



národní
úložiště
šedé
literatury

Metodika určování provenience přírodního kamene – pískovce – exaktními laboratorními metodami

Příkryl, Richard; Weishauptová, Zuzana; Příkrylová, Jiřina
2016

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-253870>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 22.04.2019

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

„Metodika určování provenience přírodního kamene – pískovce – exaktními laboratorními metodami“

Autoři

Richard Přikryl (Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2)

Zuzana Weishauptová (Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.)

Jiřina Přikrylová (Akademie výtvarných umění v Praze, U akademie 4, Praha 7)

Oponenti

PhDr. Martin Ebel, Ph.D. (Národní technické muzeum, Kostelní 42, Praha 7)

PhDr. Vratislav Nejedlý, CSc. (Národní památkový ústav, Valdštejnské nám. 3, Praha 1)

Dedikace

Metodika vznikla za podpory projektu DF13P01OVV008 programu NAKI, poskytovatel Ministerstvo kultury ČR.

Anotace

Předkládaná metodika byla zkompleťována v letech 2013-2015 v rámci řešení projektu NAKI č. DF13P01OVV008 vedeného pod názvem “Přírodní kámen v sochařství a architektuře zemí koruny České - komplexní znalostní systém o zdrojích, vlastnostech, využití, trvanlivosti, historie využití, kompatibilitě a vzájemné zaměnitelnosti“ financovaného MK ČR. Podkladem pro vypracování této metodiky je více než 15-letá činnost Prof. Richarda Přikryla na poli rozborů přírodního kamene památek v ČR, mezi nimiž sochařská výtvarná díla a architektonické či stavební prvky zhotovené z pískovce zaujímají významné místo. Metodika se zabývá hlavními postupy a analytickými rozbory, které lze využít k petrografickému popisu pískovců, jež následně slouží k určování jejich zdrojové oblasti. V metodice je diskutován rozsah použití jednotlivých metod pro popis pískovců a současné možnosti jejich petrografické klasifikace.

Klíčová slova

Pískovec *s.l.*, klastické sedimentární horniny, arenity, křemenný pískovec, arkóza, droba, mineralogické složení, klastická složka, pojivo, vnitřní horninová stavba, pórový prostor, petrografický popis, optická mikroskopie, katodová luminiscence, elektronová mikroskopie s mikroanalýzou, práškový RTG difrakční rozbor, rtuťová porosimetrie, texturní parametry pórového prostoru, klasifikace pískovců

Sandstone s.l., clastic sedimentary rocks, arenites, quartz sandstone, arkose, greywacke, mineralogical composition, clastic component, matrix/cement, rock fabric, pore space, petrographic description, optical microscopy, cathodoluminescence, electron microscopy with microanalysis, powder X-ray diffraction, mercury porosimetry, textural parameters of pore space, classification of sandstones

I. Cíl metodiky

Pískovce patří k nejdéle používaným typům přírodního kamene ve stavebnictví, architektuře a sochařství v českých zemích (viz např. Rybařík 1994). Objekty a umělecká díla z nich zhotovené jsou často zákonem chráněné kulturní památky a proto vyžadují specifický přístup nejen při vlastním restaurování, ale též během předrestaurátorských materiálových průzkumů. Některé z pískovců jsou navíc značně náchylné k porušení během zvětrávacích procesů; proto věrohodný materiálový rozbor může nemalou měrou přispět k vhodně zvolenému restaurátorskému/konzervátorskému zásahu.

Pískovce byly v českých zemích těženy na řadě lokalit (počet historických lomů se pohybuje v několika stech) v různých časových obdobích. Tyto horniny se však značně liší vlastnostmi i složením nejen mezi lokalitami, ale též v rozsahu jedné lokality. Naprostá většina lokalit je však v současné době opuštěná. Důkladná znalost materiálu přitom může pozitivně ovlivnit restaurátorský zásah; rovněž může pomoci při hledání zdrojů materiálu (místa těžby) s dopadem na umělecko-historické výzkumy, případně též na oblast forenzní (pátrání po zcizených dílech, odhalení padělků apod.).

S ohledem na výše uvedené i na skutečnost, že termín pískovec *s.l.* pokrývá širokou škálu klastických sedimentárních hornin (též označovaných jako arenity), se tato metodika snaží navrhnout logicky členěný postup rozborů, které by měly umožnit stanovení složení studovaného pískovce a pomoci určit jeho zdrojovou oblast. Navržená metodika je přizpůsobena množství vzorku dostupnému pro vlastní rozbor. Vzorky odebírané z památek jsou zpravidla velmi malé (z pohledu geologa) a proto nedovolují použití všech nezbytných metod. Z perspektivy památkové péče se však jedná o značně velký vzorek, který je pro památku nenávratně „ztracený“, protože během rozboru dojde k jeho destrukci a proto nemůže být vrácen na místo, odkud byl odebrán. Z hlediska metodiky materiálových rozborů hornin se jedná o minimalistické množství materiálu, který je analyzován metodami, jež nemají adekvátní alternativu v nedestruktivních metodách výzkumu. Snahou je, aby zvolená kombinace metod přinesla maximum možných informací.

Zde je nutné upozornit na skutečnost, že většina ze základních typů hornin, celosvětově používaných v architektuře a sochařství (např. hlubinné magmatické horniny typu granitoidů – žul, metamorfovaných karbonátových hornin typu krystalických vápenců neboli „mramorů“), má své specifické vlastnosti, z nichž vycházejí zavedené metodické postupy, používané při jejich studiu pro účely památkové péče nebo archeologie.

Rovněž pískovce mají své výlučné znaky. Na rozdíl od výše uvedených typů hornin však pro jejich rozbor během předrestaurátorských nebo umělecko-historických výzkumů nebyla vypracována ucelená metodika. Je však třeba uvést, že metodikou určování zdrojových oblastí pískovců se v posledních desetiletích zabýval celá řada autorů, v naprosté většině případů však s využitím pouze vybraných metod výzkumu nebo pro účely pouze určitého stavebního či uměleckého díla.

Základním cílem této metodiky je proto zhodnotit soubor laboratorních metod, využitelných při zkoumání přírodního kamene – pískovce – pro potřeby určení původu (tj. zdrojové oblasti, případně místa výlomu), pro detailní materiálový popis během předrestaurátorských průzkumů a pro zpřesnění klasifikace pískovců. Tato metodika se rovněž snaží upozornit na meze použití jednotlivých metod, uvádí požadavky na stav a množství materiálu pro jednotlivé rozborů a rovněž doporučuje logický sled metod, aby se co nejlépe využilo malé množství materiálu, které je většinou k dispozici.

II. Popis metodiky

II.1. Zpracování vzorku před vlastním rozborem

II.1.1. Požadavky na velikost a stav vzorku

Petrografický rozbor je destruktivní analýzou, která, s ohledem na používané metody a typ studované horniny, vyžaduje patřičné množství materiálu. Pokud je materiál dodán v menším než optimálním množství nebo v nesoudržném stavu, klesá vypovídací schopnost rozboru, případně ho úplně znemožňuje.

Základní nezbytnou součástí petrografického rozboru je vedle makroskopického popisu, který lze často učinit přímo na místě bez nutnosti odběru vzorku, studium mikroskopické pomoci tzv. horninových výbrusů, které naopak odběr vzorku vyžadují. Optimální forma vzorku pro přípravu petrografického výbrusu a pro další rozboru je horninový úlomek velikosti přibližně $2,5 \times 2 \times 2$ cm (tj. objem cca 10 cm^3 , viz též Tab. 1). Tuto velikost lze považovat za dostačující pro jemnozrnné a středně zrnité pískovce, u hrubozrnných pískovců a slepenců je třeba odebrat vzorek větší – minimálně 10 cm^3 .

Tab. 1. Minimální množství vzorku, jež je potřebné k provedení věrohodného petrografického rozboru jemnozrnného až středně zrnitého pískovce pro potřeby zařazení a pro určení zdrojové oblasti nebo místa výlomu.

	Požadavky na celistvost, resp. soudržnost vzorku	Rozměry vzorku	Množství vzorku
příprava 2 výbrusů pro optickou mikroskopii ve viditelném a ultrafialovém světle	celistvý vzorek	$2 \times 2 \times 1$ cm	4 cm^3
příprava leštěného výbrusu pro katodovou luminiscenci a elektronovou mikroanalýzu	celistvý vzorek	$2 \times 1 \times 1$ cm	2 cm^3
vzorek pro RTG difrakční rozbor	úlomky či drť	$2 \times 1 \times 1$ cm	2 cm^3 (tj. 4-5 g)
vzorek pro rtuťovou porosimetrii	2 celistvé úlomky (každý min. $0,5 \text{ cm}^3$)	$1 \times 1 \times 1$ cm	1 cm^3

Vzorek by měl být získán z části památky bez modelace (např. ložní plochy apod.). Osobou, provádějící odběr, musí být kvalifikovaný sochař/restaurátor s platnou licenci MK ČR. Vzorek by měl být odebírán kamenickým náčiním tak, aby zůstal zachován jeho přirozený stav (tj. stupeň soudržnosti, stupeň navětrání, přirozená vlhkost, míra zasolení)¹.

Alternativou k výše uvedenému postupu je provedení jádrového vývrtu pomocí úzkoprofilové diamantové korunky (průměr vrtného jádra 1-2 cm). Získání vzorku jádrovým vrtáním však znamená ztrátu části znaků horniny z následujících důvodů:

(1) v případě vrtání na sucho (tedy bez výplachu) dochází vlivem tření k lokálnímu zahřátí horniny a vzniku druhotných porušení (mikrotrhlin, jejichž přítomnost při analýze pórového prostoru zkresluje informaci o původním stavu pórového prostoru);

(2) v případě vrtání s výplachem se mění aktuální vlhkost materiálu, dochází k vymytí přítomných vodorozpustných solí a k vydrolení méně odolných nebo uvolněných součástí

¹ V této metodice není věnována pozornost rozboru těchto vlastností, protože nemají diagnostický charakter ve smyslu určení zdrojové oblasti. Pokud je vzorek studován v rámci komplexního předrestaurátorského materiálového průzkumu, musí být tyto parametry stanoveny s použitím obecně známých postupů (viz např. Kopecká a Nejedlý 2005).

horniny. Je zřejmé, že na vzorku horniny, získaném diamantovým vrtáním s výplachem pak nemá smysl stanovit *in situ* vlhkost, obsah vodorozpustných solí a mohou být též zkrusleny další petrografické charakteristiky.

II.1.2. Příprava materiálu pro zhotovení výbrusů

Pro potřeby mikroskopického studia jakožto základní (referenční) metody je nutné připravit horninové výbrusy, tj. preparáty plošného rozměru cca 1 × 2 cm a tloušťky 30 μm. Tyto preparáty se během přípravy lepí na tzv. podložní sklíčko, vrchní strana se podle typu dalšího rozboru opatřuje různými povrchovými úpravami, mezi něž patří:

- (1) lepení krycího sklíčka – tzv. zakrytý výbrus, určený pro potřeby pozorování v procházejícím viditelném a polarizovaném světle v optickém mikroskopu;
- (2) leštění – tzv. leštěný výbrus, určený pro potřeby pozorování pomocí katodové luminiscence;
- (3) leštění a pokovení – tzv. leštěný výbrus, určený pro potřeby elektronové mikroskopie s mikroanalýzou;
- (4) ponechání povrchu bez další povrchové úpravy – tzv. nezakrytý výbrus, určený pro potřeby pozorování v odraženém ultrafialovém světle v optickém mikroskopu.

Přípravu petrografických výbrusů, popisovanou v základních učebnicích a příručkách (např. Dudek et al. 1962) provádějí specializovaná pracoviště výzkumných institucí či soukromé firmy.

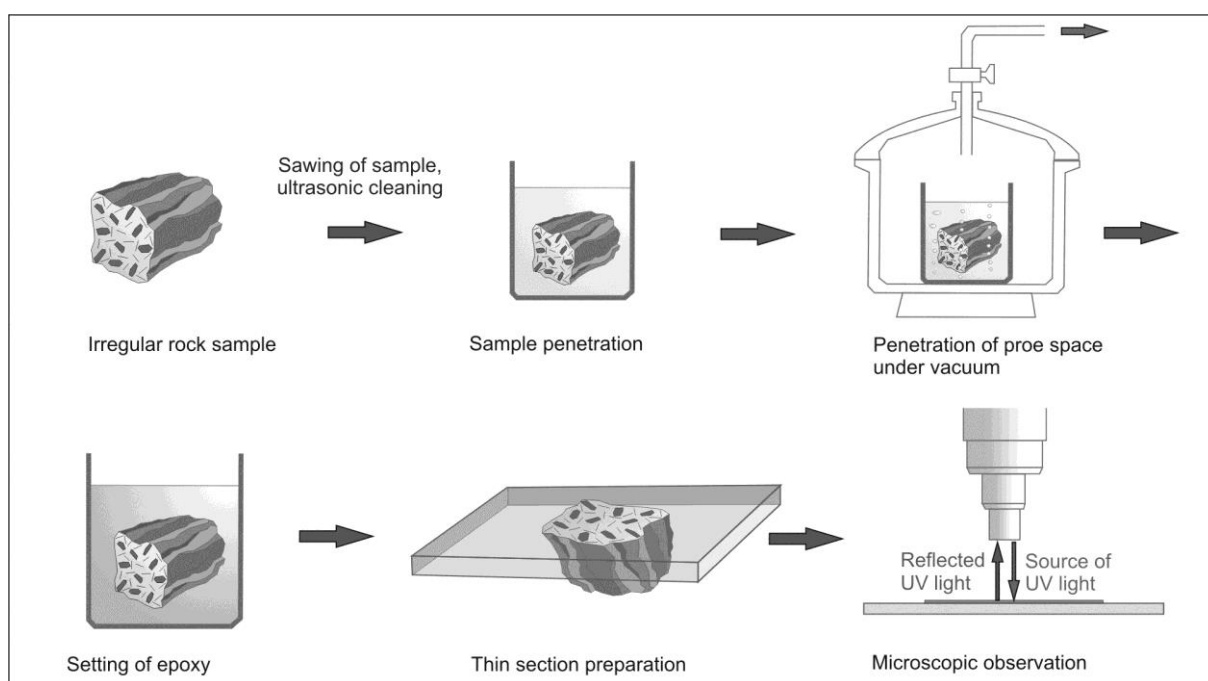
V případě pískovců (a dalších značně pórovitých hornin), které při odběru z památek mohou být narušeny různými zvětrávacími procesy (což ve výsledku snižuje jejich soudržnost), je nutné vzorek před přípravou výbrusu zpevnit. K tomu je navržen postup, popsáný Příkrým (1998, 2007, 2015) na základě přepracované metody, publikované Nishiayamou a Kusudou (1994), kteří použili k penetraci a zpevnění pórovitých hornin rychle tuhnutí methylmetakrylátů smíchané s barvivem. Dříve provedené zkoušky (Příkrýl 1998) prokázaly, že při aplikaci methylmetakrylátů nedochází k úplné penetraci pórového prostředí. Proto byla nově navržena směs nízkoviskózní epoxidové pryskyřice (např. CHS EPOXY 513 s viskozitou 180 mPa.s při 25°C, výrobce Spolchemie) s fluorescenčním barvivem (komerčně dodávaný výrobek EPODYE od firmy Struers, Dánsko). Postup při zpevnění pórovitého, případně málo soudržného vzorku a následné přípravě výbrusu je následující:

- 1) vzorek přírodního kamene určený k přípravě výbrusu se nejprve napustí směsí epoxidové pryskyřice a fluorescenčního barviva v běžné nádobě za atmosférického tlaku po dobu cca 2 hodin, poté se vzorek vyjme a směs se nechá vytvrdit při běžné pokojové teplotě po dobu 24 hodin².
- 2) Vzorek přírodního kamene napuštěný dle kroku č. 1 se rozřízne přesnou diamantovou pilou tak, aby vzniklý řez³ měl plochu přibližně 2 cm². Tato plocha se upraví broušením tak, aby byla vhodná k nalepení na podložní sklíčko.
- 3) Vzorek přírodního kamene upravený dle kroku č. 2 se očistí v ultrazvukové lázni, aby zabroušená plocha byla prostá nečistot. Vzorek se poté vysuší (v sušárně při teplotě do 40°C nebo na vzduchu).

² Podmínky tvrdnutí se mohou lišit v závislosti na použité pryskyřici.

³ U zjevně anizotropních hornin by řez měl být orientován kolmo k sedimentární vrstevnatosti.

- 4) Vysušený vzorek přírodního kamene (upravený dle kroku č. 3) se znovu napustí směsí pryskyřice a barviva po dobu cca 2 hodin, poté se vyjme a směs se nechá vytvrdit po dobu 24 hodin při běžné pokojové teplotě. Toto opětovné napuštění je nezbytné, aby došlo k penetrování případných uzavřených pórů v ploše výbrusu nebo pórů, které nebyly propojeny s původním povrchem a nyní jsou otevřeny v ploše budoucího výbrusu.
- 5) Po vytvrdnutí směsi se budoucí styčná plocha horniny s podložním sklíčkem zbaví nadbytečné penetrační hmoty přebroušením. Vzorek se opět vyčistí v ultrazvukové lázni a nechá se vyschnout, jak je popsáno v bodě č. 3.
- 6) Vzorek přírodního kamene se poté připevní k podložnímu sklíčku a stejně jako u přípravy dalších typů výbrusů se přesnou diamantovou pilou odřízne nadbytečné množství horniny. Poté se preparát dobrousí na přesnou tloušťku 30 μm a zkoumá se v běžném optickém mikroskopu vybaveném zdrojem ultrafialového záření.



Obr. 1. Schéma přípravy pórovitého či navětralého úlomku horniny (pískovce) pro potřeby přípravy výbrusu.

II.1.3. Příprava materiálu pro práškovou RTG difrakci

Prášková RTG difrakce představuje doplňkovou metodu k základnímu mikroskopickému studiu. Cílem použití práškové RTG difrakce je fázový rozbor velmi jemnozrné základní hmoty, u pískovců zejména tvořené jílovými minerály⁴. S ohledem na velikost krystalů jílových minerálů je prakticky nemožné přesné určení jílových minerálů pomocí optické mikroskopie.

Pro přesnější určení jílových minerálů je vhodné dílčí vzorek pískovce opatrně rozdružit tak, aby nedošlo k mechanickému rozpadu přítomných klastů. Rozdružený vzorek se vloží do kádinky nebo odměrného válce naplněného destilovanou vodou a oddělí se klastická složka

⁴ Další typy pojiva jako je karbonátový tmel, tmel tvořený Fe-oxihydroxidy nebo křemičitý tmel jsou zpravidla dobře rozlišitelné mikroskopickými metodami.

od velmi jemnozrnné jílové hmoty, která zůstává delší dobu ve vznosu. Ta se potom oddělí pomocí filtrace a vysuší se. Získaný prášek se namele na analytickou jemnost a podrobí RTG difrakčnímu rozboru.

II.2. Makroskopický popis

Makroskopický popis pískovců je třeba provést na dostatečně velké ploše, která je v ideálním případě orientována kolmo k ploše sedimentární vrstevnatosti, aby byly zastíženy všechny přítomné, prostým okem pozorovatelné jevy. Protože se tyto jevy mohou lišit ve vzdálenosti centimetrů až decimetrů, je žádoucí, aby základní makroskopický popis byl proveden na objektu, z něhož je vzorek odebírán. Je ovšem třeba dbát na to, aby hornina byla pohledově přístupná v nezvětralém stavu nebo aby její makroskopický charakter nebyl zakryt polychromií, zvětrávacími jevy apod. Pokud toto není možné, je nutné makroskopický popis omezit na rozměr dodaného vzorku, ale na tento fakt je nutné jednoznačně upozornit v průvodní zprávě.

Makroskopickým popisem lze rozlišit následující znaky (např. Dudek et al. 1962, Stow 2005):

- sedimentární stavba (struktura a textura);
- složení;
- barva.

Podrobné vymezení makroskopicky pozorovatelných znaků uvádějí příslušné odborné publikace (viz citace výše uvedené) a v této metodice nejsou dále rozváděny. Jedním z důvodů je skutečnost, že makroskopicky pozorovatelné znaky pískovců tvoří zpravidla jen doplňující informaci, která nemá zásadní vliv na petrografické zařazení a na podrobnější určení zdrojové oblasti. Dalším důvodem je skutečnost, že dle zkušeností autora této metodiky není u většiny artefaktů možné pozorovat všechny výše uvedené znaky v dostatečně velkém měřítku a zpravidla je makroskopické pozorování omezeno na jevy v měřítku odebraného vzorku (tedy první centimetry). Z tohoto důvodu je při makroskopickém popisu pískovců třeba klást důraz na charakteristiku barevnosti a na uspořádání stavebních jednotek – tedy zda je v měřítku dodaného vzorku pozorovatelná sedimentární vrstevnatost, charakter uspořádání vrstev (paralelní souvislé nebo nesouvislé, křížové apod.).

Součástí makroskopického popisu by měl být rozbor přítomných zvětrávacích jevů.⁵

II.3. Mikroskopický popis pomocí optické mikroskopie ve viditelném světle

Mikroskopický popis pomocí polarizačního optického mikroskopu ve viditelném světle je základní metodou, používanou při petrografickém rozboru hornin (viz např. Dudek et al. 1962, Ingham 2011). Některé poznatky, získané mikroskopickým studiem výbrusů, nelze nahradit žádným jiným typem rozboru – to se týká např. studia některých prvků vnitřní stavby hornin.

Základní mikroskopické studium je popisné; přináší tedy pouze kvalitativní data. Při tomto typu studia se nejprve zjišťují horninotvorné minerály, které se uvádějí v pořadí dle četnosti zastoupení jako:

⁵ Podobně jako v případě zasolení nebo *in situ* vlhkosti nelze přítomné zvětrávací jevy považovat za diagnostický znak ve smyslu stanovení zdrojové oblasti horniny. Rozbor zvětrávacích jevů je však zásadní pro korektní restaurátorský zásah a musí být součástí každého předrestaurátorského rozboru přírodního kamene.

(1) minerály primární (tj. syngenetické):

- (a) hlavní (podstatné) (nad 10 obj. %)
- (b) vedlejší (mezi 1 až 10 obj. %)
- (c) akcesorické (pod 1 obj. %)

(2) a dále minerály, které vznikly druhotně např. během zvětrávacích procesů, alteraci hornin za vyšších teplot působením vodních roztoků apod. jako tzv. minerály sekundární.

V případě pískovců je nutné rozlišit mezi převládající složkou klastickou (úlomkovitou) a základní hmotou nebo tmelem, případně pojivem. Úlomkovitá složka pískovců může být z hlediska zrnitosti značně proměnlivá. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat velmi hrubozrnným pískovcům až slepencům, kde požadavky na velikost vzorku mohou být až několikanásobně vyšší oproti hodnotám, uváděným v Tab. 1. U každé ze zjištěných horninotvorných složek se uvádějí další charakteristické pozorované znaky, jakožto součást popisu vnitřní stavby horniny:

- velikost zrn (relativní, absolutní);
- míra opracování klastického materiálu (zakulacení, zaoblení);
- tvar zrn (isometrická vs. anisometrická);
- množství a charakter základní hmoty, resp. tmelu.

Základní hmota pískovců je zpravidla extrémně jemnozrnná a obtížně rozpoznatelná v optickém mikroskopu; o něco lepší rozlišení je možné pomocí elektronové mikroskopie. V každém případě je pro studium základní hmoty pískovců žádoucí kombinovat mikroskopická pozorování (elektronová mikroskopie) s fázovým rozborem pomocí práškového RTG difrakčního rozboru, pokud je k tomuto typu rozboru dostatek materiálu.

Určení množství a charakteru přítomných horninotvorných složek je zásadní pro základní petrografickou klasifikaci horniny. V případě pískovců *s.l.* je určující množství a typ klastů a množství pojiva.

II.4. Studium pískovců pomocí elektronové mikroskopie s mikroanalýzou

Třebaže lze významnou část potřebných informací získat již studium zakrytých výbrusů pomocí optické mikroskopie, může detailnější výzkum složení a mikrostruktur pískovců pomocí elektronové mikroskopie s mikroanalýzou přinést řadu důležitých a v některých případech jinými metodami nezjistitelných informací. Studium leštěných výbrusů v elektronovém mikroskopu navíc přináší výhodu v podobě většího zvětšení, které dovoluje stanovit a odlišit všechny přítomné významné fáze na základě odlišného chemického složení.

Týká se to zejména studia složení a distribuce velmi jemnozrnné základní hmoty nebo tmelu a jejich vztahu ke klastické složce. Druhou významnou informací, které studium leštěných výbrusů v elektronovém mikroskopu poskytuje, je možnost identifikace druhotných součástí, které vznikly v důsledku zvětrávacích procesů nebo během předchozích restaurátorských zásahů. V obou případech jsou druhotné částice příliš jemnozrnné, aby se daly spolehlivě identifikovat pomocí optické mikroskopie.

Pro potřeby elektronové mikroskopie jsou používány leštěné výbrusy, které jsou studovány v elektronovém mikroskopu s energiově disperzním detektorem. Měření probíhá za standardních podmínek – dopadající svazek elektronů o proudu 3 nA a urychlovacím napětí 15 kV.

II.5. Studium pískovců pomocí katodové luminescence

Katodová luminescence patří k nejběžnějším luminescenčním metodám, které se využívají při studiu minerálů a hornin jak v základních petrologických studiích (podrobnosti a soubor literatury viz Pagel *et al.* 2000), tak při zjišťování původu přírodního kamene (zejména mramorů) ze stavebních památek nebo sochařských výtvarných děl (např. Barbin *et al.* 1992, Herrmann a Barbin 1993; Barbin 1999; Schmid *et al.* 1999a,b; Lapuente *et al.* 2000, 2002; Mentzos *et al.* 2002).

Z různých luminescenčních metod, které jsou v současné době k dispozici, lze pro pískovce využít nízkoenergetickou (tzv. „studenou“) katodu připojenou k optickému mikroskopu i vysokoenergetickou (tzv. „horkou“) katodu připojenou k elektronovému mikroskopu. Zatímco v případě nízkoenergetické katody se energie elektronů, dopadajících na výbrus, pohybuje v rozmezí 14-15 kV a intenzita dopadajícího svazku elektronů je udržována v rozmezí 320-350 μA , u vysokoenergetické katody je to 30 kV, resp. 20 nA.

Podobně jako u opuk a vápenců je použití nízkoenergetické katody omezeno na identifikaci a popis luminescenčních charakteristik karbonátů, pokud jsou tyto přítomny v podobě tmelu (pojiva). Pozorovanou luminescenci lze popsat slovně, výhodné je ji však dokumentovat fotograficky.

Vysokoenergetická katodová luminescence pomocí katodoluminiscenčního detektoru připojeného k elektronovému mikroskopu je využitelná pro studium katodoluminiscenčních mikrostaveb křemenných klastů. Křemenné klasty mohou vykazovat řadu jevů, které se projeví různou úrovní luminescence; její pozorovatelné zobrazení se potom pohybuje v odstínech šedi mezi bílou (silná luminescence) přes různou intenzitu šedi až po černou (žádná nebo velmi slabá luminescence). Ve studiích, zabývajících se katodoluminiscenčními metodami stanovení zdroje křemenných klastů (viz např. Seyedolali *et al.* 1997), se odlišuje několik základních skupin jevů: zonálnost, vyhojené trhliny, složité střížné jevy, planární jevy, zóny a políčka s tmavou luminescencí nebo nezřetelné mramorování (Tab. 2). Přítomnost těchto jevů může pomoci určit genetický původ klastů (tj. z jakého typu hornin pocházejí). V určitých případech může být pomocným diagnostickým znakem při zjišťování zdrojové oblasti pískovců z památek.

Tab. 2. Rozlišovací znaky křemenných zrn pomocí SEM-CL (upraveno podle Seyedolalo *et al.* 1997).

Znak	Popis	Zdrojové horniny	Poznámky
Zonálnost	Oscilační zonálnost s koncentrickými pásy rovnoběžnými s okrajem krystalů, méně často nekoncentrické pásy, šířka pásků mezi 1-100 μm	Vulkanity, plutonity	Velmi často ve vulkanických horninách
Vyhojené trhliny	Málo mocné (pod 10 μm) pásy bez luminescence (tmavá CL) silně připomínající trhliny	Plutonity, metamorfované horniny	Typické zejména pro křemen v hlubinných vyvřelinách
Složité střížné jevy	Zrna křemen postižená četnými trhlinami s drobnými střížnými posuny v mnoha směrech, celkově velmi slabá CL	Tektonicky postižené horniny	
Planární jevy	Složité systém četných planárních linií, připomínajících trhliny, CL slabá až velmi výrazná	Šokově postižený křemen	Křemen v impaktové strukturách a na některých rozhraních litosférických desek
Zóny nebo políčka s tmavou CL	Širší (nad 10 μm) skvrny s nepravidelnými hranicemi s tmavou CL a rozsáhlá (10-100 mm) tmavá políčka	Plutonické horniny, případně šokově postižený křemen	Typické pro křemen v hlubinných vyvřelinách
Nezřetelné	Nepravidelně rozmístěné zóny s různou	Metamorfované	Typické pro

mramorování	intenzitou CL	horniny, plutonity	metamorfované horniny
Nerozlišitelná CL		Metamorfované horniny, vzácně vulkanity	Ne příliš běžné

II.6. Kvalitativní popis pórového prostoru pomocí optické mikroskopie v ultrafialovém světle

Pískovce se obecně vyznačují středním až vysokým podílem pórového prostoru. Vzhledem k jeho složitému uspořádání v rámci vnitřní horninové stavby ho nelze plně studovat přímo v běžných tzv. zakrytých horninotvorných výbrusech (viz kapitola věnovaná přípravě preparátů pro mikroskopické studium).

V rámci této metodiky jsou navrženy tři způsoby studia a kvantifikace pórového prostoru pomocí:

- (1) Přímého pozorování nezakrytých výbrusů připravených z preparátů, jejichž pórový prostor byl předem obarven směsí nízkoviskózní epoxidové pryskyřice a fluorescenčního barviva. Pozorování je prováděno v optickém mikroskopu vybaveném vhodným budičem fluorescence. Pozorované jevy lze zaznamenat fotograficky a v některých případech je i kvantifikovat. Tento způsob zobrazení pórového prostoru je však schopen zachytit póry s velikostí do přibližně 1 μm .
- (2) Přímého pozorování leštěných výbrusů v elektronovém mikroskopu. Při pozorování ve zpětně odražených elektronech zůstává pórový prostor „hmotnostně“ kontrastní vůči přítomné pevné fázi. Výhodou tohoto způsobu pozorování je větší rozlišení (řádově do prvních desítek nm) a tudíž možnost zjištění různých typů pórů, které v optickém mikroskopu již nejsou rozlišitelné.
- (3) Třetí možností je nepřímé studium pórového prostoru pomocí vtláčení nesmáčivé kapaliny – metodou vysokotlaké rtuťové porosimetrie (viz dále).

První dvě metody pomocí přímého pozorování ve výbrusech umožňují popsat pórový prostor jakožto součást vnitřní stavby hornin, včetně vztahů k ostatním prvkům vnitřní stavby hornin, jejich pozici vůči ostatním minerálům a rozlišit pórový prostor související se vznikem horniny (primární – syngenetické a sekundární – postgenetické neboli diagenetické póry) od pórového prostoru vzniklého během zvětrávacích procesů (zpravidla mikrotrhliny). Dále umožňují popsat, ale též kvantifikovat velikost a tvar průřezu pórem, nedovolují však zohlednit prostorové aspekty.

II.7. Fázová analýza pomocí RTG difrakčního rozboru

Pískovce mohou obsahovat velmi jemnozrné složky v základní hmotě nebo tmelu, které lze jen obtížně přesně identifikovat studiem běžných zakrytých výbrusů v optickém mikroskopu. Vedle výše popsaného studia pomocí elektronové mikroskopie lze tuto horninotvornou složku pískovců studovat pomocí práškové RTG difrakčního rozboru (blíže k principu metody viz např. Moore a Reynolds 1989). Velkou výhodou RTG difrakčního rozboru je skutečnost, že věrohodné výsledky lze získat i při analýze velmi malého množství materiálu, samozřejmě při zachování požadavku na statisticky významné množství materiálu zohledňující jeho přirozenou heterogenitu. V případě pískovců lze za také množství materiálu považovat 1-2 g materiálu.

Postup RTG difrakčního rozboru, navrhovaného pro analýzu pískovců, vyžaduje přípravu práškového vzorku (viz oddíl II.1.3.). Práškový vzorek celkové horniny se měří na

difraktometru s následujícími podmínkami měření: zdroj $\text{CuK}\alpha$, napětí 40 kV, proud 30 mA, úhlový obor 2θ : 3-70°, krok minimálně 0,05° nebo jemnější, doba načítání alespoň 200 s. Pro bližší určení přítomných jílových minerálů je nutné doplnit základní stanovení ještě o dvě další s využitím: (1) texturně orientovaných preparátů, a (2) glykolovaných preparátů za následujících podmínek: úhlový obor 2θ : 3-26 stupňů, krok minimálně 0,05° nebo jemnější, doba načítání alespoň 200 s.

Získané RTG difrakčních záznamy se vyhodnocují příslušným počítačovým programem s užitím databáze difrakčních spekter (JCPDS 1999).

II.8. Stanovení texturních parametrů pórového prostoru pomocí rtuťové porosimetrie

Metoda vysokotlaké rtuťové porosimetrie je založena na kapilární depresi rtuti, která vzhledem k hodnotě stykového úhlu $\varphi > 90^\circ$ nesmáčí povrch tuhé látky (teorie o chování nesmáčivých kapalin v kapilárním prostředí viz např. Adamson a Gast 1997) a do pórů může vnikat pouze účinkem vnějšího tlaku (blíže k metodě Rübner a Hoffmann 2006 a jimi uváděné odkazy literatury). Mezi tlakem P a poloměrem póru r existuje závislost vyjádřená Washburnovou rovnicí (Drake 1949):

$$r = \frac{-2 \cdot \gamma \cdot \cos \varphi}{P} \quad [1],$$

kde γ je povrchové napětí rtuti a φ úhel smáčení stěn póru rtutí. Jestliže v oblasti teplot kolem 25°C se podle přístrojové dokumentace zavedou střední hodnoty $\gamma = 480 \text{ mN/m}^2$ a $\varphi = 141,3^\circ$, P se vyjádří v MPa a r v nm, přejde rovnice [1] do standardního výpočtového tvaru:

$$r = \frac{750}{P} \quad [2],$$

Při použití tlakového intervalu 0,1 kPa až 200 MPa lze zjistit přítomnost pórů s poloměry od 3,7 nm do 58 μm , což vzhledem ke standardnímu rozdělení pórů podle jejich průměru (viz názvosloví IUPAC 1976) na mikropóry ($d < 2 \text{ nm}$), mezopóry ($d = 2\text{-}50 \text{ nm}$), makropóry ($d = 50\text{-}7500 \text{ nm}$) a hrubé póry ($d > 7500 \text{ nm}$) zahrnuje většinu mezopórů, celou oblast makropórů a část hrubých pórů. Přítomnost hrubých pórů o průměru větším než 0,1 mm lze snadno zjistit pomocí optické mikroskopie z výbrusů, připravených z preparátů s barevně zvýrazněnými póry (viz výše).

Texturní parametry pórového prostoru se vyjadřují pomocí objemu mezo-, makro- a hrubých pórů V_{mmh} , jejich měrného povrchu S_{mmh} , distribuce pórů podle poloměru r a pórovitosti $Hg\text{-}Por$. Měření by se měla provádět při teplotě 25°C na 2 dílčích horninových úlomcích, každé velikosti přibližně 5 mm.

V rámci porosimetrických měření, popsaných výše, lze na principu běžné pyknometrické metody stanovit zdánlivou hustotu d_{Hg} . Jako pyknometrické médium zde slouží rtuť, která při tlaku 0,1 MPa nepronikne podle rovnice [2] do pórů menších než 7500 nm a tím se omezí na vnější objem látky s vyloučením hrubých pórů nad 7500 nm a prvků hrubé povrchové nerovnosti. Vzhledem k tomuto omezení je tato hustota definována jako „rtuťová hustota“, jejíž předností je přesná definice změřeného objemu.

II.9. Odvození trvanlivosti na základě texturních parametrů pórového prostoru

Získaná porosimetrická data umožnila provést odhad trvanlivosti studovaného vzorku pískovce pomocí odvozených parametrů. Pro tento účel byly použity dva často používané

odhadní parametry – tzv. Ravaglioliův interval RI (Ravaglioli a Vecchi 1974) a index citlivosti vůči krystalizaci solí (salt susceptibility index – SSI, Yu a Oguchi 2010). Ravaglioliův interval se používá pro stanovení odhadu citlivosti vůči porušení mrazem a počítá se dle vztahu:

$$RI = \frac{V_{RI}}{V_{tMIP}} \quad [3],$$

kde V_{RI} je objem pórů v rozsahu Ravaglioliova intervalu a V_{tMIP} je celkový objem pórů zjištěných pomocí vysokotlaké rtuťové porosimetrie.

Index citlivosti vůči krystalizaci solí lze vypočítat ze vztahu:

$$SSI = (I_{PC} + I_{Pm0.1}) \cdot \frac{P_{m5}}{P_C} \quad [4],$$

kde I_{PC} je index celkové pórovitosti, $I_{Pm0.1}$ je index mikropórovitosti, tj. zastoupení pórů s poloměrem menším než 0,1 μm , P_{m5} vyjadřuje podíl pórů, jejichž poloměr je menší než 5 μm a P_C je otevřená pórovitost zjištěná rtuťovou porosimetrií.

II. 10. Klasifikace pískovců

Přes řadu studií v oboru sedimentární petrologie a nomenklatury klastických sedimentárních hornin neexistuje jednotná, bez výhrad přijímaná klasifikace. Jedním z důvodů je fakt, že ne vždy je plně dodrženo oddělení pohledu mineralogického (látkového) složení od pohledu uspořádání vnitřní stavby nebo zrnitosti. Pro klasifikaci pískovců *s.l.* jsou nejčastěji používána trojsložková schémata, jejichž póly nemusí být v jednotlivých klasifikacích jednoznačně identické (viz např. de Vries Klein 1963, Petránek 1963, Dudek et al. 1962).

Při aplikaci nejvíce používaného klasifikačního schématu klastických sedimentárních hornin podle četnosti zastoupení klastů různého složení (viz McBride 1963) se rozlišuje mezi křemennými klasty (Q), živcovými klasty (F) a úlomky hornin – litoklasty (L)) (Tab. 2). Přítomnost exotických, akcesorických nebo podružných složek se nezapočítává a zjištěné procentuální zastoupení složek Q, F a L se musí přepočítat na 100 %. Pro rozlišení mezi pískovci a drobami, případně též kalovci je dále určující množství pojiva (Dott 1964).

Tab. 2. Základní složky klastů a jejich formy, významné pro detailní klasifikaci pískovců (upraveno dle Dickinsona 1970).

Základní složka	Příklady forem v dané složce
Q (úlomky křemene <i>s.l.</i>)	Monokrystalický křemen (křemenný klast tvořený jedním zrnem křemene)
	Polykrystalický křemen (křemenný klast tvořený více křemennými zrny)
	Kryptokrystalické formy SiO_2 (např. klasty tvořené opálem apod.)
	Křemen v mikroafanitických úlomcích hornin
F (úlomky živců)	Mikroskopické vyrostlice křemene v afanitických úlomcích hornin
	Monokrystalické úlomky živce
	Živec v mikroafanitických úlomcích hornin
L (úlomky hornin)	Mikroskopické vyrostlice živce v afanitických úlomcích hornin
	Úlomky vulkanitů
	Úlomky sedimentárních hornin (včetně vulkanoklastik)
	Úlomky metamorfovaných hornin (s výjimkou kvarcitů, křemen-živcových úlomků z rul či mylonitů)

Při detailní klasifikaci, dosud používané zejména v petrogenetických studiích sedimentárních hornin (viz např. Dickinson 1970, 1985), se ve výše uvedených základních kategoriích klastů rozlišují sekundární parametry klastů (Tab. 3).

Tab. 3. Sekundární parametry klastů (upraveno dle Dickinsona 1970).

Poměr	Popis
C/Q	C = obsah úlomků, tvořených polykrystalickým a kryptokrystalickým křemenem, případně litickými úlomky tvořenými křemenem, opálem nebo rohovcem Q = obsah úlomků křemene s./
P/F	P = obsah úlomků plagioklasu F = obsah úlomků všech živců
V/L	V = obsah úlomků vulkanických hornin s afanitickou vnitřní stavbou L = obsah všech úlomků „nestabilních“ hornin

Při aplikaci tzv. „texturních“ kritérií se klastické sedimentární horniny klasifikují na základě poměrného zastoupení mezi částicemi různé velikosti (Folk 1954, 1959, 1980, Farrell et al. 2012). Základem je zjištění četnostního zastoupení v jednotlivých zrnitostních kategoriích, které byly původně navrženy Wentworthem (1922) a revidovány Folkem (1980).

III. Srovnání „novosti postupů“ oproti původním postupům a jejich zdůvodnění

III.1. Celkový přínos metodiky

Sjednocení postupů (Tab. 2), používaných při laboratorních průzkumech pískovců, odebraných z památkových objektů, aplikace širokého spektra pokročilých laboratorních metod (mikroskopické studium s využitím katodové luminiscence, kvantitativní analýza složení s využitím dat z elektronové mikroskopie s mikroanalýzou, fázová analýza pomocí RTG difrakčního rozboru, využití kvantitativních porosimetrických dat), odvození trvanlivosti pískovců z texturních parametrů pórového prostoru získaných pomocí rtuťové porosimetrie, návrh klasifikace „pískovců“ *s.l.*

Tab. 2. Míra důležitosti dílčích postupů petrografického rozboru při určování původu pískovců. Vysvětlivky: 1 = makrostavba, 2 = mikrostavba minerálního skeletu, 3 = rozlišení přítomných klastů (základní rozlišení mezi křemennými a živcovými klasty, litoklasty), popis a kvantifikace jejich tvaru a velikosti, 4 = rozlišení základní hmoty nebo tmelu či pojiva, včetně složení a vztahu ke klastické složce, 5 = rozlišení přírůstkových zón křemenných klastů, 6 = rozlišení druhotných fází a jejich vztahu k primárním součástem, 7 = pórový prostor a jeho vztah k minerálnímu skeletu, 8 = kvantifikace parametrů pórového prostoru (póry nad 0,1 mm), 9 = kvantifikace parametrů pórového prostoru (póry pod 0,1 mm), 10 = odvození trvanlivosti, 11 = petrografické zařazení, +++ = základní postup, bez něž nelze dané stanovení provést, ++ = vhodná doplňující metoda k základnímu stanovení (případně metoda komplementární k dalším), + = okrajově využitelná metoda pro daný účel, avšak s některými omezeními.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
makroskopický popis	+++		+								+
optická mikroskopie zakrytých výbrusů		+++	++	+	++						++
elektronová mikroskopie s katodovou luminiscencí					+						
optická mikroskopie barvených výbrusů							++	+++	+		+
RTG difrakce základní hmoty				+		+					+
elektronová mikroskopie s mikroanalýzou		++	+	+	++	+++	++		++		++
rtuťová porosimetrie									+++	++	

III.2. Zavedení nových postupů analýzy

V porovnání s analytickými postupy, použitými v přechozích pracích, přináší zde navrhovaná metodika nový přístup kvantitativního rozboru pískovců pomocí elektronové mikroskopie s energiově disperzní spektrometrií. Tento analytický přístup umožňuje identifikovat druhotné fáze (vzniklé v důsledku zvětrávacích jevů nebo přechozích restaurátorských zásahů), které nejsou jinými analytickými metodami rozlišitelné.

IV. Uplatnění certifikované metodiky – pro koho je určena a jak bude uplatňována

Předkládaná metodika je určena pro oblast památkové péče, která využívá výsledků materiálových rozborů objektů kulturního dědictví – sochařských výtvarných děl, architektonických prvků a staveb, zhotovených z pískovců. Výsledky, dosažené pomocí postupy, navrženými v této metodice by měly přispět:

- (1) ke zpřesnění znalostí o tomto typu sochařského a stavebního materiálu;
- (2) ke sjednocení postupů, používaných při klasifikaci pískovců;
- (3) k nalezení zdrojové lokality či alespoň oblasti, z níž byl přírodní kámen (pískovec) odebírán;
- (4) k hledání vhodného náhradního typu pískovce při nutnosti výměny;
- (5) k poznání vhodných postupů při restaurování pískovce.

Oblast využití této metodiky je tedy při předrestaurátorských materiálových průzkumech památek, na nichž byl použit příslušný typ přírodního kamene, tedy pískovec.

Metodika je určena širšímu okruhu specialistů, kteří se podílejí na předrestaurátorských materiálových průzkumech památek. Jedná se nejen o specialisty – geology, kteří provádějí samotný rozbor přírodního kamene z památek, ale též specialisty, kteří rozbor zadávají a kteří výsledky průzkumu potřebují pro volbu vhodné strategie restaurování – tedy restaurátory a technology. Těmto specializacím by metodika měla posloužit při formulování požadavků na typ rozboru a při interpretaci jeho výsledků.

V. Související literatura

- Adamson A.W., Gast A.P., 1997. *Physical Chemistry of Surfaces*. 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 784 str.
- de Vries Klein G., 1963. Analysis and review of sandstone classifications in the North American geological literature, 1940-1960. *Geological Society of America, Bulletin* 74(5): 555–576.
- Dickinson W.R., 1970. Interpreting detrital modes of graywackes and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology* 40(2): 695–707.
- Dickinson W.R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa G.G. (ed.) *Provenance of arenites*. “Proceeding of the NATO Advanced Study Institute on Reading Provenance from Arenites, Cetraro, Cosenza, Italy, June 3-11, 1984”, NATO ASI Series C, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 148, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, str. 333–361.
- Drake L.C., 1949. Pore-size distribution in porous materials. Application of high pressure mercury. *Industrial and Engineering Chemistry* 41: 780–785.
- Dudek A., Fediuk F., Palivcová M., 1962. *Petrografické tabulky*. NČSAV, Praha, 303 str.
- Folk R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology* 62: 344–359.
- Folk R.L., 1956. The role of texture and composition in sandstone classification. *Journal of Sedimentary Petrology* 26: 166–171.
- Folk R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 43: 1–38.
- Folk R.L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 str.
- Ingham J.P., 2011. *Geomaterials under the microscope*. Manson Publishing, London, 192 str.
- IUPAC, 1976. Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units — appendix II. Definitions, terminology and symbols in colloid and surface chemistry. Part II: heterogeneous catalysis. *Pure and Applied Chemistry* 46(1): 71–90.
- JCPDS, 1999. *Powder Diffraction File, PDF-2*. International Centre for Diffraction Data, Newtown, Pennsylvania, USA.
- Konta J., 1973. *Kvantitativní systém reziduálních hornin, sedimentů a vulkanoklastických usazenin*. Universita Karlova, Praha, 375 str.
- Kopecká I., Nejedlý V., 2005. *Průzkum historických materiálů*. Grada, Praha, 101 str.
- Kukal Z., 1985. *Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů*. ÚÚG, Praha, 80 str.
- Moore D.M., Reynolds R.C., 1989. *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. 2. vydání, Oxford University Press, Oxford, 378 str.
- Murata K.J., Norman M.B., 1976. An index of crystallinity for quartz. *American Journal of Science* 276: 1120–1130.
- Nishiyama T., Kusuda H., 1994. Identification of pore spaces and microcracks using fluorescent resins. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 31: 369–375.
- Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D., 2000. *Cathodoluminescence in geosciences*. Springer, Berlin, 514 str.
- Příkryl R., 1998. *The effect of rock fabric on some mechanical properties of rocks: an example of granites*. Doktorská disertace PŘF UK, Praha, 154 str.

- Příkryl R., 2001. Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts* 38(5): 671–682.
- Příkryl R., 2007. Understanding the earth scientist's role in the pre-restoration research of monuments: an overview. In: Příkryl R., Smith B.J. (eds.) *Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation*. Geological Society London, Special Publications, 271, str. 9–21.
- Příkryl R., 2015. Fluorescent Microscopy of Stained Thin Sections: A Direct Tool for the Evaluation of Pore Space Characteristics in Porous Rocks. In: Lollino G., Giordan D., Marunteanu C., Christaras B., Yoshinori I., Margottini C. (eds.) *Engineering Geology for Society and Territory – Volume 8: Preservation of Cultural Heritage*. Springer, Cham, str. 539–542.
- Ravaglioli A., Vecchi G., 1974. Assessment of the frost resistance of ceramic bodies by means of porosity meter tests. In: Modrý S., Svatá M. (eds) *Pore structure and properties of materials*. Proceedings of the International Symposium RILEM/IUPAC, September 18-21, 1973, Prague (Czechoslovakia). Final report, Vol. VI, Part IV, Topic 2.3 Relations between pore structure and durability of materials. Academia, Prague, F117–F127.
- Rübner K., Hoffmann D., 2006. Characterization of mineral building materials by mercury-intrusion porosimetry. *Particle & Particle Systems Characterization* 23(1): 20–28.
- Rybařík V., 1994. *Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky*. Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské v Hořicích v Podkrkonoší, Hořice v Podkrkonoší, 218 str.
- Schmid J., Ramseyer K., Decrouez D., 1999a. A new element for the provenance determination of white marbles: quantitative fabric analysis. In: Schvoerer M. (ed.) *ASMOSIA IV. Archéomatériaux: Marbres et autres roches*. CRPAA-Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, str. 171–175.
- Schmid J., Ambühl M., Decrouez D., Müller S., Ramseyer K., 1999b. A quantitative fabric analysis approach to the discrimination of white marbles. *Archaeometry* 41(2): 239–252.
- Seyedolali A., Krinsley D.H., Boggs S., O'Hara P.F., Dypvik H., Goles G.G., 1997. Provenance interpretation of quartz by scanning electron microscope–cathodoluminescence fabric analysis. *Geology* 25(9): 787–790.
- Stow D.A.V., 2005, *Sedimentary rocks in the field. A colour guide*. Manson Publishing, London, 320 str.
- Williams L.A., Parks G.A., Crerar D.A., 1985. Silica diagenesis, I. solubility controls. *Journal of Sedimentary Petrology* 55(3): 301–311.
- Yu S., Oguchi C.T., 2010. Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and predicting salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Engineering Geology* 115(3-4): 226–236.

VI. Seznam publikací – výstupů z práce

Přikryl R., 1998. *The effect of rock fabric on some mechanical properties of rocks: an example of granites*. Doktorská disertace PřF UK, Praha, 154 str.

Přikryl R., 2001. Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts* 38(5): 671-682.

Přikryl R., 2007. Understanding the earth scientist's role in the pre-restoration research of monuments: an overview. In: Přikryl R., Smith B.J. (eds.) *Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation*. Geological Society London, Special Publications, 271, str. 9-21.

Přikryl R., 2013. Durability assessment of natural stone. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 46(4): 377-390.

Přikryl R., 2015. Fluorescent Microscopy of Stained Thin Sections: A Direct Tool for the Evaluation of Pore Space Characteristics in Porous Rocks. In: Lollino G., Giordan D., Marunteanu C., Christaras B., Yoshinori I., Margottini C. (eds.) *Engineering Geology for Society and Territory – Volume 8: Preservation of Cultural Heritage*. Springer, Cham, str. 539-542.

Přikryl R., Török Á., 2010. Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation. In: Přikryl R., Török Á. (eds.) *Natural stone resources for historical monuments*. Geological Society, London, Special Publications, 333, str. 1-9.

Török Á., Přikryl R., 2010. Current methods and future trends in testing, durability analyses and provenance studies of natural stones used in historical monuments. *Engineering Geology* 115(3-4): 139-142.