

MICHAL CIHLA – KATEŘINA KOVÁŘOVÁ – EVA MATOUŠKOVÁ

NOVÉ NEDESTRUKTIVNÍ METODY PRŮZKUMU HISTORICKÉHO KAMENE NA KATEDRÁLE SV. VÍTA, VÁCLAVA A VOJTĚCHA V PRAZE

ABSTRACT

New non-destructive methods of exploring historical stone of the Cathedral of St. Vitus, Wenceslas and Adalbert in Prague

Contemporary building-historical surveys of monuments, in their detailed efforts to understand the building and the process of its construction or later modifications, quite logically focus on a detailed material and technological analysis of individual structures. Undoubtedly, it is this knowledge that can provide an extended insight into the building history of our ancestors, while at the same time directly informing us about the most appropriate approaches for their most gentle restoration and conservation. In the case of 'stone monuments', one of the fundamental processes in this process is the way in which the building stone is obtained and worked before and after it is set into the construction. The determination of the stone provenance unfortunately often encounters a problem in petrographic research, as it mostly uses destructive analysis. In the case of monuments, however, it is absolutely necessary to prefer non-destructive methods of investigation. A possible solution to the question of the stone provenance is provided by reflectance spectrometry, which uses the optical properties of the stone as determined by its way of formation. This method was used to investigate the stonework of the southern staircase of the Cathedral of St Vitus, Wenceslas and Vojtěch in Prague. In addition to the stone provenance, we also carried out traceological analyses of the stone surfaces, specifically using the method of mechanoscopy, to determine not only the morphology of the traces, the form of the tools used, but also the working process of the medieval craftsman. The identification of the working method, among other things, also helps us to resolve the question of the stone provenance.

Keywords: Prague, St. Vitus Cathedral, Tool Marks Examination, Spektrometrie, Trasologie, Stonework elements, constructional-historical research,

Nové nedestruktivní metody průzkumu historického kamene na katedrále sv. Víta, Václava a Vojtěcha v Praze

Soudobé kvalitní stavebněhistorické průzkumy historické architektury se při detailní snaze o poznání stavby a vlastního procesu jejího vzniku či pozdějších úprav zcela logicky zaměřují na podrobný materiálový a technologický rozbor jednotlivých konstrukcí. Nepochybně právě tyto poznatky mohou přinést prohloubený vhled do stavební historie našich předků a zároveň nás bezprostředně poučit o nevhodnějších přístupech pro jejich co nejšetrnější obnovu a údržbu. U „kamenných památek“ je jedním ze základních dějů v tomto procesu způsob získání a řemeslné přípravy stavebního kamene před i po jeho osazení do stavebního díla.

Klíčová slova: Praha, Katedrála sv. Víta, mechanoskopie, spektrometrie, trasologie, kamenické prvky, stavebně historický průzkum,

Soudobé kvalitní stavebně–historické průzkumy historické architektury se při detailní snaze o poznání stavby a vlastního procesu jejího vzniku či pozdějších úprav zcela logicky zaměřují na podrobný materiálový a technologický rozbor jednotlivých konstrukcí. Nepochybně právě tyto poznatky mohou přinést prohloubený vhled do stavební historie našich předků a zároveň nás bezprostředně poučit o nevhodnějších přístupech pro jejich co nejšetrnější obnovu a údržbu. U „kamenných památek“ je jedním ze základních dějů v tomto procesu způsob získání a řemeslné přípravy stavebního kamene před i po jeho osazení do stavebního díla.

Katedrála sv. Víta, Václava a Vojtěcha je památkou první kategorie. Je proto žádané, aby výzkumy tohoto objektu byly výhradně nedestruktivní. Určení provenience použitého druhu horniny bohužel často naráží na problém při petrografickém průzkumu materiálu, protože převážně využívá analýzy destruktivní (např. polarizační mikroskopie). Možné řešení této otázky přináší metoda odrazivostní spektrometrie, která využívá optické vlastnosti kamene dané způsobem jeho vzniku. Tuto metodu jsme použili při průzkumu kamenného

zdíva jižního schodiště katedrály sv. Víta, Václava a Vojtěcha. Dále jsme kromě provenience kamene provedli trasologické rozborů povrchů kamene, konkrétně metodou mechanoskopie a určili tak nejen tvarosloví stop, podobu užitého nástroje, ale i postup práce středověkého řemeslníka. Identifikace způsobu opracování nám kromě jiného rovněž přispívá k rozřešení otázky provenience kamene. Pro každé historické období lze specifikovat typické používané způsoby opracování,¹ jejichž identifikace pomáhá zpřesnit výběr zdroje historického kamene. Když známe přibližnou dobu vzniku zkoumaného kamenného prvku na základě mechanoskopické analýzy, můžeme z porovnávání křivek vyloučit křivky spektrální odrazivosti těch hornin, které se prokazatelně v tu kterou dobu v daném místě nepoužívaly.

¹ Michal CIHLA et al., *Praha kamenná. Kamenické opracování historických staveb Hlavního města Prahy*, Praha 2022.

**PRAŽSKÝ HRAD, KATEDRÁLA SV. VÍTA, SV. VÁCLAVA
A SV. VOJTĚCHA, JIŽNÍ VŘETENOVITÉ SCHODIŠTĚ**

Počátky stavební aktivity na katedrále sv. Víta jsou poměrně složité. Podle nápisu na triforiu je příchod Matyáše z Arrasu spojen s rokem 1342. Datum 1432 je nepochybně, jako ostatně více nápisů na triforiu, mylné, protože přivedl-li Karel IV. Matyáše z Avignonu, stalo se tak počátkem roku 1344.²

Samotná stavba chrámu byla započata 21. listopadu 1344. Mezi příchodem Matyáše a datem založení stavby byla dostatečná časová prodleva na přípravu, včetně projektu chrámu samotného.³ Podle triforiového nápisu pocházel Matyáš z Arrasu z francouzského hrabství Artois u hranic Flander a Henegavska. Protože Jan Lucemburský i Karel byli členy pařížského královského dvora, nelze vyloučit, že Matyáš byl synem některého arraského kameníka, který pracoval v Paříži. Takovým kameníkem byl Pierre nebo Jean z Arrasu, kteří pracovali v období mezi rokem 1292 až 1307 právě v Paříži. Do Prahy přišel Matyáš v pokročilém věku a bezpochyby měl za sebou bohatou stavební činnost, o které ovšem nic nevíme. Dokonce se nezachoval ani záznam o jeho životě v Praze, tak předpokládáme, že žil v pronajatém domě při katedrále.⁴ Matyášovo rodiště ovšem prozrazuje jeho vztah k jihofrancouzskému stylu půdorysných kompozic závěrových a bočních ochozových kaplí, které později využil právě při stavbě pražské katedrály. Jedná se konkrétně o inspiraci třemi katedrálami, Narbonne, Toulouse a Rodez.⁵ Ojedinělost Matyášova návrhu ovšem netkví v půdoryse chrámu, ale v přístupu k členění jednotlivých architektonických prvků. Základním architektonickým principem jeho tvorby je přísný linearismus, který ve své době byl i na francouzské poměry vzácný. Tento styl se zcela odpoutal od klasické francouzské gotiky, především od horizontálního dělení sloupů a přípor systémem hlavic. Svou linearitu nechal plynout od základové spáry pilíře či pilastru až po klenební náběh, který oddělil zcela nevýrazným prstencem. Klasicizující dojem nechal přetrvávat pouze v hruškové profilaci v jednotlivých svazcích přípor, arkádách a pilířích.

Jeho nástupcem se stal v roce 1356 Petr Parléř. Je nutné podotknout, že ještě v předparléřovské době byla zahájena stavba Svatováclavské kaple, a to přímo na popud Karla IV. Nicméně nevíme, zdali s ní započal Matyáš z Arrasu, či se stala dílem neznámého stavitele ve čtyřletém mezidobí 1352–1356.⁶ Petr Parléř, kterého zřejmě Karel IV. odhalil ve Švábském Gmündu, kde se svým otcem Jindřichem pracoval na stavbě kostela sv. kříže, se tak stal neméně slavným pokračovatelem.⁷ Kromě staveb v Čechách byl činný také v Kolíně

nad Rýnem a ve Štrasburku.⁸ Po Petrově příchodu do Prahy byl původní program v mnoha ohledech radikálně proměněn. Těmito zásahy se ovšem podoba pražského chrámu výrazně odchyli od zavedené představy francouzských katedrál. Na severní straně byla už Petrem Parléřem nově zaklenuta takzvaná Stará sakristie. Větší zásahy byly učiněny na jižní straně velkého chóru. Třetí chórová kaple od východu, kaple sv. Kříže, též sv. Šimona a Judy, nebyla již dostavěna v původní podobě. Zatímco její starší, východní část byla ještě půdorysně pětiboká, na západě je již řešena jako pravouhlá. Následující kaple směrem na západ, Martinická, též sv. Ondřeje, byla již oproti vnější linii starších kaplí vysunuta k jihu a je v půdorysu obdélná. Dál na západ pak následuje naprosto neobvyklý půdorysný koncept Svatováclavské kaple, založené na kvadratickém půdorysu. Zajímavým způsobem byla řešena i hlavní vstupní brána obracející se k jihu. A konečně zvláštní je i založení Velké věže, umístěné v koutě mezi jižním ramenem transeptu a západní částí chrámu. Tuto neobvyklou pak patrně dovršoval záměr postavit další velkou věž i na protilehlé severní straně katedrály. S Petrem Parléřem je spojena dostavba Kaple sv. Václava, kde umocnil linearismus Matyáše z Arrasu na středním pilíři a bočních arkádách. Kaple byla dokončena v roce 1366.⁹ V roce 1374 pracoval na triforiu a oknech, od roku 1376 na vnějším opěrném systému a vysoký chór byl dokončen roku 1385. Kněžské sklenul síťovou klenbou, která na svou dobu byla novinkou. Odklonil tak klasickou mohutnost křížové klenby díky eliminaci klenebních pasů a diagonality žeber. V roce 1392 se započalo se stavbou věže a vlastní lodi chrámu. Ta ovšem dokončena nebyla ani do husitských válek.

Vřetenové schodiště, předmět našeho zájmu, které bylo připojeno k opěrnému pilíři na jihovýchodním nároží příčné lodi, bylo dostavěno roku 1372, jedná se tedy o stavbu z doby působení Petra Parléře.¹⁰ Přesná datace započetí stavby chybí. Existují doklady o práci na schodišti v září a říjnu 1471, kdy se v účtech objevují záznamy o „dodávkách železa do jižního šneku“.¹¹ Jižní schodiště patří k těm nejzajímavějším partiím stavby a současně k nejpůsobivějším vnějším schodištím středověku. Tzv. šnek počíná v úrovni nad kaplovou římsou a jeho konstrukce je dvakrát odstupňována o polovinu šířky směrem k severu. Současně byl změněn průběh točení schodiště zprava doleva a opačně (**obr. 1**).¹²

² Dobroslav LIBAL – Pavel ZAHRAĐNÍK, *Katedrála svatého Víta na Pražském hradě*, Praha 1999, s. 15.

³ TAMTĚŽ, s. 175.

⁴ Pavel VLČEK a kol., *Encyklopedie architektů, stavitelů, zedníků a kameníků v Čechách*, Praha, 2004, s. 412.

⁵ D. LIBAL – P. ZAHRAĐNÍK, *Katedrála svatého Víta*, s. 175.

⁶ TAMTĚŽ, s. 179.

⁷ Jiří KUTHAN, *Parléřovský mýtus*, Praha 2021, s. 15–45.

⁸ P. VLČEK a kol., *Encyklopedie architektů*, s. 478.

⁹ D. LIBAL – P. ZAHRAĐNÍK, *Katedrála svatého Víta*, s. 180.

¹⁰ Jana MARIKOVÁ KUBKOVÁ a kol., *Katedrála viditelná, neviditelná*, Praha 2019, s. 190.

¹¹ D. LIBAL – P. ZAHRAĐNÍK, *Katedrála sv. Víta*, s. 83.

¹² TAMTĚŽ, s. 82.



1) Katedrála sv. Víta, Václava a Vojtěcha, umístění jižního větenuvitého schodiště, situované až v úrovni balustrády nad kaplovou římsou. Foto: K. Kovářová.

POUŽITÉ METODY A METODIKA PRÁCE

Mechanoskopie

Kromě odrazivostní spektrometrie, která nám, jak bylo uvedeno výše, pomáhá objasnit místa, ze kterých byl kámen těžen, využíváme také metody, které objasňují řemeslné zpracování kamene. Máme na mysli mehanoskopii. Tento obor se vyvíjel především ve vztahu kriminalistiky a odhalování stop po trestné činnosti. V našem případě jsou předmětem zkoumání historické stopy, kde analogicky hovoříme o historické trasologii, tedy většinou o stopách po řemeslné činnosti v historických kontextech. V mnoha ohledech se historická trasologie s kriminalistickou prolíná, nejbližší v oborech forenzních, mehanoskopických a analytických.¹³ Výsledkem těchto analýz je snaha poodkrýt způsob postupu a přístupu pravěkého řemeslníka k danému nástroji a materiálu. Trasologie kamene se jednak zabývá stopami v materiálu a následnou rekonstrukcí daného nástroje i postupu samotného, ale zabývá se také ostřím samotného nástroje.

¹³ Jiří BLÁHA, *Les traces technologiques de la fabrication et du levage des charpentes/Traces of construction techniques and processes*, in: *Matériaux de l'architecture et Toits de l'Europe/Materials of Architectural Heritage and Historical Roofs of Europe*, Les Dossiers de L'IPW, 6, ed. P. Hoffsummer, J. Eeckhout, Namur 2008, s. 140–150.

Interpretace dat ve smyslu určení vlastní stopy se nazývá mehanoskopii.¹⁴ Tato analýza je snahou o identifikaci stop po nástrojích, jejich rekonstrukci a posléze nástin postupu vlastní výroby nástroje. Výsledkem těchto analýz je snaha poodkrýt způsob postupu a přístupu historického řemeslníka k danému výrobku. Mehanoskopie pracuje s 3D zobrazenými podklady, proto je zcela nezbytné vytvořit 3D model zkoumaného objektu. Poté jsou předmětem zkoumání jednotlivé vybrané stopy, u kterých se určují základní rozlišení nástrojů na ruční a topůrkové. Identifikuje se velikost ostří a dynamika úderu, podle kterých se rekonstruuje konkrétní nástroj. V poslední řadě je možné rekonstruovat váhu použitého nástroje, a to podle objemu vyseknutého materiálu a také podle původní tvrdosti kamene, kterou dokážeme také stanovit.¹⁵

Pokud jsme si vědomi způsobu zpracování kamene v jednotlivých fázích, je potřeba si toho všimnout při identifikaci stop přímo in situ. Některé fáze dokončení mohou být vynechány, a proto je nutné je identifikovat. Existují případy nedokončených polotovarů, které nebyly dokončeny buď z důvodu umístění polotovaru v místě, kde neměl být vidět, nebo prostě nebyl dokončen. Je také důležité všimnout si stavu dochování povrchu kamene. Především v exteriérech se vyskytují případy, kdy se povrchová křusta kamene již odloupla, ale oprava se zčásti propasalo do struktury povrchu pod danou křustou. Toto prokreslení je méně čitelné než prvotní stopy. Je také důležité pozorovat stopy po jednotlivých nástrojích, které jsou v dané době atypické. Může se jednat o celkovou výměnu prvku, nebo pouze přesekání, tj. opravu původního kamene. Většinou lze tento jev rozpoznat díky pozorování původnosti spár. Abychom pochopili stopy, musíme pochopit jednotlivé nástroje, jejich tvarosloví a způsob práce s nimi.

Systematický sběr dat vede k souborné katalogizaci stop. Výzkum akcentuje především identifikaci používaných technologií, postupů a nástrojů užitých při opracování kamene. Cílem katalogu je sestavování chronologických a umělecko-historických vývojových linií způsobu opracování. Při dokumentaci tedy vycházíme nejlépe z prvku s jasnou datací. Kromě slohových období je také důležité si uvědomit i místní charakteristiky, a proto důraz klademe také na identifikaci specifických regionálních, nebo organizačně-řemeslných charakteristik, stavební hutě nevyjímaje. Kromě vlastního sběru stop se musíme soustředit na sběr historické ikonografie, která nám může leckdy nastínit tvar a použití nástroje, ve výsledku také podle stopy rekonstruujeme nástroj a používáním tohoto nástroje si všechny předpoklady ověřujeme.

Výběr vhodných stop pro následnou dokumentaci je jednou z nejdůležitějších činností, s ohledem na fakt, že se nemusíte do zkoumané lokality již vrátit. Tato činnost je velmi náročná, je zapotřebí před tímto hodnocením získat o objektu patřičné informace a vyvarovat se druhotných zásahů, restau-

¹⁴ Ladislav HAVLÍČEK, *Mechanoskopie, stopy a znaky řemeslných nástrojů*, Praha 1940.

¹⁵ M. CIHLA a kol., *Praha kamenná*, s. 36.

rátorských oprav či celkových historických výměn. Samozřejmě i tyto změny dokumentujeme, ale v prvé řadě se snažíme o identifikaci původního povrchu. Každé opracování povrchu kamene probíhá několika fázemi, od hrubého opracování po finální začištění plochy. Proto je nutné také na povrchu tyto stopy identifikovat. Může se stát, především ve středověkém kamenictví, že některé z fází chybí, což se týká zejména finálního začištění povrchu kamene. Může to být i záměr či nedokončené zpracování povrchu. Dochování původních stop také ovlivňuje i stupeň degradace zkoumaného povrchu. U pískovců se někdy stává, že povrch je pokryt tvrdou krustou, která v historickém kontextu odpadla, ale opracování se zčásti dochovalo, tzv. propsalo přes krustu do kamene. V některých případech je identifikace původního povrchu ztížena restaurátorskými zásahy, které ztěžují naši pozici, protože k těmto zásahům docházelo od 16. století. Kromě výměn docházelo také zejména v 19. století k obnově a čištění povrchů, což v důsledku znamenalo celkové přesekání původního povrchu kamene. Pokud docházelo k výměně, leckdy napoví dobové opracování povrchu. V minulém století docházelo také k tzv. plátování, tedy postižené místo bylo vyříznuto a nahrazeno tmelem s napodobeninou opracování. Tyto záplaty jsou někdy tak dokonale udělány, že je velmi těžké je rozeznat.

Co se týče vlastních stop, sledujeme především stopy v plně šíří a co nejlépe zachované, pokud to situace dovoluje. Stopa by v ideálním případě měla být zachována celá, abychom mohli identifikovat ostří a celkovou dynamiku úderu. Důležité je sledování celkového rastru stop, tedy způsobu práce jednotlivého kameníka a postupný proces. V prvé řadě se jedná o opracování hrubé, které může přicházet již v lomu. K nejčastějším nástrojům patří topůrkové nástroje se špičatým ostřím nebo v archaických dobách například teslicovité nástroje. Sledujeme také podpůrné prvky při opracování plochy, čímž máme na mysli především obvodovou stezku či lem, kterým si kameník pomáhá při stanovení rovné budoucí opracované plochy. Každý úder na finální ploše může napovědět o pozici kameníka při samotném zpracování plochy.

Abychom dokázali identifikovat potřebné stopy, musíme také dobře znát průběh jednotlivých kroků opracování na příkladu výroby kvádrů z měkkých sedimentárních hornin typu pískovec, opuka nebo vápenec. Pro opracování tvrdších typů hornin, žuly a granodioritů, byly používány částečně odlišné nástroje a stopy po opracování jsou na nich méně výrazné a znatelně hůře čitelné.

Odráživostní spektrometrie

Čím dál častěji se ve své praxi setkáváme s potřebou interdisciplinarity a nedestruktivních výzkumů. Metody, které využíváme ke zkoumání povrchů historického kamene, jsou proto ideálním nástrojem. V prvé řadě se snažíme určit místo původu historického kamene, tj. jeho provenienci. Každá hornina má své specifické vlastnosti, včetně vlastností optických,



2) Aplikace odraživostní spektrometrie na kamenném zdivu jižní věže katedrály sv. Víta. Autor: K. Kovářová.

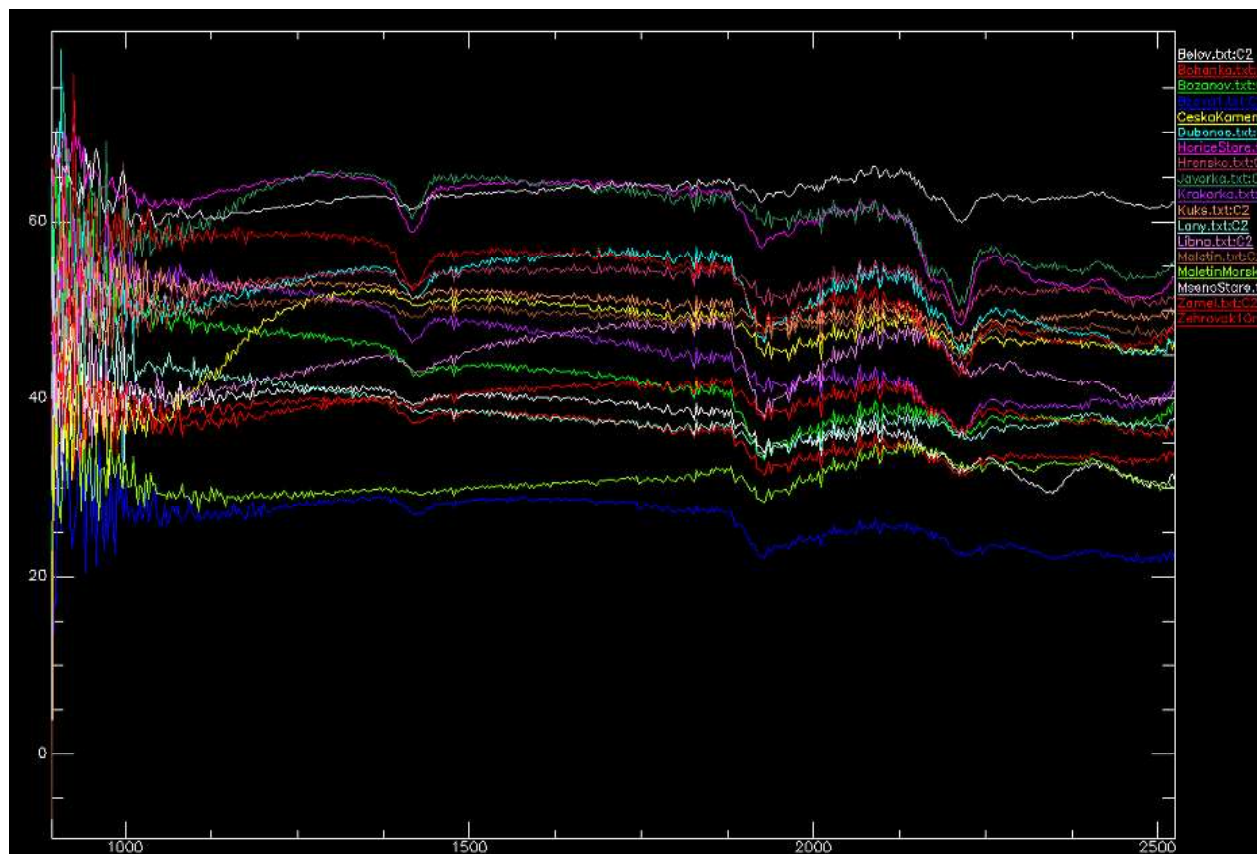
odrážející místo a způsob jejího vzniku. Za tímto účelem používáme metodu odraživostní spektrometrie v blízkém a středním infračerveném spektru (1000–2500 nm), která představuje velice efektivní metodu realizovatelnou in situ. Pomocí této metody stanovujeme křivky spektrální odrazivosti daného materiálu a tyto pomocí vhodných algoritmů porovnáváme s křivkami spektrální odrazivosti v naší budované knihovně s cílem najít tu, která je té zkoumané nejpodobnější a tímto materiál určit. Metoda odraživostní spektrometrie není metodou novou a představuje široký pojem zahrnující metody, které studují a zaznamenávají interakci elektromagnetického záření s hmotou. Vzhledem k tomu, že každý materiál odráží a absorbuje elektromagnetické záření odlišně v důsledku měnícího se chemického složení a struktury, můžeme pomocí této metody identifikovat mj. i fyzikální a chemické vlastnosti materiálů.¹⁶ Primárně se proto tato metoda používá k dálkovému průzkumu země pro účely prospekce ložisek nerostných surovin. V nám příbuzné řešené problematice byla konkrétně tato metoda využita při studiích archeologických zdrojů např. Parishem a Werrou¹⁷ a Parishem.¹⁸ Na základě petrografického rozboru horninového vzorku historického zdiva a horninových vzorků z lomů identifikovali čtyři možné vápencové polohy v konkrétním lomu a ve spojení s výsledky spektroskopických metod identifikovali jeden stratigrafický horizont s nejpodobnější horninou. Závěrem poukazují na vysoký potenciál použití těchto moderních metod průzkumu k určení původu a výběru náhradního stavebního kamene.

Pro účely vyhodnocení získaných dat je nutné mít k dispozici databázi křivek spektrální odrazivosti hornin. Databázi minerálů, hornin a dalších materiálů spravuje např. Americká

¹⁶ Freek VAN DER MEER, *Near-infrared laboratory spectroscopy of mineral chemistry: a review*, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf 65, 2018, s. 71–78.

¹⁷ Ryan M. PARISH – Dagmara H. WERRA, *Characterizing “Chocolate” Flint Using Reflectance Spectroscopy*, Archaeologia Polona 56, 2018, s. 89–101.

¹⁸ Ryan M. PARISH, *Reflectance spectroscopy as a chert sourcing method*, Archaeologia Polona 54, 2016, s. 115–128.



3) Křivky spektrálních odrazivostí vybraných českých pískovců. Autor: K. Kovářová.

geologická služba¹⁹ a NASA.²⁰ Tyto databáze jsou primárně určeny pro analýzu dat dálkového průzkumu Země (DPZ), ale některé (např. minerály) je teoreticky možné po úpravě částečně využít i pro naše účely. Problémem však zůstává fakt, že zmíněné knihovny obsahují informace o horninách a materiálech vyskytujících se v USA, které se od těch našich mohou výrazně lišit.

Pořízená spektrální data je zapotřebí analyzovat a vyhodnotit. Pro tyto účely existují ve světě možná softwarová řešení, většina je obsažena v již existujících softwarových řešeních pro analýzu dat dálkového průzkumu Země. Tato softwarová řešení nejsou ale vhodná pro zpracování měřených dat (chybí výpočet průměru, mediánu při vícenásobném měření jednoho vzorku, jeho statistické charakteristiky atd.) a jsou využívány primárně pro zpracování obrazových dat a jejich cena není rozhodně zanedbatelná. V dnešní době neexistuje pro uživatele jednoduché softwarové řešení pro analýzu dat odrazové spektrometrie. Data jsou nejčastěji zpracována pomocí free skriptovacích programů (např. <https://www.r-project.org>) či přímo programovacích jazyků (např. <https://www.python.org>) připravených na míru dle potřeb uživatele. Využívány jsou i komerční programy (např. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>), kde je opět nutné řešení připravit na míru.

¹⁹ <https://crustal.usgs.gov/speclab/QueryAll07a.php>, [dostupné online, 28. 6. 2023].

²⁰ <https://speclib.jpl.nasa.gov> [dostupné online, 28. 6. 2023].

Pro účely námi řešené otázky určení provenience vybraných kvádrů zdiva jižní věže katedrály sv. Víta (**obr. 2**) jsme vytvořili soubor křivek spektrálních odrazivostí nám dostupných pískovcových vzorků (**obr. 3**) a data navzájem porovnali pomocí zvolených matematických algoritmů, které různými způsoby porovnávají „neznámou“ křivku s těmi umístěnými v knihovně a hledají nejlepší shodu. Vzhledem k vysoké podobnosti křivek jednotlivých pískovců v námi vytvořené knihovně (viz obr. 1) je volba algoritmu klíčová. V našem případě se ukázal jako nejlepší algoritmus Spectral Angle Mapper (SAM),²¹ který vypočítá spektrální úhel mezi dvěma křivkami. Čím je úhel menší, tím jsou si křivky podobnější. Analýzy byly prováděny v programech Matlab a ENVI 5.5.

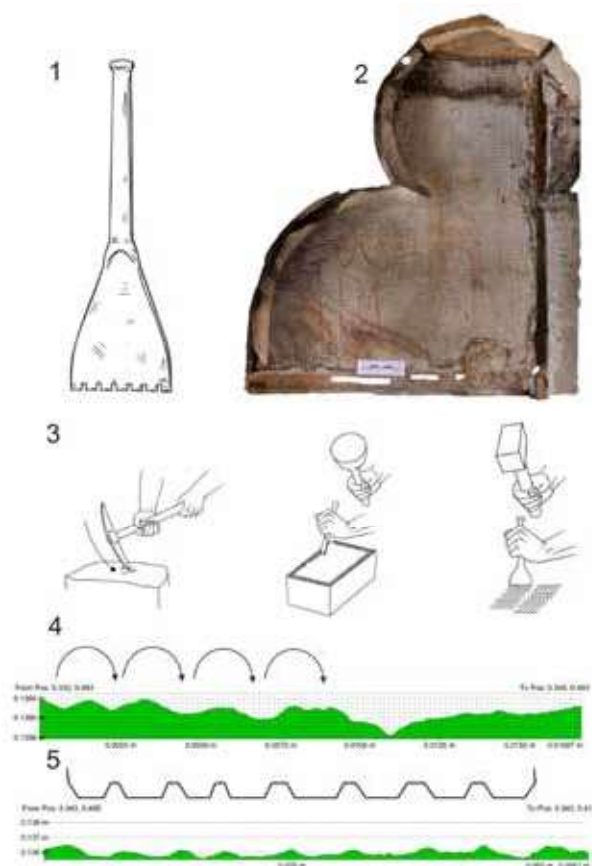
VÝSLEDKY A DISKUSE

Mechanoskopická analýza

Cílem provedené analýzy je identifikace původních kvádrů na líci jižního schodiště, a to zaprvé zjistit, zda takové kvádry existují, a zadruhé potvrdit existenci původních kvádrů, ale v mladších dobách s upraveným lícem.

Reprezentativním vzorkem pro identifikaci původních kvádrů je severní stěna schodiště. Ta většinou neprocházela rekonstrukcemi z let 1900–1903 a je považována za původní.

²¹ <https://www.mathworks.com/help/images/ref/sam.html> [dostupné online, 28. 6. 2023].

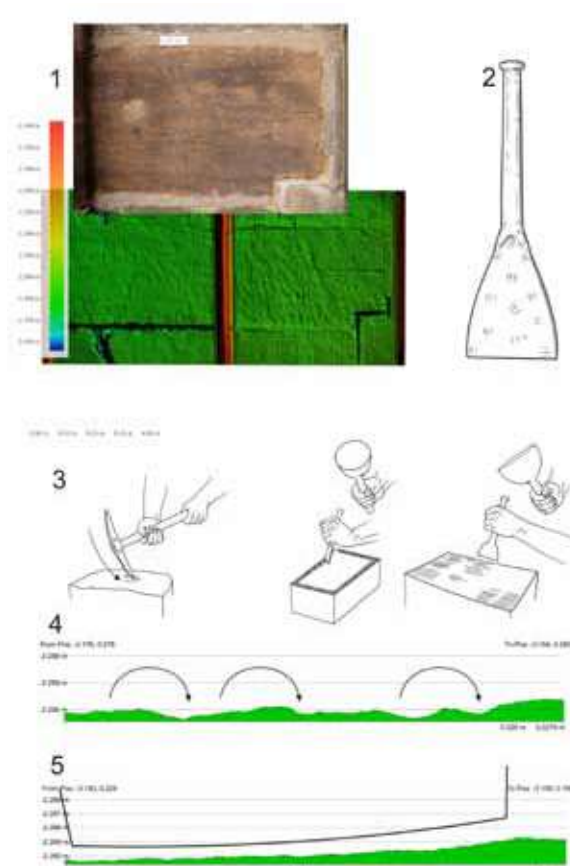


4) Mechanoskopická analýza prvního zkoumaného prvku. 1 – rekonstruovaný nástroj, 2 – ortopohled na prvek, 3 – odhalené fáze postupného zpracování prvku, hrubá modelace dvojšpicem, hranění prvku pomocí obvodové stezky, finální přerovnání v rovnoběžných řadách dlátem s plochými zuby, 4 – podélný řez vytvořený v GLOBAL MAPPER ukazuje na rovnoměrné záseky dlátem, 5 – profil ostří dláta s počtem 8 zubů. Autor: M. Cihla.

Výsledky mechanoskopické analýzy lze demonstrovat na zkoumaném kvádru nacházejícím se na zadní stěně schodiště při křížení průběhu směru točení schodnic ve směru zleva doleva. Před zmíněným kvádrem se nachází lomený oblouk a trojlistá kružba. Kromě opracování se na líci nachází rudkou psané graffiti pocházející zřejmě z 16. století.

Jedná se tedy o stavbu v době působení Petra Parlře. Vlastní pískovcový kvádr má rozměry 42 x 40 cm. Tento kvádr byl zřejmě nejprve formován obvodovou stezkou, která již není viditelná. Po vytvoření obvodového lemu byla plocha srovnána dvojšpicem, stopy po tomto nástroji se zachovaly v minimální míře do dneška. Poté byla finálně přerovnána velmi pečlivými rovnoběžnými záseky dlátem s plochými zuby. Identifikovaný břit měl šířku kolem 5 cm s počtem 8 zubů. Jejich velikost se pohybuje od 0,4–0,5 cm.

V Pražském prostředí se do poloviny 14. století rozvíjí práce se sekerami s plochými zuby. Převažují ještě ostří délky do 5 cm s jemnějšími zuby. Vrcholem jemnozrných seker s plochými zuby byla stavba katedrály sv. Víta. S příchodem



5) Mechanoskopická analýza druhého prvku. 1 – ortopohled a výškopisné zobrazení zkoumaného prvku. 2 – rekonstruovaný nástroj, 3 – fáze zpracování (protože se jedná o původní historický kvádr, předpokládáme hrubou modelaci dvojšpicem a hranění obvodové stezky dlátem. Finální přerovnání bylo provedeno dlátem s rovným, mírně oblým ostřím. Autor: M. Cihla.

Matyáše z Arrasu se trochu změnil i způsob práce. Velký důraz byl kladen na její přesnost a preciznost. Ta se projevovala v naprosto dokonalém přerovnání líce s absencí předchozích fází výroby, včetně obvodových stezek. Postup byl tradiční, nejprve byl prvek modelován v hrubé fázi dvojšpicem. Poté byly vytvořeny obvodové stezky cca 1 cm široké a finálně byl líc přerovnan sekerou s plochými zuby.

Kameníci v huti Petra Parlře navazují na své předchůdce z hutě Matyáše z Arrasu. Na první pohled je dodržován rastr kladení rovnoběžných stop. Údery s nástrojem jsou téměř kolmé. Na první pohled ale vidíme nejprve rozdíly ve velikosti kvádrů, kde tzv. parlřovské jsou jednoznačně větší. Za druhé ve spodních partiích věže jsou pro opracování kvádrů zvoleny jiné nástroje než z dob Arrase. Sekery nahradily dláta s plochými zuby. Velikost a jemnost zubů je obdobná, dochází tedy k pocitu vizuální totožnosti. Je tedy důvodným předpokladem fakt, že opracování lícové plochy hrálo roli při návaznosti na předchozí vizuální koncept.²²

²² M. CIHLA a kol., *Praha kamenná*, s. 232.

Druhým zkoumaným typem byl původní kvádr přesekaný v mladších dobách. Jedná se o poměrně velký kamenný blok dělený ve svém středu svislou profilací. Kvádr má celkovou velikost 120 x 46 cm. V roce 1901 došlo k rozsáhlé rekonstrukci schodiště, kde byly otevřené části schodiště rozebrány a zvětralé části pevného zdiva obnoveny.²³ Typickým příkladem je východní stěna schodiště. Zde se nacházejí kvádry z původní stavební činnosti z let 1366/7. Tato část stěny je součástí složitě panelace, která ve výsledku vytváří prostorový obraz reliéfních oken s listovou trojdílnou profilací. Tyto panely jsou tvořeny kvádry a svislé profilace jsou z jednoho kusu kamenného bloku.²⁴ Součástí původního kvádru je i důlek na kamenické kleště. Stopy po původním zpracování kvádrů ale chybí. Čitelné nejsou ani stopy po jednotlivých fázích zpracování, ani po finálním přerovnání líce kvádrů. Mladší přerovnání líce bylo provedeno dlátem s rovným ostřím o šířce břitu cca 5 cm. Rastr byl zvolen šikmý v rovnoběžných řadách. Pozice líce u svislého profilu byla řešena rovnoběžnými řadami kolmými na svislý profil a v některých partiích byl líc ještě doseknut šikmými údery dláta. Tato část zpracování, tedy zhruba třetina plochy kolem důlku na krepnu, nemá ve zpracování žádný systém, je zde kladen důraz pouze na praktičnost zpracování. Nově přerovnaný líc je opatřen dobovou kamenickou značkou, písmenem „H“.

Obdobím oprav památek je 19. století. Při sanacích povrchů jsou často využívány stejné nástroje. Co se týče opracování těchto ploch, hrubší plochy se dorovnávají topůrkovými nástroji, finálně se lícová plocha modeluje většinou obdobně. Nejprve se vytvoří úzká obvodová stezka dlátem s rovným ostřím, poté je líc přerovnán „šalírkou“, tj. dlátem s rovným ostřím, nebo na tvrdším povrchu pemrlicí. V některých případech dochází i u měkčích povrchů k užití pemrlice z důvodu vizuálně estetických. Novinkou je časté přebroušení obvodové stezky dohladka (obr. 4, 5).²⁵

Odrzivostní spektrometrie

Vybrané kamenné prvky části zdiva studované pomocí odrzivostní spektrometrie byly rozčleněny do jednotlivých skupin na základě vizuálního posouzení genetické příbuznosti hornin a zároveň na základě určení jejich stáří vycházejícího z analýzy stop po kamenickém opracování. Kamenné kvádry byly na základě mechanoskopické analýzy rozčleněny do tří skupin, a to do skupiny původní, tj. gotické, přelom 19. a 20. století a 20. století. V rámci uvedených skupin byly vybrány kvádry (obr. 6 až 8), které reprezentují na základě vizuálního posouzení shodný genetický typ horniny. Tyto byly následně podrobeny analýze pomocí odrzivostní spektrometrie a získané křivky spektrální odrzivosti byly porovnány s křivkami v námi budované knihovně.



6) Typický zástupce stavebního kamene z přelomu 19. a 20. století. Foto: K. Kovářová.

Na základě studia písemných pramenů bylo jisté, že naše „knihovna“ křivek spektrální odrzivosti neobsahuje všechny druhy pískovců a jim příbuzných hornin, které byly při stavbě katedrály, a to zejména v gotickém období, používány.²⁶ Z tohoto důvodu jsme jeden původní „gotický“ kvádr (k21) určili jako referenční a zařadili jej do databáze pro možná porovnání. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 1.

Tab. 1. Pořadí pískovců na základě vyhodnocení křivek spektrálních odrzivostí pomocí algoritmu SAM, potenciální místa původu vyznačena barevně, tmavší odstíny jsou pravděpodobnější, prvních pět míst včetně hodnot SAM (obr. 9).²⁷

U kamenných kvádrů z přelomu 19. a 20. století a ze století 20. lze na základě vyhodnocení křivek spektrální odrzivosti pomocí algoritmu SAM a výše uvedeného usuzovat, že jsou dané kamenné kvádry zhotoveny z boháňského pískovce, hoříckého či dubeneckého pískovce (v případě vzorku k20).

²³ D. LIBAL – P. ZAHRADNÍK, *Katedrála sv. Víta*, s. 83.

²⁴ J. MAŘIKOVÁ KUBKOVÁ a kol., *Katedrála viditelná*, s. 198.

²⁵ M. CIHLA a kol., *Praha kamenná*, s. 547.

²⁶ Marek SUCHÝ, *Solutio Habedomadaria Pro structura Templi Pragensis. Stavba svatovítské katedrály v letech 1372–1378, díl 1.*, Castrum Pragense 5, 2003, s. 176; Václav RYBARIK, *Kamenná katedrála*, Praha 2016, s. 17–19.

²⁷ Upraveno podle Kateřina KOVÁŘOVÁ – Eva MATOUŠKOVÁ, *Metody určení provenience historického kamene*, Epigraphica et Sepulcralia 14. (v tisku).



7) Typický zástupce původního stavebního kamene z období gotiky. Foto: K. Kovářová.



8) Typický zástupce stavebního kamene z 20. století. Foto: K. Kovářová.

gotika			19./20. století			20. století	
k13 SAM	k25 SAM	k26 SAM	k7 SAM	k20 SAM	k24 SAM	k11 SAM	k23 SAM
k21 0,938	k21 0,939	k21 0,935	Boháňka 0,936	Žehrovák 0,932	k21 0,936	HořiceStaré 0,942	Javorka 0,937
ČeskáKamenice 0,934	ČeskáKamenice 0,934	Boháňka 0,934	k21 0,930	Dubeneč 0,931	Boháňka 0,936	Javorka 0,941	Boháňka 0,936
Boháňka 0,932	Boháňka 0,930	ČeskáKamenice 0,929	Žehrovák 0,930	Bzová 0,930	ČeskáKamenice 0,934	Přílepy 0,938	Žehrovák 0,936
Kuks 0,930	Kuks 0,930	Božanov 0,925	ČeskáKamenice 0,928	Boháňka 0,929	Kuks 0,928	Žehrovák 0,935	HořiceStaré 0,933
Lány 0,927	Lány 0,929	Kuks 0,924	Javorka 0,927	HořiceStaré 0,929	Maletín 0,924	Dubeneč 0,934	ČeskáKamenice 0,930
Maletín	Maletín	Lány	Božanov	Přílepy	Javorka	Bzová	Přílepy
Hloubětín	Hloubětín	Žehrovák	Kuks	Javorka	Žehrovák	Bělov	Dubeneč
Hřensko	Hřensko	Maletín	HořiceStaré	Bělov	Lány	Boháňka	k21
Božanov	Božanov	Javorka	Dubeneč	ČeskáKamenice	Božanov	ČeskáKamenice	Bzová
Javorka	Dubeneč	Dubeneč	Přílepy	k21	Dubeneč	Záměl	Krákorka
Dubeneč	Záměl	Hloubětín	Krákorka	Božanov	Hřensko	Krákorka	Kuks
Žehrovák	Javorka	Hřensko	Bzová	Krákorka	Hloubětín	k21	Bělov
Záměl	Žehrovák	Krákorka	Maletín	Záměl	HořiceStaré	Kuks	Božanov
HořiceStaré	Libná	HořiceStaré	Lány	Kuks	Bzová	Hřensko	Maletín
Bzová	MšenoStaré	Bzová	Bělov	Libná	Záměl	Maletín	Hřensko
MšenoStaré	HořiceStaré	Záměl	Hřensko	Maletín	Krákorka	Božanov	Záměl
Krákorka	Bzová	Přílepy	Hloubětín	Hřensko	Přílepy	Libná	Lány
Libná	Krákorka	Bělov	Záměl	Lány	Bělov	Hloubětín	Hloubětín
Přílepy	Přílepy	Libná	Libná	Hloubětín	Libná	MšenoStaré	Libná
Bělov	Bělov	MšenoStaré	MšenoStaré	Cibulka	MšenoStaré	Lány	MšenoStaré
Nehvizdy	Nehvizdy	Cibulka	Cibulka	MšenoStaré	Nehvizdy	Cibulka	Cibulka
MaletínMořský	MaletínMořský	Nehvizdy	Nehvizdy	Nehvizdy	Cibulka	Nehvizdy	Nehvizdy
Cibulka	Cibulka	MaletínMořský	MaletínMořský	MaletínMořský	MaletínMořský	MaletínMořský	MaletínMořský
Zápy	Zápy	Zápy	Zápy	Zápy	Zápy	Zápy	Zápy

Tab. 1) V případě námi vybraných vizuálně podobných původních gotických kvadrů byly všechny pomocí analýzy křivek spektrální odrazivosti přiřazeny referenčnímu vzorku k21 (viz obr. 9, autor: K. Kovářová).

Případně lze minimálně na základě optické podobnosti usuzovat, že se místo původu těchto hornin nachází východně od Hořic. Zbylé varianty na místech s vyšší optickou podobností lze vyloučit na základě zcela odlišného vizuálního charakteru těchto hornin a rovněž proto, že se v dané době v Praze pro účely obnovy katedrály sv. Víta s největší pravděpodobností nepoužívaly. Podle Rybaříka²⁸ byly od roku 1875 během obnovy katedrály používány hořické pískovce a pískovce z Podhorního Újezdu (v naší knihovně vzorek s názvem „Hořice Staré“), který se stal v letech 1893 až 1917 jediným pískovcem používaným na stavbě katedrály. „Hořický pískovec“ je označení pro celou řadu pískovců v minulosti těžených na mnoha místech v okolí Hořic a v Hořicích samotných. Lom Dubeneč a Boháňka se nachází východně od Hořic (od sebe cca 10 km vzdušnou čarou). Od 20. let 20. století byly na stavbu katedrály dále dodávány kromě pískovců z Podhorního Újezdu, pískovce, a to mšenský od Mšeného-Lázní, boháňský z Boháňky na Hořicku, královédvorský z městských lomů ve Dvoře Králově nad Labem a stanovický nebo kukský ze Stanovic u Kuksu.²⁹

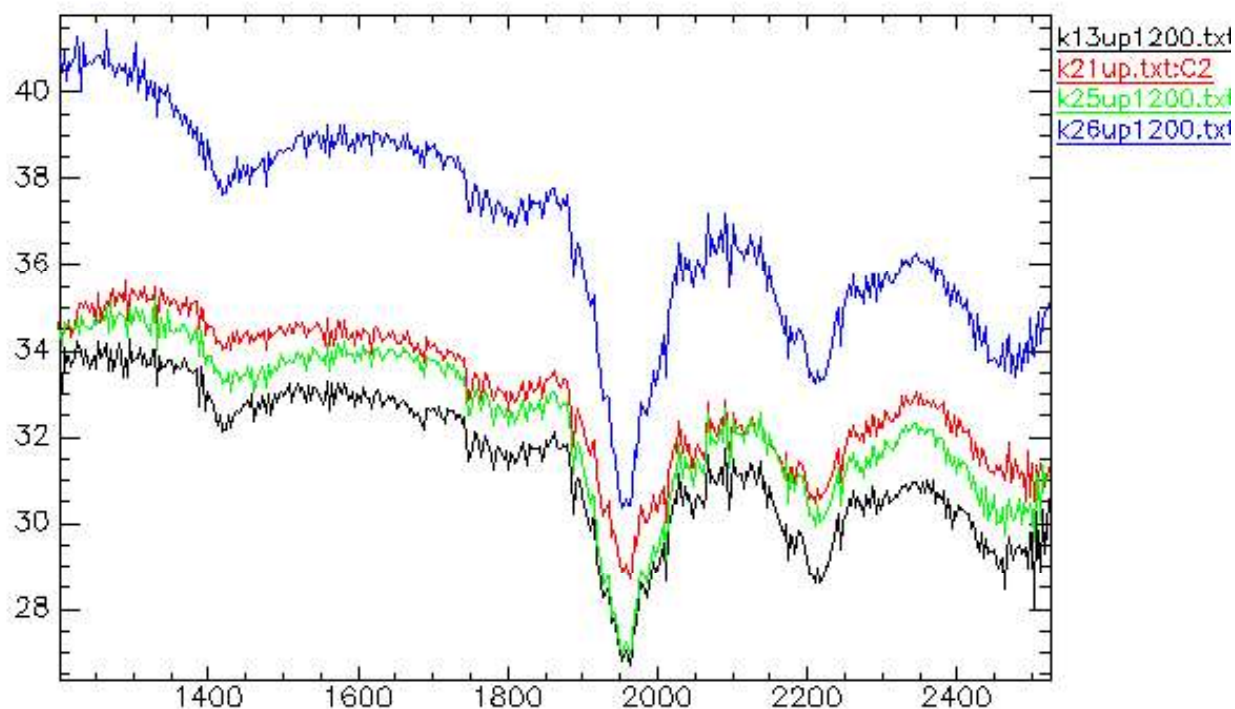
²⁸ V. RYBAŘÍK, *Kamenná katedrála*, s. 23.

²⁹ TAMÉŽ, s. 23.

ZÁVĚR

Při identifikaci původních partií stavby je důležité vnímat i restaurátorské zásahy. Někdy se jedná o nejtěžší fázi identifikace původních stop. Především restaurátorské zásahy v 19. století měly za cíl přesně replikovat dané objekty, takže docházelo k přesekání či začistění celých prostor. Většinou se ale k této činnosti používala dláta a šálíky (široké dláto), tedy nástroje ve starších epochách pro finální začistění líce méně využívané, a také odlišné způsoby a techniky zpracování. Některé opravy, tmelení či záslepky jsou však tak výborně restaurátorsky zpracované, že jsou rozpoznatelné až po bedlivém zkoumání. Je tedy důležité rozpoznat nejenom původnost historického materiálu, ale i původnost jeho zpracování a dokázat toto původní zpracování oddělit od mladších oprav.

U většiny zkoumaných prvků se nám pomocí odrazivostní spektrometrie při námi zvoleném algoritmu vyhodnocení dat podařilo dostatečně konkrétně určit místo původu použitého pískovce, resp. je nejvíce pravděpodobné místo původu mezi prvními čtyřmi opticky nejvíce podobnými typy hornin. Tento postup nám umožnil verifikovat použitelnost uvedené metody pro dané účely. Závěrem lze říci, že metoda odrazi-



9) Křivky spektrální odrazivosti kvádrů č. 13, 21, 25 a 26. Převzato z Kateřina KOVÁŘOVÁ – Eva MATOUŠKOVÁ, *Metody určení provenience historického kamene, Epigraphica et Sepulcralia 14*, v tisku.

vostní spektrometrie představuje velice nadějnou metodu určení místa původu kamene na historických objektech či artefaktech z něj zhotovených. Největší výhodou je její nedestruktivní charakter, snadná proveditelnost a možnost využití in situ. Mezi nevýhody patří obtížné zpracování získaných dat, resp. značně náročné porovnání křivek spektrálních odrazivosti pomocí dostupných software, a možná nejednoznačnost dosažených výsledků kvůli malým odrazivostním rozdílům mezi jednotlivými typy hornin. Další omezení použitelnosti metody může být způsobeno aplikací restaurátorských prostředků či přítomností nečistot na povrchu. V obou případech dochází k ovlivnění naměřené křivky spektrální odrazivosti, čímž může být znesnadněno přiřazení správné křivky z knihovny a výsledky mohou být mylně interpretovány. V praxi je z hlediska interpretace dat vhodné využít interdisciplinární spolupráci např. s odborníky zabývajícími se stavebně historickým průzkumem, dějinami umění a archeologií v souvislosti s problematikou využití kamene. Jejich znalosti a poznatky z oblasti využívání a těžby přírodního kamene v daných historických obdobích mohou pak pomoci zvolit správnou horninu z těch nejvíce „odrazivostně“ podobných.