

Miroslav KOŽUCH

ORTOFOTOSNÍMKA BEZ PERSPEKTÍVNEHO SKRESLENIA VÝŠKOVÝCH OBJEKTŮV

Kožuch, M.: The orthophotoimage without perspective projection a high-rise buildings.
Kartografické listy 2009, 17, 5 figs., 13 refs.

Abstract: Digital orthophotoimage is the final product of digital photogrammetry workflow. When orthophoto is created, the effects of inclinations of the plane, altitude differences of terrain or objective distortion are removed and the result is the digital transformation remote sensing records of the central projection to the orthogonal one where the centre of projection moves infinitely. If the digital orthophoto was derived correctly, all building should have been flattened to the ground. An error is, when we visible the side of buildings on the orthophotoimage. The mapping of object at nearness is impossible, is in living up a building. Only on the true orthophoto is not rectification error. Proceeding create of true orthophoto require special digital terrain model (DTM) width elevation of building too.

Keywords: digital photogrammetry, digital terrain model, orthorectification, true digital orthophotoimage

Úvod

Do doby rozvoja metód *dial'kového prieskumu* (DP) bolo možné vyhotoviť mapu len využitím geodetických metód. Zjednodušenie tvorby máp priniesli až metódy DP, ktoré boli založené na bezkontaktnéj technike získavania informácií o objektoch zemského povrchu, resp. o blízkych podzemných a nadzemných vrstvách. Meranie a zber informácií o objektoch krajiny sa nevykonáva priamo v teréne, ale na vyhotovenom zázname merania. Záznamy tvoria analógové alebo priamo digitálne *letecké meračské snímky* (LMS) a satelitné obrazové údaje. Na podklade záznamov sa následne v laboratórnych podmienkach vyhodnocujú objekty krajiny a vytvára sa tak topografická mapa.

Digitálna ortofotosníмка je moderným produktom digitálnej fotogrametrie. Rovnako ako tradičné analógové – čiarové mapy, aj ortofotomapa (digitálna mapa s ortofotosnímkou) je vyhotovená s určitou polohovou presnosťou. V závislosti od veľkosti svojho obrazového elementu, v porovnaní s čiarovou mapou rovnakej mierky, obsahuje neporovnateľne väčšie množstvo informácií. Objekty krajiny nekóduje, nepoužíva abstraktné čiary a symboly a ani ich negeneralizuje, sú zobrazené tak, ako v skutočnosti naozaj vyzerajú. Ortofotomapa je preto ľahšie čitateľná širšiemu okruhu používateľov. Možno povedať, že ortofotomapa postupne nahrádza tradičnú mapu.

V prostredí digitálnych fotogrametrických systémov vzniká tzv. kontinuálna digitálna ortofotosníмка územia. Bohatý obsah ortofotosnímkou sa priamo ponúka na ďalšie využitie v prostredí geografických informačných systémov – GIS (Mičietová 1999). Pretože v súčasnej dobe je priestorové rozlíšenie optických záznamov zo satelitných nosičov veľmi podobné priestorovému rozlíšeniu záznamov získaných z LMS, postupy spracovania do podoby ortofotosnímk sa výrazne neodlišujú. Nasledujúci text prezentuje etapy spracovania LMS do tvaru digitálnych ortofotosnímk, na ktorých sa neprejavujú vplyvy perspektívneho skreslenia výškových objektov. V experimente sa využili archívne LMS z oblasti mesta Levice, snímkovej mierky 1:27 000, vyhotovené v roku 1999, ktoré bližšie charakterizuje práca (Čerňanský a Kožuch 2002).

Mgr. Miroslav KOŽUCH, PhD., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, e-mail: kozuch@fns.uniba.sk

Tvorba digitálnej ortofotosnímkky

Pri tvorbe digitálnej ortofotosnímkky dochádza k odstráneniu vplyvov sklonov nosiča snímacieho zariadenia, výškových rozdielov terénu a skreslenia objektívu, pričom výsledkom je digitálna transformácia záznamu DP zo stredového priemetu na pravouhlý – ortogonálny, kde stred premietania sa posúva do nekonečna. Postup vytvorenia digitálnej ortofotomapy je podrobnejšie uvedený v práci (Mičietová et al. 2008). V uvedenom procese spracovania je nevyhnutná znalosť tzv. vonkajšej orientácie snímacieho zariadenia a vytvorený digitálny výškový model.

Digitálny výškový model pre vytvorenie digitálnej ortofotosnímkky sa vytvára hlavne vyhodnotením LMS a následným modelovaním fotogrametricky meraného *diskrétneho bodového poľa výšok* (DBPV). Hustota bodov DBPV závisí od typu vyhodnocovaného terénu, volí sa približne v pravidelnom – štvorcovom rozstupe. Parametre vonkajšej orientácie sa určujú na základe digitálnej automatickej aerotriangulácie.

Digitálna ortofotosnímkka vzniká na základe digitálneho diferenciálneho prekreslenia. Základom prekreslenia sú geometrické vzťahy a matematické formulácie, ktoré sa využívajú v jedno-snímkovej fotogrametrii. Pri prekreslení sa využíva podmienka kolineárnosti, t.j. snímkový vektor r' a vektor modelového systému r_p ležia na jednej priamke, čo možno analyticky vyjadriť (Maršík 1997):

$$r_p = \lambda M r' \quad (1)$$

Dosadením (1) do rovnice pre určenie vektora objektu na zemskom povrchu $r = r_o + r_p$ a následnou úpravou, aby vektor r' bol na ľavej strane rovnice dostávame:

$$r' = \frac{1}{\lambda} M^{-1} (r - r_o) \quad \text{resp.} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -f \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda} M^{-1} \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

kde: λ je mierkový koeficient,

x'_i, y'_i sú súradnice bodu na LMS,

f je konštanta fotogrametrickej kamery,

X, Y, Z sú súradnice objektu na zemskom povrchu,

X_0, Y_0, Z_0 sú tri translačné parametre (súradnice projekčného centra),

$M = m_{ij}$ ortogonálna rotačná transformácie s troma nezávislými rotáciami obrazu.

Diferenciálne prekreslenie sa realizuje postupne v riadku zvlášť pre každý obrazový element perspektívne skresleného obrazu DP do zodpovedajúceho bodu ortofotosnímkky s využitím údajov digitálneho modelu terénu (DTM). Súčasťou digitálneho prekreslenia je prevzorkovanie obrazu, pri ktorom sa určí nová hodnota jasú každého obrazového elementu.

Pri záznamoch DP sa často stretávame s odlišnými svetelnými podmienkami. Spôsobené sú orientáciou snímacieho zariadenia v okamihu expozície vzhľadom na polohu Slnka, pričom sa na vytvorenom obraze DP prejavujú vznikom svetlejších alebo tmavších oblastí. Z tohto pohľadu je nevyhnutné vykonať rádiometrickú úpravu obrazu. Rádiometricky upravený digitálny obraz má vyššiu obrazovú kvalitu, čo pomáha k lepšej vizuálnej interpretácii obrazu.

Na vytváraní ortofotosnímkky sa často nenachádza celá záujmová oblasť, ktorú musíme spracovať. Preto je potrebné pospájať viac ortofotosnímkok do jednotného celku. Pred ich spájaním treba vykonať rádiometrické úpravy. Po úpravách sa v spoločnej časti spájaných ortofotosnímkok vytvorí spojovacia čiara, pomocou ktorej jednotlivé ortofotosnímkky spojíme. Dostávame jeden spojený obraz nazvaný ortofotomozaika.

Záverečnú úpravu vytvorenej ortofotomozaiky predstavuje retuš digitálneho obrazu. Vykonávaná je človekom – operátorom, ktorý postupne vizuálne prechádza celý digitálny záznam. V lokálnych oblastiach ortofotomozaiky sa čistí digitálny obraz od rôznych nečistôt a mechanického poškodenia pôvodného analógového snímkového materiálu. Z vytvorenej ortofotomozaiky sa zvyknú odstraňovať snímkové objekty, ktoré majú stupeň utajenia (strategické, vojenské objekty a pod). Pôvodný snímkový obraz sa v takomto prípade zvykne prekryť homogénnym obrazom lesa alebo poľa tak, aby celkový dojem z vytvoreného digitálneho obrazu nebol príliš rušivý.

Pre uľahčenie manipulácie s digitálnou ortofotomozaikou sa vytvorený obraz rozdelí do menších, prevažne obdĺžnikových častí, najčastejšie podľa kladu mapových listov. Digitálna ortofotomapa predstavuje kartografický výstup, ktorý v sebe spája bohatstvo informácií digitálneho obrazu LMS a prítomného topografického alebo iného tematického obsahu vo forme znakov.

Problém polohy výškových objektov postavených človekom na digitálnej ortofotosnímke

Charakterizované spracovanie obrazu narazilo postupne na problém. Hoci obraz vytvorenej digitálnej ortofotosnímky spĺňal kritériá polohovej presnosti zobrazenia objektov na reliéfe, všetky výškové objekty postavené človekom – budovy, komíny, veže, stĺpy a pod., neboli zobrazené v kolmom priemete. Strechy výškových objektov nereprezentovali ich skutočnú polohu v priestore. Okrem toho, na vytvorenom obraze ortofotosnímky bolo vidno ich bočnú stenu a svojim sklonom mohli zakrývať ďalšie objekty v blízkom okolí (Greenfeld 2001).

V zastavanom území sa mohlo stať, že budovy na dvoch stranách jednej ulice boli v dôsledku centrálnej projekcie zobrazené na digitálnom obraze so sklonom do rôznych strán. Spôsobené to bolo diferenciálnym prekreslením, pri ktorom sa využíval digitálny výškový model reprezentujúci tvary reliéfu bez výškových objektov a mozaikovanie obrazu ortofotosnímkov. Mozaikované boli ortofotosnímky vyhotovené z LMS so širokým objektívom a so stereoskopickým prekrytom okolo 60%, keď deliaca čiara bola vedená práve v miestach stredového priebehu ulice.

Rastom priestorového rozlíšenia záznamov satelitných nosičov sa s uvedeným problémom stretávame aj na satelitných záznamoch. Naklonenie výškových objektov spôsobuje metóda snímania, ktorá vzhľadom na rozstup dráh a šírku záberu nebýva vždy z nadiru. Prítom na satelitoch je umožnené vychýľovanie snímacieho zariadenia v smere letu (dopredu, dozadu), ako aj v smere kolmom na smer letu (doprava, doľava).

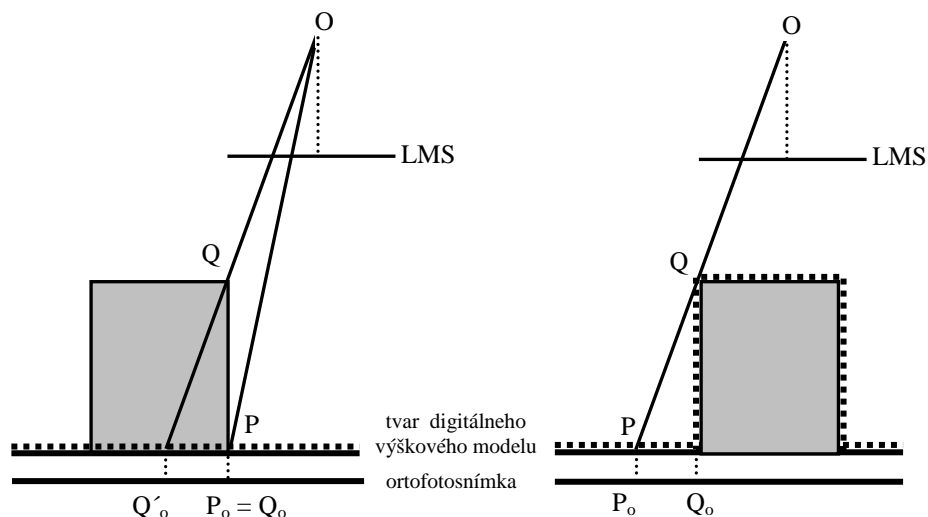
Vznik sklonu výškových objektov na ortofotosnímkach spôsobuje využitý digitálny výškový model. Hoci model správne popisuje objekty na reliéfe, neobsahuje výškové objekty – budovy, komíny, veže, stĺpy. Pri digitálnom diferenciálnom prekresľovaní obrazu sa bod Q umiestnený na vrchole výškového objektu prekreslí do bodu Q' , namiesto do polohy bodu Q_0 , ktorá je jeho správnu polohou. Poloha bodu P na reliéfe sa prekreslí do správnej polohy bodu Q , čo je znázornené na obr. 1 vľavo (Biasion et al. 2004).

V prípade využitia digitálneho modelu, ktorý obsahuje aj tvary výškových objektov (obr. 1 vpravo), bod na streche výškového objektu Q sa prekreslí do správnej polohy označenej Q_0 . Úsek medzi bodmi PQ je zakrytý vplyvom centrálnej projekcie a zakrýva ho práve bod Q na streche objektu. Bod P sa preto nahradí viditeľným bodom Q , ktorý sa zdvojnásobí do bodu Q_0 , ale aj do bodu P_0 .

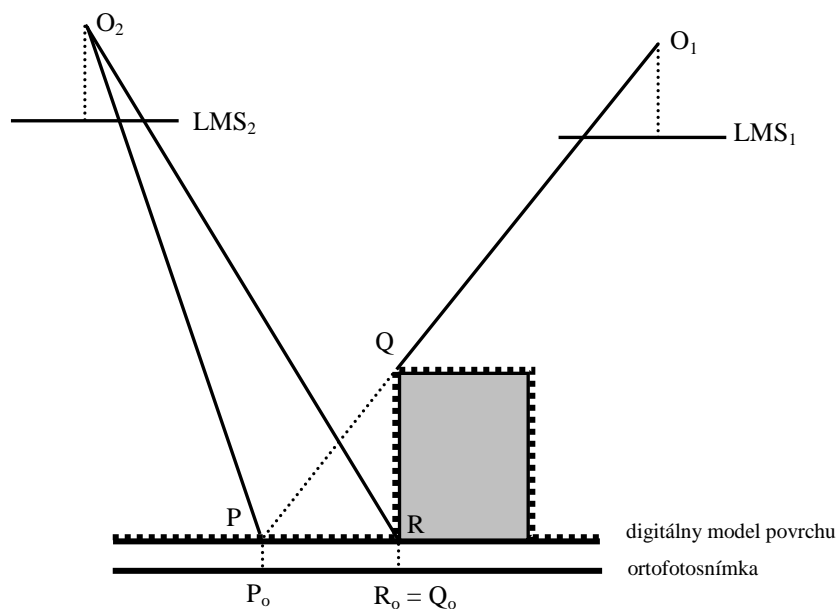
Obraz zakrytej oblasti medzi bodmi PQ nie je zachytený na spracovávanom zázname. Musí sa preto vybrať z iných záznamov, o ktorých sa predpokladá, že budú k dispozícii. Využitím viacerých určovacích lúčov, vychádzajúcich z rozdielnych projekčných centier (obr. 2), možno zabrániť vzniku zdvojeného obrazu. Namiesto zakrytého úseku PQ z projekčného centra O_1 záznamu LMS_1 sa úsek získava prekreslením úseku PR zachytenom z projekčného centra O_2 zo záznamu LMS_2 .

Odstraňovanie zdvojených snímkových objektov a ich náhrada za nezakryté objekty sa dala vykonať donedávna len manuálnym výberom a spracovaním. Automatizáciu do postupu prinieslo zdokonalenie metód digitálneho spracovania obrazu, ktoré umožnili odstrániť upravované objekty a na ich miesto vložiť obraz z inej ortofotosnímky bez zásahu používateľa (Schickler a Thorpe 1998). Vkladaný obraz bol vyberaný zo záznamu vyhotoveného z rozdielneho projekčného centra, na ktorom neboli zakryté rovnaké objekty, ako na spracovávannej ortofotosnímke. Odstraňovanie objektov sa vykonáva na základe zákrytu objektov pomocou digitálneho výškového modelu, ktorý

prezentuje skutočné tvary výškových objektov. Pri vkladaní nového obrazu je nevyhnutné snímať výškové objekty z viacerých strán. Vytvorená digitálna ortofotosnímká, na ktorej nie sú zobrazené steny výškových budov, budovy a mosty sú zobrazené len svojím skutočným kolmým priemetom a zakryté miesta sú nahradené reálnym snímkovým obrazom, sa v anglickej literatúre nazýva „*true orthophotomap*“ (Jensen 1996). Slovenský ani český ekvivalent zatiaľ neexistuje. V Českej republike navrhuje terminologická komisia Českého úřadu zeměměřičského a kartografického (ČÚZK) používanie termínu „*věrná ortofotomapa*“ (Šíma 2008).



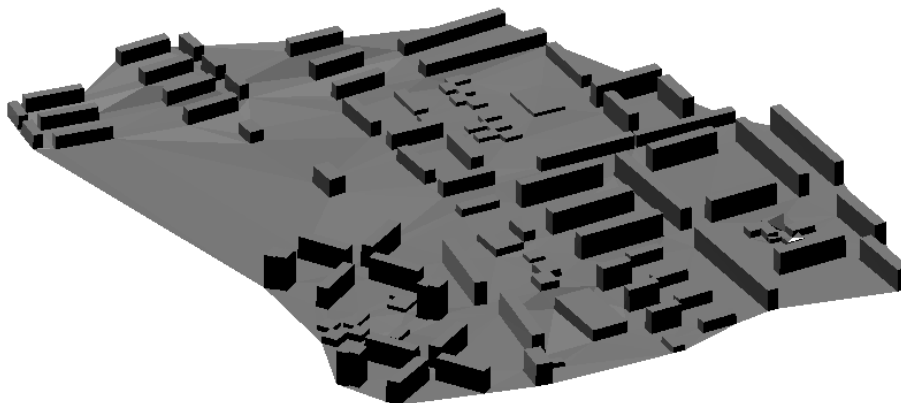
Obr. 1 Digitálne diferenciálne prekrasenie s digitálnym modelom bez výškových objektov a s výškovými objektmi



Obr. 2 Vytvorenie obrazu ortofotosnímká bez perspektívneho skreslenia výškových objektov využitím viacerých projekčných centier

Vytvorenie digitálnej ortofotosnímkky bez perspektívneho skreslenia výškových objektov

Postup vytvorenia digitálnej ortofotosnímkky bez perspektívneho skreslenia výškových objektov sa výrazne neodlišuje od postupu vytvárania ortofotosnímkky s perspektívnym skreslením. Aj digitálna ortofotosnímkka bez perspektívneho skreslenia výškových objektov sa vytvára najskôr digitálnym diferenciálnym prekreslením, na základe znalostí prvkov vonkajšej orientácie a vytvoreného digitálneho výškového modelu. Digitálny výškový model reprezentuje digitálny terénny model (DTM), ktorý vystihuje skutočné tvary terénu vrátane výškových objektov (obr. 3).



Obr. 3 DTM z územia mesta Levice použitý pre vyhotovenie digitálnej ortofotosnímkky bez perspektívneho skreslenia výškových objektov (spracované Katedrou kartografie, geoinformatiky a DPZ, Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave)

Po digitálnom diferenciálnom prekreslení záznamu DP na základe skutočného tvaru objektov zahrnutých v DTM, budú určité časti objektov zobrazené na digitálnom obraze dvakrát. Jedna poloha prezentuje správne prekreslenú polohu výškových objektov a druhá bude zvyškom pôvodného vstupného obrazu, na ktorého miesto nie je schopný algoritmus prekreslenia sám vložiť iný obrazový prvok (obr. 4).

Využitie obrazu vytvorenej ortofotosnímkky pri interpretácii by mohlo spôsobiť chyby pri identifikácii objektov. Preto sa musia časti obrazu, ktoré nebolo možné nahradiť inými prvkami, odstrániť. Vykonáva sa to opäť na základe informácie DTM. Vytvorený obraz už predstavuje ortofotosnímkku bez perspektívneho skreslenia výškových objektov (obr. 5).



Obr. 4 Ortofotosnímkka s duplicitnými prvkami obrazu



Obr. 5 Ortofotosnímkka bez perspektívneho skreslenia výškových objektov a po odstránení duplicitných prvkov obrazu

Aby na obraze ortofotosnímky neboli prítomné čierne areály bez obrazovej informácie, je možné na miesto nich vložiť obraz z inej ortofotosnímky. Postup predpokladá, že spracovávané územie bolo snímané z viacerých projekčných centier. Na miesto odstránených prvkov obrazu sa vložia objekty vybrané z ortofotosnímkov vyhotovené z odlišného projekčného centra. Vytvorená je tak digitálna ortofotosnímka bez perspektívneho skreslenia výškových objektov, na ktorej sú v kolmom priemeti zobrazené objekty reliéfu, ako aj výškové objekty a minimalizujú sa plochy bez obrazovej informácie.

Využitie digitálnych ortofotosnímkov bez perspektívneho skreslenia výškových objektov je rovnaké ako v prípade digitálnych ortofotomáp s perspektívnym skreslením. Bližšie ich popisujú práce (Boltížiar 2007, Kožuch a Čerňanský 2006, Stanková a Čerňanský 2004). Ich výhody využitia sa prejavujú hlavne v zastavaných územiach.

Záver

Vyhотовovanie digitálnych ortofotosnímkov bez perspektívneho skreslenia výškových objektov je pomerne novinkou pri digitálnom spracovaní obrazu. Digitálna ortofotosnímka bez perspektívneho skreslenia výškových objektov zobrazuje všetky objekty zemského povrchu v kolmom priemeti. Vyžaduje však vytvorenie špeciálneho DTM, ktorý prezentuje reálne tvary výškových objektov. DTM sa vyhotovuje prevažne fotogrametrickým vyhodnotením LMS. Výrazné skrátenie časovo náročného procesu sa dá dosiahnuť využitím aktívnych snímačov DP typu LIDAR (**L**ight **D**etection and **R**anging). Aby sa na obraze ortofotosnímky bez perspektívneho skreslenia výškových objektov nenachádzali objekty bez obrazovej informácie, nevyhnutné je vyhotovenie a následné spracovanie viacerých záznamov DP, na ktorých sú výškové objekty nasnímané z viacerých strán. V prípade spracovania digitalizovaných LMS sú rádiometrické úpravy obrazu dosť obmedzené, zlepšenie sa dosiahne využitím priamo snímaného digitálneho obrazu pomocou digitálnych kamier (Čerňanský a Kožuch 2006). Zatiaľ vyhotovenie digitálnej ortofotosnímky bez perspektívneho skreslenia výškových objektov je možné len v špecializovanom komerčnom softvéri.

Práca vznikla na základe podpory grantu udeleného Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA) č. 1/4034/07.

Literatúra

- BIASION, A., SEQUAL, S., LINGUA, A. (2004). A new procedure for the automatic production of true orthophotos. *ISPRS 20th Congress*. Com. 4. Istanbul. Dostupné na: <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm4/papers/407.pdf> (3.7.2006).
- BOLTÍŽIAR, M. (2007). *Štruktúra vysokohorskej krajiny Tatier – veľkomierkové mapovanie, analýza a hodnotenie zmien aplikáciou údajov diaľkového prieskumu Zeme*. Nitra (Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied, Ústav krajiny ekológie SAV Bratislava, Pobočka Nitra, Slovenský národný komitét pre program Človek a biosféra UNESCO).
- ČERŇANSKÝ, J., KOŽUCH, M. (2002). Fotogrametrický zber priestorových informácií dolného úseku rieky Hron. *Aktivita v kartografii 2002*. Bratislava, s. 29-38.
- ČERŇANSKÝ, J., KOŽUCH, M. (2006). Digitálne fotogrametrické kamery. *Aktuálne problémy kartografie, katastra nehnuteľností a pozemkových úprav. Pedagogické listy*, 13, s. 41-49.
- GREENFELD, J. (2001). Evaluating the Accuracy of Digital Orthophoto Quadrangles in the Context of Parcel-Based GIS. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, roč. 67, 2, s. 199-205.
- JENSEN, J. R. (1996). Issues Involving the Creation of Digital Elevation Models and Terrain Corrected Orthoimagery Using Soft-Copy Photogrammetry. *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 8, pp. 175-177.
- KOŽUCH, M., ČERŇANSKÝ, J. (2006). Využitie digitálnych ortofotomáp v geografii. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 47, pp. 177-185.
- MARŠÍK, Z. (1997). Digitální ortofoto – teoretické princípy. *Kartografické listy*, 5, s. 55-58.
- MÍČIETOVÁ, E. (1999). Kvalita, funkcie a operačné možnosti databázy geografického informačného systému. *Geografický časopis*, roč. 51, 3, s. 297-312.
- MÍČIETOVÁ, E., KOŽUCH, M., STANKOVÁ, H., BOROS, R., BALÁŽOVIČ, Ľ. (2008). *Špecializované informačné technológie v prírodovednom výskume: Geoinformačné technológie*. Bratislava (Vydavateľstvo Elita).

- SCHICKLER, W., THORPE, A. (1998). Operational procedure for automatic true orthophoto generation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32 (Part 4), s. 527-532. Dostupné na: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/commIV/schickler58.pdf> (2.3.2009).
- STANKOVÁ, H., ČERNÁNSKÝ, J. (2004). Objektovo-orientovaná klasifikácia čiernobielych a farebných ortofotosnímkov v oblasti Chopok-Jasná. *Aktuální problémy fotogrametrie a DPZ*. Praha (České vysoké učení technické).
- ŠÍMA, J. (2008). Používejte Terminologický slovník na internetu. *GeoBusiness (GEOinformace)*, 12, s. 18-19.

S u m m a r y

The orthophotoimage without perspective projection a high-rise buildings

Historically, the oldest techniques of mapping are land-surveying methods. Later was a substituted technique of remote imaging. Measuring and collection of information concerning the landscape objects is not carried out directly in field, but they are based on the fashioned measuring record. Today is modern product of remote sensing the digital orthophotoimage.

As the spatial resolution of satellite images is very similar to that of records obtained from aerial photoimages, the procedure of their processing is also very similar. The following text presents processing of procedure into true orthophotoimage.

Digital orthophotoimage is the final product of digital photogrammetry workflow. When orthophotoimage is created, the effects of inclinations of the plane, altitude differences of terrain or objective distortion are removed and the result is the digital transformation remote sensing records of the central projection to the orthogonal one where the centre of projection moves infinitely.

After geometric correction it is necessary to carry out radiometric correction too. The area of interest is not always covered on the created orthophotoimage. Hence, it is necessary to bring together several orthophotoimages. Orthophotomosaic is created by means of the seam line. The final adjustment of the created orthophotoimage is retouching of the digital picture. Digital orthophotomap is cartographic output, which unites such assets as information, contained in the digital aerial images and a topographic or thematic maps.

If the digital orthophoto was derived correctly, all building should have been flattened to the ground. An error is, when we visible the side of buildings on the orthophoto. The mapping of object at nearness is impossible, is in living up a building. Only on the true orthophoto is not rectification error. Proceeding create of true orthophoto require special digital terrain model (DTM) with elevation of building too and the availability of images that represent all the details of the object. The orthophotoimage and the true orthophotoimage are used in geographic information systems (GIS).

Fig. 1 The orthorectification with digital surface model without buildings and with buildings

Fig. 2 The image true orthophotos from multiple projection centres

Fig. 3 DTM from area town Levice for creating of true digital orthophotoimage (processed by Department of Cartography, Geoinformatics and Remote Sensing, Faculty of Comenius University in Bratislava)

Fig. 4 The orthophotoimage with doubled image

Fig. 5 The true orthophotoimage without doubled image

Lektoroval:

**Doc. RNDr. Ján Feranec, DrSc.,
Geografický ústav SAV, Bratislava**