

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ortofotomapa z hlediska nákladovosti výroby

Jakub KARAS

© 2010 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Karas

obor Provoz a ekonomika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název tématu: **Ortofotomapa z hlediska nákladovosti výroby**

Struktura bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Rešeršní část - Fotogrammetrie a její výstupy, Ortofotomapy
4. Praktická část - Náklady na vyhotovení, srovnání s konkurencí a celková rentabilita v dnešní době
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy

Rozsah původní zprávy: 30 - 40 stran

Seznam odborné literatury:

- Šmidrkal,Josef.Fotogrametrie 1. 3.vydání.Praha:CVUT, 1975.226s.ISBN 55-482-75
Šmidrkal,Josef.Fotogrametrie 2 Přístroje a Metody. 1.vydání.Praha:CVUT,1985.266s. ISBN 54-51
Šmidrkal,Josef.Fotogrammetrie a DPZ. 2.vydání.Praha:CVUT,1991.225 s. ISBN 80-0100653-0
Pavelka,Karel.Fotogrammetrie 20. 1.vydání.Praha:CVUT,1998.153 s. ISBN 80-01-01712-5
Pavelka,Karel.Fotogrammetrie 30 Digitální metody. 1.vydání.Praha:CVUT,2001. ISBN 80-01-02413
Bartoš,Pavel.Meranie dynamických javov metodami analytickej blizkej fotogrametrie. 1. vydání. Bratislava: STU, 1995.81 s. ISBN 80-227-0790

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Steininger**

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2010

Buricová a z.

Vedoucí katedry



Jan

Děkan

V Praze dne: 19.11.2008

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Ortofotomapa z hlediska nákladovosti výroby** vypracoval samostatně s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu literatury, vlastních získaných poznatků a po odborných konzultacích s vedoucím diplomové práce.

Praha

Jakub Karas

Děkuji panu Ing. Michalu Steiningerovi, vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, připomínky a rady, které mi poskytoval v průběhu zpracování této diplomové práce. Dík patří také Mgr. Lucii Patkové za poskytnutí informací potřebných k vypracování této diplomové práce.

Ortofotomapa z hlediska nákladovosti výroby

Souhrn

Bakalářská práce pojednává v první části o teoretickém základu dálkového průzkumu Země, především se zaměřuje na fotogrammetrii a stereofotogrammetrii. Uvádí přehled vstupních dat a metody pro získávání a tvorbu ortofotomap. Zabývá se dále dělením ortofotomap podle různých kritérií (vstupní data, metoda tvorby, přesnost, využití...).

Ve druhé části se pak tato práce zaměřuje na ortofotomapy z hlediska jejich nákladovosti. Na příkladu bude ukázán průběh tvorby ortofotomapy s detailním cenovým rozpočtem. V další části se pak bakalářská práce zabývá uvedením přehledu pořizovacích cen ortofotomap jednotlivých firem produkujících tyto služby. Dále analýzou poskytovaných služeb z hlediska přesnosti nebo metody tvorby ortofotomapy a analýzou tohoto cenového přehledu z hlediska nákladů pro koncového uživatele.

Klíčová slova

Ortofotomapa, fotogrammetrie, ceny, dálkový průzkum Země, stereofotogrammetrie, digitální model terénu, vyhodnocení terénu, přesnost

Ortophotomap in light of complete costs

Summary

First part of Baccalaureate work deal with theoretic base of remote sensing of Earth, especially about photogrammetry and stereophotogrammetry. It features summary of input data and methods for orthophotograph creation and production. It deal with dividing of orthophotographs according to different criteria (input data, method of creation, accuracy, usage...).

In second parts is this work focused on orthophotographs in light of their expensiveness. On some example, it will be shown course of orthophoto creation with detailed price budget. In next parts baccalaureate work deal with the summary of purchase prices of orthophotographs of single companies that are producing these services. Next part are analysis of rendered services in the light of accuracy or creation method and analysis of these prices survey in term of all cost for end user.

Key words

Ortophotomap, Photogrammetry, prices, Remote Sensing or the Earth, Stereophotogrammetry, Digital terrain model, terrain evaluation, accuracy

Seznam zkratk:

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

DPZ – Dálkový průzkum Země

GPS – Global positional system (Globální polohový systém)

IMU – Inertial measurement unit (Inerční měřicí jednotka)

RGB – Red, Green, Blue (červená, zelená, modrá)

S-JTSK – Jednotný trigonometrický systém katastrální

WGS – World Global System (Světový polohový systém)

ZABAGED© - Základní báze geografických dat

STRUČNÝ OBSAH

Souhrn	1
Summary	2
Seznam zkratk	3
Úvod	7
Cíl práce	8
Metodika	8
REŠERŠE	9
1. Teorie dálkového průzkumu Země	10
2. Teoretické základy DPZ	12
3. Historie DPZ	14
4. Fotogrammetrie	17
5. Ortorektifikace	24
6. Družicová data	31
7. Porovnání leteckých a družicových dat	34
VLASTNÍ PRÁCE	35
8. Úvod do cenového rozboru ortofotomapy	36
9. Cenový rozbor ortofotomapy	37
10. Porovnání metod pro tvorbu ortofotomapy	45
Závěr	49
Seznam zdrojů	50

OBSAH

Souhrn.....	1
Summary.....	2
Seznam zkratk.....	3
Úvod.....	7
Cíl práce.....	8
Metodika.....	8
REŠERŠE	9
1. Teorie dálkového průzkumu Země	10
1.1 Princip dálkového průzkumu Země	10
1.2 Dělení dálkového průzkumu Země	10
2. Teoretické základy DPZ	12
3. Historie DPZ	14
4. Fotogrammetrie	17
4.1 Dělení fotogrammetrie	17
4.2 Stereofotogrammetrie	18
4.2.1 Prvky vnitřní orientace	19
4.2.2 Prvky vnější orientace	20
4.2.3 Vnější orientace snímků	22
5. Ortorektifikace	24
5.1 Využití ortofotomap	29
6. Družicová data	31
6.1 Dělení družicových dat	31
7. Porovnání leteckých a družicových dat	34
VLASTNÍ PRÁCE	35
8. Úvod do cenového rozboru ortofotomapy	36
9. Cenový rozbor ortofotomapy	37
9.1 Ortofotomapa z archivu ČÚZK	37
9.2 Ortofotomapa vytvořená analytickou leteckou fotogrammetrií	40
9.3 Ortofotomapa vytvořená z družicových snímků	43
10. Porovnání metod pro tvorbu ortofotomapy	45

Závěr	49
Seznam zdrojů	50

Úvod

Pro získávání dat o terénu a jejich zpracování se využívá mnoho různých metod. Od klasického pozemního měření, přes digitální fotogrammetrii a dálkový průzkum Země až po nejnovější laserové skenování. Jedním z výstupů zpracování těchto dat je ortofotomapa. Ortofotomapa je důležitý datový zdroj v mnoha aplikacích, využívá se především jako podklad pro mapování a aktualizaci map, tvorbu 3D modelů terénu a aplikací s ním spojených. Ortofotomapa musí podobně jako ostatní datové zdroje splňovat požadavky přesnosti. V závislosti na přesnosti, použité metodě tvorby ortofotomapy, nebo i vstupních datech se pak liší náklady na pořízení (tvorbu) takové ortofotomapy.

Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit souhrnný přehled a porovnat jednotlivá vstupní data a metody pro tvorbu a získání ortofotomap z ekonomického hlediska. Dílčím cílem je uvedení cenových srovnání jednotlivých metod pořízení ortofotomap.

Metodika

První část bakalářské práce bude tvořit rešerše literatury zabývající se dálkovým průzkumem Země, především fotogrammetrií a tvorbou ortofotomap. Vzhledem k nedostatku literatury zabývající se cenovým porovnáním jednotlivých metod bude v druhé části práce proveden průzkum trhu největších subjektů v oblasti zpracování a tvorby ortofotomap. Autor v daném oboru pracuje a proto má přehled o produktech a cenách z této oblasti zpracování dat. V současnosti totiž neexistuje nezaujatý, zato však odborný pohled na danou problematiku. Přínosem bude tedy jakési doporučení pro uživatele, jaký způsob zhotovení ortofotomap je pro jejich daný způsob využití nejvhodnější ať už z hlediska přesnosti, metody tvorby nebo ceny.

REŠERŠE

1. Teorie dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) je „věda i umění získávat informace o objektech, plochách či jiných jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu“ (Lillesand, 2003).

Předností dálkového průzkumu Země jako zdroje dat je ve velké rychlosti zmapování území, přínosem je bezkontaktnost metody, objektivita, aktuálnost, vysoká dokumentární hodnota a možnost využití spektrálních vlastností objektů.

1.1 Princip dálkového průzkumu Země

Na Zemi dopadá elektromagnetické záření v podobě vlny. Zdrojem takového záření je ve většině případů Slunce. Existují ale i senzory, které jsou tzv. aktivní, to znamená, že vysílají vlastní záření (např. radar). Na Zemi dochází k interakci záření s objektem a záření se odráží zpět do atmosféry. Zde je toto odražené záření zachyceno záznamovým zařízením (fotogrammetrickou kamerou, družicovým senzorem) a přeměněno na číselnou informaci (číselná matice). Tato informace je buď uložena na záznamové médium, ze kterého ji lze získat po přistání letadla, nebo je možné tuto číselnou informaci o hodnotě odraženého záření posílat z družice do pozemních stanic rozmístěných po celé zeměkouli. Tady pak dochází ke zpracování, sestavení obrazu, dalším interpretacím a analýzám (Dobrovolný, 1998)

1.2 Dělení dálkového průzkumu Země

Data dálkového průzkumu Země je možné dělit podle různých kritérií (Pavelka, 1998):

- DPZ z hlediska rozlišení dat
 - Prostorové rozlišení (velikost pixelu na zemském povrchu)
 - § data s nízkým až středním rozlišením
 - § data s vysokým rozlišením
 - § data s velmi vysokým rozlišením
 - Spektrální rozlišení (počet spektrálních pásem)

- § data panchromatická (jedno spektrální pásmo ve viditelné části spektra - černobílé)
 - § data multispektrální (několik pásem v různých částech spektra – nejčastěji 3 ve viditelné části (RGB) + několik pásem v infračervené nebo termální části spektra)
 - § data hyperspektrální (stovky spektrálních pásem ve velice úzkých intervalech spektra od viditelného až po mikrovlnné záření)
- DPZ lze rozdělit podle způsobu pořízení dat z hlediska metody:
 - Analogové (na film, vyvolané snímky se skenují pro další zpracování)
 - Digitální (snímání pomocí digitálních čidel a CCD matic)
- DPZ podle způsobu pořízení dat z hlediska nosiče:
 - Fotogrammetrie
 - § Letecká
 - § Pozemní
 - Družicový dálkový průzkum Země

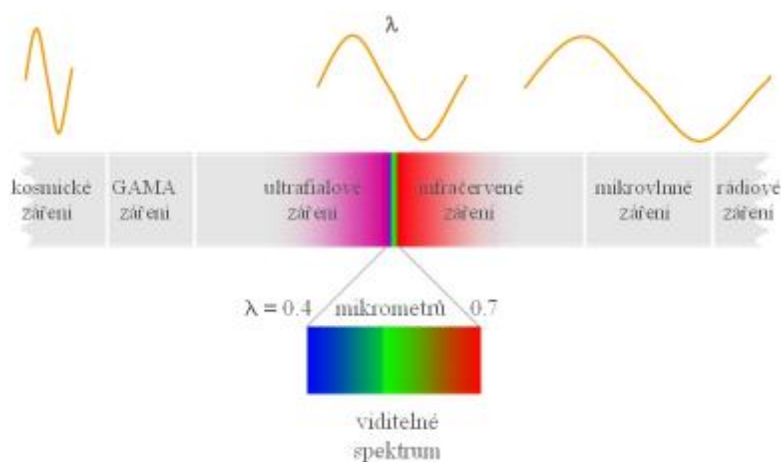
2. Teoretické základy DPZ

Výstupem zpracování DPZ je snímek. U snímků je v první řadě důležitá velikost a hodnota pixelu, počet spektrálních pásem snímku a např. formát snímku (tif, jpg...).

Pixel je nejmenší jednotka obrazu. Název pixel vznikl „zkrácením anglických slov picture element. Představuje jeden svítící bod na monitoru, resp. jeden bod obrázku zadaný svou barvou.“ (Wikipedia, 3.6.2009). Snímek je tvořen čtvercovou sítí (mřížkou), pixel představuje jednu takovou čtvercovou buňku. Polohu sítě ve snímku určují její souřadnice. Počátek souřadnicového systému je v levém horním rohu snímku.

Velikost pixelu určuje prostorové rozlišení snímku. Čím je pixel větší, tím je menší prostorové rozlišení. Prostorové rozlišení se pohybuje v řádech milimetrů u nejlepších fotografických pozemních kamer, přes fotogrammetrické letecké kamery s přesností v řádech centimetrů až po družicové senzory s přesností v řádech metrů.

Obr. 1: Spektrální rozlišení



Obrázek ukazuje závislost vlnové délky na jednotlivých částech spektra. Zároveň zdůrazňuje, jak malá část celého spektra je viditelná pro lidské oko a většinu klasických fotografických kamer (obr. z prezentace DPZ ArcData Praha s.r.o.)

Hodnota pixelu udává množství odraženého záření. Velikost odraženého záření se mění pro jednotlivé vlnové délky elektromagnetického spektra. Hodnotu tohoto záření lze měřit na různých vlnových délkách. Nejčastěji ve viditelné části spektra (obr. 1). Je možné mít pouze jedinou hodnotu pixelu – pak se jedná o černobílé (panchromatické) snímky. Nejčastěji se hodnota pixelu skládá ze tří hodnot

odpovídajících barvám RGB (červená, zelená, modrá), pak se jedná o snímky multispektrální (www.gjs.cz/vedy-o-zemi/dpz.htm, 24.6.2009).

Snímky jsou pořizovány v analogové nebo digitální podobě, pro zpracování se využívají hlavně snímky digitální, takže je potřeba analogové snímky digitalizovat. Digitální snímky jsou uloženy v některém z datových formátů. Nejčastěji se používá formát *.tif, protože využívá bezeztrátovou kompresi obrazu, to znamená, že nemění původní hodnoty pixelů. Dalším formátem může být např. *.jpg, jehož komprese je ovšem velmi ztrátová, výhodou je zmenšení objemu dat.

Další kapitoly se zabývají jednotlivými součástmi dálkového průzkumu Země.

3. Historie DPZ

Počátky DPZ spadají do doby dávno před vynálezem fotografie. Mezi nejjednodušší a nejprimitivnější začátky dálkového průzkumu Země se řadí už i jednoduché pozorování krajiny z vyvýšených míst nebo stromů. Již v 15. století popsal Leonardo da Vinci první dírkovou komoru a v roce 1588 byla popsána první komora vybavená spojnou čočkou „camera obscura“ (Šmidrkal, 1991).

Počátky vědeckého pozorování krajiny a základy fotogrammetrie spadají do 19. století a přímo souvisí s vynalezením fotogrammetrické komory. Konstrukcí světelné komory, která byla za Jana Keplera zdokonalena jako „camera clara, camera lucida“, byl vlastně položen první skutečný základ fotogrammetrie. V 18. století byl vynalezen chlorid stříbra (AgCl), který umožnil vznik klasické fotografie roku 1839 vynálezci Niepcem a Daquerrem (Pavelka, 1998).

Nejprve byly pro pořizování fotografií používáni holubi (obr. 2), nebo balóny bez posádky (www.natur.cuni.cz/~langhamr, 24.6.2009). Fotografie ale nebyly příliš kvalitní a už vůbec nebyly vhodné pro tvorbu map nebo analýz.

První snímky ze vzduchu pořídil známý francouzský fotograf Gaspard-Félix. Tournachon přezdívaný Nadar v roce 1858, kdy fotografoval Paříž ze svého balónu (Wikipedia).

Obr. 2: Počátky letecké fotogrammetrie



Využití holubů pro pořizování fotografování ze vzduchu (www.natur.cuni.cz/~langhamr, 24.6.2009)

Pro účely praktické fotogrammetrie byla fotografie poprvé využita ve Francii při mapování v roce 1861. Pro mapování byla využívána metoda průsekové fotogrammetrie (Böhm, 2002).

Název „fotogrammetrie“ je datován do roku 1858, kdy jej použil němec A. Meydenbauer (Pavelka, 1998). Na objednávku Pruského státu na přelomu 19. a 20. století vytvořil naprosto unikátní archiv cca 16000 měřických snímků historických objektů a vyvinul praktické grafické metody fotogrammetrického vyhodnocení zejména fasád domů (pozemní fotogrammetrie).

V roce 1890 byla zkonstruována první klasická letecká fotokomora. V roce 1904 firma Zeiss Jena zkonstruovala fototeodolit 19/1318, který se prakticky pod názvem PhoTheo vyráběl až do šedesátých let 20. století a používal se pro účely pozemní fotogrammetrie v našich zemích až do sedmdesátých let, kdy ho vystřídaly modernější kamery UMK (Pavelka, 1998).

Na konci 19. století byl vynalezen poměrně jednoduchý princip stereoskopie, který nahradil dřívější průsekovou fotogrammetrii. V roce 1901 byl sestaven přístroj „stereokomparátor“, který je dodnes nejpřesnějším přístrojem pro měření na snímcích. Stereofotogrammetrie usnadnila identifikaci bodů na snímcích a zvýšila přesnost fotogrammetrie (Pavelka, 1998).

Letecké fotografování tak jak ho známe ze současnosti vzniklo až pro vojenské účely počátkem druhé světové války a nejvyššího rozvoje dosáhlo v polovině 20. století spolu s různými špionážními technikami a letadly. Ve druhé polovině 20. století vznikají první programy pro aerotriangulaci (vyhodnocení leteckých fotografií).

Ke skutečné revoluci ve fotogrammetrii došlo v polovině osmdesátých let vznikem prvních digitálních systémů. Vznikla tak digitální fotogrammetrie (Pavelka 1997,).

Ve druhé polovině 20. století se rozvíjí dálkový průzkum Země pro vojenské, strategické a vládní účely a vznikají první družicové systémy. V 60. letech 20. století byla vypuštěna první meteorologická družice a v roce 1969 při misi Apollo 9 vznikly první multispektrální snímky Země. V 90. letech 20. století díky rozvoji navigací a

GPS pro civilní využití vznikají první družicové systémy pro komerční využití nyní již s rozlišením v řádech desítek centimetrů (Pavelka, 1998).

Díky rychlému rozvoji informatiky a techniky pak vznikají stále kvalitnější a přesnější fotografické kamery, stále lepší a výkonnější nosiče (letadla, družice, stabilizační systémy – např. IMU atd.) a samozřejmě ruku v ruce s kvalitními snímky vznikají nové a modernější přístroje a software pro zpracování a analýzy těchto snímků.

Moderní vývoj šel až tak daleko, že v současnosti existuje velké množství aplikací a software přístupný široké veřejnosti využívající a zpracovávající výstupy z leteckého nebo družicového dálkového průzkumu Země. Příkladem je velké množství mapových portálů např. www.mapy.cz, maps.google.cz nebo www.usgs.gov, mapových aplikací – např. Google Earth.

4. Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je „věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu.“ (Pavelka, 1998)

Název fotogrammetrie se skládá z řeckých slov *Fotos* = světlo, *Gamma* = záznam a *Metrie* = měření (Wikipedia, 2009).

Fotogrammetrie slouží v první řadě k získání kvalitní a dostatečné informace o zájmové oblasti.

Vztah fotogrammetrie a DPZ je poměrně složitý. Z hlediska přesnosti určení polohy bodu ze záznamu je DPZ podmnožinou fotogrammetrie, která je přesnější, starší a tradiční. Z hlediska fyziky je fotogrammetrie podmnožinou DPZ, protože používá pouze malou viditelnou část elektromagnetického záření, na rozdíl od ostatních metod DPZ pracujících např. v infračerveném nebo tepelném záření.

Vzhledem k tomu, že se jedná o tzv. bezdotykovou metodu, nedochází k měření na samotném objektu měření, ale až na vzniklých měřických snímcích.

4.1 Dělení fotogrammetrie

Fotogrammetrii lze dělit podle různých hledisek (Böhm, 2002). Prvním kritériem je poloha stanoviska, z něhož byl snímek odvozen, odlišuje se pak fotogrammetrie:

- Pozemní – stanovisko je nepohyblivé, umístěné na pevném bodě na Zemi. Poloha tohoto stanoviska se určuje geodetickými metodami, proto je zpracování takovýchto snímků jednodušší. Nevýhodou této metody je, že se jednotlivé objekty, které se měří, zakrývají. Dosah pozemní fotogrammetrie závisí na použité kameře a je cca 500 m.
- Letecká – kamera je umístěná na pohyblivém nosiči, nejčastěji na letadle, nebo jiném dopravním prostředku. Díky tomu je možné zobrazit mnohem větší plochu. Problémem je určení polohy v okamžiku pořízení snímku. V poslední době se proto používá tzv. GPS zařízení (IMU jednotka).

- Družicová fotogrammetrie – obdoba letecké fotogrammetrie, ale kamera je digitální a umístěna na družicových systémech. Je možné zachytit ještě větší území než u letecké fotogrammetrie, snižuje se ale přesnost.

Podle počtu vyhodnocovaných snímků:

- Jednosnímková fotogrammetrie – využívá pouze samostatných měřických snímků. Lze ji použít, pokud je objekt měření rovinný, nebo blízký rovině. Tato metoda může být využita pro tvorbu fotoplánů
- Vícesnímková fotogrammetrie – slouží pro 3D (trojrozměrné) zpracování a vyžaduje vždy nejméně dva vzájemně se překrývající snímky. Často se využívá pro stereofotogrammetrii (viz. následující kapitola)

4.2 Stereofotogrammetrie

Stereofotogrammetrie je „část fotogrammetrie, zabývající se zjišťováním vlastností, popřípadě i polohy objektů z dvojice fotografických měřických snímků na základně stereoskopického pozorování“ (Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí, 2001).

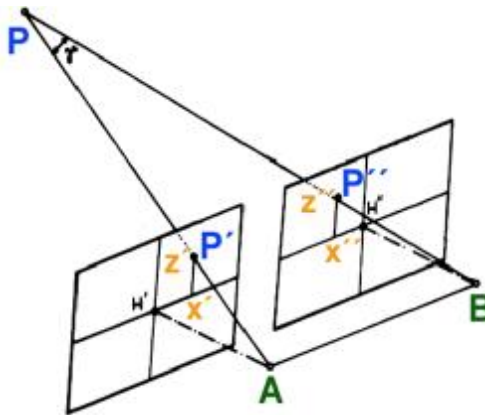
Dvousnímková fotogrammetrie kombinuje dva snímky stejného území získané z různých stanovišť pro získání prostorového jevu. Tím tato technologie umožňuje výpočet všech tří prostorových souřadnic (Pavelka, 1998).

Snímky musí být pořízeny ze dvou stanovisek, jejichž nadmořské výšky se příliš neliší a mají navzájem rovnoběžné osy. Aby vznikl umělý stereoskopický vjem (obr. 4), musí být splněno (Pavelka, 1998):

- očima je nutno pozorovat snímky v jeden okamžik, každým okem odděleně.
- oba snímky musí alespoň částečně zachycovat stejné území, tj. musí existovat překrytová oblast zobrazená na obou snímcích. Mezi odpovídajícími si body ve snímcích existuje tzv. **horizontální paralaxa**: $p = x' - x'' \neq 0$ (obr. 3)

směry paprsků k odpovídajícím si bodům se musí protínat tj. obraz nesmí mít tzv. **vertikální paralaxu**: $q = y' - y'' (= z' - z'') = 0$

Obr. 3: Princip stereoskopického vjemu

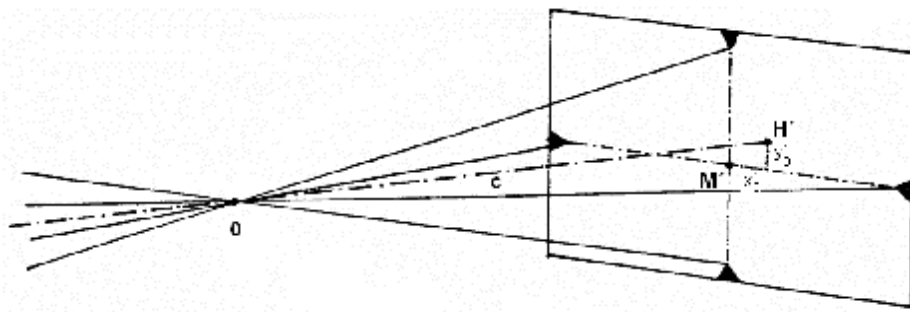


H' ... střed snímku, P ... pozorovaný bod, P' a P'' ... bod P promítnutý do snímku, A a B ... střed pozorovacích míst, x' , x'' , z' , z'' ... souřadnice bodu P v obou snímcích, γ ... úhel mezi místy pozorování (prezentace předmětu Fotogrammetrie na UK)

4.2.1 Prvky vnitřní orientace

Každá fotogrammetrická komora je definována několika parametry, které se nazývají **prvky vnitřní orientace** (obr. 4). Jedná se o

Obr. 4: Prvky vnitřní orientace



M ... střed snímku, H ... průsečík roviny snímku s paprskem procházejícím středem promítání, x_0 a y_0 ... posun průsečíku H od středu snímu, c ... konstanta kamery (prezentace předmětu Fotogrammetrie na UK)

- **konstantu kamery $c(f)$** – vzdálenost od hlavního snímkového bodu ke středu promítání
- **souřadnice hlavního snímkového bodu H'** – průsečík roviny snímku s paprskem procházejícím středem promítání. Vzhledem k tomu, že hlavní

snímkový bod lze v praxi na snímku těžko definovat, zavádí se u měřických komor **rámové značky** (obr. 5), jejichž průsečík dává **střed snímku M'** . Od středu snímku M' je hlavní snímkový bod posunutý o x'_0, y'_0 . V ideálním případě by měl hlavní snímkový bod ležet v průsečíku rámových značek. V letecké fotogrammetrii se užívá systému osmi rámových značek v rozích a středech stran snímku.

Obr. 5: Rámové značky



Ukázka leteckého snímku s osmi rámovými značkami, detail rámové značky (Gefos a.s., vlastní archiv, 2009)

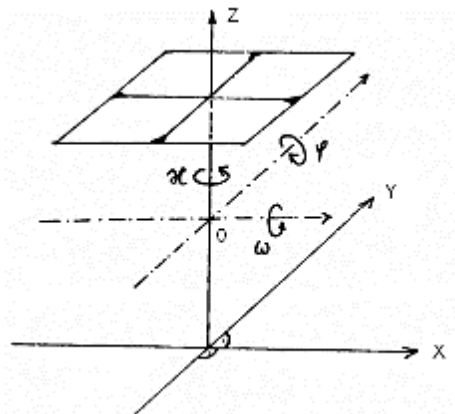
- případně průběh **radiální distorze** – optická vada objektivu.

4.2.2 Prvky vnější orientace

Polohu leteckých snímků v prostoru určují **prvky vnější orientace** (obr. 6):

- souřadnice středu promítání O (středu vstupní pupily)
- úhly otočení (w, j, k) kolem os x, y a z daného souřadnicového systému.

Obr. 6: Prvky vnější orientace



*O... souřadnice středu promítání, x, y a z ... osy souřadnicového systému,
w, j, k ... úhly otočení kolem os x, y a z (prezentace předmětu Fotogrammetrie na UK)*

Pro stereoskopické pozorování existuje několik metod. Nejstaršími byly tzv. Stereoskopy. Jedná se o jednoduchou konstrukci. Základna stereoskopu je v rovině očí, v místech očí jsou buď pouze otvory, nebo lupy. Pomocí optických zrcadel nebo zrcadlových hranolů je pak dosaženo toho, že je každý snímek pozorován jedním okem a zároveň se snímky překrývají v zájmové oblasti čímž je splněn princip stereoskopie. Další metodou je Anaglyf (www.gali-3d.com/cz/techno-anaglyph/techno-anaglyph.php, 2009). Tato metoda využívá brýle s barevnými skly – modré a červené. Snímky jsou umístěny do stereoskopické dvojice, jeden snímek ze dvojice je pak proveden v modré, druhý v červené barvě. Z těchto snímků se vytvoří soutisk, který je jako posunutý. S anaglyfickými brýlemi potom vidíme zobrazované území trojrozměrně. Tato metoda ale není příliš kvalitní a přesná, výhodou je ale poměrná jednoduchost a levnost.

Nejmodernější metodou je metoda krystalových brýlí (lfgm.fsv.cvut.cz/main.php?cap=1&zal=139&lang=cz, 2009). Tyto brýle využívají jakýchsi „chytrých“ krystalů, které cloní a promítají jednotlivé snímky stereodvojice odděleně do obou očí. Tím vzniká stereoskopický vjem umožňující 3D vyhodnocování. Tato metoda je nejpřesnější.

4.2.3 Vnější orientace snímků

Snímek získaný z fotogrammetrické kamery je pro jeho využití a další zpracování potřeba georeferencovat – to znamená umístit ho do souřadnicového systému. Tento převod se řeší pomocí tzv. vnější orientace většinou ve dvou krocích (Pavelka, 1998):

- relativní orientace – provede se vzájemná orientace mezi oběma stereosnímky, tyto snímky se umístí „relativně“ v prostoru, provede se vnitřní orientace (přiřazení snímkových souřadnic k pixelovému obrazu) a snímky se propojí pomocí tzv. spojovacích bodů tak, aby se jejich překrytové oblasti přesně překrývaly
- absolutní orientace – celý systém obou stereosnímků se otočí a posune do nějakého referenčního geodetického systému (např. S-JTSK, WGS 84 apod.). Toho se docílí nejčastěji pomocí tzv. vlícovacích bodů – to jsou body pokrývající rovnoměrně oba snímky o známých geodetických souřadnicích X, Y, Z v daném souřadnicovém systému

Obr. 7: IMU jednotka



IMU jednotka na palubě letadla (<http://www.geodis.cz/sluzby/fotogrametrie>, 2009)

Novější systémy umožňují zpravidla provádět vnější orientaci v jediném kroku využitím metod svazkového vyrovnání a informací z tzv. inerciální měřické jednotky - IMU jednotky letadla (<http://www.geodis.cz/sluzby/fotogrametrie>, 2009). IMU je pevně spojena s tělem klasické letecké měřické nebo digitální kamery a sestává z trojice

ortogonálních akcelerometrů, gyroskopů a elektroniky, která převádí analogové výstupy na digitální. Hlavní součástí systému je 12-ti kanálový dvojfrekvenční přijímač GPS. Systém dále zahrnuje počítač, který vyhodnocuje data z navigačních senzorů a IMU, a provádí přesná měření polohy letadla, jeho rychlosti, příčného a podélného sklonu, kurzu a zrychlení (obr. 7).

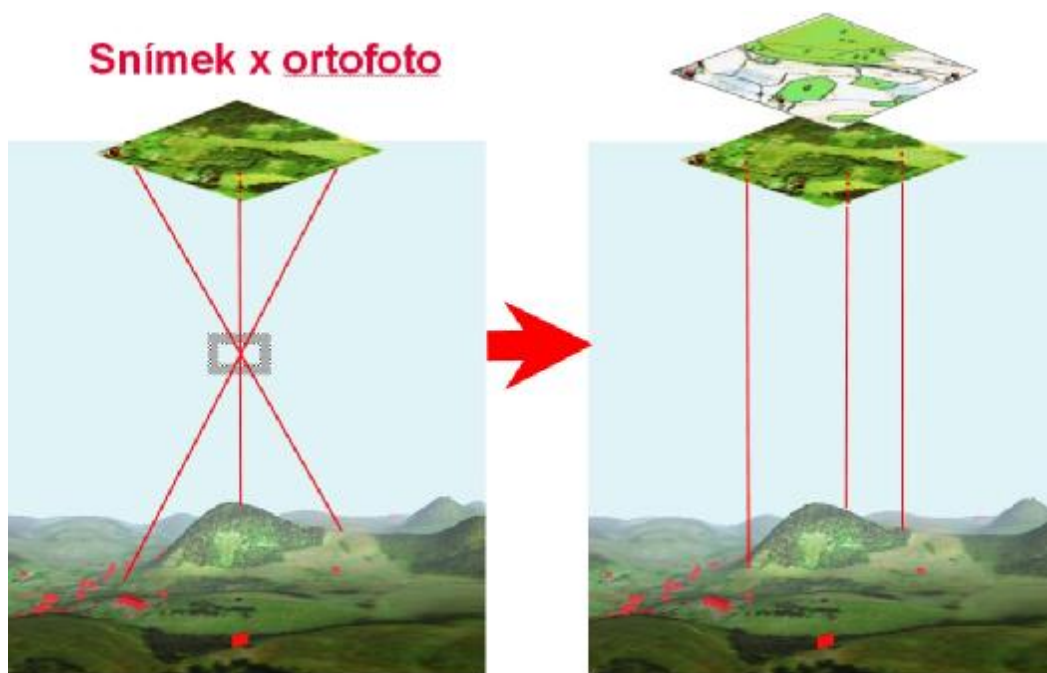
Dnes se snímkuje převážně na formát 23x23 cm. Na snímku jsou dále uvedeny doprovodné údaje jako je číslo snímku, čas, výška letu, přibližné souřadnice projekčního centra, datum, číslo komory a kazety s filmem, konstanta komory. Mohou být přidány i informace o vnější orientaci – ty se získávají většinou souběžným měřením GPS, nebo pomocí jiných zařízení.

5. Ortorektifikace

Fotografický/fotogrammetrický snímek je přesným středovým průmětem fotografovaného objektu. Mapa je naopak pravouhlým průmětem. Aby bylo možné snímky používat podobně jako mapu, je třeba snímky převést do pravouhlého průmětu. Proces tohoto převodu se nazývá ortorektifikace a vzniklým produktem je ortofotomapa.

Ortorektifikace = ortogonální překreslení (www.vugtk.cz/termkom/indtk.html, 24.6.2009) – odstraňuje zkreslení snímku způsobené tím, že snímek je středový průmět zatímco mapa je pravouhlý průmět (viz obr. 8), odstraňuje zkreslení způsobené orientací kamery vůči terénu a chyby způsobené snímací optikou

Obr. 8: Rozdíl mezi středovým a ortografickým promítáním



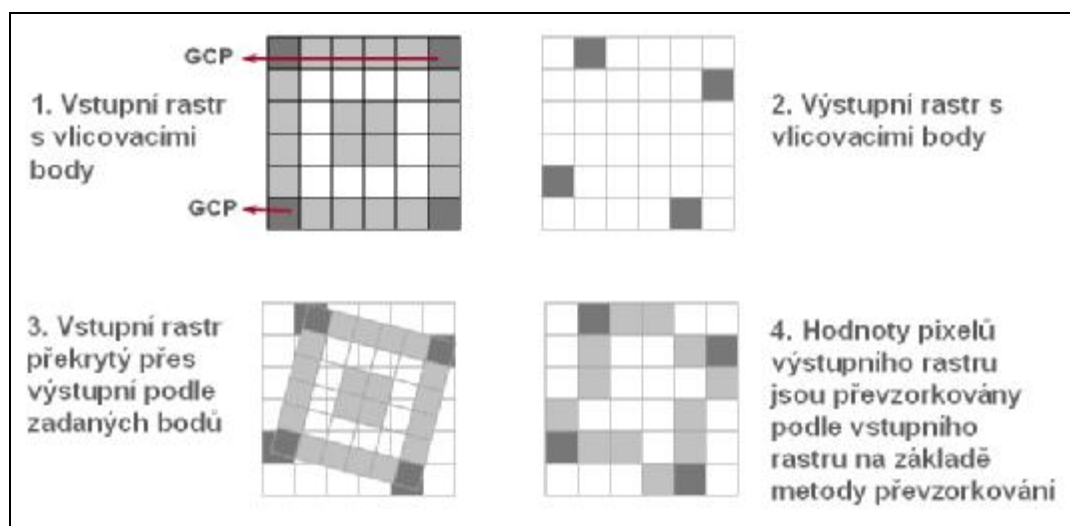
(obr. z prezentace DPZ ArcData Praha s.r.o.)

V rámci procesu ortorektifikace se „hledá“ matematický vztah, který by umožnil překreslit každý bod snímku tak, jako by vznikl pravouhlým promítáním. Proto je třeba znát prvky vnější a vnitřní orientace (viz. kapitola stereofotogrammetrie). Nezbytnými vstupními daty jsou:

- Informace o kameře – ohnisková vzdálenost, souřadnice rámových značek, hlavní snímkový bod
- Vlícovací body (X, Y, Z) nebo informace z IMU jednotky
- Digitální model reliéfu

Součástí procesu ortorektifikace je tzv. převzorkování (obr. 9) – proces „napasování“ rastru do nové mřížky

Obr. 9: Princip převzorkování

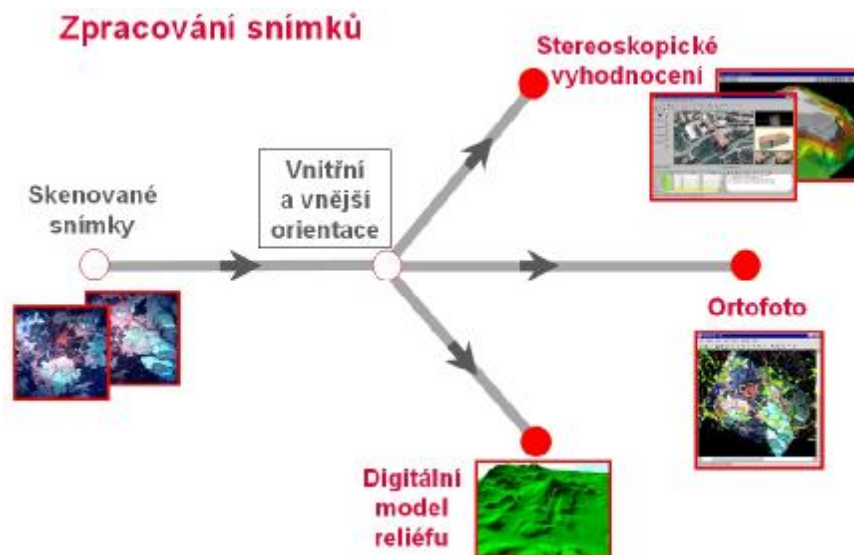


(obr. z prezentace DPZ ArcData Praha s.r.o., 2009)

Ortorektifikace využívá DMT ke tvorbě digitální ortofotomapy. Jedná se o nejpřesnější metodu geometrické korekce obrazu, která za pomoci výškové informace o každém obrazovém prvku eliminuje i geometrické nepřesnosti vzniklé jejich rozdílnou výškou. V analytické fotogrammetrii je tvorba ortofotomapy založena na tzv. diferenciálním překreslení (překreslení po částech) ze stereoskopické dvojice snímků v analogové formě. V případě digitální fotogrammetrie se k výpočtu používá digitálních obrazů a lze celý poměrně pracný proces zautomatizovat. Před vlastním výpočtem se snímky upraví do tzv. epipolární projekce – to znamená, že jeden ze snímků je posunutý vždy tak, aby si s druhým snímkem odpovídal z hlediska polohy řádků a snímky byly posunuty pouze v horizontálním směru. Poté následuje generování digitálního modelu terénu. Digitální modely terénu lze získávat buď automatickými, nebo poloautomatickými metodami. Automatické získání digitálního modelu je

založeno na nalezení odpovídajících si obrazových prvků. Jejich rozdílná poloha v obou snímcích dává informaci o tzv. horizontální paralaxe a tudíž informaci o výškových poměrech. Výsledkem použití této metody je tzv. digitální model *povrchu* – tj. nejen zemského terénu, ale i všech prvků na něm. Oproti tomuto digitálnímu modelu je možné pro tvorbu ortofotomapy využít digitální model *terénu*. Ten obsahuje pouze nadmořské výšky zemského povrchu bez jeho vegetačního pokrytu, nebo objektů na něm např. budov. Pro tvorbu digitálního modelu terénu jsou většinou využívány právě poloautomatické metody – nejčastěji vyhodnocováním dvou leteckých snímků uspořádaných do tzv. stereodvojice (viz. kap. Stereofotogrammetrie výše). Pak se vyhodnocuje terén tak, že se zakreslují body a hrany – výsledkem jsou trojrozměrné údaje o území v podobě souřadnic bodů a linií. Toto je tedy manuální část celého procesu. Poté následuje část automatická, kdy je z takto naměřených bodů a hran vytvořen digitální model. Zde se pak obě metody tvorby digitálního modelu spojují do ortorektifikace (Dobrovolný, 1998).

Obr. 10: Postup zpracování snímků



(obr. z prezentace DPZ ArcData Praha s.r.o.)

Tvorba ortofotomapy spadá do oblasti úpravy a předzpracování dat. Ortofotomapa může být finálním produktem zpracování leteckých nebo družicových snímků, vyhodnocení terénu atd., často ale bývá ortofotomapa vstupní datovou sadou pro další zpracování, analýzy a interpretace různých jevů na Zemi. Pokud jsou snímky

zpracované pomocí vnitřní a vnější orientace, je možné umístit je do stereodvojice a ve stereoskopickém režimu provádět vyhodnocování/měření terénu a objektů na něm. Další možností je tvorba digitálního modelu a z něj pak ortofotomapy. (obr. 10).

Tvorba digitální ortofotomapy z leteckých snímků je komplexní proces, ortorektifikace je pouze jednou jeho součástí (materiály firmy Gefos a.s.) :

- Projekt snímkového letu – stanovení základních parametrů snímání
 - měřítko snímku (na základě požadované přesnosti a charakteru území)
 - překryt snímků – většinou 60 – 80 % podélný, 20 – 40 % příčný
 - celkový počet snímků, zakreslení náletových os do mapy
 - termín snímání – nejlépe na jaře nebo na podzim – neruší vegetace, ale záleží na účelu
- Pořízení leteckých snímků
- Založení projektu, definice kamery, import snímků
- Vnitřní orientace – přiřazení snímkových souřadnic k pixelovým – řešeno matematicky pomocí afinní transformace pomocí identických bodů, kterými jsou rámové značky a jejich snímkové souřadnice v kalibračním protokolu
- Relativní orientace – snímkové souřadnice jsou převedeny na modelové souřadnice – podmínkou jsou nulové vertikální paralaxy – řeší se vzájemnou orientací snímků vůči sobě, vytváří se stereodvojice
- Absolutní orientace – převod modelových souřadnic na geodetické – řeší se pomocí prostorové Helmertovy transformace. K této transformaci se využívají tzv. vlíčovací body – body dobře identifikovatelné na snímku, body o známých geodetických souřadnicích. Lze využívat body uměle signalizované (pro práci ve velkých měřítkách do cca 1:5000) – např. trojramenné kříže (obr. 11). Nebo lze zvolit body přirozeně signalizované (pro malá a střední měřítka od 1:5000) – např. křížení cest, rohy domů. Volí se místa s dobrým kontrastem signálu a je třeba brát ohledy na zákryt domů, stromů atd.

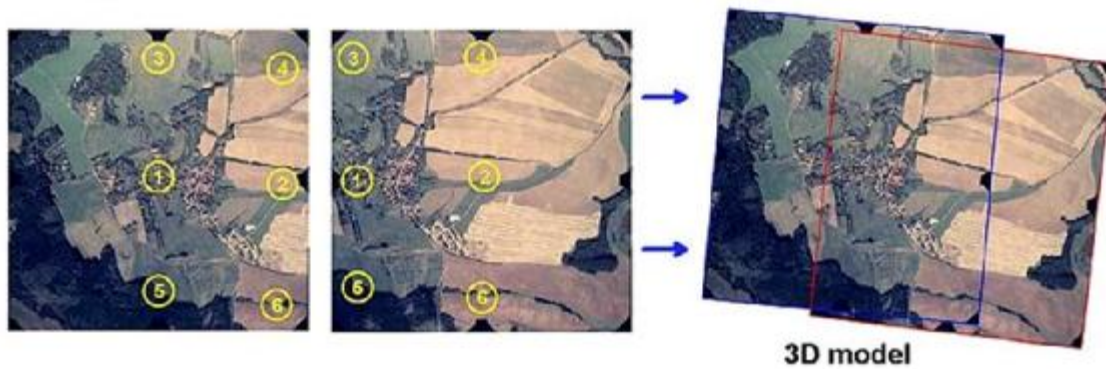
Obr. 11: Vlícovací bod v podobě trojramenného kříže



Trojramenné kříže jsou vytvářeny na komunikacích barvou, v terénu se používají plechové kříže (Gefos a.s., vlastní archiv, 2009)

Ideálně rozložené jsou vlícovací body podle tzv. Grüberova schéma (obr. 12)

Obr. 12: Rozložení vlícovacích bodů dle Grüberova schéma



prezentace předmětu Fotogrammetrie na UK

- Blokové vyrovnání
- Tvorba DMT
- Ortorektifikace
- Mozaikování (spojování snímků)

5.1 Využití ortofotomap

- Plánování rozvoje měst
- Doprava – plánování výstavby
- Kartografie – tématické mapování, údržba katastru, topografické mapování
- GIS – tvorba DMT, sběr tématických informací
- Zdravotnictví – integrovaný systém záchranné služby
- Telekomunikace – návrhy sítí, viditelnost signálu atd.
- Ochrana životního prostředí – sledování znečištění vod, zjišťování ekologických havárií
- Pojišťovnictví – hodnocení rizik pojištění, oceňování nemovitostí, hodnocení škod
- Snímky jako mapová informace pro veřejnost – mapové portály (mapy.cz, maps.google.com)
- Meteorologie – sledování tepelné rovnováhy země, předpověď počasí, sledování znečištění troposféry
- Zemědělství – přesné zemědělství, předpovídání výnosů, hodnocení ztrát úrody
- Lesnictví – sledování poškození porostů, plánování těžby, inventarizace
- Geologie – vyhledávání ložisek, předpovídání zemětřesení
- Archeologie, glaciologie, oceánografie, důkazní materiál při soudním řízení, sledování změn, 3D modely měst
- Územní plánování a aktualizace mapového díla
- Trojrozměrné vizualizace krajiny
- Další aplikace: vyhodnocení terénu např. z hlediska viditelnosti z různých bodů (z rozhleden, vysílačů...), vyhodnocení těžby, stavu staveb. Ortofomapa se často využívá v oblastech územního plánování, dopravě, kartografii, jako součást GIS (Geografické Informační Systémy), využívá se v meteorologii, v záchranných

systémech... Ortofotomapy lze využít i pro analýzy vegetačního pokrytu nebo využití půdy obecně – klasifikace krajiny podle využití půdy (zástavba, lesy, vegetace...).

6. Družicová data

(ARCDATA PRAHA, s.r.o., 2009)

Další možností získání snímků potřebných pro tvorbu ortofotomapy je pořízení snímku družicovým senzorem. Jedná se vždy o data digitální. Výhodou družic je, že se nad zemským povrchem nacházejí neustále a proto zaručují časově souvislé snímání daného území. Nejstarší družice snímaly zemský povrch už od 70 let tohoto století (např. 1. družice Landsat vypuštěná v roce 1974), což zaručuje poměrně velký archiv dat. Výhodou a zároveň i nevýhodou je výška, ve které se družice pohybuje. Výhodou je, že díky této výšce snímá najednou obrovské oblasti s rozlohou v řádech kilometrů. Nevýhodou vysoké výšky je nižší prostorové rozlišení. Podobně jako z letadla je možné i z družice získat informace o její poloze a učít tak prvky vnitřní a vnější orientace potřebné pro tvorbu ortofotomapy. Družicový snímek se tak od leteckého prakticky neliší a jeho zpracování a ortorektifikace probíhá stejným způsobem.

6.1 Dělení družicových dat

Družicová data se dělí hlavně podle počtu pásem (rozdíl oproti leteckým snímkům, které jsou pořizovány ve 3 pásmech viditelného záření) na panchromatická, multispektrální a hyperspektrální.

Dále se družicová data dělí podle rozlišení (obr. 13):

Data s nízkým až středním rozlišením

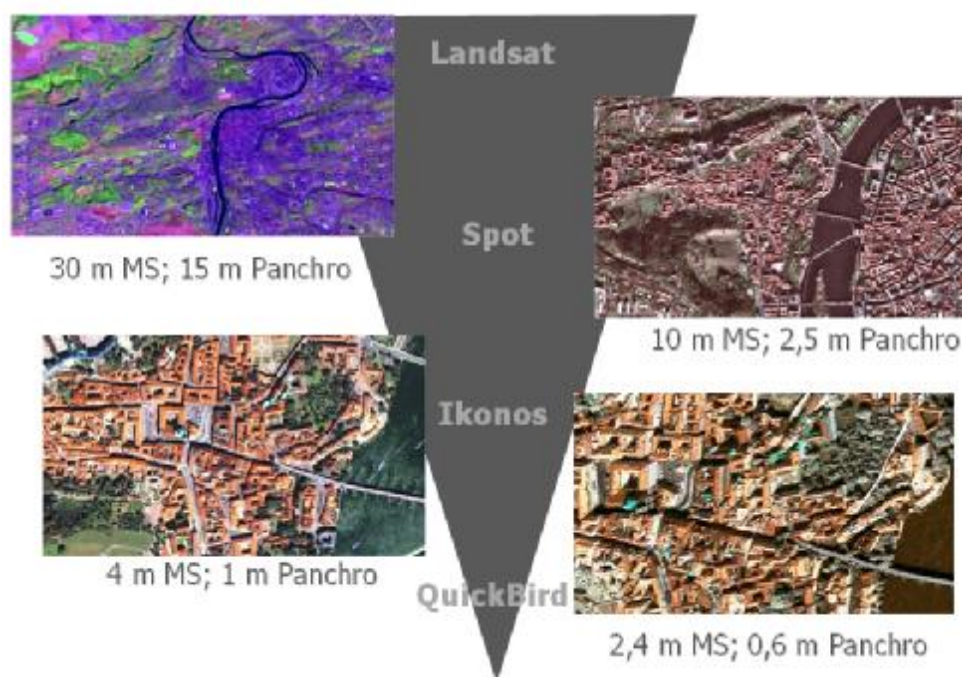
– prostorové rozlišení v řádech několika km až několika stovek metrů. Nejznámější je např. družice NOAA poskytující známé snímky pro předpovědi počasí.

Data s vysokým rozlišením

– prostorové rozlišení se pohybuje v řádu desítek metrů. Družice snímají stejné místo na Zemi s pravidelným několikadenním intervalem. Tyto data jsou vhodná pro mapování nebo aktualizace dat v měřítcích 1:100 000 – 1:25000 a hlavní aplikace jsou v oblastech regionálního plánování a mapování, případně sledování vývoje a změn v krajině, mapování zemědělských ploch a klasifikace zemědělských plodin. Nejznámější je družice Landsat – v současnosti fungují 2 z celkových 7 družic –

Landsat 5 a Landsat 7, jejich prostorové rozlišení je 15 m v panchromatickém a 60 m v multispektrálním režimu. Snímek z této družice zachycuje území o velikosti 180 x 180 km. Dalším příkladem je družice SPOT s prostorovým rozlišením 2,5 m, nebo např. hyperspektrální družice Hyperion snímající v prostorovém rozlišení 30 metrů zato však ve 220 spektrálních pásmech.

Obr. 13: Prostorové rozlišení nejznámějších a nejčastěji používaných družicových snímků



Srovnání prostorového rozlišení pro Panchro (černobílé panchromatické snímky) a MS (multispektrální snímky), (archiv ARCDATA Praha s.r.o., 2009)

Data s velmi vysokým rozlišením

– prostorové rozlišení je v řádu desítek centimetrů až několik metrů. Tyto družice se nejčastěji používají pro nasnímání tzv. na objednávku, to znamená podle konkrétních požadavků zákazníka. Jsou vhodná pro mapování nebo aktualizace v měřítku 1:25 000 – 1: 5 000. Snímky jsou vhodné pro podrobné mapování, urbanistické studie, 3D modely měst nebo tvorbu DMT. Často se používají pro plánování a projektování liniových staveb, monitorování zemědělských aktivit, povrchových dolů, skládek, mapování půdní eroze atd. Mezi nejznámější družice patří

družice IKONOS snímající s prostorovým rozlišením 1 metr nebo družice QuickBird snímající v rozlišení 0,6 metrů ve 4 spektrálních pásmech stejně jako družice IKONOS. Tyto družice mají velikost scény (rozsah na 1 snímku) 11x11 km v případě družice IKONOS a 16x16 km v případě družice QuickBird. V současnosti nejpřesnější komerční družice je Geoeye 1, snímající s prostorovým rozlišením 41 cm. Na rok 2010 se pak plánuje vypuštění nové družice s prostorovým rozlišením dokonce 25 cm.

7. Porovnání leteckých a družicových dat

Velikost scény – kolik území je zobrazeno na jednom snímku – družice snímají obrovské oblasti v řádech několika minut

Počet spektrálních pásem – Družice snímají ve více spektrálních pásem, většinou pořizují snímky multispektrální až hyperspektrální, výhodou je získání např. snímků v termálním pásmu. Letecké snímky jsou pořizovány ve 3 pásmech viditelného záření. Pro různé analýzy např. vegetace, geologie apod. jsou tedy vhodnější družicové snímky.

Senzor – výhodou družicových senzorů je, že obíhají Zemi po stále stejné dráze, kalibrace kamery je pak jednodušší, zároveň se družice může vracet na stejné místo na Zemi každý den ve stejnou hodinu a lze tak snadno sledovat změny v území. Družice jsou programovatelné a mohou snímat i oblasti ne přímo v nadiru ale i tzv. šikmé snímky. Oproti tomu letecké nosiče jsou mnohem operativnější. Lze pořídit snímky daného území během několika minut bez zdlouhavého plánování a programování družice. Zároveň díky nižší výšce nad terénem jsou získané snímky mnohem podrobnější. Další výhodou leteckých nosičů je možnost snímání pod úrovní oblačnosti, takže vznikají velice kvalitní snímky, které nejsou překryty oblačností tak jako to bývá u družicových snímků. Objednání nasnímání daného území z družice je u většiny družic do 14 dnů, závisí ale na vhodných podmínkách pro snímání (oblačnost).

Prostorové rozlišení – nejvyššího prostorového rozlišení dosahují snímky pořízené leteckými kamerami. Velikost pixelu se zde pohybuje v řádech několika centimetrů. Tomu se ani nejlepší družicové snímky s rozlišením v řádech desítek centimetrů nemohou rovnat...

Pořízení snímků – pořízení snímků z archivů družice může být snazší, protože na internetu existují zdarma prohlížečky archivů snímků, kde si můžeme sami vybrat dané území a zvolit nejvhodnější snímek. Data z družic lze získat i ortorektifikovaná, některé družice poskytují i stereopáry. Letecké snímky si zákazník většinou nepořizuje nezpracované ale objednává si přímo ortofotomapy, která jsou v ČR velice dobře a jednoduše přístupná.

Cena – cenový rozbor bude proveden ve druhé praktické části bakalářské práce.

VLASTNÍ PRÁCE

8. Úvod do cenového rozboru ortofotomapy

V této části bakalářské práce bude uveden přehled nejvýznamnějších dodavatelů ortofotomap včetně cenového rozboru z různých hledisek. Při koupi ortofotomapy je důležitých hned několik hledisek. V první řadě jde o účel, ke kterému bude ortofotomapa využita. Od účelu se pak odvíjí další kritéria výběru jako je přesnost, rozlišení, aktuálnost, cena, dodací lhůta nebo formát výstupu dat.

Pro cenový rozbor byla vybrána skutečná zakázka pro kterou byly zjišťovány veškeré dostupné informace a podmínky od nejvýznamnějších dodavatelů a zpracovatelů ortofotomap. Byly vybrány dodavatelé reprezentující jednotlivé nejpoužívanější metody zpracování a získání ortofotomap:

- Archiv ortofotomap celé České republiky
- Analytická letecká fotogrammetrie
- Družicový dálkový průzkum

Cílem zakázky je ortofotomapa území podél vodního toku v délce 7 km, vodní tok bude tvořit osu celé ortofotomapy, která bude dále pokrývat území 200 m na obě strany od vodního toku. Celkem bude ortofotomapa pokrývat území 2,9 km² (obr. 14)

Obr. 14: Výsledná ortofotomapa vodního toku



Zdroj: Gefos a.s., vlastní archiv, 2009

Při zadávání takovéto zakázky se specifikují další požadavky a kritéria. Vzhledem tomu, že se možnosti výsledných ortofotomap jednotlivých dodavatelů liší, nejsou tyto požadavky přesně stanoveny, budou vycházet možností konkrétních metod zpracování a budou upřesněny u jednotlivých cenových rozborů.

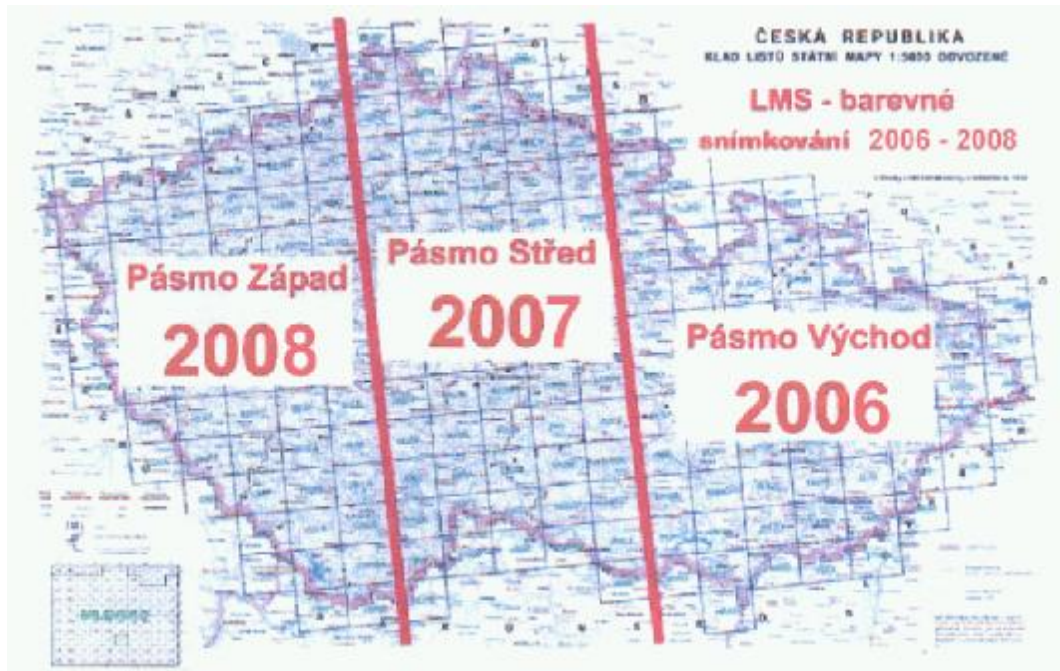
9. Cenový rozbor ortofotomapy

V této kapitole následují podrobné cenové rozborů tří způsobů pořízení ortofotomapy od dodavatelů, kteří takové informace poskytují. Každý reprezentuje jednu z možností získání ortofotomapy v ČR.

9.1 Ortofotomapa z archivu ČÚZK

Český úřad zeměměřičský a katastrální poskytuje ortofotomapy ze svého archivu pokrývajícího území celé České republiky. Tyto ortofotomapy jsou vytvářeny metodami letecké fotogrammetrie pomocí analogových kamer. Digitální model potřebný pro tvorbu ortofotomapy je získáván fotogrammetrickým vyhodnocováním. Území České republiky je rozděleno do tří pásů - západ, střed, východ (obr. 15). Každý rok jsou vytvořena ortofotomapy jednoho z těchto pásů. Jednotlivá území mají tedy ortofotomapy aktualizované každé tři roky.

Obr. 15: Rozdělení ČR do pásů s přehledem aktualizací

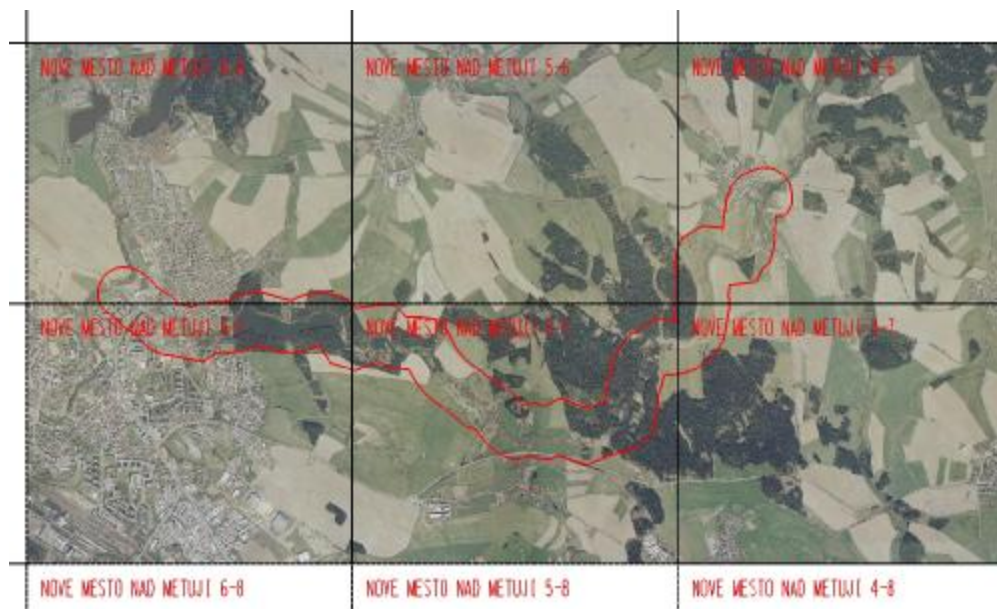


www.cuzk.cz (2009)

Ortofotomapy z archivu ČÚZK jsou poskytovány po jednotlivých mapových listech kladu Státní mapy 1: 5 000 jejichž rozměr je 2,5 km x 2 km. Rozlišení ortofotomap je 0,5 m/pixel. Data jsou v souřadnicovém systému S-JTSK.

Jeden mapový list stojí 150 Kč. Na obr. 16 je vidět rozložení mapových listů potřebných pro pokrytí zájmového území.

Obr. 16: Rozložení mapových listů v zájmovém území



Zdroj: Gefos a.s., vlastní archiv, 2009

Z rozložení mapových listů je zřejmé, že je potřeba šest mapových listů pro pokrytí zadání. Celková cena je tedy 900 Kč (tab. 1). Za tuto cenu uživatel dostává šest mapových listů ve formátu *.tif umístěných v souřadnicovém systému. Za cenu 244 Kč/mapový list Základní mapy 1: 10 000 je navíc možné získat digitální model terénu ve formě vrstevnic (ZABAGED®). Pro dané území je třeba čtyř mapových listů.

Tab. 1: Ceny ortofotomap a DMT z ČÚZK

popis	cena / 1 list (Kč)	počet listů	cena / celé území (Kč)
ortofotomapa	150	6	900
DMT	244	4	976

Zdroj: www.cuzk.cz, 2009

Ortofotomapy ČÚZK je možné získat i od firem, které mají s ČÚZK podepsanou komisionářskou smlouvu. Ty pak data ČÚZK přeproductávají a navíc je možné u nich objednat další úpravy – barevné vyrovnání, spojení jednotlivých listů, ořez podle zadaného území nebo vizualizace.

Výhody

- Nízká cena
- Krátký interval od objednání do doručení koncovému uživateli (2-5 dní)
- Uživatel získává ortofotomapsu nejen pro zájmové území, ale i pro jeho okolí v závislosti na mapovém listu
- Jednoduchost objednání – např. pomocí internetové aplikace ČÚZK Geoportál – možnost prohlížení dat, výběru jednotlivých listů...
- Vzhledem rozlišení relativně malý objem dat (60 MB / 1 mapový list)

Nevýhody

- Relativně nízké rozlišení 0,5 m pro některé aplikace jako vypočtené modely
- Tříletý interval aktualizací – ortofotomapsy některých oblastí proto mohou být až tři roky staré
- Není možné od přímého distributora objednat ortofotomapsu podle daného zájmového území – nutnost objednat celé mapové listy, případně další úpravy od dalších distributorů

9.2 Ortofotomapa vytvořená analytickou leteckou fotogrammetrií

Na trhu existuje několik firem poskytující služby v oboru letecké fotogrammetrie. Jednotlivé firmy se liší svou velikostí, kamerami, které využívají (analogové x digitální), zda vlastní svá letadla, nebo využívají další subdodavatele. Největší firmou na českém trhu je firma Geodis a.s. využívající automatických metod pro tvorbu ortofot a v současnosti již digitálních kamer. Jejimi největšími konkurenty jsou firmy Gefos a.s. a Georeal spol. s.r.o.

Následuje podrobná cenová kalkulace firmy Gefos a.s. podle zadaných požadavků. Ortofotomapy jsou vytvářeny poloautomatickými metodami. Nejprve je objednan nálet požadovaného území dle zadaných parametrů (rozlišení, období) u externí firmy. Analogové snímky jsou poté naskenovány a ve stereorežimu vyhodnoceny do digitálního modelu terénu. Následuje ortorektifikace a další úpravy (barevné, ořezy, mozaikování) přímo podle požadavků zákazníka a vytvoření finálních ortofotomap.

Tabulka 2 zobrazuje dobu zpracování ortofotomapy pro dané území. Doba zpracování se odvíjí od velikosti zadaného území, z ní se pak odvozuje i cena.

Tab. 2: Doba zpracování pro jednotlivé činnosti tvorby ortofotomapy

Popis práce		snímků / den	Počet dní pro 16 snímků
založení projektu			1,00
aerotriangulace		16	1,00
tvorba DMT	body	6	2,67
	hrany	5	3,20
ortofotomapa	mozaika	30	0,53
	rozřezání do kladu	30	0,53
	úpravy a barevné vyrovnání	10	1,60
	rezerva		1,00
celkem			11,53

Ortofotomapa je vytvářena z jednotlivých leteckých snímků. Zadané území je pokryto 16-ti snímky (Gefos, vlastní archiv, 2009)

Tab. 3: Celkový cenový rozbor

Popis práce	Jednotky	Počet	Cena / jednotku v Kč	Cena celkem v Kč
zpracování	Dny	12	4 200	50 400
skenování	snímky	16	400	6 400
doprava	dny	1	4 200	4 200
nálet	dny	1	26 600	26 600
vlícovací body	dny	1,5	8 200	12 300
rezerva		1	4 200	4 200
celkem	dny	16,5		104100

Z tabulky č. 3 plyne, že celková cena ortofotomapy požadovaného území je 104 100 Kč. Výstupem je ortofotomapa ve formátu *.tif (nebo dle požadavků zákazníka) s prostorovým rozlišením 0,15 m v souřadnicovém systému S-JTSK (nebo dle požadavků zákazníka). Dále je součástí výstupu podrobný digitální model terénu tvořený body (sít' 20 x 20 m) a terénními hranami případně vrstevnicový model s přesností v řádech cm. Ortofotomapa je vytvořena z leteckých snímků pořízených v období zadaném zákazníkem. Od pořízení snímků je ortofotomapa doručena zákazníkovi do 17-ti pracovních dnů.

Pro vytvoření cenové kalkulace byly osloveny další firmy v oboru fotogrammetrie. Firma Geodis a.s. své údaje o cenách neposkytla. Firma Georeal spol. s.r.o. při stejném prostorovém rozlišení 0,15 m nabízí cenu min. 350 Kč / ha v závislosti na podmínkách. Cena za celou zakázku tedy tvoří 101 500 Kč. Z tohoto nezávislého porovnání je tedy zřejmé, že cena ortofotomap vytvořených metodami analytické letecké fotogrammetrie se pro dané zadání pohybuje těsně nad hranicí 100 tis. Kč.

Výhody

- Vysoké prostorové rozlišení až 0,1 m
- Vysoká přesnost ortofotomapy způsobená vytvořeným DMT pro danou konkrétní zakázku
- Aktuálnost – dle velikosti území 10 dnů až měsíc
- Získání přesného digitálního modelu terénu
- Možnost přizpůsobení požadavkům zákazníka (barevné vyrovnání, ořezy, další služby)

Nevýhody

- Vyšší cena v desítkách až stovkách tisíc Kč
- Doba zpracování 10 dnů až měsíc dle velikosti území
- Závislost na vnějších vlivech – především při pořizování náletu (počasí, roční období, dostupnost snímacích letadel)

9.3 Ortofotomapa vytvořená z družicových snímků

Ortofotomapu je možné získat i ortorektifikací družicových snímků. Mezi dvě největší firmy na českém trhu poskytující družicová data patří firma Gisat a.s. a ArcData Praha, s.r.o. Oproti fotogrammetrickým firmám nabízí ve většině případů družicové snímky pouze umístěné do souřadnicového systému, ovšem neortorektifikované. Ortorektifikaci provádí sám zákazník, nebo ji tyto firmy poskytují za poplatek. Pro ortorektifikaci je nezbytný DMT (tj. neprovádí se vyhodnocování terénu), dodává ho většinou zákazník – je možné získat ho např. v podobě vrstevnicového modelu z ČÚZK (byl zahrnut do výpočtu cenové kalkulace).

Následující cenovou kalkulaci poskytla firma ArcData Praha, s.r.o. (tab. 4).

Tab. 4: Cenová kalkulace družicových snímků zájmového území

popis	cena / celé území (Kč)	cena / min. plochu (Kč)
aktuální	1 233,95	34 040,00
archiv	912,05	7 862,50
ortorektifikace	3 000	3 000
DMT	976	976
celkem aktuální	5 210	38 016
celkem archiv	4 888	11 839

Cena je uvedena pro zájmové území 2,9 km² a pro minimální území, které je možné objednat (území 2,9 km² je příliš malé, min. území, které lze objednat je pro archiv 25 km², pro aktuální 80 km²). Archivní data jsou snímky starší 2 měsíce, aktuální data jsou snímky z archivu staré max. 2 měsíce a snímky pořízené na objednávku (vytvoření snímků v období dle přání zákazníka), ARCDATA PRAHA, s.r.o., 2009

Výstupem je digitální ortofotomapa ve formátu *.tif (nebo dle požadavků zákazníka) z družicových snímků QuickBird s prostorovým rozlišením 0,6 m obsahující mimo tří viditelných pásem RGB ještě blízké infračervené pásmo v souřadnicovém systému S-JTSK (nebo dle požadavků zákazníka). Archivní snímky je možné dodat do několika dnů od objednávky, v případě snímků aktuálních záleží doba dodání na požadavcích zákazníka na období nasnímání. V případě této kalkulace je pak součástí i vrstevnicový digitální model terénu s přesností v řádech několika metrů.

Výhody

- Blízké infračervené pásmo s vlnovou délkou 760 – 900nm – dostáváme podrobnější spektrální křivku a můžeme vypočítat vegetační indexy, klasifikovat území podle využití půdy apod.
- Možnost získat ortofotomaps jen zájmového území
- Aktuálnost – 3-5 dní
- Možnost přizpůsobení potřebám zákazníka – vytvoření různých barevných kombinací, snímek pouze skutečného výřezu, který zákazník potřebuje apod.

Nevýhody

- Relativně nízké prostorové rozlišení od 0,6 m výše
- Minimální objednávací plochy – od 25 km² pro snímky z archivu a od 80 km² pro snímky na objednávku (aktuální)
- Závislost na vnějších vlivech – především při družicovém snímání (oblačnost, roční období, dostupnost družic)

10. Porovnání metod pro tvorbu ortofotomapy

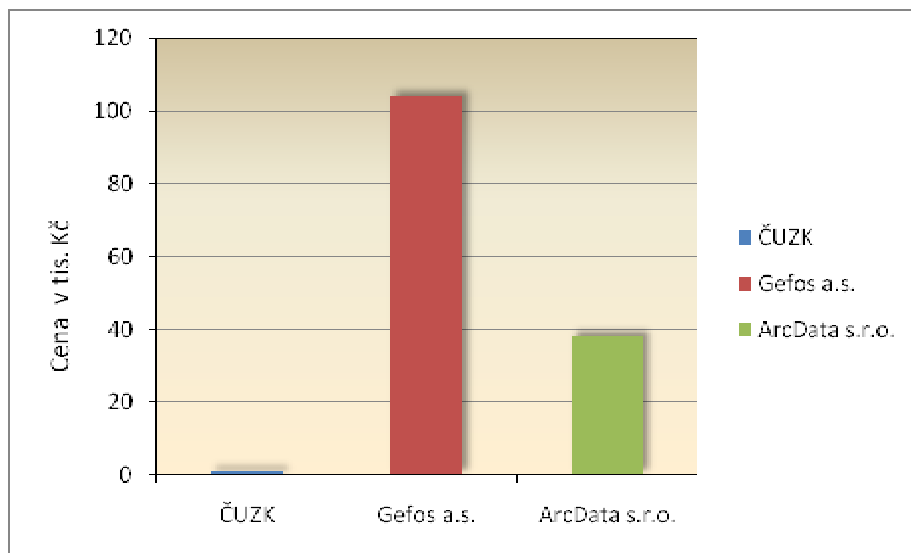
Tato kapitola uvádí porovnání výsledků průzkumu (tab. 5) z předchozí části a jejich závěrečné zhodnocení a doporučení.

Tab. 5: Porovnání dodavatelů ortofotomap

	cena (Kč)	rozlíšení (m)	doba zpracování (pracovní dny)
ČÚZK	900	0,50	1
Gefos a.s.	104 100	0,15	17
ArcData s.r.o.	38 016	0,60	3

Z uvedeného cenového rozboru plyne, že zpracování analytickou leteckou fotogrammetrií je z představených metod nejdražší (tab. 5). Cena ortofotomap ČÚZK pro danou zakázku tvoří 0,86 % ceny firmy Gefos a.s. a cena družicových ortofotomap firmy ArcData s.r.o. tvoří 36,52 % ceny leteckých ortofotomap firmy Gefos a.s (graf 1).

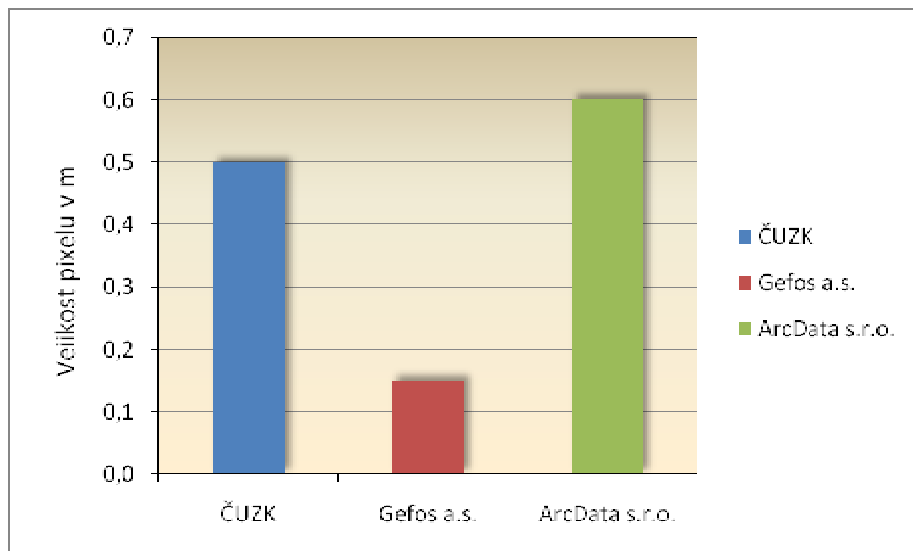
Graf 1: Ceny ortofotomap jednotlivých dodavatelů



Naopak z hlediska prostorového rozlišení dosahuje nejlepších výsledků tj. nejmenší velikosti pixelu 0,15 m (nejvyšší prostorové rozlišení) firma Gefos a.s. metodami analytické fotogrammetrie a stereoskopického vyhodnocení digitálního modelu terénu (graf 2). Ostatní dva dodavatelé mají srovnatelná rozlišení – ČÚZK

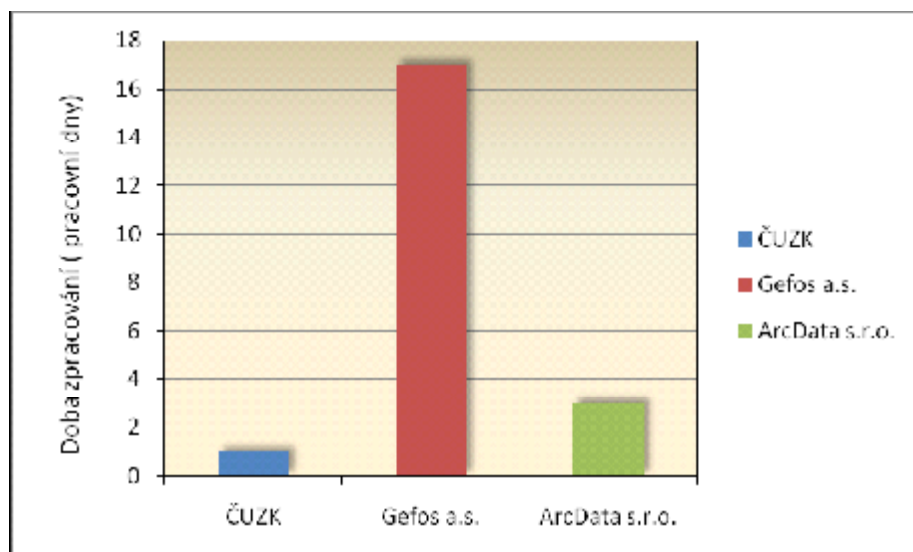
nabízí ortofotomapy s prostorovým rozlišením o 333,3 % nižší, firma ArcData s.r.o. nabízí ortofotomapy s velikostí pixelu o 400 % nižší než firma Gefos a.s.

Graf 2: Prostorové rozlišení jednotlivých dodavatelů ortofotomap



Dále z uvedeného průzkumu plyne, že metoda analytické letecké fotogrammetrie je na zpracování časově nejnáročnější (graf 3). Družicová ortofotomapy jsou zpracovávány jen 17,6 % času potřebného pro zpracování leteckých ortofotomap firmou Gefos a.s. a v případě ČÚZK je potřeba pouze 5,9 % jejich času.

Graf 3: Doba zpracování jednotlivými dodavateli



Aby bylo objektivně posouzeno toto porovnání, je potřeba zdůraznit že mezi jednotlivými metodami je velký rozdíl. V první řadě záleží vždy na účelu, pro který je ortofotomapa vyhotovená. Proto dochází k velkým rozdílům v ceně jednotlivých metod, délce zpracování nebo prostorovému rozlišení výsledné ortofotomapy.

Při objednání ortofotomapy vychází zákazník vždy z účelu použití ortofotomapy (viz. kap. 5.1). Podle stupně využití a nároků na ortofotomapy je možné rozdělit účel do několika kategorií:

- jednoduchý účel – přehledné ortofotomapy, tiskové výstupy, podklady
- složité úlohy – měření v ortofotomapě, analýzy nad DMT, výpočty, přesná aktualizace podrobných map,
- komplikované úlohy – multispektrální a hyperspektrální analýzy

Pro jednoduchý účel plně dostačují ortofotomapy s nižším prostorovým rozlišením v řádech desítek centimetrů až metrů tj. od 0,5 m výše. Z uvedeného rozboru jednotlivých metod a dodavatelů tedy plyne, že pro tento účel jsou nejvhodnější jak z hlediska ceny, tak z hlediska kvality ortofotomapy z ČÚZK. Pro jednoduchý účel by se díky nižšímu prostorovému rozlišení daly využít i družicové ortofotomapy. Jejich výhodou je aktuálnost, nevýhodou ovšem vyšší cena. Z toho plyne, že ortofotomapy vytvořené analytickou leteckou fotogrammetrií se pro jednoduché účely nehodí hlavně z důvodu vysoké ceny a zbytečně vysoké podrobnosti.

Složité úlohy vyžadují podrobné a přesné ortofotomapy včetně kvalitního digitálního modelu terénu. Ortofotomapy z ČÚZK a z družicových senzorů pro tyto úlohy v tuto chvíli nedostačují, ale zároveň vývoj postupuje dopředu a v plánu jsou nejen podrobnější družicové senzory s rozlišením podrobnějším než 0,6 m, ale také podrobnější ortofotomapy celé ČR, které plánuje ČÚZK zhotovovat v prostorovém rozlišení 20 cm. Pro tyto složité úlohy je tedy stále nejdůležitější analytická nebo digitální letecká fotogrammetrie. Vyšší cena v tomto případě odpovídá vysoké kvalitě, od čehož se odvíjí i délka zpracování. Zákazník také na rozdíl od ostatních metod získává vysoce přesný a podrobný digitální model terénu. Metody letecké fotogrammetrie jsou vysoce aktuální, snímání je prováděno podle požadavků zákazníka v jím určeném období.

V případě komplikovaných metod se jedná o specifické analýzy využívající především družicových ortofotomap a jejich výhod v podobě dalších spektrálních pásem. Cena je z 90 % tvořena náklady na koupi snímku z družice. Tvorbě ortofotomapy není kladen velký důraz a zákazník také nezískává podrobný DMT. Nízké prostorové rozlišení je ve většině aplikací dostačující, cení se spíše vyšší spektrální rozlišení.

Z tohoto plyne, že je vždy rozhodující účel pro který je ortofotomapa vyhotovena. Od něj se odvíjí výběr metody, cena a doba zpracování. Nejdražší – pro naši zakázku 104 100 Kč, ale zároveň nejpodrobnější – 0,15 m a nejpřesnější je metoda letecké fotogrammetrie. Za ní pak následují ortofotomapy z ČÚZK s cenou 900 Kč a rozlišením 0,5 m a družicové ortofotomapy s cenou 38 016 Kč a rozlišením 0,6 m.

Závěr

Autor v bakalářské práci uvedl přehled metod pro tvorbu ortofotomapy včetně teoretického základu fotogrammetrie a stereofotogrammetrie. Ve vlastní práci pak provedl kompletní cenový rozbor a porovnání jednotlivých metod z hlediska ceny, prostorového rozlišení a doby zpracování na vybrané zakázce. Vytvořil doporučení pro výběr dané metody z hlediska účelu a požadavků zákazníka na použití ortofotomapy. Před výběrem metody je vždy nejdůležitější volba, pro jaký účel bude ortofotomapa použita.

Pro jednoduchý účel doporučuje využívat ortofotomapy z ČÚZK, které jsou nejlevnější pouze 150 Kč na mapový list a pro jednoduché využití přehledných map a tisků naprosto dostačující a snadno dostupné. Pro složité úlohy nad ortofotomapami a digitálními modely terénu je již třeba využívat ortofotomapy přesné letecké fotogrammetrie s rozlišením až 0,15 m, jejichž pořizovací cena je největší, ale také společně s družicovými ortofotomapami nejaktuálnější a plně přizpůsobena požadavkům zákazníka. Navíc v současné době se s nástupem digitálních leteckých kamer přesnost ještě zvětšuje až pro rozlišení pod 0,1 m a přímou digitalizací leteckých snímků zjednodušuje následné vyhodnocení ortofotomapy. Komplikované úlohy využívající spektrálních vlastností objektů na Zemi je doporučeno řešit pomocí družicových ortofotomap s nižší podrobností 0,6 m, ale s mnoha vlastnostmi plynoucí ze spektrálních snímků, které neposkytují předchozí dvě metody.

Seznam zdrojů

Böhm, Josef: Fotogrammetrie, Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Ostrava 2002

Dobrovolný, P (1998): Dálkový průzkum Země – Digitální zpracování obrazu, vydala Masarykova univerzita v Brně, Brno

Lillesand, T.M.; R.W. Kiefer, and J.W. Chipman (2003). Remote sensing and image interpretation, 5th ed., Wiley. ISBN 0-471-15227-7.)

Pavelka, K. (1998): Fotogrammetrie 10, Vydavatelství ČVUT, Praha

Pavelka, K. (1997): Fotogrammetrie 20, Vydavatelství ČVUT, Praha

Šmidrkal, Josef: Fotogrammetrie a DPZ. 2.vydání.Praha:CVUT,1991.225 s

Internetové zdroje:

ARCDATA PRAHA, s.r.o. – družicová data, Zdroj: www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data (8.6.2009)

Wikipedia – cs.wikipedia.org – internetová encyklopedie (24.6.2009)

www.gali-3d.com/cz/techno-anaglyph/techno-anaglyph.php (9.7.2009)

www.geodis.cz/sluzby/fotogrametrie (13.6.2009)

www.gjs.cz/vedy-o-zemi/dpz.htm (25.7.2009)

www.lfgm.fsv.cvut.cz/main.php?cap=1&zal=139&lang=cz (18.6.2009)

www.natur.cuni.cz/~langhamr (21.6.2009)

www.vugtk.cz/termkom/indtk.html – Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí (24.6.2009)