

# TESTOVANIE STABILITY OBRAZU NA ÚČELY MERANÍ POSUNOV METÓDOU FOTOGAMETRICKEJ ČASOVEJ ZÁKLADNICE

## IMAGE STABILITY TESTING FOR DISPLACEMENT MEASUREMENTS USING TIME BASE PHOTOGRAMMETRY

Andrej Hideghéty<sup>\*,1</sup>

\*andrej.hideghety@stuba.sk

<sup>1</sup>Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovensko

### Abstrakt

Fotogrametrické metódy sa čoraz viac využívajú pri meraní posunov a pretvorení. Jednou z fotogrametrických metód je časová základnica, ktorá sa využíva hlavne na meranie zmien v obrazovej rovine. Jedna z najdôležitejších podmienok na dosiahnutie vysokej presnosti merania touto metódou je zabezpečenie stability kamery v zmysle nemenných prvkov vonkajšej orientácie (PVO). V tejto práci sú skúmané primárne náklony kamery využitím sklonomeru Leica Nivel, ich vplyv a možnosti analytickej korekcie. V tejto súvislosti bol vykonaný experiment snímaním testovacieho a kalibračného bodového poľa kamerou Sony Alpha A7R III, pričom na podložku kamery bol pripavený aj spomínaný sklonomer. Na spracovanie meraní bol využitý fotogrametrický softvér Photomodeler.

### Kľúčové slova

Fotogrametria, posuny, pretvorenia, časová základnica

### Abstract

Photogrammetric methods are increasingly being used to measure displacements and deformations. One of the photogrammetric methods is the time base, which is mainly used to measure changes in the image plane. One of the most important conditions for achieving high accuracy with this method is to ensure the stability of the camera external orientation parameters (EOP). In this work primarily tilts of the camera using the Leica Nivel inclinometer, their impact and the possibilities of analytical correction are investigated. In this context, an experiment was performed by capturing the test and calibration point field with a Sony Alpha A7R III camera, while the inclinometer was also attached to the camera base. Photomodeler photogrammetric software was used to process the measurements.

### Key words

Photogrammetry, deformations, displacements, time base photogrammetry

## 1 ÚVOD

Meranie posunov a pretvorení mostných a iných objektov je kritickým faktorom pre zaistenie ich spoľahlivosti. Už pri výstavbe, resp. počas zaťažovacích skúšok mostov je nevyhnutné prípadné deformácie častí objektu odhaliť, aby sa predišlo výraznému zhoršeniu konštrukcie. Merania na tieto účely sa vykonávajú spravidla geometrickou niveláciou, ale aj inými geodetickými metódami, vrátane fotogrametrie. V súčasnosti z fotogrametrických metód metóda časovej základnice [1] má stále väčší potenciál v tejto oblasti. Princíp fotogrametrickej časovej základnice spočíva v snímaní objektov v rôznych časových rezoch. Vďaka vývoju kamier, snímačov, objektívov a fotogrametrických spracovateľských systémov táto metóda nachádza čím väčšie uplatnenie v meraní zmien v snímkovej rovine, a tým pádom aj v meraní posunov a pretvorení. Táto metóda vyžaduje niekoľko predpokladov pre dosiahnutie vysokej presnosti, ktoré sú nasledovné [2]:

- zabezpečenie nemenných PVO kamery,
- rovnobežnosť snímkovej roviny s rovinou alebo smerom predpokladaných posunov,

- meranie obrazových súradníc pozorovaných bodov s presnosťou vyššou ako 0,1 pixela,
- správne určenie mierky,
- vysoké priestorové a geometrické rozlíšenie,
- eliminácia vplyvu distorzií objektívu.

Z hore uvedených predpokladov práve zabezpečenie stability kamery v zmysle nemenných PVO je najnáročnejšie. Existujú však dva prístupy ktorými sa dá čiastočne korigovať prípadné zmeny PVO, a to hardvérovo a analyticky. Hardvérová stabilizácia v tomto prípade predstavuje usadenie kamery na pilier, resp. ťažký fotogrametrický statív (nad 7 kg), dostatočnú aklimatizáciu prístrojového vybavenia a elimináciu vonkajších vplyvov v čo najväčšej miere. Tieto vplyvy môžu byť napr. vibrácie a svetelné a tepelné žiarenia, kvôli ktorým môže dôjsť ku krúteniu statívu. V tejto práci bude testovaný špecifický prístup hardvérovej stabilizácie, jeho overenie Nivelom a zváženie analytickej stabilizácie. Testy boli vykonané v laboratórnych podmienkach.

## 2 SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Najdôležitejším úkonom je zabezpečenie fixnej pozície kamery v zmysle nemenných PVO. Už malé uhlové zmeny osí záberu kamery môžu spôsobiť relatívne veľké zmeny v obrazových súradniciach, a môžu skresliť posuny merané metódou časovej základnice [1]. Yoneyama a Ueada korigovali zmeny PVO pri snímkaní mosta na základe fixných oblastí na snímke a výsledky porovnali deformatrami, ktorými sa dobre zhodovali [3]. Jiang a Jauregui využili vlíčovacie body pre analytickú stabilizáciu kamery [4]. Počas experimentálneho merania Bosporského mosta Wagner, Avşar a ich kolektív využili pilier pre stabilizáciu, o analytických korekciách však nepísali [5], [6], [7]. Abolhasannejad et al. na snímke vybrali oblasti kde sa predpokladalo že nedôjde k posunom, a na základe týchto oblastí stabilizovali kameru analyticky [8]. Fraštia počas laboratórneho testu zaznamenal, že sklápanie zrkadla kamery môže spôsobiť otrasy, ale to v rámci presnosti merania kruhových kódových značiek [9].

## 3 METODIKA

Experiment bol vykonaný kamerou Sony Alpha A7R III a sklonomerom Leica Nivel 210/220. Technické špecifikácie kamery sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Technické špecifikácie použitej kamery a snímky.

Sony Alpha A7R III	
Typ kamery	Mirrorless (Bezzrkadlovka)
Typ snímača	Full frame CMOS
Rozlíšenie snímača	42,4 Mpx
Veľkosť pixela	4,48 $\mu\text{m}$
Veľkosť snímača	35,6 x 23,8 mm
Objektív	Sony FE 35 mm f/1,8
ISO	100
Clona	5
Expozičný čas	1/30 sek.
Obrazový formát	RAW s konv. na TIFF

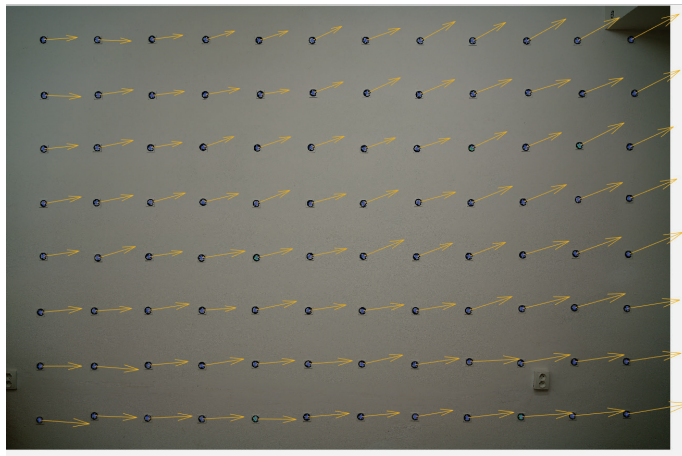
Táto bezzrkadlová digitálna kamera bola zvolená preto, aby sa predišlo otrasom zapríčineným sklápaním zrkadla počas experimentu. Sklonomer Leica Nivel umožňuje vysoko presné meranie stability meracieho systému s výsledkami v reálnom čase. Tento dvojosý senzor má rozlíšenie 0,001 mrad.

Experimentálne meranie bolo vykonané usadením kamery a sklonomeru na spoločnú podložku, a usadením tejto podložky na ťažký statív. Táto konfigurácia bola umiestnená 3,7 m od kalibračného poľa a tým pádom veľkosť strany pixela po priemete na objekt (GSD - ground sample distance) bola 0,47 mm. Po aklimatizácii prístrojov sa spustilo hodinové intervalové snímkovanie, pričom sa vyhotovila každú minútu jedna snímka. Sklonomer meral s krokom niekoľko sekúnd. Nakoľko TKBP sa nachádza v suteréne Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, svetelné aj tepelné podmienky boli konštantné a v laboratóriu sa nikto nepohyboval ani nenachádzal, čím sa predišlo prípadným otrasom a vibráciám.

Snímky boli spracované v softvéri Photomodeler. RAD kódové značky na TKBP boli merané fotogrametricky metódou Least-Square Matching (LSM). Na každej snímke bolo nájdených 96 terčov. Kvôli veľkému počtu bodov a etáp bolo potrebné vyvinúť algoritmus v programovacom softvéri MATLAB pre hromadné spracovanie. Tento algoritmus postupne porovnával jednotlivé etapy s nultou etapou a následne posuny graficky znázornil.

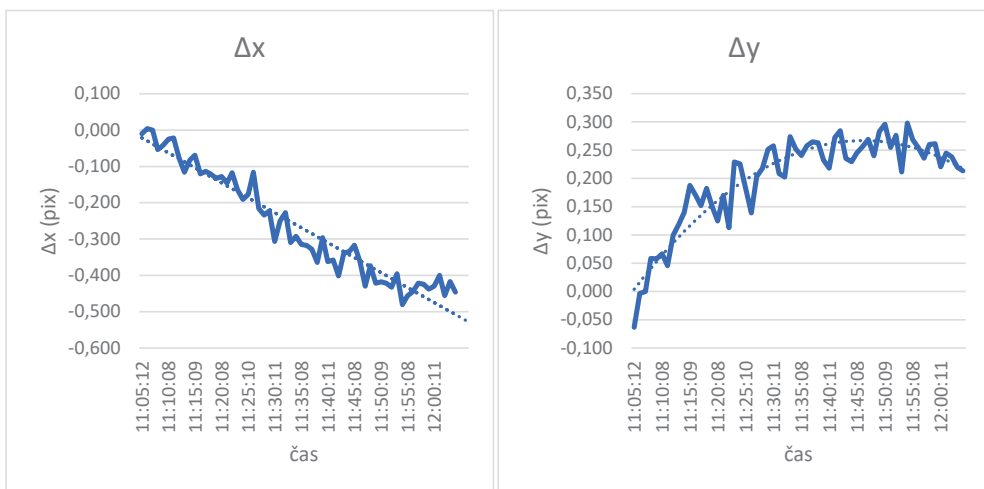
## 4 VÝSLEDKY

Pri grafickom znázornení posunov sa preukázala systematická zložka. Trend smerom doprava bol prítomný pre všetky etapy. Smer a veľkosť posunov je graficky znázornená na Obr. 1.

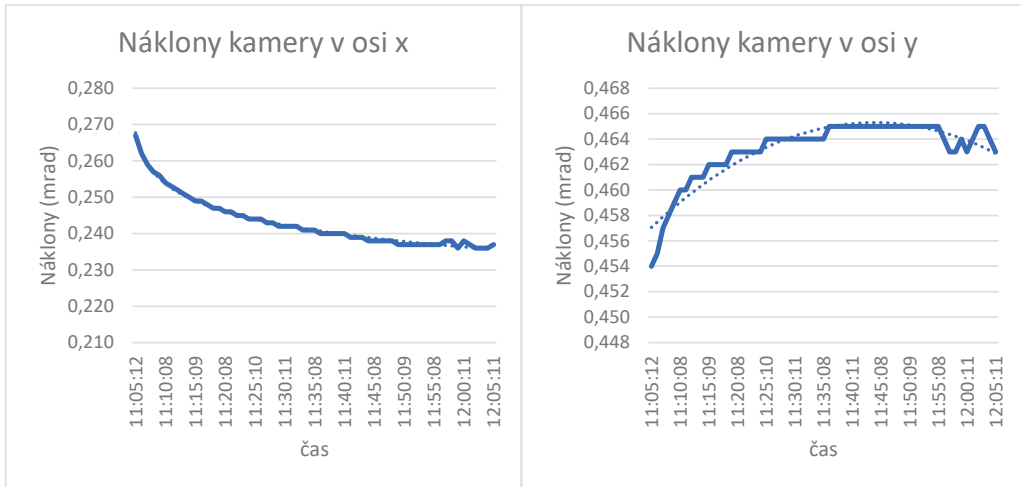


Obr. 1 Smer a veľkosť posunov.

Kvôli pozorovanému trendu boli priemerné posuny v osiach x a y znázornené v grafoch (Obr. 2), ako aj merania zo sklonomeru (Obr. 3).



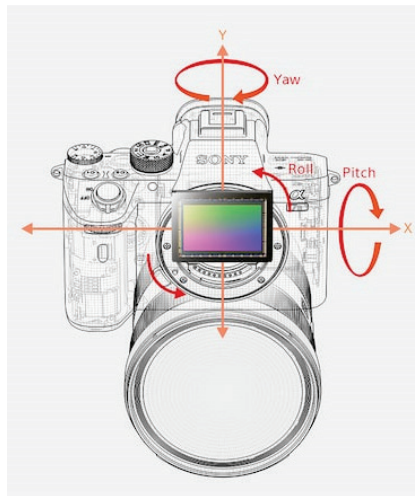
Obr. 2 Zmeny obrazových súradníc v osiach x a y obrazového súradnicového systému ich aproximácia trendovou spojnicou.



Obr. 3 Náklony kamery v osiach x a y v súradnicovom systéme sklonomeru a ich aproximácia trendovou spojnicou.

## 5 DISKUSIA

Na stránke výrobcu sa nachádza interpretácia súradnicového systému kamery, ktorú je nevyhnutné uviesť pre správnu interpretáciu výsledkov (Obr. 4).



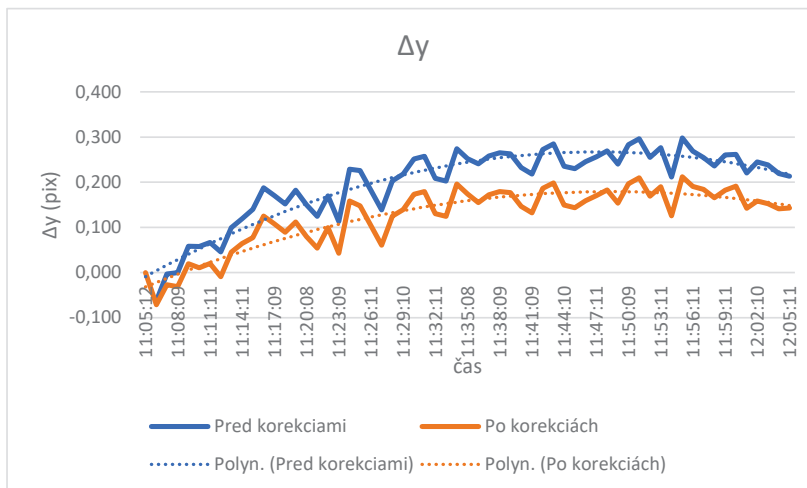
Obr. 4 Výrobcom udaný súradnicový systém kamery [10].

Podľa grafov posuny v smere osi y v obrazovom súradnicovom systéme silno korelujú náklonmi kamery v osi y podľa sklonomeru. Toto prakticky znamená, že kamera sa naklonila okolo svojej osi x (pitch). Trendy v oboch grafoch boli aproximované polynómom druhého stupňa. Náklony  $\alpha$  boli prepočítané na zmeny v pixeloch  $\Delta y$  na základe vzťahu (1).

$$\Delta y = \frac{f \cdot \tan(\alpha)}{pix}, \tag{1}$$

Kde  $f$  je ohnisková vzdialenosť,  $\text{pix}$  veľkosť strany pixela na snímači.

Následne zmeny v osi  $y$  boli korigované podľa náklonov. Korigované zmeny v obrazových súradniciach v osi  $y$  sú znázornené na Obr. 5.



Obr. 5 Zmeny v osi  $y$  pred korekciám a po korekciách.

Z grafu vyplýva, že síce zmeny v osi  $y$  sú menšie ako pred korekciami, okrem samotných náklonov zmeny spôsobia aj iné neodhalené vplyvy.

Zmeny v  $x$ -ovej osi, ktoré sú v súradnicovom systéme označené ako roll, nie je možné korelovať s náklonmi nameranými sklonomerom, a naznačujú posun celej sústavy v osi  $x$  kamery doprava. Tieto problémy s kamerovou konfiguráciou preukazujú na dôležitosť stabilnej podložky, napr. pilieru v ďalších experimentoch, nakoľko problémy vyplývajú pravdepodobne práve z nedostatočnej stability statívu. Cieľom ďalšieho výskumu bude zopakovať experiment usadením kamery na pilier, a vykonať snímkovanie v priebehu niekoľkých hodín.

## 6 ZÁVER

Tento príspevok riešil možnosť overenia stability obrazu na účely merania metódou fotogrametrickej časovej základnice. Konfigurácia pozostávala z kamery, sklonomeru, spoločnej podložky a statívu. V rámci experimentu bolo nasnímkované TKBP v intervale jednej hodiny každú minútu raz. Posuny v obrazovej rovine namerané fotogrametricky, a náklony kamery merané sklonomerom preukázali silnú koreláciu v trende, ale po korekciách tieto nežiadane posuny boli len čiastočne odstránené. Zmeny súradníc v osi  $x$  nepreukázali koreláciu s náklonmi nameranými sklonomerom, a naznačujú posun celej sústavy v osi  $x$  kamery doprava. Tieto problémy s kamerovou konfiguráciou preukazujú na dôležitosť stabilnej podložky, napr. pilieru v ďalších experimentoch, nakoľko problémy vyplývajú pravdepodobne práve z nedostatočnej stability statívu. Cieľom ďalšieho výskumu bude zopakovať experiment usadením kamery na pilier, a vykonať snímkovanie v priebehu niekoľkých hodín.

### PodĎakovanie

Tento príspevok bol vypracovaný s podporou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej Republiky v rámci Agentúry na podporu výskumu a vývoja, č. projektu APVV-18-0472 a Vedeckej grantovej agentúry, č. projektu VEGA 1/0584/19.

### Použité zdroje

- [1] FRAŠTIA, M. a kol.: Možnosti metódy časovej základnice v digitálnej fotogrametrii. In Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2016 [elektronický zdroj]: zborník článkov z 9. vedecko-odbornej konferencie, Demänovská dolina, SR, 21. - 23. 9. 2016 Geodesy, Cartography and Geographic Information Systems 2016. 1. vyd. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2016, CD-ROM, [10] s. ISBN 978-80-553-2603-0
- [2] FRAŠTIA, M. Vybrané aplikácie fotogrametrie v oblasti merania posunov. Habilitačná práca.

- [3] YONEYAMA, Satoru; UEDA, Hiroki. Bridge deflection measurement using digital image correlation with camera movement correction. *Materials transactions*, 2012, 53.2: 285-290.
- [4] JIANG, Ruinian; JAUREGUI, David V. Development of a digital close-range photogrammetric bridge deflection measurement system. *Measurement*, 2010, 43.10: 1431- 1438.
- [5] WAGNER, Andreas, et al. Bridge monitoring by means of video-tacheometer—a case study. *avn-Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 2013, 120.8-9: 283-292.
- [6] WAGNER<sup>1</sup>, Andreas, et al. *Monitoring Concepts Using Image Assisted Total Stations*. 2016.
- [7] AVŞAR, Özgür; AKÇA, Mehmet Devrim; ALTAN, Orhan. Photogrammetric deformation monitoring of the second Bosphorus Bridge in Istanbul.
- [8] ABOLHASANNEJAD, Vahid; HUANG, Xiaoming; NAMAZI, Nader. Developing an optical image-based method for bridge deformation measurement considering camera motion. *Sensors*, 2018, 18.9: 2754.
- [9] FRAŠTIA, M. *Vybrané aplikácie fotogrametrie v oblasti merania posunov*. Habilitačná práca. 2017.
- [10] <https://electronics.sony.com/imaging/interchangeable-lens-cameras/all-interchangeable-lens-cameras/p/ilce7rm3-b>