

Přesnost ekonomicky dostupné metody 3D dokumentace movitého kulturního majetku

Accuracy of an economically available method of 3D documentation of movable cultural property

KAREL BOBEK

Národní památkový ústav, generální ředitelství Praha
Valdštejnské náměstí 3/162, 118 01 Praha 1; email: karelbobek@gmail.com

Ing. PAVEL HÁJEK, Ph.D.

Katedra geomatiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni
Technická 8, 306 14 Plzeň; email: gorin@kgm.zcu.cz

Mgr. HANA KUBÍČKOVÁ

Katedra geomatiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni
Technická 8, 306 14 Plzeň; email: kubickova@kgm.zcu.cz

Ing. KAREL JEDLIČKA, Ph.D.

Katedra geomatiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni
Technická 8, 306 14 Plzeň; email: smrcek@kgm.zcu.cz

ABSTRAKT

Príspevek popisuje ekonomicky dostupnou metodu rekonstrukce třídimenzionálního tvaru předlohy v digitálním prostředí, založenou na průsekové fotogrametrii z perspektivy evidence movitého kulturně hodnotného majetku. Nejprve metodu zasazuje do kontextu současných i historických způsobů evidence movitého kulturního majetku. Poté stručně popisuje principy jejího fungování a srovnává ji s velmi přesným způsobem dokumentace formou laserového skenování. Srovnání je založeno na hodnocení objemových rozdílů a ukazuje, že z hlediska přesnosti tato metoda má svoje místo mezi metodami dokumentace tvaru zájmového objektu. Studie v závěru popisuje i limity metody, zejména pro tvarově složité a/nebo nekонтрастní předlohy.¹

KLÍČOVÁ SLOVA:

dokumentace, movitý majetek, 3D, model, skenování, SfM

ABSTRACT:

The paper describes an economically available method of reconstruction of the three-dimensional shape of a model in a digital environment, based on cross-sectional photogrammetry from the perspective of the registration of movable cultural property. First, it places the method in the context of current and historic methods of recording movable cultural property. It then briefly describes the principles of its operation and compares it with the highly accurate method of documentation in the form of laser scanning. The comparison is based on an assessment of volumetric differences and shows that in terms of accuracy this method has its place among methods of documenting the shape of an object of interest. The study concludes by describing the limitations of the method, especially for shape-complex and/or non-contrasting objects.

KEYWORDS:

documentation, movable assets, 3D, model, scanning, SfM

ÚVOD

Dokumentace movitého kulturního majetku má bezesporu zásadní význam jak pro kulturně-historický výzkum, tak i pro uchování informací o zájmových objektech pro další generace. Moderní technologie umožnily přesun od písemného popisu předmětu a analogově

zpracované dokumentace k její elektronické formě, avšak stále ve dvourozměrné formě zachycení tvaru a vzhledu dokumentovaného objektu, tj. nákrešů, řezů či fotografií. Rozměry a tvary zájmových objektů byly získávány především pomocí analogových měřidel, nicméně i při využití počítačových technologií pro tvorbu

dvou – i třírozměrných zákresů objektů, jednalo se v drtivé většině o jejich manuální tvorbu. Navíc prezentování kulturně hodnotných objektů ve formě dvourozměrných nákrešů nemusí vést ke zvýšení atraktivnosti a zájmu o kulturní dědictví jako oboru. Proto se v tomto článku chceme zaměřit na představení

¹ Článek vznikl v rámci výzkumného projektu Tvorba metodik pro naplňování řádné správy památkového fondu zpřístupněného veřejnosti (99H30PP190), financovaného MK ČR.

vybraných metod, které umožní vytvoření trojrozměrné dokumentace zájmového movitého kulturního majetku spolu s atraktivní formou jeho virtuálního 3D modelu se zohledněním časové a finanční náročnosti využití takovýchto metod. Pro tvorbu virtuálního 3D modelu je třeba získání dat o rozměru a tvaru dokumentovaného objektu. V článku budou rozebrány především dvě metody sběru dat umožňující jak zaměření objektu, tak i softwarově řízenou tvorbu jeho 3D modelu na základě naměřených dat. Jde o metodu sběru dat laserovým skenováním a o fotogrammetrickou metodu sběru dat měřickou kamerou za využití technologie Structure from Motion (SfM). Cílem tohoto článku je představení možnosti vyhotovení 3D dokumentace movitých objektů, které je relativně jednoduché a levné, nicméně přináší dostatečně kvalitní výsledky, když jiné, sofistikovanější metody nejsou v danou chvíli dostupné. Pro dosažení tohoto cíle je nejprve metoda zasazena do kontextu existujících metod dokumentace památkově hodnotných objektů a dále je navržen, popsán, realizován a vyhodnocen experiment zaměřený na určení přesnosti výpočtu objemu zkoumaného tělesa.

HISTORIE EVIDENCE MOVITÉHO KULTURNÍHO MAJETKU V ČR

Počátky péče o kulturní dědictví v tom smyslu, jak je chápeme dnes, spadají až do 18. století, kdy osvícenský absolutismus vytvořil nosnou plochu pro stanovení obecně závazných pravidel tehdejší památkové péče. Nelze však hovořit o systematické práci na poli ochrany kulturních statků a jejich evidence.

Až období vlády Marie Terezie znamenalo posun ve vývoji péče státní moci o kulturní dědictví. Tereziánské reformy měly širokou platnost a pochopitelně se dotýkaly také památek a jejich zachování. Jedním z nejstarších obecně závazných nařízení byl dvorský dekret z 24. 2. 1776, doplněný dekretem z 5. 3. 1812. Oba tyto dekrety upravovaly povinnosti nálezců starožitností, mezi které byly kromě starých mincí zahrnuty i další nalezené pamětihodnosti, jako např. sochy, pohanské modly, zbraně, nádoby a náhrobní kameny.

Další z dvorských dekretů byl dekret dvorského kanceláře z 28. 12. 1818, který upravoval vývoz a obchod s uměleckými díly a zvláštnostmi. Zakazoval vyvážet obrazy, sochy, antiky, sbírky mincí a mědirytin, vzácné rukopisy, kodexy a prvotisky a vůbec takové předměty umění a literatury, které přispívají ke slávě státu a jejich prodejem by vznikla těžko nahraditelná a podstatná ztráta.

Rakouské či rakousko-uherské památkové instituce byly ve své době nejmodernější v Evropě, což dokládá i ta skutečnost, že tzv. Ústřední komise pro zajišťování a zachování

stavebních památek byla zřízena nejvyšším rozhodnutím z 31. 12. 1850 při Ministerstvu obchodu, průmyslu a veřejných prací. Ke komisi příslušel i pomocný sbor 120 konzervátorů a dopisovatelů. Teprve v roce 1872 byla její působnost rozšířena i na památky movité a tato změna přinesla i nový název – Komise k vyhledávání a zachování uměleckých a historických památek. V roce 1911 byla komise přebudována na odborný úřad, spojený s vědeckým ústavem pro výzkum a odbornou inventarizaci uměleckého majetku ve státě. C. k. ústřední komise pro zachování památek měla vykonávat bezprostřední veřejnou péči s cílem, aby umělecké a historické památky byly vyhledány a zachovány.

Nový stát – Československo – převzal staré platné normy již neexistující Rakousko-uherské monarchie, ale již druhý den své existence, dne 29. 10. 1918, doplnil stávající památkové předpisy nařízením Národního výboru č. 13/1918 Sb. o zákaz vývozu uměleckých a historických památek. V Rakousko-uherské monarchii, ani později v období první samostatné Československé republiky, nedošlo k přijetí speciálního zákona na ochranu památek, i když na osnově zákona se neustále pracovalo. První osnovu zákona zpracovala a říšské radě v roce 1909 předložila Ústřední komise, přepracované znění pak bylo panské sněmovně předloženo v roce 1911. Také po roce 1918 se usilovně pracovalo na právním předpise o ochraně kulturních památek, došlo však pouze ke shodě o obecných principech a zásadách, které měl budoucí zákon pojednat.

Po skončení druhé světové války měly pro památkovou péči a její následnou právní úpravu naprosto zásadní význam dekrety prezidenta republiky (Benešovy dekrety) č. 108/1945 Sb. A zejména pak dekret č. 12/1945 Sb. Po roce 1945 tak přešly jako státní kulturní majetek do státního vlastnictví stovky zámeckých a hradních objektů, řada objektů ve městech a obcích, obzvláště pak v pohraničí, a proto se péče o hrady, zámky a historická jádra měst stala hlavním úkolem památkové péče poválečného období. Zákonem ze dne 16. 5. 1946 č. 137/1946 Sb., o Národních kulturních komisích pro správu státního kulturního majetku, byly zřízeny Národní kulturní komise, které přijímaly do své správy jako státní kulturní majetek nejvýznamnější hrady a zámky a účastnily se vyřizování kulturního mobiliáře v objektech, které přešly do státního vlastnictví, byly ústředními orgány pro správu státního kulturního majetku.

Až do roku 1958 nebyla u nás památková péče podložena ani dostatečnou právní normou, ani vyhovujícím systémem institucí a organizací s jednoznačně vymezenými kompetencemi. V té době již bylo zřejmé, že vytvo-

ření právní normy, zastřešující problematiku památkové péče, je nezbytné. Proto se přistoupilo k vypracování zákona o kulturních památkách, který byl vyhlášen pod číslem 22 dne 3. 5. 1958 a tento den také nabyl účinnosti. Zákon o kulturních památkách shrnoval dosavadní zkušenosti a výsledky práce na tomto úseku. Zákon vymezil povinnosti spojené s údržbou kulturních památek, stanovil zásady ochrany a evidence kulturních památek, konzervace a obnovy i jejich kulturního využití. Zákon č. 22/1958 Sb. však neobsahoval žádná sankční ustanovení.

Zákon č. 22/1958 Sb., o kulturních památkách odpovídal dobovým potřebám státní památkové péče. Od jeho vydání však vývoj státní památkové péče prošel podstatnými kvalitativními i organizačními změnami k závažným úpravám došlo především v oblasti organizace státní správy v souvislosti s novými zákony o národních výborech a o správním řízení, ústavním zákonem o československé federaci, zákonem České národní rady o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů státní správy České socialistické republiky, občanským zákoníkem, jakož i v oblasti hospodářsko-právní vydáním hospodářského zákoníku, předpisů o správě národního majetku apod.

V reakci na tento vývoj byl přijat s účinností od 1. 1. 1988 nový právní předpis – zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči č. 20/1987 Sb., který přinesl některé zásadní změny do dosavadního chápání právní ochrany kulturních památek. Přesně vymezil, na které objekty kulturní hodnoty se vztahuje péče státu jako na kulturní památky, kdy kulturní památky prohlašuje Ministerstvo kultury, určil, že kulturní památky se zapisují centrálně do Ústředního seznamu kulturních památek, zřídil památkovou inspekci jako složku Ministerstva kultury, která dohlíží na dodržování zákona o státní památkové péči a stanovil sankce za porušení zákona.

Technicky byly první fondy převzaty do správy státu po roce 1918 při konfiskaci majetku příslušníkům habsburské rodiny, termín se definoval jako majetek movitý či inventář. Předměty z těchto fondů byly využity k vybavení vládních úřadů, zahraničních zastupitelství, část předmětů přešla do sbírek veřejných institucí.

V konfiskacích „nepřátelského majetku“ po roce 1945 byly konfiskované předměty pojmenovány jako mrtvý inventář. Zajištění majetku prováděla tzv. národní správa, majetku, který měl znaky památek pak přechodně Sekretariát pro evidenci a záchranu památek písemných, historických, uměleckých a přírodních, v severních Čechách tzv. Zjišťovací komise. Po červnu 1945 se správa zkonfiskovaných předmětů dostala pod Ministerstvo školství

a osvěty, které za tímto účelem vytvořilo Národní kulturní komisi (NKK). NKK přebírala veškerý majetek, nemovitý i movitý. Příslušné právní předpisy označovaly pozdější mobiliární fondy jako „movité věci hodnoty umělecké, historické nebo vědecké, a to jednotlivé předměty nebo jejich sbírky“. Při dalších jednáních NKK o výběru předmětů do objektů, které měly být zpřístupněny veřejnosti, se objevuje termín „kulturní mobiliář“, zbývající předměty většinou jako „ostatní inventář“. Stejně termínu se používá celá padesátá léta, i po přijetí zákona č. 22/1958 Sb. o kulturních památkách v letech šedesátých. Termín „mobiliární fond“ byl poprvé zmíněn v Instrukci o správě kulturních památek určených ke kulturně výchovnému využití, kterou vydalo Ministerstvo kultury v lednu 1974 a tam v čl. 1 odst. 4 byl definován jako: „movité kulturní památky a jejich soubory uložené v prostorech nemovité kulturní památky nebo památkového areálu tvoří společně, s výjimkou knihovních fondů, mobiliární fond památkového objektu, který se zapisuje do státního seznamu movitých kulturních památek jako celek“. Současně byla Instrukcí zavedena i evidence mobiliárního fondu, která se skládala z vedení základní a průběžné evidence.

Základní evidence obsahovala:

1. inventární knihu – je tvořena evidenčními listy movitých kulturních památek, které jsou svázány do pevné vazby
2. kartotéku inventárních listů
3. lokační katalog

Průběžná evidence byla vedením záznamů o výpůjčkách a zápůjčkách. K evidenci patřily i tzv. černé knihy – původní inventární knihy pořízené Národní kulturní komisí, obsahující soupis mobiliárního fondu nebo knihovny historického objektu pod starými inventárními čísly tak, jak byly členy NKK s přednostním právem výběru vyňaty z celkového objemu mobilií převzatých Národním pozemkovým fondem nebo Fondem národní obnovy. V těchto „černých knihách“ a ani v předchozích soupisech, resp. seznamech neexistovala obrazová dokumentace. Poprvé se objevuje obrazová dokumentace v Základní evidenci mobiliárního fondu v podobě černobílé fotografie velikosti 6x6 cm, kdy se archivují jak fotografie, tak jejich negativy. V roce 1989 byla evidence mobiliárních fondů převedena do elektronické formy s názvem MobSys a nasazena jako jediný evidenční nástroj v oblasti správy státních památkových objektů. Mobiliární fondy byly prohlášeny v roce 1991 Ministerstvem kultury jako celky za kulturní památky, stejně tak i jednotlivé knihovní fondy v památkových objektech. V roce 1992 byl prostřednictvím výzkumného úkolu pořízen barevný kinofilmový

diapozitiv jednotlivých mobiliárních předmětů, který se následně digitalizoval. Dalším vylepšením obrazové dokumentace – zatím stále jen vizualizace – se v roce 2006 stal tzv. virtuální pohyb, kdy byl předmět snímán dvanácti záběry dle vybrané osy, a pomocí SW nástroje byly tyto záběry spojeny v souvislý válec, kdy předmět lze plynule prohlížet ze všech stran a z kterého je v každém místě možný obrazový výstup ve fotografické kvalitě. V roce 2010 bylo experimentálně odzkoušeno 3D zdokumentování mobiliárního předmětu a jeho zapracování do evidenčního nástroje movitého kulturního majetku zvaného CastIS 3D (Bezdek et al. 2011). Vyobrazení jednotlivých mobiliárních předmětů umožňuje na rozdíl od předchozích způsobů obrazové dokumentace, resp. pouhé vizualizace, kompletní zdokumentování předmětu v prostoru a vytvoření případné repliky předmětu při ztrátě nebo zničení. V praxi prezentace movitého kulturního majetku v expozicích zpřístupněných památkových objektů lze využít data pořízená metodou 3D dokumentace k vytištění replik jako upomínkových předmětů, a tím vytěžit tuto dokumentaci ke komerčním účelům a zvýšení tolik potřebných výnosů. Tato kapitola byla shrnuta podle (Nesvadbíková, Vinter & Wirth 1983).

VYBRANÉ METODY SBĚRU DAT PRO 3D DOKUMENTACI MOVITÉHO KULTURNÍHO MAJETKU

Vhodnost trojrozměrné dokumentace movitého i nemovitého kulturního majetku byla dále zkoumána v celé řadě literárních pramenů (Remondino & Rizzi 2010, Brejcha et al. 2015, Stylianidis & Remondino 2016). Nejde jen o zachování a zpřístupňování kulturního majetku, ale zásadní stránkou pořízení jakékoliv dokumentace je cena jejího pořízení. Metod pro 3D dokumentaci zájmového majetku je celá řada, od stereofotogrammetrie, holografie až po manuální tvorbu modelu. Tento článek se však zaměřuje na porovnání již poměrně využívaného postupu pro digitalizaci kulturního majetku, a to laserového skenování a metody získávání trojrozměrného modelu objektu na základě fotogrammetrické metody využívající obrazovou korelaci, tzv. Structure from Motion (SfM), taktéž označované jako Image-Based Modeling and Rendering (IBMR). I když principy obou těchto metod jsou popsány v metodice NPÚ nazvané *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek* (Brejcha et al. 2015), autoři se v ní zaměřili na nemovitý kulturní majetek. Tento článek se zaměřuje na porovnání obou metod nejen z pohledu finančního, ale především z pohledu přesnosti obou metod na základě provedené studie a také z pohledu konkrétní

požitelnosti pro 3D dokumentaci movitého kulturního majetku.

Obě zvolené metody mají mnoho společného. Jsou bezkontaktní, poskytují velké množství podrobných bodů pro tvorbu co nejdetailejší 3D reprezentace objektů. Jak bylo zmíněno výše, výhodou SfM metody jsou výrazně nižší náklady na hardware i software. Metoda je poměrně dobře přijímána, ovšem většinou jen na základě vizuálního podání výsledku, nikoli na základě posouzení přesnosti a věrnosti zachycení předlohy. Tato práce proto zaměřuje jeden konkrétní objekt jak metodou laserového skenování, tak metodou SfM, a následně obě metody porovnává mezi sebou i s analyticky vypočteným tvarem předlohy.

SBĚR DAT POZEMNÍM LASEROVÝM SKENOVÁNÍM

Z celé řady typů metod laserového skenování se následující text zaměří na pozemní systémy s krátkým dosahem používající laserový skener. Laserový skener se skládá z laserového dálkoměru a skenovacího mechanismu. V dálkoměru je zabudován pulsní laser emitující záblesky infračerveného světla. Paprsek vyslaný dálkoměrem je odražen od povrchu skenovaného objektu a vrací se zpět. Pomocí senzoru se zaznamenává doba letu převedená do vzdálenosti laser-objekt (time of flight), nebo se určuje fázový posun vyslaného paprsku. Fázové skenery jsou až o řád přesnější a hodí se skenování např. soch, u kterých je nutno dokumentovat detaily.

Takto získané mračno bodů reprezentující tvar měřeného objektu je s úspěchem kombinováno s pořízením fotografického záznamu měřeného objektu, umožňujícím přiřazení hodnot RGB, tj. barvu jednotlivým bodům mračna, čímž lze získat barevné trojrozměrné bodové reprezentace objektu.

Pro kompletní trojrozměrný model movitého předmětu či objektu je většinou třeba provést skenování z více stanovisek okolo měřeného objektu. Spojením překrývajících se jednotlivých skenů je v patřičném programu vytvořen následně kompletní 3D model zájmového objektu.

Příkladem může být zaměření movitého objektu, kde je uprostřed samotný skenovaný objekt (fialový jehlan), stanoviska, ze kterých byl pořízen sken objektu (stativy s totální stanicí opatřené laserskenem) a dva odrazné hranoly (body TPS0001 a TPS0002) vymezující přímkou, k níž bylo vztaženo měření z každého stanoviska. Tento způsob je typický pro zvolenou aparaturu typu multistation. Při laserovém skenování za použití (auto)korelace skenů není třeba používat žádných dalších pomůcek anebo se používají pro automatické spojení skenů kulové signály, rozmístěné

kolem objektu, fungující jako vlčovací body (Hrádková 2009).

SBĚR DAT NEMĚŘICKOU KAMEROU ZA VYUŽITÍ TECHNOLOGIE SFM

Při samotném sběru dat, tedy snímkování, je nutné postupovat podle několika zásad. Zaprvé je třeba snímkovat za vhodných světelných podmínek, tzn. vyhnout se slunečnému počasí nebo silnému umělému světlu, aby snímáný objekt nebyl příliš přесvícený nebo aby na něj naopak nedopadl stín, což by mělo nežádoucí vliv nejen na samotnou rekonstrukci 3D modelu, ale také na jeho výslednou texturu. Dále je vhodné omezit výskyt nechtěného popředí a pohybujičích se objektů uvnitř snímávané scény. Pro pořízení snímků objektu je důležité použít stejné nastavení ohniskové vzdálenosti, neboť při její změně se mění i prvky vnitřní orientace použité kamery. Samotné snímkování by mělo probíhat systematicky, kolem snímávaného objektu přibližně ve stejné vzdálenosti a z různých úrovní tak, abychom kolem objektu vytvořili jakousi sféru

Obecně platí, že čím více snímků pořídíme, tím lépe. Ty by měly být pořízeny tak, aby snímávaný objekt zabíral co největší plochu snímku. V případě, že nastane situace, kdy není možné zachytit celý objekt, je možné zachytit jeho chybějící části na další snímek.

Aby bylo později možné rekonstruovat skutečnou velikost objektu, je potřeba současně nasnímat spolu s objektem délkový etalon anebo na objektu změřit vzdálenosti mezi dobře identifikovatelnými body. Tím lze dát vznikajícímu modelu měřítko (Chiabrando, Donadio & Rinaudo 2015).

POROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD PRO SBĚR DAT

Tato kapitola se zaměřuje na experimentální ověření přesnosti vybraných metod při zaměření téhož objektu (Kubíčková & Jedlička 2016). Tento objekt byl vybrán tak, aby bylo možné analyticky vypočítat jeho skutečný objem a zároveň aby obsahoval i potřebnou texturu. Pro účely pokusu byl proto vybrána transportní bedna na teodolit ve tvaru komolého jehlanu, jehož rozměry byly určeny opakovaným měřením délek všech stran a jejich zprůměrováním. V následných studiích by bylo vhodné se zaměřit i tvarově složitější objekty, protože členitost a struktura povrchu objektů movitého kulturního majetku může mít vliv na věrnost reprezentace výsledného 3D modelu.

V následujících podkapitolách budou uvedeny postupy při zaměření vybraného objek-

tu oběma zmíněnými metodami s ukázkami výsledných virtuálních 3D modelů. V poslední podkapitole je pak uvedeno shrnutí výsledků porovnání výsledných 3D modelů na základě určení jejich objemů.

MĚŘENÍ OBJEKTU POZEMNÍM LASEROVÝM SKENEREM

Pro pořízení mračna bodů pozemním laserovým skenováním byl použit přístroj Leica Nova MS50 MultiStation, který spojuje totální stanici s 3D laserovým skenerem. Při maximálním dosahu 300 m a rychlostí skenování 1000 b/s vykazuje 3D skener šum v datech měřených délek za ideálních podmínek (zatažená obloha, objekt ve stínu, přímá viditelnost, statický cílový objekt) hodnotu 1 mm na 50 m. Absolutní polohová přesnost skenování do 500 m je 2 mm + 2 ppm (Anonym 2013).

Prvním krokem při pořizování dat bylo navržení vhodné konfigurace stanovisek přístroje. Stanoviska by měla být nejméně dvě, ale lépe určitě tři, v minimální vzdálenosti cca. 1,5 m od skenovaného objektu (konkrétní hodnota odstupů je uvedena v manuálu použitého přístroje) a rozmístěna tak, aby byl naskenován celý objekt zájmu.

Po přípravě přístroje na prvním stanovisku, založení nové zakázky v přístroji a provedení orientace měření k přímce, bylo přikročeno k samotnému nastavení skenování. Výhodou tohoto přístroje je umožnění definice nepravidelné oblasti skenované mřížky. Tato skutečnost usnadnila práci při zpracování naskenovaného mračna bodů, jelikož se laserový paprsek pohybuje v pouze námi definované oblasti, čímž se redukuje nadbytečný počet bodů mračna. Po definování skenované oblasti se pořídí její snímek, ze kterého jsou po naskenování objektu přiřazeny barvy jednotlivým bodům mračna.

V dalším kroku bylo třeba definovat rozlišování skenování, a to buď na základě délky, nebo úhlu. V našem případě byla zvolena možnost definice rozestupu bodů mračna podle délek, které byly nastaveny na hodnoty 0,005 m jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru, abychom získali husté mračno bodů. Při takovémto nastavení bylo dosaženo počtu více jak 16 000 bodů z jednoho stanoviska.

MĚŘENÍ OBJEKTU NEMĚŘICKOU KAMEROU

Při výběru kamery pro pořízení snímků byla hlavní prioritou její dostupnost (jak z pohledu hardwaru, tak její ceny) a taktéž aktuální situace ohledně již vlastněného vhodného hardwaru, a proto byla jako vybrána taková, která je

součástí mobilních telefonů. Volba mobilního telefonu závisela na dodržení doporučených parametrů fotoaparátu uvedených v uživatelské příručce softwaru PhotoScan Pro, kde uvedenými podmínkami pro použitý fotoaparát je jeho minimální rozlišení 5 MPix a ohnisková vzdálenost objektivu pohybujičící se v rozmezí 20–80 mm (Anonym 2016). Pro snímkování byl použit mobilní telefon Apple iPhone 4, který disponuje fotoaparátem s rozlišením 5 MPix a ohniskovou vzdáleností objektivu přepočtenou na full-frame ekvivalent cca. 30 mm. Byla tedy použita zcela běžná kamera, jelikož většina osob nyní vlastní poměrně drahý mobilní telefon s kamerami, jejichž kvalita se neustále zlepšuje. Proto lze počítat i s možnostmi kvalitních modelů z kamer mobilních telefonů.

Co se týče etalonu pro určení velikosti výsledného modelu, byla spolu s transportní bednou na teodolit nasnímana podlaha z dlažby, jejíž rozměry byly změřeny po pořízení snímků.

Aby byl získán dostatečný počet snímků, bylo provedeno snímkování ze tří vodorovných rovin, a to ve výšce přibližně 20 cm, 40 cm a 100 cm od podlahy bez použití digitálního a optického zoomu pro zachování stejných parametrů komory. Celkem jsme takto získali 86 snímků ve formátu JPEG. Software Agisoft PhotoScan, nyní nazýván Metashape, umí pracovat pouze s originálními snímky, které nebyly žádným způsobem modifikovány (ořznutí, geometrická úprava fotografií – zejména otočení). Kdyby k tomuto došlo, mohlo by to vést k nepřesnému výsledku při následné tvorbě 3D modelu nebo by snímky nebylo možné zpracovat vůbec.

POROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH 3D MODELŮ NA ZÁKLADĚ OBJEMŮ

Pro porovnání výsledků experimentu byl nejprve vypočten objem modelovaného objektu analyticky², kdy za předpokladu, že se jedná o komolý jehlan, vzorec výpočtu objemu komolého jehlanu uveden v rovnici:

$$V = \frac{1}{3} v \cdot (S_1 + \sqrt{S_1 S_2} + S_2) \quad (1)$$

Dalším krokem byl výpočet objemů vytvořených 3D modelů v programech Meshlab³ (využívající data z laserového skenování, tj. mračno bodů) a Agisoft Metashape⁴ (využívající množinu pořízených fotografií libovolnou digitální kamerou pro tvorbu 3D modelu).

Pro získání co nejspolehlivějších výsledků bylo nutné již při průběhu zpracování dat v programech Meshlab a Agisoft Metashape

² Měření délek potřebných pro výpočet objemu bylo provedeno vystudovaným geodetem, každá hrana byla určena pětínásobně.

³ Meshlab Version 1.3.3.

⁴ Agisoft Metashape Version 1.7.

odstranit body, které dělaly model členitým. Příkladem jsou body reprezentující úchyty bedny na teodolit nebo spony na její uzavření, se kterými jsme při analytickém výpočtu nepočítali. Snahou bylo tedy získat pouze obecný tvar objektu, jehož objem byl vypočten analyticky z oměrných dělek předem.

Oba softwary, ve kterých byly vytvořeny virtuální 3D modely zájmového objektu, disponují funkcí výpočtu objemu modelů, jejichž výsledky spolu s analytickým výpočtem objemu komolého jehlanu a výpočtem objemu ze surového mračna bodů získaného při skenování jsou uvedeny v tabulce níže. Porovnávané modely byly složeny z řádově $4 \cdot 10^5$ bodů pro model z laserového skenování, resp. z řádově $5 \cdot 10^5$ bodů pro model z neměřické kamery. Počet těchto bodů, ze kterých jsou modely vytvořeny a na jejichž podkladě byl vypočten a porovnán jejich objem, si řádově odpovídá a lze je tímto způsobem porovnat.⁵

nižší přesností výsledného 3D modelu a požadovanými nároky na výpočetní techniku, s čímž souvisí delší doba zpracování. V našem případě měl použitý hardware následující parametry – 1.8 GHz CPU, 2 GB GPU, 6 GB RAM a proces zpracování 86 pořizovaných snímků trval přibližně 4 hodiny.

Tato finančně nenáročná metoda má v poslední době široké uplatnění i v oblasti správy, péče a prezentace kulturní památky, například trojrozměrný model sousoší Spejbla a Hurvínka v Plzni, získaný za použití tří různých mobilních aplikací či technologií – Google Tango, Matterport Scenes a Open Constructor, replika hlavy Davida od Michelangela) nebo rozličné 3D modely kulturně historických předmětů od modelů drobných pečeti, přes modely hodin, šatů, soch až po modely koňských povozů⁶.

Co se týče statického pozemního laserového skenování, jeho výhodou je nepochybně přesnost pořizovaných dat pořizovaných na relativně velkou vzdálenost, protože laserový paprsek má dosah až 1000 m. Nevýhodou

Výsledné porovnání na základě objemu

	Zvolená metoda výpočtu objemu			
	Analytický výpočet	Laserové skenování		SfM neměřickou kamerou
		Mračno bodů	3D model Meshlab	3D model AgisoftPhotoScanMetashape
Objem [m ³]	0,08750	0,08763	0,08664	0,08650
Absolutní odchylka od analyticky vypočteného objemu [m ³]	0	0,00013	0,00086	0,00100
Relativní odchylka od analyticky vypočteného objemu [%]	0	0,15	- 0,98	- 1,14

Pro účely porovnávání jednotlivých objemů byl za referenční zvolen analytický výpočet (viz. výše popsaná metoda výpočtu). Z výše uvedené tabulky je patrné, že analytický výpočet je velmi blízký objemu z laserového měření spočtenému přímo v přístroji. Odchylka objemu získaného ze SfM v SW Metashape je o řád horší: 0,001 m³.

DISKUSE

V případě pořízení dat mobilním telefonem za využití metody SfM a zpracováním snímků v programu Agisoft Metashape se na základě zjištěných povrchových odchylek mezi takto vytvořeným výsledným 3D modelem a čistým mračnem bodů domníváme, že procentuální odchylka 1,14 % (0,001 m³) od analyticky vypočteného objemu byla způsobena tím, že modelovaný předmět neměl v některých místech příliš bohatou texturu a svoji roli jistě sehrála i kvalita kamery a distorze objektivu. Porovnáním objemu ze SfM s objemem z laserového skenování určeného přístrojem nám vychází, že objem určený metodou SfM je o řád méně přesný.

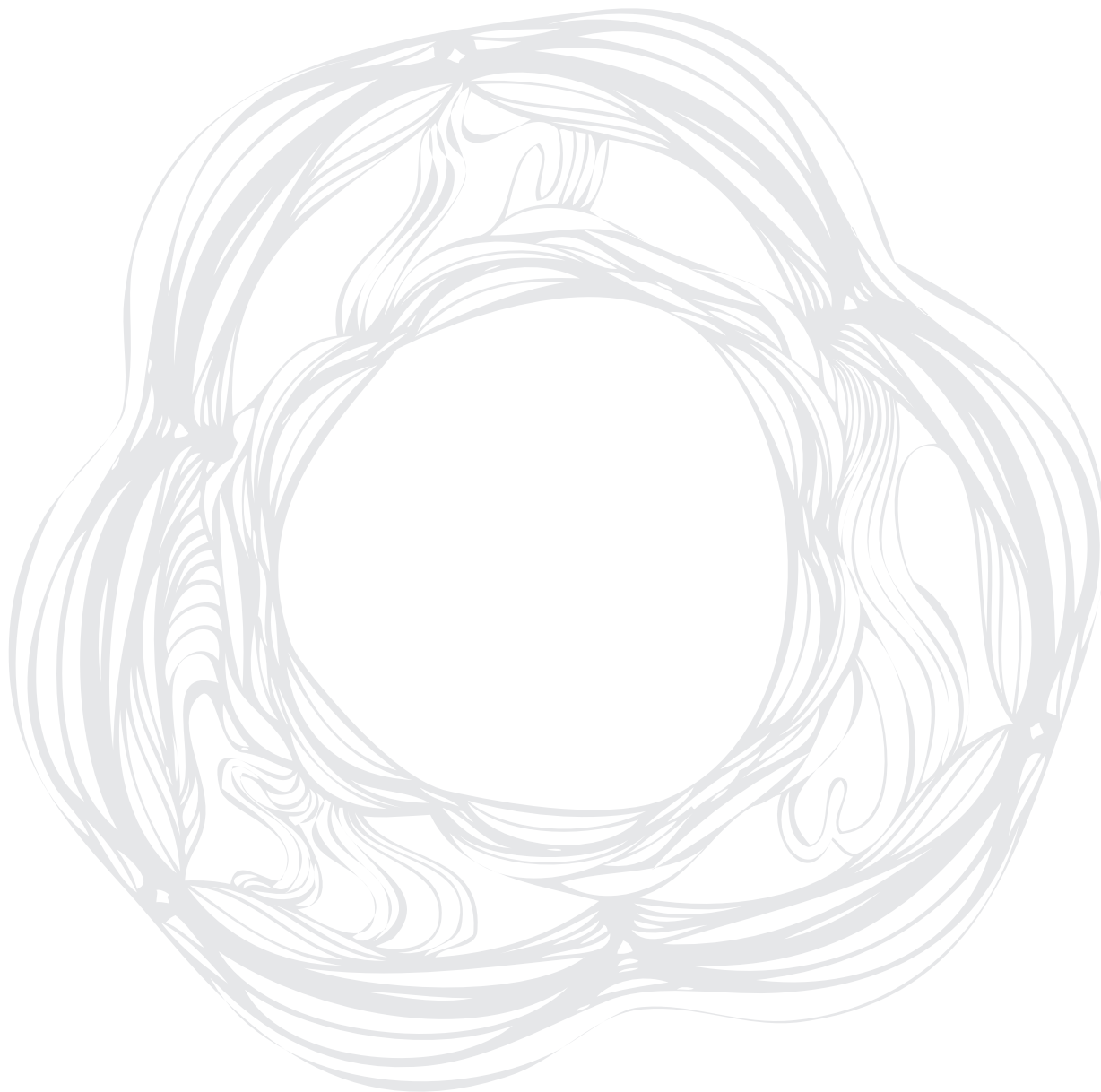
Na druhou stranu, výhodou techniky sběru dat neměřickou kamerou za využití technologie SfM, je bezpochyby cenová dostupnost, rychlost sběru dat, automatizovanost a jednoduchost ve zpracování pořizovaných snímků. Navíc umožňuje pořídit snímky i drobných movitých objektů, protože s kamerou lze pořídit snímky z malé vzdálenosti. Další výhodou je vysoce realistický vzhled 3D modelu, neboť výsledná textura je přejímána z pořizovaných snímků, a to za předpokladu vhodné textury povrchu, protože ne všechny objekty ji mají, např. sádrové busty, skleněné či kovové předměty apod. To může být na druhou stranu vykoupeno potenciálně

této techniky sběru dat oproti snímkování neměřickou kamerou za využití metody SfM je v první řadě cena laserového skeneru, nutná jistá míra erudovanosti měřiče a také fakt, že není vhodná pro skenování příliš blízkých či drobných předmětů, protože minimální vzdálenost přístroje od skenovaného objektu je 1,5 m. Takováto minimální vzdálenost může navíc skýtat problém při potřebě skenování v malých prostorách. Dále v případě rekonstrukce 3D tvaru příliš členitých nebo bohatě texturovaných movitých předmětů nelze shledat vizuální kvalitu výsledného 3D modelu, vytvořeného na základě dat získaných pouze laserovým skenováním, jako dostačující. To je způsobeno tím, že je barva textury výsledného 3D modelu přejímána z pořizovaného mračna bodů a následně je přiřazována jednotlivým polygonům tvořící povrch modelu, což může vést k vizuální nejednoznačnosti povrchu modelu. Dále na rozdíl od metody SfM není laserové skenování vhodné pro drobné movité objekty, u kterých by potenciální počet nasnímaných bodů z minimální vzdálenosti přístroje od objektu byl příliš nízký pro získání reprezentativního 3D modelu zájmového objektu.

Z výše zmíněných nevýhod laserového skenování proto vyplývají případy, ve kterých by bylo možné nahradit laserové skenování technikou sběru dat běžně dostupným hardware za využití metody SfM. To znamená v případech, kdy z důvodu malých prostor, ve kterých se nachází předmět sběru dat, není možné dodržet minimální vzdálenost laserového skeneru od skenovaného objektu 1,5m. Dále pak v případech, kdy není možné použít laserový skener z důvodu možnosti poškození předmětu laserovým paprskem, a nakonec také v případech, kdy požadujeme výbornou vizuální kvalitu výsledného 3D modelu.

⁵ Detailnost výsledného modelu záleží především na zvolené přesnosti měření a kvalitě výsledného produktu především z pohledu počtu bodů, resp. finálně trojúhelníků reprezentující objekt. Je vhodné mít po celou dobu měření stále fyzikální podmínky a dodržovat určitá geometrická pravidla.

⁶ Detailní fotogrammetrické 3D modely kulturně historických předmětů a přírodních zajímavostí, AFORTI IT s.r.o. 3D Johny, <http://www.3dsbirky.cz/>



LITERATURA

- Anonym (2013). *Leica Nova Series, Technical Reference Manual, Heerbrugg* [cit. 16-04-2016]. Dostupné z: <http://www.fltgeosystems.com/uploads/tips/documents/151-1400698848.pdf>
- Anonym (2016). *AgisoftPhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2* [cit. 15-01-2016]. Dostupné z: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf
- Bezděk, L. et al. (2011). *Metodika pro elektronický pasport zpřístupněné památky*. Praha: Národní památkový ústav.
- Břejcha, M. et al. (2015). *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*. Ústí nad Labem: Národní památkový ústav.
- Hrádková, L. (2009). *Studie možností sběru a zpracování podrobných 3D dat pro účely památkové péče*. Diplomová práce. Katedra matematiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni.
- Chiabrando, F., Donadio, E. & Rinaudo, F. (2015). SfM for Orthophoto to Generation: A Winning Approach for Cultural Heritage Knowledge. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(5), 91–98.
- Kubíčková, H. & Jedlička, K. (2016). *Rekonstrukce 3D tvaru movitého předmětu zvolenou technikou*. Bakalářská práce. Katedra matematiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni.
- Nesvadbíková, J., Vinter, V. & Wirth, Z. (1983). *K vývoji památkové péče na území Československa. 1. svazek. Přehled právních dokumentů a nástin vývoje 1749–1958*. Praha: SPN.
- Remondino, F. & Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics* 2(3), 85–100.
- Stylianidis, E. & Remondino, F. (2016). *3D recording, documentation and management of cultural heritage*. Caithness, Scotland: Whittles Publishing.