
**FOTOGRAMETRIA AKO EFEKTÍVNY NÁSTROJ NA DOKUMENTÁCIU
SKUTOČNÉHO VYHOTOVENIA STAVBY**

**PHOTOGRAMMETRY AS EFFICIENT TOOL FOR DOCUMENTATION OF
ACTUAL REALIZATION OF CONSTRUCTION**

Veronika Sojková¹¹⁰, Milan Nič¹¹¹, Marek Fraštia¹¹²

ABSTRAKT:

Digitálna doba priniesla aj do vednej disciplíny fotogrametrie významné zmeny. V minulosti bolo možné využívať na metrické účely len špecializované a drahé prístroje tak na snímkovanie ako aj na spracovanie snímok a spracovateľ musel disponovať nemalými odbornými vedomosťami.

V súčasnosti je možné využívať bežné digitálne fotoaparáty, spracovanie snímok sa realizuje na PC softvéri v dostupných cenách a samotné softvéry sú zostavené tak, aby boli „užívateľsky priateľské“ odborníkom aj z iných vedných disciplín ako je fotogrametria. Príspevok má za cieľ priblížiť možnosti fotogrametrie ako efektívneho meracieho nástroja pre rôzne profesie vrátane súdneho znalectva.

ABSTRACT:

Digital era brought to the discipline photogrammetry significant changes. In the past, only specialized and expensive equipment both on imaging and image processing could be used for metrical purposes and the operator had to have considerable expertise.

It is now possible to use conventional digital cameras, image processing is implemented on the PC by software at affordable prices and the actual software is built to be "user friendly" to experts from other disciplines such as photogrammetry. Paper aims to bring the possibility of photogrammetry as a efficient measurement tool for variety of professions including forensic science.

KLÍČOVÁ SLOVA:

digitálna fotogrametria, efektívne meranie

KEYWORDS:

digital photogrammetry, efficient measurement

1 ÚVOD

Fotogrametria je nepriama meračská technológia, ktorá rekonštruje tvar, rozmer a polohu objektov meraním a spracovaním ich fotografických obrazov. Fotogrametria jako technická veda je stará približne 160 rokov (počiatky ale siahajú až do 17. storočia) prešla za ten čas 4

¹¹⁰⁾ Sojková, Veronika, Ing. – Ústav súdneho znalectva, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68, Bratislava, veronika.sojkova@stuba.sk

¹¹¹⁾ Nič, Milan, doc. Ing., PhD. – Ústav súdneho znalectva, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68, Bratislava, milan.nic@stuba.sk

¹¹²⁾ Fraštia, Marek, Ing. PhD. – Katedra geodézie, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68, Bratislava, marek.frastia@stuba.sk

základnými epochami vývoja a to od stolovej (priesekovej) fotogrametrie, cez analógovú, analytickú až do súčasnej digitálnej fotogrametrie.

Pretože metódy spracovania boli v minulosti založené na prístrojovom (nie počítačovom) vyhodnotení, snažili sa fotogrametri pri snímkaní v teréne čo najexaktnejšie dodržať podmienky pre následné stereoskopické alebo konvergentné vyhodnotenie. To vyžadovalo konštrukciu veľmi presných, robustných kamier v kombinácii s teodolitom – tzv. fototeodolit. Spracovanie takých snímok bolo potom výpočtovo veľmi jednoduché.

V súčasnosti máme veľmi podrobne prepracovanú analytiku centrálnej projekcie a ďalších výpočtových postupov a vďaka výpočtovej technike nie je problém tieto úlohy riešiť. To umožnilo použiť na rekonštrukciu objektov aj kamery pôvodne určené pre fotogrametriu a prinieslo to aj pomerne veľkú voľnosť do snímkania v teréne. A to všetko s mnohonásobne vyššou efektivitou v zmysle zníženia času, personálu, nákladov a zvýšenia presnosti a množstva formátov a objemu výstupov.

Bežne dostupné mobilné meracie technológie na určenie geometrických charakteristík objektu môžeme zhrnúť do:

- meranie dĺžok – posuvným meradlom, pásmom, laserom, ultrazvukom,
- meranie uhlov a vzdialeností – univerzálnymi meracími systémami,
- určenie súradníc, plôch a objemov – z vyššie uvedených technológií a pomocou fotogrametrie a laserového skenovania.

Určiť geometriu zložitejších objektov je náročná úloha aj pre odborníkov na meranie – geodetov, nevystačíme si tu iba s dĺžkami. Hlavné výhody fotogrametrie oproti ostatným spomenutým technológiám sú nasledovné [1]:

- *Bezkontaktné meranie.* Postačuje ak je objekt zachytený na snímke, nepotrebujeme sa ho fyzicky dotknúť. To je výhodou predovšetkým pri výškových objektoch, nedostupných alebo zamorených objektoch. Dôležitý môže byť aj fakt, že je to neinvazívna dokumentačná technológia, teda nenarúšame samotný objekt dotykom.
- *Úspora terénnych prác.* Stačí iba „nasnímkovať“ a určiť mierku a sme v teréne hotoví.
- *Presnosť na úrovni od 0,01 mm – 50 mm.* Presnosť je závislá od snímkovej mierky, resp. vzdialenosti snímkania od objektu. Približne môžeme povedať, že pri snímkaní zo vzdialenosti 10 m dosiahneme presnosť na objekte 1 – 5 mm. Vysoká presnosť je využiteľná napr. pri meraní trhlín alebo deformácie objektu.
- *Na snímke je zachytený stav v úzkom časom reze.* Dôležité najmä pre dynamicky sa správajúce objekty (napr. zaťažovacie skúšky, pohybujúce sa objekty).
- *Samotný fotografický záznam.* Snímka nám neposkytuje len kvantitatívne (geometrické) ale aj kvalitatívne (texturálne, spektrálne) vlastnosti objektov. To znamená, že získavame podrobný vizuálny prehľad o situácii zobrazenej na snímke. Rádiometrické informácie sú dôležité vo forenzných aplikáciách ako napr. dopravné nehody (šmyková dráha) alebo rekonštrukcia miesta činu (krvavé škvrny a pod.)
- *Automatizácia spracovania pri niektorých typoch objektov.* Digitálna technológia poskytuje možnosti automatizácie pri orientácii snímok, identifikácii kódových meracích značiek a tvorbe 3D plôch.
- *Nízke obstarávacie aj prevádzkové náklady.* Oproti univerzálnym meracím staniciam, laserovým alebo optickým skenerom s príslušenstvom je cena systému kamera+PC+softvér zanedbateľná. Samozrejme v porovnaní s jednoduchým

dialkometerom je výrazne vyššia, ale ako už bolo spomenuté, zložitejšie objekty len s dialkometerom nezmeriame.

2 PRÍSTROJE A NÁSTROJE FOTOGRAMETRIE

Pod pojmom fotogrametrický prístroj rozumieme fotografický aparát (kameru) a pod pojmom nástroj rozumieme spracovateľský fotogrametrický softvér.

2.1 Prístrojové vybavenie - kamery

Súčasnú digitálnu kamery majú široké spektrum parametrov a môžeme ich rozdeliť podľa veľkosti elektro-optického snímača (CCD/CMOS) na kamery [2]:

- s malým snímačom – snímač má veľkosť od 4 mm x 2 mm do 24 mm x 16 mm,
- s full frame snímačom – 36 mm x 24 mm (ako kinofilmový formát),
- s digitálnou stenou – snímač má veľkosť až do 52 mm x 48 mm,
- veľkoformátové digitálne kamery – výsledný obraz je vyskladaný z viacerých čiastkových a má niekoľko sto megabytov.

Samozrejme, medzi jednotlivými skupinami je aj značný rozdiel v cene, ktorý stúpa exponenciálne. Pre metrické účely v strednej a nižšej presnosti postačujú bez problémov všetky kamery z prvých dvoch skupín, teda v cenových hladinách od 100 € do 4000 €, teda 5 až 22 megapixelové fotoaparáty.

2.2 Softvérové vybavenie

Softvéry na spracovanie digitálnych obrazov môžeme podľa funkcie rozdeliť do 4 základných skupín a to softvér pre:

- konvergentné snímky,
- stereosnímky,
- automatizovanú tvorbu 3D plôch (objektov),
- a softvéry ktoré kombinujú uvedené techniky.

Na účely jednoduchého merania súradníc, dĺžok, plôch a objemov postačujú softvéry pre konvergentné snímky. Ich cena sa pohybuje na úrovni cca 1 500 € ale je možné, že existujú aj lacnejšie varianty. Softvéry pre automatizovanú tvorbu 3D plôch a objektov vyžadujú premenlivú textúru povrchov a ich ceny sa pohybujú od 2 500 € do 10 000 €.

3 PRACOVNÝ PROCES (WORKFLOW)

Celý fotogrametrický proces zahŕňa prípravné práce, zber údajov v teréne (snímkovanie a pomocné merania), spracovanie snímok a úpravu výstupov do požadovanej formy.

- *Prípravné práce* pozostávajú z rekonštrukcie objektu a okolia, voľby stanovísk snímkovania, zabezpečenia mierky, príp. orientácie modelu. Pri zložitejších a väčších objektoch je potrebné na objekte určiť vličovacie body geodetickým meraním.
- *Snímkovanie* realizujeme tak, aby bolo možné snímky spracovať zvoleným postupom.
- *Spracovanie snímok* vyžaduje špecializovaný softvér. Na snímkach meriame kurzorom predmetné body, identifikujeme identické body a následne dochádza k výpočtu súradníc. Spájaním bodov vytvárame kostru objektu, ktorú potom môžeme doplniť o plochy.
- *Výstup do požadovanej formy* závisí od možností softvéru ale k dispozícii sú vždy štandardizované formáty ako TXT, DWG, DXF, TIFF, JPEG a ďalšie.

4 PRAKTICKÉ PŘÍKLADY VYUŽITÍ FOTOGRAMETRIE

Následující kapitola obsahuje několik praktických ukázek odvození súradníc, dĺžok, plôch a objemov zo snímkov, ako aj možnosti a výhody niektorých výstupných formátov.

4.1 2D Projektívna fotogrametria

Najjednoduchšou fotogrametrickou metódou je prekreslenie snímky *rovinného* objektu do ortogonálnej polohy, teda do polohy zhodnej s výkresom, plánom alebo mapou. Samotnú snímku nemožno považovať za metrický podklad, pretože snímka obsahuje niekoľko skreslení (projektívne, radiálne, geometrické), ktoré významne deformujú ortogonálny priemet (obr. 1). Po softvérovom odstránení týchto skreslení však má snímka charakter presného ortogonálneho priemetu v určitej mierke (obr. 2) [3].



Obr. 1 – Extrémne šikmá snímka fasády budovy
Fig. 1 – Extremely oblique image of building facade



Obr. 2 – Prekreslená šikmá snímka do ortogonálneho priemetu
Fig. 2 – Redrawing oblique image to orthogonal projection

Na obr. 2 je možné vykonávať merania súradníc, dĺžok a plôch, na PC v rôznych softvéroch (AutoCad, Corel atď.) tak, ako na vektorovom výkrese. Celkový čas potrebný na uvedený výsledok bol cca 10 min. v teréne a 10 min. v kancelárii.

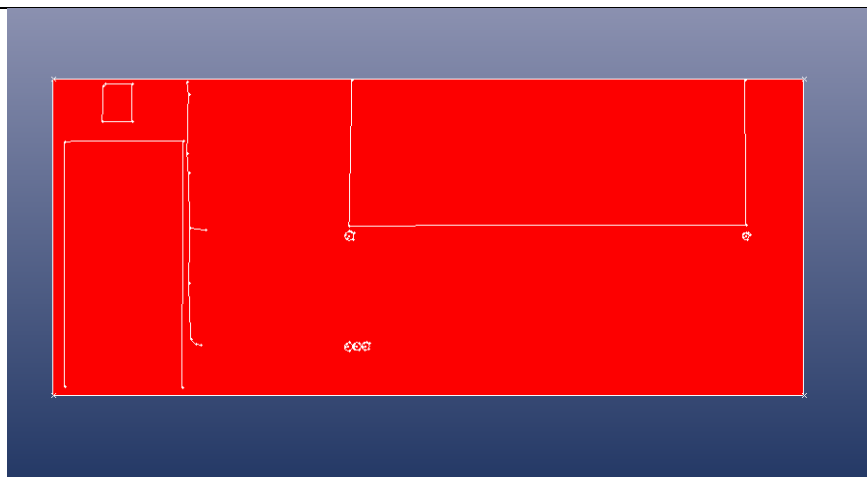


Obr. 3 – Šikmá snímka steny bytu
Fig. 3 – Oblique image of flat's wall

Druhý příklad představuje překreslení neomietnutej steny bytu s elektroinstaláciou (obr. 3). Snímkovanie s určením mierky trvalo 20 s., práca vyhodnocovateľa v softvérovom prostredí 2 min., automatizované překreslenie snímky do ortosnímky s rozlíšením 1 pixel / 1 mm (obr. 4) zabralo 3 min. Presnosť ortosnímky je 3-5 mm na reálnej stene, to znamená, že pre ľubovoľný bod na stene dokážeme určiť jeho lokálne súradnice s presnosťou 3-5 mm, resp. vzdialenosť medzi 2 bodmi dokážeme určiť s presnosťou 4-6 mm.



Obr. 4 – Ortogonálna snímka steny
Fig. 4 – Orthogonal image of wall

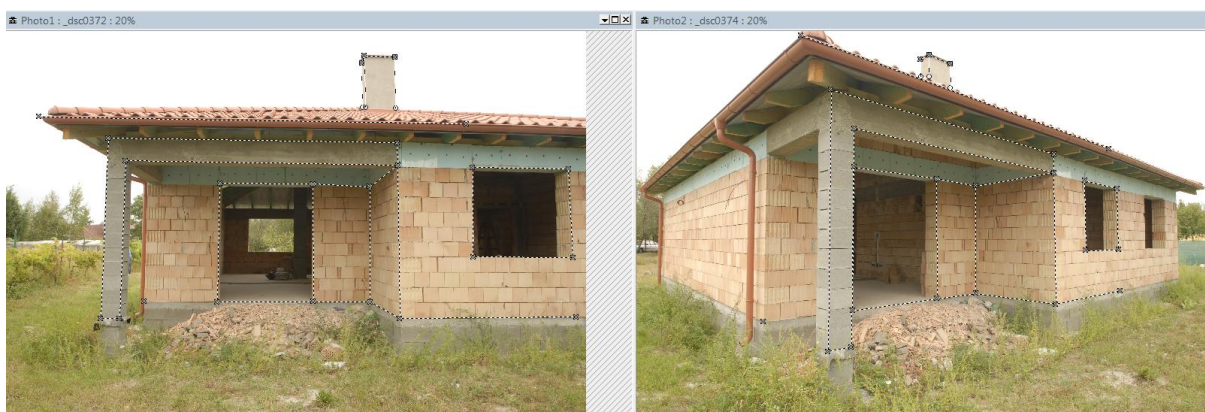


Obr. 5 – Vektorový výkres s elektroinstaláciou
Fig. 5 – Vector drawing of electrical installation

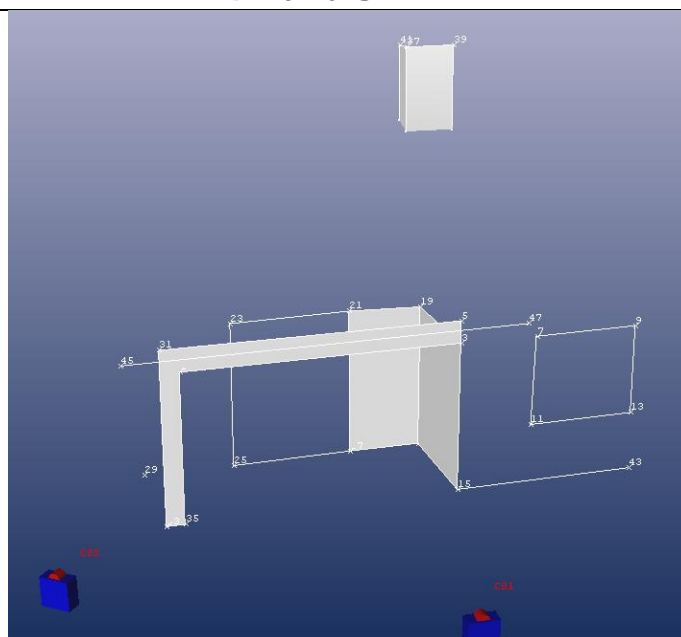
Samozrejme, v interiéroch sú vhodné predovšetkým kamery s krátkymi ohniskovými vzdialenosťami, aby sa na jednu snímku pokiaľ možno dostal celý objekt (stena) alebo aspoň čo najväčšia časť.

4.2 Priestorová konvergentná fotogrametria

Pojem konvergentná fotogrametria súvisí s orientáciou osí záberu (optických osí objektívu) snímok, to znamená, že objekt ktorý chceme priestorovo rekonštruovať snímujeme šikmo s čo najväčším prekrytom tak, aby sa zobrazil najmenej na 2 snímkach (obr. 6). Následne na snímkach označíme lomové body a spustíme výpočet. Výsledkom je priestorová poloha týchto snímkových bodov, z ktorých potom vytvárame digitálny model (obr. 7).



Obr. 6 – Konvergentné snímkovanie
Fig. 6 – Convergent photography



Obr. 7 – Digitálny vektorový model

Fig. 7 – Digital vector model

Čiastočný vektorový model z obr. 7 bol zhotovený v priebehu 1 min. a presnosť lomových bodov je 10 mm. Exteriér celého domu by vyžadoval cca 8 snímok a celkový čas tvorby kompletného 3D modelu cca 1 hod. Podobným spôsobom je možné rekonštruovať aj interiér, je to však náročnejší proces vzhľadom na často nedostatočný odstup kamery od stien a z toho vyplývajúci podstatne väčší počet snímok.

4.3 Výhody aplikácie fotogrametrie na tvorbu dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby.

Vývoj digitálnej fotogrametrie poskytuje nové prístupy na kvalitné modelovanie reálneho sveta okolo nás. Pre potreby sanácie a rekonštrukcie sa fotogrametria využíva pri definovaní presnej geometrie všetkých objektov.

Bežne sa touto meracou technikou dosahuje priestorová presnosť meraného bodu $m_{XYZ} \leq 1$ cm pri snímkovaní zo vzdialenosti okolo 20 - 30 m, čo pre účely projektového zamerania postačuje. Samozrejme, presnosť sa zvyšuje úmerne so skracovaním vzdialenosti snímkovania.

Výhoda fotogrametrických metód spočíva okrem iného vo veľkej úspore terénnych prác, bezkontaktnom meraní, vysokom geometrickom a temporálnom rozlíšení. (meranie detailov a merania objektu zobrazenom v úzkom časovom reze), v stálom vizuálnom kontakte s meraným objektom počas celého procesu spracovania a v možnosti projekcie fotoreálnych texturálnych informácií o meraných povrchoch do výsledkov. To dáva jednak presnú predstavu o stave vonkajších fasádnych materiálov, umožňuje tieto rastrové obrazy priamo vektorizovať (merať), čím sa získa ortogonálny priemet a jednak približuje výsledný počítačový model k vyššiemu stupňu virtuálnej reality.

4.4 Ďalšie aplikácie

Fotogrametria je vďaka svojej povahe silno interdisciplinárna veda, keďže ju využíva množstvo technických aj prírodovedných disciplín na modelovanie záujmových objektov [5].

Typickými aplikáciami sú zaťažovacie skúšky stavebných dielcov, kde hlavné výhody spočívajú v presnosti, bezkontaktnosti, množstve pozorovaných bodov, priestorovému určeniu pozorovaných bodov a nízkych nákladoch.

Jedna z najčastejších aplikácií je dokumentácia fasád pamiatkových objektov, v zahraničí sa využíva na dokumentáciu dopravných nehôd a miesta činu, ďalej je to dokumentácia nástenných malieb, tvorba 3D modelov sôch, meranie tvaru častí ľudského tela (chrbtice, tváre atď.), presné meranie tvaru automobilových karosérií, lietadiel, lodí a pod.

5 ZÁVER

Príspevok mal za cieľ priblížiť širokej odbornej znaleckej verejnosti metódu fotogrametrie ako jednu z meračských technológií, ktorá snáď nie je až taká známa.

V zjednodušenej forme poukazuje predovšetkým na výhody fotogrametrie pri dokumentácii skutočného vyhotovenia stavby. Na konkrétnych príkladoch predstavuje jednotlivé metódy blízkej fotogrametrie.

Samozrejme, ako každá technológia aj fotogrametria má svoje obmedzenia v určitých prípadoch, kde pre správne rozhodnutie najčastejšie zohrávajú úlohu skúsenosti zhotoviteľa.

Aj napriek týmto obmedzeniam praktické, jednoduché a rýchle využitie fotogrametrických metód pri dodržaní požadovanej presnosti poskytujú komplexné a objektívne výsledky pri ich porovnaní s „klasickými“ metódami merania.

6 LITERATURA

- [1] Fraštia, Marek: Tvorba presných priestorových modelov historických objektov metódou blízkej fotogrametrie. In: Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2008: V. vedecko-odborná konferencia s medzinárodnou účasťou. Vysoké Tatry - Stará Lesná, SR, 18.-19.9.2008. - Košice: Ústav geodézie, kartografie a GIS F GERG TU, 2008. - nestr.
- [2] Fraštia, Marek: Blízka fotogrametria, jej aplikácie a nástroje. In: 19. slovenské geodetické dni [elektronický zdroj]: Zborník referátov. Žilina, SR, 3.-4.11.2011. - Bratislava: Komora geodetov a kartografov, 2011. - ISBN 978-80-969809-8-7. - nestr.
- [3] Fraštia, Marek: Kalibrácia a testovanie digitálnych kamier pre aplikácie blízkej fotogrametrie. - Bratislava: STU v Bratislave SvF, 2008. - 114 s. - (Edícia vedeckých prác; č.52). - ISBN 978-80-227-2812-6.
- [4] Chlepková, Miroslava: Aplikácia fotogrametrického skenovania pri testovaní protipožiarnej ochrany tunelového ostenia. In: 47. Geodetické informační dny: Sborník přednášek. Brno, ČR, 8.-9.11.2011. - Brno: Český svaz geodetů a kartografů, 2011. - ISBN 978-80-02-02350-0. - S. 64-69.
- [5] LUHMAN, T. – ROBSON, S. – KYLE, S. – HARLEY, I.: Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications. Dunbeath: Whittless Publishing, 2006. ISBN 1-870325-50-8, 510 p.

Recenzenti: prof. Ing. Pavel Bartoš, PhD.
Ing. Jarmila Nováčiková, PhD.