FOTOGRAMMETRICKÁ DOKUMENTACE HISTORICKÝCH OBJEKTŮ – JEDNODUCHÉ METODY

Jindřich Hodač

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie
Laboratoř fotogrammetrie
CZ-266 29 Thákurova 7, Praha 6
e-mail: hodac@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Motivací k napsání tohoto příspěvku byly opakované zkušenosti autora z oblasti použití fotogrammetrie při dokumentaci historických objektů. Obecně má fotogrammetrie a její metody mezi našimi zákazníky z dané oblasti (památková péče, archeologie) dobré jméno. Problém spatřuji v tom, že je vnímána jako metoda sice přesná a poskytující dobré podklady avšak metoda drahá a technologicky náročná. Je otázka, zda tomu tak opravdu je a zda rozvoj digitální fotogrammetrie neposunul fotogrammetrii blíže novým uživatelům. Vytvořit fotoplán, použít průsekovou metodu pro sběr 3D dat je dnes velmi jednoduché. Softwary umožňující zpracování těchto úloh nejsou ani příliš finančně nákladné (např. TopoL či PhotoModeler). Navíc kolegové památkáři téměř vždy pořizují fotodokumentaci zájmového objektu či fragmentu. Někteří z nich se dokonce snaží o jakousi pseudofotogrammetrii. S použitím primitivních technik například vytvářejí „fotoplány“. Naší úlohu jako odborníků na fotogrammetrii vidím v tom, že jim poskytneme nové náhledy, že nabídneme naše moderní technologie. Nabídneme je však takovým způsobem, aby pro ně byla tato technologie uchopitelná a aby pro ně neznamenala velké náklady na pořízení speciálního vybavení a časové požadavky na náročná školení a studium. V tomto ohledu se mi jeví jako perspektivní rozšíření povědomí (osvěta) hlavně o již výše zmíněných metodách – jednosnímkové fotogrammetrii a průsekové fotogrammetrii. V mnoha případech by mohl sám památkář či stavební historik vytvořit fotoplán, nebo získat 3D a následně 2D data průsekovou metodou. Stereofotogrammetrie asi vždy zůstane v rukou fotogrammetrů. Jedná se o metodu náročnější jak na odborné znalosti a zkušenosti, tak hlavně na hardware a software. Dokumentace rozsáhlých objektů a práce s požadovanou vysokou přesností také zůstanou naší doménou. U malých objektů (cca do 5 – 7 m) je však možné uvažovat i o určitém zjednodušení v našich standardních technologiích. Může například jít o nahrazení klasického geodetického zaměření vlícovacích bodů oměřením pásmem, nebo přiložením délkového etalonu (lať, výtyčka aj.). Tato zjednodušení sice mohou ovlivnit přesnost výstupů, ale s ohledem na požadavky památkáře bude i tak dosažená přesnost většinou akceptovatelná. Závisí samozřejmě na účelu, k jakému budou výsledky použity. Na nás je definovat pro jednotlivé úrovně požadované přesnosti základní technologické požadavky (např. týkající se geodetického či jiného měření, nutnosti kalibrace kamery, kvality fotografického vybavení atd.). Rozvoj digitální fotogrammetrie nás dle mého názoru vybízí k tomu, abychom se s našimi technologiemi podělili i s pracovníky návazných spolupracujících oborů.

1 Úvod

Dokumentační činnost hraje v památkářské praxi jistě důležité místo. Pořízení klasické měřické dokumentace je však proces časově a finančně poměrně náročný. V mnoha případech není ani taková „profesionální“ forma dokumentace potřebná. S rozvojem digitálních technologií se nabízejí možnosti, které dříve nebyly dostupné. Pořízení v podstatě neomezeného počtu snímků objektu či nálezové situace je dnes umožněno digitálními fotoaparáty. Nepřístupné délky lze měřit ručními

laserovými měřidly (např. Disto aj.). Fotoaparát a měřidlo patří k běžné výbavě kolegů pracujících v oblasti památkové péče (památkář, stavební historik, architekt aj. ⇒ dále „památkáři"). Nabízí se tedy otázka, zda i s tímto vybavením se dá fotogrammetrie „dělat" a pokud ano, tak na jaké úrovni přesnosti.

Cílem tohoto příspěvku je ověřit, jakých výsledků je možné dosáhnout při zhotovení základních fotogrammetrických produktů (fotoplán, 3D model) s použitím výše zmíněného vybavení bez nutnosti přímého geodetického zaměření.

Pro definování výchozího stavu vycházím z těchto předpokladů o možnostech památkáře:

- pořizuje na místě fotodokumentaci,
- vlastní více méně kvalitní digitální fotoaparát,
- má možnost na místě měřit délky (pásmo, metr, laserový dálkoměr),
- nemá čas věnovat měření (oměřování) mnoho pozornosti,
- nemá prostředky nakupovat drahé vybavení (přístroje a software),
- má zájem získat pokud možno kvalitní podklady (dokumentaci) pro své další bádání,
- nemá odpor k digitálním technologiím a používání počítače (není zatím pravidlem).

Na základě výše uvedeného výčtu je dalším *cílem příspěvku* ukázat, že památkář by si v určitých případech mohl měřickou dokumentaci vytvořit sám. Fotogrammetrie mu v tom ohledu nabízí dvě základní metody – metodu jednosnímkovou (2D data ⇒ fotoplán) a metodu průsekovou (3D informace ⇒ prostorové vztahy). Ke zpracování dat by musel památkář mít k dispozici vhodný fotogrammetrický software, viz *tabulka 1* a případně také drobné měřické pomůcky jako např. nivelační lať.

software	www	cena (cca)	metoda
PhotoModeler	www.photomodeler.com	1 100 $	průseková
iWitness	www.photometrix.com.au	1 000 $	průseková
ImageModeler	www.realviz.com	27 200 Kč	průseková
RolleiMetric CDW	www.rollei-metric.com		průseková
Rastrový TopoL	www.topol.cz	12 500 Kč	jednosnímková

Tab. 1 ***Přehled vybraných fotogrammetrických software***

2 Testovací projekt – průseková fotogrammetrie

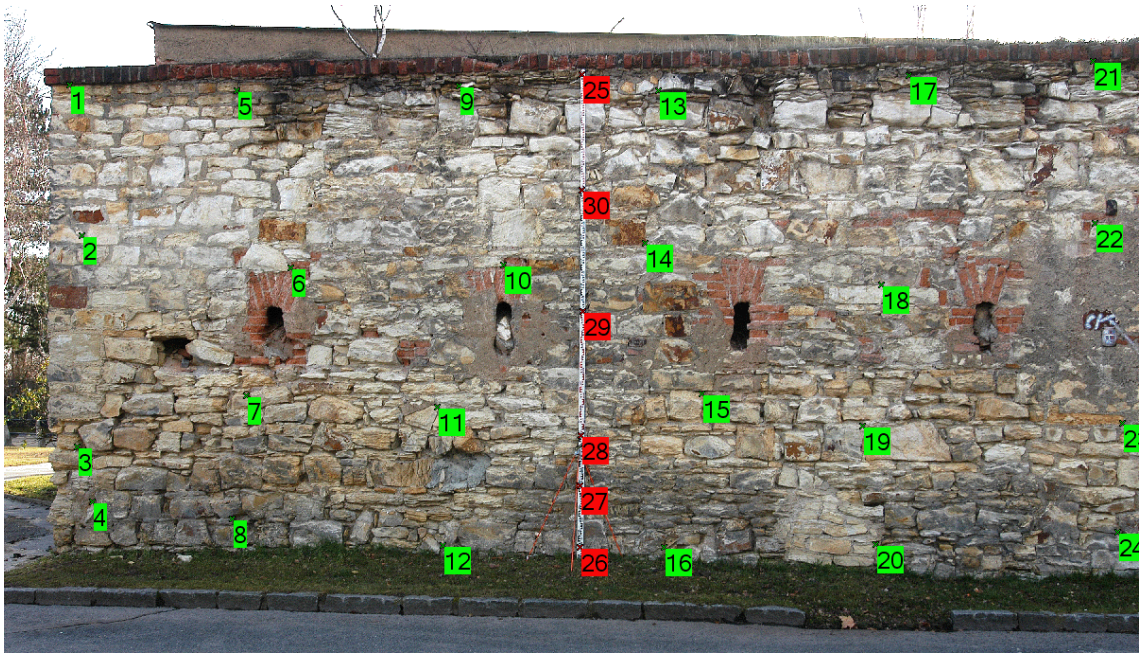
Při klasických fotogrammetrických projektech v oblasti pozemní fotogrammetrie je základním kamenem úspěchu pořízení kvalitních snímků. K tomu účelu se využívají buď kvalitní neměřické kamery, nebo kamery měřické. Neměřické kamery (polo-profesionální či profesionální fotoaparáty) se dnes používají již téměř výhradně ve své digitální podobě. U tohoto typu kamer je vhodné provést kalibraci kamery (tj. určit prvky vnitřní orientace – zkreslení objektivu apod.) a to hlavně s ohledem na zajištění přesnosti výstupů projektu. V průběhu prací v terénu se většinou provádí geodetické zaměření dostatečného počtu vlícovacích bodů (VB). Způsob práce je podřízen tomu, aby byla dosažena požadovaná přesnost. Téměř vždy je tedy k dispozici nadbytečné množství dat (např. VB) a případně i další speciálně měřené kontrolní hodnoty (oměrné míry apod.).

Je otázka, co vše můžeme v průběhu práce na projektu oželet, aby výsledky byly ještě použitelné. Při hledání odpovědi na tuto otázku bude nutné provést praktická ověření jednotlivých

metod a technologických postupů na konkrétních projektech. Jedním z prvních kroků v této oblasti bylo i zpracování v dalším textu popsaného projektu. Fiktivním zadáním tohoto projektu bylo - získat fotogrammetrickou cestou data (souřadnice bodů nebo délkové rozměry), která by mohla sloužit jako výchozí podklad pro tvorbu fotoplánu.

2.1 Práce v terénu

Pro účely zpracování testovacího projektu byla vybrána část ohradní zdi v ulici Strahovská u horního konce lanové dráhy na pražském Petříně. Zájmová část zdi měla rozměry cca 4 m x 10 m. Na této části bylo geodeticky zaměřeno (totální stanice s pasivním odrazem) celkem 24 rovnoměrně rozmístěných kontrolních bodů, viz *obrázek 1*. Všechny body byly přirozeně signalizovány. Měření bylo uskutečněno v rámci bakalářské práce Adély Seberové. Výsledkem této etapy byly prostorové souřadnice bodů v místní soustavě.



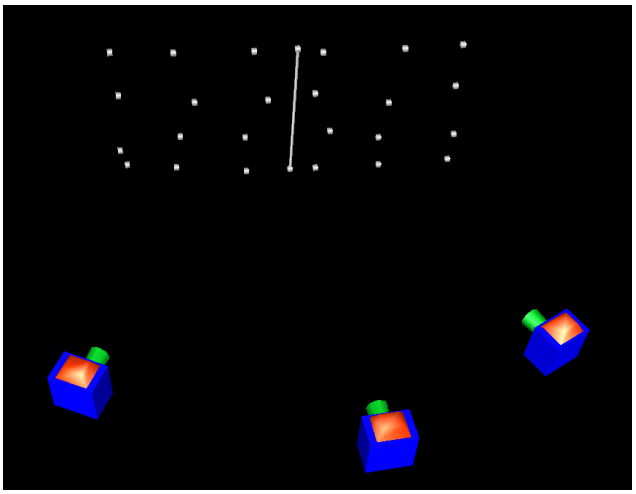
Obr. 1 ***Rozložení kontrolních bodů a umístění latě s vyznačením laťových úseků***

Snímkování dané časti zdi proběhlo v další etapě. Byla použita kvalitní digitální kamera Nikon D100 (objektiv AF - S Nikkor). Snímkování proběhlo bez použití stativu a pořízeny byly tři snímky (frontální + dva konvergentní). Jako délkový etalon byla použita teleskopická nivelační lať délky 4 m postavená ve svislé poloze (příložná libela). Lať byla umístěna přímo u zdi ve střední části zájmové části, viz *obrázek 1*. Dále bylo testováno také použití dvojnásobné výtyčky (4 m) ve stejné poloze. Celkem byly pořízeny dvě sady snímků (lať a tyč). Použitý technologický postup odpovídal doporučením uvedeným ve 3x3 pravidlech, viz [1]. Pro následné zpracování byly tedy připraveny tři snímky, jedna definovaná svislice a jedna definovaná délka. Nejdelší použitelná délka (laťový úsek) dosahovala cca 40% maximálního rozměru objektu (3,9 m z 10 m). Z hlediska nadbytečnosti dat a možností kontroly je možné říci, že bylo ještě možné vypustit pořízení jednoho snímku (frontálního).

2.2 Fotogrammetrické zpracování dat

Zpracování dat proběhlo standardním způsobem v software pro průsekovou fotogrammetrii PhotoModeler. Po sejmutí všech bodů na všech třech snímcích byl vypočítán model, viz *obrázek 2*. Jako známé hodnoty byly pro určení měřítka a orientace modelu zadány vždy příslušná délka laťového úseku (výtyčky) a podmínka, že takto označený úsek tvoří svislici. Průběžně bylo vypočítáno několik

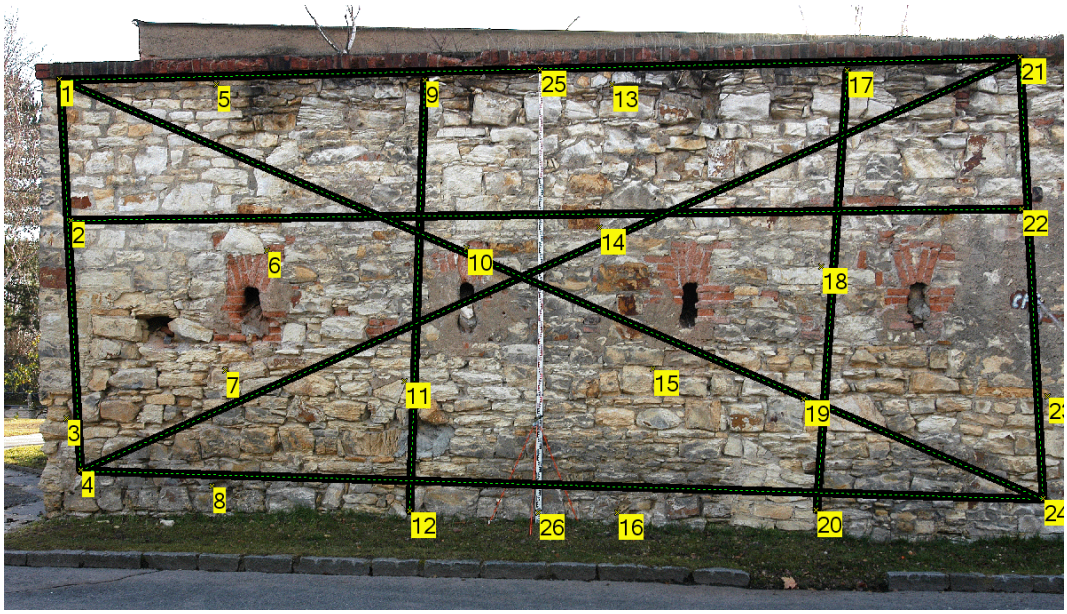
variant řešení (celkem 16). Varianty se lišily jak použitým etalonem, tak hlavně jeho délkou (0,9 – 3,85 m) a také tím, zda byly do výpočtu zahrnuty dříve získané výsledky kalibrace použité kamery. Výsledkem výpočtu byly modelové souřadnice bodů, které sloužily pro účely posouzení přesnosti. Po odzkoušení technologického postupu byla časová náročnost tvorby prvotního modelu cca 30 min. U ostatních variant výpočtů při změně pouze jednotlivých parametrů se jednalo už řádově o minuty.



Obr. 2 ***Konfigurace kamer a bodů – náhled ve PhotoModeleru***

2.3 Rozbor výsledků

Hodnocení výsledků proběhlo ve dvou etapách. V první etapě byly *porovnávány souřadnice* bodů. Toto hodnocení bylo komplikováno tím, že oba použité souřadnicové systémy byly různé a bylo nutné provádět mezikroky (poloha - pootočení systémů, výška - redukce k jedné hodnotě). Při těchto operacích byly tedy některé body ustanoveny jako pevné.



Obr. 3 ***Délky použité ve druhé etapě hodnocení***

Nejdůležitějším závěrem z této fáze hodnocení byl poznatek, že u všech modelů se projevil systematický náklon modelu k jedné straně. Na tento náklon ukazovaly výškové odchylky na jednotlivých kontrolních bodech. Při tomto způsobu zpracování jsou tedy výsledky velmi citlivé na

přesnost realizace svislice. Jedním z možných řešení by bylo vyznačit na objektu svislic více například postavením dalších výtyček ke krajům zájmového území. Toto řešení bude ověřeno v pracích, které na tento prezentovaný testovací projekt navází.

Ve druhé etapě byly předmětem hodnocení *délkové rozměry*. Jednotlivé délky byly vypočítány ze známých souřadnic bodů. Celkem bylo pro tuto etapu vybráno devět kontrolních délek, *viz obrázek 3*. Délkové rozměry jsou také samostatně použitelné pro tvorbu fotoplánu. Navíc mohou jasnějším způsobem ukázat na případné deformace fotogrammetricky vytvořeného modelu.

délky	1	2	3	4	5	1-2	1-3	1-4	1-5
na výšku	**GEO**	**BEZ_3,85**	**SKAL_3,85**	**BEZ_0,9**	**SKAL_0,9**	**BEZ_3,85**	**SKAL_3,85**	**BEZ_0,9**	**SKAL_0,9**
1-4	3,534	3,550	3,551	3,541	3,542	-0,016	-0,017	-0,008	-0,009
9-12	3,772	3,786	3,784	3,777	3,775	-0,014	-0,012	-0,005	-0,003
17-20	3,722	3,722	3,733	3,713	3,724	0,000	-0,011	0,009	-0,002
21-24	3,685	3,675	3,694	3,666	3,685	0,010	-0,009	0,019	0,000
na šířku									
1-21	8,418	8,415	8,427	8,396	8,407	0,002	-0,010	**0,022**	0,011
2-22	8,324	8,323	8,329	8,303	8,309	0,001	-0,006	0,020	0,015
4-24	8,388	8,398	8,404	8,379	8,383	-0,010	-0,015	0,009	0,005
šikmé									
1-24	9,335	9,344	9,356	9,322	9,333	-0,009	-0,021	0,013	0,002
4-21	8,951	8,952	8,964	8,931	8,942	-0,001	-0,013	0,020	0,009

pozn: hodnoty délek a jejich rozdílů jsou uváděny v **metrech**
GEO = délky z geodeticky určených souřadnic; **BEZ** = délky z modelu bez zavedení kalibrace; **SKAL** = délky z modelu se zavedením kalibrace; **3,85** a **0,9** délka použitého laťového úseku v metrech (pro měřítko modelu)

Tab. 2 ***Porovnání délek pro různé varianty modelů***

V *tabulce číslo 2* jsou uvedeny délky pro variantu s použitím nivelační latě jako délkového etalonu. Hodnoty pro modely s využitím 4m výtyčky byly ve většině případů horší. Může to být způsobeno jak problematickou stabilitou 4m výtyčky (výkyv a prohyb), tak případnými nepřesnostmi v délce jednotlivých polí výtyčky. Výtyčka také dává omezenější možnosti pro různé kombinace délkových etalonů.

Pro nivelační lať jsou uvedeny výsledky modelu odvozeného z nejdelšího a nejkratšího laťového úseku (3,85 a 0,9 m). Je překvapivé, že přesnost obou variant je téměř srovnatelná. Maximální rozdíly délek se pohybují kolem 2 cm. Dalším zajímavým zjištěním je, že zavedením kalibrace kamery se přesnost nezvýšila. Kalibrační hodnoty byly získány kalibrací na velkém prostorovém kalibračním poli laboratoře fotogrammetrie a jejich důvěryhodnost je poměrně vysoká. Je možné, že pro dané nastavení objektivu (obrazový úhel kolem 60°) se například velikost zkreslení objektivu tolik neprojeví (vypočtené hodnoty radiální distorze do 10 µm). Dále je třeba připomenout, že použitý objektiv patří k těm kvalitnějším. Z rozdílů dále plyne fakt, že je možné mluvit spíše o přesnosti homogenní. Výsledky neukazují průkazně, že by delší délky byly určeny méně přesně. Celkově je dosažená přesnost překvapivá a pro daný účel (zhotovení fotoplánu) dostatečná.

2.4 Zhodnocení výsledků projektu

Byl zpracován testovací projekt, jehož cílem bylo ověřit možnosti použití fotogrammetrické metody (průsekové) pro získání podkladů pro tvorbu fotoplánu bez nutnosti provedení měřických prací. Data byla pořízena s minimálními nároky na speciální vybavení. Fotogrammetrické zpracování bylo provedeno standardně v software PhotoModeler. Výsledkem zpracování byly modelové souřadnice kontrolních bodů. Z těchto souřadnic byly vypočteny délky, které byly porovnány s délkami vypočtenými z geodeticky určených souřadnic kontrolních bodů. Pro všechny ověřované varianty byla dosažena podobná přesnost daná max. rozdílem délek. Tento rozdíl nabýval hodnot kolem 2 cm. Kvalitu výsledků neovlivnila ani délka použitého laťového úseku, ani zahrnutí známé kalibrace kamery do výpočtu. Pro daný účel výsledky svou kvalitou dostačují.

Bylo ověřeno, že je vhodnější jako délkový etalon použít nivelační lať. Pro zpřesnění orientace modelu ve vertikálním směru by bylo vhodné v projektech podobného typu realizovat na objektu více definovaných svislic. Projekt proběhl za optimálních podmínek (dostupnost objektu apod.) a použitá technologie se plně osvědčila.

Náměty pro další bádání v dané oblasti je možné definovat následujícími tématickými okruhy:

- jiný typ objektu – prostorový, nebo objekt převážně v horizontální rovině,
- méně příznivé podmínky projektu – podhled, malý odstup, nevhodné úhly protnutí apod.,
- použití méně kvalitní digitální kamery,
- stabilita modelu ve vertikálním směru – absolutní souřadnice,
- komplexnější model … a další,

Obr. 4 ***„Měřické“ pomůcky použité v projektu***

3 Závěr

Současná doba je charakteristická záplavou možností jak pořídit digitální obrazová data. Staré tradiční obory se transformují do digitální podoby. To co bylo dříve uzavřené a určené pouze pár zasvěceným, to se nyní otevírá. Taková příležitost nyní vyvstává i před fotogrammetrií. Fotogrammetrií se dnes již nutně nemusí zabývat jen školení odborníci. Na jednoduché úrovní jí mohou využívat i pracovníci tradičních návazných profesí (např. památkáři), ale i lidé z jiných nových oborů (např. zábavní průmysl, prodej výrobků aj.). Prezentovaný testovací projekt ukázal, že i s použitím jednoduchých prostředků lze dosáhnout velmi slušných výsledků. Je na nás fotogrammetrech, abychom dokázali naše technologie nabízet. Je na nás, abychom také prostřednictvím podobných vzorových projektů ukazovali co je možné od fotogrammetrie na této úrovni čekat, jaké jsou její limity. Strach o to, že bychom si takto sami pod sebou řezali větev nemám. Aplikační možnosti se v současné době velmi rozšiřují. Vždy bude také potřeba, aby někdo dělal základní výzkum, prováděl odborná školení atd.

Literatura

[1] lfgm.fsv.cvut.cz/3x3_pravidla
3x3 pravidla pro jednoduchou fotogrammetrickou dokumentaci architektury

[2] lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/FTG_jednoducha.htm
stránky věnované popularizaci jednoduchých metod fotogrammetrie

Abstract

PHOTOGRAMMETRIC DOCUMENTAION OF HISTORICAL SITES – SIMPLE METHODS

My motivation for writing this paper was repeated experience in the area of photogrammetry utilization in a documentation of historical sites. Photogrammetry and its methods are appreciated by our customers from that area (Cultural Heritage, Archaeology). The problem, I see, is that they see photogrammetry as a precise method with very good outputs, but method a little bit expensive and demanding special technology. The question is: is it true or not? Another question is if the development of digital photogrammetry in last decade did not move photogrammetry to new users. Nowadays the photomap creation and the using of intersection photogrammetry for 3D data acquisition is very simple. Softwares which are convenient for this type of projects are not so expensive (e.g. TopoL and PhotoModeler). Our colleagues from Cultural Heritage area are working with photo-documentation of the site very often. They also take its own images. Some of them are trying to do something like pseudo-photogrammetry. They are using primitive technologies to create photomaps. Our task, as photogrammetry professionals, is to offer them new points of view on our recent technologies. As a perspective start point for these activities I see increasing of knowledge about two technologies I wrote before - single image photogrammetry and intersection photogrammetry. Historians and archaeologists can use these technologies themselves in many cases. Stereophotogrammetry and documentation of big sites similarly as a projects with high precision will remain in our hands because of its technological demandingness. Documentation of small objects (app. 5 - 7 m) may be done with certain level of simplification of our standard technologies. It is possible to substitute geodetic surveying (e.g. total station) for measurement with a tape or for placing of size measuring standard (stake, rod etc.). The simplification will probably have an influence on precision of results, but in many cases (maybe majority) it still be acceptable for purposes of historians. Our mission is to define basic technological standards for various levels of requested precision. We are challenged by digital photogrammetry development to share our technologies with our partners from cooperative branches.