



národní
úložiště
šedé
literatury

Materiálový rozbor přírodního kamene – opuky – exaktními laboratorními metodami jako nástroj ke stanovení zdrojové oblasti

Příkryl, Richard; Šťastná, Aneta; Příkrylová, Jiřina; Zamrazilová, Lenka; Weishauptová, Zuzana

2015

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-201439>

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

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

Datum stažení: 24.04.2019

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

„Materiálový rozbor přírodního kamene – opuky – exaktními laboratorními metodami jako nástroj ke stanovení zdrojové oblasti“

Autoři

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

Aneta Šťastná (Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2)

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

Lenka Zamrazilová (Akademie výtvarných umění v Praze, U akademie 4, Praha 7)

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

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)

Anotace

Předkládaná metodika byla zkompleťována v letech 2013-2014 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. Richard Příkryla na poli rozborů přírodního kamene památek v ČR, mezi nimiž sochařská výtvarná díla a architektonické či stavební prvky zhotovené z opuk zaujímají významné místo. Metodika se zabývá hlavními postupy a analytickými rozbory, které lze využít k petrografickému popisu opuk, jež následně slouží k určování jejich zdrojové oblasti. V metodice je diskutován rozsah použití jednotlivých metod pro popis opuk a současné možnosti jejich petrografické klasifikace.

Klíčová slova

Opuka, česká křídlová pánev, mineralogické složení, vnitřní horninová stavba, pórový prostor, petrografický popis, optická mikroskopie, katodová luminiscence, elektronová mikroskopie s mikroanalýzou, práškový RTG difrakční rozbor, obsah karbonátů, nerozpustný zbytek, rtuťová porosimetrie, texturní parametry pórového prostoru, klasifikace opuk

Opuka, Bohemian Cretaceous Basin, mineralogical composition, rock fabric, pore space, petrographic description, optical microscopy, cathodoluminescence, electron microscopy with microanalysis, powder X-ray diffraction, carbonate content, insoluble residue, mercury porosimetry, textural parameters of pore space, classification of opuka

I. Cíl metodiky

Opuky patří k nejdéle používaným typům přírodního kamene ve stavebnictví, architektuře a sochařství v českých zemích (viz např. Scholle a Konta 1987, Schütznerová-Havelková 1979, 1981, Mannlová-Raková 1989, Brus 1992, Konta 1993, Rybařík 1993, 1994, Šrámek 1997, 2000, Valečka 2007). 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 předrestaurovánských materiálových průzkumů. Opuky jsou navíc značně náchylné k porušení během zvětrávacích procesů; proto věrohodný materiálový rozbor může nemalou měrou přispět k vhodně zvolenému restaurátorskému/konzervátorskému zásahu.

Opuky byly v českých zemích těženy na řadě lokalit (počet významných historických lomů se pohybuje ve vyšších desítkách) v různých časových obdobích. Tyto makroskopicky zdánlivě podobné horniny se však značně liší vlastnostmi i složením nejen mezi lokalitami, ale též v rozsahu jedné lokality. Důkladná znalost materiálu tak 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.

S ohledem na výše zmíněný skutečnosti i na fakt, že opuky představují poměrně vágně definovanou skupinu hornin v mineralogicko-petrografickém slova smyslu, se tato metodika snaží navrhnout logicky členěný postup rozborů. 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, které je analyzováno metodami, jež nemají adekvátní alternativu. 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, sedimentárních klastických hornin typu pískovců *s.l.*, metamorfovaných karbonátových hornin typu krystalických vápenců neboli „mramorů“), má své specifické vlastnosti, z nichž vycházejí obecně zavedené metodické postupy, používané při jejich studiu pro účely památkové péče nebo archeologie.

Rovněž opuky mají své výlučné znaky. Na rozdíl od výše uvedených typů hornin však pro jejich rozbor během předrestaurovánských nebo umělecko-historických výzkumů nebyla vypracována ucelená metodika. Je však třeba uvést, že metodikou určování zdrojových oblastí opuk 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 – opuky – pro potřeby určení původu (tj. zdrojové oblasti, případně místa výlomu), pro detailní materiálový popis během předrestaurovánských průzkumů a pro zpřesnění klasifikace opuk. 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 rozbor 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, s ohledem na velikost horninotvorných součástí opak, považovat za dostačující.

Tab. 1. Minimální množství vzorku, jež je potřebné k provedení věrohodného petrografického rozboru opuky 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 a stanovení celkového množství karbonátů	úlomky či drť	$2 \times 1 \times 1$ cm	2 cm^3 , 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 odebíráán kamenickým náčiním tak, aby zůstal zachován jeho přirozený stav (tj. stupeň soudržnosti, stupeň navětrání, přirozená vlhkost, míra zasolení).

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 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 zkresleny další petrografické charakteristiky.

II.1.2. Příprava materiálu pro zhotovení výbrusů

Pro potřeby mikroskopického rozboru je nutné připravit horninové výbrusy, tj. horninové preparáty plošného rozměru cca 1 × 2 cm, 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.

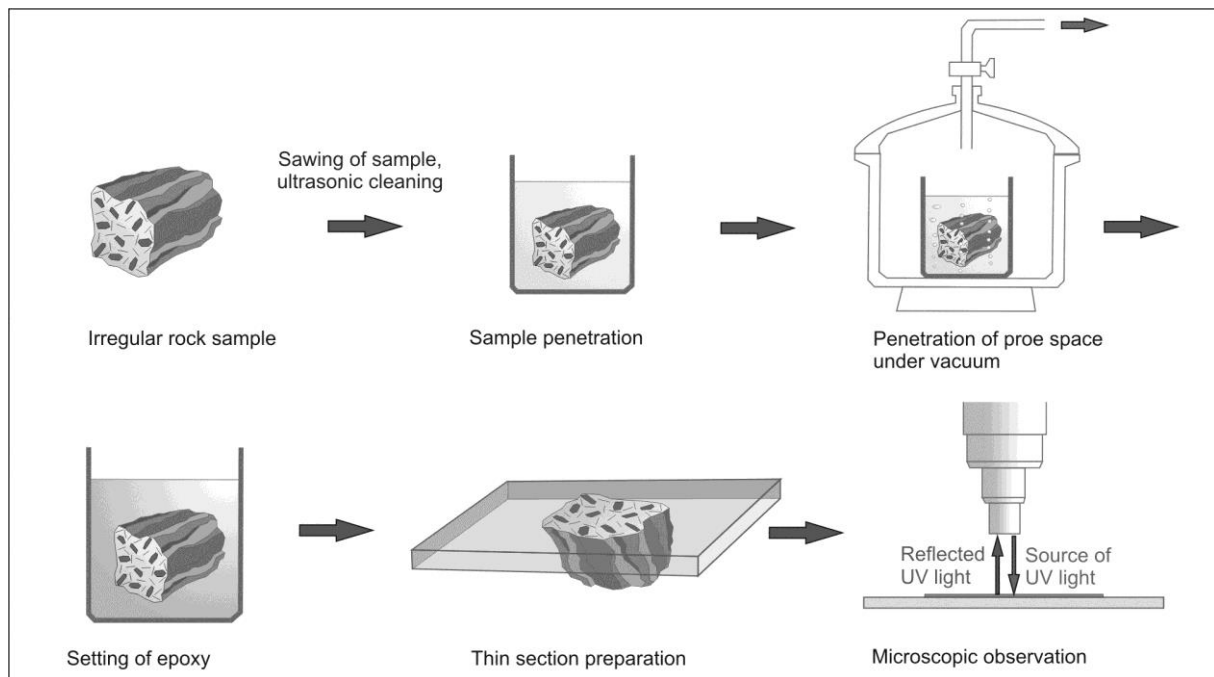
Přípravu petrografických výbrusů, popisovanou v základních učebnicích a příručkách (např. Dudek et al. 1962) provádějí specializovaná pracoviště výzkumných institucí či soukromé firmy.

V případě opuk (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 Příkrylem (1998, 2007) na základě přepracované metody, publikované Nishiayamou a Kusudou (1994), kteří použili k penetraci a zpevnění pórovitých hornin rychle tuhnoucí methylmetakrylátů smíchané s barvivem. Dříve provedené zkoušky (Příkryl 1998) prokázaly, že při aplikaci methylmetakrylátů nedochází k úplné penetraci pórovitého 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 zpevňování 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 hodin¹.
- 2) Vzorek přírodního kamene napuštěný dle kroku č. 1 se rozřízne přesnou diamantovou pilou tak, aby vzniklý řez (orientovaný kolmo k sedimentární vrstevnatosti) 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).
- 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.

¹ Podmínky tvrdnutí se mohou lišit v závislosti na použité pryskyřici.

- 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 (opuky) pro potřeby přípravy výbrusu.

II.1.3. Příprava materiálu pro určení celkového obsahu karbonátů a nerozpustného zbytku pro práškovou RTG difrakční rozbor

Opuky obsahují proměnlivé množství karbonátů (zpravidla převládá kalcit), které mají povahu mikritu. Stanovení celkového obsahu karbonátů ve výbruse pomocí běžných petrografických postupů v optickém mikroskopu ve viditelném světle je zpravidla velmi zdoluhavé; u hornin obsahujících směs velmi jemnozrnného karbonátového kalu (mikritu), jílových minerálů a různých forem SiO_2 prakticky nemožné. Opuky navíc obsahují řadu minerálů (krystalických fází – zejména jílových minerálů, ale též amorfních látek – zejména různé formy SiO_2), jejichž přítomnost rovněž nelze věrohodně určit pomocí optické mikroskopie ve viditelném světle.

Stanovení celkového obsahu karbonátů a získání části horniny, obsahující výše zmiňované velmi jemnozrnné nekarbonátové minerály lze provést jednoduchým způsobem, který spočívá v odloužení karbonátů v 1M HCl nebo HCOOH. Před vlastním odloučením se vybere reprezentativní horninový úlomek velikosti alespoň $2 \times 1 \times 1 \text{ cm}$ (tedy 2 cm^3 , k množství materiálu blíže viz oddíl II.1.1.). Tento úlomek se rozdrtí a namele na analytickou jemnost. Získaný práškový vzorek se rozdělí v poměru 1 : 1 na dva dílčí vzorky a zváží se. Každý ze vzorků by měl vážit minimálně 1 g. První z dílčích vzorků se ponechá pro práškový RTG difrakční rozbor celkové horniny (tedy včetně karbonátů).

Druhý dílčí vzorek se upraví loužením v 1M HCl nebo HCOOH po dobu minimálně 8 hodin, následným odstředěním a opakovaným promytím destilovanou vodou (kvůli odstranění vzniklých chloridů). Touto úpravou se z materiálu odstraní přítomný uhličitán (kalcit). Po vysušení se následným vážením tohoto dílčího vzorku se stanoví hmotnostní úbytek, který by měl odpovídat celkovému obsahu (hm. %) kalcitu ve vzorku. Také druhý dílčí vzorek (práškový) se po předepsané úpravě podrobí RTG difrakčnímu rozboru.

II.2. Makroskopický popis

Makroskopický popis je třeba provést na dostatečně velké ploše, 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 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):

- vrstevnatost;
- sedimentární stavby (struktury a textury);
- 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 opak 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 opak 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, čočkovité nebo nepravidelné nodulární apod.).

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:

(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 opuk je nutné rozlišit mezi složkou klastickou (úlomkovitou) a základní hmotou. Úlomkovitá složka opuk je prachovitá a je tvořena křemennými a živcovými klasty a lupínky slíd (muskovitu, často zčásti kaolinizovaného). V širším slova smyslu lze ke klastické složce řadit též bioklasty a detritický karbonát (kalcit). 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. pojiva.

Základní hmota opuk je 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 opuk nutné kombinovat mikroskopická pozorování (elektronová mikroskopie) s fázovým rozбором pomocí práškového RTG difrakčního rozboru.

Určení množství a charakteru přítomných minerálů je zásadní pro základní petrografickou klasifikaci horniny. V případě opuk těmito hlavními minerály mohou být karbonáty (zejména kalcit), křemen a další formy SiO_2 (přesnější identifikace těchto amorfních a kryptokrystalických forem podrobněji pomocí RTG difrakce nebo pomocí elektronové mikroskopie a plošné SEM/EDS analýzy) a jílové minerály (ve výbruse v optickém mikroskopu špatně identifikovatelné nebo vůbec ne, nutno použít doplňkové stanovení pomocí RTG difrakčního rozboru nerozpustného zbytku).

II.4. Kvalitativní popis karbonátů s využitím katodové luminiscence

Katodová luminiscence patří k nejběžnějším luminiscenčním 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).

Pro opuky lze využít nízkoenergetickou (tzv. „studenou“) katodu připojenou k optickému mikroskopu, u níž se energie elektronů, dopadajících na výbrus, pohybuje v rozmezí 14-15 kV a intenzita dopadajícího svazku elektronů je udržována v rozmezí 320-350 μA . Pozorovanou luminiscenci lze popsat slovně, výhodné je ji však dokumentovat fotograficky.

II.5. Kvalitativní popis pórového prostoru pomocí optické mikroskopie v ultrafialovém světle

Opuky se obecně vyznačují vysokým podílem pórového prostoru. Vzhledem k jeho složitému uspořádání v rámci vnitřní horninové stavby ho nelze 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 schopn 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 porů, 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.6. Kvantitativní analýza složení pomocí elektronové mikroskopie s mikroanalýzou

Opuky jsou velmi jemnozrné horniny, jejichž jednotlivé horninotvorné součásti nebo minerální zrna se jen obtížně rozeznávají a identifikují v optickém mikroskopu, zejména tehdy pokud je nutné provést kvantitativní rozbor (tj. stanovit modální složení pro účely podrobné klasifikace a pro účely určení zdrojové lokality). Studium 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.

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.

Měření je vhodné provádět ve dvou základních modifikacích: bodová měření na vybraných zrnech k ověření jejich chemického složení (zjištění příměsí apod.). Z důvodu statistické věrohodnosti je žádoucí, aby takto byl analyzován větší počet zrn též fáze (minimálně 20 bodových analýz). Druhou možností je tzv. plošné měření chemického složení (délka strany vybrané plochy se zpravidla pohybuje mezi 1000-1500 μm). Z těchto měření lze nepřímo odvodit modální složení studovaného vzorku.

II.7. Fázová analýza pomocí RTG difrakčního rozboru

Opuky jsou velmi jemnozrnné horniny, obsahující řadu minerálů (krystalických fází, ale též amorfních látek – zejména různé formy SiO₂), které nelze s úspěchem identifikovat pomocí optické mikroskopie. Vhodnou doplňující metodou je pro takovéto horniny práškový RTG difrakční rozbor (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 opuk lze za také množství materiálu považovat 1-2 g materiálu.

Postup RTG difrakčního rozboru, navrhovaného pro analýzu opuk, vyžaduje přípravu práškového vzorku (viz oddíl II.1.3.). Jak již bylo diskutováno výše, vyšší obsahy karbonátů (20-50 %) ve většině opuk vedou k nutnosti provést RTG difrakční rozbor na 2 dílčích vzorcích – s karbonátem (celková hornina) a bez karbonátu (nerozpustný zbytek).

Dílčí práškový vzorek celkové horniny se měří na difraktometru s následujícími podmínkami měření: zdroj CuK α , napětí 40 kV, proud 30 mA, úhlový obor 2Theta: 3-70°, krok minimálně 0,05° nebo jemnější, doba načítání alespoň 200 s.

Dílčí vzorek s odlouženým kalcitem se měří RTG difrakcí za shodných podmínek jako u neodlouženého vzorku, a dále za následujících podmínek: úhlový obor 2Theta: 18-36° a 65-70°, krok minimálně 0,01° nebo jemnější, doba načítání alespoň 150 s (ostatní parametry shodné s předchozím měřením). Posledně jmenované podmínky měření se používají kvůli snaze o bližší určení přítomných forem SiO₂ podle metodiky publikované Muratou a Normanem (1976), Williamsovou *et al.* (1985) a Lynneovou *et al.* (2007).

Pro detailní studium přítomných jílových minerálů se na druhém dílčím vzorku s odlouženým kalcitem používají dva další způsoby RTG difrakčního rozboru: (1) texturně orientované preparáty, a (2) glykolované preparáty za následujících podmínek: úhlový obor 2Theta: 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 ($d < 2$ nm), mezopóry ($d = 2-50$ nm), makropóry ($d = 50-7500$ nm) a hrubé póry ($d > 7500$ 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 $Hg-Por$. 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 opuky 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:

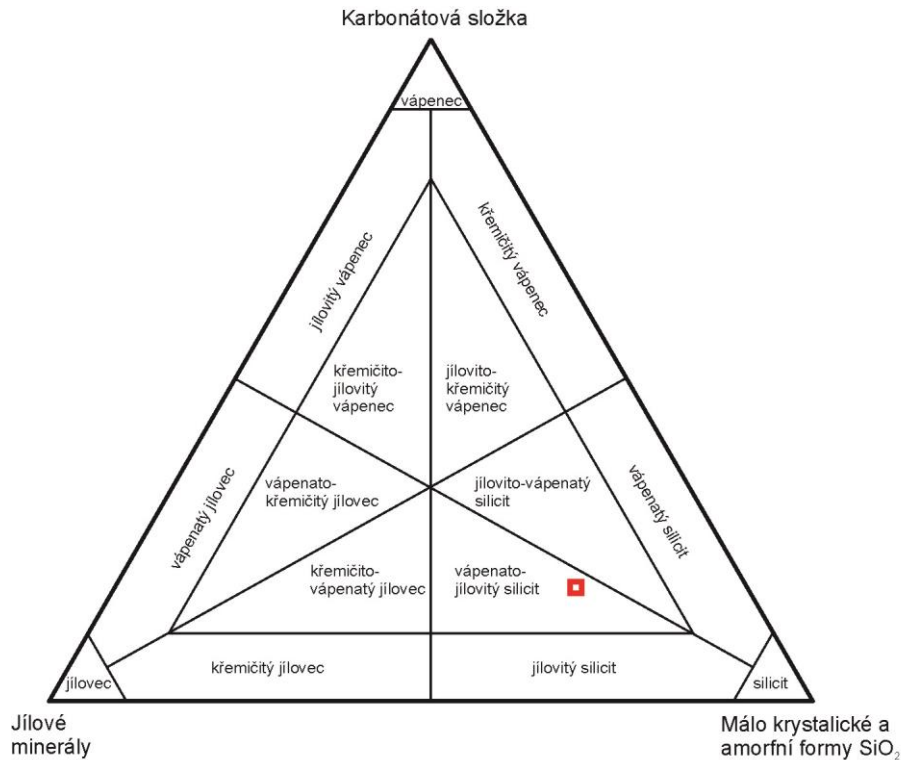
$$SSI = (I_{PC} + I_{Pm0.1}) \cdot \frac{P_{m5}}{P_C} \quad [4],$$

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.

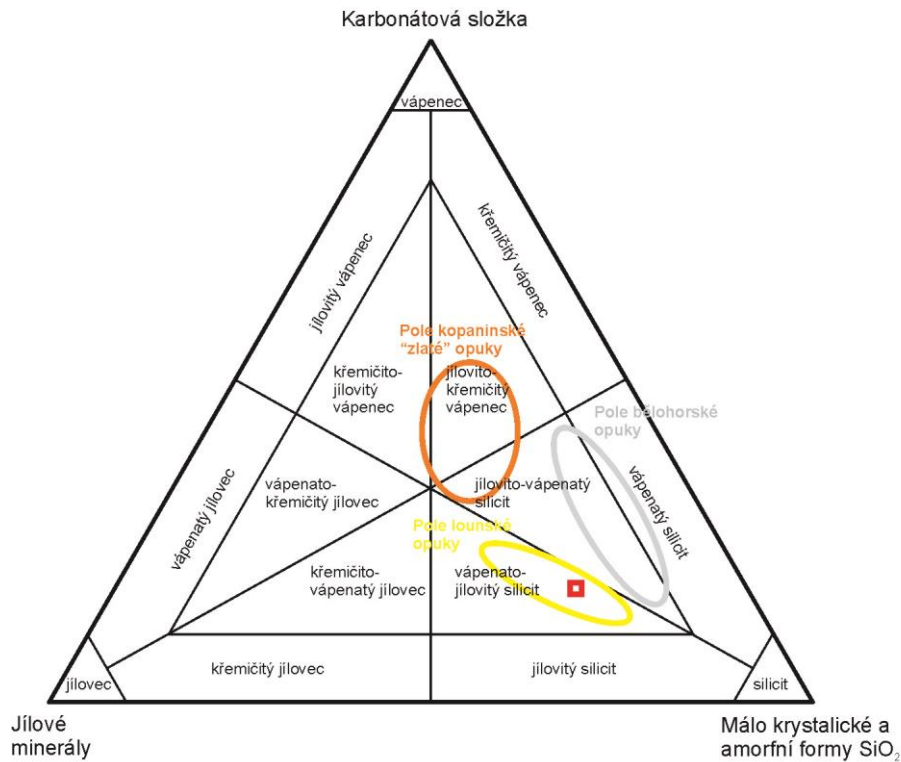
II. 10. Klasifikace opuk

Opuky jsou v česky psané literatuře označovány řadou termínů, které by podle představ autorů měly odrážet charakter jejich složení – slínovce, spongolity či spongiolity apod. Ani jeden z těchto termínů však neodpovídá mineralogické skladbě těchto hornin a poměrnému zastoupení hlavních složek. Z tohoto důvodu je navrhováno používat logický klasifikační systém (Obr. 2), původně navržený Kontou (1973), který zohledňuje poměrné zastoupení 3 hlavních složek: amorfních a kryptokrystalických forem SiO_2 , karbonátů (kalcitu) a jílových minerálů.

Velká část opuk české křídové pánve spadá do oblasti jílovito-vápenatých nebo vápenato-jílovitých silicitů, případně do oblasti jílovitých silicitů nebo vápenatých silicitů (Obr. 3). Řada opuk však, vzhledem k převaze karbonátové složky v této klasifikaci patří do pole jílovito-křemičitých vápenců a z hlediska Dunhamovy klasifikace sedimentárních vápenců (Dunham 1962) by mohly být obecně klasifikovány jako mudstone, případně jako mikritický vápenec (dle klasifikace podle Folka 1959, 1962) s jílovito-křemičitou příměsí.



Obr. 2. Základní klasifikační schéma jemnozrnných sedimentárních hornin, obsahujících stejné horninotvorné minerály jako opuky (upraveno dle Konty 1973). Toto schéma je navrhováno jako závazné základní klasifikační schéma pro petrografické pojmenování opuk.



Obr. 3. Příklad vymezení příslušnosti opuk ze tří těžebních oblastí (Přední Kopanina, Bílá Hora a Louny) k jednotlivým petrografickým typům klasifikačního schématu (převzato z nepublikovaného průzkumu materiálu polychromované Piety z Jihlavy, Příkryl a Šťastná 2012).

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

III.1. Celkový přínos metodiky

Sjednocení postupů (Tab. 2), používaných při laboratorních průzkumech opuk, 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 opuk z texturních parametrů pórového prostoru získaných pomocí rtuťové porosimetrie, návrh klasifikace „opuk“ *s.l.*

Tab. 2. Míra důležitosti dílčích postupů petrografického rozboru při určování původu opuk. Vysvětlivky: 1 = makrostavba, 2 = mikrostavba minerálního skeletu, 3 = mineralogické složení (určení přítomnosti), 4 = amorfni a kryptokrystalické formy SiO₂, 5 = klastický křemen (množství, tvar a velikostní distribuce), 6 = karbonáty (identifikace a základní rozlišení), 7 = jílové minerály (typ, vztah k ostatním minerálům), 8 = ostatní klastické příměsi (množství, tvar a velikostní distribuce), 9 = bioklasty (typ, tvar, velikost, rozmístění), 10 = pórový prostor a jeho vztah k minerálnímu skeletu, 11= kvantifikace parametrů pórového prostoru (póry nad 0,1 mm), 12 = kvantifikace parametrů pórového prostoru (póry pod 0,1 mm), 13 = odvození trvanlivosti, 14 = petrografické zařazení, +++ = základní postup, bez nějž 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	12	13
makroskopický popis	+++												
optická mikroskopie výbrusů		+++	++	±	++	++		++	++				
optická mikroskopie s katodovou luminiscencí					+	++		+	++				
optická mikroskopie barvených výbrusů										++	+++		
RTG difrakce celkové horniny			++	±		++	++						
RTG difrakce nerozpustného zbytku				+			++	+					
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 mineralogického rozboru opuk pomocí plošné prvkové analýzy elektronovou mikroskopií s energiově disperzním spektrometrií. Výstupem analýzy jsou plošné „mapy“ četnosti zastoupení vybraných prvků, z nichž lze, za splnění určitých podmínek odvodit modální složení studované horniny.

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 opuky. 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 opuk;
- (3) k nalezení zdrojové lokality či alespoň oblasti, z níž byl přírodní kámen (opuka) odebírán;
- (4) k hledání vhodného náhradního typu opuky při nutnosti výměny;
- (5) k poznání vhodných postupů při restaurování opuky.

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

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.

Brus Z., 1992. Původ opuky klenebních žeber děkanského chrámu v Mostě. *Technologia Artis* 2: 105–106.

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.

Dunham R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham W.E. (ed.) *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1: 108–171.

Folk R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 43: 1–38.

Folk R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone types. In: Ham W.E. (ed.) *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1: 62–84.

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.

Konta J., 1993. Stone of Gothic Pieta discovered in Bern. Comparison with Cretaceous marly chert from Prague. *Applied Clay Science* 7: 357–366.

Kukal Z., 1985. *Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů*. ÚÚG, Praha, 80 str.

Lehr R., 2008. Die Pläner des Nodrböhmisch-Sächsischen Kreidebeckens und ihre Bedeutung als Naturwerkstein. Fazies, Diagenese, petrophysikalische und gesteintechnische Eigenschaften, Verwitterungsverhalten. Doktorská disertace, Friedrich-Alexander Universität Erlangen – Nürnberg.

Lynne B.Y., Campbell K.A., James B.J., Browne P.R.L., Moore J., 2007. Tracking crystallinity in siliceous hot-spring deposits. *American Journal of Science* 307: 612–641.

Mannlová-Raková H., 1989. *Kulturní památka Most – Děkanský kostel a jeho stavitelé*. Propagační tvorba, Praha, Okr. Museum Most, 144 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.

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.

- 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.
- 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., 1993. Stavební a sochařské opuky české křídly. *Geologický průzkum* 35(3): 72–76.
- 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.
- Scholle T., Konta J., 1987. Der Goldene Pläner, das häufigste Baugestein in mittelalterlichen Prag. *Acta Univeristatis Carolinae – Geologica* 1987(1): 5–31.
- Schütznerová-Havelková V., 1979. The thousand year old building stone of Romanesque Prague. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 19: 374–380.
- Schütznerová-Havelková V., 1981. Použití opuky ve středověké architektuře v Praze. *Sborník geologických věd, Ř. HIG* 15: 65–82.
- Stow D.A.V., 2005, *Sedimentary rocks in the field. A colour guide*. Manson Publishing, London, 320 str.
- Šrámek J., 1997. Ještě jednou k pražským opukám, jejich identifikaci a možnosti zjištění jejich provenience. *Zprávy památkové péče* 57(1): 24–28.
- Šrámek J., 2000. Stone of a Gothic Pieta from Toruń (Poland). 15th Conference on Clay Mineralogy and Petrology, Brno (Czech Republic), September 6-10, 1998, ed. P. Sulovský, *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Masaryk. Brun.* 28-29: 99–108.
- Šrámek J., Rathouský J., Schneider P., 1992. Porozita opuk. *Věstník Českého geologického ústavu* 67(4): 259–276.
- Valečka J., 2007. *Opuka od Hrádku, stavební kámen lodi chrámu sv. Mikuláše v Lounech*. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006, Česká geologická služba, Praha, str. 175–179.
- 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., 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., Šťastná A., 2010. Contribution of clayey-calcareous silicite to the mechanical properties of structural mortared rubble masonry of medieval Charles Bridge in Prague (Czech Republic). *Engineering Geology* 115(3-4): 257-267.

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. (ISBN 978-1-86239-291-5)

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(9-10): 1163-1171.

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.

VII. Souhrn – Summary

Navržená metodika shrnuje hlavní postupy studia opuk pomocí pokročilých analytických metod za účelem jejich podrobného materiálového průzkumu včetně petrografické klasifikace vzorku; nalezení zdrojové lokality či alespoň oblasti, z níž přírodní kámen pochází; hledání vhodného náhradního typu při nutnosti výměny; a poznání vhodných postupů při restaurování. V metodice je popsána příprava vzorků a makroskopický popis, které předcházejí destruktivní analýze pomocí mineralogicko-petrografických, geochemických a fyzikálních technik. Laboratorní průzkum je navržen v následujícím sledu zobrazovacích metod využívajících horninový výbrus: optická mikroskopie, katodová luminiscence, obrazová analýza, elektronová mikroskopie (po pokovení vzorku). Ostatní metody využívají celistvý vzorek např. zbytek po zhotovení výbrusu (stanovení texturních parametrů pórového prostoru pomocí rtuťové porosimetrie, odvození trvanlivosti na základě texturních parametrů pórového prostoru) či drť (RTG difrakční rozbor). Zmíněny jsou výhody i omezení jednotlivých metod a jejich použitelnost pro určení zdrojové lokality opuk. Metodika je určena širšímu okruhu specialistů (geologů, restaurátorů, technologů apod.), kteří se podílejí na předrestaurátorských materiálových průzkumech památek.