhou možnost.

Závěry

Cílem této práce bylo zhodnotit morfologické a chemické vlastnosti amfibolu (hlavně tremolit–aktinolit, magneziohornblend, pargasit; $Si = 6,32\text{--}7,90$ apfu; $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,34\text{--}0,84$), který se vyskytuje v polétavém prachu na třech lokalitách, z nichž jedna je situována v centru Brna a další dvě z. a jv. od Brna. Z každého vzorku byly odebrány a pod mikroskopem prostudovány 3 g prachu. V žádném vzorku nebyly zjištěny částice, které by svými rozměry odpovídaly azbestu. Studovaný prach tedy neobsahuje částice amfibolů, které by byly potenciálně nebezpečné pro lidské zdraví. Detailní studium amfibolů ve vzorcích prachu potvrzuje dominantní proudění větru ve směrech JV a SZ. V prachu, který pochází z centra brněnské aglomerace, naprosto dominují amfiboly derivované z bazických a ultrabazických hornin centrálního bazického pásu brněnského masivu. Poměrně důležitým zdrojem také byly granitoidy brněnského masivu. Tento materiál se vyskytuje z. a sz. od odběrového místa. Výrazné zastoupení amfibolů, které mohou pocházet z plošně poměrně malého tělesa amfibolitů v centrálním bazickém pásu, vysvětlujeme antropogenní aktivitou. Amfibolity z tohoto zdroje se totiž využívají jako posypový materiál v celé brněnské aglomeraci. Na druhé lokalitě Rosice (z. od Brna) dominují amfiboly ze z. a sz. položených metamorfovaných jednotek (moravikum a moldanubikum). Výrazně jsou také zastoupeny amfiboly z hornin brněnského masivu situované jihovýchodně. Na lokalitě Rajhradice byly zjištěny amfiboly, které dominantně pocházejí z hornin centrálního bazického pásu brněnského masivu (včetně amfibolitů), které vystupují sz. od zmíněné lokality. Hojná přítomnost vápnitých mikrofosilií naznačuje důležitost materiálu transportovaného z JV, kde vystupují sedimenty jednotek karpatského flyše a jejich předpolí.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen v rámci řešení DKRVO/ČGS (2018–2022), za finanční podpory projektů České geologické služby číslo 321180 („Základní geologické mapování“). Dík patří rovněž editorovi a recenzentovi Jiřímu Tomanovi.

Literatura

- Buriánek, D. (2010). Metamorfní vývoj metadioritové subzóny v brněnském batolitu. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 2, 95, 131–150.
- Buriánek, D. (2014). Stanovisko ČGS k výskytu azbestu v hornině těžené v Kamenolomu Želešice a jeho zdravotním rizikům. – MS ČGS.
- Buriánek, D., Bubík, M., Franců, J., Fůrychová, P., Havlíček, P., Havlín, A., Gilíková, H., Janderková, J., Kašperáková, D., Kociánová, L., Konečný, F., Krejčí, O., Krumlová, H., Kryštofová, E., Müller, P., Otava, J., Paleček, M., Pecina, V., Pecka, T., Sedláček, J., Sedláčková, I., Šrámek, J., Tomanová Petrová, P., Večeřa, J., Verner, K., Vít, J. (2020). Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000, list 24–342 Brno-jih. – ČGS, 206 s.
- Buriánek, D., Ivanov, M., Janderková, J., Patzel, M. (2022). Importance of accessory minerals for the vertical distribution of uranium and thorium in soil profiles: A case study of durbachite from the Třebíč Pluton (Czech Republic). – *Catena* 213:106166 doi:<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106166>

- Burkart E. (1953). Moravské nerosty a jejich literatura. – Mährens Minerale und ihre Literatur. – Nakladatelství ČSAV, Praha.
- Červenka, V., Balvín, P., Dítě, P., Doležalová, Z., Dlouhá, B., Frýdl, J., Chmalař, I., John, Z., Kozáková, P., Kurfürst, J., Lebedová, J., Mach, K., Rohon, P., Slavíková, G., Sluka, A., Stárka, L., Stárková, B. (2006). Azbest a jeho nebezpečnost: Vybrané kapitoly ze základní problematiky azbestu. – Praha, Skanska CZ.
- ČSN EN ISO 16000-7 (2008): Vnitřní ovzduší – Část 7: Postup odběru vzorku při stanovení koncentrace azbestových vláken v ovzduší. – ČNI Praha.
- Donaldson, K., Murphy, F. A., Duffin, R., Poland, C. A. (2010). Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. Part. Fibre Toxicol. 22; 7:5. doi:10.1186/1743-8977-7-5.
- Fečko, P., Kušnierová, M., Lyčková, B., Čablík, V., Farkašová, A. (2003). Popílky – Vysoká škola báňská – Technická univerzita. Ostrava.
- Fuksová, M. (2012). Větrné poměry Brna a okolí. – Bakalářská práce – MS, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity. Brno.
- Gamble, J. F., Gibbs G.W. (2008). An evaluation of the risks of lung cancer and mesothelioma from exposure to amphibole cleavage fragments. Regulatory Toxicology and Pharmacology 52:S154-S186 doi:https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2007.09.020
- Hanžl, P., Baldík, V., Bubík, M., Buriánek, D., Dolníček, Z., Dvořák, I., Fůrychová, P., Havlín, A., Hrdličková, K., Kociánová, L., Konečný, F., Krejčí, O., Krejčí, Z., Krumlová, H., Kryštofová, E., Müller, P., Paleček, M., Pecina, V., Pecka, T., Poul, I., Rez, J., Skácelová, D., Skácelová, Z., Slobodník, M., Šrámek, J., Tomanová Petrová, P., Večeřa, J., Vít, J. (2020). Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 24-324 Brno-sever. – Česká geologická služba, Praha, 188 s.
- Hanžl, P., Melichar, R. (1997): The Brno Massif: A section through the active continental margin or a composed terrane ?. – Krystalinikum, Brno, 23, 33–58.
- Hawthorne, F., Oberti, R., Harlow, G., Maresch, W., Martin, R.F., Schumacher, J., Welch, M. (2012). IMA report: Nomenclature of the amphibole supergroup. American Mineralogist 97: 2031–2048. doi:10.2138/am.2012.4276.
- Hawthorne, F. C., Oberti R. (2007). Classification of the Amphiboles. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 67(1): 55–88. https://doi.org/10.2138/rmg.2007.67.2.
- Holoubek, I., Bednář, J., Fara, M., Fiala, J., Hovorka, J., Hůnová, I., Klán, P., Komprda, J., Leníček, J., Skybová, M., Vokounová, Š., Závodský D. (2005). Troposférická chemie. Vydala Masarykova univerzita v Brně roku pro TOCOEN, s.r.o. ISBN 80-210-3656-7. 159 s. https://mapy.geology.cz/geocr500/
- https://www.bozpinfo.cz/zase-ten-azbest-kdy-muze-zpusobit-poskozeni-zdravi
- https://www.denik.cz/ekonomika/kloboucti-resi-azbestova-vlakna-v-ovzduzi-na-namesti-20130829.html
- https://www.lidovky.cz/domov/posypovy-sterk-v-ulicich-brna-obsahoval-rakovinotvorna-mineralni-vlakna-rizikovy-je-vsak-i-kamen-z-r.A180908_162726_ln_domov_ele
- Kočí, M., Kopecká, M., Stiebitz, J. (2013). Průvodce odborně způsobilých osob problematikou bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, hornické činnosti a požární ochrany. – ANAG, spol. s r. o. 400 s.
- Koničková, Š. (2011). Mineralogické studium „plazmy“ ze serpentinitů na západní Moravě. – Bakalářská práce – MS, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity. Brno.
- Kruťa, T. (1966). Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. – Moravské muzeum v Brně, Brno.
- Lajčíková, A. – Hornychová, M. (2010). Airborne Asbestos and Associated Health Legislation. Státní zdravotní ústav, Hygiena, Praha, 55(3): 96–101.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J. A., Maresch, W. V., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W., Youzhi, G. (1997). Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. – Amer. Mineral., 82: 9/10, 1019–1037.
- Leichmann, J., Höck, V. (1997). Amfiboly z dioritů metabazitové zóny brněnského masivu jako indikátory jejího metamorfního vývoje. – Geol. Výzk. Mor. Slez. V roce 1996, 4, 101–103.
- Leichmann, J., Höck, V. (2008). The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit, eastern margin of the Bohemian Massif. – J. Geosci., 53: 3/4, 281–305.
- Moravcová, O. (1999). Geochemistry of moldanubian amphibolites (Bohemian massif, Czech Republic). – Krystalinikum, 25, 83–103.
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
- Němec, D. (1999). Chemical changes in moldanubian amphibolites caused by regional metamorphism. – Krystalinikum, 25, 105–125.
- Novobilský, R. (1982). Petrografická charakteristika hornin metabazitové zóny brněnského masivu v úseku Čebín-Kuřim-Lipůvka. – MS, PřF UJEP, Brno, p 63.
- Směrnice komise 91/659/EHS ze dne 3. prosince 1991, kterou se přizpůsobuje technickému pokroku. Příloha I směrnice Rady 76/769/EHS o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se omezení uvádění na trh a používání některých nebezpečných látek a přípravků (azbest). Dostupné online: https://isap.vlada.cz/kopie/revize.nsf/celexp?OpenView&Start=3941
- Šichtářová, I. (1981.). Moldanubian amphibolites in the area SE of Náměšť nad Oslavou. – Věstník ÚÚG, 56, 4, 203–214.
- Wilimský, D. (2001). Geochemistry of the amphibolites of the Moravicum of the Svratka Dome. Krystalinikum, Stuttgart, 27, 131–175.
- Zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší.
- Zákon č. 356/2003 Sb. Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů.