

Fotogrammetrická dokumentace lidových staveb – roubený dům čp. 97 v Čisté

Zdeněk Poloprutský, Jindřich Hodač

Klíčová slova: 3D model, CAD MicroStation, software PhotoModeler, průseková fotogrammetrie, obrazová korelace, měřická dokumentace

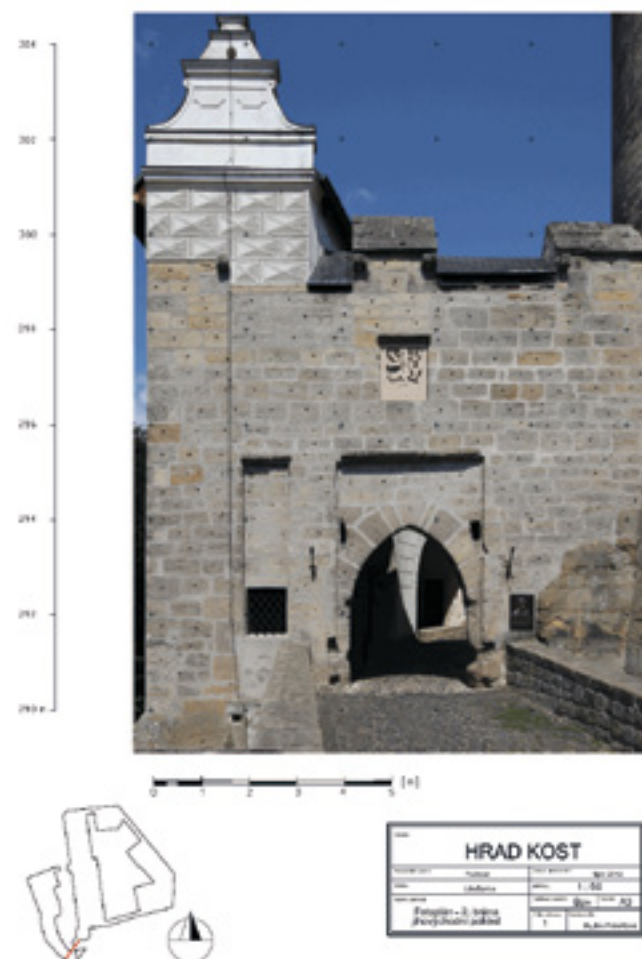
Cílem tohoto příspěvku je přiblížit fotogrametrii a její metodiku i technologie zájemcům z oblasti památkové péče. V textu jsou stručně představeny soudobé fotogrammetrické metody a typové výstupy z nich. Využití fotogrammetrických metod pro měřickou dokumentaci historického objektu je prakticky ukázáno v případové studii. Text příspěvku je členěn do dvou kapitol. První kapitola podává přehled o fotogrametrii jako oboru vhodném k dokumentačním, resp. měřickým pracím nejenom v oblasti památkové péče. Druhá kapitola se věnuje případové studii. Konkrétně jsou přiblíženy dokumentační práce, které proběhly v roce 2005 v rámci diplomové práce (L. Tláškal).¹ Jejich hlavní náplní byla dokumentace roubeného domu čp. 97 v obci Čistá u Litomyšle. Čtenářům s hlubším zájmem o problematiku měřické dokumentace doporučují autoři odborné publikace Národního památkového ústavu. Jsou jimi např. *Zkoumání historických staveb* z roku 2011 od kolektivu autorů v čele s V. Razímem a P. Mackem a *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči* z roku 2014 od J. Veselého. Také v nich je možné najít další zajímavé informace týkající se využití fotogrammetrických metod.

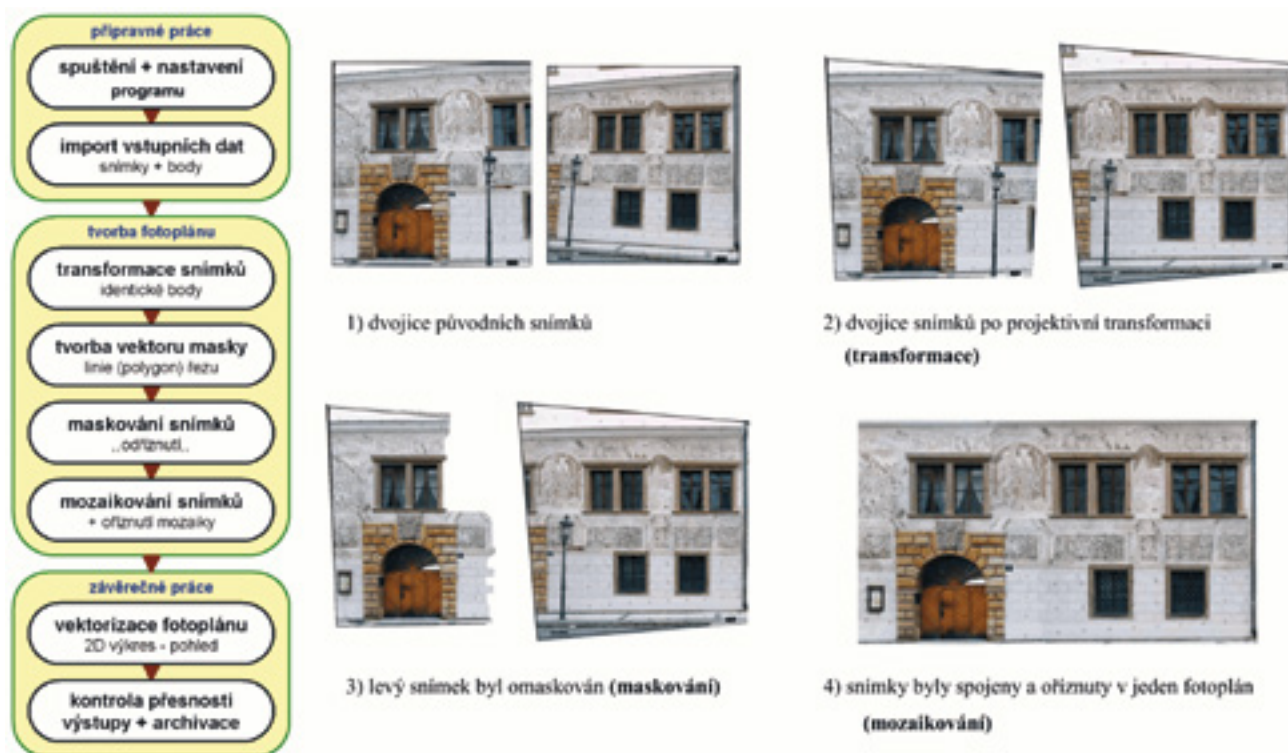
Teoretické základy – dělení fotogrammetrie, druhy výstupů

Fotogrammetrická dokumentace stavebních objektů kombinuje výhody geodetického měření a fotografie – snímkování. Ze snímků je možné kromě údajů o geometrii objektů získat i další údaje, např. o barevnosti, materiálovém složení apod. Snímky jsou ve fotogrametrii hlavním nositelem informací. V ideálním případě se pro sběr dat používají fotografické přístroje typu digitální zrcadlovka (DSLR), které umožňují výměnu objektivu. Uspokojivých výsledků lze dosáhnout i použitím kvalitního kompaktního fotoaparátu. U obou typů fotoaparátů vede ke zvýšení přesnosti výsledků jejich kalibrace. Za kalibrovanou se považuje kamera, která má známé prvky vnitřní orientace, tzn. konstantu komory (ohniskovou vzdálenost), formát a poměr stran obrazového čipu, souřadnice hlavního snímkového bodu (optický

střed snímku), a dále známý průběh distorze objektivu (geometrické zkreslení obrazu). Kalibrací se fotoaparát nemění. Podle polohy stanoviska snímkování se člení fotogrammetrie na pozemní a leteckou. Podle počtu snímků rozlišujeme fotogrammetrické metody na jedno-snímkové, které jsou vhodné pro dokumentaci rovinných a málo členitých objektů, a vícenímkové, které umožňují zachytit prostorovou členitost dokumentovaných

1. Fotoplán 2. brány na hradě Kost, 2012, vytvořila I. Pobořilová, archiv Katedry geomatiky, FSV ČVUT v Praze. Photoplan of the second gate at the Kost Castle. Luftbildplan des zweiten Tores auf der Burg Kost.





2. Jednosnímková fotogrammetrie – schéma technologického postupu, 2016, vytvořili J. Hodač a Z. Poloprutský, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. One-shot photogrammetry – the process flow. Einbildmessung – Schema des technologischen Verfahrens.

objektů. Mezi vícesnímkové metody patří metoda průseková, stereofotogrammetrie a metoda obrazové korelace. Má-li být konečná fotogrammetrická dokumentace dostatečně podrobná a přesná, musí být na dokumentované ploše či objektu jasné tzv. vlíčovací body, které mohou být přirozenou součástí objektu nebo mohou být signalizovány uměle např. terčíky. Geodetické zaměření vlíčovacích bodů je nutným předpokladem pro dosažení kvalitních fotogrammetrických výstupů. V současnosti jsou dostupné různé softwarové nástroje, které jsou schopny abstrahovat kvalitní 2D výstupy (tzv. fotoplány) i z běžných snímků, popř. dokáží ze série snímků vytvořit digitální 3D model dokumentovaného objektu. Výstupy fotogrammetrických metod mohou mít podobu:

- grafické, tj. vektorové, kresby obdobné jako u geodetických metod, tj. 2D plány a 3D modely,
- obrazového, tj. rastrového, 2D výstupu ve formě ortofotomapy nebo fotoplánu,
- číselného, tj. bodového, výstupu, jakým je např. mračno bodů.²

a) Jednosnímková fotogrammetrie

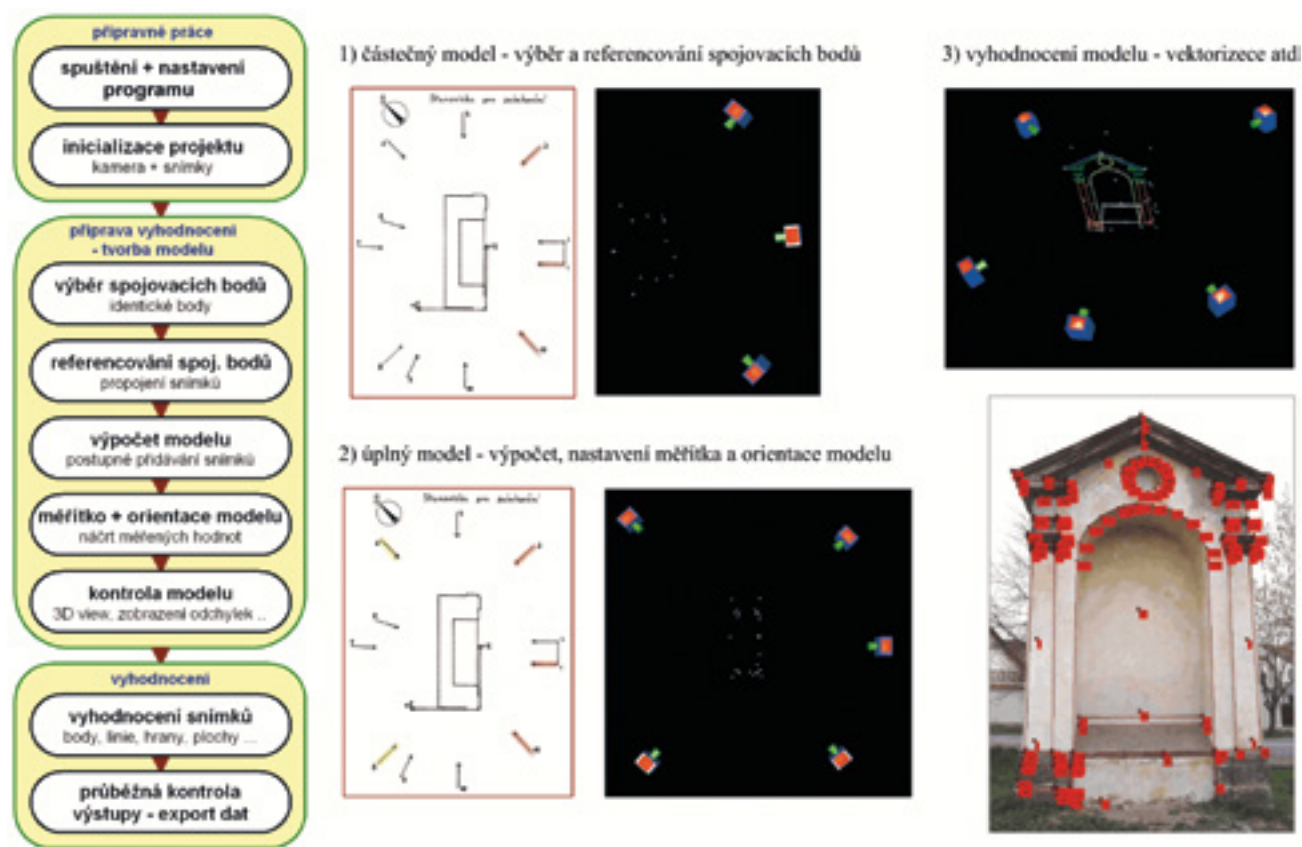
Jedná se o nejjednodušší fotogrammetrickou metodu umožňující dokumentaci rovinných nebo rovině blízkých objektů. Je založena na možnosti zpracovat

běžný fotografický snímek na základě znalosti vlastností středového promítání a znalosti průběhu distorze objektivu tak, že se minimalizují obrazové deformace jimi způsobené. Fotografický snímek se tak co nejvíce přiblíží pravoúhlému průmětu zvolené rovinné plochy. Výstupem je tzv. fotoplán (obr. 1). Protože fotoplán nezakresleně zachycuje pouze informace ležící v hlavní rovině objektu, je jednosnímková fotogrammetrie vhodná pro dokumentaci fasád, spárořezů zdiva nebo podlah, nástěnných maleb atd.

Podrobnost, přesnost a s nimi spojená obrazová kvalita výstupu závisí na mnoha faktorech. Patří mezi ně např. tyto – odchylka skutečné plochy od roviny, odstup od dokumentovaného objektu, kvalita fotografického vybavení a vlastního snímku, vlastnosti zpracovatelského softwaru aj. Vliv na přesnost má i technologie zvolená pro zaměření vlíčovacího podkladu, kterou může tvořit délkové měření čtyřúhelník nebo totální stanicí zaměřené čtyři a více vlíčovacích bodů. Časová náročnost je přímo úměrná rozsahu dokumentovaného objektu a míře podrobnosti a přesnosti práce.³

Softwarové nástroje pro jednosnímkovou fotogrammetrii

Základním požadavkem na software pro jednosnímkovou fotogrammetrii je zpracování běžných fotografických snímků s využitím *kolineární*, resp. *projektivní*



3. Průseková fotogrammetrie – schéma technologického postupu, 2016, vytvořili J. Hodač a Z. Poloprutský, archiv Katedry geomatiky, FSV ČVUT v Praze. Intersection photogrammetry – the process flow. Einschneidefotogrammetrie – Schema des technologischen Verfahrens.

transformace obrazu z roviny snímku do roviny fopoplánu. Dalšími požadavky je možnost odstranění vlivu distorze objektivu a využití dalších nástrojů a funkcí, např. maskování a mozaikování obrazu, export výsledků do rastrového formátu, např. TIFF, vytváření tiskových výstupů (obr. 2). V laboratoři fotogrammetrie na pracovišti autorů jsou úspěšně odzkoušeny a dlouhodobě využívány programy *SIMphoto* a *TopoL xT*.

SIMphoto je aplikace zaměřená na zpracování rastrových dat metodou jednosnímkové fotogrammetrie, která vznikla v rámci diplomové práce Davida Čížka, (obhájena v lednu 2011). Fotoplán může být vytvořen na základě určení souřadnic vlivovacích bodů geodetickými metodami nebo zaměřením jednoduché sítě délek. Je také možné snímku přiřadit rozměr ze samostatně určených vzdáleností. Software dále umožňuje odstranění vlivu distorze ze snímků, vložení grafického měřítka, otočení rastru atd. Na výsledném fopoplánu lze určovat libovolné vzdálenosti. Výstup se ukládá do formátů TIFF, JPEG nebo PDF (je umožněn tisk v měřítku).⁴

TopoL xT je obecný geografický informační systém, který mj. umožňuje zobrazování a práci s rastrovými daty. Lze tedy zobrazit např. digitální ortofota

dané oblasti, naskenované katastrální mapy atd. Tento program také podporuje geometrické operace s rastrovými daty, jakými jsou umístění, rotace, zrcadlení, transformace, tvorba mozaiky atd. Pro umístění snímků do souřadnicového systému je tedy možné využít celou sadu nástrojů/funkcí.⁵

b) Průseková fotogrammetrie

Jedná se o fotogrammetrickou metodu založenou na tzv. protínání paprskových svazků. Protínání je zprostředkováno identifikací stejných bodů na sérii dvou a více snímků, jejichž osy záběru se protínají a jejichž záběry se částečně překrývají. Charakteristické body zaměřovaného objektu a jejich prostorové souřadnice se získávají postupnou identifikací (viz výše). Výstupy mohou mít podobu seznamu souřadnic bodů, popř. 3D modelu, který se dále rozvíjí v CAD prostředí, na základě bodů, linií, křivek, ploch apod. získaných fotogrammetrickým vyhodnocením (obr. 3).⁶

Protože 3D modelování je vhodné zejména k dokumentaci členité architektury, je průseková fotogrammetrie dobře využitelná pro dokumentaci objektů,

jejichž podrobné geodetické zaměření by si v terénu vyžádalo neúnosné množství času. Podobně jako u geodetického měření se při 3D modelování *fotogrammetrickou cestou* vyplatí mít definovány charakteristické body objektu, tj. body, které jednoznačně vymezují tvar, rozměry, popř. orientaci objektu v prostoru.

Přesnost a kvalita 3D modelu závisí především na kvalitě snímků, na jejich prostorové konfiguraci, jejich počtu a na identifikovatelnosti zaměřovaných bodů na snímcích. Dále se projevují další vlivy, jako jsou např. znalost přesných parametrů kamery (zjištěných procesem kalibrace), vliv rozmístění bodů vlíčovacího podkladu a přesnosti jejich zaměření. Za vhodných podmínek je možné při dokumentaci památek dosáhnout přesnosti v řádu jednotek centimetrů. Časová náročnost je přímo úměrná rozsahu a členitosti dokumentovaného objektu a míře podrobnosti a přesnosti práce. Zhruba 40 % času zabere vytvoření výstupu v CAD. Metoda je obecně vhodná tam, kde je objekt dobře dostupný pro snímkování, a proto se využívá spíše pro exteriéry.

Softwarové nástroje pro průřezovou fotogrammetrii

Základním požadavkem na software pro průřezovou fotogrammetrii je zpracování snímků na základě znalosti parametrů kamery a možnost výpočetních řešení protínání paprskových svazků.⁷ Dalšími požadavky může být možnost provádět vektorizaci 3D modelu apod. (obr. 7). V laboratoři fotogrammetrie na pracovišti autorů jsou úspěšně odzkoušeny a dlouhodobě využívány programy *PhotoModeler Scanner* a *CAD MicroStation V8*.

PhotoModeler Scanner je softwarový nástroj pro zpracování snímků podle zásad průřezové fotogrammetrie, včetně kalibrace kamery. Tento produkt společnosti EOS Systems, Inc. mimo jiné umožňuje tvorbu prostorových modelů, popř. mračen bodů na bázi metody optické korelace (viz dále). Tyto výsledky jsou pak podobné výstupům z laserového 3D skenování a mohou být dále zpracovány v programech typu CAD.⁸

MicroStation V8 je základním produktem společnosti Bentley Systems, Inc. Tento program umožňuje vytvářet vektorové 2D výkresy nebo 3D modely objektů, což jej činí využitelným jak pro dokumentační, tak projekční práce související s památkovou péčí. Prostorové modely objektů mohou být doplněny o informace o parametrech svých reálných předloh. Tyto parametry i celé části modelů lze přizpůsobovat jednotlivým fázím životního cyklu objektu, jako např. projektování, výstavba, provoz. To může být využito i při správě historického objektu.⁹

c) Stereofotogrammerie

Jedná se o fotogrammetrickou metodu založenou na protínání paprskových svazků z dvojice snímků s přibližně rovnoběžnými osami záběru, tzv. stereodvojice. Stereodvojici lze zpracovat na základě umělého stereoskopického vjemu na digitální fotogrammetrické stanici. Digitální stanici tvoří výkonný PC se dvěma speciálními monitory a brýlemi pro stereoskopické vidění. Při zpracování na základě umělého stereoskopického vjemu je možné z původních snímků vytvořit prostorové modely a na jejich základě také rastrový výstup – ortofoto. Metoda je pro svou hardwarovou náročnost pro dokumentaci historických objektů v současné době méně využívána a je postupně nahrazována metodou obrazové korelace.¹⁰

d) Obrazová korelace

Jedná se o fotogrammetrickou metodu, anglicky nazývanou *image based modeling*, založenou na automatickém získávání 3D mračen bodů ze série dvou a více snímků. Pro dokumentaci objektu se většinou snímá série více snímků s konvergentními osami záběru, popř. více dvojic s rovnoběžnými osami záběru. Technologie zpracování snímků je založena na automatizovaném vyhledávání stejných bodů na různých snímcích. Kromě 3D mračen bodů lze přímo ze snímků získat také *ortofoto*. Tato metoda představuje levnější alternativu k metodě laserového 3D skenování. Obrazová korelace nachází uplatnění zejména v 3D dokumentaci, resp. modelování členité architektury, jejíž podrobné geodetické zaměření je na hranici technických možností nebo by si vyžádalo v terénu neúnosné množství času. Obecně je tato metoda vhodná v případech, kdy je požadován výstup ve formě detailního prostorového modelu. Podmínky pro přesnost a kvalitu 3D modelu jsou téměř identické s průřezovou fotogrammetrií, ale z důvodu vysoké míry automatizace kladou vyšší nároky na obrazovou kvalitu snímků. Obecně je časová a znalostní náročnost zpracování dat z obrazové korelace náročnější než u laserového 3D skenování.¹¹

Softwarové nástroje pro obrazovou korelaci

Základním požadavkem na software pro obrazovou korelaci je zpracování snímků prostřednictvím metody *Structure from Motion* (SfM), která v sobě kombinuje výhody stereofotogrammetrie a průřezové fotogrammetrie. Do procesu zpracování tedy vstupují jak snímky s konvergentními, tak snímky s rovnoběžnými osami záběru.¹² Počet softwarů, které pracují na principu

optické korelace, se stále zvyšuje. Jednotlivé softwary se liší mj. tím, s kolika snímky a v jaké konfiguraci mohou pracovat, jaké dávají uživateli možnosti nastavení, kontrol a dalších úprav dat. Mimo komerční softwary se poslední dobou začínají celkem hojně objevovat i řešení nekomerční. Tato řešení mají většinou charakter webové služby, kdy si uživatel z webu výrobce stáhne volně šiřitelnou aplikaci a pomocí ní zašle snímky ke zpracování na vzdálený server. Server poté zašle zpět vytvořený model a ten je možné v rámci aplikace dále upravovat. V některých případech probíhá vše jen prostřednictvím webového rozhraní bez nutnosti stahovat/installovat aplikaci.¹³ V laboratoři fotogrammetrie na pracovišti autorů jsou úspěšně odzkoušeny a dlouhodobě využívány programy *123D Catch*, *Agisoft PhotoScan* a *Geomagic Studio*.

123D Catch je jednou z velmi zdařilých aplikací od společnosti Autodesk Inc., jejímž stěžejním produktem je CAD systém AutoCAD a jeho nadstavby. Tato polečnost vytvořila soubor jednoduchých volně šiřitelných aplikací, mezi něž *123D Catch* patří. Základní výhodou vytvořeného nástroje je jeho poměrně slušná funkcionalita. Modelu je možné v aplikaci přiřadit správné měřítko a orientaci, je možné jej vyhodnocovat (vektorizovat), tzn. snímat body a hrany, a výstupy je možné exportovat do standardních formátů, tj. DWG, OBJ aj. Může proto být vhodným nástrojem pro jednoduché dokumentační práce.¹⁴

Agisoft PhotoScan je samostatným fotogrammetrickým softwarovým řešením od společnosti Agisoft LLC, která umožňuje automatickou generaci mračen bodů, texturovaných modelů (zasíťované mračno), geo-referencovaných *ortofot* digitálních modelů povrchu a terénu z fotografií. Tato technologie umožňuje zpracovat během několika hodin až několik tisíc snímků a současně dosáhnout přesných výsledků, tzn. řádově v jednotkách centimetrů pro leteckou fotogrammetrii a blízkou pozemní fotogrammetrii.¹⁵

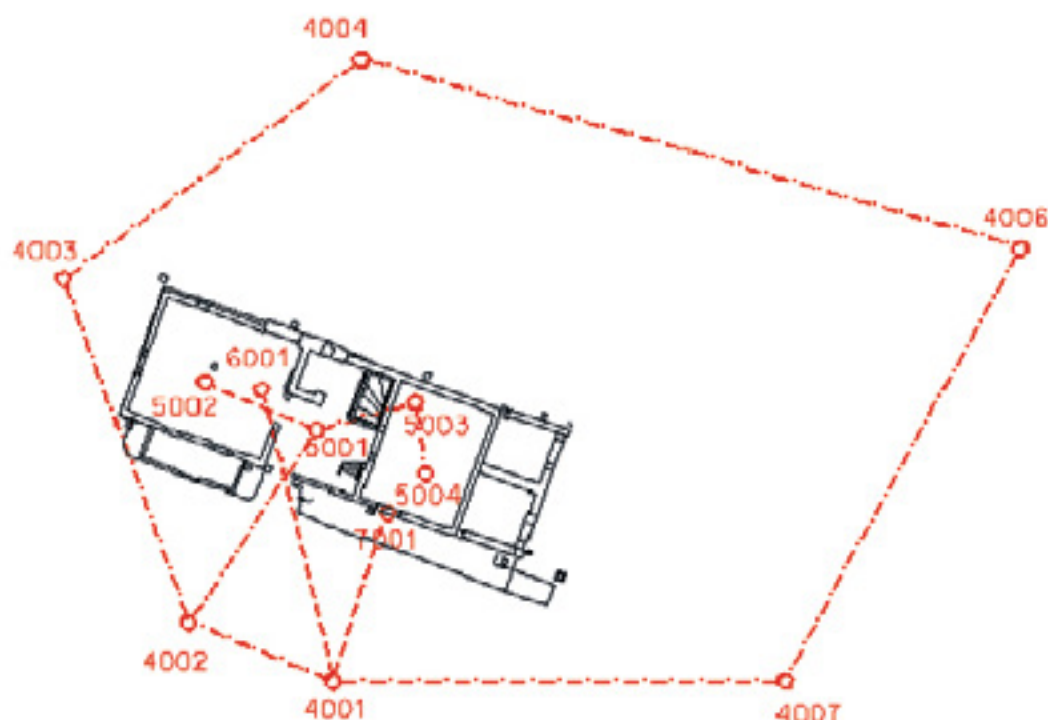
Geomagic Studio a jeho nástupce *Geomagic Wrap* představují softwarové nástroje pro tvorbu prostorových povrchových modelů z dat ve formě mračen bodů. Výsledné 3D modely pak mohou najít uplatnění ve strojírenské výrobě, umění, průmyslovém designu, archeologii apod.¹⁶ Společným znakem uvedených softwarových nástrojů je vysoká hardwarová náročnost, která se zásadně projevuje při zpracování rozsáhlých datových souborů.

Případová studie

Případová studie ukazuje konkrétní aplikaci fotogrammetrických metod při dokumentaci objektu lidové architektury. V dalším textu je prezentován projekt, který proběhl v rámci diplomové práce L. Tláskala na pracovišti autorů (obhájena v lednu 2006).¹⁷ Cílem

4. Usedlost čp. 97 v Čisté. Pohled z příjezdové cesty, 2005, foto L. Tláskal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Farmstead No. 97 in Čistá, view from the driveway. Bauernhof Hs.-Nr. 97 in Čistá, Anblick vom Zufahrtsweg.





5. Náčrt měřické sítě, 2005, foto L. Tláskal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Surveying network sketch. Skizze des Vermessungsnetzes.

této diplomové práce bylo vytvoření měřické dokumentace historicky cenného výměnku vesnické usedlosti v obci Čistá. Tato dokumentace měla sloužit jako rozšiřující materiál k již existujícímu stavebněhistorickému průzkumu z roku 2002.¹⁸ Stavba se nachází na území obce Čistá u Litomyšle na stavební parcele 297/1 stejnojmenného katastrálního území (obr. 4).

Geodetické a fotogrammetrické zaměření

Příprava podkladů pro zaměření, tj. náčrtu objektu, návrh měřické sítě a volba technologie zaměření, probíhala na základě prvního seznámení s objektem v listopadu 2004. Nejdůležitějším pro projekt dostupným podkladem byl stavebněhistorický průzkum s popisem důležitých stavebních a konstrukčních detailů.

Základem pro geodetickou dokumentaci je měřická síť, která byla tvořena uzavřeným polygonovým pořadem o šesti vrcholech vedeným okolo objektu. V interiéru byl doplněn dvěma volnými pořady do světnice a sklepa a dvěma rajony do prvního patra a komory (obr. 5). Pro stabilizaci bodů pořady byly použity dřevěné kolíky s hřebíčky. Signalizace vlíčovacích bodů pro fotogrammetrické zpracování byla provedena černobílými štítky (obr. 6). Geodetické zaměření bylo provedeno totální stanicí s bezhranolovým režimem měření délek a s laserovým ukazovátkem, které umožňuje zaměřit podrobné body i na nepřístupných místech nebo za zhoršených světelných podmínek. Pro podrobná měření

na jednotlivých stanoviscích byla použita prostorová polární metoda. Zaměření měřické sítě a podrobné měření probíhalo odděleně ve dvou etapách. Zpracování měření a výpočet prostorových souřadnic bodů byly provedeny v geodetickém programu Groma.

Pro fotogrammetrickou dokumentaci exteriéru byla zvolena průseková metoda. Snímkování bylo provedeno digitálním fotoaparátem Nikon D100 s kalibrovaným širokoúhlým objektivem. Pro stabilní a neměnnou polohu fotoaparátu při snímkování byl použit stativ a drátěná spoušť. Snímková sada pro průsekovou

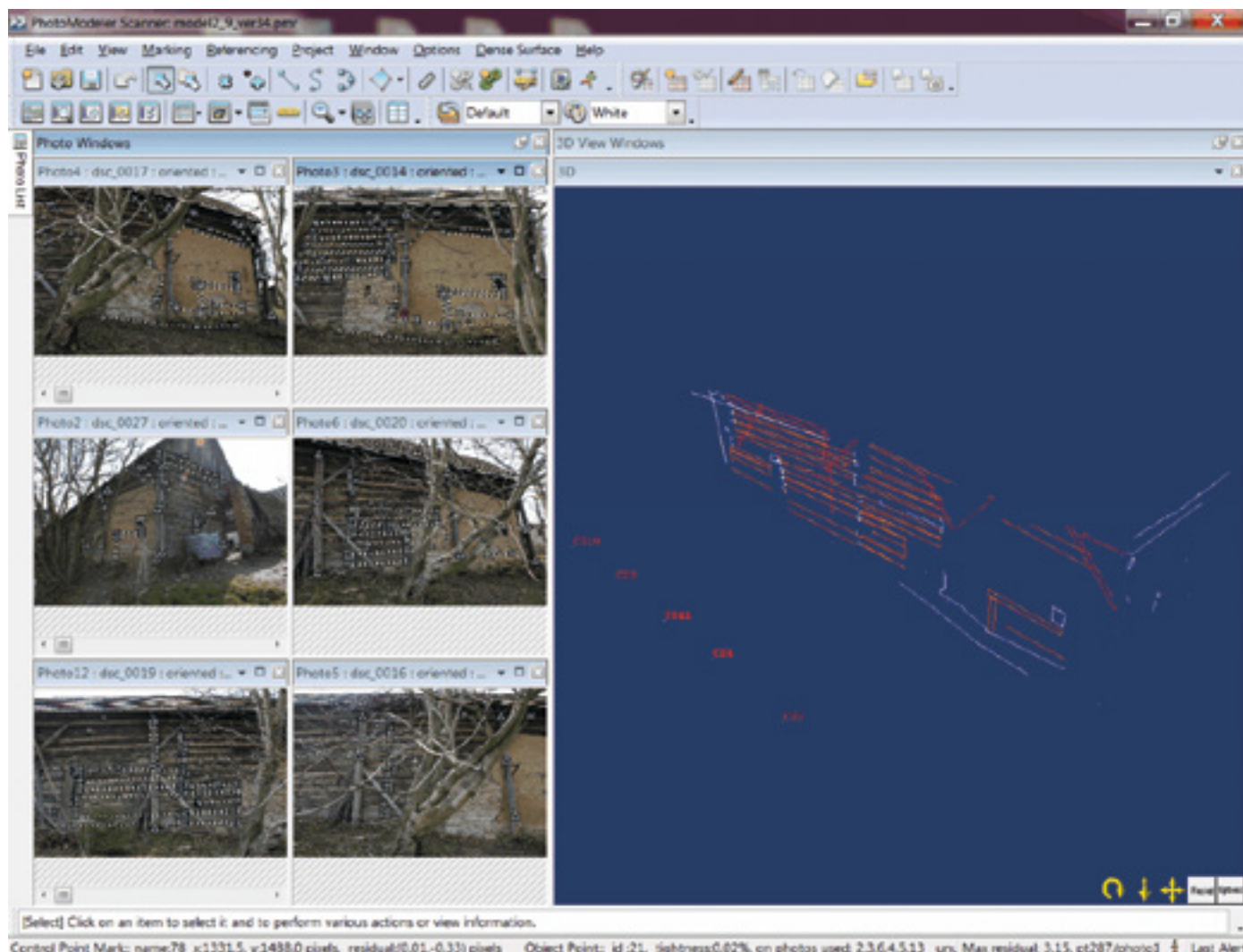
6. Ukázka snímku se signalizovanými vlíčovacími body, 2005, foto L. Tláskal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Example of a picture with signalled ground control points. Aufnahme mit den signalisierten Passpunkten.



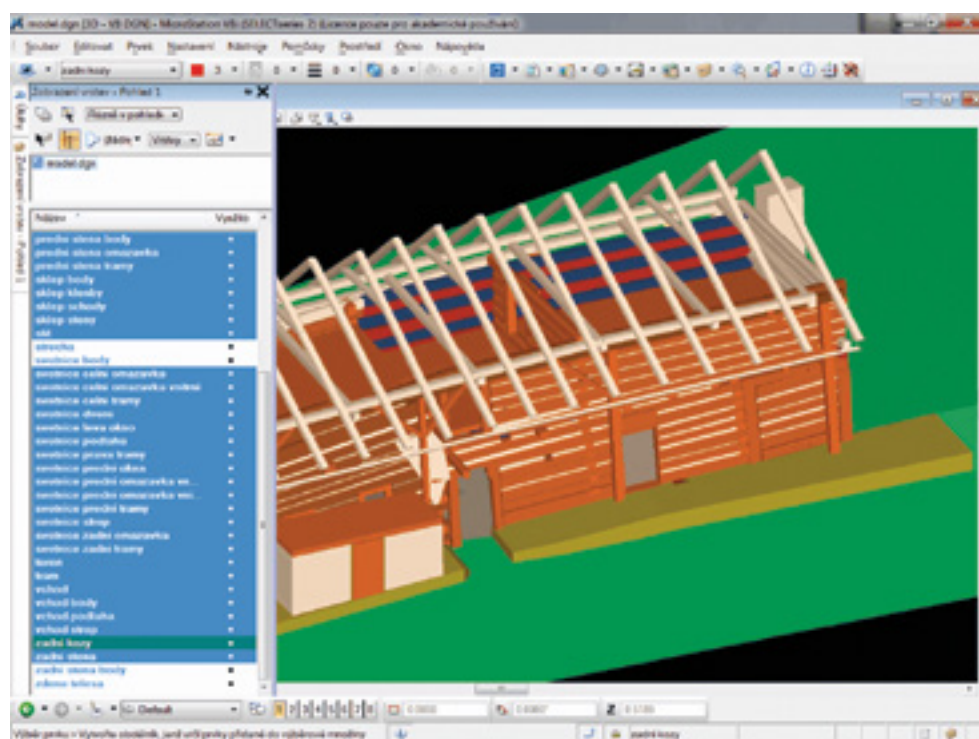
fotogrametrii musí být pořízena jedním nastavením objektivu, což je třeba mít na paměti při použití automatických a poloautomatických fotografických přístrojů. V praxi to znamená nepoužívat zoom, resp. nastavit objektiv do krajní polohy, snímkování provádět přibližně ve stejné vzdálenosti od objektu, zaostřit na *nekonečno* nebo na průměrnou vzdálenost od objektu a zaostření neměnit. Neméně důležitý je dostatečný překryv sousedních snímků, na kterých budou zachyceny stejně dobře identifikovatelné body. Fotogrammetrické zpracování bylo provedeno pomocí programu PhotoModeler. Ze snímků byly vytvořeny celkem dva dílčí modely, přičemž první model dokumentuje jihozápadní průčelí, a druhý model dokumentuje severozápadní a severovýchodní průčelí. Vyhodnocení bylo nutné provést odděleně, protože díky omezeným podmínkám pro snímkování (další zástavba) se nepodařilo pořídit

snímky nutné pro propojení modelů. Vlícovací body byly zaměřeny s dostatečnou přesností, tudíž bylo možné oba modely později bez problémů spojit. Přesnost vyhodnocení příznivě ovlivnil známý kalibrační protokol použitého fotoaparátu. Prvky vnitřní orientace a zkreslení objektivu byly určeny při přípravném kalibračním měření. Postup orientace snímků zahrnoval, terminologií programu PhotoModeler, referencování spojovacích bodů, výpočet relativní orientace. Výsledkem tohoto kroku je vypočtený model ještě bez přesného měřítka a orientace v prostoru. Absolutní orientaci modelu lze provést buď definicí souřadnicových os a jedné délky, nebo, jako v tomto případě, pomocí vlícovacích bodů. Výsledkem fotogrammetrického zpracování byly soubory ve vektorovém formátu DXF obsahující charakteristické body a spojnice objektu (obr. 7).

7. Ukázka výstupu fotogrammetrického zpracování snímku v programu PhotoModeler, 2005, foto L. Tláškal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Example of the output of photogrammetric processing of a picture using the programme PhotoModeler. Im Programm PhotoModeler fotogrammetrisch bearbeitete Aufnahme.



8. Ukázka 3D modelu v programu MicroStation, 2005, foto L. Tláškal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Example of a 3D model in the programme MicroStation. 3D-Modell im Programm MicroStation.



Zpracování 3D modelu a 2D měřické dokumentace

Konstrukce 3D modelu, vizualizace objektu a výkresová dokumentace byly provedeny v CAD systému MicroStation. Program pracuje s vlastním vektorovým formátem DGN, novější verze již plně podporuje i formát DWG. Výkresy v obou formátech lze libovolně kombinovat.

Zpracování 3D modelu

Prvním krokem byl import souřadnic bodů získaných geodetickým a fotogrammetrickým zaměřením. Pro snazší orientaci a zpracování byly spolu související souřadnice měřených bodů rozděleny do samostatných textových souborů, a ty byly postupně načítány do příslušných vrstev výkresu. Pro tento účel lze výpočetní program Groma a CAD MicroStation vzájemně propojit. Druhým krokem byly konstrukce částí stavby, které bylo možné řešit samostatně, např. střecha, sklep a kozy podpírající krov. Prostorový model byl od začátku řešen jako celek (obr. 8). Nejprve byly doplněny linie reprezentující vnější stěny a linie mezi zaměřenými body uvnitř objektu. V této fázi zpracování byla nezbytná neustálá kontrola náčrtů a snímků. Dále, když již existovala kostra objektu tvořená liniemi, bylo možné volit roviny a plochy, do kterých byly promítnuty obrysy trámů získaných fotogrammetricky. Vytažením takto vzniklých

profilů byly zkonstruovány jednotlivé trámy (použita byla určitá míra generalizace). Tento způsob umožňoval přesné zachycení tvaru vnější části trámu, ale vznikl tak pouze hranol, což přesně neodpovídá skutečnosti. Dalším využitým způsobem pro konstrukci trámů byla volba profilu, který reprezentoval příčný průřez trámu a jeho vytažení po linii odpovídající jeho průběhu. Tento způsob byl využit v případech, kdy nebyl znám vnější obrys trámu, a nebo pouze jeho části. Dalším krokem byla konstrukce vnitřních stěn a stropních trámů, jejichž zakončení bylo patrné na vnějších stěnách objektu. Když byla dokončena *hrubá* konstrukce modelu, bylo přikročeno ke konstrukci detailů, otvorů a na stěny a do prostoru mezi trámy byla doplněna omazávka.

Vizualizace 3D modelu

Postup tvorby vizualizací je možné obecně rozdělit do tří základních kroků:

- přiřazení textur a materiálů,
- nastavení druhu a směru osvětlení,
- renderování.

Textury se při procesu tvorby vizualizace přiřazují jednotlivým plochám v 3D modelu, zprvu jednobarevným. Použití textur získaných přímo ze snímků dává vizualizacím větší autentičnost. Využívá-li se textura z více snímků, může nastat barevný nesoulad na styku

opakujících se textur, který snižuje kvalitu vizualizace. Pro nastavení osvětlení modelu je v systému MicroStation možné využít kombinace tři základních druhů světelných zdrojů. Světlo s rovnoběžnými paprsky, které se svými vlastnostmi nejvíce podobá světlu ze vzdálených zdrojů, dále bodové světlo a světelný kužel. Použití rovnoběžných světelných paprsků je výpočetně nejméně náročné a nejlépe vystihuje přirozené denní světlo. Paleta nástrojů pro tvorbu vizualizací se obvykle odlišuje v závislosti na použitém softwaru. Vzhledem k tomu, že již existovala podrobná fotodokumentace stavby, bylo cílem vizualizací realizovat pohled přesahující možnosti klasických snímků, např. vizualizace podélného řezu, pohled odkrytou střechou apod. (obr. 9, 10).

Zpracování 2D měřické dokumentace

V této části zpracování byly využity tři základní postupy, které využitý software nabízí:

- výpočet skrytých hran modelu, který byl použit jako základ pro výkresy pohledů,
- řezy modelem jednou či více rovnoběžnými rovinami, které byly využity jako podklad pro kresbu půdorysů jednotlivých podlaží a příčného řezu,
- kolmé průměty do těchto rovin.

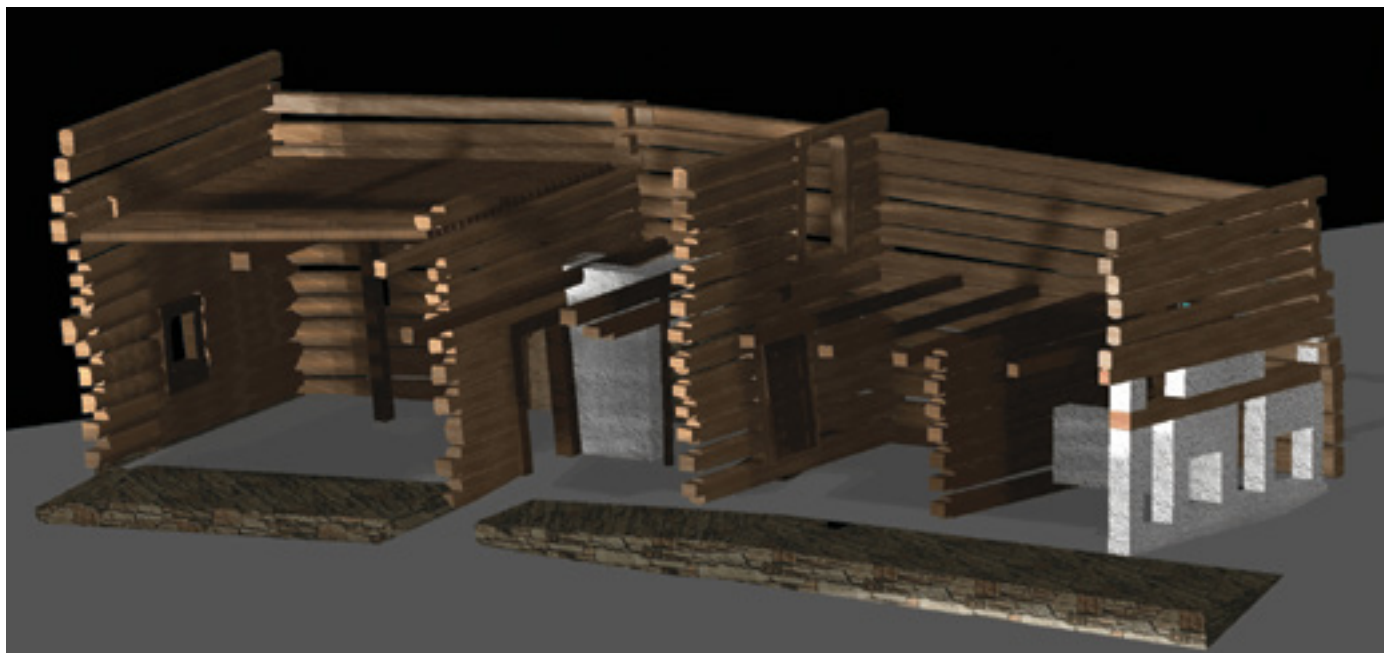
Před každým výpočtem bylo nutné natočit model kolmo ke směru pozorování. V programu MicroStation je nejvhodnější použít postup, při kterém je rovina

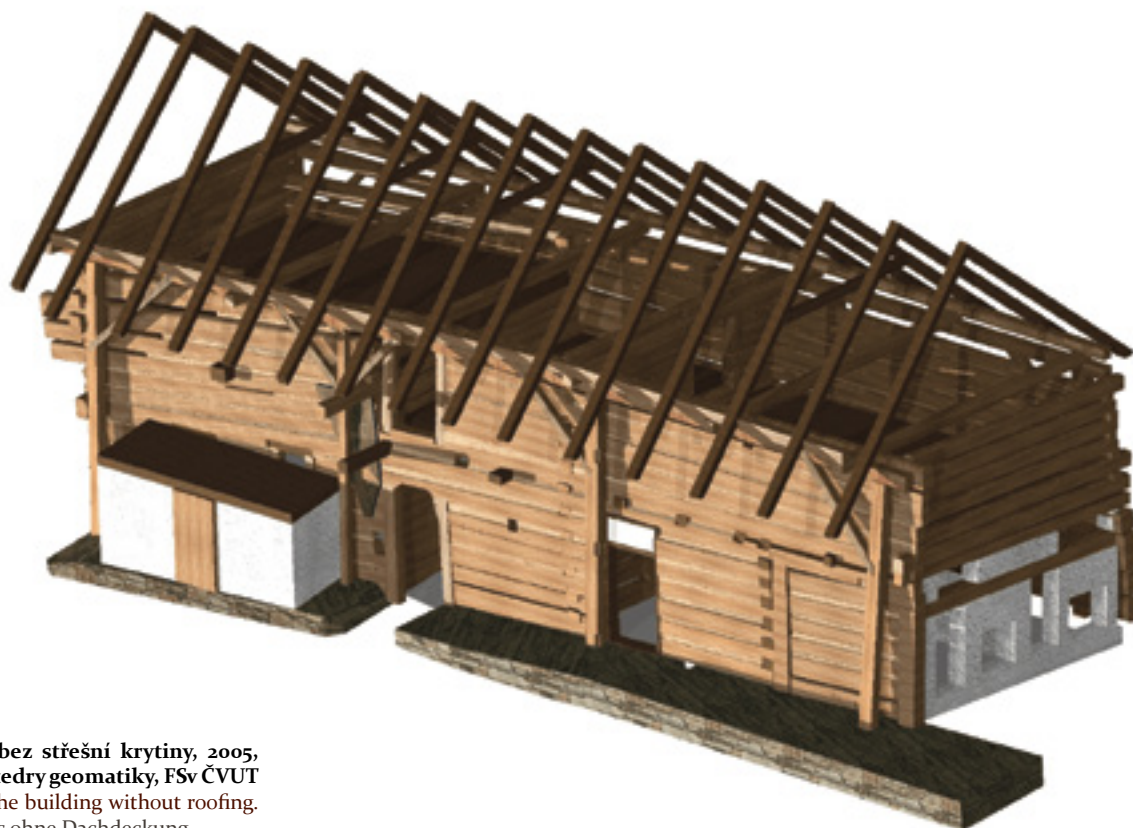
pohledu definována třemi body, k čemuž byla zkonstruována *pomocná krychle*, jejíž dvě stěny jsou vodorovné a dvě rovnoběžné s danou stěnou modelu, natočení pohledu je pak možné jejím prostřednictvím. Krychle byla zvolena několikanásobně větší, než je samotný model, aby se případné nepřesnosti projevíly minimální měrou.

Závěr

Cílem příspěvku bylo přiblížit metodu fotogrammetrie zájemcům z oblasti památkové péče, podat lehký přehled o fotogrametrii jako oboru vhodném k dokumentačním, resp. měřickým pracím nejenom v oblasti památkové péče. Cílem bylo prezentovat výsledky případové studie, která se zabývala dokumentací roubeného domu čp. 97 v obci Čistá u Litomyšle. Detailní zpracování snímků a podrobné geodetické zaměření vnitřních prostor tohoto objektu umožnilo jeho podrobné prostorové vymodelování (obr. 9, 10, 11) a vyhotovení měřické dokumentace. Realizace samotného 3D modelu představovala přibližně 25 % časové náročnosti zpracování případové studie, což by se v případě komerční zakázky projevilo na celkových nákladech na dokumentaci. Na druhou stranu je vytvořený prostorový model velmi názorný, může obsahovat informace, které jsou jiným způsobem jen těžko postihnutelné, a umožňuje realizaci dalších výstupů, např. model stavebněhistorického vývoje a vizualizace zamýšlených zásahů apod.

9. Vizualizace podélného řezu objektem, 2005, foto L. Tláskal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Visualization of the longitudinal section of the building. Visualisierung des Längsschnittes vom Objekt.





10. Vizualizace objektu bez střešní krytiny, 2005, foto L. Tláškal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Visualization of the building without roofing. Visualisierung des Objektes ohne Dachdeckung.



11. Výsledná vizualizace objektu, 2005, foto L. Tláškal, archiv Katedry geomatiky, FSv ČVUT v Praze. Final visualization of the building. Endvisualisierung des Objektes.

Současná doba je specifická snahou minimalizovat náklady spojené s předprojektovou přípravou, do které patří mj. dokumentace stávajícího stavu objektu před plánovanou stavební činností. Podrobná dokumentace stavby ve spojení s kvalitní stavebněhistorickou analýzou v kontextu nákladů může zabránit vícepracím oproti původnímu projektu.

V posledním desetiletí se značně zvýšila dostupnost měřických a softwarových technologií pro zpracování prostorových dat a technologií pro jejich sdílení a archivaci. Cena podrobných a přesných 3D modelů a 2D dokumentace vzniklé na jejich základě je stále relativně vysoká, ale díky zmíněnému technologickému rozvoji proniká i do oblasti dokumentace lidové architektury.

Poznámky

- 1 TLÁSKAL, Lubomír. *Zhotovení měřické dokumentace výměnku vesnické usedlosti v obci Čistá čp. 97 (Svitavy)* [rukopis diplomové práce]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra Mapování a kartografie, 2005.
- 2 HODAČ, Jindřich. Fotogrammetrické metody. In: VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2014, s. 35–36.
- 3 HODAČ, Jindřich. Jednosnímková fotogrammetrie. In: VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2014, s. 36–37.
- 4 SIMphoto: jednoduchá jednosnímková fotogrammetrie [online]. Praha: Katedra geomatiky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2013 [cit. 22. 2. 2016]. Dostupné z: <http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/simphoto/>
- 5 TopoL xT. *TopoL Software: GIS a fotogrammetrie* [online]. Praha: TopoL Software, 2016 [cit. 22. 2. 2016]. Dostupné z: <http://www.topol.eu/articles/topol>
- 6 HODAČ, Jindřich. Průseková fotogrammetrie. In: VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2014, s. 40–41.
- 7 Podrobněji viz PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie* 10. 2. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, s. 43–45.
- 8 PhotoModeler [online]. Vancouver (Kanada): Eos Systems, 2015 [cit. 24. 2. 2016]. Dostupné z: <http://www.photomodeler.com/index.html>
- 9 MicroStation. *GISoft – CAD, GIS, systémy pro správu infrastruktury, projekční systémy* [online]. Ostrava: GISOft, 2016 [cit. 26. 2. 2016]. Dostupné z: <http://www.gissoft.cz/MicroStation/MicroStation>
- 10 HODAČ, Jindřich. Stereofotogrammetrie. In: VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2014, s. 39.
- 11 HODAČ, Jindřich. Metoda obrazové korelace. In: VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2014, s. 40–43.
- 12 MÍŘÍJOVSKÝ, Jakub. *Bezpilotní systémy: Sběr dat a využití ve fotogrammetrii*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013, s. 100–103.
- 13 HODAČ, Jindřich. Tvorba detailních digitálních 3D modelů na podkladě fotografických snímků. In: *Dějiny staveb 2012: Sborník vybraných referátů z konference v Nečtinech ve dnech 23. 3.–25. 3. 2012. Plzeň: Klub Augusta Sedláčka, 2012, s. 195–202.*
- 14 Tamtéž.
- 15 Agisoft PhotoScan [online]. St. Petersburg (Rusko): Agisoft, 2016 [cit. 24. 2. 2016]. Dostupné z: <http://www.agisoft.com/>
- 16 Geomagic Wrap: 3D Imaging software. *Geomagic* [online]. Rock Hill (USA): Geomagic, 2015 [cit. 24. 2. 2016]. Dostupné z: <http://www.geomagic.com/en/products/wrap/overview>
- 17 TLÁSKAL, Lubomír. *Zhotovení měřické dokumentace výměnku vesnické usedlosti v obci Čistá čp. 97 (Svitavy)* [rukopis diplomové práce]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra Mapování a kartografie, 2005.
- 18 EBEL, Martin, ŠKABRADA, Jiří, SYROVÝ, Jiří, SYROVÁ, Zuzana a KYNCL, Josef. *Čistá čp. 97 (okres Svitavy) – výměnek vesnické usedlosti: stavebně-historický průzkum*. Praha – Brno, 2002.

Photogrammetric documentation of vernacular buildings – timbered house No. 97 in Čistá

Zdeněk Poloprutský, Jindřich Hodač, Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague

Keywords: 3D model, MicroStation, PhotoModeler, intersection photogrammetry, image correlation, survey documents

The objective of the present contribution is to give an idea of photogrammetry to those interested in the field of heritage preservation. Current photogrammetric methods and their outputs are briefly introduced in the text. The practical use of some of the methods is specifically described in a case study dealing with the documentation of the timbered house No. 97 in the locality of Čistá near Litomyšl.

Photogrammetric documentation of buildings combines the advantages of geodetic measurement with photography, thus maintaining information about colours, plasticity, the material composition, etc.

In the ideal case, it combines the use of photographic and geodetic devices, which enable to obtain a photographic documentation of the building as well as a geodetic survey of the ground control points, which are essential for achieving quality photogrammetric outputs. The ground control points must be clearly identifiable on the area documented. They can either be a natural part of the building or artificial in the form of signalled spots.

The availability of survey and software technologies for the processing of spatial data including photogrammetric processing, sharing and archiving of the data has significantly increased over the last

decade. The costs of detailed and precise 3D models and of 2D documentations created on their basis are rather high, but due to the technological development, they have found use also in the field of the documentation of vernacular architecture. Two software tools capable of abstracting good-quality 2D and 3D outputs from ordinary snapshots are available at present. The following types of output of photogrammetric methods exist:

- graphic – vector drawings similar to geodetic methods, i.e. 2D plans and 3D models,
- image – a grid 2D output in the form of an orthophotomap or a photoplan,
- numerical – a spot output, such as a point cloud.

Fotogrammetrische Erfassung der Bauten im ländlichen Raum das – Blockhaus Nr. 97 in Čistá

Zdeněk Poloprutský, Jindřich Hodač, Lehrstuhl für Geomatik, Fakultät für Bauingenieurwesen, Tschechische Technische Universität in Prag

Schlüsselwörter: 3D-Modell, MicroStation, PhotoModeler, Einschnidefotogrammetrie, Bildkorrelation, Messdokumentation

Dieser Artikel setzt sich zum Ziel, den Interessenten aus dem Bereich der Denkmalpflege die wissenschaftliche Disziplin Fotogrammetrie nahezubringen. Im Text werden knapp die zeitgenössischen fotogrammetrischen Methoden, sowie die mittels ihnen gewonnenen Daten vorgestellt. Die praktische Nutzung einiger Methoden wird konkret auf einer Fallstudie gezeigt, die sich mit der Erfassung des Blockhauses Nr. 97 in der Gemeinde Čistá nahe Litomyšl (Leitomyšl) beschäftigt. Die fotogrammetrische Dokumentation der Bauobjekte kombiniert die Vorteile der geodätischen Messung und der Fotografie, wodurch die Informationen über die Farbigkeit, Plastizität, Materialzusammensetzung usw. bewahrt werden.

Im Idealfall wird der Gebrauch der fotografischen und geodätischen Geräte kombiniert, welche ermöglichen, sowohl die fotografische Objektdokumentation anzufertigen, als auch die geodätische Messung der Passpunkte durchzuführen, die eine wichtige Voraussetzung für die Erreichung der hochwertigen fotogrammetrischen Ergebnisse darstellen. Die Passpunkte müssen auf der dokumentierten Fläche oder auf dem Objekt identifizierbar sein, sie können einen natürlichen Bestandteil des Objektes darstellen oder sie können durch Scheiben signalisiert werden.

Die Mess- und Softwaretechnologien für die Bearbeitung der Raumdaten, die Technologien für ihre fotogrammetrische Bearbeitung, sowie die Möglichkeiten von deren Teilung und Archivierung wurden im letzten Jahrzehnt wesentlich einfacher als in der Zeit davor zugänglich. Obwohl der Preis der detaillierten und genauen 3D-Modelle und der auf deren Basis entstandenen 2D-Dokumentation relativ hoch ist, dringen diese Technologien dank der schnellen Entwicklung auch in den Bereich der Erfassung von Bauten im ländlichen Raum hinein.

Zurzeit verfügt man über verschiedene Softwarewerkzeuge, die imstande sind, hochwertige 2D- und 3D-Resultate aus den „gewöhnlichen“ Aufnahmen zu abstrahieren.

Die Ergebnisse der fotogrammetrischen Methoden können folgende Form haben:

- eine grafische Form, d. h. Vektorzeichnung, ähnlich wie bei den geodätischen Methoden, d. h. 2D-Pläne und 3D-Modelle,
- Bildausgabe, d. h. 2D-Rasterausgabe in der Form von Orthofotokarte oder Luftbildplan,
- numerische Ausgabe, d. h. Punktausgabe, wie z. B. Punktwolke.