

ANALÝZA GEOMETRICKEJ PRESNOSTI KVALITY OBJEKTOV NA MATERIÁLOCH ZÍSKANÝCH DIGITÁLNOU FOTOGRAMETRIOU

Jakub SOLANKA¹, Valér BRIGANT²

¹ Fakulta hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24,
96053, Zvolen, Slovenská republika
solanka@tuzvo.sk

² Katastrálny úrad Banská Bystrica, Námestie L. Štúra 1, Banská Bystrica, Slovenská republika
xbrigantv@is.tuzvo.sk

Abstrakt

V súčasnej dobe sa dominantnou metódou pri tvorbe lesníckej digitálnej mapy (tematického štátneho mapového diela s obsahom lesného hospodárstva) stala digitálna fotogrametria so záznamom zemského povrchu a javov na ňom v digitálnej podobe prostredníctvom leteckých digitálnych kamier, doplnená pozemnými doplnkovými a podpornými meraniami prostredníctvom globálnych navigačných satelitných systémov a totálnych staníc. Čoraz viac sa do popredia dostávajú namiesto tradičných ortofotomáp mapy z pravých ortofotosnímkov, ktoré poskytujú spoľahlivejší ortogonálny priemet objektov na zemskom povrchu vrátane ich vrchných častí napr. v zastavaných územiach strechy výškových budov, v zalesnených vrchné časti porastov (stromov). V príspevku je posudzovaná presnosť určenia súradníc bodov a meraných dĺžok na rôznych produktoch digitálnej fotogrametrie (pravá, klasická ortofotosnímková) a zo stereoskopického vyhodnotenia s rôznym geometrickým rozlíšením snímkov a pri použití digitálnych výškových modelov z rozdielnych zdrojov (z fotogrametrie, laserového skenovania) na príklade zastavaného územia mesta Zvolen a obce Budča.

Abstract

Digital photogrammetry based on aerial photography has become the dominant method for creating a digital forestry map including various Earth's surface features. It is complemented by terrestrial and supportive measurements by using global navigational satellite systems and total stations. Traditional orthophoto images are increasingly being replaced by true orthophoto images, which provide a more reliable orthogonal object plan of Earth's surface including their topmost features, for example, rooftops in build-up areas and top parts of the forest crop (treetops). This article discusses the accuracy of point coordinates and length measurement accuracy for different products of digital photogrammetry (true, traditional orthophoto images). Stereoscopic interpretation has been used with various geometric resolutions and several digital elevation surface models based on two source types (photogrammetry, laser scanning) from build-up areas of city of Zvolen and Budča village.

Kľúčové slová: digitálna fotogrametria, ortofotosnímková, stereoskopický model, laserové skenovanie

Keywords: digital photogrammetry, orthophoto image, stereoscopic model, laser scanning

1. ÚVOD

Dostupnosť materiálov digitálneho snímkovania, ich predurčuje na ich širšie využitie v lesníctve, najmä v hospodárskej úprave lesov, lesníckom mapovaní pri tvorbe máp a v prostredí geografických informačných systémov (GIS), ale aj v iných lesníckych disciplínach ako sú napríklad lesnícke meliorácie, lesné stavby, lesná ťažba a dopravníctvo a pod. Vysoké geometrické a rádiometrické rozlíšenie, ktorým takéto letecké snímky disponujú im dáva širšie možnosti využitia oproti klasickým analógovým snímkam. Nie len geometrické rozlíšenie, ktoré môže dosiahnuť až 5 cm, ale aj ich spektrálne rozlíšenie, kde sú súčasne zachytené viaceré pásma zo spektra elektromagnetického žiarenia, im dáva širšie možnosti uplatnenia na trhu s podobnými materiálmi.

Lesnícke mapy sú neoddeliteľnou súčasťou lesných hospodárskych plánov a pri ich tvorbe sa vždy používali dobe zodpovedajúce meračské metódy, postupy a prístroje. Vzhľadom na charakter, rozľahlosť a členitosť prostredia, v ktorom sa lesnícke mapovanie vykonáva najviac bola a je využívaná letecká stereofotogrametria doplnená terestricky zameraným detailom, ktorý na leteckých meračských snímkach nie je viditeľný alebo merateľný. Približne od roku 2004 sa pri tvorbe tematického štátneho mapového diela používa digitálna stereofotogrametria a klasické terestrické merania nahrádzajú metódy založené na globálnych navigačných satelitných systémoch v kombinácii s elektronickými diaľkometermi. V súvislosti s používaním digitálnej fotogrametrie, ako dominantnej metódy v lesníckom mapovaní, je problematickou otázkou určovania vlastníckych hraníc lesných pozemkov v rámci jednotiek priestorového rozdelenia lesa z pohľadu presnosti lesníckeho a katastrálneho mapovania, keďže pre lesnícke mapovanie v rámci tematického štátneho mapového diela je stanovená 5. trieda presnosti, ale pre tvorbu Základnej mapy veľkej mierky SR sa dovoľuje vyhotovenie najviac do 4. triedy presnosti. (ŠANDORFI, K. - HALVOŇ, Ľ.)

Vplyvom rýchleho vývoja v oblasti informatiky a súvisiacich oblastí vedy a výskumu môžeme očakávať narastanie geometrického a rádiometrického rozlíšenia leteckých digitálnych kamier, väčšej dostupnosti produktov leteckej fotogrametrie a diaľkového prieskumu zeme a ešte väčšej implementácie digitálnych snímkov do rôznych oblastí lesníctva, štátnych úradov a ďalších inštitúcií ale aj v súkromnom sektore.

Cieľom predkladanej práce je posúdiť geometrickú presnosť na identických objektoch a bodoch vybraných na ortofotosnímkach s rôznym geometrickým rozlíšením a z rôznych časových období. Taktiež posúdiť geometrickú presnosť na objektoch a bodoch pri stereoskopickom vyhodnotení a zhodnotiť dosiahnuté výsledky vzhľadom na lesnícke mapovanie a využitie pri obnove katastrálneho operátu.

2. ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1. Digitálna fotogrametria

Fotogrametria je veda zaoberajúca sa rekonštrukciou tvaru, veľkosti a polohy predmetov zobrazených na meračských fotogrametrických snímkach. Základom fotogrametrie ako meračskej a mapovacej techniky je meračská snímka, ktorá je prostriedkom na najvernejšie a najrýchlejšie zobrazenie prirodzených a umelých predmetov na zemskom povrchu. Fotogrametria je metóda optického merania. Vlastné meranie sa vykonáva na fotogrametrických snímkach alebo na optickom modeli vytvorenom z kontaktných meračských snímkov. Jej úlohou je previesť informácie z centrálnej projekcie snímky na ortogonálnu projekciu (napr. pôdorys, nárys, profily atď.). Môžeme to docieľiť rôznymi metódami alebo rôznymi grafickými, optickými alebo mechanickými a analytickými prostriedkami. Takýmto spôsobom môžeme priame meranie v teréne alebo na objektoch nahradiť meraním na snímkach, resp. optických alebo geometrických modeloch, vytvorených z kontaktných dvojíc snímkov. (ŽÍHLAVNÍK, Š. - CHUDÝ, F. - KARDOŠ, M., 2005)

Postupnou digitalizáciou a automatizáciou procesov pri získavaní leteckých snímkov sa dosiahlo racionálnejšie a rýchlejšie získavanie výstupov, akými sú presné digitálne modely terénu (DMT), digitálne ortofotomapy s väčšou rozlišovacou schopnosťou. Do popredia sa tak začali dostávať snímky z ktorých je možné vytvárať multispektrálne syntézy, ktoré je možné využiť aj pri interpretácii objektov, ktoré sú na nich zachytené. (KARDOŠ, M. - ŠADIBOL, J., 2008)

V oblasti lesníctva je digitálna fotogrametria využívaná v lesníckom mapovaní, kde úplne nahradila metódy analógovej fotogrametrie vzhľadom na dostupnosť technológií a ich postupné zavádzanie do praxe. Táto technológia umožňuje získať presné údaje, ktorých zisťovanie geodetickými metódami by bolo náročné na čas aj financie a v ťažko dostupných terénoch horských oblastí by bolo len ťažko uskutočniteľné. Vďaka digitálnej fotogrametrii sa výrazne racionalizuje technologický postup vyhotovenia základnej lesníckej mapy a ostatných lesníckych máp (napr. porastovej, ťažbovej), ktoré tvoria tematické štátne mapové dielo s obsahom lesného hospodárstva. V súvislosti s lesníckym mapovaním sú konečným produktom digitálnej fotogrametrie lesnícke ortofotomapy so štandardným rozlíšením 0,5 m. Využívané sú predovšetkým taxátormi na uľahčenie orientácie v teréne a hlavne slúžia ako prehľadná pomôcka pri predbežnej kontrole a konfrontácii s terénnym šetrením v kancelárii predvyhodnotených zmien a situácie.

Dalším z produktov je digitálny model terénu (DMT), ktorého vyhotovenie je podmienené existenciou snímkových dvojíc (stereomodelu) so známou vonkajšou orientáciou. Celá jeho tvorba prebieha automatizovane v ľubovoľnom fotogrametrickom systéme s využitím obrazovej korelácie dvoch subobrazov, ktorá bez zásahu operátora určí polohu dvoch najviac podobných bodov a zaznamená ich snímkové súradnice. Existencia modelu je nevyhnutnou súčasťou pre vytvorenie ortogonálneho priemetu snímky, vďaka ktorému získame ortofotosnímkú s konštantnou mierkou. Vytvorenie DMT je technologicky a časovo nenáročný proces. Otázna je však jeho výšková vernosť v porovnaní s reálnym terénom. Práve výškovo presný DMT je základným predpokladom pre digitálne diferenciálne prekresľovanie snímky a použiteľnosti modelu pre účely rozhodovania, plánovania, zberu, spoľahlivosti polohových súradníc, nadmorských výšok a 3D vizualizácií krajiny. (HALVOŇ L., 2010)

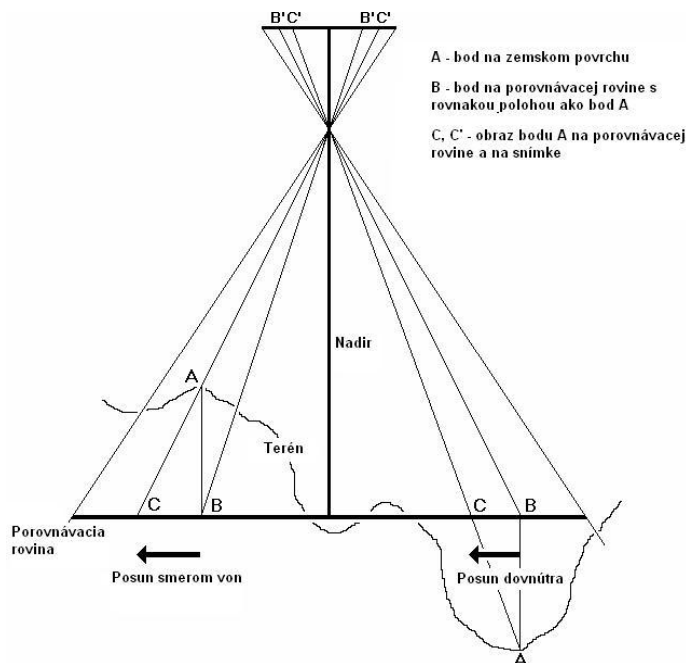
2.2. Tradičná a pravá ortofotosnímká

Ortofotosnímkú môžeme charakterizovať ako mierkovo jednotný raster, na ktorom boli digitálnym diferenciálnym prekresľovaním odstránené skreslenia spôsobené perspektívnym skreslením vyplývajúcim z centrálnej projekcie, ktorou je letecká snímka vytváraná.

Ortofotosnímká vzniká procesom diferenciálneho prekresľovania vo fotogrametrickom systéme. Pre diferenciálne prekresľovanie je potrebné mať digitálny výškový model, poznať parametre vonkajšej orientácie leteckých snímok a taktiež je potrebné, aby digitálne snímky boli v súradnicovom systéme. (WOLF P. R. - DEWITT B. A., 2000)

Digitálne diferenciálne prekresľovanie predstavuje postupnú transformáciu každého bodu perspektívne skresleného štvorcového rastra (obrazových elementov) digitálnej snímky do zodpovedajúceho bodu štvorcového rastra ortofotosnímkú pomocou perspektívnej priestorovej transformácie s využitím údajov DMT. (ŽIHLAVNÍK Š., 2004)

K procesu diferenciálneho prekresľovania snímok je potrebné aby boli snímky správne orientované a boli k dispozícii DMT. V miestach, kde sa DMT nenachádza, zostanú po prekreslení prázdne miesta, prípadne miesta vyplnená príslušnou farbou. Treba pripomenúť, že kvalita výslednej ortofotosnímkú silne závisí od kvality použitého DMT. (LINDER W., 2006)



Obr. 1. Problematika znázorňovania bodov terénu pri centrálnej projekcii.

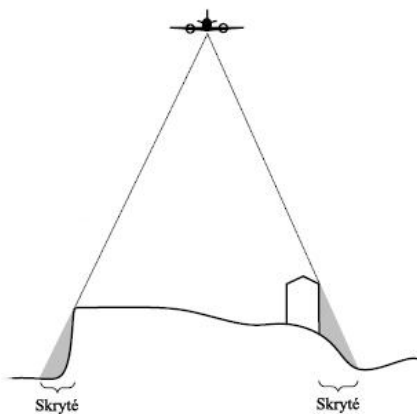
Tvorbe ortofotosnímkov predchádza vypracovanie fotogrametrického projektu. Táto fáza predstavuje z hľadiska ďalšieho postupu najdôležitejšiu časť prác, pretože samotná kvalita vstupných údajov priamo ovplyvňuje výsledné presnosti, a chyby ktoré prichádzajú so vstupnými údajmi sa budú ďalej aritmeticky

kumulovať. Znalosť parametrov vnútornej a vonkajšej orientácie digitálnych leteckých meračských snímok je kľúčovým prvkom fotogrametrického projektu. Vo fotogrametrii je táto úloha bežne riešená pomocou analytickej aerotriangulácie.

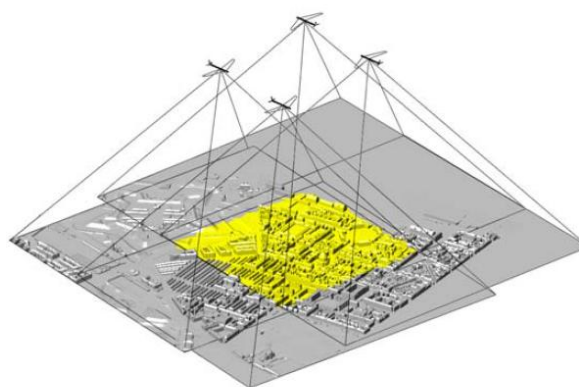
Je prakticky nemožné používať perspektívne skreslené snímky ako podklad pre analýzy v presných GIS aplikáciách a to najmä kvôli nejednotnej mierke a radiálnym posunom. Nejednotná mierka vyplýva z centrálnej projekcie pri fotografovaní, čo zapríčiňuje, že bližšie objekty ku centru premietania sa javia väčšie ako objekty vzdialenejšie. Radiálny posun predstavuje geometrické skreslenie na leteckých snímkach, ktoré je zapríčinené rôznou výškou terénu a výškou objektov na zemskom povrchu voči centru premietania. Problematiku radiálnych posunov vyjadruje obrázok 1.

Hlavný problém leteckej snímky je, že nezaznamenáva zmeny vo výške terénu na veľmi malom území. Tento problém sa prejavuje predovšetkým pri vysokých budovách v mestách, mostoch, veľkých terénnych zrázoch, lesných priesekoch. Posuny reliéfu môžu byť tak veľké že určité časti terénu a objektov sú skryté a nie je možné ich na leteckej snímke vidieť (obr. 2).

Pravá ortofotosnímka tvorí oproti tradičnej ortofotosnímke relatívne nový koncept. K jej tvorbe je potrebný veľký prekryt snímok, kde priečny a pozdĺžny prekryt by mal byť väčší ako 60 % (obr. 3).



Obr. 2. Vysoké objekty a veľké výškové zmeny môžu spôsobiť, že časti terénu a objektov sú skryté. (NIELSEN Ø., 2004)

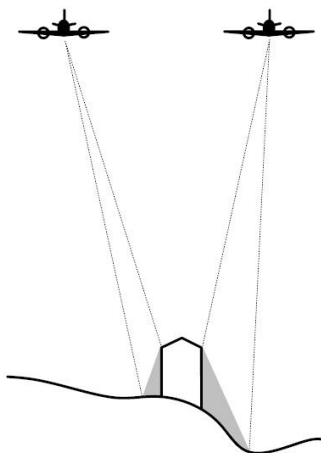


Obr. 3. Letecká snímka s 60 % priečnym a pozdĺžnym prekrytom. Štyri snímky pokrývajú tú istú plochu no z rozdielnej lokality. (NIELSEN Ø., 2004)

Všeobecne povedané pravá ortofotosnímka je "pravá" vtedy ak sa pokúša obnoviť všetky skryté objekty. Pravá ortofotosnímka by mala byť založená na digitálnom povrchu terénu, ktorý zahŕňa všetko, čo je viditeľné na zdrojových snímkach. Vytvoriť ale model, ktorý by zahŕňal všetky objekty na snímkach, vrátane vegetácie, ľudí, áut by bolo neskutočné práce a nákladné. Preto všeobecne povedané pravá ortofotosnímka, je založená na DMT, ktorý obsahuje terén, budovy a mosty. Treba si ale uvedomiť, že pravosť ortofotosnímkov je viac menej záležitosť rozsahu a možnosti jej realizovateľnosti. Stále budú existovať objekty, ktoré nie sú korektne zobrazené (napr. stromy, autá, veľmi malé a menej dôležité objekty). Z toho pohľadu je ideálna pravá ortofotosnímka fikcia. (AMHAR F., 1998)

Problémom, ktorý je spojený s využívaním leteckých ortofotomáp pri aplikáciách v GIS je nesprávne zobrazovanie vysokých objektov na teréne. U týchto objektov centrálné premietanie spôsobuje, že spodný okraj je polohovo správne, zatiaľ čo horný okraj budovy je perspektívne zobrazovaný do priemetu, ktorý je posunutý smerom od stredu premietania. (GEODISBRNO, 2008)

Za účelom obnovenia skrytých oblastí (blindspots), sú potrebné snímky, kde sa tieto časti nachádzajú. Tieto doplnkové obrázky môžu byť vytvorené za pomoci fotografií z rovnej oblasti vytvorených z rôznych miest (obr. 4). Na to sa využívajú snímky s daným (vysokým) priečnym a pozdĺžnym prekrytom.



Obr. 4. Kombinácie niekoľkých snímok pre plné pokrytie záujmovej oblasti. NIELSEN, 2004

Pri vytváraní pravej ortofotosnímky je potrebné vyhľadať skryté oblasti a automaticky ich vyplniť údajmi z iných snímok, kde sú tieto oblasti viditeľné. Z toho vyplýva že aj počet spojovacích čiar je omnoho vyšší ako pri bežnej ortofotosnímke.

3. VSTUPNÉ ÚDAJE

V práci boli použité ortofotosnímky z katastrálneho územia mesta Zvolen a obce Budča. Ortofotosnímky sú z rôznych časových období a rôznym geometrickým rozlíšením:

- tradičná ortofotosnímka z roku 2003 - geometrické rozlíšenie 100cm/pixel
- tradičná ortofotosnímka z roku 2007 - geometrické rozlíšenie 50cm/pixel
- tradičná ortofotosnímka z roku 2011 - geometrické rozlíšenie 10cm/pixel
- pravá ortofotosnímka z roku 2011 - geometrické rozlíšenie 10cm/pixel

K porovnaniu nameraných dĺžok strán objektov a súradníc lomových bodov boli použité vektorové katastrálne mapy (VKM).

Ortofotosnímky z roku 2011 boli vyhotovené pomocou digitálnej kamery UltraCam X s rozlíšením 9420 x 14430 pixlov. Pozdĺžny prekryt snímok bol 80% a priečny 60%. Stredy snímok boli zamerané počas letu pomocou GNSS systému. Spracované boli v pravouhlom súradnicovom systéme S-JTSK-03 vo fotogrametrickom systéme INPHO.

Pravá ortofotosnímka bola vyhotovená z totožných snímok ako v predošlom prípade za použitia 3D vektorovej vrstvy objektov. Spracovaná bola v pravouhlom súradnicovom systéme S-JTSK-03.

Ortofotosnímky z roku 2007 boli vyhotovené analógovou kamera RC30 od firmy Leica. Snímky boli skenované na výsledné rozlíšenie 16626 x 16550 pixlov. Spracované boli v pravouhlom súradnicovom systéme S-JTSK-03.

Pre vektorizáciu v stereo prostredí v Summit Evolution boli použité letecké meračské snímky z roku 2011. Spracované boli v pravouhlom súradnicovom systéme S-JTSK-03.

Použité materiály boli spracovávané v pôvodnom súradnicovom systéme, to znamená S-JTSK alebo S-JTSK03. Materiály neboli transformované do jednotného súradnicového systému a prípadné rozdiely boli odstránené ako zložka systematickej chyby.

4. METODIKA

4.1. Výber vhodnej vzorky skupiny objektov

Na všetkých ortofotosnímках boli vybrané objekty s rovnými strechami a dobre identifikovateľnými obrysmi. Pri výbere vhodných objektov boli zvolené tieto kritériá:

- veľkosť objektu,
- kontrastnosť farby objektu a okolia,
- objekt s nezakrytými časťami,
- objekty s neprečnievajúcimi strechami.

Ak do geometrie objektu vstupuje faktor, ktorý ju ovplyvňuje je predpoklad, že tento faktor bude zistiteľný a merateľný pri objektoch, ktorých rozmery sú na snímke väčšie. Podmienka kontrastnosti objektov s okolím a výber objektov, ktoré nie sú zakryté napríklad stromami alebo stavbami je dôležitá pre správne určenie rohov objektov a ich obrysov. Podmienka výberu objektov so strechami ktoré nepresahujú obrysy objektov je z dôvodu použitia vektorovej katastrálnej mapy ako vzťažného podkladu, v ktorom sú stavby zmapované ako prienik ich vonkajšieho obvodu so zemským povrchom. Pri nedodržaní tejto podmienky by strecha zakrývala prienik ich vonkajšieho obvodu stavby so zemským povrchom a nebolo by možné tieto body na ortofotosnímke vektorizovať.

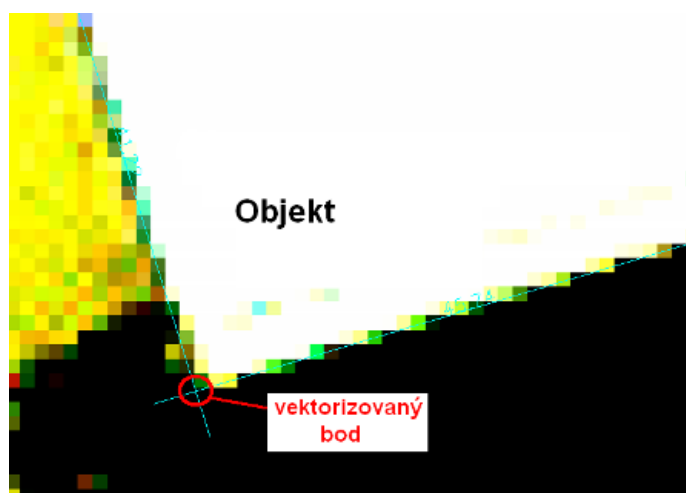
4.2. Výber pomocných meračských bodov

Na porovnanie veľkosti a tvaru objektov a súradníc bodov na ortofotosnímках a v stereo modely boli použité vektorové katastrálne mapy, v ktorých sú súradnice bodov a dĺžky udávané s presnosťou na 1 cm. Použité vektorové katastrálne mapy sú spravované v pravouhlom súradnicovom systéme S-JTSK.

4.3. Vektorizácia objektov

4.3.1. Postup vektorizácie objektov na ortofotosnímках

Použité ortofotosnímky a dvojice snímok pri stereoskopickom vyhodnocovaní boli transformované do súradnicového systému S-JTSK-03. Vektorizácia objektov bola uskutočnená v programovom prostredí Kokeš. Pri vektorizácii je objekt v rastrovej snímke nahradený bodmi s priestorovými súradnicami, ktoré sú vkladané do lomových bodov objektov. V našom prípade sú to rohy striech budov a na tradičných ortofotosnímках aj viditeľné rohy budov v prieniku s terénom. Vektorizované body sú lokalizované na podklade rastra so subpixelovou presnosťou, to znamená s presnosťou vyššou ako je najmenší obrazový prvok v rastri (obr. 5). Súradnice lomových bodov a dĺžky sú v programe Kokeš počítané so zaokrúhlením na 1 cm.



Obr. 5 Spôsob vektorizácie lomových bodov

4.3.2. Postup vektorizácie objektov v stereo modely

Vybrané objekty boli vektorizované v programovom prostredí Summit Evolution. Vektorizované boli strechy vybraných budov a prienik budov so zemským povrchom. Vďaka vysokému pozdĺžnemu a priečnemu prekrytu snímok je možné vyberať také dvojice snímok, aby bola budova postupne viditeľná z každej strany a tým bolo umožnené zvektorizovanie prieniku v rohoch budov so zemským povrchom.

5. VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Presnosť vyhodnotenia a vektorizácie objektov na ortofotosnímках a v stereoskopickom modely je vo veľkej miere závislá od znalostí a skúseností operátora. Pri vyhodnotení v stereoskopickom modely je dôležité umiestnenie meračskej značky do správnej výšky, to znamená do výšky vektorizovaného bodu, pretože vtedy je možné správne určiť priestorové súradnice meraného bodu.

Presnosť, správnosť a spoľahlivosť ortofotosnímok, sa zisťovala štatistickým vyhodnotením a porovnaním s VKM. Na základe vypočítaných rozdielov medzi súradnicami bodov odčítaných z ortofotosnímok a súradnicami bodov z VKM a vypočítaných rozdielov medzi dĺžkami na ortofotosnímках a vo VKM, boli vypočítané štatistické charakteristiky. Pre určenie stredných súradnicových chýb boli vypočítané hodnoty biasu (vychýlení) zo všetkých súradnicových rozdielov, ktoré sú mierou systematickej zložky chyby, respektíve vychýlenia pre osi Y a X. Ďalší krok spočíval vo výpočte smerodajnej odchýlky, ktorá charakterizuje presnosť ortofotomapy. Na posúdenie hrubých chýb bolo zvolené kritérium trojnásobku strednej kvadratickej chyby a prípadné hrubé chyby boli z meraní vylúčené. Ďalej bolo štatistickým testom preverené, či sú získané hodnoty zaťažené systematickou chybou. Vypočítané testovacie kritérium sme porovnali s kritickou hodnotou Studentovho t-rozdelenia pre 5 % hladinu významnosti a stupne voľnosti podľa počtu hodnôt. V prípadoch, kde testovacie kritérium je väčšie ako kritická hodnota, môžeme s 95% spoľahlivosťou tvrdiť, že namerané údaje sú systematicky vychýlené. Z toho dôvodu museli byť tieto súradnice opravené o hodnotu biasu (vychýlenia) z dôvodu odstránenia systematickej chyby. Výsledná stredná súradnicová chyba (m_{yx}) po odstránení systematickej chyby charakterizuje správnosť určenia polohy bodov na strechách budov na jednotlivých ortofotosnímках.

Na posúdenie presnosti odmeraných dĺžok na objektoch boli vypočítané rozdiely dĺžok medzi vzdialenosťami bodov vo VKM a dĺžkami odmeranými v stereoskopickom modely a na ortofotosnímках. Pre dĺžky z VKM boli vypočítané kritériá ud s ktorými sú porovnávané dĺžkové rozdiely.

V k.ú. Zvolen boli štatisticky vyhodnocované údaje zo stereomodelu, pravej ortofotosnímky z roku 2011 (10cm pixel), tradičných ortofotosnímok z roku 2011 (10cm pixel), 2007 (50cm pixel) a 2003 (100cm pixel). V k.ú. Budča boli štatisticky vyhodnocované údaje zo stereomodelu, tradičných ortofotosnímok z roku 2011 (10cm pixel), 2007 (50cm pixel) a 2003 (100cm pixel). Pri výpočtoch súradnicových rozdielov boli použité súradnice bodov, ktoré boli na tradičných ortofotosnímках vyhodnotené ako viditeľné prieniky rohov budov so zemským povrchom. Na pravej ortofotosnímky boli do výpočtov zaradené všetky súradnice bodov určených na strechách objektov, pretože tieto sú polohovo správne umiestnené, vybrané boli neprečnievajúce strechy a preto predstavujú priemet obvodových múrov so zemským povrchom rovnako ako objekty vo VKM.

V k.ú. Budča pre nízky počet bodov na tradičných ortofotosnímках z rokov 2011, 2007 a 2003, ktoré by bolo možné určiť ako prienik objektu zo zemským povrchom nie sú vypočítané štatistické ukazovatele súradnicových rozdielov a stredné súradnicové chyby.

Tab. 1 Vyhodnotenie dĺžkových rozdielov na objektoch v k.ú. Zvolen

Druh	aritmetický priemer [m]	smerodajná odchýlka [m]	rozptyl [m ²]	stredná kvadrat. chyba [m]
stereoskopický model	0,32	0,22	0,05	0,39
pravá ortofotos. 2011	0,27	0,17	0,03	0,32
ortofotos. 2011	1,07	0,71	0,50	1,28
ortofotos. 2007	0,64	0,48	0,23	0,80
ortofotos. 2003	1,16	1,22	1,49	1,68

Tab. 2 Vyhodnotenie dĺžkových rozdielov na objektoch v k.ú. Budča

Druh	aritmetický priemer [m]	smerodajná odchýlka [m]	rozptyl [m ²]	stredná kvadrat. chyba [m]
stereoskopický model	0,28	0,14	0,02	0,28
ortofotos. 2011	0,39	0,26	0,07	0,47
ortofotos. 2007	0,31	0,24	0,06	0,39
ortofotos. 2003	1,42	1,35	1,83	1,97

Tab. 3 Podiely dĺžkových rozdielov v k.ú. Zvolen

Druh	rozdiel dĺžok do 1 pixla	rozdiel dĺžok do 2 pixlov	rozdiel dĺžok do 3 pixlov	rozdiel dĺžok do 4 pixlov
stereoskopický model	17,65%	31,37%	52,94%	70,59%
pravá ortofotos. 2011	20,00%	36,67%	63,33%	76,67%
ortofotos. 2011	8,82%	11,76%	17,65%	29,41%
ortofotos. 2007	48,72%	74,36%	94,87%	100,00%
ortofotos. 2003	61,11%	80,55%	86,11%	97,22%

Tab. 4 Podiely dĺžkových rozdielov v k.ú. Budča

Druh	rozdiel dĺžok do 1 pixla	rozdiel dĺžok do 2 pixlov	rozdiel dĺžok do 3 pixlov	rozdiel dĺžok do 4 pixlov
stereoskopický model	17,14%	28,57%	57,14%	80%
ortofotos. 2011	13,04%	30,43%	39,13%	47,82%
ortofotos. 2007	78,26%	100%	X	X
ortofotos. 2003	59,10%	68,18%	90,90%	90,90%

Tab. 5 Vyhodnotenie súradnicových rozdielov v k.ú. Zvolen

Druh	aritmetický priemer [m]		smerodajná odchýlka [m]		rozptyl [m ²]		stredná kvadr. chyba [m]		bias [m]		m _{yx} [m]	bez systematickej chyby m _{yx} [m]
	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x		
stereoskopický model	0,62	0,34	0,33	0,41	0,11	0,17	0,70	0,53	0,61	-0,15	0,58	0,39
pravá ortofotos. 2011	0,68	0,23	0,30	0,26	0,09	0,07	0,75	0,35	0,68	-0,01	0,56	0,28
ortofotos. 2011	0,39	0,29	0,33	0,29	0,11	0,08	0,51	0,41	0,39	0,17	0,43	0,33
ortofotos. 2007	0,94	1,72	0,52	0,78	0,27	0,61	1,07	1,89	0,94	-1,72	1,54	0,66
ortofotos. 2003	0,78	0,63	0,80	0,96	0,65	0,91	1,12	1,14	-0,43	-0,07	0,94	X

Tab. 6 Vyhodnotenie súradnicových rozdielov v k.ú. Budča

Druh	aritmetický priemer [m]		smerodajná odchýlka [m]		rozptyl [m ²]		stredná kvadr. chyba [m]		bias [m]		m _{yx} [m]	bez systematickej chyby m _{yx} [m]
	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x		
stereoskopický model	0,16	0,41	0,18	0,16	0,03	0,03	0,24	0,44	0,00	-0,41	0,34	0,17

Tab. 7 Zhodnotenie dosiahnutej presnosti určenia dĺžok

K.ú.	stereoskopický model	pravá ortofotos. 2011	ortofotos. 2011	ortofotos. 2007	ortofotos. 2003
Zvolen	4. trieda	4. trieda	nevyhovuje	5. trieda	nevyhovuje
Budča	4. trieda	X	5. trieda	4. trieda	nevyhovuje

Tab. 8 Zhodnotenie dosiahnutej presnosti určenia súradníc

K.ú.	stereoskopický model	pravá ortofotos. 2011	ortofotos. 2011	ortofotos. 2007	ortofotos. 2003
Zvolen	5. trieda	5. trieda	5. trieda	nevyhovuje	nevyhovuje
Budča	4. trieda	X	X	X	X

5.1. Stereoskopický model

Stredná súradnicová chyba určenia bodov je v k.ú. Zvolen pred opravou o systematickú zložku chýb 0,58 m, po oprave o systematickú chybu 0,39 m. V k.ú. Budča je hodnota strednej súradnicovej chyby pred opravou o systematickú zložku chyby 0,34 m a po oprave o systematickú chybu 0,17 m. Vzhľadom na to, že snímkový materiál pri stereoskopickom určovaní súradníc bodov je s rozlíšením 10 cm a jedná sa o ten istý materiál z ktorého bola spracovaná aj pravá ortofotosnímkou, dá sa usúdiť, že horšie výsledky zo stereoskopického určenia súradníc v porovnaní s pravou ortofotosnímkou sú zapríčinené vyhodnocovateľom. Menšia stredná súradnicová chyba v určení súradníc lomových bodov v k.ú. Zvolen je aj pri klasickej ortofotosnímkou z roku 2011 s 10 cm pixlom. Pri ortofotosnímkach z roku 2007 (pixel 50cm) a 2003 (pixel 100cm) sú hodnoty stredných súradnicových chýb väčšie, čo sa dalo predpokladať vzhľadom na geometrickú rozlišovaciu schopnosť týchto ortofotosnímkov.

Pri porovnaní štatistických ukazovateľov dĺžkových rozdielov sú aj v tomto prípade hodnoty ako smerodajná odchýlka, rozptyl a stredná kvadratická chyba menšie pri pravej ortofotosnímkou. Pri ostatných ortofotosnímkach sú už ale tieto hodnoty vyššie. Porovnanie aký podiel dĺžkových rozdielov je v hodnote do jedného, dvoch, troch a štyroch najmenších obrazových bodov (pixlov) na príslušnej ortofotosnímkou prináša zase iné výsledky. Pri porovnaní so stereomodelom v tomto ukazovateli vyšli horšie výsledky v k.ú. Zvolen aj v k.ú. Budča len pri tradičnej ortofotosnímkou z roku 2003 (pixel 100cm) sú hodnoty stredných súradnicových chýb väčšie, čo sa dalo predpokladať vzhľadom na geometrickú rozlišovaciu schopnosť týchto ortofotosnímkov.

Pri porovnaní štatistických ukazovateľov dĺžkových rozdielov sú aj v tomto prípade hodnoty ako smerodajná odchýlka, rozptyl a stredná kvadratická chyba menšie pri pravej ortofotosnímkou. Pri ostatných ortofotosnímkach sú už ale tieto hodnoty vyššie. Porovnanie aký podiel dĺžkových rozdielov je v hodnote do jedného, dvoch, troch a štyroch najmenších obrazových bodov (pixlov) na príslušnej ortofotosnímkou prináša zase iné výsledky. Pri porovnaní so stereomodelom v tomto ukazovateli vyšli horšie výsledky v k.ú. Zvolen aj v k.ú. Budča len pri klasickej ortofotosnímkou z roku 2011. Podiely dĺžkových rozdielov do štyroch pixlov sú v k.ú. Zvolen 70,59% a v k.ú. Budča 80%. Pre porovnanie najlepšie výsledky v tomto ukazovateli má ortofotosnímkou z roku 2007 (50 cm pixel), kde v k.ú. Zvolen je 100% dĺžkových rozdielov do štyroch pixlov a v k.ú. Budča je 100 % dĺžkových rozdielov do dvoch pixlov.

Overením dosiahnutej presnosti určenia dĺžok podľa ČSN 01 3410, boli merania v stereoskopickom modeli zaradené do 4. triedy presnosti v oboch katastrálnych územiach. Dosiahnutá presnosť pri určení súradníc bodov v k.ú. Zvolen zodpovedá 5. triede presnosti a v k.ú. Budča 4. triede presnosti.

5.2. Pravá ortofotosnímkou (2011)

Pravá ortofotosnímkou bola k dispozícii spracovaná len v k.ú. Zvolen. Stredná súradnicová chyba určená zo súradnicových rozdielov na pravej ortofotosnímkou má pred opravou o zložku systematickej chyby hodnotu 0,55 m a po oprave o systematickú chybu hodnotu 0,28 m. Táto hodnota je najnižšia z porovnávaných ortofotosnímkov, nižšia hodnota strednej súradnicovej chyby vyšla len v k.ú. Budča pri určení súradníc bodov v stereoskopickom modeli.

Pri porovnaní štatistických ukazovateľov dĺžkových rozdielov sú hodnoty ako smerodajná odchýlka, rozptyl a stredná kvadratická chyba najnižšie z porovnávaných experimentálnych materiálov.

Podiel dĺžkových rozdielov do štyroch pixlov je v prípade pravej ortofotosnímky 76,67%. Vyšší podiel dĺžkových rozdielov do štyroch pixlov je na ortofotosnímkach z rokov 2007, 2003 a v prípade merania v stereoskopickom modeli v k.ú. Budča.

Dosiahnutá presnosť v určení dĺžok na pravej ortofotosnímke zodpovedá 4. triede presnosti. Súradnice bodov boli určené s presnosťou zodpovedajúcou 5. triede presnosti.

5.3. Tradičná ortofotosnímka (2011)

Stredná súradnicová chyba určená zo súradnicových rozdielov na tradičnej ortofotosnímke z roku 2011 má pred opravou o zložku systematickej chyby hodnotu 0,43 m a po oprave o systematickú chybu hodnotu 0,33 m. Vyššia presnosť v určení súradníc bodov bola dosiahnutá len pri pravej ortofotosnímke v k.ú. Zvolen a pri stereoskopickom vyhodnotení v k.ú. Budča.

Vypočítané dĺžky strán na strechách objektov v k.ú. Zvolen vykazujú veľké rozdiely v porovnaní s dĺžkami vypočítanými z VKM. Rozdiely týchto dĺžok dosahujú hodnoty -1,64 až 2,52 m, čo je 16 a 25 násobok veľkosti pixlov.

Z piatich vybraných objektov sú dva v smere východ-západ a prechádza cez ne spojovacia čiara. Tie sú kratšie v porovnaní s dĺžkami z VKM. Zvyšné tri objekty ktoré sú v smere sever-juh sú naopak dlhšie v porovnaní s dĺžkami z VKM. Tieto rozdiely predstavujú násobky veľkosti pixlov a preto sa nemôže jednať o chybne vektorizované lomové body na podklade ortofotosnímky. Zmenou priebehu spájacej línie na ortofotosnímke tak, aby neprechádzala cez merané objekty (to v našom prípade znamená dva objekty orientované v smere východ-západ) a opätovnou vektorizáciou lomových bodov týchto objektov, následným určením dĺžok a dĺžkových rozdielov bolo zistené, že všetky dĺžky na tejto ortofotosnímke sú väčšie o 0,5 až 2 m v porovnaní s VKM. Štatistické ukazovatele dĺžkových rozdielov ako sú hodnoty smerodajná odchýlka, rozptyl a stredná kvadratická chyba vyšli pri klasickej ortofotosnímke z roku 2011 (10 cm pixel) horšie ako na ortofotosnímke z roku 2007 (50cm pixel). Nižšia presnosť určenia dĺžok a väčšia variabilita nameraných hodnôt je len pri ortofotosnímke z roku 2003 (100cm pixel). Pri porovnaní podielov dĺžkových rozdielov do jedného, dvoch, troch a štyroch pixlov je ortofotosnímka z roku 2011 na tom najhoršie v porovnaní s ostatným experimentálnym materiálom. V k.ú. Zvolen tvorí z celkového počtu meraných dĺžok len 29,41% do štyroch pixlov a v k.ú. Budča 47,82% do štyroch pixlov.

Pri zhodnotení presnosti určenia dĺžok v k.ú. Zvolen na tradičnej ortofotosnímke z roku 2011, zmerané dĺžky nevyhoveli 5. triede presnosti. Určenie dĺžok na ortofotosnímke zachytávajúcej k.ú. Budča zodpovedá 5. triede presnosti. Dosiahnutá presnosť pri určení súradníc bodov bola na ortofotosnímke z k.ú. Zvolen zaradená do 5. triedy presnosti.

5.4. Tradičná ortofotosnímka (2007)

Stredná súradnicová chyba určená zo súradnicových rozdielov má pred opravou o zložku systematickej chyby hodnotu 1,54 m a po oprave o systematickú chybu hodnotu 0,66 m. S nižšou presnosťou boli určené len body v ortofotosnímke z roku 2003.

Pri porovnaní dĺžkových rozdielov pomocou štatistických metód vyšli hodnoty smerodajnej odchýlky, rozptylu a strednej kvadratickej chyby výrazne nižšie ako pri dĺžkach určených na podklade tradičnej ortofotosnímky z roku 2011, ktorá má ale lepšie geometrické rozlíšenie. Pri porovnaní podielov dĺžkových rozdielov do jedného, dvoch, troch a štyroch pixlov dosiahla ortofotosnímka z roku 2007 najlepšie výsledky. V k.ú. Zvolen bolo 100% zistených súradnicových rozdielov do štyroch pixlov a v k.ú. Budča bolo 100% súradnicových rozdielov do dvoch pixlov.

Dosiahnutá presnosť určenia dĺžok na tradičnej ortofotosnímke v k.ú. Zvolen zodpovedá 5. triede presnosti a v k.ú. Budča zodpovedá 4. triede presnosti. Určenie súradníc bodov nevyhovovalo 5. triede presnosti.

5.5. Tradičná ortofotosnímka (2003)

Stredná súradnicová chyba určená zo súradnicových rozdielov je v prípade ortofotosnímky z roku 2003 0,94 m. Pomocou štatistického testu nebola v týchto meraniach zistená systematická chyba. Presnosť určenia bodov je na podklade tejto ortofotosnímky najnižšia, ale vzhľadom na geometrické rozlíšenie ortofotosnímky sa to dalo predpokladať.

Štatistické charakteristiky dĺžkových rozdielov majú najvyššie hodnoty z experimentálnych materiálov a znamenajú najnižšiu presnosť a najväčšiu variabilitu vypočítaných hodnôt. Pri porovnaní podielov dĺžkových rozdielov, kde do štyroch pixlov je v k.ú. Zvolen 97,22% hodnôt a v k.ú. Budča 90,90% hodnôt, lepšie výsledky vykázali len hodnoty určené z tradičnej ortofotosnímky z roku 2007.

Pri zhodnotení presnosti určenia dĺžok a súradníc na ortofotosnímke nevyhovovali 5. triede presnosti.

6. ZÁVER

Na základe výsledkov a posúdenia dosiahnutej presnosti pri získaní dĺžok a súradníc bodov na produktoch leteckej fotogrametrie v tejto práci, je možné posúdiť vhodnosť jednotlivých produktov pri ich aplikácii v praxi. V prácach viacerých autorov sa uvádza 3. trieda presnosti v určení bodov pri stereoskopickom vyhodnotení snímok s vysokým geometrickým rozlíšením. V práci bola v prípade vyhodnotenia polohovej presnosti bodov v k.ú. Zvolen dosiahnutá 5. trieda presnosti a v k.ú. Budča dosiahnutá 4. trieda presnosti. V k.ú. Budča bola ale hodnota strednej súradnicovej chyby po odstránení systematickej chyby blízko hraničnej hodnoty medzi 3. a 4. triedou presnosti a podobné sú aj výsledky pri posúdení presnosti určenia dĺžok v stereoskopickom modeli. Dosiahnutie nízkej presnosti v určení bodov v k.ú. Zvolen je z veľkej časti spôsobené neskúsenosťou vyhodnocovateľa. Táto metóda má obrovskú výhodu v možnosti výberu takých snímkových dvojíc, ktoré pri pozdĺžnom prekryte 80% a priečnom prekryte 30% - 60% zabezpečia viditeľnosť a merateľnosť bodov ktoré sú inak neviditeľné. V lesnom prostredí sú to napríklad hranice porastov, lesné cesty, priesečky a pod. ktoré sú pod korunami stromov a v zastavanom území prieniky obvodových múrov so zemským povrchom hlavne v prípade striech presahujúcich obvodový plášť stavby. Vďaka tejto možnosti je minimalizovaná potreba terestrického domerovania zakrytých bodov.

Dobrá geometrická a polohová presnosť bola zistená aj na pravej ortofotosnímke. Túto by bolo možné vzhľadom na dosiahnutú presnosť využiť pri lesníckom mapovaní. Presnosť určenia dĺžok zodpovedá 4. triede presnosti a z tohto hľadiska by vyhovovala aj tvorbe ZMVM SR pre extravilán.

Nízka presnosť v určení dĺžok na tradičnej ortofotosnímke je zapríčinená kombináciou faktorov. Je to stredové premietanie spôsobujúce radiálne posuny na strechách vybraných objektov, ktoré sa zvýrazňujú veľkým výškovým rozdielom medzi terénom a strechou (vybrané boli vysoké panelové stavby) a nízkou výškou letu pre dosiahnutie vysokého geometrického rozlíšenia. Pre odstránenie tohto skreslenia by museli byť vytvorené presné DMP (digitálny model povrchu) a odstránené radiálne posuny. Tu sa otvára priestor pre LIDAR pomocou ktorého je možné vytvoriť presné DMP a DMR.

Ako vyplýva zo záverov práce, produkty fotogrametrie a diaľkového prieskumu zeme nachádzajú uplatnenie v rôznych oblastiach, od lesníctva, mapovania, ochrany životného prostredia atď. Dosahovaná presnosť je plne postačujúca pre lesnícke mapovanie a pre tvorbu ZMVM SR v extraviláne. Zvyšovaním ich presnosti a dostupnosti nájdú určite uplatnenie aj pri ďalších aplikáciách.

LITERATÚRA

Amhar, F. (1998) The generation of true orthophotos using a 3D building model in conjunction with a conventional DTM. In GIS-Between Visions and Applications. Stuttgart: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, [online]. Dostupné na internete: [cit. 2012-12-13], <<http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/jansa57.pdf>>

Halvoň, L. (2010) Využitie technológií diaľkového prieskumu Zeme v HÚL. Aktuálne problémy lesníckeho mapovania: zborník referátov. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 95-103 s.

Kardoš, M. - Šadibol, J. (2008) Farebné digitálne ortofotoplány a ich využitie v lesníctve. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, L, č. 2, 131-139 s.

Linder, W. (2006) Digital Photogrammetry: A Practical Course. Berlín: Springer, 2. vyd., 214 s. ISBN 978-3540291527

Nielsen, Ø., M. (2004) True orthophoto generation. Lyngby: Technical University of Denmark, 126 s. ISSN 1601-233X

Šandorfi, K. - Halvoň, L. Využitie digitálnej fotogrametrie v HÚL, uplatnenie výsledkov v GIS. [online]. Dostupné na internete: <<http://www.nlcsk.sk/files/1593.pdf>>.

TrueOrtho: GeodisBrno. (2008) [online]. Brno:Geodis Brno. Dostupné na internete: [cit. 2012-12-12], <<http://www.geodis.cz/sluzby/trueorto>>

Wolf, P., R. - Dewitt, B., A. (2000) Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS. United States of America: R.R Donnelley & Sons Company, 3. vyd, 608 s. ISBN 0-07-292454-3

Žihlavník, Š. - Chudý, F. - Kardoš, M. (2005) Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 80 s. ISBN 80-228-1545-4

Žihlavník, Š. (2004) Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 388 s. ISBN 80-228-1287-0