

OBRAZOVÉ SKENOVANIE PRI DOKUMENTÁCII TVAROVO ZLOŽITÝCH OBJEKTOV

IMAGE SCANNING FOR DOCUMENTATION OF COMPLICATED SHAPED OBJECTS

Marek Fraštia¹, Ondrej Trhan², Marián Marčiš³

Abstrakt:

Pri dokumentácii pamiatkových objektov sa môžeme stretnúť s tvarmi a priestorovým rozložením náročnými na zameranie. Takýmito objektami sú napr. točené schodiská a krovky, kde často ich tvar, veľkosť a prostredie komplikuje situáciu terestrickému geodetickému meraniu alebo laserovému skenovaniu. V príspevku sú prezentované možnosti využitia obrazového (fotogrametrického) skenovania takýchto objektov, pričom sú zhodnotené výhody a nedostatky oproti iným meračským technológiám.

Abstract:

For documentation of historical objects we can meet with shapes and spatial distribution, which are difficult to measure. Such objects are, for example, twisted stairs and roofs, where often their shape, size and background complicates the situation to terrestrial geodetic measurement or to laser scanning. In this paper are represented the possibilities of using image (photogrammetric) scanning of these objects. The benefits and weaknesses are compared to other measure technologies.

1. Úvod

Digitálna fotogrametria nachádza uplatnenie pri dokumentácii historických kultúrnych objektov veľmi často. Medzi hlavné výhody tejto metódy patrí najmä znížená náročnosť terénnych prác, dosiahnuteľná presnosť, ktorá spĺňa požiadavky pre bežné architektonické aplikácie, a pridaná hodnota vo forme texturálnych informácií s vysokým rozlíšením. Tieto informácie sa nachádzajú v ortosnímках a slúžia ako dopĺňujúca informácia o stave povrchu objektu a sú ideálnym podkladom pre vektorizáciu a tvorbu 2D výkresov.

Uvedený príspevok pojednáva o využiteľnosti aktuálnych metód blízkej fotogrametrie v špecifikovaných prípadoch, akými sú stiesnené priestory, neprehľadné drevené krovky, vyvýšené strešné prvky a pod.

1.1 Zvonica na Zvonovom vršku v Banskej Štiavnici

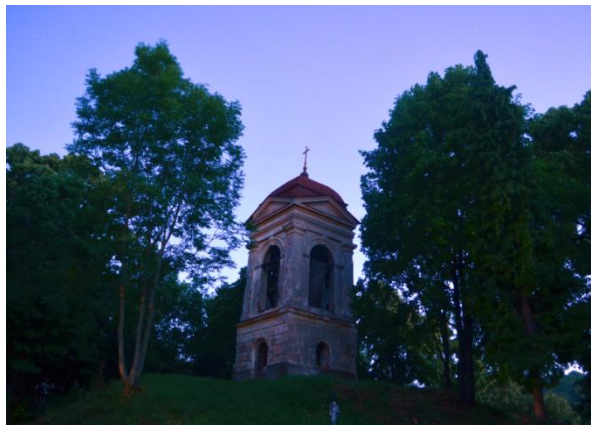
Zvonový vršek je označenie areálu troch cintorínov v Banskej Štiavnici, ktoré je v posledných rokoch snaha revitalizovať. V rámci tejto obnovy je potrebná aj rekonštrukcia dvoch zvoníc. V jednej

¹ Ing. Marek Fraštia, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421-2-59274398, e-mail: marek.frastia@stuba.sk

² Ing. Ondrej Trhan, Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421-2-59274427, e-mail: ondrej.trhan@stuba.sk

³ Ing. Marián Marčiš, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421-2-59274398, e-mail: marian.marcis@stuba.sk

z nich prebývali tuláci, vďaka čomu aj vyhorela a bol poškodený drevený krov. Výsledkom revitalizácie by mali byť aj upravené chodníky, ktoré budú dopĺňať súčasnú historickú atmosféru Banskej Štiavnice.



Obr. 1 Zvonica na Zvonovom vršku

Zvonica je pomerne komplikovaným objektom pre geodetické a fotogrametrické zameranie, pretože pre účely rekonštrukcie bolo potrebné vyhotoviť komplexnú dokumentáciu nielen exteriéru, ale aj interiéru, kde sa nachádza aj spomínaný krov. Pre výhody, ktoré v sebe zahŕňa technológia obrazového skenovania, bola napokon pre účely zamerania vybraná metóda digitálnej fotogrametrie doplnená o geodetické zameranie vŕškových bodov.

1.2 Kostol sv. Kataríny v Banskej Štiavnici

V súčasnosti sa vykonáva aj tvorba dokumentácie pre Kostol sv. Kataríny v Banskej Štiavnici. V našom prípade ide o dokumentáciu točitého schodiska severného portálu kostola. Keďže išlo o stiesnené priestory, bola pre snímkovanie použitá kamera s veľmi krátkou ohniskovou vzdialenosťou a pre fotogrametrické spracovanie metóda obrazového skenovania.

Točité schodisko sa nachádza na severnej strane kostola a je súčasťou stavby už od jej začiatkov. Pomocou neho sa dá dostať na chór a na krov kostola. Vo veži je umiestnený malý zvon [1].



Obr. 2 Kostol sv. Kataríny – severný portál

2. Obrazové skenovanie

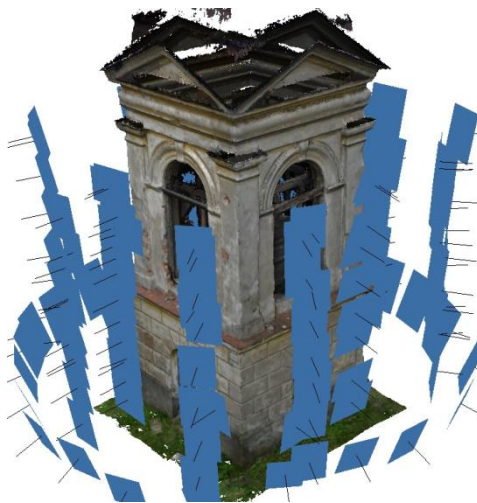
Obrazové skenovanie využíva princípy počítačového videnia (*computer vision*) a umožňuje plne automatickú rekonštrukciu štruktúry scény a objektov v nej na základe zmeny polohy kamery v priestore [2]. Najlepšie výsledky sú pritom dosahované pri prirodzených povrchoch, keďže objekt by mal disponovať nepravidelnou náhodnou textúrou. Obrazové skenovanie vyžaduje špecifický spôsob zberu obrazových informácií o objekte - konfigurácia snímkovania podlieha základnej podmienke zabezpečiť čo najlepší prekryt medzi susednými snímkami, súčasne však nie je vhodné vyhotovovať snímky príliš blízko vedľa seba, pretože sa tým znižuje presnosť vyhodnotených bodov v smere osi záberu. Kompromisom je voľba vhodného základnicového pomeru $b:y$ (pomer medzi vzdialenosťou b susedných snímok a vzdialenosťou y kamier od objektu), pričom z praktických aplikácií a rozsiahleho testovania vyplýva, že základnicový pomer by sa mal pre dosiahnutie kvalitných výsledkov blížiť k hodnote 0,25, teda 1:4 [3]. Vyhotovené snímky potom tvoria tzv. snímkové pásy, pričom pre bežné uzatvorené objekty, ktoré je možné snímkovať dookola, je potrebné vyhotoviť približne 25-30 snímok. Tento základný snímkový pás okolo objektu je vhodné podľa aktuálnej situácie a komplikovanosti objektu dopĺňať ďalšími snímkovými pásmi, ktoré umožnia prepojenie obvodovej časti objektu so strešnou časťou, resp. inými oblasťami, ktoré v základnom páse nie sú viditeľné.

V súčasnosti je k dispozícii viacero profesionálnych softvérových riešení, ktoré umožňujú plne automatizované spracovanie snímok do podoby 3D modelov. V rámci tohto príspevku bol využitý systém PhotoScan Professional od ruskej firmy Agisoft, ktorý dosahuje kvalitné výsledky nie len pri spracovaní snímok blízkej fotogrametrie, ale aj snímok leteckých. Presnosť spracovania sa pritom pohybuje v rozsahu 0,5-3 pixely v smere osi záberu, v závislosti od členitosti povrchu a typu textúry. A práve povrchová textúra je pritom najdôležitejším argumentom, ktorý radí historické objekty medzi ideálne predmety automatizovaného merania metódami digitálnej fotogrametrie [4].

3. Snímkovanie

Nakoľko išlo o špecifické objekty, museli byť použité aj špeciálne spôsoby snímkovania.

Zvonica bola obkolesená stromami, preto bolo nutné snímkovanie z veľmi krátkych predmetových vzdialeností. Z tohto dôvodu bol použitý objektív s krátkou ohniskovou vzdialenosťou. Na snímkovanie bola použitá digitálna zrkadlovka Nikon D5100 spolu s objektívom Tamron 10-24 mm, ktorý bol nastavený na 10mm ohniskovú vzdialenosť. Veľký obrazový uhol umožnil obsiahnutie celej šírky zvonice a zabezpečil dostatočný prekryt medzi susednými snímkami. Pre výšku zvonice (11,5 m bez kríža) bolo potrebné použiť aj teleskopický výsuvný statív a intervalové snímkovanie. Statív bol však vysoký iba 7 metrov a tak sa na snímky nedostala celá kupola strechy.



Obr. 3 Konfigurácia snímkovania exteriéru

Strešná konštrukcia sa napokon dosnímkovala z väčších vzdialeností s teleobjektívom Tamron 18-270 mm (obr. 4).



Obr. 4 Strecha zvonice na snímke s 270 mm ohniskovou vzdialenosťou (vľavo) a konfigurácia jej snímkovania (vpravo)

Snímkovanie v interiéri bolo vykonané s ohľadom na zachytenie všetkých vnútorných stien prízemnej časti stavby a pre ich napojenie na drevenú konštrukciu krovu. Opäť bol použitý 7 metrový výsuvný statív, pričom bol postupne vysúvaný nahor v pravidelných intervaloch. Vďaka teleskopickému statívu bolo možné zosnímkovať aj stropnú časť strešnej konštrukcie.



Obr. 5 Širokohlá snímka poškodeného krovu (vľavo) a konfigurácia snímkovania interiéru zvonice pomedzi trámy (vpravo)

Špecifické časti objektu spomenuté vyššie bolo možné spracovať ako samostatné sety snímok, avšak pre účely dokumentácie ich bolo potrebné prepojiť s celkom. Z tohto dôvodu boli vyhotovené doplnujúce snímky na prepojenie interiéru s exteriérom. Tomuto účelu slúžili najmä okná a vchod.



Obr. 6 Snímky pre prepojenie interiéru s exteriérom

V prípade veže tiež nastali nezvyčajné podmienky. V prvom rade je schodisko točité, v druhom ide o stiesnené priestory, čo predstavuje krátke obrazové vzdialenosti. Dôležité bolo nasnímkovanie vstupu do veže, jednotlivých úrovní a vrcholu schodiska. Zároveň sa snímkovalo celé schodisko s ohľadom na konštrukčné detaily, ako sú okná alebo rôzne výstupky.

Snímkovalo sa viacerými kamerami, a to Nikon Coolpix P510, Nikon D200 a Sony NEX7. Pre obmedzený priestor sa snímkovalo z ruky. Keďže išlo o obmedzený priestor, pre zabezpečenie dôkladného prekrytu snímok bolo celkovo vyhotovených vyše 1000 snímok.



Obr. 7 Detail rozloženia snímok na schodisku (vľavo), snímka schodiska (vpravo)

4. Geodetické meranie

Súčasťou každého fotogrametrického merania musí byť aj meranie vličovacích bodov, resp. minimálne definícia mierky fotogrametrického modelu. Geodetické meranie vličovacích bodov umožňuje nielen definíciu mierky, ale aj jeho orientácie v rámci súradnicového systému a kontrolu geometrie modelu prostredníctvom kontrolných bodov.

Pre meranie VB zvonice na cintoríne bola použitá univerzálna meracia stanica Trimble VX, ktorá vďaka zabudovanej kamere umožňuje každý meraný bod odfotiť a tak odpadá potreba prácneho vyhotovovania náčrtov. Ako VB tak slúžili prirodzene signalizované body na stenách objektu (rohy a pod.) merané v bezhranolovom móde s presnosťou $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ z jedného stanoviska.

VB pre točité schodisko boli vyberané z mračien bodov získaných technológiou terestrického laserového skenovania prístrojom Riegl VZ-400 (presnosť merania bodov v mračne 5 mm).



Obr. 8 Trimble VX (vľavo) a Riegl VZ-400 (vpravo)

5. Fotogrametrické spracovanie a tvorba dokumentácie

Spracovanie sa vykonalo v systéme PhotoScan a prebiehalo po samostatných blokoch, ktoré boli na základe spojovacích bodov zlúčené do jedného celku v spoločnom súradnicovom systéme. Spojovacie body boli vyhľadané automaticky na základe dostatočných prekrytov prepojavacích snímok medzi jednotlivými blokmi, alebo merané manuálne a priradované v rámci identických bodov.

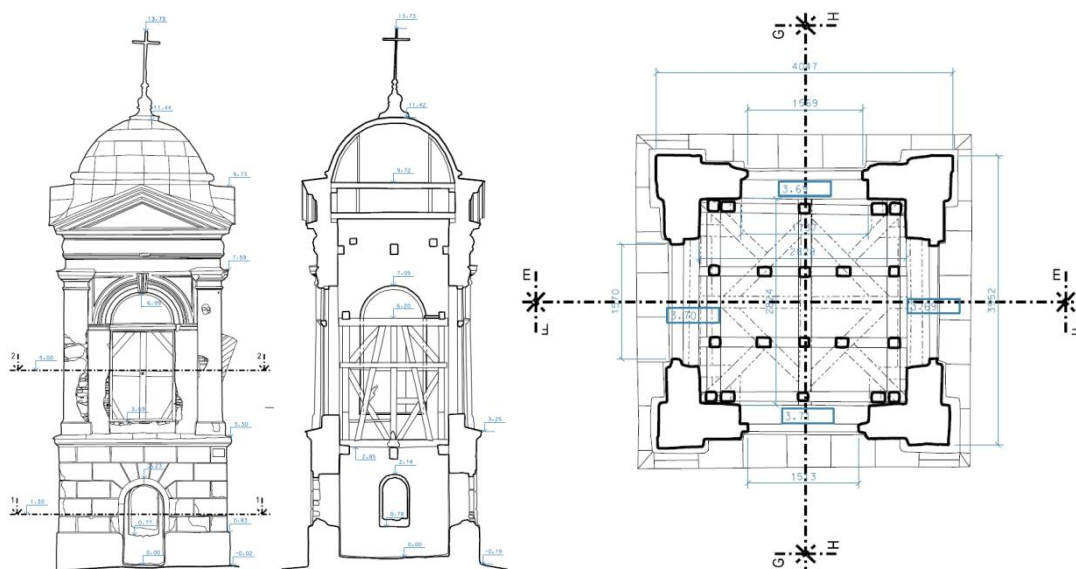
Pre transformáciu do lokálneho súradnicového systému boli použité VB zamerané prístrojom Trimble VX, pričom kvadratický priemer všetkých reziduí na VB dosahoval 0,010 m, čo je postačujúca presnosť pre väčšinu architektonických aplikácií. Kvadratický priemer reziduí na VB vo veži dosahoval maximálne hodnoty 0,010 m.

Fotogrametrické spracovanie objektov trvalo asi jeden deň (každý samostatne). Táto doba však závisí na parametroch počítača, na ktorom sa projekt spracováva.

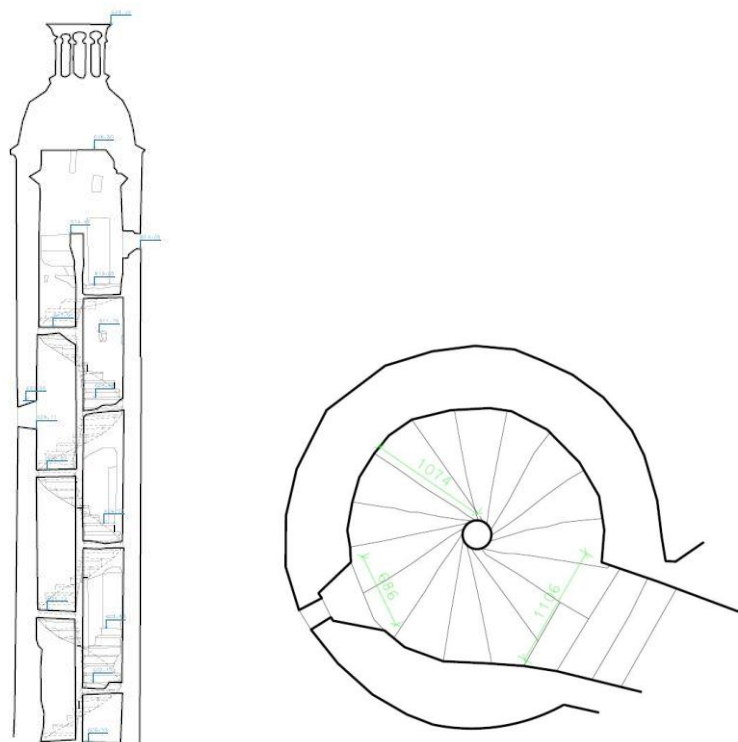
Výsledkom spracovania boli georeferencované ortosnímky, ktoré slúžili ako podklad pre tvorbu 2D výkresov. V rámci dokumentácie boli pre zvonice vyhotovené pohľady zo štyroch strán, vertikálne rezy zo štyroch strán a 2 horizontálne rezy na požadovaných výškových úrovniach. Pre vežu boli vyhotovené 4 vertikálne rezy v rôznych pohľadoch a 4 horizontálne rezy na úrovni významných architektonických prvkov (prízemie, vstup na chór, vstup na krov). Tieto vstupy boli aj samostatne zdokumentované.



Obr. 9 Rozloženie vlčovacích a spojovacích bodov



Obr. 10 Výkresy predného pohľadu (vľavo), vertikálneho rezopohľadu (v strede) a horizontálneho rezopohľadu vo výške 5 m (vpravo)



Obr. 11 Výkresy vertikálneho rezopohľadu (vľavo) a horizontálneho rezopohľadu (vpravo)

6. Závěry a odporúčania

Uvedený príspevok prezentuje možnosti využitia aktuálnej technológie obrazového skenovania pri dokumentácii komplikovane dostupných pamiatkových objektov. Hlavnou výhodou tejto metódy bol predovšetkým krátky čas strávený v teréne, čo pri vhodne zvolenej logistike umožňuje vykonať zameranie aj rozsiahlejších a komplikovanejších objektov v priebehu jedného dňa. Pri dostatočnej hustote snímok je potom možné akýkoľvek konštrukčný problém vyriešiť priamo v kancelárii a nie je potrebný ďalší výjazd do terénu kvôli chýbajúcim dátam. S neustále sa vyvíjajúcou výpočtovou technikou sa skracuje aj čas potrebný pre výpočty s veľkým množstvom snímok a tak je možné prostredníctvom hustého snímkovania vymodelovať aj komplikované objekty ako sú napr. historické krovky alebo točité schodiská. Pri vhodne zvolenej konfigurácii snímkovania so zabezpečením dostatočného prekrytu a predovšetkým vhodných uhlov prieseku určujúcich lúčov je pritom možné využiť aj objektívy s krajnými ohniskovými vzdialenosťami, akými sú širokohľadákové objektívy a teleobjektívy a fotogrametricky zamerať aj objekty vo veľmi krátkych alebo veľmi dlhých predmetových vzdialenostiach pri zachovaní požadovaného GSD (*ground sample distance* - veľkosť pixela v predmetovej vzdialenosti). Pri využití UAV technológií je však možné skvalitniť aj výsledky snímkovania takých častí konštrukcie, ktoré sú zo zeme nedostupné, a tak sa digitálna fotogrametria stáva skutočne efektívnym a univerzálnym nástrojom pre dokumentáciu pamiatkových objektov so zložitými stavebnými štruktúrami.

Literatúra:

- [1] BABIAK, M.: *Kostol sv. Kataríny v Banskej Štiavnici*. [online] 2014. Dostupné z <<http://www.farar.inky.sk/Stabile/KostolSvKatariny.htm>>
- [2] CIPOLLA, R.: *Structure from motion*. [online] 2008. Dostupné z <<http://mi.eng.cam.ac.uk/~cipolla/publications/contributionToEditedBook/2008-SFM-chapters.pdf>>

- [3] MARČIŠ, M.: *Ochrana a obnova kultúrneho dedičstva metódami digitálnej fotogrametrie*, Dizertačná práca, Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, vedúci práce: prof. Ing. Štefan Sokol, PhD., obhájená: august 2013
- [4] PAVELKA, K., ŘEZNÍČEK, J.: *New Low-cost Automated Processing of Digital Photos for Documenation and Visualisation of the Cultural Heritage*. *Geoinformatics* [online]. 2011, vol. 6, no. 6, p. 245-258. Available from <<http://www.geoinformatics.fsv.cvut.cz>>. ISSN 1802-2669.