

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE



Rozlišování recentních a pravěkých rytin na kamenných artefaktech dle stupně zvětrávání

Bakalářská práce

Lucie Dostálová

Studijní obor: Environmentální geologie (B1202)

Prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

Olomouc 2018

Bibliografická identifikace:**Jméno a příjmení autora:** Lucie Dostálová**Název práce:** Rozlišování recentních a pravěkých rytin na kamenných artefaktech dle stupně zvětrávání**Typ práce:** Bakalářská práce**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie**Vedoucí práce:** Mgr. Martin Moník, Ph.D.**Rok obhajoby práce:** 2018

Abstrakt: Předkládaná bakalářská práce se zabývá rozlišováním recentních a pravěkých rytin na kamenných artefaktech ze želešické břidlice podle stupně zvětrávání. V rešeršní části je popsána geografie a geologie oblasti želešického lomu, popsáno zvětrávání a patina, jakožto produkt zvětrávání kamenného materiálu a také vlastnosti a rozšíření želešické břidlice. V laboratorní části bylo provedeno měření hmotnostní magnetické susceptibility, dále SEM-EDX v nízkém i vysokém vakuu pro porovnání chemismu zvětralé a nezvětralé vrstvy. Výsledky byly přepočítány a vzájemně porovnávány. Z výsledků vyplývá, že chemismus horniny se patrně liší od jejího navětralého povrchu, ale je to patrné jen při analýze SEM-EDX ve vysokém vakuu ve výbrusu.

Klíčová slova: metabazity, patina, zvětrávání, želešická břidlice, amfibol, magnetická susceptibilita, SEM-EDX, konfokální mikroskopie

Počet stran: 41**Počet příloh:** 6**Jazyk:** čeština

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Lucie Dostálová

Title: Differentiation of recent and prehistoric engravings on stone artifacts on the basis of the degree of their weathering

Type of thesis: Bachelor thesis

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

The year of presentation: 2018

Abstract: This bachelor thesis deals with differentiation of recent and prehistoric engravings on stone artifacts from greenschist of Želešice type on the basis of the degree of their weathering. The review part of the thesis is concerned with the geography and geology of the area ofn Želešice quarry, weathering and patina, products of weathering of stone materials, and the properties and distribution of the greenschist of Želešice type. As for the research part, measurements were conducted using magnetic susceptibility, SEM-EDX in both low and high vacuum to compare the chemistry of weathered and unweathered surfaces of the two prehistoric artifacts. These results were recalculated and compared to each other. The results show that the chemistry of the rock differs from its weathered surface, but it is only visible in SEM-EDX in high vacuum in the section.

Keywords: metabasites, patina, weathering, greenschist of Želešice type, amphibole, magnetic susceptibility, SEM-EDX, confocal microscopy

Number of pages: 41

Number of appendices: 6

Language: Czech

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Veškerou použitou literaturu a ostatní prameny řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Olomouc 2018

.....

Lucie Dostálová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Mgr. Martinu Moníkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce. Dále chci poděkovat doc. RNDr. Jindřichu Štelcovi, CSc. za vypracování SEM-EDX analýz na kamenných artefaktech a Mgr. Jaroslavu Kapustovi za SEM-EDX analýzy výbrusu. Mé díky patří také Ing. Hynku Hadrabovi, Ph.D. za pořízení fotografií povrchu sekerek na konfokálním mikroskopu. A na závěr bych ráda poděkovala mé rodině za podporu během celého studia.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Materiál	8
3. Geografie a geologie oblasti.....	8
3.1 Geografie oblasti	8
3.2 Geologie oblasti.....	9
4. Zvětrávání	12
4.1 Zvětrávání obecně	12
4.2 Typy zvětrávání.....	13
4.2.1 Fyzikální (mechanické) zvětrávání	13
4.2.2 Chemické zvětrávání	14
4.2.3 Biologické zvětrávání.....	14
4.3 Zvětrávání kamenného materiálu	15
4.4 Zvětrávání metabazitů	15
4.5 Produkt zvětrávání- patina	16
5. Želešická břidlice	18
5.1 Charakteristika	18
5.2 Výskyt a využití	19
6. Metody výzkumu.....	20
6.1 Magnetická susceptibilita	21
6.2 Optická mikroskopie	21
6.3 Skenovací elektronová mikroskopie	21
6.3.1 Energiově disperzní skenovací elektronová mikroskopie	22
6.4 Konfokální mikroskopie a povrchová drsnost.....	23
6.5 Analýza hlavních komponent (PCA)	24
7. Výsledky	25
7.1 Magnetická susceptibilita	25
7.2 Optická mikroskopie	25
7.3 EDX výbrusu vzorku z výchozu	26
7.4 EDX povrchu artefaktů	27
7.5 Konfokální mikroskopie a povrchová drsnost.....	28
7.6 Statistika.....	29
8. Diskuze.....	31
9. Závěr	33
10. Použitá literatura	35

1. Úvod

Bakalářská práce na téma „Rozlišování recentních a pravěkých rytin na kamenných artefaktech dle stupně zvětrávání“ byla zadána na Katedře geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci v červenci roku 2016.

Pravěké kamenné artefakty lze od recentních často rozlišit na základě patiny, tedy produktu zvětrávání jejich povrchu (Gaubermann a Thorson 2012). Dvě mnou zkoumané pravěké sekerky, vyhotovené ze želešické břidlice, nesou rytý geometrický motiv neznámého stáří. Cílem této bakalářské práce je pokusit se zjistit pomocí analýzy chemismu, zda byly rytiny provedeny již v pravěku, nebo zda jde o recentní zásah.

Rešeršní část bakalářské práce stručně popisuje vývoj metabazitové zóny brněnského batolitu, charakterizuje zvětrávání a pojem patiny, jakožto produktu zvětrávání kamenného materiálu, používaný zejména v archeologii, a také zahrnuje charakteristiku a rozšíření želešické břidlice, používané v minulosti na výrobu kamenných broušených nástrojů.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje laboratorní výzkum, provedený na Katedře geologie v Olomouci a Ústavu geologických věd MUNI v Brně, a vyhodnocení výsledků.

2. Materiál

Dva z mých vzorků jsou kamenné artefakty vyrobené z téže horniny (želešické břidlice). Jeden pochází z Březolup na Zlínsku (obr. 1, vlevo) a druhý z muzejní sbírky (obr. 1, vpravo). Byly získány a mně předány Mgr. Martinem Kučou z Městského muzea v Moravském Krumlově.

Z fotografií lze předpokládat, že rytina na větší sekerce je zřejmě recentní, protože se zdá méně zašlá (méně zvětralá) než rytina na menší sekerce.



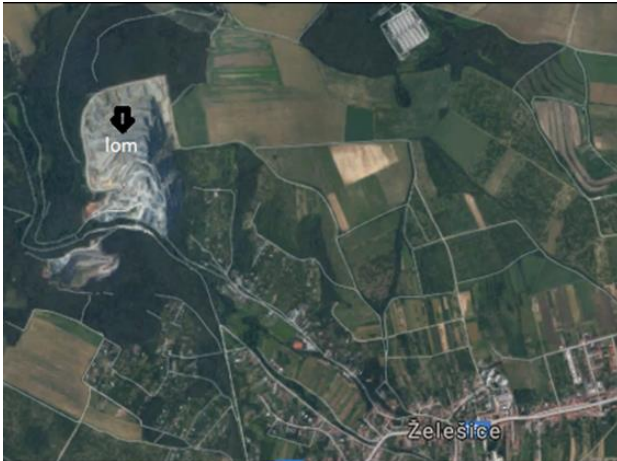
Obr. 1 – Fotografie kamenných artefaktů. L. Dostálová (2017).

3. Geografie a geologie oblasti

3.1 Geografie oblasti

Vzorky hornin studované v této bakalářské práci pocházejí z lomu u Želešic (obr. 2). Tento lom leží západně od obce Želešice, v údolí řeky Bobravy, která je součástí povodí Moravy. Obec Želešice náleží Jihomoravskému kraji, okresu Brno-venkov a nachází se asi 10 km jižně od Brna.

GPS lomu je $49^{\circ} 07,549'$ a $16^{\circ} 33,539'$ dle souřadnicového systému S-42.



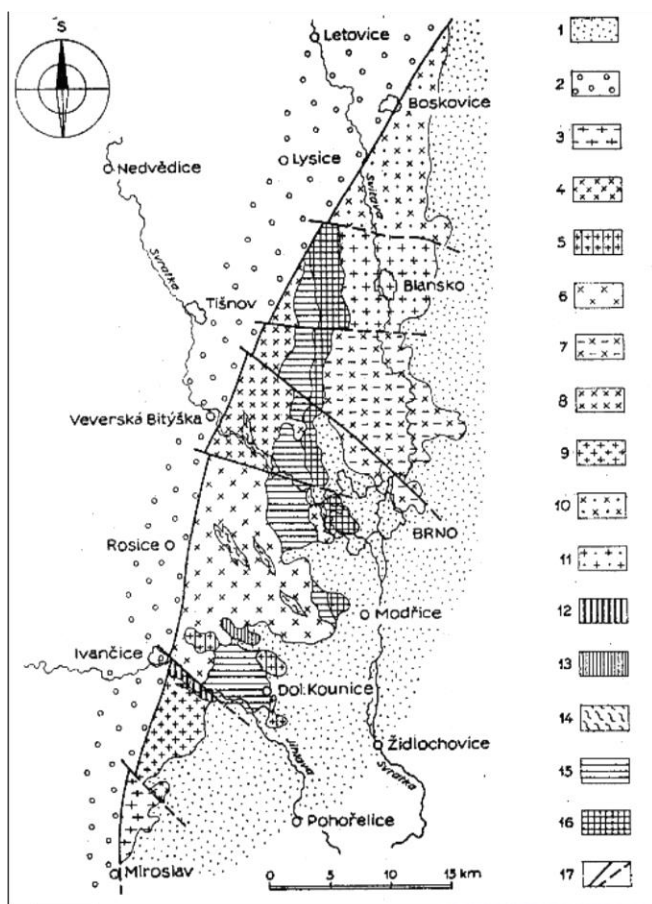
Obr. 2 – Satelitní snímek lomu u Želešic. Upraveno z Google Maps©.

3.2 Geologie oblasti

Brněnský pluton zaujímá region o rozloze kolem 600 km² mezi Brnem, Boskovicemi a Miroslaví (obr. 3). Na východě přes něj transgredují sedimenty devonu a spodního karbonu, na západě sleduje východní okrajový zlom boskovické brázdy. Jeho stáří je předdevonské a na základě geotektonické pozice a radiometrických dat je kadomský, popřípadě i starší. Protože brněnský masiv ovlivnily zejména paleozoické geotektonické cykly, jsou horniny brněnského masivu intenzivně deformačně postiženy, v některých jeho částech silně kontaminovány a také metasomaticky přeměněny (Mísař et al. 1983).

Metabazitová zóna probíhá centrální částí brněnského masivu ve formě pruhu o šířce cca 10 km a délce téměř 50 km (Mísař et al. 1983). Je nejstarší částí brunovistulika a zároveň představuje nejstarší bazický komplex inkorporovaný do stavby střeoevropských variscid (Kachlík 2003). Metabazitová zóna je slabě metamorfovaná a tvořená hlavně bazalty, které jsou proráženy žilami ryolitů a doleritů (Buriánek a Gilíková 2011). Brněnská metabazitová zóna se rozpadá na dvě subzóny, metadioritovou a metadiabasovou. Západní metadioritová subzóna je relativně mocnější (Mísař et al. 1983) a je tvořena slabě metamorfovanými alkalicko-vápenatými intruzivními horninami, mezi nimiž převažují diority až gabra a méně jsou zastoupeny ultrabazické horniny. Místy se zde objevují mladší ryolitové žíly (Finger et al. 2000). Východní část je představována neplynulým průběhem metadiabasové subzóny (Mísař et al. 1983). Podle Skácelové a Weisse (1978) má značný hloubkový dosah

a sklání se strmě k západu. Zahrnuje efuzivní horniny zaobloukové pánve (Finger et al. 2000).



Obr. 3 – Brněnský masiv a přilehlé jednotky: 1 – neogén karpatské předhlubně, 2 – permokarbon boskovické brázdy, 3 až 13 – různé typy granitoidů brněnského masivu, 14 – metamorfity, 15 a 16 – metabazitová zóna, 17 – zlomy (Mísař et al 1983, upraveno dle www1).

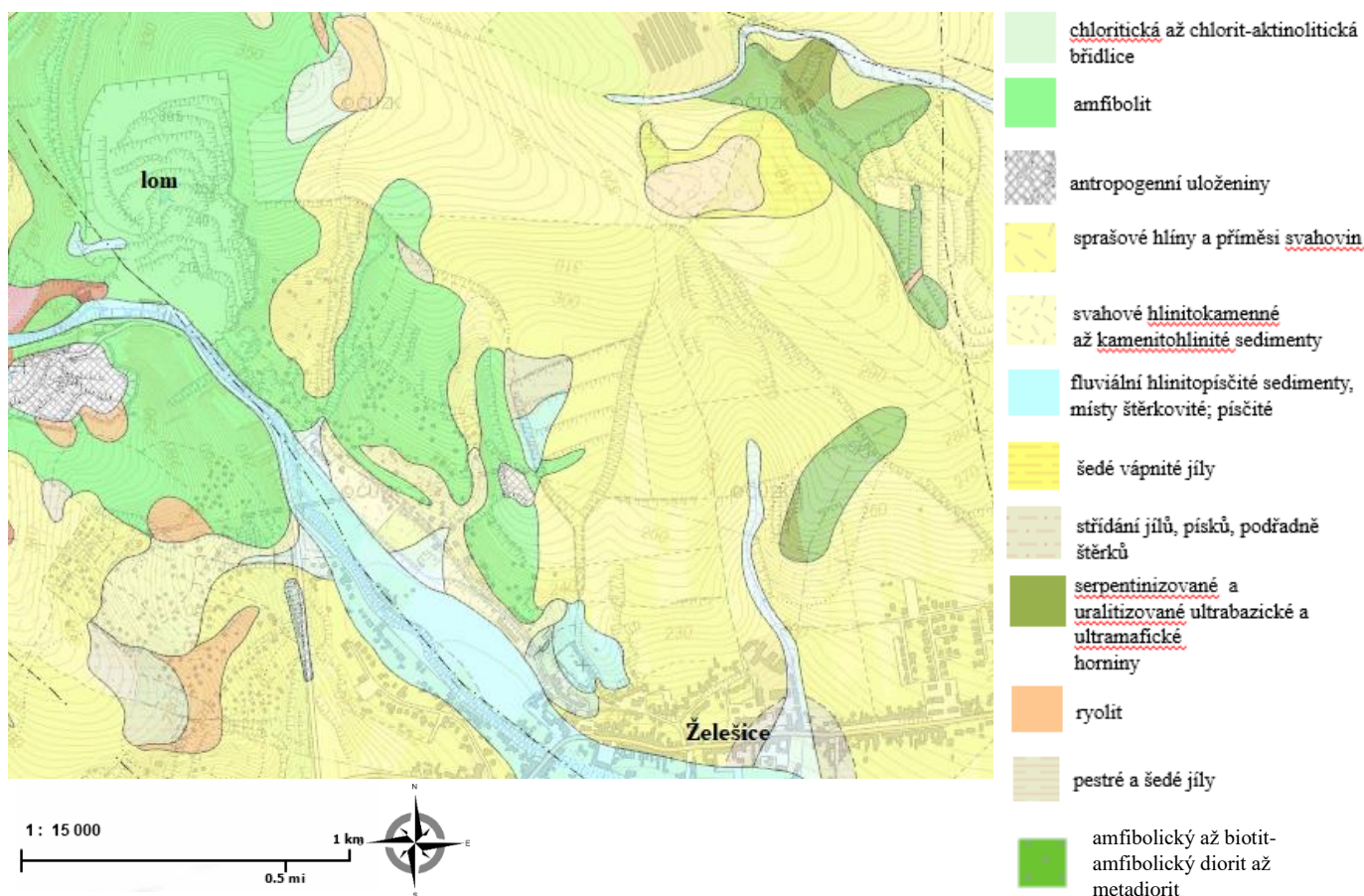
Metabazity typu Želešice jsou součástí metabazitové zóny brněnského batolitu. Jsou proterozoického stáří a ještě koncem proterozoika byly kontaktně metamorfovány granitoidy západní části brněnského batolitu.

Finger et al. (2000) stanovili stáří ryolitů, které prostupují metabazalty metabazitové zóny pomocí datování zirkonových zrn (stáří $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) na 725 ± 15 Ma a stanovili tak minimální stáří metabazitové zóny.

V poslední době se výzkumem metamorfitů u Želešic zabývá Buriánek (2005). Nejstarší regionální metamorfóza odpovídá amfibolitovým faciím. Během metamorfózy vznikla

foliace amfibolitů. Poté hornina prošla kontaktní metamorfózou, která souvisí s intruzí kadomských granodioritů dyjského teránu. Nejmladší etapa má charakter metamorfózy ve facii zelených břidlic a je variského stáří. Během této metamorfózy vznikly v amfibolitech a dioritech střížné zóny. Obecný metamorfní vývoj vedl ke vzniku hornin s vlastnostmi vhodnými pro výrobu broušených kamenných nástrojů. Mezi tyto vlastnosti patří například tvrdost, obrusnost nebo houževnatost (Přichystal 2013).

V rámci tělesa zelených břidlic u Želešic můžeme najít přechody do amfibolitů a také výskyty ultrabazických metamorfovaných hornin (obr. 4) (serpentinit, hornblendit) (Přichystal 1999). Rozsáhlý výchozí bod mezi Želešicemi, Nebovidy a Hajany je označen jako hornblendit na Geologické mapě Československa v měřítku 1: 200 000, list Brno (Kalášek 1963). Podrobné petrografické průzkumy ukázaly, že většina hornin má významnou plošně paralelní stavbu a ve výbrusech převládá krystaloblastická struktura (Přichystal 2013). Gregerová et al. (1986) definovala želešické horniny jako jemnozrné až celistvé amfibolity, epidotické amfibolity a aktinolitické, chlorit-aktinolitické a chloritické zelené břidlice.



Obr. 4 – Výřez geologické mapy v okolí želešického lomu. Upraveno z mapy.geology.cz

Metamorfózou metabazitové zóny se zabývali také Leichmann a Höck (2008). Ti se domnívají, že původní magmatické reliktů jsou velmi vzácné a byly pozorovány jen v některých dioritech. Jádra některých velkých plagioklasů jsou složena z homogenního bytownitu, který odráží magmatickou etapu vývoje. Jejich okraje tvořené albitem/oligoklasem odráží první etapu metamorfního vývoje. Jádra menších plagioklasů z metabazaltů byla zcela nahrazena albitem/oligoklasem. Magmatické pyroxeny byly v dioritech i bazaltech přeměněny na aktinolity. Druhá (kadomská) metamorfní fáze je dokumentována zvýšením obsahu Al, Na, K a snižováním obsahu Si směrem k okrajům amfibolů. Tento proces vede v konečném důsledku ke vzniku tschermakit-pargasitového okraje kolem aktinolitového jádra v dioritech a hornblendového okraje v metabazaltech. Podobně je tomu u plagioklasů, kde se kolem albit-oligoklasové zóny vytvořil andezinový okraj v metadioritech a oligoklasový okraj v metabazaltech. Třetím (variským) metamorfním stupněm byla retrogradní metamorfóza. Plagioklasy jsou často částečně nahrazeny muskovitem, albitem, zoisitem a epidotem, účinky karbonatizace jsou pouze lokální. Dochází ke chloritizaci a epidotizaci amfibolů. V závěrečné fázi jsou pozorovány pouze pseudomorfózy chloritu po amfibolu. Turmalínové žíly pozorované u silně alterovaných dioritů podél kontaktu se západní granitoidovou zónou (Filip a Novák 2002) naznačují cirkulaci granitoidních fluid bohatých bórem skrze horniny metabazitové zóny. Cirkulace těchto fluid mohla vést k regionálnímu obohacení draslíkem a pravděpodobně i rubidiem a baryem, tj. prvků odpovědných za běžnou muskovitizaci vyvinutou v rámci metabazitové zóny (Leichmann a Höck 2008).

4. Zvětrávání

4.1 Zvětrávání obecně

Zvětrávání je přirozený proces postihující horniny vystavené na povrchu země (Přikryl 2009) a zahrnuje změny jejich složení působením atmosféry, vody, ledu, kolísáním teploty a činností organismů. Výsledkem jsou zvětrávací produkty, které jsou v daných podmínkách stabilní (Vonásková 2012).

Průběh zvětrávání exponovaných povrchů hornin závisí na vnitřních faktorech (minerální složení, struktura a textura) a na vnějších faktorech (např. klimatický

a antropogenní tlak). Změny se týkají především porézniých hornin, jejichž minerály jsou relativně méně odolné vůči zvětrávání a vedou k vývoji povrchové kůry. Kůra, jinak řečeno povrchová kůra, může určitou dobu chránit podpovrchovou vrstvu horniny, ale může být také destruktivní, což povzbuzuje odlupování skalního podkladu. Vliv antropogenních faktorů, zejména znečištění ovzduší, zvyšuje intenzitu zvětrávání a tvorbu sekundární minerálů. Jedná se především o soli, které na povrchu horniny tvoří černou kůru a výkvěty a hromadí se v podloží. Takové změny ovlivňují různé typy hornin, jako jsou vápence a granitoidy. Nejvzdálenější část zvětralinové kůry se často vyvíjí jako tenká, tvrdá, černá nebo tmavě šedá vrstva. Kvůli svým vlastnostem, zejména tvrdosti spojené s přítomností např. amorfního křemíku, se velmi podobá krycím lakům popsáných především na skalách v pouštích nebo na některých površích pískovcových tors v Evropě. Tento jev se také nazývá patina (Marszalek 2014). Patina je specifická makroskopicky rozpoznatelná změna povrchu artefaktů. Barevná změna povrchu suroviny bývá způsobena absorpcí minerálů spodní vody, které do narušeného povrchu pronikají (Vencl 1963). Analogické povlaky vzniklé v důsledku znečištění na kamenných architektonických prvcích v městských oblastech se nazývají falešné patiny (Marszalek 2014).

Zvětrávání je definováno mnoha způsoby. Reiche (1950) definoval zvětrávání jako reakci materiálů, které byly v rovnováze uvnitř litosféry, na podmínky v blízkosti jejího kontaktu s atmosférou, hydrosférou a biosférou. Dle Olliera (1991) je zvětrávání změnami a rozpadem hornin v blízkosti zemského povrchu, a to hlavně reakcí s vodou a vzduchem, vytvářením jílu, oxidů železa a jiných produktů zvětrávání. Selby (1993) označuje zvětrávání jako proces změny a rozkladu půdních a horninových materiálů na povrchu Země a v jeho blízkosti fyzikálními, chemickými a biotickými procesy.

4.2 Typy zvětrávání

Rozlišujeme fyzikální (fyzické), chemické a biologické zvětrávání (tab. 1).

4.2.1 Fyzikální (mechanické) zvětrávání

Fyzikální zvětrávání zahrnuje dezintegraci hornin a minerálů mechanickými procesy. Takové procesy rozkládají materiály na menší části bez změny jejich chemického

složení (Lech a Trewin 2013). Dochází k mechanickému rozpadu horninového materiálu aplikací řady cyklických napětí jako je mrznutí- tání, zvlhčování- sušení nebo ohřívání- chlazení. To vede k eventuálnímu prasknutí horninového materiálu, obvykle podél diskontinuálních ploch a vad uvnitř materiálu (Fookes et al. 1988).

Lech a Trewin (2013) řadí mezi fyzikální zvětrávání tepelné zvětrávání, zamrznutí, pohyb prachových částic, krystalizaci solí a abrazivní působení větru.

4.2.2 Chemické zvětrávání

Při chemickém zvětrávání dochází ke změně fyzikálních i chemických vlastností hornin (Šarapatka 2014). Tyto změny jsou převážně výsledkem interakcí se vzduchem a vodou a chemickými sloučeninami obsaženými v nich. Řadíme sem hydrolyzu, hydrataci, loužení, oxidaci a redukci a karbonatizaci (Lech a Trewin 2013).

Dochází zde až k rozkladu původních minerálů a k tvorbě minerálů nových (Šarapatka 2014). Chemické zvětrávání hornin je jedním z hlavních procesů, které mění povrch Země a je jedním z životně důležitých procesů v geochemickém cyklu prvků. Rychlost a povaha chemického zvětrávání se značně liší a jsou řízeny mnoha proměnnými jako je topografie, klima a biologická aktivita (Middelburg et al. 1988).

4.2.3 Biologické zvětrávání

Biologické zvětrávání je zvětrávání podmíněné činností organismů. Zahrnuje růst kořenů rostlin a činnost organismů (www2).

Tab. 1 – Jednotlivé typy zvětrávání (www3).

TYP ZVĚTRÁVÁNÍ	FYZIKÁLNÍ (MECHANICKÉ)	CHEMICKÉ	BIOLOGICKÉ
SOUVISEJÍCÍ PROCESY	změny termodynamických podmínek	fyzikální zvětrávání, přítomnost vody, vyloučení rozpustných solí	reakce s horninami (rozrušování)
HLAVNÍ AGENTI	mráz, vítr, voda, gravitace, ledovec, organismy	oxidace, redukce, hydrolýza, hydratace, rozpouštění	živé organismy, zejména mikroorganismy
VÝSLEDNÉ PRODUKTY	tor, skalní hříby, stružky, hákování vrstev, morény	jílové minerály, karbonáty, oxidy, hydroxidy	půdy

4.3 Zvětrávání kamenného materiálu

Odolnost kamenů vůči zvětrávání je jedním z rozhodujících faktorů při uvádění kamene na použití ve venkovních prostorech (Příkryl et al. 2003). Stavební kameny se liší v odolnosti vůči zvětrávání. Výběr odolnějších kamenů je často založen na jejich současném stavu na starých budovách. Chování každého konkrétního kamene závisí na podmínkách, kterým je vystaven, a na jeho odolnosti za těchto podmínek. Podmínky zvětrávání se liší podle zeměpisné polohy. Horká, suchá pouštní expozice bude mít na kámen jiný vliv než studené a vlhké podnebí. Například, hlavní činitel poškozování kamene na jihu poblíž pobřeží je mořská sůl, zatímco kámen v severních šířkách je podroben podmínkám zmrazování a rozmrazování. Kámen v suché oblasti může být vystaven velkým teplotním extrémům a abrazivnímu působení prachu a písku (Bortz 1993).

4.4 Zvětrávání metabazitů

Ze studia petrologie a geochemie metabazitů vyplývá, že jejich plagioklasová kompozice přechází z oligoklasu na albit. (Bruand et al. 2011).

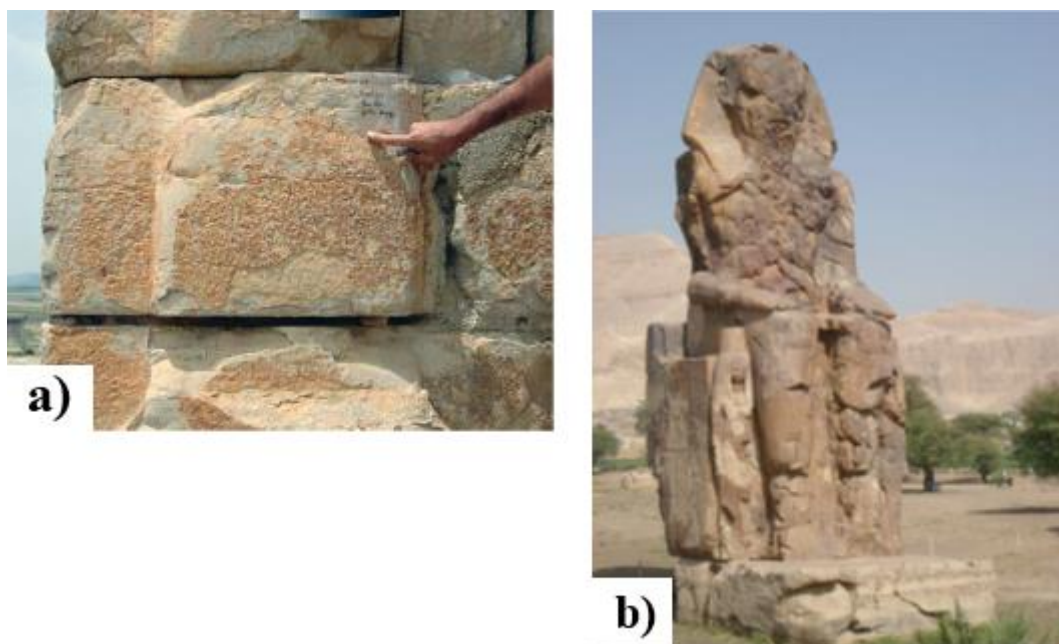
Zvětrávání želešických břidlic nebylo zatím podrobněji zkoumáno, je ovšem známý proces zvětrávání nemetamorfovaných bazických hornin (Eggleton 1987, Chamley 1989). Eggleton (1987) ukázal, že u nich dochází k rychlému odnosu Ca, Mg, K, Na, Rb a Sr, který může korelovat se změnou vulkanického skla na smektit, tvorbou iddingsitu a raným zvětráváním plagioklasu. Zdá se, že Si, Mn, P, Cu a Zn jsou zde pomaleji a rovnoměrně vyluhovány, zatímco Ti, V, Cr, Fe, Ni, Zr, a Nb jsou v hornině v podstatě imobilní. Prvky vzácných zemin a Ba se zpočátku ztrácejí, ale zdá se, že jsou ve zvětralinové kůře přítomny ve zvýšeném množství. Přestože se mezi oblastmi studovanými Eggletonem (1987) klima poněkud liší, nebyl zaznamenán žádný zřejmý vztah mezi klimatem a relativní mírou ztráty prvků. Minerály tří studovaných bazaltů vykazují následující vzorec citlivosti vůči zvětrávání: sklo ~ olivín > plagioklas > pyroxen > opakní minerály. Pořadí citlivosti plagioklasu a pyroxenu, popsané v této práci (Eggleton 1987), je opačné než je obvykle popsáno. Ačkoliv se plagioklas začal přeměňovat dříve než pyroxen, jednou začal pyroxen poměrně rychle zvětrávat a byl úplně přeměněn před plagioklasem. V důsledku toho může plagioklas v alterované formě přetrvávat déle než pyroxen.

4.5 Produkt zvětrávání- patina

Termín patina je znám již od 17.století a zřejmě byl používán bez rozdílů, jestli znamenal povrchové změny, které se objevily na artefaktech přirozenou cestou, nebo uměle vyvolané. Ačkoliv byly většinou oceňovány její pozitivní stránky, termín byl také přičítán korozi, tedy produktu s evidentním škodlivým důsledkem (obr. 5b) (Delgado Rodrigues 2006). Podle Gaubermana a Thorsona (2012) pojem patina popisuje nazelenalý film, který se spontánně vytváří na měděných nebo bronzových předmětech, které vznikly vystavením vlhkým atmosférickým podmínkám.

Z hlediska památkové péče (ICOMOS) je patina chromatickou modifikací stavebního materiálu, která je obvykle výsledkem jeho přirozeného nebo umělého stárnutí a ve většině případů nezahrnuje viditelné poškození povrchu. Lze rozlišovat oxalátovou patinu a patinu bohatou na železo. Oxalátová patina představuje oranžovou až hnědou tenkou vrstvu obohacenou o oxaláty vápníku. Tento druh patiny lze nalézt ve venkovním prostředí, často na mramorových a vápencových podkladech (obr. 5a). Patina bohatá na železo je přírodní černá až hnědá tenká vrstva obohacená o železo nebo jílovité minerály, které lze nalézt

v pískovcích bohatých železem. Tento druh patiny je obecně pozorován ve venkovním prostředí a vyvíjí se zcela rovnoměrně na povrchu kamene.



Obr. 5 – Oxalátová patina vytvořená na vápenci (a) (ICOMOS 2008) a tmavě šedá patina na soše vytvořená v suchém prostředí (b) (Delgado Rodriguez 2006).

Metabazit typu Želešice je patinovaný, pokud lze na jeho povrchu pozorovat střídání tenkých temně a světle zelených pásků lišících se zastoupením tmavých minerálů a živců (Přichystal 2013). V archeologii je možné patinu vnímat jako důkaz většího (blíže však nespécifikovaného) stáří artefaktů. Je to jev, který není závislý pouze na čase, ale také na prostředí, ve kterém jsou artefakty uloženy. Záleží mj. na pH půdy, hloubce uložení artefaktu, vzdálenosti od podzemní vody a na samotné surovině (Vencl 1963).

Mimo kamenné materiály jsou obzvláště náchylné ke zvětrávání také kovy a často vytvářejí charakteristickou patinu. Čisté měděné povrchy vystavené atmosféře rychle tvoří matně hnědou tenkou vrstvu, která se postupně mění na načervenalou hnědou barvu, což indikuje oxid mědi nebo kuprit. Primární chemické složky patiny na mědi a jejich slitinách zahrnují oxidy mědi, sulfidy a anorganické i organické soli mědi (Dorsey a Hanrahan 1996).

5. Želešická břidlice

5.1 Charakteristika

Tímto termínem jsou někdy souhrnně označovány metabazity od Želešic (Bartík et al. 2015), ačkoliv zdejší variabilita hornin je podstatně větší (amfibolity, biotitické ruly, amfibol-biotitické chorizmity, mastek-tremolitové skaliny) (Buriánek 2005). Metabazit představuje souhrnný název pro horniny vzniklé metamorfózou bazických vyvřelin (gaber, hyperitů, noritů, gabrových porfyrů, diabasů, bazaltů apod.). Patří sem zejména zelené a modré břidlice, prasinity, různé druhy amfibolitů a eklogity (Svoboda et al. 1983).

Nástroje vyrobené z těchto materiálů byly přepravovány na velké vzdálenosti (více než 500 km) od zdrojů a využívány pro účely spojené se zemědělstvím (Christensen et al. 2006). Přehled přírodních metabazitů využívaných nebo pravděpodobně využívaných v pravěku na broušené artefakty uvádí obr. 6.

Převládající hornina ze želešického lomu, používaná pro broušené kamenné nástroje, je aktinoliticko-chloritická břidlice s magnetitem (Přichystal 1999). Na čerstvém řezu je tmavě zelená a obvykle má viditelnou metamorfní foliaci. Ve srovnání s metabazity z Jizerských hor, hojně využívanými v neolitu Evropy, a Malých Karpat má výrazně zelenější odstín. Její barva se při zvětvávání mění na zřetelně šedivě zelenou (Přichystal 2013). Střídavé tenké světle a tmavě zelené pruhy, které se liší v množství živců a tmavých minerálů, jsou viditelně na patinovaném povrchu. Struktura horniny je granonematoblastická až nematolepidoblastická (Přichystal 2013). Hornina je složena z jehliček amfibolu-aktinolitu, dále z chloritu a magnetitu, v malém množství, ale pravidelně i z křemene a plagioklasu (Přichystal 1988). Jednou z nejdůležitějších charakteristik zelené břidlice typu Želešice je její vysoká magnetická susceptibilita. Průměrná hodnota v údolí řeky Bobravy a nového želešického lomu je kolem $4,5 \times 10^{-3}$ SI (objemová magnetická susceptibilita) s rozptylem od $10,1$ do 80×10^{-3} SI. Hodnota objemové magnetické susceptibility polotovarů a surovin z Brna-Nový Lískovec se pohybuje od 41 do 46×10^{-3} SI (Přichystal 2013). Na polotovarech seker z Brna-Holásek byla i v důsledku malé tloušťky artefaktů získána data 10 až 35×10^{-3} SI (Přichystal 2013).

5.2 Výskyt a využití

Ze zelené břidlice typu Želešice byly vyráběny především podlouhlé nebo trapézovité sekery. Méně často se objevují trojhranné sekeromlaty, kopytovité klíny ze staršího neolitu a drobné klínky se čtvercovým až okrouhlým příčným průřezem z mladšího neolitu.

Užití zelených břidlic typu Želešice spadá do období od kultury s lineární keramikou (již od nejstarší fáze I; cca 5500 př. n. l., Pavlů 2014) do počátku doby bronzové; jejich nejintenzivnější zpracovávání je zaznamenáno v kultuře s moravskou malovanou keramikou (hlavně v jejím mladším vývojovém stupni) (Přichystal 2013). V eneolitu (cca 3500-2000 př. n. l., Neústupný 2008) použití suroviny pomalu klesá (Kuča a Vokáč 2008). Ukázalo se, že se tento typ břidlice vyskytuje od staršího neolitu na lokalitách jižní Moravy (Brno-Starý a Nový Lískovec, Popovice u Třebíče, Rouchovany a Sptyihněv) a od mladšího neolitu byla exportována i severně na Vyškovsko (Opatovice) a dále na Prostějovsko a Olomoucko (např. v částech vrchu Velký Kosíř zvaných Tři duby a Vápenice). Želešické metabazitové broušené nástroje se nacházejí také v jordanovské (Drnovice a Radslavice, okres Vyškov) a jevišovické kultuře (Brno-Starý Lískovec) a v kultuře se zvoncovitými poháry (Přichystal 2013). Z výskytů mimo území České republiky je třeba zmínit oblast Weinviertelu a Waldviertelu v Rakousku (Přichystal a Trnka 2011) a okolí Györu v severozápadním Maďarsku (Friedel et al. 2008).

Zdroje zelených břidlic s podobným vývojem je možné najít i mimo naše území, a to na západním Slovensku v Malých Karpatech v rámci pezinocko-perneské skupiny (Mérés et al. 2004). Klasické zelené břidlice od Felsőcsatáru na západě Maďarska (Kasztovszky a Szakmány 2004) se odlišují již makroskopicky zřetelnými kumulacemi kyselých plagioklasů. Jako o možném zdroji surovin tzv. broušené industrie se dále uvažuje o amfibolitických břidlicích z Pyszczyńské Góry v jižním Polsku (Sadowski a Wójcik 2006). Vzhledem k tomu, že výzkumy slovenských a maďarských autorů zatím poukazují na skutečnost, že zelené břidlice z Malých Karpat a z Maďarska z okolí Felsőcsatáru byly využívány jen v širším okolí přírodních zdrojů, jeví se Želešice a Jistebsko – Velké Hamry v Jizerských horách jako nejvýznamnější potenciální zdrojové lokality pro neolit jižní Moravy (Přichystal a Valová 2010).



Obr. 6 – Přehled přírodních výskytů metabazitů využívaných nebo pravděpodobně využívaných v pravěku na broušené artefakty: 1 – Želešice u Brna, 2 – Jistebsko u Jablonce nad Nisou, 3 – Velké Hamry u Tanvaldu, 4 – Pernek v Malých Karpatech (Slovensko), 5 – Felsöc, 6 – Pyszczyńska Góra východně od Strzelina (Polsko) (Přichystal a Valová 2010).

6. Metody výzkumu

Z lomu u Želešic bylo odebráno 8 ks vzorků želešické břidlice, které byly analyzovány spolu se dvěma kamennými artefakty, vyrobenými ze želešické břidlice dle makroskopických kritérií (barva jejich patiny a nezvětralého/nepatinovaného povrchu). Jeden pochází z Březolup na Zlínsku (sídliště kultury s MMK) a druhý je součástí muzejní sbírky Městského muzea v Moravském Krumlově. Všechny vzorky mi byly poskytnuty vedoucím práce.

Laboratorní práce jsem provedla na Katedře geologie Univerzity Palackého v Olomouci. Vzorky jsem roztřídila do igelitových sáčků a přiřadila jim čísla od 1 do 10.

6.1 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita (MS) charakterizuje schopnost vzorku namagnetovat se ve vnějším magnetickém poli (Dunlop a Özdemir 1997). Jedná se o bezrozměrnou fyzikální veličinu. Podle hodnoty magnetické susceptibility rozlišujeme diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické látky. Lze ji měřit příručním kapametrem i laboratorním kapamůstkem.

Vzorek je vložen do jádra cívky, která dle nastavení indukuje magnetické pole o přesně dané frekvenci. Po ustání indukce zůstane přítomen ve vzorku zbytkový magnetismus, který dán do poměru s intenzitou magnetického pole udá hodnotu magnetické susceptibility (Oldfield a Thompson 1986).

K měření objemové magnetické susceptibility, udávané např. v práci A. Přichystala, byl použit příruční kapametr KT-6 a bylo proměřeno všech 10 vzorků. Výsledky byly následně zváženy s přesností na setinu gramu přepočítány na hodnoty hmotnostní magnetické susceptibility (MS_{mass}). Cílem bylo zejména potvrdit, že oba artefakty jsou vyrobené ze želešické břidlice, protože je charakteristická právě vysokou MS.

6.2 Optická mikroskopie

Ze vzorku želešické břidlice nalezené v lomu (vzorek č. 6) byl vyhotoven petrografický leštěný výbrus. Vzorek byl seříznut pilou s diamantovým kotoučem na tloušťku cca 0,5 cm. Následně byl nalepen na laboratorní sklo a bylo provedeno progresivní broušení na brusidlech o zjemňující se frakci až na tloušťku cca 0,03 mm. Nakonec byl výbrus leštěn na leštičce na dvou různě drsných kotoučích (3 a 0,25 μm) v časovém intervalu 30 minut pro každý kotouč. Hotový výbrus byl pozorován pod optickým polarizačním mikroskopem Olympus BX-50p s digitální videokamerou PixeLINK PLA 642.

6.3 Skenovací elektronová mikroskopie

Skenovací elektronová mikroskopie používá přístroje s elektronovým paprskem, které dokáží poskytnout snímky o rozlišení v řádu desetin až několika jednotek nanometrů (Khursheed 2011). Zdrojem elektronů je žhavená katoda. Svazek elektronů je zaostřen pomocí elektronové optiky. Těsně nad vzorkem je deflekční cívka, která vychyluje svazek tak, že přejíždí po řádcích celou plochu vzorku. Odražené (BSE) či sekundární (SE)

elektrony jsou v detektorech převáděny na optický signál na obrazovce. Pracovní prostor skenovacího mikroskopu je vyvakuován a vzorky vodivě pokoveny (Goldstein et al. 2003).

6.3.1 Energiově disperzní skenovací elektronová mikroskopie

Zkratka metody je SEM-EDX (z anglického scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray).

Snímky s vysokým rozlišením povrchové topografie s vynikající hloubkou ostrosti jsou vytvářeny pomocí skenovacího (primárního) elektronového paprsku (www4). Primárním svazkem vybuze RTG záření snímá detektor (Dolníček a Sulovský 2013). Nejčastěji se používá detektor Si (Li) chlazený na kryogenní teplotu kapalným dusíkem. Novější systémy jsou nyní často vybaveny detektory s křemíkovým driftem (SDD) a chladícím systémem Peltier (Goldstein 2003). Energií rtg. kvant mění Si-krystal na elektrický náboj, který je zesilován a registrován v řídicím počítači. Získané spektrum se pak vyhodnotí a přepočítá na obsahy jednotlivých prvků (Dolníček a Sulovský 2013).

Možnou nevýhodou SEM-EDX pro analýzu rytin může být jeho nedostatečná citlivost v nízkém vakuu nebo nemožnost analyzovat větší hloubky u nerovných ploch. Výhodou je, že se jedná o nedestruktivní metodu.

SEM-EDX s nízkým vakuem umožňuje rovnoměrné zvětšení, vysoké rozlišení a kontrolovatelnost kontrastu a jasů (Bond a Parkinson 2018). Zařízení s nízkým vakuem umožňuje umístit předměty do komory s malou nebo žádnou přípravou, což je výhodou oproti režimu s vysokým vakuem, který obecně vyžaduje, aby byl vzorek povlečen uhlíkem (www5).

K metodě SEM-EDX pro leštěný výbrus byla použita elektronová mikrosonda JEOL JXA-8600 SUPERPROBE na Katedře geologie PřF UP. Byla provedeno celkem 44 měření, z toho 19 analýz zrn amfibolu v místech uprostřed výbrusu horniny z výchozu (na nezvětralém povrchu) a následně 20 při okrajích, na místech zvětralinové krusty (patiny). Naměřené hodnoty amfibolů byly přepočítány na 23 atomů kyslíku a vyneseny do diagramu podle Leake et al. (1997). Také bylo provedeno 5 analýz zahrnujících plochu cca 0,2 x 0,2 mm pro zjištění rozdílů mezi chemickým složením zvětralých a nezvětralých ploch. Výsledky byly vyhodnoceny v programu Statistica 12 (StatSoft Inc.).

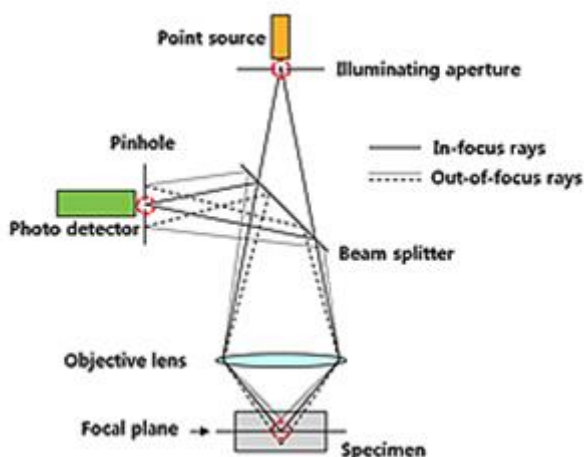
Pro analýzu obou kamenných seker (vzorek č. 1 a 10) byla doc. RNDr. Jindřichem Štelclem, CSc. na pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty MU v Brně použita metoda SEM-EDX (skenovací mikroskop JEOL JSM-6490 LV s nízkým vakuem kolem 0,1-20 mbarů). Nízké vakuum bylo použito, aby nedošlo k modifikaci artefaktů jejich napařením. Celkem bylo provedeno 13 měření u velké sekerky, z toho sedm měření na zrnech amfibolů (v rytině i na navětralém povrchu) a šest plošných analýz, zahrnujících plochu cca 0,2 x 0,2 mm. U malé sekerky byl celkový počet měření 10, z toho osm pro amfiboly (v rytině i na navětralém povrchu) a dvě pro plošné (0,2 x 0,2 mm) analýzy. Naměřené hodnoty amfibolů byly přepočítány na 23 atomů kyslíku a vyneseny do diagramu podle Leake et al. (1997). Spolu s plošnými analýzami byly vyhodnoceny v programu Statistica pro zjištění rozdílů mezi chemickým složením amfibolů/ploch 0,2 x 0,2 mm na povrchu artefaktů mimo i uvnitř rytin. Předpokladem bylo, že potenciálně více zvětralá, zřejmě pravěká rytina na menší sekerce bude vykazovat chemismus podobný okolnímu zvětralému povrchu artefaktu, zatímco potenciálně recentní (dle pozorování pouhým okem) rytina na větší sekerce zvětralá nebude a její chemismus (či chemismus jednotlivých zrn amfibolů) se bude odlišovat jak od okolního povrchu, tak od chemismu rytin na menší sekerce (obr. 12).

6.4 Konfokální mikroskopie a povrchová drsnost

Konfokální mikroskopie dosahuje vyššího rozlišení a kontrastu než ostatní metody světelné mikroskopie. Výhoda spočívá v potlačení signálu z rovin nad a pod rovinou zaostření a možnosti snímání sérií optických řezů. Předností a zároveň omezením metody je využití laseru jako zdroje světla, protože intenzivní osvětlení vzorku přispívá k rychlejšímu vysvícení použitých fluorochromů nejen v místě snímání, ale i v místech kudy paprsek prochází k místu zaostření (www6).

Laserový paprsek je fokusován na clonku, která je objektivem mikroskopu zobrazena na vzorek, do bodu o průměru rovnajícím se rozlišovací schopnosti objektivu (difrakční mez). Tentýž objektiv pak sbírá světlo vzorkem odražené nebo rozptýlené, popřípadě jeho fluorescenci. Po zpětném průchodu tohoto sekundárního záření objektivem vznikne další obraz bodové clonky, který je pomocí děliče paprsků lokalizován přes fotonásobič. Zde se nachází druhá, konfokální bodová clonka, blokující detekci záření pocházejícího z míst vzorku mimo rovinu, do které je mikroskop právě zaostřen. Obraz celé zaostřené roviny pak

získáme jejím rastrováním (Pawley 1990). Grafický princip konfokálního mikroskopu znázorňuje obr. 7.



Obr. 7– Princip konfokálního mikroskopu (www7).

Povrchová drsnost, často měřená konfokálním mikroskopem, je kvantifikována odchylkami od ideální roviny (či od normálového vektoru kolmého na ideální rovinu). Je součástí prakticky všech povrchových struktur. Může být vytvořena obráběním nebo širokou škálou faktorů (např. povahou materiálu), také hraje důležitou roli při definování charakteru povrchu (www8). Pokud jsou odchylky od normálu velké, je povrch drsný; pokud jsou malé, povrch je hladký (Zhai et al. 2015). Pro účely této BP jsem předpokládala, že povrchová drsnost bude nižší u zvětralého povrchu starší rytiny, kde by mělo dojít časem k abrazi ostřejších hran.

Snímky povrchu pravěkých sekerek byly vyhotoveny na konfokálním mikroskopu Ing. Hynkem Hadrabou, Ph.D. na Ústavu fyziky materiálů v Brně.

6.5 Analýza hlavních komponent (PCA)

Jde o multivariační statistickou metodu, jejíž název pochází z anglického Principal Component Analysis (PCA). Jejím základním cílem je zjednodušení popisu skupiny vzájemně lineárně závislých, tedy korelovaných znaků. Snaží se redukovat počet znaků bez velké ztráty informace (Meloun et al. 2005). Použila jsem ji pro vystopování rozdílů v chemickém složení uvnitř rytin artefaktů a na jejich nemodifikovaném povrchu.

7. Výsledky

7.1 Magnetická susceptibilita

Hodnoty hmotnostní magnetické susceptibility měřené na všech vzorcích jsou uvedeny v tabulce č. 2. Vzorek č. 1 je větší kamenná sekerka z muzejní sbírky a vzorek č. 10 je menší kamenná sekerka z Březolup na Zlínsku. Z tabulky je zřejmé, že výsledné hodnoty jsou vysoké, s mírnou odchylkou u vzorku č. 1. Následná analýza amfibolů (viz níže) však ukazuje, že i vzorek 1 je zřejmě vyroben z amfibolické břidlice od Želešic.

Tab. 2: Výsledky měření hmotnostní magnetické susceptibility.

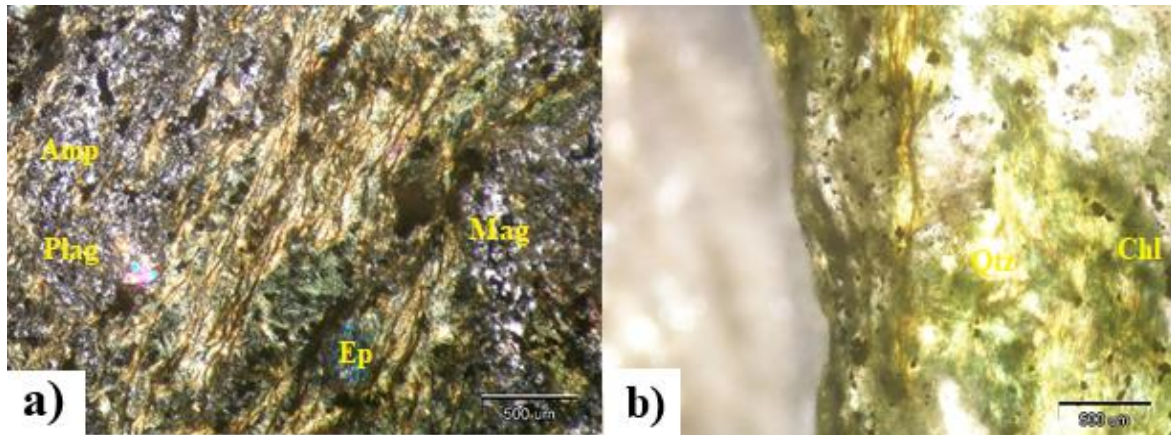
číslo vzorku	„MSbulk“(x10 ⁻³ SI)	hmotnost (g)	„MSmass“
1.	0,63	221,89	2,84E-08
2.	22,2	61,23	3,63E-06
3.	20,1	56,51	3,56E-06
4.	0,81	14,8	5,47E-07
5.	29	72,24	4,01E-06
6.	23	210,63	1,09E-06
7.	20,8	64,84	3,21E-06
8.	4,9	68,1	7,20E-07
9.	33	36,94	8,93E-06
10.	2,84	10,11	2,81E-06

7.2 Optická mikroskopie

Základní hmota studovaného výbrusu je převážně jemnozrná a tvořena živcem (plagioklasem), amfibolem a těž epidotem. Dalšími přítomnými minerály jsou chlorit, křemen a magnetit (obr. 8).

Plagioklas je bezbarvý, některá zrna jsou zakalená, tvar zrn je tabulkovitý nebo nepravidelný a omezení zrn je automorfní. Velikost zrn se pohybuje v rozmezí cca 0,1- 0,5 cm. Plagioklas je málo stabilní a podléhá sericitizaci, která se projevuje zakalením. Některá zrna spolu dvojčatně srůstají. Amfibol tvoří nepravidelná zrna a jehličky, jejichž velikost je cca 0,3-0,6 cm. Při pozorování se zkříženými nikoly má žlutozelenou interferenční barvu II. řádu a viditelný pleochroismus od téměř bezbarvé do světle zelené, štěpnost není zřetelná. U některých zrn je patrná chloritizace. Zrna epidotu jsou nepravidelného tvaru,

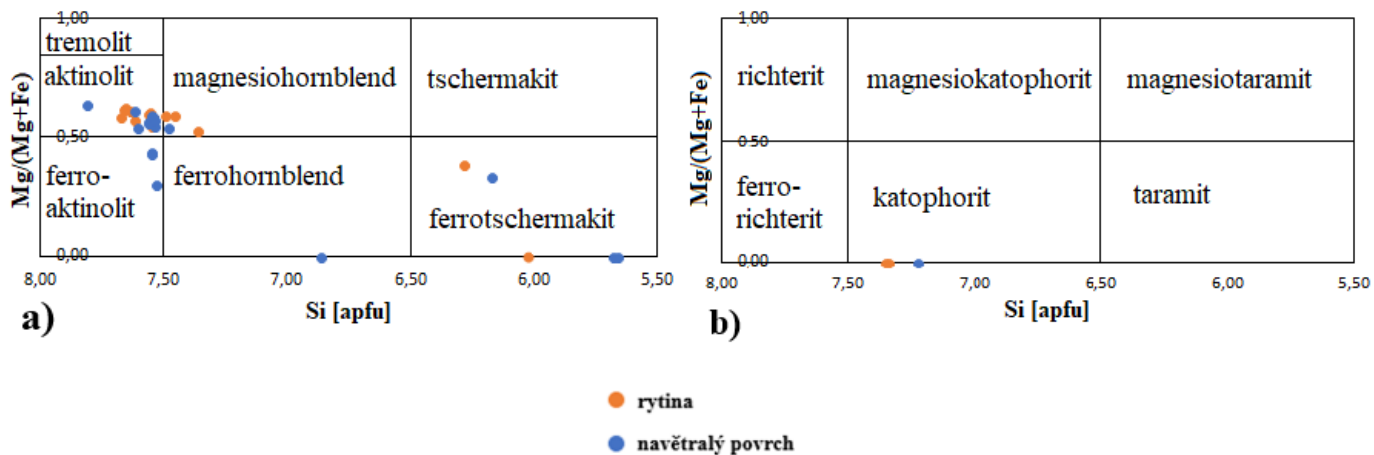
hypautomorfně omezená, bezbarvá a bez štěpnosti. Jejich velikost je v rozpětí cca 0,1-0,2 cm. U některých zrn je patrné políčkování. Při zkřížených nikolech je pozorována tyrkysově modrá nebo červenofialová interferenční barva I. řádu. Chlorit má nazelenalou barvu a je pleochroický od světle zelené do tmavě zelené. Tvoří vlákna nebo celistvé agregáty. Při jednom okraji výbrusu se nachází křemenná žíla. Křemen je bezbarvý a tvoří xenomorfně omezená zrna. Undulózní zhášení nebylo pozorováno. Magnetit je po celé ploše výbrusu rovnoměrně rozptýlen a jeho velikost je mezi 0,05-0,2 cm.



Obr. 8 – Výbrus želešické břidlice s amfibolem, magnetitem, epidotem, plagioklasem a křemenem, XPL (a) a okraj výbrusu želešické břidlice s chloritem, křemenem a magnetitem, XPL (b).

7.3 EDX výbrusu vzorku z výchozu

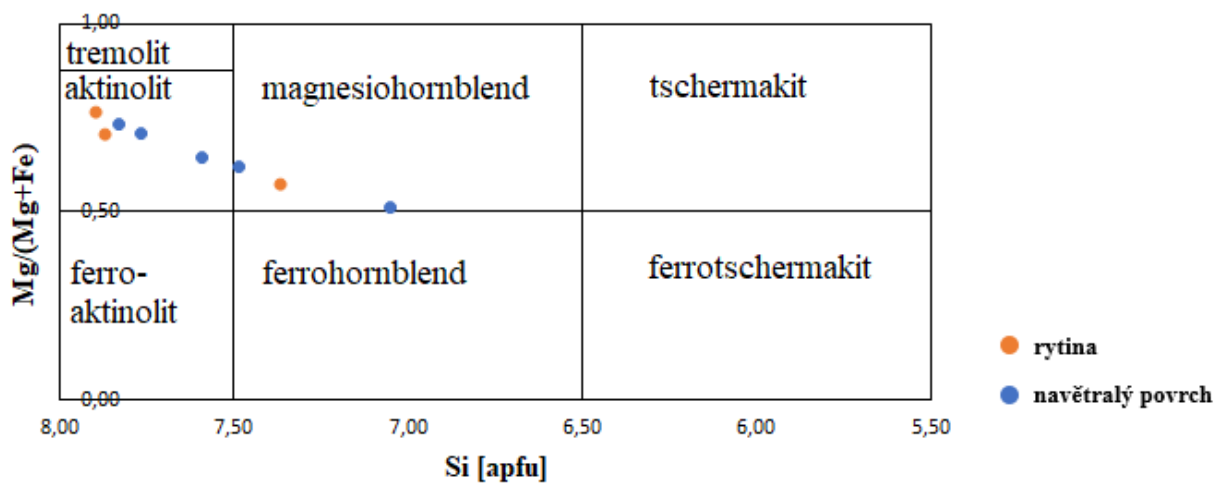
Podle klasifikace Leake et al. (1997) patří jak amfiboly ze středu výbrusu, tak i amfiboly z okraje výbrusu mezi vápenaté a sodno-vápenaté amfiboly, přičemž vápenaté zcela převažují. Podle množství Si a poměru $Mg/(Mg+Fe)$ se jedná o dominující aktinolit, dále o magnesihornblend, ferroaktinolit a ferrotschermakit. V případě jednoho bodu také o ferrohornblend. V případě sodno-vápenatých amfibolů se jedná o katophorit. Obr. 9a a 9b ukazují bez potřeby statistických metod, že chemismus amfibolů na zvětralém povrchu se od středu horniny neliší.



Obr. 9 – Klasifikace vápenatých amfibolů (a) a sodno-vápenatých amfibolů (b) ve výbrusu horniny z výchozu u Želešic. Upraveno podle Leake et al. (1997).

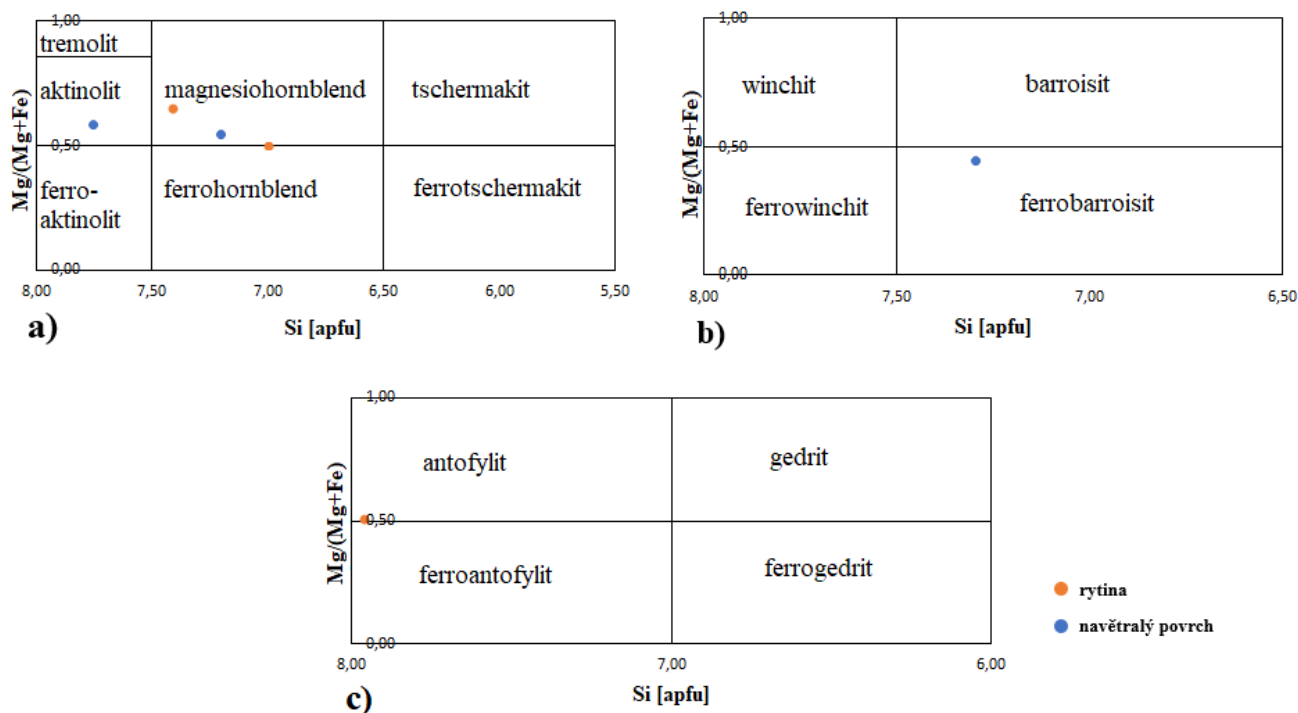
7.4 EDX povrchu artefaktů

Podle klasifikace Leake et al. (1997) patří amfiboly měřené na malé sekerkce v místě rytin i na navětralem okraji mezi vápenaté amfiboly. Podle množství Si a poměru $Mg/(Mg+Fe)$ se jedná o aktinolit a magnesiohornblend (obr. 10).



Obr. 10 – Klasifikace vápenatých amfibolů pro malou sekerku. Upraveno podle Leake et al. (1997).

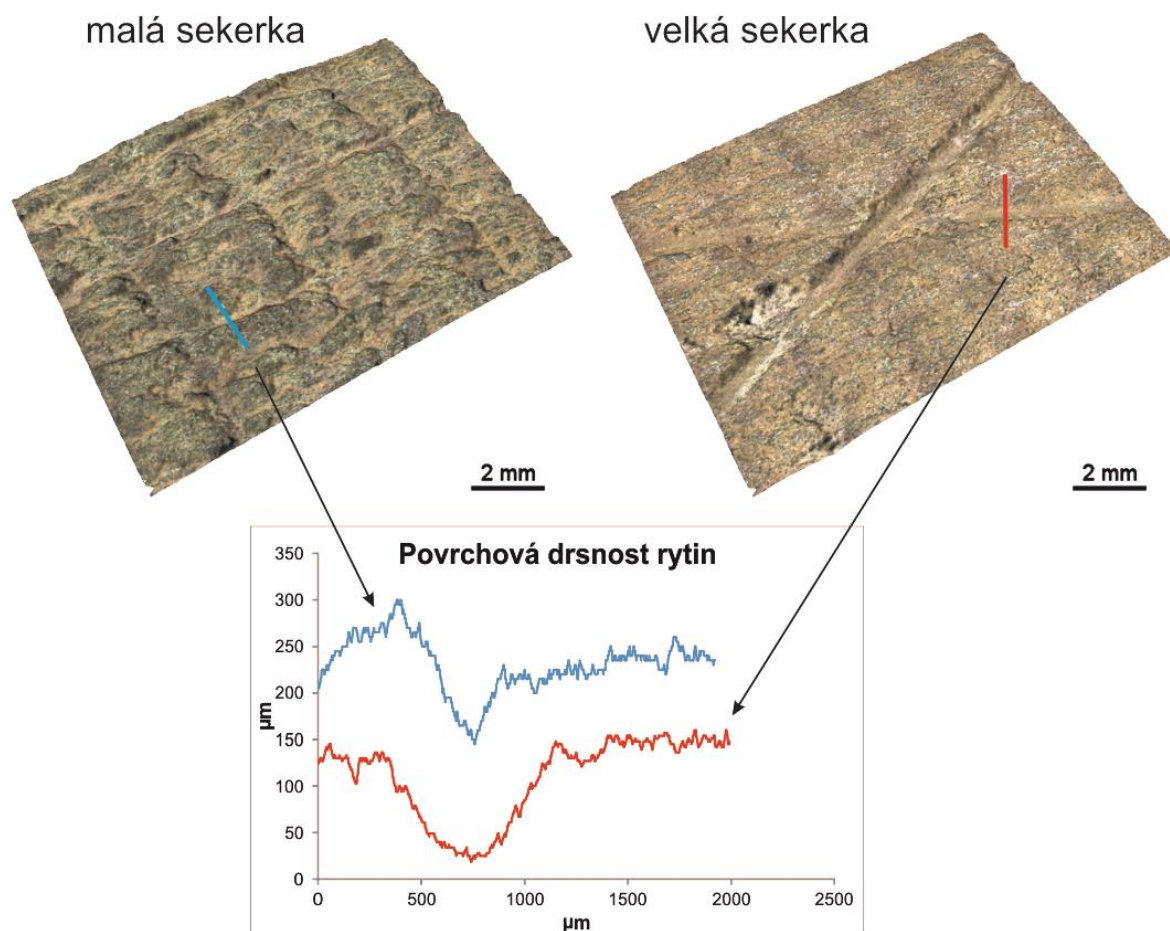
V případě velké sekerky patří amfiboly měřené v rytině i na navětralém povrchu mezi vápenaté amfiboly (obr. 11a). Podle poměru Si a $Mg/(Mg+Fe)$ se jedná o aktinolit a magnesiohornblend. Na navětralém povrchu se vyskytuje také sodno-vápenatý amfibol, konkrétně ferobarroisit (obr. 11b) a v rytině se vyskytuje Mg-Fe-Mn-Li amfibol antofylit (obr. 11c).



Obr. 11– Klasifikace vápenatých amfibolů (a), sodno-vápenatých amfibolů (b) a Mg-Fe-Mn-Li amfibolů (c) pro velkou sekerku. Upraveno podle Leake et al. (1997).

7.5 Konfokální mikroskopie a povrchová drsnost

Na obr. 12 jsou vybrané naskenované segmenty obou seker. Z fotografií je patrné, že u větší sekerky (vpravo) jsou rytiny čerstvější, tedy potenciálně mladší než u malé sekerky (vlevo), toto ovšem zřejmě není podloženo měřením povrchové drsnosti- rytina na malé sekerce je totiž jakoby více profilovaná než relativně zaoblená rytina na větší sekerce (obr. 12 dole)

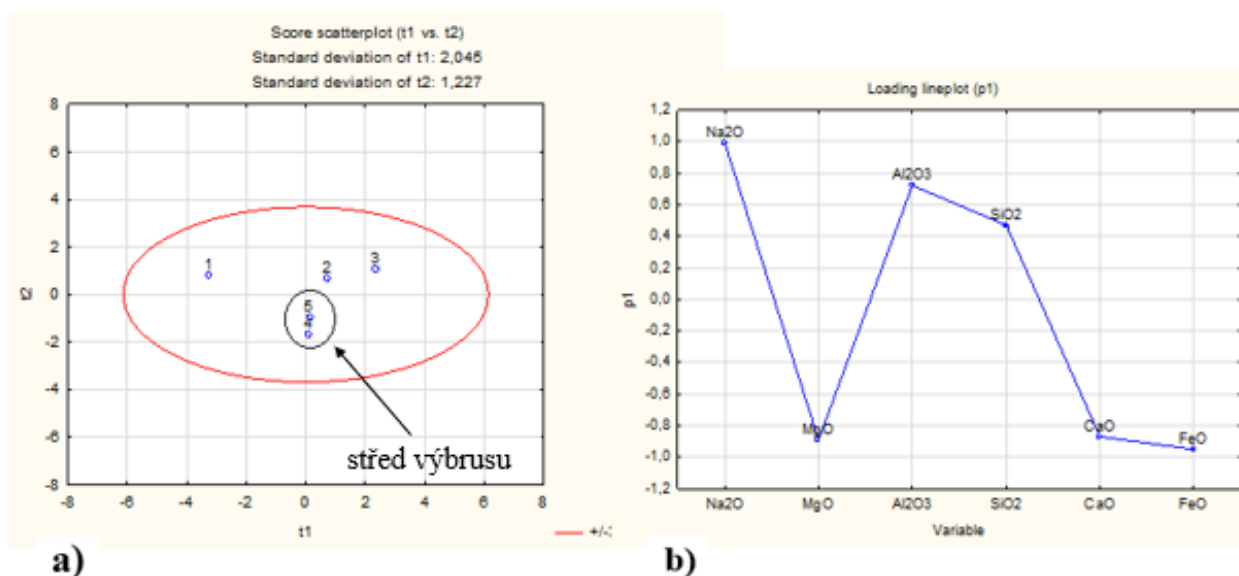


Obr. 12 – Malá a velká sekerka s pravděpodobně pravěkou (vlevo) a pravděpodobně recentní (vpravo) rytinou a vyjádřením povrchové drsnosti v místech rytin (foto H. Hadraba).

7.6 Statistika

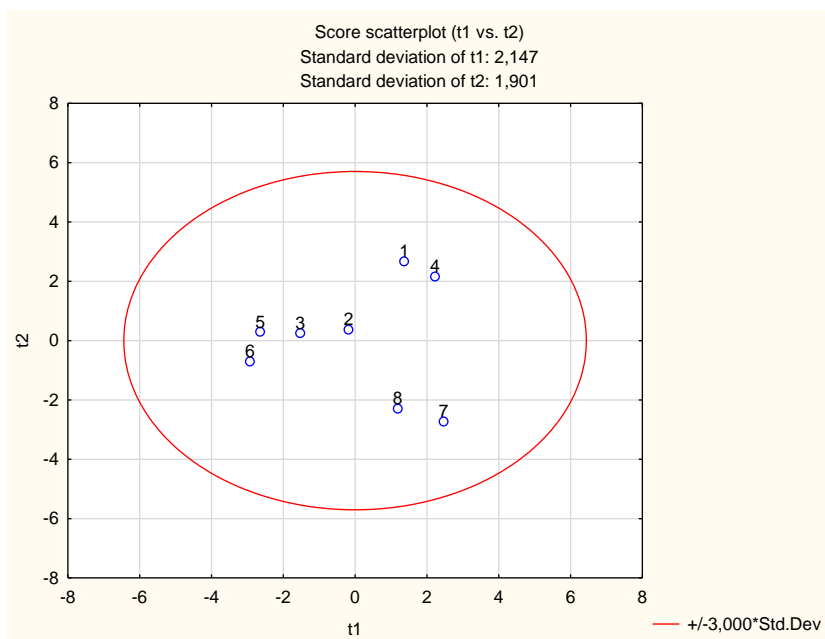
Pro statistické zpracování plošných analýz výbrusu i obou sekerek byla použita analýza hlavních komponent (PCA). U výbrusu bylo porovnáváno měření při okraji s měřením ve středu výbrusu, přičemž okraj reprezentuje navětralý povrch. Ve shlukovém diagramu (obr. 13a), značí čísla 1, 2 a 3 okraj výbrusu a čísla 4 a 5 potom jeho střed. Je tedy patrné, že chemismus okraje výbrusu se od středu liší, což je nejvíce ovlivněno oxidy Na, Mg, Ca a Fe, méně pak Al a Si (obr. 13b). Tzv. loading line plot totiž vyjadřuje, do jaké míry je daná hlavní komponenta (PC) ovlivněna jednotlivými proměnnými (oxidy prvků, v tomto

případě). Čím větší hodnota na levé ose (obr. 13b), ať kladná či záporná, tím více daný prvek/oxid ovlivňuje danou komponentu.



Obr. 13 – Scatterplot plošné analýzy výbrusu (a) a lineplot zastoupených prvků (b).

PCA analýza byla provedena také pro plochy obou sekerek dohromady. V použitém scatterplotu (obr. 14) je čísla 1-6 označena velká sekerka, konkrétně čísla 1, 2, 3 a 4 představují navětralý povrch a čísla 5 a 6 rytinu. Malá sekerka nese čísla 7 a 8, přičemž 7 je navětralý okraj a 8 představuje rytinu. Zde je patrné, že navětralý povrch velké sekerky se může (1 a 4), ale nemusí (2 a 3) od jejích rytin lišit. Jasně se odlišuje chemismus ploch malé sekerky od velké, ale ani zde není patrný rozdíl mezi rytinou a okolním povrchem.



Obr. 14– Scatterplot ploch velké a malé sekerky.

8. Diskuze

U vzorků želešické břidlice z želešického lomu a dvou pravěkých sekerok byla změřena hmotnostní magnetická susceptibilita za účelem potvrzení předpokladu, že se skutečně jedná o uvedený typ horniny. Výsledky se shodují s tvrzením Přichystala (2013), že typickou vlastností zelené břidlice typu Želešice je vysoká magnetická susceptibilita. Velká pravěká sekerka má sice nižší MS, zastoupení analyzovaných amfíbolů ale napovídá, že i zde jde o tutéž horninu.

Při pozorování pouhým okem je patrné, že rytina na menší sekerce je více profilovaná než rytina na větší sekerce. To může být pravděpodobně způsobeno použitím ostřejšího předmětu při vyhotovení rytin.

Po změření magnetické susceptibility byl z náhodného vzorku, nalezeného v želešickém lomu, vyhotoven leštěný petrografický výbrus. Ten byl zkoumán pod polarizačním mikroskopem. Z důvodu destruktivity nemohl být výbrus vyhotoven z kamenných artefaktů. Přichystal (1988) popsal želešickou břidlici jako horninou složenou z aktinolitu, chloritu,

magnetitu, plagioklasu a křemene. Mikroskopie mého výbrusu tvrzení zmíněného autora potvrzuje.

Následně byl výbrus podroben metodě SEM-EDX ve vysokém vakuu, kde byla proměřena zrna amfibolu a také bylo provedeno několik plošných analýz. Cílem bylo nalézt rozdíly mezi zvětralou a nezvětralou vrstvou. Z obr. 8 je zřejmé, že se typy vápenatých amfibolů, zejména aktinolit, u středu a u navětralého okraje výbrusu vzájemně prolínají a tudíž se neliší. Amfiboly zde tedy nejsou dobrým indikátorem stáří rytin a chemické složení navětralého povrchu (patiny) není za použití dané metody odlišné od samotné horniny. Z PCA analýzy ploch výbrusu (obr. 16) je patrné, že hodnoty u středu výbrusu (čísla 4 a 5) tvoří shluk, stejně tak hodnoty měřené při okraji (čísla 1, 2 a 3). Pravděpodobně je to způsobeno odlišným chemismem horniny na povrchu ploch a v jejím středu. Zdá se však, že plochy na okraji se liší i od sebe navzájem, tj. analýza č. 1 od č. 2 a 3. Je možné to vysvětlit tak, že dochází k přínosu nebo odnosu určitých prvků z povrchu. Mezi tyto prvky patří Na, Ca, Mg a Fe. Naopak méně jsou zvětráváním (patinací) zřejmě ovlivněné Al a Si, což se částečně shoduje s analýzami Eggletona (1987) pro bazalty, kdy Na, Ca a Mg zvětrávaly nejrychleji. Pouze Fe je podle daného autora u zkoumaných bazaltů imobilní, což s mými daty nesouhlasí (obr. 17). Železo může vykazovat časnou ztrátu při alteraci horniny ve vodním prostředí (Chamley 1989), může být ale též na povrchu vzorků průsaky nabohaceno a zřejmě není vhodným rozlišovacím kritériem.

Cílem SEM-EDX pod nízkým vakuem bylo u obou pravěkých kamenných artefaktů porovnat chemismus zvětralé a nezvětralé vrstvy. Opět byla proměřována jak samostatná zrna amfibolů, tak větší plochy, zahrnující zřejmě i ostatní minerální fáze (Pl., Ep., Mag. či jiné). U malé sekerky se typ vápenatých amfibolů v rytině a na navětralém povrchu neliší. Větší sekerka má složení amfibolů o něco rozmanitější. Kromě vápenatých amfibolů, kde nedochází ke změně mezi rytinou a navětralým povrchem, obsahuje ještě sodno-vápenatý amfibol a Mg-Fe-Mn-Li amfibol. Z grafů (obr. 12 a obr. 13) je zřejmé, že na navětralém povrchu se nachází ferobarroisit náležející k sodno-vápenatým amfibolům a v rytině antofylit patřící mezi Mg-Fe-Mn-Li amfiboly. Rytina a navětralý povrch obou seker se v tomto případě liší typem amfibolu, ovšem jedno měření nelze zobecňovat. PCA analýza ploch obou seker (obr. 18) naznačuje, že v některých místech by se zvětralý povrch mohl chemicky lišit od rytin. Tento náznak vychází z analýz povrchu č. 1 a 4 (mimo rytiny), které tvoří shluk v PCA scatterplotu. Zároveň ale dochází také ke shlukování navětralého okraje a rýh, reprezentované čísly 2-6 u velké sekerky a čísly 7 a 8 u velké sekerky. Pro

relevantnější analýzu by bylo pravděpodobně potřeba více dat nebo zvolení citlivější metody, např. spektrometru s detektorem umožňujícím vysílání elektronového proudu do středu rytiny (což není možné u pevného detektoru v použitém přístroji s nízkým vakuem), případně metodu schopnou profilování (skenování) chemismu do větší hloubky (např. LA-ICP-MS). Pro většinu LA-ICP-MS spektrometrů jsou ovšem obě sekerky příliš velké a nevejdou se do ablační komory. Nezbyvá než uzavřít, že rytina na malé sekerce je starší než ta na velké sekerce pouze na základě makroskopického pozorování a zkušenosti archeologů, kteří ji předali k analýze.

9. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabývala rozlišováním recentních a pravěkých rytin na dvou pravěkých kamenných sekerkách na základě rozdílu v chemismu zvětralé a nezvětralé vrstvy.

U vzorků z výchozů i u artefaktů byla měřena hmotnostní magnetická susceptibilita, jejíž vysoká hodnota potvrdila, že všechny vzorky jsou skutečně ze želešické břidlice. Daná hornina byla blíže charakterizována pomocí polarizačního mikroskopu na zhotoveném výbrusu z výchozu.

Ten byl rovněž podroben metodě SEM-EDX ve vysokém vakuu a pravěké sekerky byly zkoumány pomocí SEM-EDX v nízkém vakuu. Všechny hodnoty byly přepočítány a vyhodnocovány pomocí programů Microsoft Excel a Statistica. Chemismus horniny se patně liší od jejího navětralého povrchu, což je to ale patrné jen při analýze SEM-EDX ve výbrusu (ve vysokém vakuu). Metoda SEM-EDX nebyla v nízkém vakuu dostatečně citlivá nebo paprsek interagoval i s povrchem mimo rytiny. Změna chemismu ovšem zcela jasně nepostihuje amfiboly, ale spíše ostatní minerální zrna (např. plagioklasy). Na ty by bylo potřeba se zaměřit v příští práci.

Stáří rytin lze teoreticky odhadnout analýzou drsnosti povrchu v konfokálním mikroskopu, kdy by měly být starší rytiny více zašlé a ohlazené, mnou použitou analýzou se to ale nepotvrdilo. Pro přesnější stanovení odlišného stáří rytin dvou artefaktů by bylo pravděpodobně vhodné vyhotovit výbrus v místě rytin, což by ovšem bylo příliš

destruktivní. Alternativou by bylo napaření vzorků a jejich analýza ve vysokém vakuu, případně jiná citlivější metoda (např. LA- ICM- MS).

10. Použitá literatura

- Bartík, J., Krmíček, L., Rychtaříková, T., Škrdla, P. (2015): *Primárně zpracovatelská dílna na amfibolitové těleso u Želešic*. – Přehled výzkumů, 56-1, 31-57.
- Bond, P., Parkinson, D. B. (2018): *The use of low vacuum scanning electron microscopy (LVSEM) to analyze peripheral nerve samples*. – In: Monje, P., Kim, H. (eds): *Schwann Cells. Methods in Molecular Biology*. Humana Press, New York, 349-357.
- Bortz, S., Chin, I., Stecich, J., Wonneberger, B. (1993): *Accelerated weathering in building stone*. – *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 30, 1559-1562.
- Bruand, E., Bonnad, P., Gasser, D., Stuewe, K. (2011): *The petrology and geochemistry of a metabasite belt along the southern margin of Alaska*. – *Lithos*, 127, 282-297.
- Buriánek, D. (2005): *Metamorfni vývoj želešického amfibolitového tělesa (Brněnský masiv)*. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2004*, Brno, 82-87.
- Buriánek, D., Gilíková, H. (2011): *Ryolity v metadioritové zóně brněnského masivu*. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku 2011/2*, 118-124.
- Delgado Rodriguez, J. (2006): *Stone patina. A controversial concept of relevant importance in conservation*. – In: Delgado Rodriguez, J., Manoel, J. (eds.): *International Seminar – Theory and Practice in Conservation: a tribute to Cesare Brandi*. Lisboa: LNEC, 2006, 127-138.
- Dolníček, Z., Sulovský, P. (2013): *Laboratorní metody výzkumu*. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 81 pp.
- Dorsey, J., Hanrahan, P. (1996): *Modeling and Rendering of Metallic Patinas*. – In: *Proceeding SIGGRAPH 1996*, New Yourk, USA, 387-396.
- Dunlop, J. D., Özdemir, Ö. (1997): *Rock Magnetism: Fundamentals and frontiers*. – Cambridge University Press, United Kingdom, 596 pp.

- Eggleton, A. R., Foudoulis, Ch., Varkevisser, D. (1987): *Weathering of basalt: changes in rock chemistry and mineralogy*. – Clays and Clay minerals, 35, 161-169.
- Filip, J., Novák, M. (2002): *Ferroan magnesioaxinite from hydrothermal veins at Lažany, Brno Batholith, Czech Republic*. – Neues Jahrbuch für Mineralogie-Monatshefte, 9, 385-399.
- Finger, F., Tichomirowa, M., Pin, C., Hanzl, P. (2000): *Relics of an Early-Panafricanensimatic metabasite-metarhyolite formation in the Brno Massif, Eastern Czech Republic*. – International Journal of Earth Sciences, 89, 328-335.
- Fookes, G. P., Gourley, S. C., Ohikere, C. (1988): *Rock weathering in engineering time*. – Quarterly Journal of Engineering Geology, 21, 33-57.
- Friedel, O., Biró, K. T., Bradák, B., Szakmány, G., Szilágyi, V. (2008): *Archaeometrical processing of polished stone artefacts of the Ebenhöch-collection (Hungarian National Museum, Budapest, Hungary)*. – Archaeometrial Műhely ,3, 1-12.
- Glauberman, J. P., Thorson, M. R. (2012): *Flint Patina as an Aspect of “ Flaked Stone Taphonomy “: A Case Study from the Loess Terrain of the Netherlands and Belgium*. – Journal of Taphonomy, 10, 21-43.
- Goldstein, J. I., Joy, D. C., Michael, J. R., Newbury, D. E., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J. (2003): *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. – Springer, New York, 550 pp.
- Gregerová, M., Štecl, J. ml., Hájek, J., Hroudá, F., Janák, F., Ondra, P. (1986): *Metabazitová zóna*. – In: Štecl, J., Weiss, J., Gregerová, M., Staněk, J., Štecl, J. ml. (1986): *Brněnský masiv, Univerzita J. E. Purkyně v Brně, Brno*, 87-140.
- Höck, V., Leichmann, J. (2008): *The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit, eastern margin of the Bohemian Massif*. – Journal of Geosciences, 53, 281-305.
- Chamley, H. (1989): *Clay sedimentology*. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 623 pp.

- Christensen, A. M., Holm, P. M., Petrasch, J., Schuessler, U. (2006): *Indications of a major Neolithic trade route – an archaeometric geochemical and Sr, Pb isotope study on amphibolitic raw material from present day Europe.* – Applied Geochemistry, 21, 1635-1655.
- Kachlík, V. (2003): *Geologický vývoj území České republiky.* – Ústav geologie a paleontologie, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 64 pp.
- Kalášek, J. (1963): *Geologická mapa ČSSR, list M-33-XXIX Brno, 1: 200 000,* Praha, ÚÚG.
- Kasztovszky, Z., Szakmány, G. (2004): *Prompt Gamma Activation Analysis, a new method in the archaeological study of polished stone tools and their raw materials.* – European Journal of Mineralogy, 16, 285-295.
- Khursheed, A. (2011): *Scanning electron microscope optics and spectrometers.* – World Scientific, London, 399 pp.
- Kuča, M., Vokáč, M. (2008): *Exploitation of rocks from the Brno Massif for polished stone industry, South Moravia (Czech Republic).* – In: Přichystal, A., Krmíček, L., Halavínová, M. (eds.), *Petroarchaeology in the Czech Republic and Poland at the beginning of the 21st century,* Brno, 2008, 95-109.
- Leake, E. B., Woolley, R. A., Arps, S. E. Ch., Birch, D. W., Gilbert, Ch. M., Grice, D. J., Hawthorne, C. F., Kato, A., Kisch, J. H., Krivovichev, G. V., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, A. J., Maresch, V. W., Nickel, H. E., Rock, S. M. N., Schumacher, C. J., Smith, C. D., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, W. J. E., Youzhi, G. (1997): *Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names.* – The Canadian Mineralogist, 35, 219-246.
- Lech, E. M., Trewin, L. C. (2013): *Weathering, erosion, landforms and regolith: Teacher notes and student activities.* – 2nd edition, Geoscience Australia, Canberra, 104 pp.
- Marszalek, M., Alexandrowicz, Z., Rzepa, G. (2014): *Composition of weathering crusts on sandstones from natural outcrops and architectonic elements in an urban environment.* – Environmental Science and Pollution Research, 21, 14023-14036.

- Meloun, M., Hill, M., Militký, J. (2005): *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. – Academia, Praha, 450 pp.
- Méres, Š., Dubíková, K., Hovorka, D., Cheben, I. (2004): *Rock-forming minerals in contact-metamorphosed greenschists of the polished stone artefacts (Neolithic, Slovakia, site Bajč- Medzi kanální)*. – Slovak Geological Magazine, 10, 153-162.
- Middelburg, J. J., Weijden van der H. C., Woittiez, W. R. J. (1988): *Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks*. – Chemical Geology, 68, 253-273.
- Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983): *Geologie ČSSR I. Český masiv*. – Státní pedagogické nakladatelství Praha, Praha, 333 pp.
- Neústupný, E. ed. (2008): *Archeologie pravěkých Čech/4. Eneolit*. – Archeologický ústav AV ČR, Praha, 186 pp.
- Oldfield, D., Thompson, R. (1986): *Environmental magnetism*. – Allen & Unwin, London, 220 pp.
- Ollier, C. (1991): *Ancient landforms*. – Belhaven Press, London, 233 pp.
- Pavlů, I. (2014): *Společnost a lidé na neolitickém sídlišti Bylany*. – Archeologický ústav AV ČR, Praha, 143 pp.
- Pawley, J. B. ed. (1990): *Handbook of Confocal Microscopy*. – Plenum Press, New York, 985 pp.
- Přichystal, A. (1988): *Petrografické studium štípané a broušené industrie z lokality s moravskou malovanou keramikou v Brně- Bystrci*. – Archeologické rozhledny 40, 508-512.
- Přichystal, A. (1999): *Zdroje kamenných surovin na území České republiky využívané na výrobu štípaných artefaktů v pravěku*. – Univerzitní noviny, VI., 3, MU, Brno, 25-32.
- Přichystal, A. (2013): *Lithic raw materials in prehistoric times of eastern central Europe*. – Masaryk University, Brno, 351 pp.

- Přichystal, A., Trnka, G. (2011): *Raw materials of polished artefacts from two Lengyel sites in Lower Austria.* – Slovak Geological Magazine, 7, 337-339.
- Přichystal, A., Valová, P. (2010): *Provenience metabazitů kamenné broušené industrie z neolitického sídliště u Těšetic-Kyjovic, okr. Znojmo.* – Geologické výzkumy Moravy a Slezska XVII, 2010/1-2, 156-161.
- Přikryl, R. (2009): *Comparison of the mineralogical composition of crusts formed on natural stone in the natural environment and on monuments.* – Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Přikryl, R., Lokajíček, T., Svobodová, J., Weishauptová, Z. (2003): *Experimental weathering of marlstone from Přední Kopanina (Czech Republic) - historical building stone of Prague.* – Building and Environment, 38, 1163-1171.
- Reiche, P. (1950): *A survey of weathering processes and products.* – New Mexico University Publication in Geology, University of New Mexico Press, 95 pp.
- Sadowski, K., Wójcik, A. (2006): *Report on petrographic investigation of finds from the archaeological site at Kostomloty.* – Manuscript, Instytut archeologii Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Selby, M. J. (1993): *Hillslope Materials and Processes.* – Oxford University Press, Canada, 451 pp.
- Skácelová, D., Weiss, J. (1978): *Model hloubkového vývoje brněnského masivu podle geofyzikálních dat.* – Časopis pro mineralogii a geologii, 23, 409-415.
- Svoboda, J., et al. (1983): *Encyklopedický slovník geologických věd.* – Academia, Praha, 1965 pp.
- Šarapatka, B. (2014): *Pedologie a ochrana půdy.* – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 232 pp.
- Vencl, S. (1963): *K otázce patinace postpaleolitických sílexových industrií.* – In: Sborník geologických věd, řada A, 2, 113-127.
- Vonásková, L. (2012): *Vliv znečištěného ovzduší na stavební materiály.* – Člověk, stavba a územní plánování VI., Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha, 206-211.

- Zhai, C., Gan, Y., Hanaor, D., Proust., G., Reintant, D. (2015): *The role of surface structure in normal contact stiffness.* – Experimental Mechanics, 56, 359-368.

Internetové zdroje

- www1: Regionální geologie České republiky. Ústav geotechniky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. Dostupné z <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/REGGEOLOG.htm> (cit. 10. 1. 2018).
- www2: Zvětrávání. Geologická encyklopedii on-line. Dostupné z <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?zvetravani> (cit. 10. 1. 2018).
- www3: Exogenní dynamika. Katedra geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, VŠB- Technická Univerzita Ostrava. Dostupné z <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-exo-dynamika.htm> (cit. 2. 7. 2018).
- www4: Optické vlastnosti minerálů. Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium, Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Brno. Dostupné z http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_4_3_optika/kap_4_3_optika.htm#4.3.1 (cit. 6. 4. 2018).
- www5: Low Vacuum SEM. Camborne School of Mines. Dostupné z <http://emps.exeter.ac.uk/csm/facilities/geochem-mineralogy/low-vacuum-sem/> (cit. 2. 7. 2018).
- www6: Princip konfokální mikroskopie. Katedra botaniky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci. Dostupné z <http://www.botanika.upol.cz/atlasy/confmicro/principles.php> (cit. 7. 7. 2018).
- www7: Confocal Laser Scanning Microscopy. Nanoscope Systems. Dostupné z <http://nanoscope.co.kr/confocal-microscopy/?lang=en> (cit. 7. 7. 2018).
- www8: Surface Roughness. Olympus. Dostupné z <https://www.olympus-ims.com/cs/knowledge/metrology/roughness/> (cit. 6. 7. 2018).
- mapový server Google Maps
- www.icomos.org
- geology.mapy.cz

Seznam příloh:

Příloha 1: Fotografie ze SEM-EDX analýzy amfibolů ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE a fotografie ze SEM-EDX analýzy amfibolů sekerek, JEOL JSM-6490 LV

Příloha 2: Tabulka ze SEM-EDX analýzy amfibolů ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE, přepočten na 23 kyslíků, č. 1-19 měřeno uprostřed výbrusu, č. 19-39 při okraji výbrusu

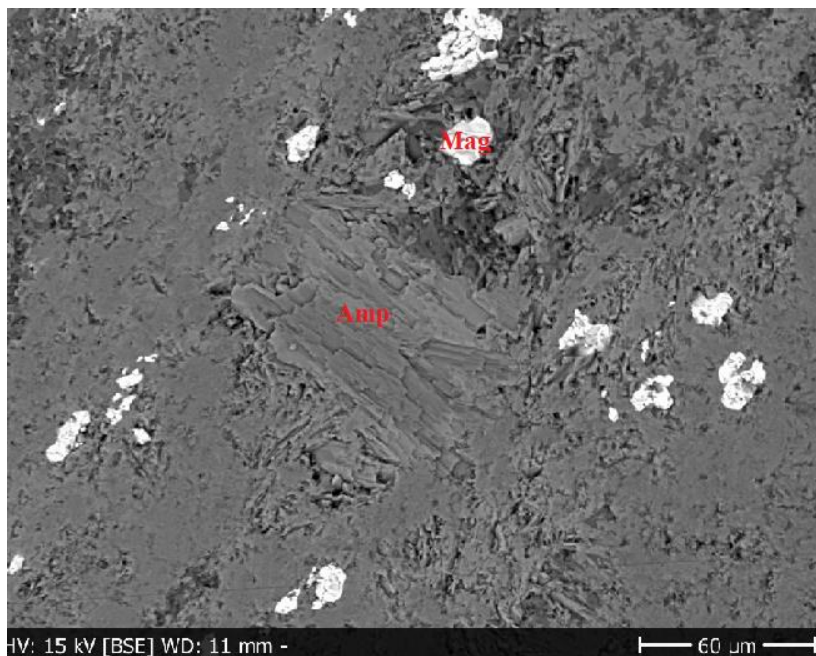
Příloha 3: Tabulka ze SEM-EDX analýzy ploch ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE

Příloha 4: Tabulka ze SEM-EDX analýzy ploch velké a malé sekerky, JEOL JSM-6490 LV, měření mimo rýhy

Příloha 5: Tabulka ze SEM-EDX analýzy amfibolů velké sekerky, JEOL JSM-6490 LV, přepočten na 23 kyslíků, měření v rýze

Příloha 6: Tabulka ze SEM-EDX analýzy amfibolů malé sekerky, JEOL JSM-6490 LV, přepočten na 23 kyslíků, měření v rýze

Příloha 1: Fotografie ze SEM-EDX analýzy amfibolů ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE a fotografie ze SEM-EDX analýzy amfibolů sekerek, JEOL JSM-6490 LV



Obr. 15 – Fotografie ze SEM-EDX analýzy amfibolů ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE (J. Kapusta 2018).



Obr. 18: Fotografie ze SEM-EDX analýzy amfibolů větší (a) a menší (b) sekerky, JEOL JSM-6490 LV (J. Štelcl 2018).

Příloha 2: Tabulka ze SEM-EDX analýzy amfibolů ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE, přepočít na

23 kyslíků, č. 1-19 měřeno uprostřed výbrusu

měření	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10	č. 11	č. 12	č. 13	č. 14	č. 15	č. 16	č. 17	č. 18	č. 19
SiO ₂	40,790	49,440	49,200	54,780	44,710	30,520	55,880	50,380	51,050	48,490	51,770	51,510	51,290	50,780	52,100	51,380	51,900	50,520	50,850
Al ₂ O ₃	12,750	3,270	3,990	26,540	34,490	0,000	27,350	3,580	3,180	4,510	2,600	2,850	2,790	3,290	2,720	3,480	2,380	4,110	4,120
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	39,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NiO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MgO	7,930	13,170	12,550	0,000	0,000	0,000	0,000	12,280	12,880	11,740	13,240	13,100	13,900	13,230	14,300	13,920	14,290	13,480	13,360
FeO	22,700	15,590	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	17,950	18,160	18,850	16,660	17,530	15,480	17,030	15,340	16,210	15,590	16,640	16,260
MnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,280
CaO	11,950	12,040	11,580	9,280	18,070	29,480	9,400	11,900	12,210	12,100	12,170	12,190	12,240	12,210	12,290	12,060	12,400	12,250	12,010
Na ₂ O	1,510	0,170	0,400	5,110	1,050	0,000	5,090	0,320	0,200	0,350	0,300	0,250	0,220	0,240	0,220	0,310	0,150	0,400	0,490
K ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	97,630	93,680	77,720	95,710	98,320	99,600	97,720	96,410	97,680	96,040	96,740	97,430	95,920	96,780	96,970	97,360	96,710	97,400	97,370
Si	6,288	7,561	7,541	7,353	6,022	4,612	7,340	7,550	7,557	7,361	7,676	7,617	7,635	7,552	7,656	7,554	7,663	7,457	7,494
Al	1,712	0,439	0,459	0,647	1,978	0,000	0,660	0,450	0,443	0,639	0,324	0,383	0,365	0,448	0,344	0,446	0,337	0,543	0,506
SUMA T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	4,612	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	0,605	0,145	0,262	3,551	3,497	0,000	3,574	0,182	0,112	0,168	0,130	0,114	0,085	0,129	0,127	0,459	0,077	0,172	0,210
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,501	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,823	3,003	2,868	0,000	0,000	0,000	0,000	2,744	2,842	2,657	2,926	2,888	3,085	2,933	3,132	3,051	3,146	2,966	2,935
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	2,572	1,852	2,008	0,000	0,000	0,000	0,000	2,074	2,247	2,175	1,944	1,998	1,830	1,938	1,741	1,490	1,777	1,862	2,004
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SUMA C	5,000	5,000	5,138	3,551	3,497	4,501	3,574	5,000	5,201	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,149
Fe	0,354	0,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,175	0,000	0,218	0,122	0,170	0,097	0,180	0,144	0,503	0,148	0,192	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035
Ca	1,974	1,973	1,902	1,335	2,607	4,773	1,323	1,911	1,936	1,968	1,933	1,931	1,953	1,945	1,935	1,899	1,961	1,937	1,897
Na	0,000	0,000	0,098	0,665	0,000	0,000	0,677	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,068
SUMA B	2,328	2,115	2,000	2,000	2,607	4,773	2,000	2,086	1,936	2,186	2,055	2,101	2,050	2,125	2,079	2,402	2,109	2,129	2,000
Na	0,451	0,050	0,021	0,665	0,274	0,000	0,619	0,093	0,057	0,103	0,086	0,072	0,064	0,069	0,063	0,088	0,043	0,115	0,072
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SUMA A	0,451	0,050	0,021	0,665	0,274	0,000	0,619	0,093	0,057	0,103	0,086	0,072	0,064	0,069	0,063	0,088	0,043	0,115	0,072
SUM.TOT.	15,779	15,165	15,159	14,216	14,378	13,886	14,193	15,179	15,194	15,289	15,141	15,173	15,114	15,194	15,142	15,490	15,152	15,244	15,221

Příloha 3: Tabulka ze SEM-EDX analýzy ploch ve výbrusu, JEOL JXA-8600 SUPERPROBE, č. 40-42 měřeno při okraji výbrusu, č. 43-44 měřeno uprostřed výbrusu

měření	č. 40	č. 41	č. 42	č. 43	č. 44
Na ₂ O	0,550	1,110	1,380	1,070	1,110
MgO	11,510	10,420	10,350	10,270	10,730
Al ₂ O ₃	5,270	7,150	7,590	8,560	7,950
SiO ₂	47,510	48,170	48,230	47,120	47,130
P ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SO ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CaO	11,830	11,440	10,990	11,690	11,590
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FeO	18,410	15,850	14,600	16,890	15,610
MnO	0,420	0,330	0,240	0,280	0,210

Příloha 5: Tabulka ze SEM-EDX analýzy amfibolů velké sekerky, JEOL JSM-6490 LV, přepočít na 23 kyslíků, měření v rýze

měření	č. 1	č. 2	č. 9	č. 10	č. 11	č. 12	č. 13
SiO ₂	52,910	55,490	50,950	48,820	31,740	54,730	55,210
Al ₂ O ₃	8,390	2,920	11,880	12,420	3,370	21,680	5,280
TiO ₂	0,750	0,000	0,940	0,600	2,200	0,800	0,640
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NiO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MgO	13,360	13,820	9,450	9,170	7,350	3,110	13,650
FeO	12,410	23,580	13,710	14,480	16,610	6,790	16,850
MnO	0,000	0,590	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CaO	8,480	1,940	9,160	9,370	22,570	7,770	6,650
Na ₂ O	1,290	0,860	1,050	1,660	0,340	4,680	0,810
K ₂ O	0,910	0,800	1,680	1,910	0,390	0,450	0,920
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	98,500	100,000	98,820	98,430	84,570	100,010	100,010
Si	7,411	7,958	7,207	6,999	5,264	7,299	7,759
Al	0,589	0,042	0,793	1,001	0,659	0,701	0,241
SUMA T	8,000	8,000	8,000	8,000	5,923	8,000	8,000
Al	0,796	0,452	1,187	1,098	0,000	2,707	0,634
Ti	0,079	0,000	0,100	0,065	0,275	0,080	0,068
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	2,790	2,954	1,993	1,960	1,817	0,618	2,860
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	1,335	1,522	1,622	1,736	2,304	0,757	1,438
Mn	0,000	0,072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SUMA C	5,000	5,000	4,902	4,859	4,396	4,162	5,000
Fe	0,119	1,306	0,000	0,000	0,000	0,000	0,542
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	1,273	0,298	1,388	1,439	4,010	1,110	1,001
Na	0,350	0,239	0,288	0,461	0,109	0,890	0,221
SUMA B	1,742	1,843	1,676	1,900	4,119	2,000	1,764
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,320	0,000
K	0,163	0,146	0,303	0,349	0,083	0,077	0,165
SUMA A	0,163	0,146	0,303	0,349	0,083	0,397	0,165
SUMA TOT.	14,905	14,989	14,881	15,108	14,521	14,559	14,929

**Příloha 6: Tabulka ze SEM-EDX analýzy amfibolů malé sekerky, JEOL JSM-6490 LV
přepočten na 23 kyslíků, měření v rýze**

měření	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8
SiO ₂	52,830	48,640	51,500	56,860	54,170	57,510	56,850	56,100
Al ₂ O ₃	6,670	9,280	7,220	3,780	5,890	3,270	4,160	4,850
TiO ₂	0,000	0,730	0,640	0,000	0,000	0,000	0,520	0,000
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NiO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MgO	12,730	10,140	11,600	15,530	13,690	17,720	16,350	15,320
FeO	13,480	16,810	15,180	11,320	13,180	9,590	10,280	11,100
MnO	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,440
CaO	12,030	12,180	11,770	11,400	12,100	11,040	10,430	11,020
Na ₂ O	0,760	1,090	0,860	0,470	0,590	0,000	0,520	0,580
K ₂ O	0,750	0,850	0,950	0,630	0,380	0,580	0,640	0,600
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	99,690	99,720	99,720	99,990	100,000	99,710	99,750	100,010
Si	7,492	7,053	7,368	7,874	7,599	7,900	7,834	7,772
Al	0,508	0,947	0,632	0,126	0,401	0,100	0,166	0,228
SUMA T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	0,607	0,639	0,585	0,491	0,573	0,429	0,510	0,564
Ti	0,000	0,080	0,069	0,000	0,000	0,000	0,054	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	2,691	2,192	2,474	3,206	2,863	3,629	3,359	3,164
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	1,599	2,039	1,816	1,311	1,547	0,942	1,077	1,272
Mn	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SUMA C	4,950	4,950	4,944	5,008	4,983	5,000	5,000	5,000
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,108	0,014
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,052
Ca	1,828	1,892	1,804	1,691	1,819	1,625	1,540	1,636
Na	0,172	0,108	0,196	0,126	0,161	0,000	0,139	0,156
SUMA B	2,000	2,000	2,000	1,817	1,980	1,785	1,787	1,858
Na	0,037	0,198	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,136	0,157	0,173	0,111	0,068	0,102	0,113	0,106
SUMA A	0,173	0,355	0,216	0,111	0,068	0,102	0,113	0,106
SUM.TOT.	15,123	15,305	15,160	14,936	15,031	14,887	14,900	14,964