

MAPOVANIE PROSTRIEDKAMI RPAS A VERIFIKÁCIA JEHO KVALITY

MAPPING BY RPAS AND VERIFICATION OF ITS QUALITY

Marek Fraštia¹, Ondrej Trhan², Marián Marčiš³

Abstrakt:

Príspevok sa zaoberá overením polohovej a výškovej presnosti mapovania pomocou systémov RPAS. Testujeme výsledky dosiahnuté pevným krídlom (Gatewing X100). Analyzované sú aj výsledky spracovania modelov v rôznych aplikáciách (PhotoScan, Pix4D, UAS Master).

Abstract:

The paper deals with the verification of horizontal and vertical accuracy of mapping by remotely piloted aircraft systems (RPAS). We test the results obtained by fixed wing (Gatewing X100). Results of the models processed in different software (PhotoScan, Pix4D, UAS Master) are analyzed.

1. Úvod

Spolu s vývojom nízko nákladových automatizovaných softvérových riešení spracovania obrazu do ortofotomáp a digitálnych modelov terénu sa vyvíjali aj letecké systémy ovládané na diaľku (RPAS – Remotely Piloted Aircraft Systems). Tento vývoj bol najvýraznejší v období posledných piatich rokov, kedy vzniklo množstvo rôznych systémov [1]. Okrem menej využívaných balónov a vzducholodí sa najčastejšie používajú dve základné platformy – modely s pevným krídlom alebo rotačným krídlom. Súčasným trendom je vybavenie týchto UAS (unmanned aerial system) navigačnými technológiami - globálnym navigačným satelitným systémom (GNSS) a inerciálnym meracím systémom (IMS), pomocou ktorých sa systém naviguje počas celej doby letu a pritom sú tieto údaje zaznamenávané. Systémy s pevným krídlom, ako aj systémy s rotačným krídlom majú svoje špecifiká a výhody, ktoré ich predurčujú byť viac či menej efektívne nástroje pre určité typy aplikácií.

Nízka nosnosť týchto cenovo dostupných modelov umožňuje použitie len amatérskych alebo poloprofesionálnych digitálnych kamier. Toto na jednej strane znižuje náklady, no na druhej strane, nie je dosiahnutá obrazová kvalita veľkoformátových kamier a vyžaduje sa špecifické spracovanie [2]. Súčasné softvérové riešenia však umožňujú spracovanie aj takýchto obrazových záznamov do kvalitnej ortofotomozaiky a DMT, ktoré sú využiteľné v geodézii, mapovaní, pozemkových úpravách [3], GIS, lesníctve, poľnohospodárstve [4], územnom plánovaní, vodnom hospodárstve, životnom prostredí, ale aj reklame a v zábavnom priemysle [5].

¹ Ing. Marek Fraštia, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421-2-59274398, e-mail: marek.frastia@stuba.sk

² Ing. Ondrej Trhan, Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421-2-59274427, e-mail: ondrej.trhan@stuba.sk

³ Ing. Marián Marčiš, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421-2-59274398, e-mail: marian.marcis@stuba.sk

2. Testované dáta

2.1 Gatewing X100

Systém Gatewing X100 je jednovrtuľový model lietadla s fixnými krídlami na elektrický pohon. Trup modelu je vyrobený z EPP štruktúry spevnenej karbónom. Obrovskou výhodou takéhoto typu trupu je jeho bezpečnosť. Pri rýchlostiach letu, ktoré systém dosahuje, je potencionálne nebezpečný pre okolité objekty. Takýto druh trupu sa pri náraze do iného objektu rozbije, ale objekt zväčša nepoškodí. Telo obsahuje miesto pre riadiacu jednotku umožňujúcu navigáciu pomocou GNSS, rádio pre spojenie s pozemnou stanicou, inerciálny systém pre meranie náklonov a tlakový senzor na meranie rýchlosti letu. V druhej dutine sa nachádza batéria a kamera spojená s riadiacou jednotkou [6].

Bol navrhnutý tak, aby mohol niesť kameru, dodržiavať pravidelnú rýchlosť letu a bol schopný sa vrátiť k operátorovi v prípade neočakávanej udalosti. Parametre letu sa nahrávajú do riadiacej jednotky pred vykonaním letu, potom sa systém dá považovať za plne autonómny. Musí tiež zvládať všetky druhy počasia a prírodného prostredia, denné a intenzívne zaobchádzanie [7].

Celý proces zalietania je automatický. Model je ľahko prenosný a použiteľný takmer všade. Príprava pred vzlietnutím trvá 15 minút. Vzlietnutie je realizované pomocou katapultu, pričom uhol vzlietnutia je 15°. Systém komunikuje s pozemnou stanicou pomocou rádia. Signál má dosah až 5 km. Gatewing X100 pristáva na podvozku, ktorý je spevnený [7].



Obr. 1 Systém Gatewing X100 [7]

Tab. 1 Špecifikácia platformy Gatewing X100 [7]

Hmotnosť: 2.2 kg	Príprava systému: 15 min
Rozteč krídiel: 100 cm	Vzlet: katapult
Rozmery: 100 x 60 x 10 cm	Max. doba letu: 45 min.
Materiál: karbónová výstuž, EPP	Letová výška nad terénom: 100-750 m
Batéria: Líthium-polymer 11,1 V, 8000 mAh	Rýchlosť letu: 80 km/h
Rádiové spojenie: do 5 km/ 2,4 GHz	Max. rýchlosť vetra: 65 km/h a ľahký dážď

Súčasťou systému je digitálna kamera RICOH GR Digital III. Môžeme ju charakterizovať ako špičkový fotoaparát vo svojej triede maloformátových kompaktných digitálnych CCD kamier (tab. 2). Objektív „GR LENS f=6,0 mm 1:1,9“ vyniká vysokou svetelnosťou a nízkymi chromatickými aberáciami ako aj malou optickou distorziou. Rozlíšenie objektívu s rastúcou radiálnou vzdialenosťou klesá len pozvoľne, čo zabezpečuje konštantný prenos informácií v takmer celom formáte snímky. Výhodou je aj vysoký stupeň potlačenia šumu pri zachovaní vysokého geometrického rozlíšenia, čo je dôležité práve pre krátke expozičné časy, ktoré sú nutné v leteckom snímkovaní bez korekcie zmazu [2].



Obr.2 Kamera RICOH GR Digital III [8]

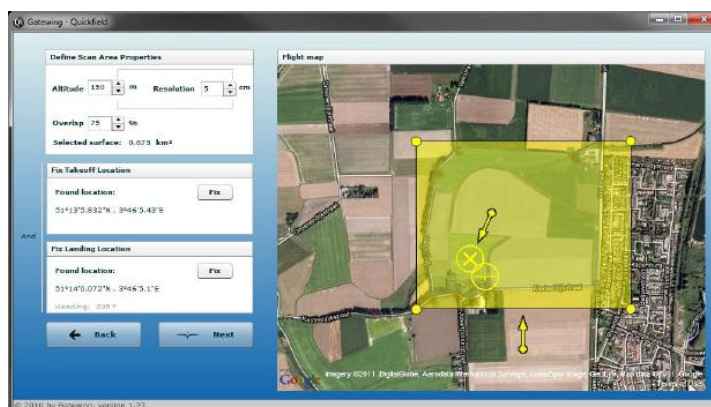
Tab. 2 Technické parametre kamery RICOH GR Digital III [8]

Počet pixlov: 3648 x 2736 = 10 400 000
Veľkosť senzora: 7,44 x 5,58 mm
Veľkosť pixla: 2,04 μm
Procesor: GR Engine III
Ohnisková vzdialenosť: $f_{\infty} = 6,0 \text{ mm}$ (ekvivalent 35 mm = 28mm)
Svetelnosť objektívu: 1:1,9
Hmotnosť: 208g
Rozmery: 109 x 59 x 26 mm
Typ pripojenia: USB 2.0

2.2 Zber údajov

Zber údajov pozostáva z niekoľkých krokov [2]:

- Príprava náletového plánu rieši výber snímkaného územia a určenie podrobnosti mapovania a definovanie veľkosti pixla na teréne (GSD – ground sample distance). Snímkané územie si ešte pred meraním môžeme pozrieť v prostredí Google Earth. V tomto prostredí si môžeme predbežne zvoliť miesta vzletu a pristátia. Ďalej sa vykonáva prvotný letový plán a určuje sa predbežný dátum snímkovania podľa predpovede počasia.



Obr.3 Ukážka z programu Gatewing Quickfield [7]

- Rekognoskácia územia má za úlohu určenie miesta vzletu a pristátia, ktoré musia spĺňať podmienky determinujúce systémom. Lokalizujú sa prípadné výškové prekážky a zisťujú sa príčiny možných krízových situácií.
- Stabilizáciu a signalizáciu vlícovacích bodov je výhodné vykonať už počas rekognoskácie na vhodných miestach a s konfiguráciou, ktorá zaručí správne zavlíčovanie modelu rovnomerne

po celom snímkovanom území. V krajine by body mali byť kontrastné, aby boli dobre viditeľné na snímkach. Súbežne sa určuje aj ich priestorová poloha (najčastejšie pomocou GNSS technológie). V našom prípade bolo zameraných 10 vlícovacích bodov, pričom použitých bolo 9 (jeden bol zničený). Body boli signalizované pomocou krížov s veľkosťou ramena 1 m. Súradnice vlícovacích bodov boli určené pomocou GNSS technológie metódou RTK, pričom dosiahnutá polohová presnosť bola 2 cm a výšková presnosť 5 cm. Keďže tieto hodnoty sú niekoľkonásobne menšie, ako deklarovaná presnosť systému, tieto hodnoty môžeme považovať za referenčné.

- Úprava náletového plánu sa vykonáva na základe uskutočnenej rekognoskácie a zistených skutočností priamo v teréne.
- Samotný nálet a snímkovanie územia. Zalietané územie v našom experimente malo rozlohu približne 300 ha. Územie má charakter poľnohospodárskej krajiny v ktorej sa nachádzali rôzne antropogénne prvky (cesty, záhradné chatky, elektrické vedenie, železnica). Terén je mierne zvlnený, striedajú sa na ňom rôzne typy textúry. Územie bolo zalietané v dvoch samostatných blokoch s prekrytom. Doba jedného náletu trvala 35 minút. Výška letu bola 300 m, čo determinuje veľkosť pixla na zemi $GSD=10$ cm. Prekryt snímok priečny aj pozdĺžny je 75 %. Počet snímok použitých na tvorbu modelu je 425.



Obr.4 Letové dráhy nad blokom 1

3. Použité softvérové riešenia a postup spracovania

Je zrejmé, že rôzne softvérové aplikácie používajú rôzne algoritmy pre dosiahnutie tých istých výstupov. Potom je na mieste otázka kvality týchto výstupov, čo nás viedlo k použitiu 3 etablovaných aplikácií na trhu, konkrétne PhotoScan, Pix4D a UAS Master.

3.1 Photoscan

Agisoft Photoscan je samostatné fotogrametrické softvérové riešenie pre automatické generovanie textúrovaných polygonálnych modelov, georeferencovaných true ortofotomozaík a digitálnych modelov terénu alebo reliéfu. Tieto výsledky môžu byť exportované do veľkého množstva výstupných formátov [9]. Postup spracovania pozostáva z nasledujúcich krokov [10]:

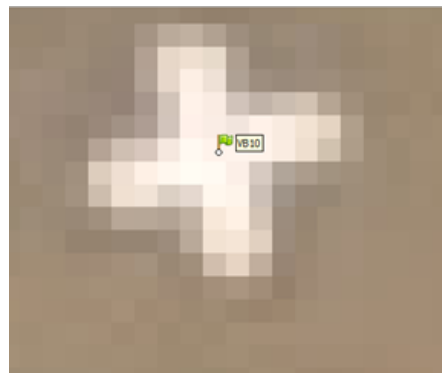
- Vyhľadanie charakteristických bodov na každej snímke. Základnou úlohou pri tvorbe nového projektu je načítanie snímok a zadefinovanie počtu vyhľadávaných spojovacích bodov na každej snímke. V našom prípade bolo určených 40000 bodov na snímku.

- Spárovanie identických bodov na jednotlivých snímkach. V tomto bode softvér automaticky vyhľadáva identické body na každej snímke, ktoré slúžia na vytvorenie „riedkeho“ mračna bodov.



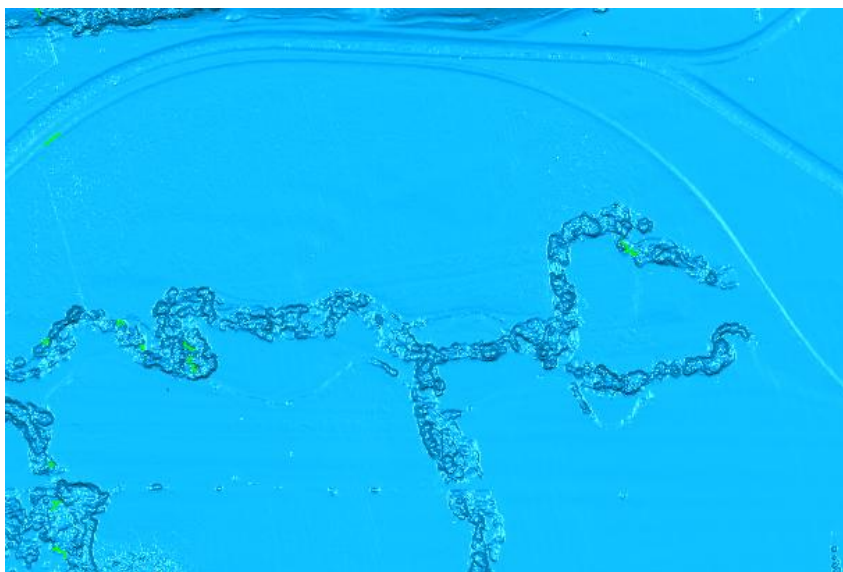
Obr. 5 Ukážka bodového mračna zo spojovacích bodov

- Meranie vlícovacích bodov na snímkach. V tomto bode sa načítajú súradnice vlícovacích bodov v referenčnom súradnicovom systéme. Ďalej sa vlícovacie body na snímkach. Dosiahnutá presnosť merania v snímkovej rovine bola 0.7 pixla.



Obr. 6 Ukážka merania vlícovacieho bodu

- Blokové vyrovnanie zväzku lúčov (v systéme PhotoScan označované ako „optimalizácia“) minimalizuje rezíduá na vlícovacích bodoch, čím čiastočne deformuje model. Túto „deformáciu“ modelu však chápeme ako opravu modelu za predpokladu, že vlícovacie body sú kvalitne určené. Deformácie modelu bez vlícovacích bodov sú pochopiteľne zapríčinené použitím lacných nemetrických kamier ako aj samotnou povahou fotogrametrie ako nepriamej meračskej technológie.
- Ďalším krokom v spracovaní bola tvorba modelu povrchu vo forme TIN. Pred generovaním povrchového modelu bolo potrebné nastaviť spôsob tvorby TIN a geometrické rozlíšenie (počet trojuholníkov).



Obr. 7 Ukážka vygenerovaného digitálneho modelu programom Photoscan

- Tvorba ortofotomozaiky s požadovaným rozlíšením je umožnená po vytvorení modelu. Dôležité nastavenie je veľkosť pixla, ktorá bola v našom prípade 10 cm/pixel.



Obr. 8 Ukážka vygenerovanej ortofotomozaiky

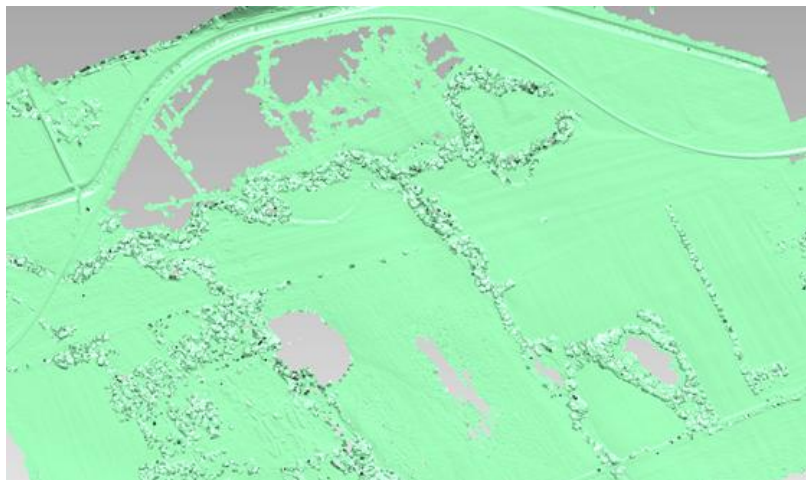
3.2 Pix4D

Softvér pracuje na dvoch platformách, a to Cloud (pre vzdialený počítač) alebo Desktop (ako plne funkčný softvér na PC). Produkuje rovnaké formáty výstupov a to ortofotomozaiky, DMT a TIN model a výstup pre Google Maps [11]. Je ale primárne určený na letecké, zvislé snímky, zatiaľ čo PhotoScan bez problému spracuje aj pozemné snímky ľubovoľných objektov.

Postup spracovania je podobný ako v systéme Photoscan, ale celkové spracovanie sa vyhotovovalo na vzdialenom počítači. Minimálny počet vlíčovacích bodov (VB) pre georeferencovanie sú 3 body. Každý bod je vhodné lokalizovať na čo najväčšom počte ostrých snímok. Minimum pre každý bod sú tri snímky.

Po meraní VB je projekt nahraný na server Pix4D, kde dôjde k ďalšiemu spracovaniu. Po niekoľkých hodinách spracovateľ obdrží e-mail, ktorý informuje o predbežnom spracovaní projektu

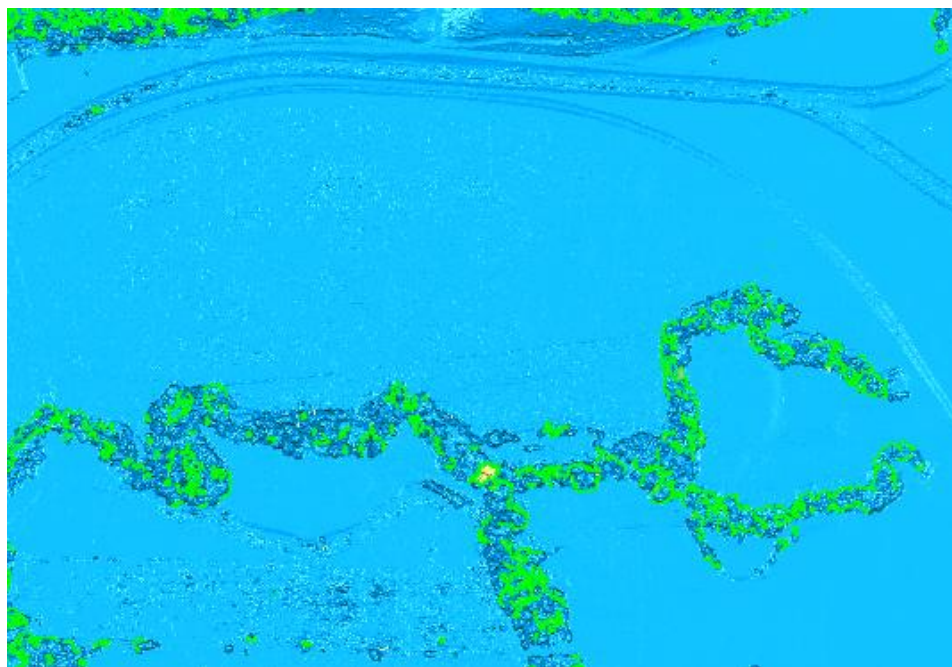
s náhľadom ortofotomozaiky. Toto je bezplatné s možnosťou stiahnutia zo servera. Ďalej má užívateľ možnosť voľby nasledujúceho spracovania a požadovaných výstupov. My sme vybrali profesionálne spracovanie, ktorého súčasťou je správa o výsledných parametroch, TIN model, mračno bodov, ortofotomozaika a výstup pre Google Earth. Aplikácia generuje aj správu o kvalite spracovania, obsahuje základné informácie o projekte, kalibrácii kamery, základný pohľad na ortofotomozaiku a DEM.



Obr. 9 Ukážka DMT vygenerovaného programom Pix4D

3.3 UAS Master

Je produktom nemeckej firmy Inpho (v súčasnosti pod značkou Trimble). Softvér je určený pre fotogrametriu a digitálne modelovanie. Služi na vytváranie presných bodových mračen, povrchových modelov, ortofotomozaiky a na digitalizovanie 3D prvkov [12]. Systém spracovania projektu sa v tomto softvéri líši od predchádzajúcich predovšetkým v zdĺhavejšom definovaní projektu [13].



Obr. 12 Ukážka DMT vygenerovaného programom UAS

4. Dosiahnuté výsledky

Pre väčšinu odberateľov produktov mapovania je podstatná nielen forma výsledkov, ale aj ich presnosť. Keďže výstupy zo systému Gatewing X100 poskytujú priestorové údaje, zamerali sme sa na overenie tak polohovej ako aj výškovej presnosti. Ďalej boli výsledky porovnávané aj na základe výslednej výstupnej formy.

4.1 Polohová presnosť

Polohovú presnosť sme hodnotili rozdielmi súradníc alebo vzdialeností meraných charakteristických polohových prvkov metódou GNSS RTK v lokálnom systéme a manuálneho merania na georeferencovanej ortofotomozaike. Meranie sme realizovali na bodových a líniových prvkoch v CAD systéme, kde sme si načítali súradnice kontrolných bodov a vygenerovanú ortofotomozaiku. Líniové prvky boli hodnotené na základe najmenšej vzdialenosti kontrolného bodu od čiarového prvku. Pre určenie presnosti bodových prvkov sme použili tieto vzťahy [14]:

$$m = \sqrt{\frac{\sum (X - x)^2}{n}} \quad (1) \quad m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (2)$$

kde m – stredná kvadratická chyba
 X – referenčná hodnota (GNSS)
 x – meraná hodnota (ortofoto)
 n – počet bodov
 m_p – stredná polohová chyba

Tab. 3 Polohová presnosť vybraných prvkov

Bodové prvky – 60 bodov						
	Photoscan		Pix4D		UAS	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
Aritmetický priemer	0.03	0.00	0.10	0.01	0.01	-0.12
Stredná kvadratická chyba	0.08	0.08	0.20	0.21	0.15	0.19
Maximálna odchýlka	0.17	0.15	0.46	0.46	0.38	0.36
Minimálna odchýlka	-0.11	-0.19	-0.36	-0.47	-0.33	-0.34
Stredná polohová ch.	0.11		0.28		0.24	

Líniové prvky – 46 meraní			
	Photoscan	Pix4D	UAS
	[m]	[m]	[m]
Aritmetický priemer	0.07	0.25	0.23
Stredná chyba	0.06	0.14	0.07
Maximálna odchýlka	0.23	0.56	0.50

Deklarovanú presnosť systémom Gatewing X100 v polohe (1-2 pixle) sa podarilo splniť softvérom Photoscan a UAS Master. Softvér Pix4D požadované parametre nesplnil.



Obr. 13 Cesta (Photoscan, Pix4D, UAS Master)

4.2 Výšková presnosť

Výškovú presnosť hodnotíme na základe odľahlosti kontrolných výškových bodov vybraných povrchov od generovaného digitálneho modelu daného povrchu zo snímok. Kvalita generovaného DMT závisí aj od textúry digitalizovaného povrchu. Preto bolo pre overenie výškovej presnosti vybratých niekoľko rôznych typov povrchov.

4.2.1 Photoscan

Najlepšie výsledky vykazuje terén, v ktorého blízkosti sa nenachádza žiadna vyššia vegetácia [6]. Naopak, k určitým nepresnostiam dochádza najmä tam kde objekty nad reliéfom zapríčinia nesprávne preinterpolovanie výškového modelu. Výsledky testovania výškovej presnosti sa nachádzajú v presnosti deklarovanej výrobcom systému Gatewing X100 ($m_z \leq 2 \cdot \text{GSD}$). Zároveň takmer všetky merané body sa nachádzajú v intervale trojnásobku stredných chýb.

Tab. 4 Výšková presnosť vybraných povrchov, aplikácia Photoscan

Povrch	Max. + odchýlka [m]	Max – odchýlka [m]	Priemer [m]	Kladný priemer [m]	Záporný priemer [m]	Stredná chyba [m]
cyklocesta	0.06	-0.17	-0.06	0.03	-0.09	0.06
cyklocesta	0.22	-0.13	0.03	0.11	-0.10	0.12
cyklocesta	0.36	-0.13	0.12	0.13	-0.04	0.12
koľajnice	0.00	-0.40	-0.35	0.00	-0.35	0.04
most	0.00	-0.29	-0.11	0.00	-0.11	0.08
terén	0.10	-0.02	0.04	0.05	-0.01	0.04
cesta	0.21	0.00	0.14	0.14	0.00	0.05
cesta	0.08	-0.26	-0.12	0.06	-0.16	0.11
terén	0.00	-0.19	-0.16	0.00	-0.16	0.03
celkovo	0.36	-0.40	-0.07	0.11	-0.15	0.16

4.2.2 Pix4D

Výsledky výškového porovnania nám ukazujú, že model spracovaný softvérom Pix4D dosahuje nižšiu presnosť ako spracovanie softvérom Photoscan. Podobne si môžeme všimnúť zreteľný vplyv textúry terénu na výšku modelu. Dobrým príkladom je cyklocesta, ktorá sa nachádza v blízkosti lesného porastu. Tento potiahol výšku modelu a tým zvýšil odchýlku od referenčného merania. Na teréne, kde nie je výrazný vplyv rušivých elementov je výšková presnosť porovnateľná so systémom Photoscan.

Tab. 5 Výšková presnosť vybraných povrchov, aplikácia Pix4D

Povrch	Max. + odchýlka [m]	Max – odchýlka [m]	Priemer [m]	Kladný priemer [m]	Záporný priemer [m]	Stredná chyba [m]
cyklocesta	0.63	-0.00	0.42	0.42	-0.00	0.08
cyklocesta	0.63	-0.00	0.57	0.57	-0.00	0.04
cyklocesta	0.61	-0.00	0.50	0.50	-0.00	0.11
koľajnice	0.25	-0.00	0.15	0.15	-0.00	0.05
most	0.00	-0.18	-0.09	0.00	-0.09	0.05
terén	0.22	-0.05	0.07	0.09	-0.05	0.07
cesta	0.46	0.00	0.35	0.35	0.00	0.07
cesta	0.00	-0.29	-0.15	0.00	-0.15	0.08
terén	0.00	-0.17	-0.08	0.00	-0.08	0.06
celkovo	0.63	-0.29	0.21	0.37	-0.12	0.28
celkovo bez cyklocesty	0.46	-0.29	-0.09	0.22	-0.12	0.20

4.2.3 UAS Master

Výsledky získané softvérom UAS Master dokumentujú podobnú výškovú presnosť, ako výsledky získané pomocou softvéru Photoscan. So všetkými testovanými softvérmi sme dosiahli deklarovanú presnosť výrobcu pre výškovú presnosť, ktorá je 2-násobok GSD, čo pri veľkosti pixla na teréne 10 cm predstavuje 20 cm.

Tab. 6 Výšková presnosť vybraných povrchov, aplikácia UAS Master

Povrch	Max. + odchýlka [m]	Max – odchýlka [m]	Priemer [m]	Kladný priemer [m]	Záporný priemer [m]	Stredná chyba [m]
cyklocesta	0.03	-0.19	-0.08	0.02	-0.08	0.05
cyklocesta	0.00	-0.52	-0.32	0.00	-0.32	0.14
cyklocesta	0.06	-0.38	0.23	0.06	-0.25	0.11
koľajnice	0.13	-0.06	0.02	0.04	-0.03	0.05
most	0.06	-0.19	-0.62	0.00	-0.62	0.06
cesta	0.28	-0.09	0.12	0.13	-0.05	0.09
cesta	0.20	-0.09	0.06	0.09	-0.06	0.08
terén	0.00	-0.10	-0.06	0.00	-0.06	0.04
celkovo	0.28	-0.52	-0.06	0.09	-0.15	0.16

4.3 Ostatné parametre

Kvalitu vygenerovaných výstupov sme porovnávali aj na základe formy výsledkov, teda ortofotomozaiky a digitálneho výškového modelu.

Ortofotomozaiku vygenerovanú všetkými systémami pokladáme za kvalitnú, dostatočne kontrastnú, bez zmazov a rádiometrických či farebných skokov s malým množstvom chýb. Hrany striech budov sú čiastočne deformované, to je ale spôsobené nedokonalosťou výškového modelu na takýchto objektoch. V prípade ortofotomozaiky vygenerovanej softvérom Pix4D sme zaznamenali zvýšené množstvo chýb na okrajových častiach.

Čo sa týka výsledného digitálneho modelu, na všetkých sú v dostatočnej miere viditeľné antropogénne aj prírodné prvky. Najväčšie problémy s vyhotovením digitálneho modelu mal softvér Pix4D, kde sú mnohé oblasti bez pokrytia bodmi (obr. 9) a to na plochách so slabou premenlivosťou textúry daného povrchu.

5 Záver

Základným predpokladom uvedeného automatizovaného spracovania obrazu (orientácia snímok a tvorba DMT) je dostatočne premenlivá textúra mapovaného povrchu a jej kvalitné prekreslenie do digitálneho obrazu. S nepremenlivými (plochými) textúrami sa stretávame zriedkavo, predovšetkým pri antropogénnych prvkoch (napr. strechy, cesty, presklené plochy) a ešte zriedkavejšie pri prírodných (vodné plochy, púšte, snehové polia atď.). Pri takýchto povrchoch je potrebné počítať s chybami alebo úplnou absenciou modelu. Druhým faktorom je prenos textúry do obrazu. To zabezpečuje digitálna kamera, ktorá je navyše v pohybe, takže je dôležitá kvalita kamery (hlavne geometrické a rádiometrické rozlíšenie a šum snímača) a eliminácia zmazu spôsobeného pohybom a vibráciami.

Výsledky ukazujú, že aj menej kvalitná textúra (uhladená roľa, asfaltová cesta) a dokonca pri miernom zmaze snímok (1-3 pixle) sú postačujúce pre generovanie DMT a ortofotomozaiky v presnosti deklarovanej výrobcom systému Gatewing X100, teda 1 pixel v polohe a 2-3 pixle vo výške. Nami testované údaje dosahujú priemerne v polohe 1 pixel a vo výške dokonca iba 1,5-2 pixle. Maximálne chyby po eliminácii chybných bodov pritom dosahujú 2-3násobok stredných chýb.

Výsledky aerotriangulácie (v zmysle rezíduí na VB) vychádzajú štandardne 0,5 pixla v polohe a 1 pixel vo výške, jednotková stredná chyba po blokovom vyrovnaní zväzku lúčov v intervale 0,5-1 pixel

a maximálne opravy na obrazových bodoch do 3 pixlov, čo potvrdzuje viacero realizovaných projektov.

Pri porovnaní digitálnych modelov môžeme vidieť, že najväčšie rozdiely medzi modelmi sa nachádzajú na miestach, kde sa nachádzajú vertikálne usporiadané prvky (antropogénne prvky, vegetácia a pod.), čo pri malých polohových odchýlkach vedie k veľkým výškovým rozdielom. Naopak, minimálne rozdiely sú na málo zakrivených, blízko horizontálnych plochách s kvalitnou textúrou.

Na základe predstavených výsledkov môžeme konštatovať, že RPAS systémy sú vysoko efektívnym a presným zdrojom dát pre mapovanie území lokálneho charakteru (na rozdiel od priamo pilotovaných systémov) a z technického hľadiska je zrejmy ich ďalší vývoj spolu s vývojom v oblasti spracovania obrazu.

Literatúra

- [1] FRAŠTIA, M.: 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.
- [2] FRAŠTIA, M.: Overenie polohovej a výškovej presnosti mapovania systémom Gatewing X100. In: *20. slovenské geodetické dni*. 2012.
- [3] KLIMENT, M. – HALVA, J.: Využitie údajov získaných fotogrametrickou metódou pri účelovom mapovaní výškopisu v projekte pozemkových úprav. In: *Reminiscencie geodézie a fotogrametrie*. Bratislava: STU, 2009. ISSN 978-80-227-3045-7.
- [4] HALVA, J. - KLIMENT, M.: Vplyv presnosti digitálneho modelu reliéfu na modelovanie erózneho ohrozenia. In: *Bezbariérové geoinformační technologie*. Ostrava, ČR: Tanger s.r.o., 2009. ISBN 978-80-87294-00-0.
- [5] TRHAN, O.: *Topografické mapovanie systémom Gatewing X100*: diplomová práca. Bratislava: STU, 2013. 73 s.
- [6] FRAŠTIA, M.: Letecký mapovací systém Gatewing X100. In *Slovenský geodet a kartograf*. ISSN 1335-4019, 2012, roč. 17, č. 4, s. 5-12.
- [7] Trimble Company: *Gatewing X100*. [online]. 2012. [citované 24. 10. 2014]. Dostupné z: <<http://www.gatewing.com/X100>>
- [8] Ricoh: *RICOH GR Digital III*. [online]. 2013. [citované 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.ricoh.com/r_dc/gr/gr_digital3/>
- [9] Agisoft: *Photoscan*. [online]. 2014. [citované 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_presentation.pdf>
- [10] Agisoft: *Photoscan User Manual. Professional Edition, Version 1.0*. 2014.
- [11] Pix4D: *Pix4UAV*. [online]. 2012. [citované 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://pix4d.com/pix4uav_product.html>
- [12] Trimble: *Inpho UASMaster*. [online] 2014. [citované 24. 10. 2014]. Dostupné z: <<http://www.trimble.com/Geospatial/Inpho-UASMaster.aspx>>
- [13] Trimble: *Tutorial UASMaster 5.6*. 2013.
- [14] BÖHM, J.: *Vyrovnávací počet*. Praha: Kartografie, 1978. 512 s.

Tento článok bol vytvorený realizáciou grantového projektu číslo 1/0133/14 Vedeckej grantovej agentúry MŠ SR Detekcia plošných a diskretných posunov nestabilných území na báze nízkonákladovej fotogrametrie a satelitných technológií.