

Místo doslovu

Miloš Drdáký

Výsledky výzkumu, uvedené v předchozích kapitolách, jsou jenom částí aktivit a výzkumné kapacity pracovišť Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., v oblasti záchrany, zachování a restaurování památek. Rozsah publikace také neumožnil uvést všechny zajímavé detaily prováděného výzkumu, publikované v řadě úžeji zaměřených monografií. Využijme proto pár závěrečných stránek k prezentaci dalších výzkumných témat a jejich výsledků získaných v terénu a užitečných pro památkovou péči.

Architektonické povrchy památek nejvíce poutají pozornost veřejnosti a často rozhodují o nutnosti opravy, přestože většinou neodrážejí skutečný stav a ohrožení objektu. Posuzování kvality povrchu stavby nebo sochy je obvykle založeno pouze na subjektivním hodnocení více či méně poučeného nebo znalého pozorovatele. Základními parametry takového hodnocení jsou barva a čistota povrchu. Běžně užívané bodové měření barvy má mnoho nevýhod – nezobrazuje reprezentativně vzhled plochy a nedá se spolehlivě a jednoduše použít pro dlouhodobé monitorování. Proto byla v ústavu vyvinuta metoda celoplošného měření vzhledových charakteristik povrchu¹. Terénní aplikace vyžaduje jednoduché a finančně nenáročné zařízení, které je přenosné a schopné dosáhnout vysokého obrazového rozlišení. Takové požadavky výborně splňují přenosné skenery. Typické nejvyšší skenovací rozlišení 600 dpi přibližně představuje 20 pixelů na milimetr, neboli jeden obrazový bod představuje 50 mikrometrů. Při skenované ploše 18 × 13 cm² tak můžeme získat obrázky o velikosti cca 10 megapixelů. Skenování zaručuje vždy stejné zvětšení a uvážíme-li ještě stabilitu osvětlení, předčí přenosný skener (**obr. 259**) fotografii, která je nevhodná pro účely měření, neboť je citlivá na změnu podmínek osvětlení, daných počasím.

Přenosným skenerem je možno měřit spolehlivě vizuální vlastnosti povrchu a parametry jejich statistického rozdělení za předpokladu kalibrace obrazu ustavením nejvyšší a nejnižší úrovně intenzity pomocí černého a bílého referenčního rámečku přítomného v každém skenovaném obrazu. Vlastní měření je pak velmi jednoduché a nepoškozuje památku: na přiměřeně plochý povrch zkoumaného objektu přiložíme skener (po odstranění jeho horního krytu).

¹ Valach, J., Bryscejn, J., Drdáký, M., Slížková, Z., Vavřík, D. (2006). Public perception and optical characterization of degraded historic stone and mortar surfaces. In: Fort, Alvarez de Buergo, Gomez-Heras, Vazquez-Calvo (eds). *Proceedings "Heritage, Weathering and Conservation"*, Taylor & Francis Group, London, pp. 827–832. ISBN 0-415-41272-2.

Valach, J., Drdáký, M. F. (2008). An effective method for monitoring and optical characterization of degraded historic stone and mortar surfaces. In: Tiano, P., Pardini, C. (eds). *Proceedings of the International Workshop "In Situ Monitoring of Monumental Surfaces"*, Edifir – Edizioni Firenze, ICVBC Florence, pp. 37–44. ISBN 978-88-7970-390-1.

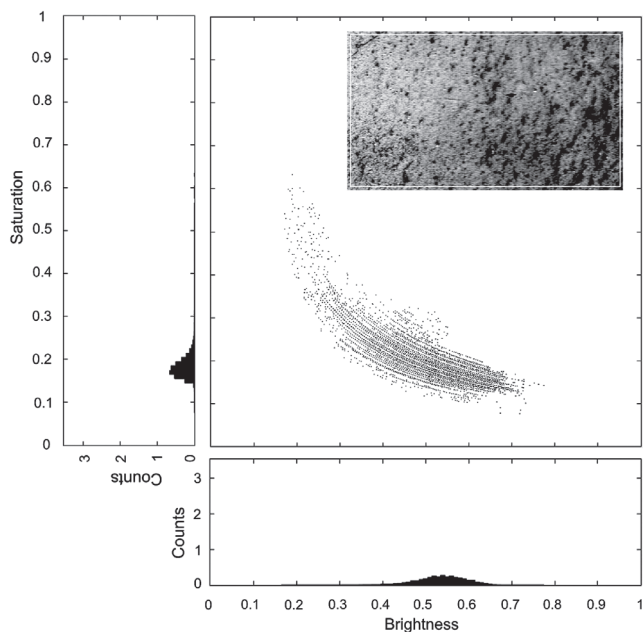


OBRÁZEK 259: Přenosný skener pro měření barevnosti a znečištění povrchu (Foto J. Valach)

Skenování se spustí tlačítkem a po jeho ukončení je obraz uložen do paměťové karty nebo mohou být data posílána přes USB přímo do notebooku. Data jsou pak zpracována a analyzována pomocí vlastního programu v prostředí MATLAB.

Vlastnosti barvy lze popsat různými modely barevnosti. Digitální optické přístroje používají tzv. RGB (red, green, blue) model pro záznam obrazů, nicméně model HSL (hue, saturation, luminance) lépe vyhovuje pro popis změn spojených s degradací povrchu a tak musí být provedena transformace získaných dat známou procedurou¹, případně může být souhrnná změna charakterizovaná veličinou ΔE , často využívanou v kolorimetrii. Degradací procesy na památkách jsou vždy doprovázeny změnami jejich vzhledu. Znečištění povrchu se většinou projevuje ztmavnutím a ztrátou barevnosti. Tyto vizuální změny můžeme technicky přesněji popsat pomocí jasu a sytosti barvy. Jas je dán mírou světla odraženého od povrchu, čím je povrch jasnější, tím vyšší je hodnota jasu. Dva mezní stavy – černá a bílá jsou dány hodnotami 0 a 1. Sytost je mírou čistoty barvy – na jedné straně stupnice jsou čisté barvy duhy a na druhém konci barvy s příměsí černé, bílé nebo jejich kombinace, tedy šedé. Skutečnost, že je možno hodnotit kvalitu povrchu nezávisle na podmínkách osvětlení, ukazuje, že změna jasu a sytosti jsou vlastnosti popisující vizuální stav povrchu s nejvyšší vypovídací hodnotou. Jednotlivé pixely obrazu skenované plochy jsou pak statisticky zpracovány a získané střední hodnoty a směrodatné odchylky jasu a sytosti jsou dále užívány pro analýzu optických vlastností povrchu. Střední hodnoty reprezentují polohu těžiště všech bodů na osách pro jas a sytost. Představená metoda umožňuje analyzovat statistické rozdělení těchto vlastností a kvantitativně ukázat, co znamená „nerovnoměrně degradovaný povrch“. Posun středních hodnot výše zmíněných dvou proměnných citlivě ukazuje zhoršení povrchové degradace, nebo naopak může být použit pro hodnocení efektivity čištění povrchu. Vlastnosti statistického rozdělení mohou být vizualizovány graficky v souřadnicích sytosti a jasu, kde je každému pixelu studovaného obrazu přiřazen bod o jeho souřadnicích jasu a sytosti. Projekce

¹ Lebrun, V., Toussiant, C., Pirard, E. (2004). Monitoring color alternation of ornamental flagstones using digital image analysis. In: Příkrýl (ed.). *Dimension Stone*, Taylor and Francis, London, pp. 139–146.



OBRAZEK 260: Typický graf závislosti jasu a sytosti pro znečištěný povrch (Foto J. Valach)

těchto bodů vytvoří „oblak“, jehož rozptýl a tvar jsou užitečnými mírami povrchové degradace (**obr. 260**). Kompaktní a symetrický oblak představuje rovnoměrný vzhled, zatímco rozptýlený signalizuje proměnnost, typickou pro znečištěný povrch.

Častým problémem v památkové péči je i obava z poškozujícího účinku dynamického zatěžování památky nebo studium její dynamické odezvy na okolní vzruchy. Objektivní posouzení vyžaduje provést řadu měření přímo na památce v terénu. V odůvodněných případech, zejména při nebezpečí vzniku únavového poškození, musí být památka sledována dlouhodobě za pomoci osazených snímačů pro kontinuální měření nebo periodickými inspekcemi dynamické odezvy. I při dlouhodobém monitoringu nejsou sbírána a archivována data o kmitání objektu nepřetržitě. Moderní měřicí ústředny a záznamová zařízení umožňují zahájit sběr dat jen při překročení volitelné prahové hodnoty, např. při překročení určité meze měřeného průhybu. Typickými adepty potřeby dynamické analýzy jsou dřevěné stropy na větší rozpětí, štíhlé vysoké stavby nebo jejich části, jako jsou věže, štítové zdi a zejména tzv. morové nebo mariánské sloupy. Pro měření charakteristik kmitavého pohybu se využívají snímače zrychlení, případně optické systémy pro měření rychlostí a vytváření map kmitání, např. již uvedené výsledky na **obr. 190 a 191** na str. 234 a 235.

Zajímavé analýzy byly prováděny při restaurování jezdecké sochy Jana Žižky na Vítkově, kde je ocas koně spojen s tělem subtilním spojením, a tudíž tvoří konzolu náchylnou ke kmitání. Jednou z veličin charakterizujících technický stav konstrukce jsou její vlastní frekvence, které jsou poměrně snadno a přesně na skutečném díle měřitelné. Při dlouhodobém monitoringu změna frekvence signalizuje rozvíjející se poruchu, změnu tuhosti nějakým vnějším zásahem nebo změnu materiálových vlastností. Změnou tuhosti je možno řešit



OBRAZEK 261: Umístění snímačů kmitání v úrovni hlavice sloupu (vlevo) a na dřívku (vpravo)

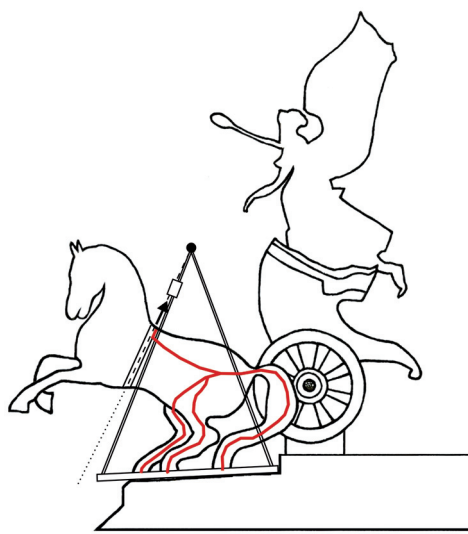
problémy s nadměrnými výchylkami. Příkladem na památce je kotvení vysokého zděného štítu kostela sv. Petra a Pavla na Vyšehradě.¹

Lidské smysly jsou na kmitání citlivé, ale velikost výchylky kmitání je velmi obtížné správně odhadnout. Vznikají tak představy, které většinou oproti realitě odezvu zveličují. Takovým příkladem byla dynamická odezva mariánského sloupu v Letohradu, kde měli restaurátor i přivolaný statik pocit, že je sloup po výšce ve spárách oddělen a že dochází k nebezpečným výchylkám. Dynamické charakteristiky byly standardně zjištěny zkouškou (**obr. 261**), která prokázala, že při kmitání se vlastní sloup chová jako celistvé nepoškozené těleso. Během zkoušky nebyla pozorována aktivní trhlinka v úrovni nasazení patky či v úrovni spínací obruče ve spodní části sloupu. Z průběhu záznamů je vidět, že sloup pružně kmitá ve stejném směru, jako je rozkmitávající silové působení jak u patky sloupu, tak i vnitřního zděného jádra podstavce sloupu. Nicméně rozkmit spodní části sloupu je několikanásobně menší než rozkmit sloupu u hlavice, který sice dosahoval maximálních hodnot výchylky jenom okolo 0,8–1 mm, ale subjektivně byl vnímán jako nebezpečný pro stabilitu sloupu.

Další poznámka představuje oblast výzkumu mechanického chování historických konstrukcí. Zde je cílem zjistit jejich chování při zatížení, bezpečnost, spolehlivost, případně zbytkovou životnost. Zatěžovací zkoušky historických konstrukcí většinou nemohou používat standardní postupy obvyklé při zatěžovacích zkouškách stavebních konstrukcí. Důvody mohou být různé – tvar historické konstrukce, její dostupnost i účel zkoušky.

Příkladem zvláštní zatěžovací zkoušky byla studie spolupůsobení bronzového pláště sousoší trig na střeše Národního divadla s jejich výztužnou železnou kotrrou pro přípravu jejich restaurování (**obr. 262**). Zkoumaný objekt byl zřejmě nepřemístitelný, musel tedy být zatěžován na místě. Úkol vyžadoval měření poměrných deformací na povrchu zkoumaných konstrukcí a měření složek průhybu sochy koně při statickém zatěžování, doplněné o měření kmitání při dynamickém zatěžování. Zkoumaná socha koně působí staticky jako konzola složitého tvaru, vetknutá do střešní konstrukce třemi podporami: dvěma zadními nohama a ocasem. Hruď, hlava a přední nohy ční volně do prostoru. Celkový pohled

¹ Fischer, O., Urushadze, S. (2004). Účinek pohybu zvonů na štítovou zeď z kamenného zdiva. In: Králík, J. (ed.). Proc. 3rd international conference on New trends in statics and dynamics of buildings, Slovak University of Technology in Bratislava, October 21–22, 2004 Bratislava, pp. 9–12. ISBN 80-227-2116-6.

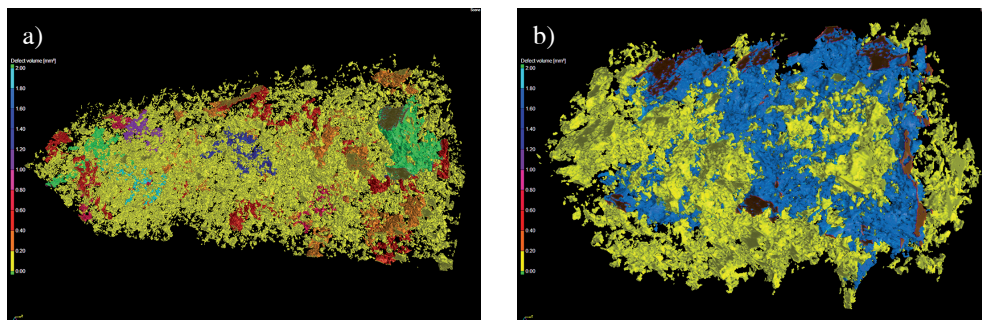


OBRÁZEK 262: Podpůrný rám a zavěšení sochy koně pomocí popruhů pro zatížení nadlehčováním (Foto Sh. Urushadze)

na koně je uveden na **obr. 262**. Nohy a ocas jsou tvořeny dutými tenkostěnnými bronzovými profily nepravidelného průřezu a nepravidelné tloušťky, stejně tak tělo je staticky spíše krátkým tenkostěnným dutým prutem než skořepinou. Prostorová tuhost bronzového pláště velmi nepravidelně proměnné tloušťky je značná a jeho napjatost lze odhadnout jenom přibližně. Vzhledem k nedostatku prostoru pro umístění těžkého zatěžovacího rámu bylo navrženo zatížení nadlehčením koně, což výhodně využívalo již vybudovanou závěsnou konstrukci pro restaurování (**obr. 262**) a bylo přijatelné pro posouzení poměru spolupůsobení ocelové kostry a bronzového pláště.

Z naměřených výsledků bylo na první pohled patrné, že bronzový plášť významně spolupůsobí při přenosu vlastní tíhy sochy do podpory. Při odlehčování byla v plášti naměřena vyšší napětí a průřezové plochy profilů jsou většinou rovněž větší v plášti než v ocelové kostře, kromě profilu nad kopytem, kde bronz těsně obmyká ocelový profil. Podle chování konstrukce bylo odhadnuto, že bronzový plášť může přenášet cca 75 % vlastní tíhy sochy do podpory v převážně tlačných a ohýbaných prvcích (nohy). Naměřené hodnoty dynamické odezvy pro běžné provozní podmínky (automobilový a tramvajový provoz) ukazují, že nedochází k takovému kmitání objektu, které by mohlo nepříznivě ovlivnit sousoší trig. Hodnoty naměřených hodnot odezvy jsou nepatrné. Nicméně při větrném počasí může dojít k rozkmitání soch. Vyvolané výchylky ve vodorovném směru kolmém na osu koně pak mohou být výrazně vyšší než účinky dopravy.

Výzkumná infrastruktura ÚTAM a jeho pracovišť v Praze a Telči umožňuje řešení mnoha dalších typů výzkumných úloh spojených se záchranou, zachováním a využíváním kulturního dědictví. Řada experimentálních zařízení je světovými unikáty, které umožňují měření a výzkum jinde nedosažitelný. Jako poslední poznámku uvedme možnosti pohledu do struktury historických nebo opravných materiálů. Pro restaurování porézních hmot je základní potřebou znalost prostorové pórové struktury. Jedná se o velmi složitou úlohu, kterou lze



OBRAZEK 263: Počítačová mikrotomografie: a) rekonstruovaný prostor mezi zrna zasolené malty; b) pohled na vzorek odsolovací malty (Obrázky M. Vopálenský)

uspokojivě řešit jenom kombinací několika metod. Významnou roli zde hraje počítačová rentgenová mikrotomografie, představená v poslední kapitole této knihy. Vzhledem k tomu, že se jedná o bezkontaktní a tudíž i nedestruktivní metodu, dá se použít pro zobrazení pórové struktury i velmi křehkých nebo poddajných materiálů. **Obrázek 263a** ukazuje volný prostor mezi zrna zasolené omítky, **obr. 263b** póry odsolovací malty, vše ve 3D zobrazení.

Uvedené příklady jsou jenom zlomkem možností současných moderně vybavených laboratoří pro památkové vědy. Jednou z nich je i Centrum excelence v Telči, vybudované s podporou Evropského fondu regionálního rozvoje a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR. Jeho předností je existence vysoce výkonné výzkumné infrastruktury pro výzkum interdisciplinárních problémů kulturního dědictví pod jednou střechou. Autoři této knihy vědy pro památky neustále dále rozvíjejí a jsou připraveni k široké národní i mezinárodní spolupráci. Uvítají s radostí kritické připomínky i náměty na nová výzkumná témata.