POSÚDENIE POLOHOVEJ PRESNOSTI HYPERSPEKTRÁLNYCH ZÁZNAMOV ZÍSKANÝCH Z HYPERSPEKTRÁLNEHO SKENERA AISA EAGLE

Ing. Florián BECZE[1] – Ing. Jozef ŠADIBOL[2]

Katedra Hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene,
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
Email : [1] becze@vsld.tuzvo.sk, [2] josa@atlas.sk

Abstract

In this paper we will consider with orthophoto, produced from hyperspectral data which were made by airborne hyperspectral scanner AISA EAGLE. These records have specific manner in the way of obtaining images. The fact that, while hyperspectral data have a main value based on their qualitative characteristics in the most cases there are no information about position accuracy. The aim of this paper is accuracy determination of hyperspectral orthophoto images.

Keywords: hyperspectral data, orthophoto, rectification, accuracy

1 Úvod a cieľ práce

Spôsob získavania dát v oblasti fotogrametrie sa v posledných desaťročiach dramaticky zmenil. Začalo to konverziou analógových leteckých meračských snímok do digitálnej podoby pomocou fotogrametrických skenerov s vysokým rozlíšením. Objavili sa prvé digitálne fotogrametrické pracovné stanice a prvé digitálne letecké kamery. Trvalo však niekoľko rokov kým sme dokázali využiť plný potenciál digitalizovaných a digitálnych snímok v automatizovaných procesoch, ktoré sú integrované v jednotlivých fotogrametrických pracovných staniciach a postupoch. Ruka v ruke s týmto vývojom kráčal aj vývoj Globálneho polohovacieho systému (GPS) a Inerciálneho navigačného systému (INS) čo zabezpečilo významné pokroky v oblasti leteckého snímkovania a fotogrametrie.
Obrazový zber dát, post-processing, diferenciálne prekreslenie sa stali často skloňovanými pojmami v kruhoch odbornej verejnosti. S veľkým záujmom sa sledujú možnosti využitia multispektrálnych a hyperspektrálnych obrazových záznamov, ktoré dokážu sprostredkovať celý rad informácii o zemskom povrchu a objektoch na nej, ktoré nachádzajú využitie v rozličných odvetviach priemyslu. Využitie týchto záznamov spočíva vo vlastnosti rôznej spektrálnej odrazivosti jednotlivých objektoch na zemskom povrchu.

V lesníctve nachádzajú uplatnenie pri zisťovaní stavu vegetácie (monitorovanie zdravotného stavu drevín, obsahu chlorofylu a celulózy), na kontrolu účinnosti postrekov poľnohospodárskych plodín a lesných porastov, pri zisťovaní vzniku požiarov a monitorovanie požiarov, vyhľadávanie minerálov a typov pôd, atď.

Skutočnosť, že i keď hyperspektrálne záznamy majú svoju nosnú hodnotu ukotvenú v ich kvalitatívnych charakteristikách, ktoré sú založené na rozličnej spektrálnej odrazivosti objektov na zemskom povrchu, vo väčšine prípadoch chýbajú akékoľvek informácie o polohovej presnosti týchto záznamov. Cieľom práce je posúdenie polohovej presnosti výslednej ortofotomapy získanej z hyperspektrálných záznamov leteckého skenera Aisa Eagle z katastrálneho územia

Kováčová, kde ako referenčný materiál bola použitá ortofotomapa vytvorená z panchromatických snímok digitálnej kamery UltraCamD z identického územia.

2 Rozbor problematiky

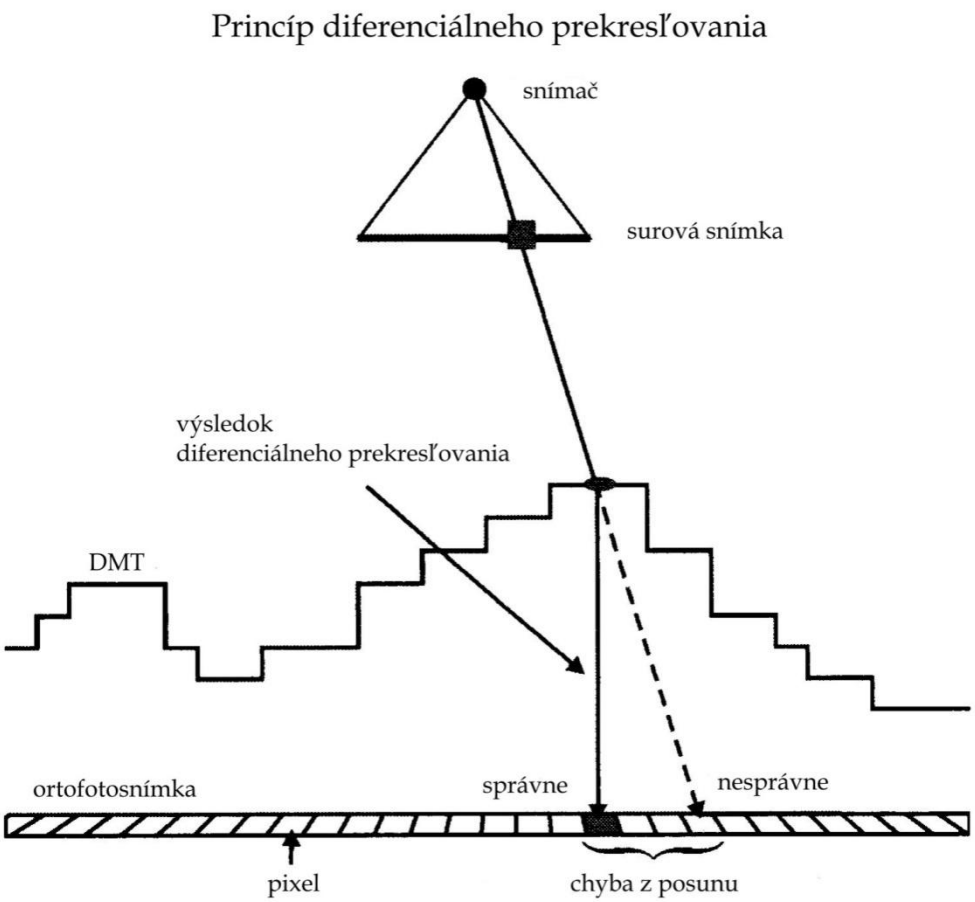
2.1 Diferenciálne prekresľovanie

Snímka, či už analógová alebo digitálna trpí určitými skresleniami. Sú to napr. skreslenia zapríčinené vplyvom materiálu, skenovaním, nezvislou osou záberu, rozdielnou nadmorskou výškou snímaného územia, skreslením objektívu fotokamery atď. (KOLEKTÍV PCI GEOMATICS, 2003).

Proces fotogrametrického spracovania je zameraný na odstránenie týchto skreslení. Procesom diferenciálneho prekresľovania môžeme tieto skreslenia odstrániť a získať tak z centrálnej projekcie ortogonálnu (obr. č. 1). Dostaneme mierkovo jednotnú ortofotosnímku, georeferencovanú súhlasne s pozemným vzťažným súradnicovým systémom.

Pod diferenciálnym prekresľovaním meračskej snímky rozumieme prekreslenie snímky nerovinného územia po malých plošných prvkoch, pri ktorom sa eliminuje skreslenie zapríčinené výškovými rozdielmi predmetov merania (ŽÍHLAVNÍK Š. 2004)

Digitálnu ortofotosnímku (pravouhlý priemet) dostaneme digitálnym diferenciálnym prekreslením snímky (stredový priemet) metódou perspektívnej (kolineárnej) priestorovej transformácie, čo je vzťah medzi štvorcovým rastrom referenčnej terénnej plochy a jemu zodpovedajúcej perspektívne skresleným štvorcovým rastrom digitálnej snímky s využitím digitálneho modelu terénu DMT, alebo digitálneho modelu reliéfu DMR (ŽÍHLAVNÍK Š. 2004).



Obrázok č. 1: Princíp diferenciálneho prekresľovania (KOLEKTÍV PCI GEOMATICS 2003)

Medzi produkty digitálnej fotogrametrie patria hlavne ortofotosnímky a následne z nich mozaikovaním vytvorené ortofotomozaiky a ortofotomapy. Tieto digitálne produkty sa používajú ako podklad pre projekty geografických informačných systémov (GIS), poskytujúce skutočný obraz povrchu Zeme v príslušnom časovom okamihu. Nemenej dôležité sú však aj produkty, ktoré vznikajú pri práci ako medziprodukty na vytvorenie ortofotomapy. Medzi tieto patria hlavne digitálne modely terénu (DMT). Medzi DMT a ortofotosnímkou existuje vzájomný vzťah, pretože DMT má priamy vplyv na geometrickú presnosť ortofotosnímky. Vstupné dáta pre digitálne ortofotosnímky tvoria v podstate rastrové obrazy. (CHUDÝ, KARDOŠ, BECZE, 2007)

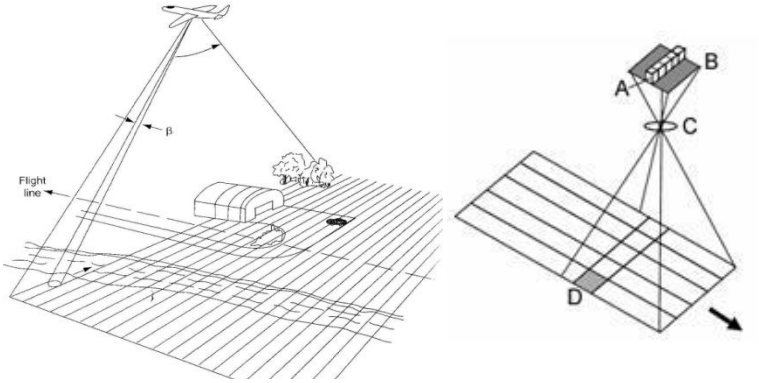
Na vytvorenej ortofotosnímke sa nie vždy nachádza celá záujmová oblasť, preto je niekedy nevyhnutné vytvoriť digitálny obraz pospájaním niekoľkých obrazov ľubovoľného tvaru do jedného, rádiometricky vyrovnaného obrazu tak, aby hranice medzi pôvodnými obrazmi boli len ťažko rozlíšiteľné a tak vznikol jeden výstupný uniformný obraz. Definovanie spojov medzi obrazmi sa môže vykonať manuálne alebo automaticky. Po geometrických a rádiometrických korekciách digitálnych ortofotosnímok sa vyberie v ich prekrytovej časti určitá časť a na základe vybranej deliacej čiary sú čiastkové ortofotosnímky spájané do výslednej ortofotomozaiky. Na získanej ortomozaike môžeme odčítavať súradnice a ďalej je možnosť doplniť ortomozaiku o mapové údaje (názvoslovie, titulok, mierku, značky, výškopis, rám a pod.) a vytvoriť takto ortofotomapu *(*CHUDÝ, KARDOŠ, BECZE 2007*).*

2.2 Špecifiká hyperspektrálnych záznamov

Hyperspektrálne snímkovanie drží prvenstvo v kvalite spektrálnych dát získaných o objektoch na zemskom povrchu. Hyperspektrálne snímkovanie tiež uskutočňuje prechod v kvantite získaných dát, a preto výskum ako optimalizovať analýzy týchto dát s veľkým objemom stále pokračuje (LILLESAND A KOL., 2004).
V súčasnosti sa využívajú dva spôsoby skenovania:

- naprieč smeru letu tzv. „whiskbroom“
- pozdĺž smeru letu tzv. „pushbroom“

„Whiskbroom“ skenery skenujú územie pomocou rotačných alebo vibračných zrkadiel v pásoch, ktoré sú kolmo na smer letu (obr. č. 2). Dáta sú zbierané v uhle 90 až 120°. Pretože zber údajov je dynamický, súvislý proces, každá zmena v polohe lietadla (zmeny v dôsledku pôsobenia vonkajších vplyvov na trajektóriu letu a polohy lietadla) má vplyv na zobrazenie. Aj pri „pushbroom“ skeneroch (obr. č. 2) vznikajú obrazy z jednotlivých skenovaných pásov. Na rozdiel od „whiskbroom“ skenerov nemajú tieto skenery žiadne zrkadlo. Namiesto toho je použitá lineárna rada detektorov. Tieto rady zvyčajne pozostávajú z mnohých CCD snímačov. Každý element detektora je určený k snímaniu jedného stĺpca. Geometria je odlišná ako pri „whiskbroom“ skeneroch, nakoľko „pushbroom“ skenery nemajú zrkadlo a majú fixné geometrické vzťahy medzi elementmi detektora skenujúcimi každý pás. Môžu sa vyskytnúť odchýlky medzi jednotlivými pásmi spôsobené letom a pôsobením vonkajších vplyvov na lietadlo. Navigačné prístroje lietadla a GPS systémy sa používajú na zachytenie týchto vplyvov a geometrickú korekciu údajov nasnímaných „pushbroom“ skenermi. *(*SMREČEK, BECZE 2008*)*



Obrázok č. 2: *Princíp snímania „whiskbroom“ a „pushbroom“ skenera* (Lillesand A KOL. 2004)

2.3 UltraCamD vs. AISA Eagle

UltraCam$_D$ - digitálna, 90 megapixlová veľkoformátová letecká meračská kamera firmy Vexcel Rakúsko (obr.č 3). Princíp tejto kamery je založený na kombinácii obrazových dát z niekoľkých CCD senzorov snímaných pomocou viacerých objektívov do jedného veľkého obrazu s centrálnou perspektívou. Snímacia časť pozostáva z ôsmich nezávislých objektívov.

Štyri z nich smerujú kolmo k snímanému povrchu a slúžia na vytvorenie veľkoformátovej panchromatickej snímky s vysokým rozlíšením, veľkosti 11500 x 7500 pixlov. Údaje z nich sú zaznamenávané na deväť CCD senzorov. Za nasnímanie farebnej časti spektra, konkrétne červenej, zelenej, modrej a blízkej infračervenej sú zodpovedné zvyšné štyri objektívy, zaznamenávajúce dáta na ďalšie štyri CCD senzory s použitím rozdielnych filtrov priepustných iba pre konkrétne vlnové dĺžky spektra.

Obrázok č. 3: *veľkoformátová kamera UltraCam$_D$ (Vexcel, Rakúsko)*

AISA Eagle - systém AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) sa používa na snímkovanie hlavne v európskych krajinách (obr.č. 4). Zariadenie vyrába fínska spoločnosť Specim. Kompletný systém sa skladá z hyperspektrálnej hlavy, miniatúrneho GPS snímača, jednotky zberu údajov, výkonného osobného počítača s monitorom a zdroja elektrickej energie. Snímač pracuje v rozsahu 450 až 970 nm, maximálny počet kanálov je 186, rádiometrické rozlíšenie 12 bitov, IFOV 1 mrad (Smreček, Becze 2008).

Obrázok č. 4: *hyperspektrálny skener AISA Eagle (Specim, Fínsko)*

3 Experimentálny materiál

Pri experimente boli použité nasledovné snímkové materiály. V prvom rade sa jednalo o panchromatické snímky z digitálnej leteckej kamery UltraCamD od firmy Vexcel zachytávajúce územie Vysokoškolského lesníckeho podniku vo Zvolene. Z daného územia boli následne vybrané snímky v 4 radoch s počtom snímok 120 s 85 % pozdĺžnym a 35 % priečnym prekrytom zachytávajúce katastrálne územie Kováčová. Digitálne snímky sú v úrovni spracovania 2 (Level

2 – označenie výrobcu) po odstránení geometrických a rádiometrických nepresnosti. Parametre panchromatickej snímky

Rozmer snímky : 7500*11500 pixelov (67,5*103,5 mm)
Veľkosť pixla : 9.000 µm * 9.000 µm
Konštanta fotokomory ck : 101,4 mm

Druhým snímkovým materiálom boli hyperspektrálne záznamy získané hyperspektrálnym leteckým skenerom AISA Eagle od spoločnosti Specim. Snímkované územie je o rozlohe 16 km^2 snímané v 18 pásoch, pričom 9 bolo snímaných v smere severo-západ a 9 v opačnom v katastrálnom území Kováčová.
Šírka jedného pásu je približne 200 m s priestorovým rozlíšením 0,6 m. Každý pás sa skladá zo 130 spektrálnych kanálov so šírkou 4,6 nm, ktoré zachytávajú elektromagnetické žiarenie v rozsahu od 400 do 1000 nm. Priečny prekryt pásov je premenlivý. Závisí od letových podmienok, v priemere je približne 50% (KOREŇ A KOL 2007).
K experimentu sa použili ortofotomozaiky vytvorené z oboch snímkových materiálov z identického územia.

4 Metodický postup

Spracovanie panchromatických snímok do podoby ortofotsnímok a následne ich mozaikovanie sa uskutočnilo v softvérovom prostredí *INPHO*. Na správu projektu sa použil modul *ApplicationsMaster*, kde definujeme typ vstupných a formát výstupných dát, súradnicový systém a merné jednotky, v našom prípade súradnicový systém WGS 84 UTM 34N, následne editujeme parametre kamery (odchýlka merania pri vyrovnaní triangulácie, veľkosť odchýlky je 1/4 až 1/2 veľkosti pixla snímky, polomer Zeme, nadmorská výška letu, priemerná nadmorská výška terénu, oprava z refrakcie, oprava zo zakrivenia Zeme, maximálny počet iterácii pri výpočte vyrovnania metódy najmenších štvorcov (MNŠ), maximálna dovolená hodnota korekcie x,y,z pri výpočte vyrovnania MNŠ, maximálna dovolená hodnota korekcie w,f,k pri výpočte vyrovnania MNŠ.
Editácia kamery: parametre kamery sa preberú z kalibračného listu, ktorý poskytne vyhotoviteľ digitálnych snímok.
Nadefinovanie parametrov náletového plánu projektu: číslo rady, čísla snímok, označenie modelov a priradenie rastrových súborov k číslam snímok.

Po naeditovaní kamery a nadefinovaní náletového plánu projektu naimportujeme do projektu prvky vonkajšej orientácie. V našom prípade sme naimportovali súradnice stredov snímok X, Y, Z v súradnicovom systéme WGS 84 a uhly pootočenia ω, φ, χ. Uhly pootočenia kamery ω, φ, χ pomáhajú pri automatickom vyhľadávaní spojovacích bodov, ktoré spolu so súradnicami stredov snímok zlepšujú výsledky automatického vyhľadávania spojovacích bodov a vyrovnania metódy najmenších štvorcov.
Dôležitým momentom v predprípravе je normalizácia snímok (kontrast, jas), ktorá nám v značnej miere prispieva ku kvalitnejšiemu vizuálnemu výsledku v procese mozaikovania ortoforosnímok a následnej tvorbe ortofotomapy.
Tvorba blokov, vyhľadávanie spájacích bodov, editovanie vlícovacích, kontrolných bodov a následná aerotriangulácia sa uskutočnila v module *MATCH-AT*.

Modul *MATCH-T DSM (DTM/DSM Generator)* slúži na tvorbu digitálneho modelu terénu resp. reliéfu, kde sa pred samotným spustením výpočtu tvorby digitálneho modelu terénu importovala morfológia terénu, ktorú tvorili tzv. breaklines vektorizované v stereo móde. DMT boli vytvorené s pevne definovaným krokom 2,94 m, ktorý vychádza zo vzorca „grid width = 30x veľkosť pixla v cm x priemerná mierka snímok“ (KOLEKTÍV INPHO GMBH 2009). Na editovanie resp. úpravu už vytvoreného digitálneho modelu sa používa modul *DTMaster*.
Diferenciálne prekresľovanie zabezpečuje modul *OrthoMaster* a následné spájanie (mozaikovanie) vytvorených ortofosnímok zabezpečuje modul *OrthoVista* z programového balíku *INPHO*. Dosiahnutá výsledná stredná polohová chyba ortofotosnímok je 0,093 m.

Hyperspektrálne záznamy, konkrétne záznamy z hyperspektrálneho skenera AISA Eagle sú špecifické nielen z hľadiska spôsobu snímania, ale tak isto z hľadiska spracovania a diferenciálneho prekresľovania. Problematika spracovania týchto záznamov tkvie v tom, že líniové skenery vytvárajú vyobrazenia s centrálnou perspektívou v obrazovej línii v priečnom smere letu, bez perspektívy v pozdĺžnom smere letu a nemajú žiadne informácie o geometrii a môžu byť použité iba spolu s informáciami o pozícii a orientácii externých systémových zariadení ako DGPS a INS. Tento druh dát nemôže byť použitý v štandardných fotogrametrických softvéroch.

Snímkovanie na území VŠLP sa uskutočnilo v spolupráci s Ústavom systémovej biológie a ekológie Akademie věd ČR. Referenčné údaje pre postprocesing poskytol TOPU Banská Bystrica. Priama geo-ortorektifikácia bola prevedená za pomoci dát z GPS/IMU Aerocontrol 3b s digitálnym výškovým modelom, ktorý poskytla firma Photomap. Synchronizácia obrazových a GPS/IMU dát bola prevedená automaticky v prostredí CaliGeo. Na prerastrovanie bola použitá metóda najbližšieho suseda (nearest neighbour).

Zo snímkovacieho letu máme k dispozícii len úplne surové dáta alebo priamo ortofotomozaiku zo zalietávaného územia. Absencia informácií o polohovej presnosti výsledných ortofotosnímok, resp. ortofotomapy a rovnako absencia softvérového prostredia na spracovanie týchto dát nás podnietilo k overeniu polohovej presnosti výslednej ortofotomapy.

5 Výsledky a diskusia

Pre vytvorenie digitálneho ortofotoplánu je nevyhnutné, aby digitálne snímky boli spracované v projekte aerotriangulácie, t.j. mali vyriešené úlohy relatívnej a absolútnej orientácie a následne boli blokovo zväzkovo vyrovnané (CHUDÝ, KARDOŠ, BECZE 2007).

Projekt aerotriangulácie bol spracovaný v súradnicovom systéme WGS 84 UTM 34N. Pre absolútnu orientáciu bloku snímok boli využité údaje z GPS/IMU jednotky, 9 vlícovacích bodov a na kontrolu polohovej a výškovej presnosti bolo použitých 13 kontrolných bodov. Jeho stredná kvadratická chyba na vlícovacích bodoch RMS_{xy} bola 0,008 m a stredná kvadratická chyba na kontrolných bodoch RMS_{xy} bola 0,082 m.
Porovnanie súradníc bodov zmeraných na ortofotomape z panchromatických snímok kamery UltraCamD a ortofotomapy hyperspektrálnych záznamov z kamery AISA Eagle sa vykonalo v programe Excel podľa vzťahov uvedených v prácach ŽÍHLAVNÍK, CHUDÝ (1996) Postup a vyhodnotenie presnosti a správnosti pozostáva z týchto krokov:

1. výpočet rozdielov súradníc (odchýlok)

2. posúdenie presnosti a správnosti určenia bodov
   2a. presnosť merania posudzujeme podľa aritmetického priemeru, smerodajnej odchýlky a strednej kvadratickej chyby
   2b. vychýlenie jednotlivých meraní posudzujeme na základe T-testu, ktorý má potvrdiť, alebo vyvrátiť, že ak vznikne nejaká systematická chyba pri určovaní súradníc bodov z ortofotosnímky, tak nevznikla z titulu náhodných činiteľov
3. výpočet stredných súradnicových chýb m_x, m_y
4. strednej polohovej chyby m_{xy} jednotlivých meraní

Meranie sa vykonalo na 35 bodoch v rámci identického územia. Body boli umiestnené s ohľadom na priestorové rozlíšenie ortofotomapy z hyperspektrálnych záznamov, kde dôraz bol kladený na jednoznačnú a ľahkú identifikovateľnosť. Body boli merané tak na rovinatom území ako aj v členitejšom teréne. Jednalo sa väčšinou o stavby, budovy, v niektorých prípadoch kanalizačné poklopy, križovatky ciest s výraznými hranami, signalizované body, v zalesnených územiach predovšetkým solitérne stromy resp. kry.

Tab. č. 1 – Výsledné hodnoty strednej polohovej chyby Myx pred a po odstránení systematickej chyby

suma	-35.071	39.570	0.000	0.000
aritmetický priemer	-1.031	1.164	0.000	0.000
smerodajná odchýlka	1.258	1.322	1.258	1.322
testovacie kritérium	-4.711	5.056	0.000	0.000
kritická hodnota	2.032		2.032	
početnosť	34	34	34	34
MyMx	2.999	1.762	1.258	1.322
Myx	2.460		**1.290**	

Na základe získaných výsledkov vyplýva, že digitálna ortofotomozaika získaná z hyperspektrálnych záznamov kamery AISA Eagle vykazuje strednú polohovú chybu Myx = 1,290 m. Keďže ako porovnávací etalón bola použitá ortofotomozaika vytvorená z panchromatických snímok z kamery UltraCamD je potrebné zohľadniť aj jej výslednú strednú polohovú chybu. Po aplikácii zákona o prenášaní stredných chýb podľa *BÖHMA 1964* sme dosiahli strednú polohovú chybu Myx = 1.293 m. Domnievame sa, že systematická chyba vznikla z dôvodu nepresného určenia a zložitejšej identifikovateľnosti bodov na hyperspektrálnych záznamoch Aisa. Nakoľko sme nemali k dispozícii dostatočný počet kontrolných bodov zameraných terestricky, ich použitie by neprinieslo relevantné výsledky pri kontrole polohovej presnosti a z toho dôvodu neboli použité ako porovnávací etalón.

6 Záver

Hyperspektrálne snímkovanie na území VŠLP môžeme považovať za pilotný projekt. Spracovanie hyperspektrálnych záznamov do podoby ortofotosnímky prebiehalo iba z údajov externej orientácie zaznamenanej jednotkou GPS/IMU. Hoci charakter týchto záznamov je orientovaný na využitie schopnosti zachytávania desiatok až stovák kanálov vo viditeľných a infračervených oblastiach elektromagnetického spektra, v určitých prípadoch je potrebné poznať aj parametre o polohovej presnosti finálnych produktov. Budúci trend v oblasti fotogrametrie smeruje k využívaniu a implementácii kombinovaných technológií snímkovania, teda súčasného využitia veľkoformátových kamier a liniových skenerov. Obrazové fúzie nechávajú otvorený priestor pre experimenty v tomto smere. Príkladom može byť metóda panchromatického zaostrovania, ktorá má svoje pevné miesto vo fotogrametrii a čoraz častejšie sa stretávame aj s obrazovými fúziami veľkoformátových kamier a „pushbroom“ skenerov. Špecifičnosť týchto záznamov však vyžaduje ich ďalšie skúmanie.

7 Literatúra

BÖHM, J., 1964: Vyrovnávací počet. Praha 1964

CHUDÝ, F., KARDOŠ,M., BECZE,F., 2007*:* Posúdenie presnosti digitálneho ortofotplánu vytvoreného z materiálov digitálneho snímkovania In. Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, Zborník referátov, TU Zvolen, 2007 s. 40-49

KOLEKTÍV INPHO GMBH, 2009: DSM Software Manual for MATCH-T DSM Version 5.2 and higher

KOLEKTÍV PCI GEOMATICS, 2003: PCI Geomatics, OrthoEngine User Guide V9.1 Richmond Hill

KOREŇ, M., TUČEK, J., ČERMAN, P., 2007*:* Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve. Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251 – 262.

LILLESAND, M., T., KIEFER, W., R., CHIPMAN, W., J. 2004: Remote sensing and image interpretation, 5th edition, Wiley, Hoboken, 2004, 763 s., ISBN 0-471-45152-5

SMREČEK, BECZE 2008*:* Airborne AISA - hyperspektrálne záznamy a ich využitie v lesníctve in Acta facultatis forestralis.

ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004*:* Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve, TU Zvolen, 388s.