

Bezkontaktné zameranie a dokumentácia kampanologických artefaktov umeleckohistorickej expozície Východoslovenského múzea

Katarína Pukanská¹

No-contact measurement and dokumentation of bellfoundry artifacts artistic and historical exposition East Slovak museum

East Slovak museum (VSM) have collection sacral bells, which were obtained with systematical work of any century. Campanologers and founders of bells experts catalogizing and dokumenting bells of whole Slovakia. No-contact measurement is tool for land surveyors which give special possibilities for obtained of quality informations about fashion of bells, course of profiles from bells ribs. Then make possible perform cuts and provide complet three-dimensional informations which will archived. Article describes modeling fashion of Gothic bell Skrabské with laser scan technology and comparing created model with model which was created from BLIZKEJ digital photogrametry.

Key words: No-contact measurement, bell, fashion of bells, bells ribs, three-dimensional informations

Úvod

Východoslovenské múzeum disponuje početnými umeleckými a umelecko-remeselnými zbierkami, ktorých významnou súčasťou sa postupne stávala aj jedna z jej najmladších kolekcii - kolekcia zvonov. V priebehu času sa vytvárala z darov, deponátov, zvony boli neskôr získavané systematickou zbierkovou činnosťou, kúpou od súkromníkov, cirkví a iných inštitúcií. V rámci katalogizácie zvonov boli zaznamenané údaje o ich pôvode, autorovi, roku odliatia, váha, výška, dolný priemer venca a pod.

Súčasná technologická možnosť umožňuje tieto jedinečné pamiatky, ktoré prežili stáročia, hlbšie skúmať. Jednak po stránke materiálnej, ale aj po stránke tvaru samotného telesa. Ide o jedinečné informácie, ktoré majú veľký historický význam. Na území Slovenska totiž pôsobilo niekoľko významných zvonolejarských dielní, ktoré zanechali množstvo umelecko-remeselných artefaktov – zvony, kovové brány, umelecké kovania. Práve tvar zvona a profil zvonového rebra s tóninou ladenia sú charakteristickými prvkami jednotlivých dielní, ktoré sú predmetom historického skúmania.

Príspevok oboznamuje o dosiahnutých výsledkoch zamerania oboma technológiami, poukazuje na technologický postup spracovania nameraných dát oboma technológiami, porovnáva a hodnotí ich kombinované využitie pri dokumentácii historických pamiatok a efektívnosť v procese spracovania dát. Získané dáta boli fotogrametricky zamerané kamerou Nikon D200 a softvérové spracované v programe Photomodeler 6. Pri laserovom skenovaní sme využili prístroj Callidus CP 3200, softvérové spracovanie mračna bodov bolo vykonané v softvéri Raindrop Geomagic Studio 9 a 3D Studio Max 9. Jednotlivé skeny boli pospájané na základe zamerania polohy skenera univerzálnou meračskou stanicou Topcon GPT 3000.

Objekty zamerania

V rámci riešenia projektu Dokumentácia a modelovanie artefaktov zvonolejárstva metódou laserového skenovania a digitálnej fotogrametrie sme sa zamerali na dva najvýznamnejšie gotické zvony v kolekcii zvonov Východoslovenského múzea. Jedným z nich je zvon, ktorý pochádza z obce Skrabské, a bol uliaty veľmi pravdepodobne okolo roku 1400 v tzv. Gaalovskej zvonolejarskej dielni v Spišskej Novej Vsi. Jeho dolný priemer je 780 mm, výška 600 mm a váha 286 kg. Má šesťramennú profilovanú korunu. Na zvone je v hornej nápisovej páske nápis v gotickej minuskule.

V prípade predpokladaného autorstva zvona ide o našu najvýznamnejšiu a najstaršiu zastúpenú zvonolejársku dielňu, pomenovanú podľa svojho zakladateľa – majstra Konráda (Gaala). Práve zachované artefakty z jej tvorivého okruhu v podobe historických zvonov a krstiteľníc predstavujú a reprezentujú významnú súčasť aj stredoeurópskeho kultúrneho dedičstva.

¹ Ing. Katarína Pukanská, ÚGKaGIS, Park Komenského 19, FBERG TU Košice, 042 00 Košice, Katarina.Pukanska@tuke.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 11. 2008)



Obr. 1. Zvon Skrabské.
Fig. 1. Bell Skrabské.



Obr. 2. Zvon Nižné Lapše.
Fig. 2. Bell Nižné Lapše.

Blízka digitálna fotogrametria

Zber dát

Metódou blízkej digitálnej fotogrametrie bol v roku 2007 na jeseň zameraný zvon z obce Skrabské. Pre účel určenia jeho priestorového tvaru zvona bolo na vonkajšej strane signalizovaných cca 800 bodov v 22 profiloch a na vnútornej cca 700 bodov, spolu cca 1500 bodov. Body boli signalizované čiernymi kruhovými terčmi o priemere 1 cm.

Ako metóda merania bola zvolená blízka digitálna fotogrametria. Použitá metóda snímkovania - konvergentné snímkovanie so všeobecnou orientáciou osí záberu. Geometria stanovísk snímkovania bola volená podľa zásad vyhodnotenia konvergentných snímok [2]. Rozmiestnenie stanovísk snímkovania dokumentuje obr. 3.

Tab. 1. Parametre kamery Nikon D200.

Tab. 1. Parameters of camera.

Nikon D200			
počet pixelov	10 200 000	formát snímok	TIFF
veľkosť CCD senzora	23.6 x 15.8 mm ²	rozlíšenie	3872 x 2592
konštanta snímky (f)	20.5 mm	mierkové číslo snímok	500 -2500
veľkosť pixelu	6.09 μm	objektív	Nikon AF 2.8D
citlivosť	100 ISO		



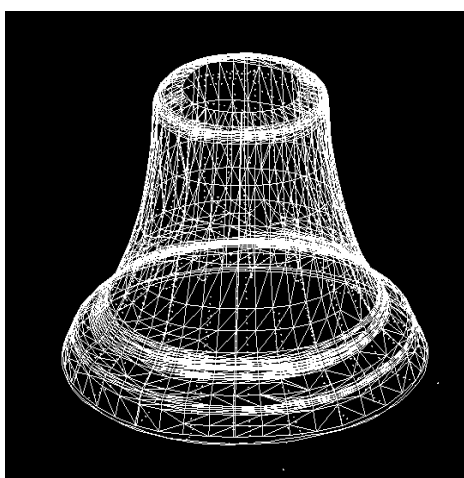
Obr. 3. Rozmiestnenie stanovísk snímkovania.
Fig. 3. Geometry of camera stations.

Spracovanie dát

Snímky boli fotogrametricky spracované a vyhodnotené v prostredí fotogrametrického meračského softvéru Photomodeler. Snímkové body boli merané buď manuálne, alebo ak to bolo možné, tak automaticky. Apriórne hodnoty presnosti merania (váhy) snímkových súradníc boli 1 pix. pre manuálne meranie a 0.2 pix. pre automatické meranie. Pozorovaným bodom bolo vždy ťažisko kruhového terča alebo odrazovej fólie.

Pre určenie priestorového tvaru zvona bolo použitých 20 snímok. Takisto bol využitý softvérový modul pre automatickú identifikáciu identických bodov, čo značne usporilo čas a prácu spracovávateľa. Presnosť určenia pozorovaných bodov v referenčnom systéme sa pohybovala od 0.04 mm (automatické marenie) po 0.4 mm (manuálne meranie a ostrý uhol priereku). Maximálna oprava v snímkovej rovine nepresahovala 3.8 pix.

Po určení priestorovej polohy pozorovaných bodov boli vytvorené plochy nástrojmi softvéru Photomodeler. Plochy sú prezentované drôtovým modelom (obr. 4). Vytvorené plochy ďalej môžu byť textúrované originálnymi textúrami z pôvodných snímok, čím vzniká fotoreálny digitálny model (obr. 5) [1].



Obr. 4. Drôtový model zvona.
Fig. 4. Wireframe model of bell.

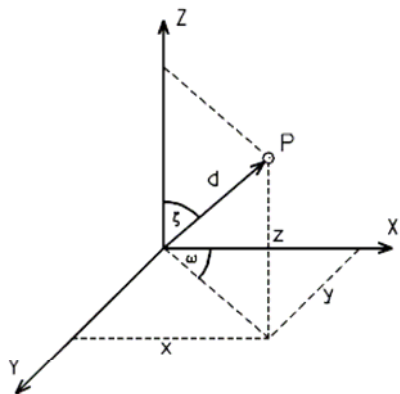


Obr. 5. 3D model zvona.
Fig. 5. 3D model of bell.

Laserové skenovanie

Zber dát

V tom istom termíne sa uskutočnilo zameranie objektu aj laserovým skenovaním. Prístroj Callidus CP 3200 (obr. 7 a 8, tab. 2) sme z piatich stanovísk zachytili priestorový tvar zvona tak, aby bolo zabezpečené dostatočné prekrytie jednotlivých skenov. Ide o plnopanoramatický laserový skener pracujúci na princípe priestorovej polárnej metódy (obr. 6) [3]. Impulzný diaľkomer je založený na meraní tranzitného času t , ktorý potrebuje elektromagnetický impulz na prechod dvojnásobku meranej dĺžky.



$$\begin{aligned}x &= d \cdot \cos(\omega) \cdot \sin(\zeta) \\y &= d \cdot \sin(\omega) \cdot \sin(\zeta) \\z &= d \cdot \cos(\zeta)\end{aligned}$$

Obr. 6. Princíp priestorovej polárnej metódy.
Fig. 6. Principle of space polar method.



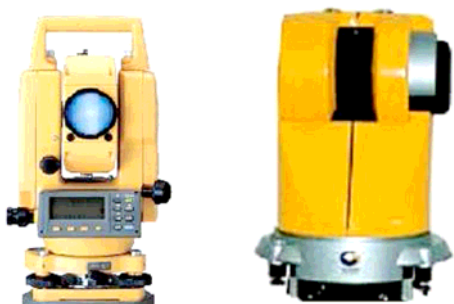
Obr. 7. Laserové skenovanie múzeálnych zvonov.
Fig. 7. Laserscanning of museum bells.

Spracovanie dát

Laserový skener automaticky určuje priestorové súradnice objektu. Preto je jednoduché vyhotoviť jeho 3D model z priamo meraného súboru bodov, tzv. mračna bodov. Meraným bodom je okrem nameraných súradníc priradená aj hodnota farebnej škály RGB. Hustota takto získaných bodov je však nízka a preto je nevýhodou, že nemôžeme získať farebné snímky objektu vo fotografickej kvalite. Technológiou laserového skenovania boli zamerané dva zvony depozitu múzea.

Parametre skenovania boli nastavené nasledovne:

Vzdialenosť skenera od objektu zvona: 1,5m
Krok skenovania: Horizontálne 0,125°
Vertikálne 0,25°
Zorné pole: Horizontálne 60°
Vertikálne 50°

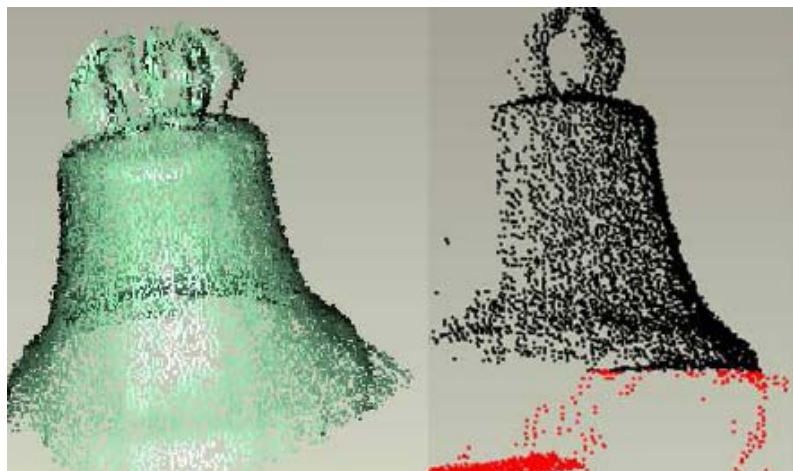


Obr. 8. Topcon GPT 3000 a CallidusCP3200.
Fig. 8. Topcon GPT 3000 and CallidusCP3200.

Technické parametre TLS Callidus CP 3200	
Presnosť jednotlivého bodu	
pozícia	5 mm
horizontálny uhol	0,005°
vertikálny uhol	0.009°
Presnosť modelovaného povrchu	2 mm
Dosah	0.3 - 32 m
Krok skenovania	
vertikálne	0,25°; 0,5°; 1°
horizontálne	0,0625°; 0,125°; 0,25°; 0,5°; 1°
Zorné pole	
vertikálne	40° - 180°
horizontálne	0° - 360°

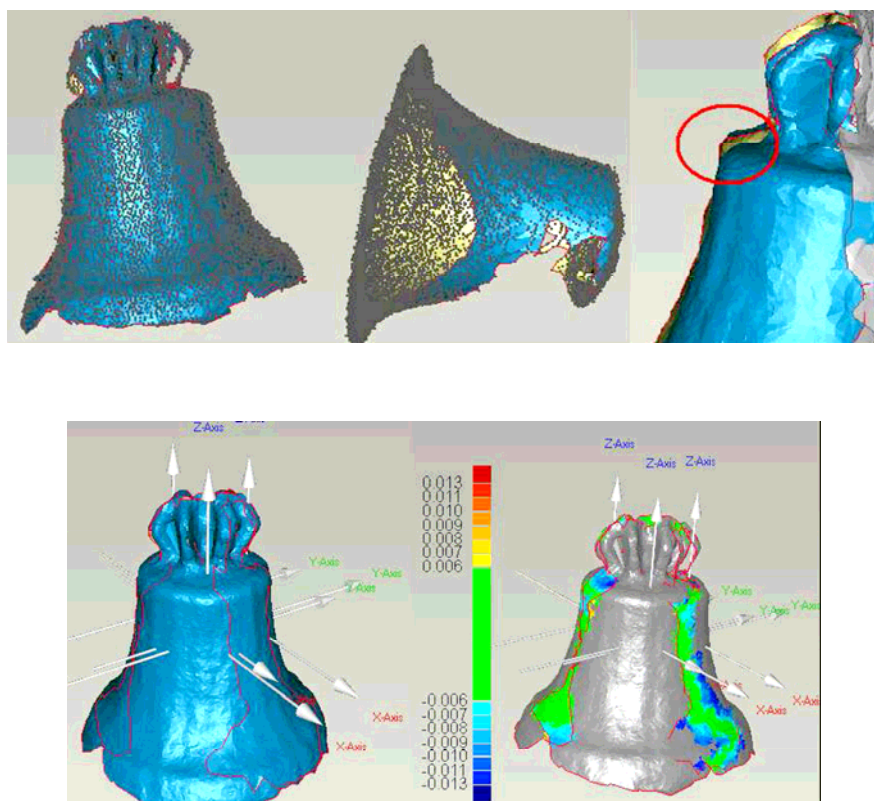
Tab. 2. Parametre prístroja Callidus CP 3200.
Tab. 2. Parameters of measuring accuracy instrument Callidus CP 3200.

Prvotné spracovanie súboru nameraných dát bolo nutné vykonať v softvéri Laser measuring software (LMS) a 3D Extractor, ktoré sú dodávané ako súčasť prístrojového vybavenia [4]. Pomocou nich boli dáta pospájané do jednotného súradnicového systému a exportované do formátu *.txt.



Obr. 9. Mračno bodov zvonu Skrabské.
Fig. 9. Point clouds of bell Skrabské.

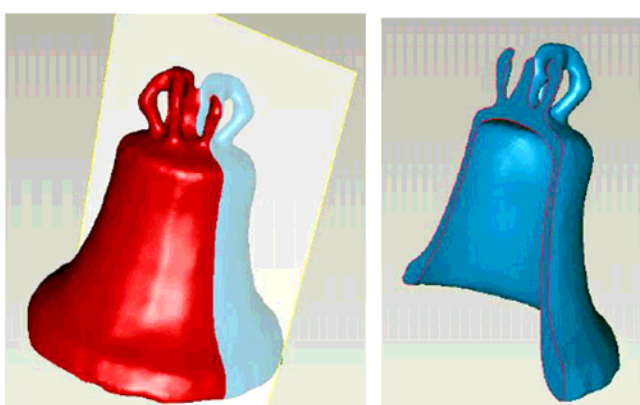
Namerané údaje sa v prvej fáze orezali o množstvo nepotrebných údajov. Vyselektovalo sa 82 769 bodov zvonu, ktoré postúpili do ďalšieho spracovania. Vzhľadom k tomu, že zvon bol postavený na podstavci, pre záznam vnútra zvonu bola zmenená jeho priestorová poloha, softvérovo sa následne tento sken pomocou funkcií manuálnej a globálnej transformácie (obr. 10) upravil tak, aby jeho skutočná poloha zodpovedala realite.



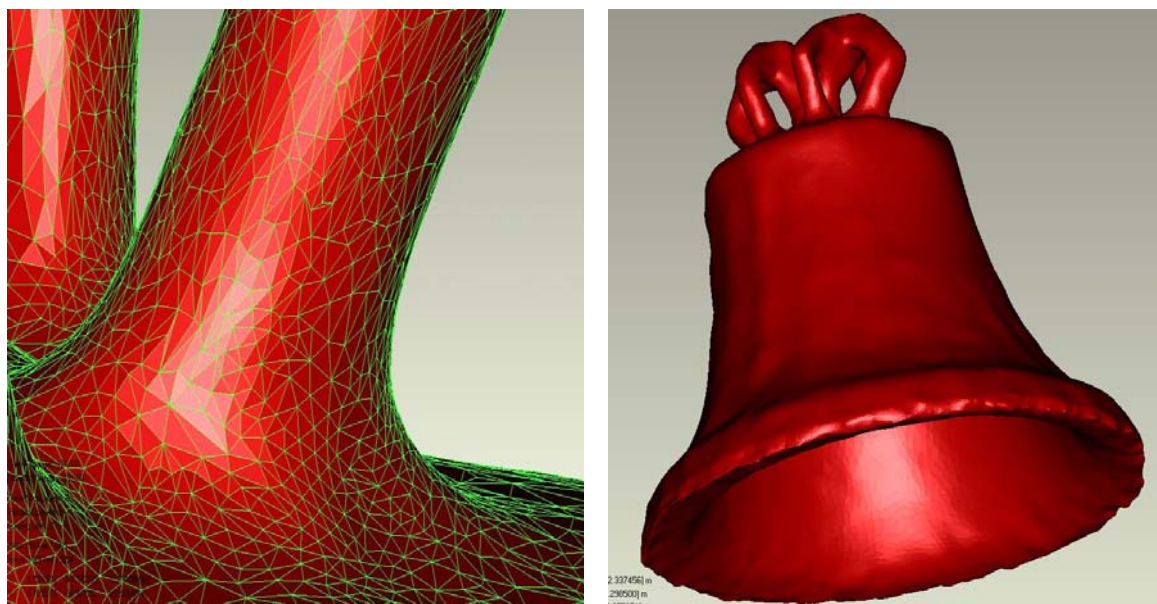
Obr. 10. Vytvorená sieť bodov, manuálne posúvanie a globálna registrácia.
Fig. 10. Mesh of points, manual moving and global registration.

Pre následné spracovanie nameraných dát bolo nutné využiť ďalšie nasledovné funkcie:

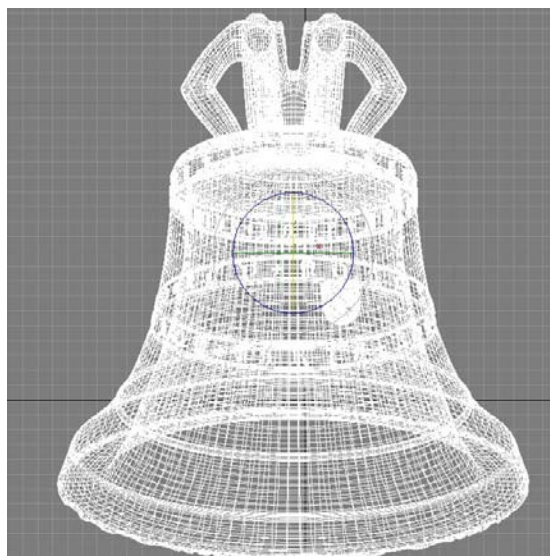
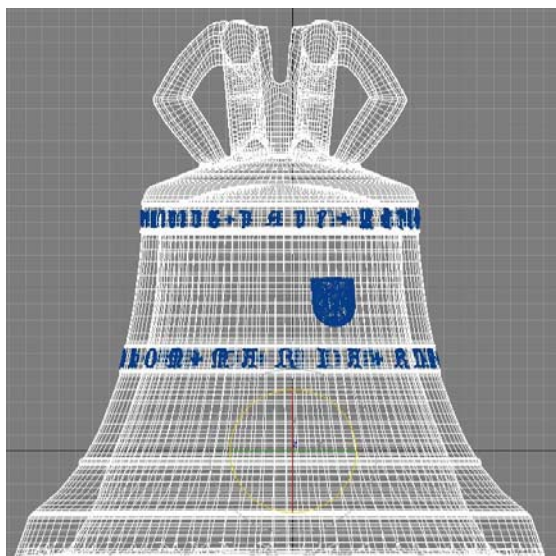
- *Delete polygons* -zmazanie trojuholníkovej siete, ktorá sa pri spájaní sietí znehodnotila.
- *Fill holes* -vyplňovanie dier alebo ich častí, vytváranie prepojení medzi plochami alebo odstránenie časti nerovností. V tomto kroku si môžeme zvoliť z niekoľkých možností pre odstránenie chýb: - Fill , Fill Partial, Create Bridges, CleanUp a Move.
- *Sand paper a Relax* - zarovnávanie nerovností, po nastavení intenzity môžeme zvoliť zrovnávanie celej siete alebo len po miestach, po ktorých prechádzam s kurzorom.
- *Refine* - Rozdeliť trojuholníkovú sieť, môžeme nastaviť delenie buď celej, alebo len vyznačených častí siete. Je vhodné na miestach, na ktorých pri modelovaní nie je možné v potrebnej miere dosiahnuť zaoblenie.
- *Decimate polygons* -Zjednodušenie siete, môžeme si nastaviť buď percentuálne zjednodušovanie, alebo zadáním počtu ponechaných trojuholníkov.
- *Defeature* -Odstránenie nerovností.
- *Create/Modify curves* - je ňou možné zarovnávať, vytvárať alebo inak upravovať hrany modelov. V tejto fáze môžeme generovať výstup modelov pre vkladanie do iných programov s rôznymi príponami.



Obr. 10. Vygenerovaná sieť a jej rezy.
Fig. 10. Generated mesh and cuts.



Obr. 11. Polygonálny model zvona.
Fig. 11. Polygonal model of bell.



Obr. 12. Drôtový model zvona.
Fig. 12. Wireframe model of bell.



Obr. 13. Textúrovaný výsledný model zvona.
Fig. 13. Texture final model of bell.

Záver

Záverom možno konštatovať, že obe použité technológie boli vhodné na získanie priestorového modelu zvona. Vzájomne sa dopĺňajú a výsledný efekt je takmer rovnaký. Z hľadiska presnosti však dosahuje model vyhotovený digitálnou fotogrametriou jednoznačne vyššiu presnosť modelovanej plochy a aj časová náročnosť je niekoľkonásobne nižšia.

Snímkovanie zvona v depozite s nalepením terčikov trvalo cca 3 hodiny, spracovanie na PC asi 1 deň. Nevýhodou je, že bol problém zachytiť a spracovať korunu zvona. Z časového hľadiska sme od toho ustúpili.

Zameranie laserovým skenerom trvalo podstatne dlhšie. Pri počte 5 stanovísk zabralo 4-5 hodín, lebo bolo nutné zisťovať polohu skenera pomocou univerzálnej meračskej stanice Topcon GPT 3000. Softvérové spracovanie zameraných bodov a priestorových súradníc skenera v systémoch LMS a 3D Extractor trvali približne 4 hodiny. Výsledný model v systémov Geomagic Raindrop Studio 9 3D Studio Max 9 bolo nutné spracovávať 4 dni.

Vývoj informačných a prístrojových technológií prináša neustále nové možnosti dokonalejšieho spracovania. Dnes už to nie je otázka dostupnosti technológie pre potreby dokumentácie, ale otázka získania

a investovania dostatočných prostriedkov do kvalitných geodetických zameraní pamiatok. Na Slovensku disponujeme modernými technológiami svetovej úrovne. Žiaľ v porovnaní so situáciou v zahraničí, kde je systematickému geodetickému zameraniu v dokumentácii pamiatok venovaná veľká pozornosť, máme ešte veľké rezervy.

Predložený príspevok vznikol v súvislosti s riešením grantového projektu Ministerstva školstva SR GPč.1/0181/08 „Dokumentácia a modelovanie artefaktov zvonolejárstva metódou laserového skenovania a digitálnej fotogrametrie“, riešenom v súčasnosti na Ústave geodézie, kartografie a GIS, FBERG TU v Košiciach v spolupráci s agentúrou VEGA.

Literatúra - References

- [1] Pukanská, K., Fraštia, M., Gembický, J.: Laserové skenovanie a digitálna fotogrametria muzeálnych zvonov, *Konferencia Muzea, památky a konzervace 2008, Brno, Zborník prednášok*.
- [2] Bartoš, P., Fraštia, M., Matyšáková, A., Chlepková, M.: Inžinierske aplikácie digitálnej blízkej fotogrametrie. *Zborník prednášok „Progresívne technológie v inžinierskej geodézii“ Katedra geodézie SvF STU Bratislava 2006, ISBN 80-227-2380-0, str. 95-102*.
- [3] Kašpar, M. a kol.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. *Hradec Králové Vega s.r.o. 2003, str. 9 a str. 14*
- [4] CALLIDUS <http://www.callidus.de>