

**Západočeská univerzita v Plzni**  
**Fakulta aplikovaných věd**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

## ***Prohlášení***

Předkládám tímto k posouzení a následné obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pouze s použitím literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí, a za odborného vedení vedoucího diplomové práce

Plzeň, květen 2003

.....

vlastnoruční podpis

Podle posudků upraveno a doplněno v červenci 2003

## ***Poděkování***

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Karlu Jedličkovi za trpělivost a obětavost.

Za cenné rady ohledně software ERDAS IMAGINE děkuji Ing. Luboši Hübschovi z firmy Georeal, spol. s r.o., Plzeň.

Za cenné rady ohledně VRML scény děkuji RNDr. Miroslavu Lávičkovi, Ph.D. z katedry matematiky.

Dále chci poděkovat všem spolužákům za toleranci k mé osobě a za drobné výpomoci během celého mého studia.

Poděkování si též zaslouží všichni vyučující, jejichž přednášky, cvičení a osobní přístup mi byly přínosem.

## ***Anotace***

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření 3D virtuálního modelu areálu Západočeské univerzity v lokalitě Borská pole. Model byl vytvořen z leteckých fotogrammetrických snímků. Výstupy z diplomové práce jsou tyto: virtuální 3D model v ERDAS IMAGINE VirtualGIS, VRML scéna tohoto modelu (optimalizovaná pro prohlížení přes internet), digitální model reliéfu (DMR), diferenciatně překreslený snímek (ortofoto) a několik videoklipů pro prezentaci modelu.

Teoretická část diplomové práce popisuje přínos digitálních technologií pro bezkontaktní metody sběru dat.

Další kapitola popisuje použitou technologii tvorby virtuálního modelu.

Poslední kapitola se zabývá optimalizací VRML scény.

## ***Klíčová slova***

3D GIS, digitální fotogrammetrie, ortofoto, virtuální model, VRML, optimalizace VRML scény

## ***Annotation***

The main goal of this Thesis is to create a 3D virtual model of Westbohemian University in Pilsen and its neighbourhood in locality of Borska pole. The model was made from aerial photogrammetric photos. The outputs of this Thesis are: the virtual 3D model in ERDAS IMAGINE VirtualGIS, VRML scene of this virtual model (optimized for browsing through the internet), digital terrain model (DTM), the orthorectified image of the locality (orthophoto) and some videoclips of the model for presentation.

The theoretical part of my Thesis describes assets of digital technologies to the contactless methods of data capture.

Next chapter describes the used technique of making the virtual model.

The last chapter is about optimizing the 3D model in VRML format.

## ***Keywords***

3D GIS, Digital Photogrammetry, Orthophoto, Virtual Model, VRML, VRML optimization.

**Západočeská univerzita v Plzni**

**Fakulta aplikovaných věd**

Katedra matematiky

**3D virtuální model areálu ZČU Borská pole**

**(Diplomová práce)**

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Přínos digitálních metod pro bezkontaktní metody sběru dat.....</b>	<b>6</b>
2.1 Bezkontaktní metody sběru dat.....	6
2.1.1 Výhody bezkontaktních metod.....	6
2.1.2 Nevýhody bezkontaktních metod.....	6
2.2 Digitální technologie sběru dat.....	7
2.2.1 Primární digitální data.....	7
2.2.2 Sekundární digitální data.....	8
2.3 Digitální technologie zpracování dat.....	8
2.4 Podpůrné digitální prostředky.....	9
2.5 Shrnutí přínosu digitálních technologií.....	9
<b>3 Návrh a implementace technologického postupu tvorby virtuálního 3D modelu</b>	
<b>.....</b>	<b>10</b>
3.1 Možnosti tvorby virtuálního 3D modelu.....	10
3.2 Zdroje dat.....	10
3.3 Vybavení hardware a software.....	11
3.3.1 Důvod výběru software.....	11
3.4 Postup tvorby virtuálního 3D modelu.....	13
3.4.1 Stereoskopická dvojice.....	13
3.4.2 Stereoskopické vyhodnocení.....	26
3.4.3 Digitální model reliéfu.....	32
3.4.4 Ortorektifikace snímku.....	34
3.4.5 Textury.....	36
3.4.6 Virtuální model.....	41
<b>4 Optimalizace 3D modelu pro prohlížení přes webové rozhraní.....</b>	<b>49</b>
4.1 Úvod do VRML.....	49
4.2 Export do VRML.....	50
4.3 Možnosti optimalizace VRML scény.....	52
4.4 Použité optimalizace.....	52
4.5 Výsledná VRML scéna.....	54
<b>5 Závěr.....</b>	<b>56</b>

# Kapitola

## 1 Úvod

Cílem diplomové práce (dále DP) je vytvořit virtuální 3D model areálu Západočeské univerzity v Plzni, v lokalitě Borská pole. To znamená vytvořit modely všech tamních budov a také digitální model reliéfu (dále jen DMR).

Virtuální model byl vytvořen na základě dvou leteckých fotogrammetrických snímků, na nichž se areál nachází. Byla použita metoda stereofotogrammetrického vyhodnocení snímků, a to v programu ERDAS IMAGINE, modulech OrthoBASE a StereoAnalyst. Do konečné podoby byl 3D model upraven v modulu Virtual GIS téhož programu.

Výsledkem diplomové práce je 3D model prohlížitelný ve Virtual GIS, VRML scéna tohoto modelu (optimalizovaná pro prohlížení přes internet) a několik videoklipů vytvořených nad 3D modelem. Dalším výstupem diplomové práce je ortofotomapa areálu ZČU, která bude využitelná jako podklad pro cvičení v geodetických předmětech na měřické základně Bory

([http://hobbes.fav.zcu.cz/gis/technicke\\_zazemi/zakladna\\_bory/](http://hobbes.fav.zcu.cz/gis/technicke_zazemi/zakladna_bory/)).

# Kapitola

## 2 Přínos digitálních metod pro bezkontaktní metody sběru dat

### 2.1 Bezkontaktní metody sběru dat

Bezkontaktními metodami sběru dat se rozumí takové metody, kdy nedochází ke kontaktu měřiče s daným objektem zájmu. Tento objekt se zaznamená na obrazové médium a tento obraz se později zpracovává. Těchto metod je využíváno v dálkovém průzkumu Země (dále jen DPZ), fotogrammetrii (letecké i pozemní), laserovém skenování povrchu Země.

#### 2.1.1 Výhody bezkontaktních metod

Výhodou těchto metod je získání informací o rozlehlé oblasti v poměrně krátké době, takže lze tato data považovat za homogenní. Pokud se např. uskuteční fotogrammetrický nálet města, získáme data za jedno odpoledne. Pokud by se celé město mapovalo klasickými metodami, trvalo by pořízení prvotních dat nesrovnatelně déle.

Toto je výhodné pro zdokumentování stavu dané oblasti k určitému datu, nebo po nějaké události. Příkladem mohou být záplavy ze srpna 2002.

S časovou náročností pořízení dat je spojena další výhoda bezkontaktních metod sběru dat. Stačí totiž jediný vhodný den, kdy se data pořídí, a pak se data vyhodnocují v klidu a bezpečí kanceláře...

A jaké dny jsou vhodné? To záleží na důvodu pořizování snímků. Pro vyhodnocování DMR se pořizují v období vegetačního klidu, pro tvorbu ortofotomap je vhodné snímkovat v době vegetační aktivity, v čase, kdy slunce nevytváří dlouhé a ostré stíny.

#### 2.1.2 Nevýhody bezkontaktních metod

V minulém oddíle jsem zmínil jako výhodu nezávislost zpracování pořízených dat na počasí venku. Při pořizování těchto dat jsme na počasí naopak závislí, neboť pro pořízení snímků dané oblasti je vyžadována velmi dobrá viditelnost. To platí alespoň pro dálkový průzkum Země a fotogrammetrii. Může se tedy stát, že nenadálý výkyv počasí naprosto změní plány a zpomalí, nebo na určitý čas úplně zastaví tuto činnost. I proto je velmi důležité podrobné plánování této činnosti.

Daleko větší nevýhodou bezkontaktních metod sběru dat je rychlé stárnutí těchto dat. Rychlost stárnutí je dána především obsahem zájmové oblasti a podrobností dat. Pokud je to oblast ušetřena větších zásahů člověka či živelních katastrof, pak data stárnou pomaleji než z oblastí intenzivní lidské činnosti. Rychlost stárnutí je u těchto dat



větší než u dat pořízených kontaktními metodami, což souvisí především s podrobností dat. Na snímku povrchu Země, ať už je pořízen jakoukoliv bezkontaktní metodou sběru dat, se totiž nachází i podrobnosti, které jsou klasickými metodami nezaznamenatelné. A každá změna těchto podrobností způsobuje stárnutí dat.

## **2.2 Digitální technologie sběru dat**

### **2.2.1 Primární digitální data**

Digitální technologie sběru dat se začaly prosazovat především v DPZ, kde bylo zapotřebí přenést získaný obraz z družice na zemský povrch k jeho dalšímu zpracování. Nejprve tedy bylo nutno získat obraz v digitální podobě. Výsledkem výzkumu v této oblasti je CMOS a CCD prvek.

Oba prvky dokáží převést dopadající světlo na číselnou hodnotu. Tato hodnota závisí na intenzitě dopadajícího světla. CCD snímač (Charge Coupled Device) se skládá z velkého množství mikroskopických křemíkových fotodiód. CMOS (Complementary Metal Oxid Semiconductor) je elektronická součástka na bázi tranzistoru. (7)

Rozdíly mezi CMOS a CCD snímačem jsou ve schopnosti převodu světla na digitální signál, výrobní náročnosti a ve spotřebě energie. CMOS má výrazně nižší výrobní náklady (až o 80 %), je menší a spotřebuje jen 1 % množství energie ve srovnání s CCD. CCD má naproti tomu lepší výsledky v převodu světelného signálu na digitální, a tedy lepší barevné podání. (7)

Tyto senzory jsou konstruovány pro určité rozmezí vlnových délek. Pro vlnové délky viditelného světla je vhodný křemík, který se používá v CCD prvcích. Jelikož senzory převádí do digitální podoby intenzitu světla a nikoli jeho barvu, byly první snímače schopny získat pouze šedotónový obraz. Některé digitální měřické komory pro technické účely nebo senzory pro DPZ stále pořizují pouze šedotónový obraz. Barevné vyjádření buď není pro daný účel podstatné, nebo se vytváří později - přiřazení barev jednotlivým stupňům šedi (nepravé barvy), u multispektrálních snímků vzniká obraz až později. (7)

Moderní snímače již samozřejmě pořizují snímky barevné. Toho může být dosaženo několika způsoby:

- mozaikový způsob: v matici CCD prvků jsou přímo jednotlivým prvkům předřazeny mikroskopické barevné filtry. Sejmutí barevného obrazu je provedeno jedinou expozicí. V matici prvků se tak střídají jednotlivé barvy – červená, modrá, zelená. Při ukládání snímku do souboru se chybějící informace v mezilehlých bodech interpolují ze známých hodnot.
- postupné předřazení filtrů: expozice se provádí třikrát, vždy s jiným předřazeným ba-

revným filtrem. Takto nelze snímat objekty v pohybu.

- samostatné snímání barvy: světlo se za objektivem rozloží hranolem či mřížkou na tři barvy (RGB) a přivádí se na tři nezávislé senzory. Tímto způsobem dostaneme nejvyšší kvalitu výsledku, je to však složité a drahé. Tento systém je využit jen v profesionálních zařízeních. (7)

Rozlišení matic CCD je v současné době srovnatelné s rozlišením klasických fotografických materiálů. Digitální měřické komory se používají v pozemní fotogrammetrii, kde lze využít princip postupného snímání obrazu pohybující se řádkou nebo maticí CCD prvků. V letecké fotogrammetrii lze použít buď více menších matic CCD, nebo lineární senzor. (7)

### **2.2.2 Sekundární digitální data**

Digitální data lze též získat digitalizací předlohy. Pro účely fotogrammetrie se jedná o obrazová data, digitalizují se tedy letecké fotogrammetrické snímky ve formě negativu, pozitivu i diapozitivu.

Tyto snímky se do digitální podoby převádí pomocí vysoce přesných skenerů, které musí mít vysoké optické rozlišení.

Obslužné programy umožňují kromě nastavení rozlišení skenování také nastavit barevné korekce, které se provádějí přímo při skenování. To je výhodné pro automatické skenování snímků z filmového pásu, neboť tyto korekce bývají stejné pro celý filmový pás a závisí na materiálu (značce filmu) a na výsledku procesu vyvolání.

Jak jsem zmínil, fotogrammetrické skenery umožňují automatické skenování snímků z filmového pásu. To je vyřešeno tak, že skener má zabudováno citlivé převijení filmového pásu a detekování rámových značek. Při znalosti rozměrů leteckého snímku pak již není problém nastavit skener přesně na daný snímek. Toto řešení je výhodné pro rychlé naskenování většího počtu snímků, např. z jednoho fotogrammetrického náletu.

## **2.3 Digitální technologie zpracování dat**

Nástup počítačů a jejich rychlý vývoj umožnil převod mechanických a mechanooptických metod zpracování na digitální. Tyto digitální metody jsou založeny na matematických základech. Pro zpracování dat nyní stačí mít rozměrově malý počítač namísto dřívějších velkých přístrojů. Navíc jeden počítač může zastat funkčnost několika přístrojů.

Funkce klasických analogových přístrojů pro fotogrammetrii je nahrazována virtuálními modely v počítači a algoritmy, které s těmito modely pracují. Některé z těchto programů se specializují na jednu konkrétní oblast bezkontaktních metod sběru dat, např.

fotogrammetrii, kde se snaží nabídnout to nejlepší, jiné naopak nabízí možnost zpracovávat data z více oblastí bezkontaktních metod.

### **2.4 Podpůrné digitální prostředky**

Některé digitální technologie zpracování dat potřebují ke své plné funkčnosti ještě další digitální prostředky. Jsou to např. prostředky pro navození stereoskopického vjemu.

Jedním z takových prostředků jsou polarizační systémy, kdy před monitorem počítače je umístěn filtr z tekutých krystalů. Tyto krystaly mění v závislosti na zobrazování pravého a levého snímku polarizaci. Pokud je takovýto obraz pozorován brýlemi s polarizovanými skly, kde jedno je polarizováno vertikálně a druhé horizontálně, vnímá jedno oko vždy jen jeden konkrétní snímek. Pravé oko pravý a levé oko levý snímek. (7)

Výhodou tohoto systému je možnost plnohodnotného pozorování jedné stereodvojice více pracovníky.

Na jiném principu pracuje systém aktivních brýlí. Tyto brýle mají mezi skly tekuté krystaly, které jsou schopny rychle měnit denzitu a tím uzavírat cestu světlu. Na monitor jsou vysílány snímky separovaně, synchronizovaně se změnou denzity tekutých krystalů, resp. denzita tekutých krystalů se mění synchronizovaně s tím, který snímek je právě vysílán na monitor. Tento systém je náročný na výkon grafické karty a obnovovací frekvenci monitoru. Do oka se totiž dostane obraz pouze s poloviční frekvencí. Optimální obnovovací frekvence monitoru je okolo 120 Hz. (7)

Nevýhodou tohoto systému je fakt, že pro připojení aktivních brýlí do grafické karty je k dispozici pouze jeden konektor.

Důležitým podpůrným prostředkem pro bezkontaktní metody sběru dat založeným na digitální bázi je GPS (globální polohový systém). GPS je využíván např. ve fotogrammetrii pro určování polohy letecké měřické komory v okamžiku pořízení snímku. Moderní systémy letecké fotogrammetrie využívají GPS pro řízení letadla, aby letělo přesně podle předem vytyčené trasy.

### **2.5 Shrnutí přínosu digitálních technologií**

Hlavní přínos digitálních technologií je zvýšení komfortu při pořizování a zpracování dat. Významným způsobem také rozšířily možnosti automatizace jednotlivých procesů pořizování a zpracování dat.

# Kapitola

## 3 Návrh a implementace technologického postupu tvorby virtuálního 3D modelu

Pokud není uvedeno jinak, vycházel jsem při sepisování této kapitoly z vědomostí získaných v několika předmětech vyučovaných na tomto studijním programu a studiem literatury (3), (4), (5) a (6).

### 3.1 Možnosti tvorby virtuálního 3D modelu

Virtuální 3D model lze vytvořit několika způsoby. Záleží na účelu tohoto modelu a na dostupných datech.

Jsou-li k dispozici zájmové objekty ve vektorovém formátu (ve 2D) a DMR, je možno tyto vektorové objekty zobrazit v 3D prostoru na základě daného DMR. Pokud je potřeba, aby modely budov vystupovaly nad terén, je možno tyto objekty „vytáhnout“ („*extrude*“) nad terén o požadovanou výšku. Takto lze vytvořit nejjednodušší virtuální 3D model. (1)

Pokud jsou k dispozici data pro kompletní fotogrammetrické vyhodnocení zájmového území, tedy letecké snímky, parametry měřické komory (dále jen komora) a souřadnice vřícovacích bodů, získají se tímto vyhodnocením objekty ve vektorovém formátu, včetně nadmořské výšky. Tímto způsobem se získá preciznější virtuální model než v předchozím případě. (1)

Nejpřesnější model se získá, pokud jsou k dispozici data z laserového skenování povrchu, kdy lze dobře modelovat i mosty a další podobně složité objekty. (1)

Pro tvorbu digitálního virtuálního 3D modelu okolí ZČU byla k dispozici data pro kompletní fotogrammetrické vyhodnocení.

### 3.2 Zdroje dat

Následující data byla poskytnuta firmou GEOREAL, se souhlasem Magistrátu města Plzně:

- fotogrammetrické snímky v digitální podobě. Snímky byly pořízeny 9.8.2002 v čase mezi 10<sup>50</sup> a 11<sup>20</sup>. Měřítko snímků je 1:12000. Velikost pixelu je 14  $\mu\text{m}$ .
- parametry letecké komory ve formě kalibračního protokolu (Příloha A)
- souřadnice vřícovacích bodů a náčrtek jejich umístění

Dalšími daty, která jsem potřeboval, byly textury fasád budov. Tyto textury byly získány pomocí digitálního fotografického přístroje FujiFilm S602 Zoom.

### **3.3 Vybavení hardware a software**

Konfigurace počítače byla následující:

- procesor AMD Athlon XP 2200+
- grafická karta 3Dlabs Wildcat VP760
- paměť RAM 1 GB
- monitor Iiyama HA202DT Vision Master Pro 512, využitelná plocha 20"/51cm, rozlišení 1280x1024, obnovovací frekvence 118 Hz
- harddisk Maxtor 6Y080L0, kapacita 80 GB
- optická myš Microsoft
- aktivní stereoskopické brýle CrystalEyes®

Software využitý pro tvorbu diplomové práce:

- ERDAS IMAGINE, verze 8.6
  - modul Viewer: převod DMR z formátu GRID do formátu DEM
  - modul OrthoBase: vytvoření stereoskopické dvojice a ortofotomapy
  - modul StereoAnalyst: stereoskopické vyhodnocení oblasti
  - modul VirtualGIS: sestavení virtuálního 3D modelu a tvorba průletových videí
- ESRI ArcGIS 8.2
  - modul ArcMap, rozšíření 3D Analyst: vytvoření DMR (TIN, GRID)
- OpenOffice.org 1.0.2: vytvoření tohoto textu
- IrfanView 3.80: snímání obrazovky pro potřeby tohoto textu
- KOKEŠ 6.03: transformace některých textur, spojování více částí textur do jedné
- Jasc Paint Shop Pro 8.0 Try&Buy (30-ti denní plně funkční demoverze): transformace většiny textur
- Adobe Photoshop 7.0 CE: další úpravy textur a obrázků do tohoto textu

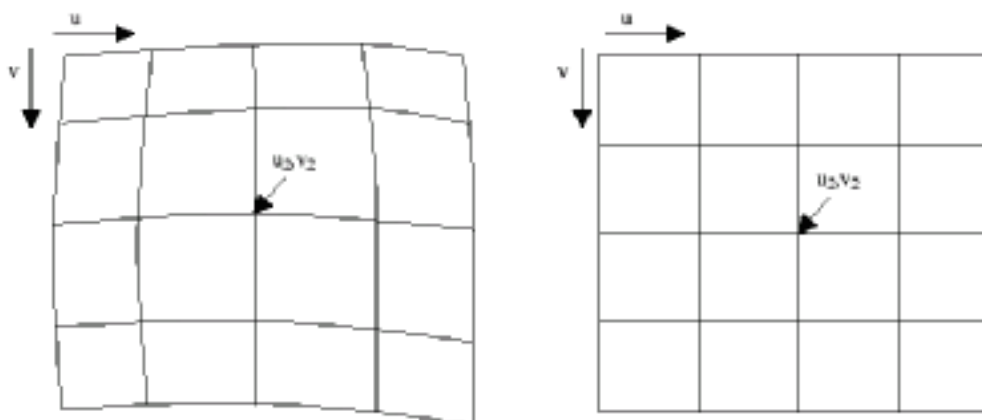
#### **3.3.1 Důvod výběru software**

Jedním z důvodů výběru software ERDAS IMAGINE je dlouhodobá spolupráce univerzity s firmou ARCDATA Praha, která v České republice zajišťuje distribuci programů firem ESRI a ERDAS. Právě firma ERDAS vyvinula software ERDAS IMAGINE, který se používá na zpracování dat ve fotogrametrii a DPZ. V souvislosti s DPZ se tento software na naší škole již používá.

Podobné důvody vedly k využití software ArcGIS, který se používá při výuce předmětů týkajících se geografických informačních systémů (GIS). Program byl využit pro vytvoření digitálního modelu reliéfu ve formátu TIN (nepravidelná trojúhelníková síť) a převod do formátu GRID (rastr obsahující ve svých buňkách informaci o výšce místo o barvě).

Pro odstranění radiálního a perspektivního zkreslení u ostatních textur jsem využil software Jasc Paint Shop Pro 8.0 Try&Buy (dále jen Paint Shop). Důvody jeho využití jsou: velký uživatelský komfort a možnost dalšího zpracování ve stejném programu. Ukázky práce s tímto software jsou v oddílu 3.4.5.

Původně jsem však zamýšlel použít software KOKEŠ, který má kromě běžných transformací (shodnostní, podobnostní, afinní, projektivní ...) implementovanou transformaci pomocí bikubického Coonsova plátu<sup>1</sup>. Využití této metody pro transformaci map Stabílního katastru ze souřadnicového systému skeneru do souřadnicového systému Stabílního katastru (S-SK) prosazuje Ing. Václav Čada, Csc. Metoda spočívá v aproximaci průběhu zakřiveného rámu mapového listu spline křivkou, rozdělení mapového listu na více částí (Coonsovy pláty) a jejich transformace na „ideální“ obdélník (viz obr.3.1). Tímto způsobem lze odstranit srážku mapových listů lépe než běžně používanými transformacemi. (2)



Obr. 3.1 Princip transformace mapových listů metodou bikubického Coonsova plátu. Obrázek převzat z (2).

Tuto transformaci jsem použil pro odstranění radiálního a perspektivního zkreslení u dvou textur na budově rektorátu. Zmiňované dvě textury jsou částí válcové plochy, takže jejich perspektivní zkreslení je daleko více závislé na poloze a vzdálenosti fotoaparátu od nich. I po odstranění radiálního zkreslení mají dvě okrajové křivky tvar elipsy. Toto perspektivní zkreslení nelze v software Paint Shop odstranit. Postup práce v tomto software jsou v oddílu 3.4.5.

---

1 Bližší informace o bikubickém Coonsově plátu lze získat v publikaci: Ježek, F.: Geometrické a počítačové modelování – pomocný učební text. ZČU, Plzeň 2000.

### 3.4 Postup tvorby virtuálního 3D modelu

#### 3.4.1 Stereoskopická dvojice

##### Řídící soubor

Na začátku tvorby virtuálního 3D modelu je zapotřebí vytvořit z dvojice leteckých fotogrammetrických snímků stereoskopickou dvojici. Postup tvorby je naprosto shodný s klasickou leteckou fotogrammetrií, jen s tím rozdílem, že je zajišťován digitálními prostředky.

Stereoskopická dvojice jsou dva snímky, převedené do polohy odpovídající okamžiku jejich pořízení. Pokud se poté zajistí, aby při pohledu na oba snímky každé oko vnímalo pouze jeden snímek, vzniká stereoskopický vjem. To znamená, že terén zachycený na snímcích se jeví plastický (3D) a za použití dalších pomůcek je možno kromě polohy bodů určovat i jejich výšku.

K vytvoření stereoskopické dvojice slouží v software ERDAS IMAGINE modul OrthoBASE.



Tento modul slouží též pro automatickou tvorbu DMR a ortorektifikaci snímků.

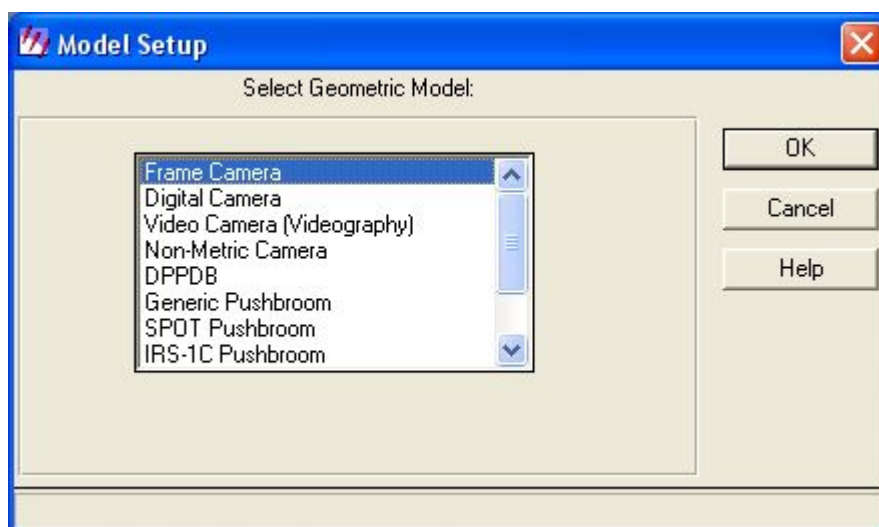
Nejprve je nutno založit nový řídicí soubor (s příponou .blk), což lze učinit již při spuštění tohoto modulu (viz obr.3.2).



Obr. 3.2 Úvodní obrazovka po spuštění modulu OrthoBASE Pro.

Při založení nového projektu je zapotřebí zadat parametry nutné pro správné vytvoření modelu (stereoskopické dvojice). Těmito parametry jsou geometrický model komory, projekci (zde kartografické zobrazení včetně souřadnicového systému), používané jednotky a parametry komory. Snímky, které jsem měl k dispozici, byly pořízeny klasickou leteckou fotogrammetrickou komorou (obr.3.3). Pro potřeby ortorektifikace snímků je nutno zadat projekci. Jelikož není nabízeno Křovákovo zobrazení (a národní souřadnicový systém S-JTSK), vybral jsem z nabídky zobrazení UTM, souřadnicový systém pro zónu 33 na severní polokouli, což je volba platná pro území Čech (obr.3.4) <sup>2</sup>. Dále je zapotřebí zadat pracovní jednotky. Jako délkové jednotky jsem zadal metry, jako úhlové pak stupně (obr.3.5).

Jako poslední se při zakládání nového projektu zadávají informace týkající se vnitřní orientace komory, a to rotační systém a směr fotografování. Rotační systémy jsou nabízeny tři:  $\omega, \varphi, \kappa$ ;  $\varphi(+), \omega, \kappa$ ;  $\varphi(-), \omega, \kappa$ . V klasické letecké fotogrammetrii se využívá systém  $\omega, \varphi, \kappa$ . Směry fotografování (směr osy záběru) jsou nabízeny dva: ve směru osy Z (pro leteckou fotogrammetrii) a ve směru osy Y (pro pozemní fotogrammetrii). Viz obr.3.6.

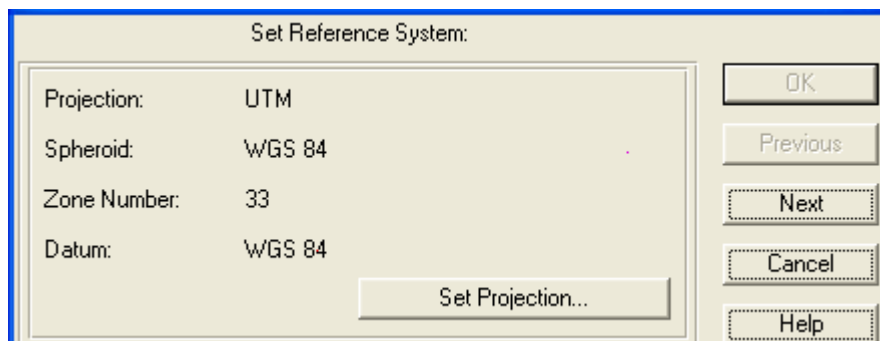


Obr. 3.3 Výběr typu komory.

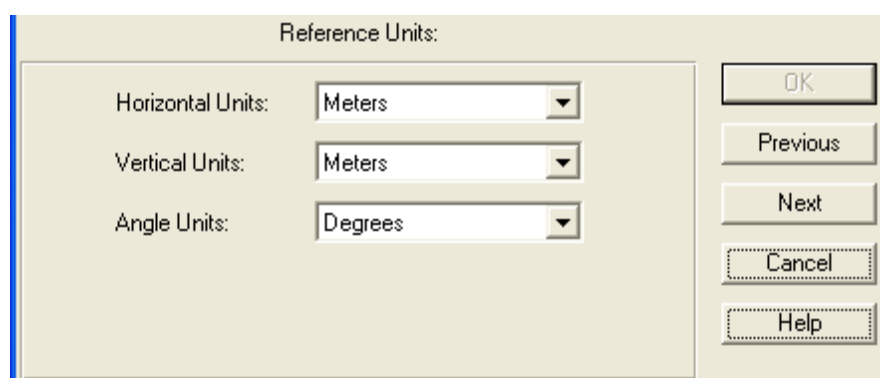
---

2 Software ERDAS IMAGINE v této verzi nenabízí český národní souřadnicový systém S-JTSK. Proto se v případě nutnosti nahrazuje jinou pravouhloú souřadnicovou soustavou. Převodní vztah je v tomto případě  $X_{UTM} = -Y_{S-JTSK}$ ,  $Y_{UTM} = -X_{S-JTSK}$ ,  $Z_{UTM} = Z_{S-JTSK}$ . Vizualizované a získané souřadnice tedy odpovídají (přes převodní vztah) souřadnicím v S-JTSK.

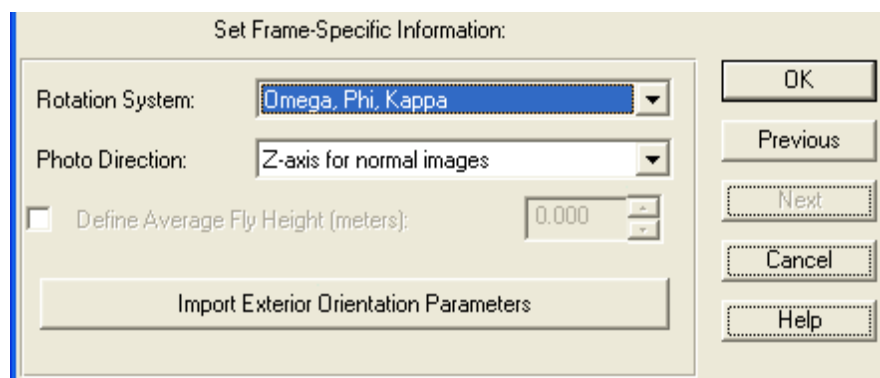




Obr. 3.4 Výběr kartografického zobrazení.



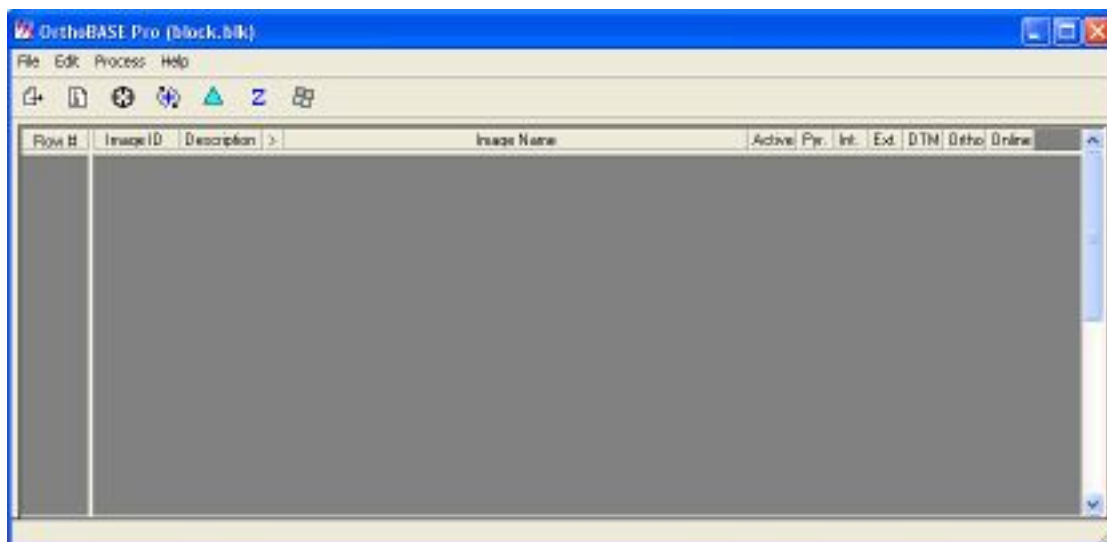
Obr. 3.5 Nastavení pracovních jednotek.




Obr. 3.6 Nastavení informací o komoře.

Pokud jsou k dispozici již vypočtené či jinak získané parametry vnější orientace (např. pomocí GPS), je možno je zadat ve formě předpřipraveného souboru po kliknutí na tlačítko „*Import Exterior Orientation Parameters*“ (obr.3.6). Tento soubor jsem neměl k dispozici, takže mi není známa jeho struktura, jejíž popis jsem nenašel ani v literatuře (3).

Po stisknutí tlačítka „*OK*“ je založen řídicí projekt. Vzhled okna je ukázán na obr.3.7.




Obr. 3.7 Okno nově založeného projektu modulu OrthoBASE.

Další procesy potřebné k vytvoření stereoskopické dvojice lze spouštět kliknutím na ikony , nebo pomocí položek v menu. V dalším textu se přidřím logického členění podle ikon (procesů).

Zda byl daný proces již dokončen indikují barevná políčka. Zelené políčko znázorňuje dokončený proces, červené pak proces, který na spuštění a dokončení teprve čeká (viz obr.3.8). Tyto procesy je možno spustit i kliknutím na červené políčko.


### Parametry snímků

Aby se mohly zadat parametry snímků, musí se napřed snímky do projektu vložit. K tomu slouží ikona .



Obr. 3.8 Okno projektu po vložení snímků.

Při vkládání snímků je vhodné nechat vygenerovat pohledové pyramidy (je-li tato možnost nabízena, tj. nejsou-li již na disku vytvořeny). Pohledové pyramidy slouží k rychlejšímu vykreslování snímků při změnách měřítka pohledu na obrazovce monitoru.

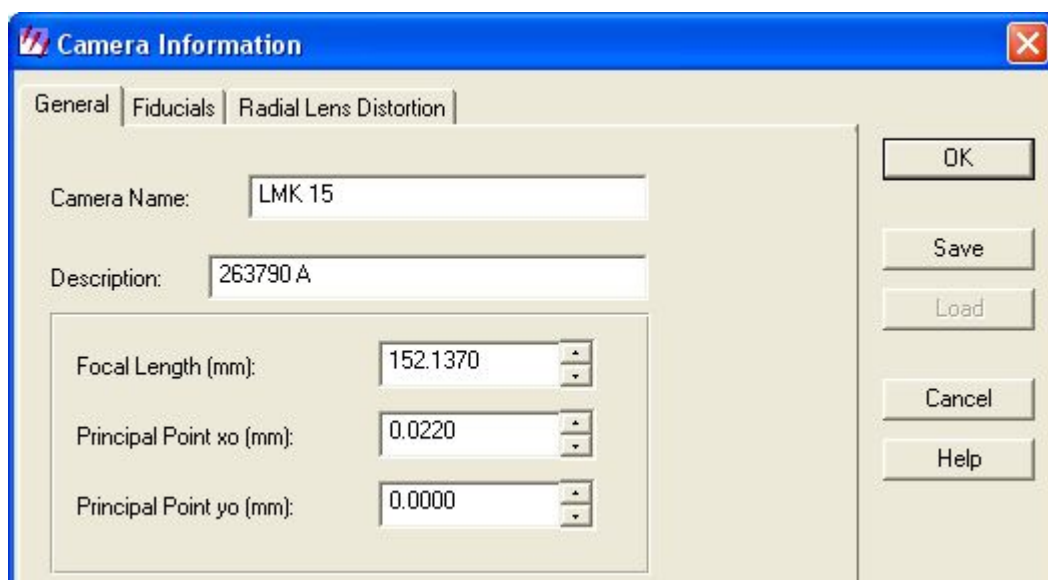
Po kliknutí na ikonu  se ukáže dialogové okno, v němž je možno editovat parametry jednotlivých snímků (typ a parametry komory, vnitřní orientace, hodnoty vnější orientace).

Na první záložce tohoto dialogového okna lze zadat název komory a její parametry (obr.3.9). Těmito parametry jsou: název komory, její popis, konstanta komory (ohnisková vzdálenost) a souřadnice hlavního bodu autokolimace (obr.3.10). Dále jsou to souřadnice rámových značek (důležité pro vnitřní orientaci snímku) . Viz obr.3.11. Na poslední záložce se zadávají hodnoty radiální distorze objektivu komory (obr.3.12).

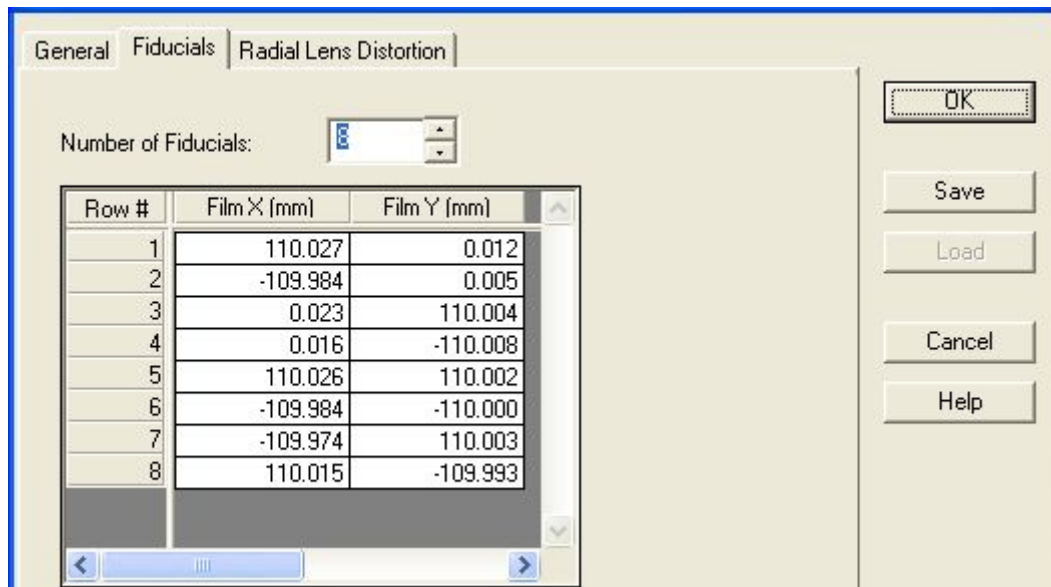
Všechny tyto hodnoty jsou k nalezení na kalibračním protokolu komory (Příloha A).



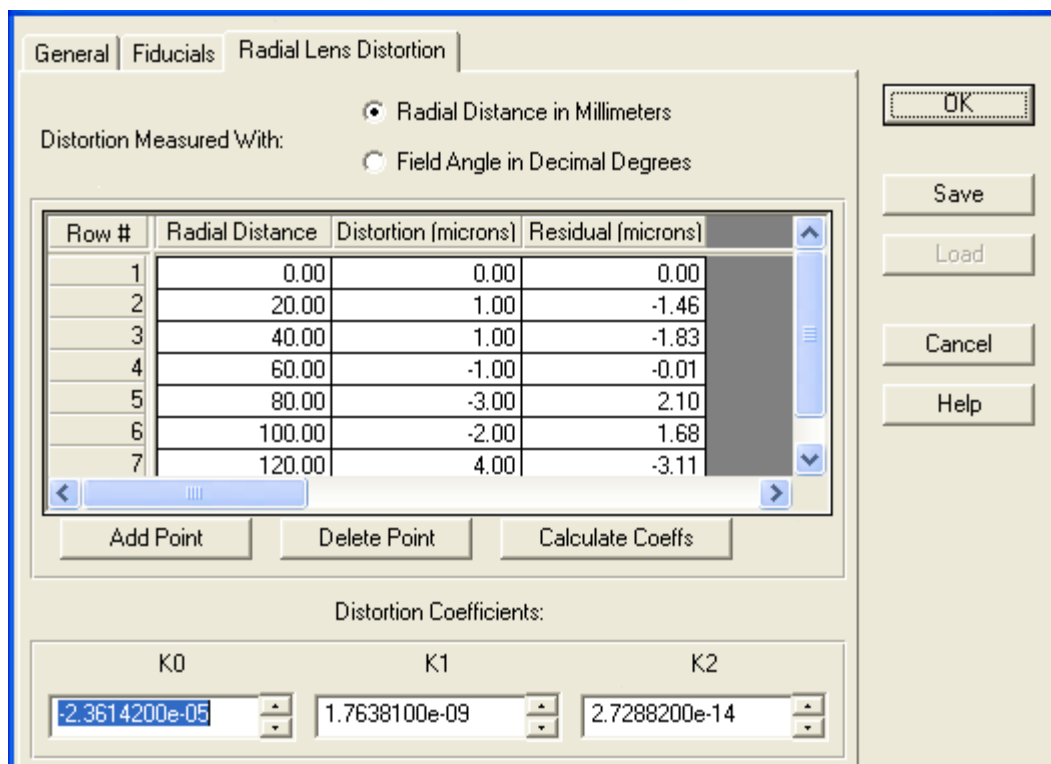
Obr. 3.9 Informace o komoře.



Obr. 3.10 Hlavní parametry komory.



Obr. 3.11 Souřadnice rámových značek.



Obr. 3.12 Hodnoty radiální distorze objektivu.

Aby se nemusela stejná práce zbytečně opakovat, je možno všechny tyto hodnoty uložit do souboru kliknutím na tlačítko „Save“. Tento soubor je vhodné uchovat na disku a použít pro další snímky pořízené stejnou komorou (v době platnosti kalibračního

protokolu, což jsou jeden až dva roky od provedení kalibrace). Načtení souboru umožňuje tlačítko „Load“.


Struktura tohoto souboru s parametry komory je okomentována na následujících řádcích (text 3.1).

LMK 15		<i>Název komory</i>
263790 A		<i>Popis komory</i>
152.137		<i>Konstanta komory</i>
0.022		<i>Souřadnice <math>x_0</math> autokolimačního bodu</i>
0		<i>Souřadnice <math>y_0</math> autokolimačního bodu</i>
-2.36142e-005		<i>Koeficient <math>K0</math> distorze objektivu</i>
1.76381e-009		<i>Koeficient <math>K1</math> distorze objektivu</i>
2.72882e-014		<i>Koeficient <math>K2</math> distorze objektivu</i>
0		
16		<i>Na následující řádce začínají souřadnice rámových značek (16 hodnot)</i>
110.027 0.012		<i>X a Y první rámové značky na filmu (mm)</i>
-109.984 0.005		
0.023 110.004		
0.016 -110.008		
110.026 110.002		
-109.984 -110		
-109.974 110.003		
110.015 -109.993		<i>X a Y osmé rámové značky na filmu (mm)</i>
16		<i>Na následující řádce začínají hodnoty radiální distorze objektivu (16 hodnot)</i>
0 0		<i>Vzdálenost od středu objektivu (mm), hodnota radiální distorze (<math>\mu\text{m}</math>)</i>
20 1		
40 1		
60 -1		
80 -3		
100 -2		
120 4		
140 2		<i>Vzdálenost od středu objektivu (mm), hodnota radiální distorze (<math>\mu\text{m}</math>)</i>

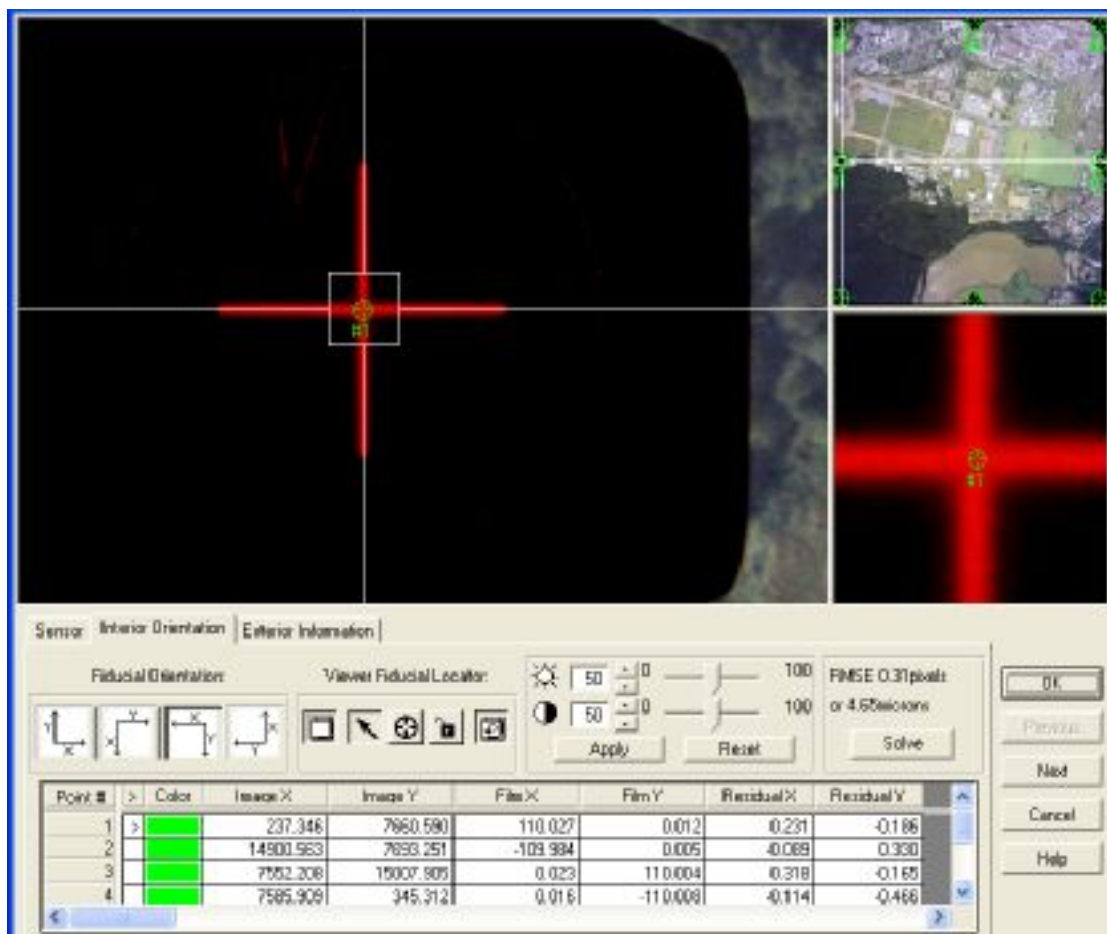
Text 3.1 Struktura souboru LMK15.cam

### Vnitřní orientace snímků

Nyní jsou tedy zadány parametry komory a může se přistoupit k vnitřní orientaci snímků. Ta v tomto případě spočívá v odsunutí souřadnic rámových značek na snímku.

Proces se spustí po kliknutí na ikonu , nebo překlíknutím na druhou záložku dialogového okna zobrazeného na obr.3.9.

Okno vnitřní orientace je po zobrazení snímku rozděleno do dvou částí. Obrazová část je v horní části okna, textová v části dolní. V obrazové části jsou tři různě detailní pohledy na snímek. Souřadnice rámových značek (červené křížky) se odsunují v nejvíce detailním pohledu. V textové části okna jsou zobrazeny souřadnice rámových značek převzaté z parametrů komory a odsunuté ze snímku. Viz obr.3.13.



Obr. 3.13 Okno vnitřní orientace snímku.

Kliknutím na tlačítko „OK“ se ukončí vnitřní orientace snímku. Nyní má program informace o umístění snímku uvnitř komory v okamžiku jeho pořízení.

### **Vnější orientace snímku**

Vnější orientace slouží k určení polohy snímku v okamžiku jeho pořízení. To znamená určení souřadnic  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  středu objektivu komory (v cílové souřadnicové soustavě), úhlů  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  natočení osy záběru vzhledem ke kolmici.

Vnější orientace se provádí pomocí identifikace vřícovacích bodů ve snímcích. Tyto body mají známé souřadnice  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  v cílové souřadnicové soustavě.

Software ERDAS IMAGINE nabízí několik typů těchto bodů:

- *Full* – pro výpočty se berou v potaz všechny souřadnice ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) v cílové souř. soustavě
- *Horizontal* – pro výpočty se berou v potaz pouze souřadnice  $X$ ,  $Y$
- *Vertical* – pro výpočty se berou v potaz pouze souřadnice  $Z$

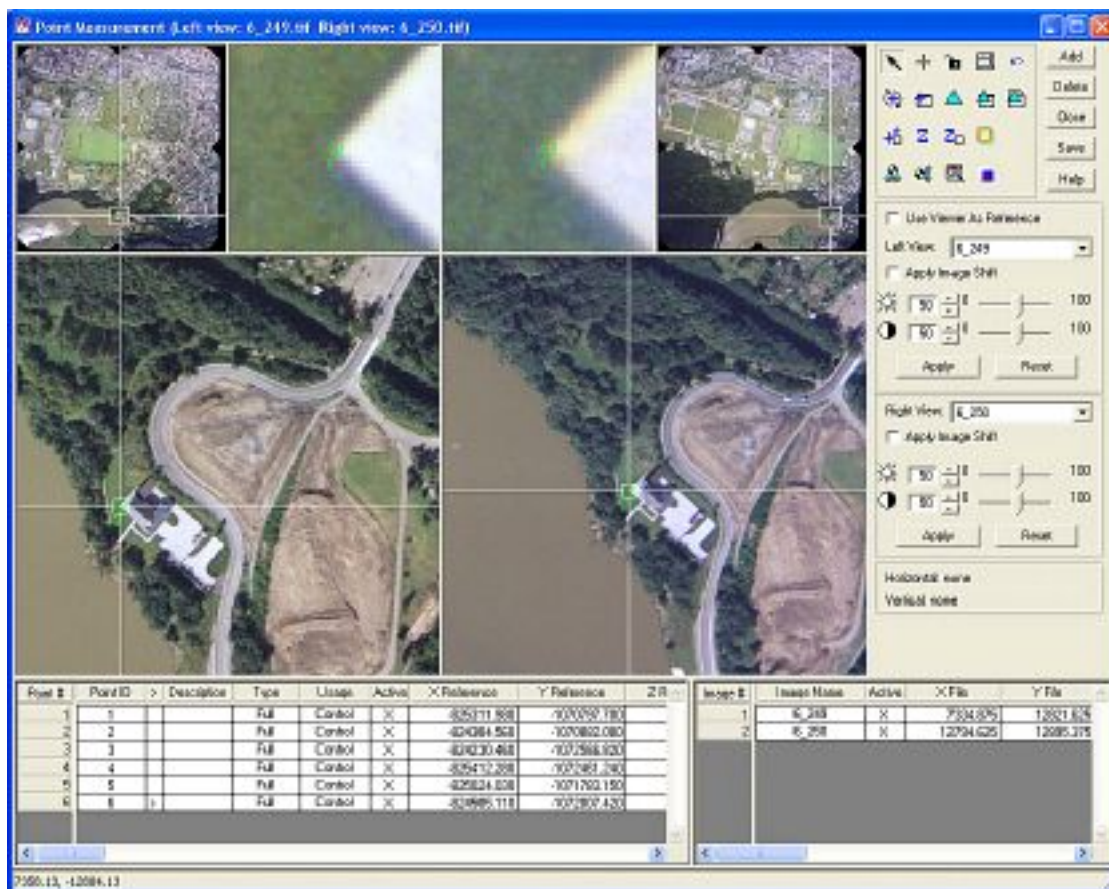
- *None* – pro výpočty se neberou v potaz žádné souřadnice v cílové souř. soustavě
  - *As Is* – pro výpočty se berou v potaz pouze zadané souřadnice
- Také využití těchto bodů může být několikero:
- *Control* – bod „řídící“, vřícovací. V procesu výpočtu má nejvyšší prioritu a váhu.
  - *Check* – „kontrolní“ bod. Při výpočtu nemá takovou váhu jako body řídící, slouží spíše ke kontrole.
  - *Tie* – „spojovací“ bod. Nemá známé souřadnice X, Y, Z. Jediné známé souřadnice jsou u nich souřadnice snímkové. Slouží k lepší vzájemné orientaci snímků načtených v řídicím souboru.
  - *As Is* – bod se využije podle toho, zda má známé souřadnice X, Y, Z a které z nich jsou číselně zadány.

Minimální počet řídicích bodů je pět – tři se souřadnicí Z, dva se souřadnicemi X, Y.


Okno sloužící k identifikaci bodů na snímku je zobrazeno na obr.3.14. Toto okno je rozděleno na tři části. Ve spodní části se zobrazují souřadnice (snímkové i v cílové souř. soustavě). V pravé horní části okna jsou soustředěny potřebné ikony. Zbylou část okna zabírá grafická oblast, kde se zobrazují dva snímky, každý ve třech stupních podrobnosti.


Pokud se uživatel z jakéhokoliv důvodu rozhodne nějaký bod nevyužít, nemusí tento bod mazat, ale stačí mu přiřadit příznak neaktivního bodu.

Po dokončení fáze grafického odsunu souřadnic ze snímků se výsledky uloží (tl. „*Save*“) a okno se uzavře (tl. „*Close*“).



Obr. 3.14 Okno vnější orientace snímků.

Pokud by uživatel chtěl automaticky vygenerovat spojovací body i mimo okno vnější orientace snímků (obr.3.14), může to provést kliknutím na ikonu  nacházející se na hlavním okně řídicího souboru (obr.3.7). Stejná ikona spustí tento proces i v okně vnější orientace snímků.

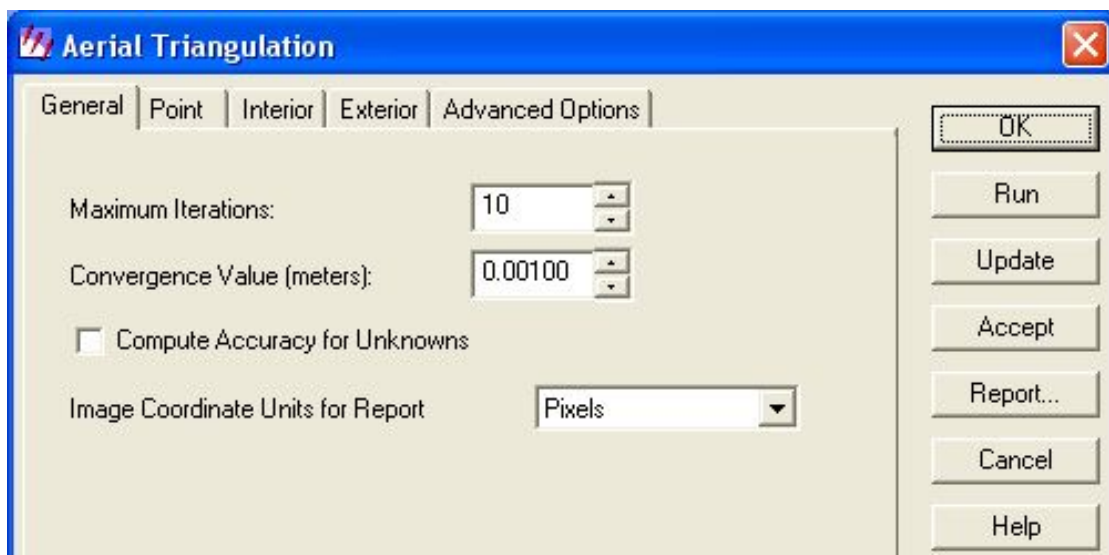
Další ikona, , spouští proces aerotriangulace. Během tohoto procesu se dopočítá vnější orientace snímků. Před vlastním spuštěním procesu se opět zobrazí dialogové okno pro nastavení různých parametrů.

Na záložce „General“ se nastavují parametry iteračního procesu (počet kroků iterace, práh konvergence <sup>3</sup>), jednotky souřadnic na snímku a možnost vypočítání přesnosti pro neznámé veličiny (obr.3.15).

3 Práh konvergence je hodnota, s níž se porovnává rozdíl hodnot vypočtených ve dvou po sobě následujících krocích iteračního procesu. Pokud je tento rozdíl menší než práh konvergence, je iterační proces ukončen a za výsledek se bere hodnota vypočtená v posledním kroku. Počet kroků iterace definuje, po kolika krocích se proces ukončí, ačkoliv se nedosáhlo prahu konvergence.

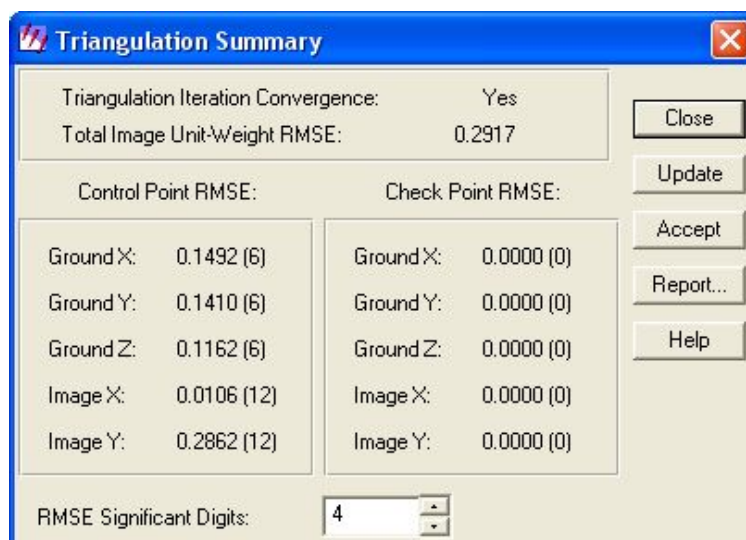


Na dalších záložkách tohoto okna se nastavují standardní odchylky snímkových souřadnic bodů a souřadnic X, Y, Z řídicích bodů, prvků vnitřní orientace (rámových značek) a prvků vnější orientace ( $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$ ). Dále lze nastavit další parametry modelu (záložka „Advanced“).



Obr. 3.15 Okno nastavení parametrů aerotriangulace.

Samotný proces se spustí kliknutím na tlačítko „Run“. Po dokončení výpočtu se ukáže další dialogové okno, v němž jsou shrnuty nejdůležitější informace o aerotriangulaci (obr.3.16). Asi nejdůležitější informace se týká konvergence procesu aerotriangulace, tj. zda konvergoval a s jakou celkovou střední kvadratickou chybou („RMSE“) obrazových bloků.




Obr. 3.16 Okno výsledků aerotriangulace.


Tlačítkem „Accept“ se tyto hodnoty zapíše do řídicího souboru, pod tlačítkem „Report...“ se ukrývá soubor, v němž jsou zapsány podrobné informace o aerotriangulaci. Jsou to například koeficienty afinní transformace, vypočítané prvky vnější orientace a střední chyby jednotlivých bodů. Tento soubor je k nahlédnutí jako Příloha B.

### **Automatické generování DMR a ortorektifikace snímku**

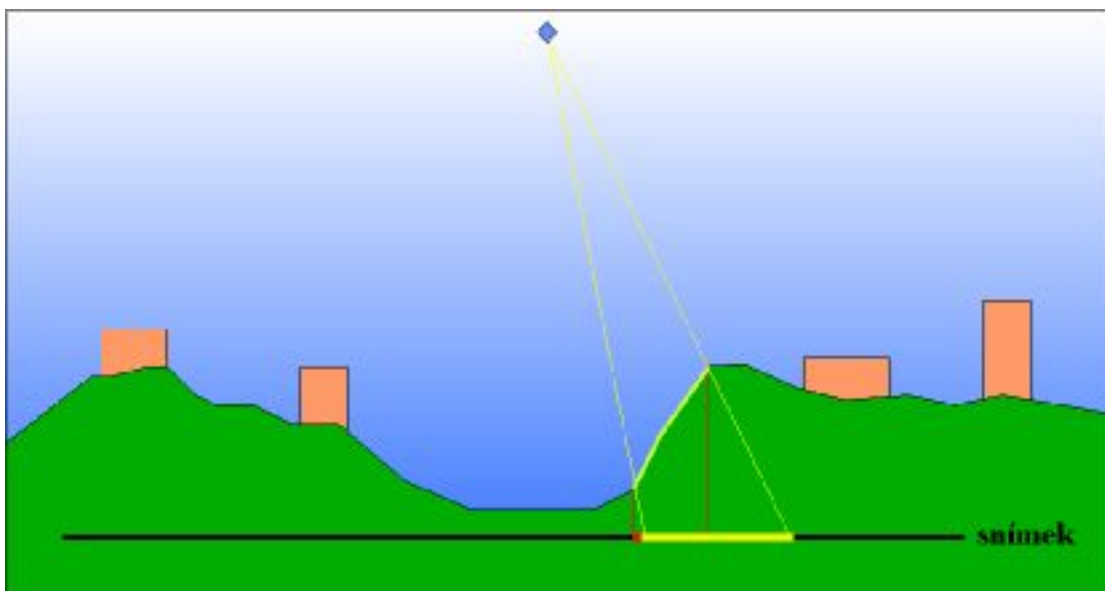
Ze sady ikon umístěných na okně řídicího souboru (obr.3.7) již zbývají pouze dvě.

Předposlední ikona, , slouží ke spuštění automatického generování DMR. Tento proces jsem vyžil pouze pro vytvoření podkladové vrstvy 3D bodů pro stereoskopické vyhodnocení (oddíl 3.4.2). Při automatické tvorbě DMR totiž fotogrammetrické programy umísťují body i na střechy budov a vrcholky stromů, čímž vznikají nereálné tvary DMR. ERDAS IMAGINE v této verzi neumožňuje editovat automaticky vytvořený DMR, a proto jsem se přiklonil k variantě stereoskopického vyhodnocení snímků a následné tvorbě DMR pomocí software ArcGIS.

O tvorbě DMR pojednává širěji oddíl 3.4.3.

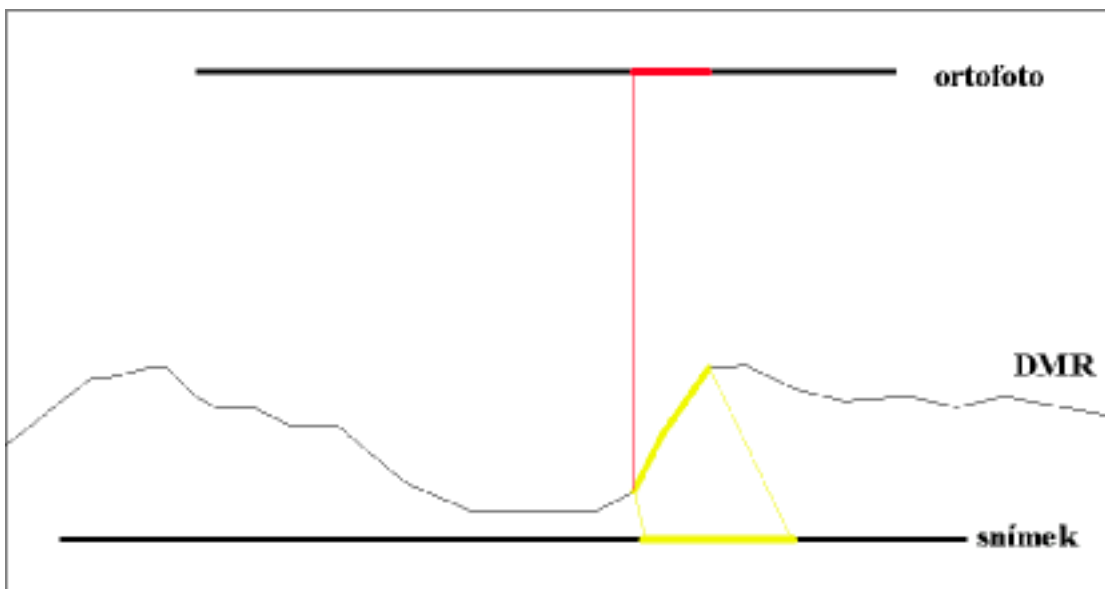
Poslední ikona, , slouží ke spuštění procesu diferenciálního překreslení snímku (ortorektifikace). O implementaci tohoto procesu v modulu OrthoBASE pojednává oddíl 3.4.4, neboť se provádí na základě DMR, který v této fázi tvorby virtuálního modelu ještě není k dispozici. Na tomto místě tedy uvedu princip ortorektifikace.

Na obr.3.17 je zobrazen princip vzniku leteckého fotogrammetrického snímku. Díky středovému promítání vznikají posuny polohy objektů. Velikost těchto posunů závisí na vzdálenosti od středu snímku a také na tvaru terénu. Pro účely kartografie a geodézie je takovýto snímek nepoužitelný, neboť posuny v poloze nabývají značných hodnot. Proto se k těmto účelům využívá ortofoto.



Obr. 3.17 Letecký fotogrammetrický snímek – ukázka deformace obrazu v závislosti na tvaru DMR.

Ortofoto je snímek přepočítaný z původního leteckého měřického snímku na základě tvaru DMR. Princip procesu ortorektifikace je znázorněn na obr.3.18. Jedná se o dvojí promítnutí objektu z původního snímku. První je středový průmět proti směru původních paprsků a obraz se utvoří na svrchní ploše DMR. Druhý v pořadí je kolmý průmět z povrchu DMR do roviny ortorektifikovaného snímku. Na obou obrázcích je středový průmět znázorněn žlutě, kolmý průmět pak červeně.



Obr. 3.18 Princip ortorektifikace snímku.

K ortorektifikaci je to na tomto místě vše. Podrobnější informace o způsobu tvorby ortofota v modulu OrthoBASE začínají na str.34.

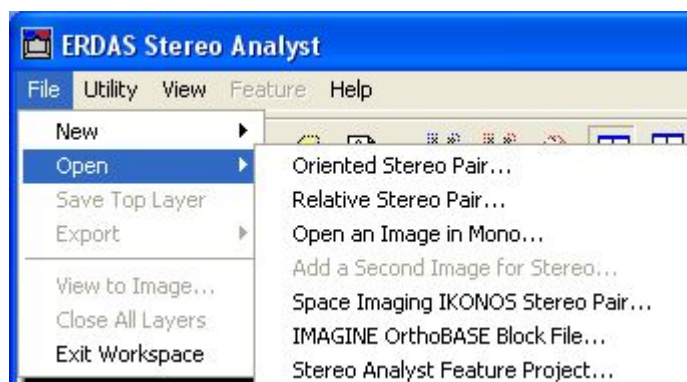
### 3.4.2 Stereoskopické vyhodnocení

Pro stereoskopické vyhodnocení snímků je v software ERDAS IMAGINE k dispozici modul StereoAnalyst.



Při zakládání nového řídicího souboru v modulu StereoAnalyst (.fpj) se pro definování stereoskopické dvojice vybírá řídicí soubor modulu OrthoBASE. Výhodou tohoto postupu je fakt, že v souboru s příponou .blk jsou již uloženy všechny potřebné informace.

Pokud není k dispozici výše zmíněný soubor, lze v modulu StereoAnalyst otevřít jiné soubory definující stereodvojici (orientovaný stereopár, relativní stereopár, stereopár ze snímků družice Ikonos). Kromě toho lze otevřít i jeden snímek a k němu posléze definovat druhý snímek do stereodvojice (viz obr.3.19).



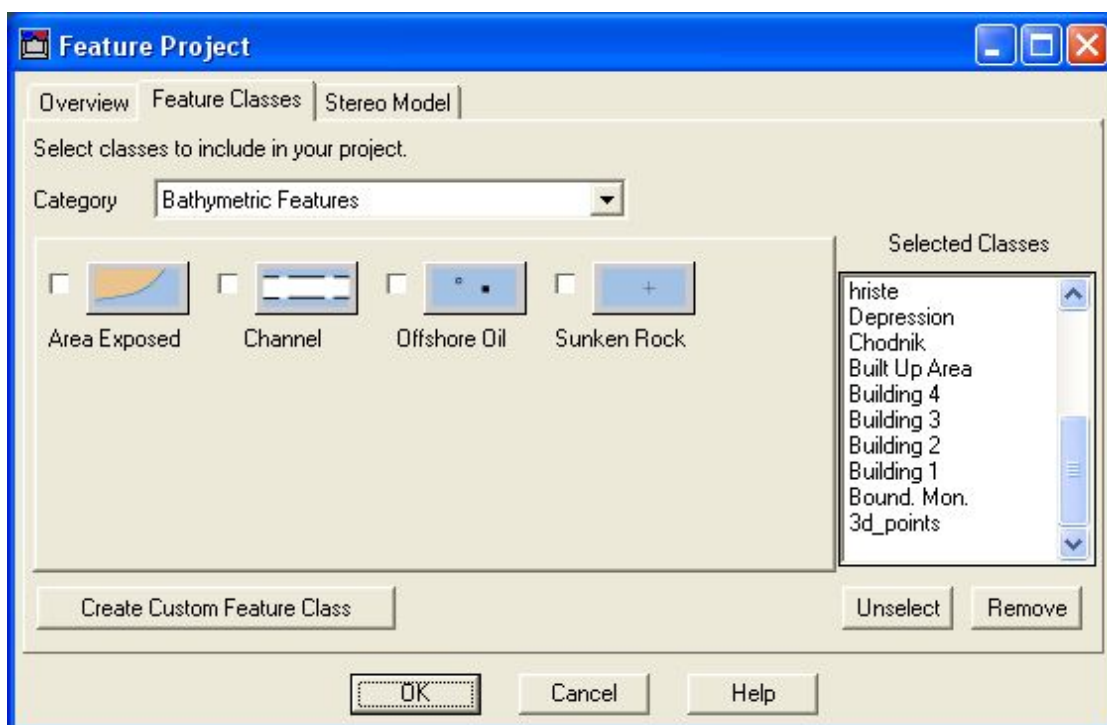
Obr. 3.19 Výběr stereodvojic v modulu StereoAnalyst.

Tyto možnosti jsem nezkoumal, neboť jsem měl k dispozici soubor OrthoBASE. Předpokládám však, že i v ostatních případech se po otevření stereodvojice a následném založení nového projektu modulu StereoAnalyst sama definuje stereodvojice, již má tento projekt využívat. Poté již stačí jen přiřadit novému projektu jméno a vybrat třídy objektů, které se budou vyhodnocovat.

Modul sám nabízí uživateli předdefinované třídy objektů rozdělené tématicky do několika kategorií (např. silnice a s nimi spojené objekty). Tyto třídy slouží k logickému roztřídění a vizualizaci různých druhů objektů. Pokud požadovaná třída objektů v nabídce chybí, nebo nabízené třídy objektů nevyhovují (především z důvodů vizualizace –

polygon vs. lomená čára) <sup>4</sup>, je možno si vytvořit vlastní třídu objektů. Tyto třídy jsou ukládány do vektorového formátu „*shapefile*“ (.shp), který je nativním formátem software ArcGIS.

Vytvoření nové třídy objektů je umožněno ve stejném okně, kde se třídy vybírají. Nová třída se začne vytvářet po kliknutí na tlačítko „*Create Custom Feature Class*“ (obr.3.20)



Obr. 3.20 Okno výběru tříd vyhodnocovaných objektů.

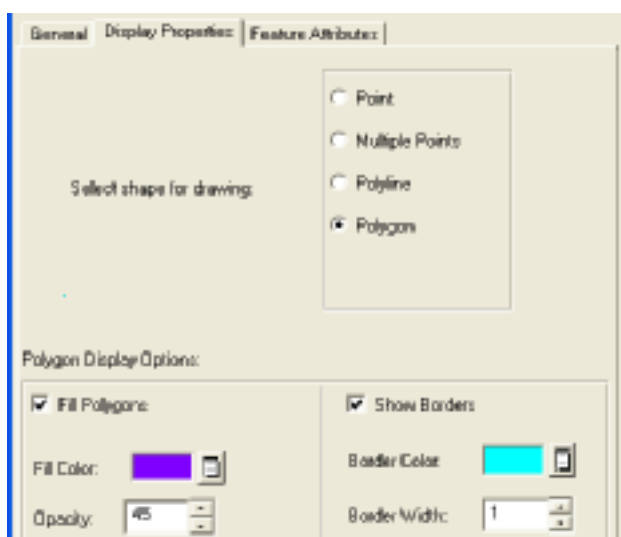
Na první záložce dialogového okna se zadává název třídy, název souboru, kategorie třídy a případně se přiřadí ikona (obr.3.21).

4 Původní nabídka tříd objektů vychází ze symbolologie topografické mapy USGS 1:24000.



Obr. 3.21 Dialogové okno vytváření nové třídy objektů.

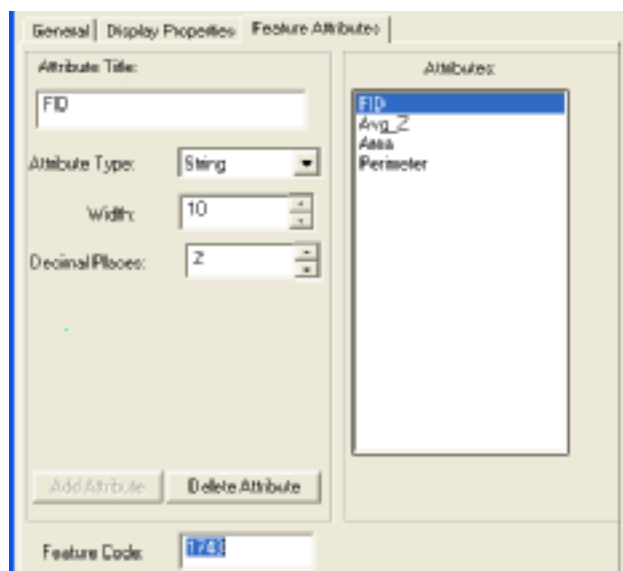
Na druhé záložce se určí typ vektoru, který bude danou třídu reprezentovat. Nabízeny jsou: Bod, Skupina bodů, Lomená čára a Polygon. Dále se zde určí barva a tloušťka obrysu a pro polygony i barva a průhlednost výplně – tedy způsob vizualizace objektu (obr.3.22).



Obr. 3.22 Dialogové okno vytváření nové třídy objektů.

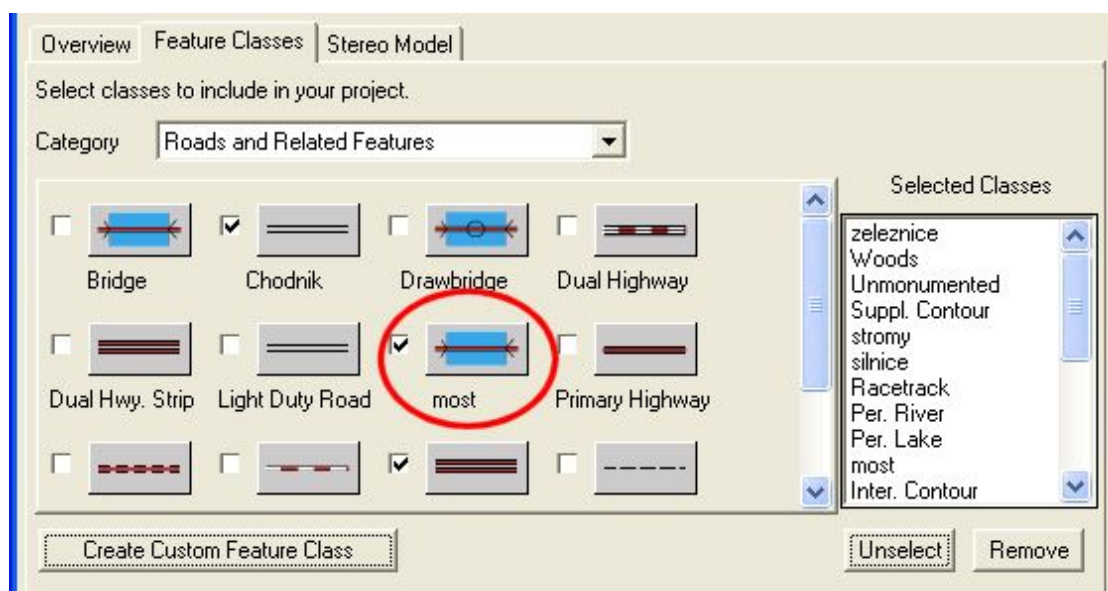
Na poslední záložce tohoto okna se určují vlastnosti atributů vektorů (obr.3.23). Nej důležitější je „Feature Code“. Pokud se toto pole nechá prázdné, program novou třídu

nevytvoří. Také nesmí být stejné s hodnotou v jiné třídě objektů, neboť slouží k identifikaci třídy objektů.



Obr. 3.23 Dialogové okno vytváření nové třídy objektů.

Po potvrzení tlačítkem „OK“ je nová třída objektů vytvořena a ihned dostupná v nabídce tříd (obr.3.24).



Obr. 3.24 Okno výběru tříd vyhodnocovaných objektů.

Tímto způsobem se vytvoří vektorové téma s definovanými atributy i způsobem vizualizace.

Z původní nabídky tříd objektů jsem si vybral následující:

- *Building1* (polygon) pro budovy univerzity
- *Building2* (polygon) pro budovy související s univerzitou
- *Building4* (polygon) pro budovy s univerzitou nesouvisející
- *Built Up Area* (polygon) pro ploché zastavěné plochy menší i větší rozlohy
- *Depression* (polygon) pro sníženiny a prohlubně
- *Index Contour, Inter. Contour* (lomená čára) pro ostré hrany
- *Permanent Lake* (polygon) pro vodní nádrž České údolí
- *Race* (polygon) pro plochodrážní stadion
- *Suppl. Contour* (lomená čára) pro neostré hrany
- *Woods* (polygon) pro lesní porost

Některé nové třídy objektů jsem vytvořil z důvodu jejich absence v původní nabídce:

- *3D Points* (bod) pro body vygenerované při automatické tvorbě DMR v modulu OrthoBASE (viz str.24). Tyto body jsem následně mazal, pokud byly špatně výškově umístěné (na střechách budov, na vrcholcích stromů apod.), nebo pokud jsem v dané lokalitě vyhodnotil jiné objekty, takže tyto body byly zbytečné.
- *chodnik* (polygon) pro chodníky
- *hriste* (polygon) pro fotbalová, tenisová a jiná hřiště a pro koňské výběhy a závodiště
- *stromy* (bod) pro dobře rozpoznatelné stromy v areálu ZČU

Další nové třídy objektů jsem vytvořil z důvodu, že v původní nabídce byly obdobné třídy nabízeny jako lomené čáry, nikoliv jako polygony, což jsem potřeboval pro lepší vizualizaci a tvorbu DMR.

- *most* (polygon) pro mosty
- *reka* (polygon) pro řeku Radbuzu
- *silnice* (polygon) pro silnice
- *zeleznice* (polygon) pro železniční trať

Nejdůležitějším úkonem, který jsem musel udělat, abych mohl vyhodnocovat pomocí aktivních stereoskopických brýlí CrystalEyes, bylo přepnutí stereo módu v modulu StereoAnalyst do polohy „*Quad Buffered Stereo*“<sup>5</sup>. Předtím jsem ovšem musel aktivovat podporu tohoto módu i na grafické kartě. Další dostupné stereo módy jsou „*Color Anaglyph Stereo*“<sup>6</sup> a „*Line Interleaved Stereo*“<sup>7</sup>.

---

5 Popis tohoto stereo módu viz. kapitola 2, oddíl 2.4.

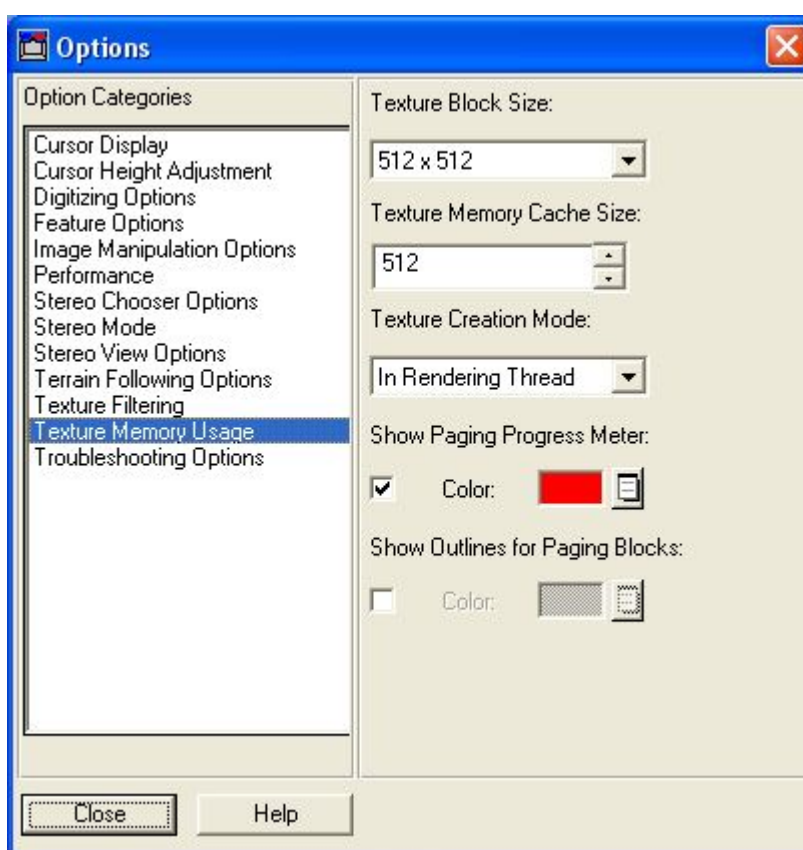
6 Tento stereo mód přiřadí levému snímku odstíny červené, pravému snímku odstíny cyan. Tyto barvy lze měnit v závislosti na barvě fólií ve speciálních brýlích. Výsledný 3D obraz je vnímán v odstínech šedi.

7 Pro použití tohoto módu je zapotřebí mít k dispozici před monitorem speciální filtr, o němž jsem psal



Dalším důležitým úkonem bylo nastavení velikosti bloku textur a velikosti paměti vyhrazené programem pro textury. Oba snímky totiž program automaticky rozdělí na bloky o nastavené velikosti a tyto bloky načte do paměti. Při vyhodnocování pak na obrazovce zobrazuje pouze aktivní bloky, což urychluje překreslování obrazu při posunu do jiné části zájmové oblasti.

Po vyzkoušení několika kombinací jsem jako nejlepší vyhodnotil velikost bloku 512x512 pixelů a velikost paměti používané pro tyto bloky 512 MB (obr.3.25). Načítání dalších bloků do paměti bylo vzhledem k parametrům počítače vcelku rychlé, takže prodleva byla povětšinou jen několikavteřinová.



Obr. 3.25 Okno nastavení modulu StereoAnalyst

Z obr.3.25 je patrné, že lze nastavovat i další parametry modulu StereoAnalyst. Lze například nastavit tvar a barvu kurzoru, parametry vykreslování vektorových prvků.

Při samotném vyhodnocování jsem se musel spolehnout na standardní optickou myš. Posun v souřadnicích X, Y je zajištěn pohybem myši, výška (souřadnice Z) se nastavuje otáčením prostředního kolečka myši (při nastavení úrovně detailu 1:1 byla změna souřadnice Z po nejmenším možném pootočení kolečka myši 0,32 m).

---

v kapitole 2, oddílu 2.4. Při vyhodnocování je nutno používat polarizační brýle.

Ze všech použitých tříd objektů stojí za zmínku způsob vektorizace budov. V prvním kroku jsem vyhodnotil střechy budov, stěny se vytvořily poloautomaticky. Postup jejich vytvoření je takový, že nejprve jsem musel provést výběr na požadovanou střechu budovy, poté zaktivovat službu „protážení“ a nastavit nadmořskou výšku, kam až se má plocha protáhnout. Tímto způsobem vznikla budova sestávající ze střechy a vnějších stěn, ale chyběla podlaha. To ovšem nevadí, neboť spodní část budovy je protažena pod úroveň DMR.

Po vyhodnocení všech budov v areálu jsem tyto budovy exportoval do VRML souborů, včetně automaticky přiřazené textury. Dalším osud těchto souborů je popsán v kapitole 4, oddílu 4.4 a v této kapitole, oddílu 3.4.6.

Ostatní vyhodnocené objekty jsem využil pro tvorbu DMR v software ArcGIS. Postup tvorby je popsán v následujícím oddílu.

### 3.4.3 Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu jsem vytvořil v software ArcGIS za pomoci rozšíření 3D Analyst. Důvodem pro tento krok byl fakt, že ERDAS při automatické tvorbě DMR bere v potaz body, které jsou na budovách a vrcholcích stromů, což dává neuspokojivé výsledky. Navíc takto vytvořený DMR, uložený ve formátu DEM, nelze editovat. V modulu Data Preparation lze sice též vytvořit DMR podobně jako v ArcGIS, tento modul však neumí v současné verzi pracovat s plošnými elementy (polygony). Ve výběru typu vektorových dat je nabízen pouze typ bod („*Point Data*“) a lomová čára („*Breakline Data*“). Výstupním souborem je zde DMR ve formátu DEM (*Digital Elevation Model*).

Tvorba DMR v ArcGIS byla usnadněna tím, že vyhodnocené třídy objektů se ukládají do formátu 3D shapefile. Pro tvorbu TIN a následně GRID souborů je zapotřebí rozšíření 3D Analyst, které je nutno předem aktivovat.

Nepravidelnou trojúhelníkovou síť TIN lze vytvořit ze všech typů vektorů (bod, lomená čára, polygon). Pro větší možnost ovlivnění výsledku je umožněno volit způsob využití vektorů při tvorbě DMR. Uživatel má na výběr následující možnosti:

- *Mass Points* – „běžné“ body. Tyto body jsou zahrnuty do vrcholů trojúhelníkové sítě.
- *Soft Breakline* – lomová čára, dochází na ní k neostrému lomu. Spojnice jednotlivých bodů lomené čáry jsou zahrnuty do hran trojúhelníkové sítě.
- *Hard Breakline* – lomová čára, dochází na ní k ostrému lomu. Spojnice jednotlivých bodů lomené čáry jsou zahrnuty do hran trojúhelníkové sítě.
- *Soft Value Fill* – plocha vyplněná hodnotami danými polygonem. Hranice této plochy tvoří neostrý lom.
- *Hard Value Fill* – plocha vyplněná hodnotami danými polygonem. Hranice této plo-

chy tvoří ostrý lom.

Další volby dostupné pro polygony jsou tyto:

- *Soft, Hard Clip* – polygony vyříznou z celé oblasti pouze podoblasti definované hranicí těchto polygonů. Hranice těchto podoblastí tvoří neostrý lom.
- *Soft, Hard Erase* – polygony vyříznou z celé oblasti podoblasti definované hranicí těchto polygonů. V místech těchto podoblastí vznikne prázdný prostor.
- *Soft, Hard Replace* – v oblasti definované polygonem jsou všechny hodnoty nahrazeny jednou hodnotou.

Volba *Mass Points* pro tvorbu TIN je nabízena pro všechny typy vektorových dat (bod, lomená čára, polygon). *Soft* a *Hard Breaklines* jsou nabízeny pro polygon a lomenou čáru. Další volby jsou dostupné pouze pro polygony.

V prvním kroku jsem vytvořil nepravidelnou trojúhelníkovou síť (TIN). Jednotlivé třídy objektů jsem při tvorbě TIN využil takto:

- *Mass Points* – 3D Points, stromy
- *Soft Breaklines* – Suppl. Contour
- *Hard Breaklines* – Index Contour, Inter. Contour
- *Soft Value Fill* – Race, Woods, hrste, stromy
- *Hard Value Fill* – Built Up Area, Depression, Permanent Lake, chodník, reka, silnice, železnice

Jelikož TIN vytvořený tímto způsobem měl nepravidelné okraje (z důvodu nepravidelného rozmístění bodů na okraji vyhodnoceného území), vytvořil jsem ořezový obdélník (polygonové téma). Na základě vygenerovaného DMR jsem z tohoto nového tématu vytvořil 3D shapefile, jenž jsem posléze využil k nové tvorbě TIN, a to ve funkci „Hard Clip“.

Dále jsem TIN převedl do formátu GRID. Teprve při interpolaci z trojúhelníkové sítě se uplatní informace o ostrosti lomových hran, takže se některé hrany zaoblí, jiné zůstanou ostré.

Do formátu přijatelného pro software ERDAS IMAGINE jsem DMR převedl v jeho modulu Viewer. Přijatelný formát je v tomto případě DEM, tedy soubor s příponou IMG. Tento DMR (DEM) jsem použil pro ortorektifikaci, tak na tvorbu virtuálního modelu v modulu VirtualGIS (viz oddíl 3.4.6.).

Ukázky DMR jsou k dispozici jako Příloha C (TIN), resp. Příloha D (GRID).

### 3.4.4 Ortorektifikace snímku

Digitální model reliéfu vytvořený v předchozím kroku jsem použil pro ortorektifikaci snímku. To znamenalo návrat do modulu OrthoBASE, kde se proces ortorektifikace

spouští kliknutím na ikonu . Před začátkem přepočítávání je ovšem zapotřebí nastavit několik parametrů procesu.

Nejdůležitější informace pro proces ortorektifikace jsou tyto: jaký snímek se má přepočítat a na základě jakého DMR. Dále se nastavuje název výstupního souboru, velikost pixelu (v jednotkách cílové souřadnicové soustavy), výškové jednotky a aktivní plocha snímku (resp. DMR). Viz obr.3.26.

Velikost pixelu jsem nechal stejnou, jaká byla nabídnuta, tedy 0,23666727 metru, což pro účely jejího vyhotovení plně dostačuje.

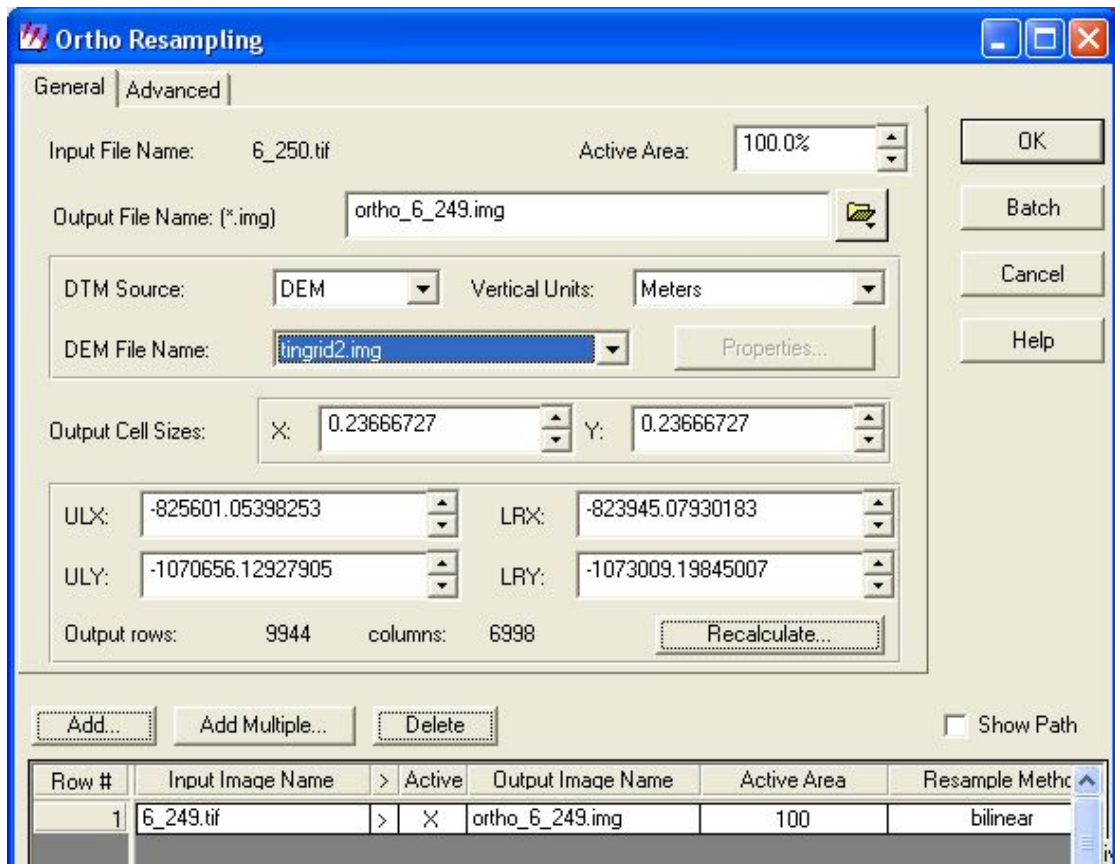
Při výběru DMR má uživatel na výběr DEM (digitální mapa výšek), TIN (ve formátu ERDAS), 3D shapefile, ASCII soubor (se souřadnicemi X, Y, Z) a Konstanta.

Pokud se aktivní plocha nastaví menší než 100 %, je výsledný snímek oříznut na všech okrajích o polovinu rozdílu nastavené aktivní plochy od 100 %.

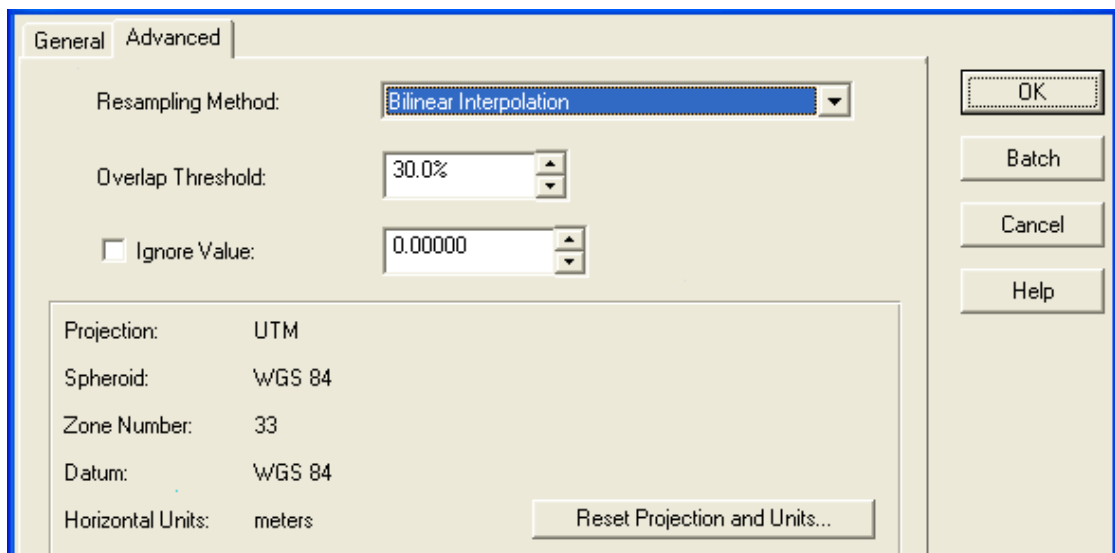
Další nastavení, které se může před spuštěním procesu změnit, je metoda převzorkování, procento překročení prahové hodnoty a případně se ještě na poslední chvíli může změnit projekce (obr.3.27).

Metody převzorkování jsou nabízeny tři. Přednastavena je metoda bilineární interpolace. Další dvě v nabídce jsou kubická konvoluce a nejbližší soused

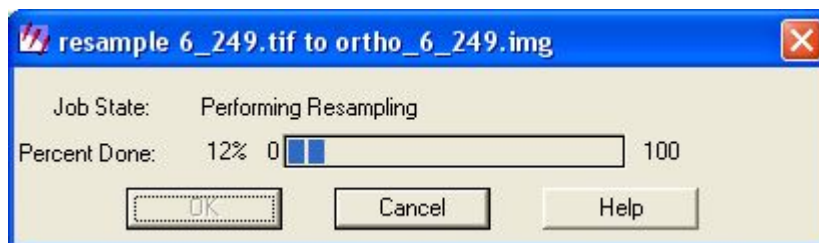
Vlastní proces ortorektifikace se spustí tlačítkem „OK“. Jelikož je to proces časově a výpočetně náročný, zobrazí se okno průběhu procesu (obr.3.28). Právě z důvodu časové náročnosti lze tento proces spouštět dávkově.



Obr. 3.26 Okno ortorektifikace



Obr. 3.27 Okno ortorektifikace



Obr. 3.28 Okno průběhu ortorektifikace.

Po potvrzení tlačítka „OK“ je proces ortorektifikace ukončen.

### 3.4.5 Textury

Dalším krokem v tvorbě virtuálního modelu je vytvoření textur. Tento krok je v podstatě nezávislý na ostatních krocích popsanych v této kapitola před tímto oddílem, kromě kroku stereoskopického vyhodnocení. Celkový počet textur a jejich tvar je dán především tvarem budov, resp. aproximací tvaru budov právě při stereoskopickém vyhodnocení. Na úspěšném dokončení tohoto kroku naopak závisí tvorba výsledného virtuálního modelu v modulu VirtualGIS (oddíl 3.4.6), jakož i jeho převedení do formátu VRML a jeho následná optimalizace (kapitola 4, oddíl 4.4).

Ideální pozice pro pořízení textury stěny budovy je bezesporu v nekonečnu, kolmo na stěnu. V reálné situaci jsem však byl limitován mojí výškou, největší možnou vzdáleností od budovy, tvarem komplexu budov a ohniskovou vzdáleností fotoaparátu. Většinu stěn jsem byl nucen fotit šikmo a za použití krátké ohniskové vzdálenosti. To způsobilo znatelné radiální a perspektivní zkreslení. Některé stěny jsem navíc musel rozdělit na několik snímků.

Na následujících obrázcích (obr.3.29-3.33) je na jedné fotografii ukázán postup tvorby ortogonálních textur v programu Jasc Paint Shop Pro 8.0 Try&Buy.

Nejprve je nutno ze snímku odstranit radiální zkreslení. Pro tento úkon je vhodný nástroj „Barrel Distortion Correction“ (obr.3.30). Zadávané hodnoty určují sílu efektu. Tyto hodnoty se lišily podle toho, z jaké vzdálenosti jsem snímek fotil a jakou ohniskovou vzdálenost jsem použil. Obecně platí, že pro fotku zblízka za použití krátké ohniskové vzdálenosti je potřeba použít větší sílu nástroje než pro snímek z dálky za použití dlouhé ohniskové vzdálenosti. Konkrétní hodnoty korekcí jsem určil empiricky.



Obr. 3.29 Původní fotografie textury.



Obr. 3.30 Fotografie s odstraněným radiálním zkreslením.

Nyní přichází na řadu odstranění perspektivního zkreslení. K tomu jsem použil nástroj „*Perspective Correction Tool*“. Po jeho aktivaci se na pracovní ploše zobrazí obdélník. Rohy tohoto obdélníku se přesunou do takové polohy, aby výsledný lichoběžník odpovídal tvaru perspektivního zkreslení. Na obrázku 3.31 je tento lichoběžník zvýrazněn červenou barvou. Po dvojkliku v oblasti lichoběžníku se tento lichoběžník přepočítá na obdélník a s ním i fotografie. Výsledek korekce perspektivního zkreslení je na obr.3.32.



Obr. 3.31 „*Perspective Correction Tool*“.



Obr. 3.32 Textura bez perspektivního zkreslení.

V tomto konkrétním případě už stačí jen vyříznout z fotografie vlastní texturu (obr.3.33). Toto vyříznutí se provádí nástrojem „*Crop*“.



*Obr. 3.33 Oříznutá textura.*

Takovýchto textur však byla menšina. Ostatní textury byly „znečistěny“ promítnutím různých objektů na fotografii. Těmito objekty jsou např. automobily, stromy, popelnice atp. Za nejlepší řešení jsem považoval odstranit tyto rušivé elementy retuší.

Retuš probíhala tak, že jsem znečistěnou plochu nahrazoval kopií podobné plochy toho samého snímku. Jelikož však stěny nemají všude stejnou barvu, je v některých místech tato retuš dobře patrná. Ačkoliv tento drobný problém neřešilo ani rozmazání ostrého přechodu, je výsledek mnohem lepší, než aby např. na textuře rektorátu byly zobrazeny auta a dopravní značky. Obr.3.34 ukazuje vzhled textury před retuší a po ní.



*Obr. 3.34 Retuš textury*

Jak jsem zmínil v oddílu 3.3.1, na dvě textury budovy rektorátu jsem použil software KOKEŠ. Jedná se o textury ke dvěma válcovým výstupkům, na východní a západní straně.



Na začátku transformace je vhodné si připravit výsledný obdélník, na který se rastr bude transformovat. V první fázi (obr.3.35) se graficky odsunou body na okraji zájmového území. Pořadí zadávání bodů je takovéto:

- rohy oblasti (levý horní, pravý horní, pravý dolní, levý dolní)
- body na horním okraji oblasti zleva
- body na dolním okraji oblasti zleva
- body na levém okraji shora
- body na pravém okraji shora

V dalším kroku se identifikují ty z graficky odsunutých bodů, které se skutečně využijí pro transformaci (obr.3.36).

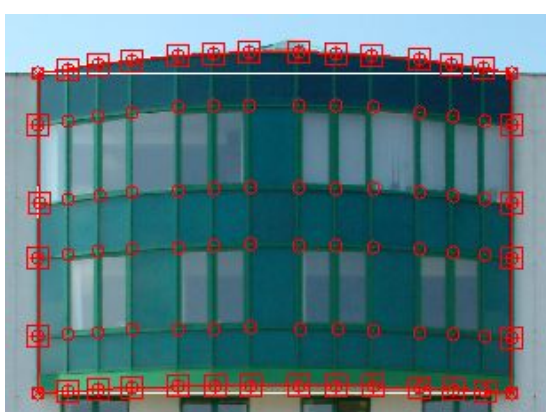
Po tomto kroku následuje automatické dopočtení mezilehlých uzlových bodů Coonsova plátu (obr.3.37). Posledním krokem je vlastní transformace rastru. Výsledek je ukázán na obrázku 3.38.



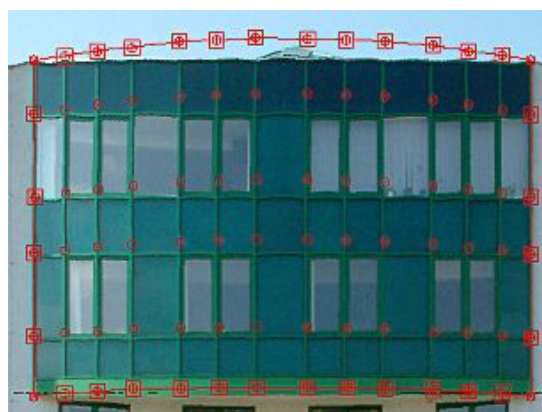
Obr. 3.35 Grafické odsunutí bodů okraje zájmové oblasti.



Obr. 3.36 Identifikace bodů okraje zájmové oblasti.



Obr. 3.37 Dopčtené body Coonsova plátu.



Obr. 3.38 Výsledek transformace.



Obr. 3.39 Detail natransformované textury.

Na obr.3.38 je vidět, že tato transformace je účinná uvnitř zájmové oblasti, vně této oblasti je rastr deformován jiným než požadovaným způsobem.

Obr.3.39 ukazuje detail takto transformované textury. Detail pochází od horního okraje textury a ukazuje, že v oblastech, kde se okraj původní textury příliš vzdaluje ideálnímu stavu, dochází v místech mezi uzlovými body Coonsova plátu k nežádoucí deformaci rastru.

Po transformaci a retuších přišlo na řadu další vylepšení: vylepšení barev. Pro tento proces jsem vybral software Adobe Photoshop 7.0 CE, neboť práce s barvami, jejich intenzitou a dalšími vlastnostmi je uživatelsky velmi přívětivé. Velmi dobré výsledky jsem dostal při aplikaci funkce „Auto Contrast“ (Ctrl+Shift+Alt+L) a následně funkce „Auto Levels“ (Ctrl+Shift+L). Pokud tento postup selhal (stávalo se to, pokud byl objekt ve stínu a svítilo protisvětlo), použil jsem ruční korekci kontrastu a jasu.

I zde nebylo vše ideální. Hlavní problém je při porovnání dvou textur nacházející se vedle sebe a při spojování více částí textury do jedné. Všechny textury byly totiž barevně korigovány jednotlivě (každá zvlášť). A jelikož nebyly všechny textury pořízeny za stejných podmínek, lišily se i výsledky automatických i ručních korekcí. Některé snímky byly pořízeny ve stínu, některé navíc částečně proti světlu. To vše zanáší do výsledných fotografií odlišné barevné informace. Také záleží na převažující barvě na fotografii. Při automatických korekcích totiž pracují grafické programy s úpravou histogramu. Žel, ani ručním nastavováním korekcí jsem nedošel ke stejným výsledkům u všech sousedních textur.

Na obrázku 3.40 je ukázán rozdíl barev textury před a po automatických úpravách.



*Obr. 3.40 Automatické úpravy barev textur*

Takto vyčištěné a barevně upravené textury již byly připraveny k použití. Tedy většina. Některé totiž ještě čekaly na spojení do většího celku. Toto spojování jsem provedl též v programu KOKEŠ, kde jsem použil afinní transformaci.

Nevýhodou tohoto postupu získání textur je jejich nehomogenita, která je dána omezenými možnostmi získání snímků stěn budov. V mnohých případech jsem relativně malou stěnu vyfotil na stejnou plochu fotografie jako stěnu velkou. Menší plocha je tím pádem kvalitnější než větší.

Po dokončení tvorby textur jsem mohl začít sestavovat výsledný virtuální model.

### **3.4.6 Virtuální model**

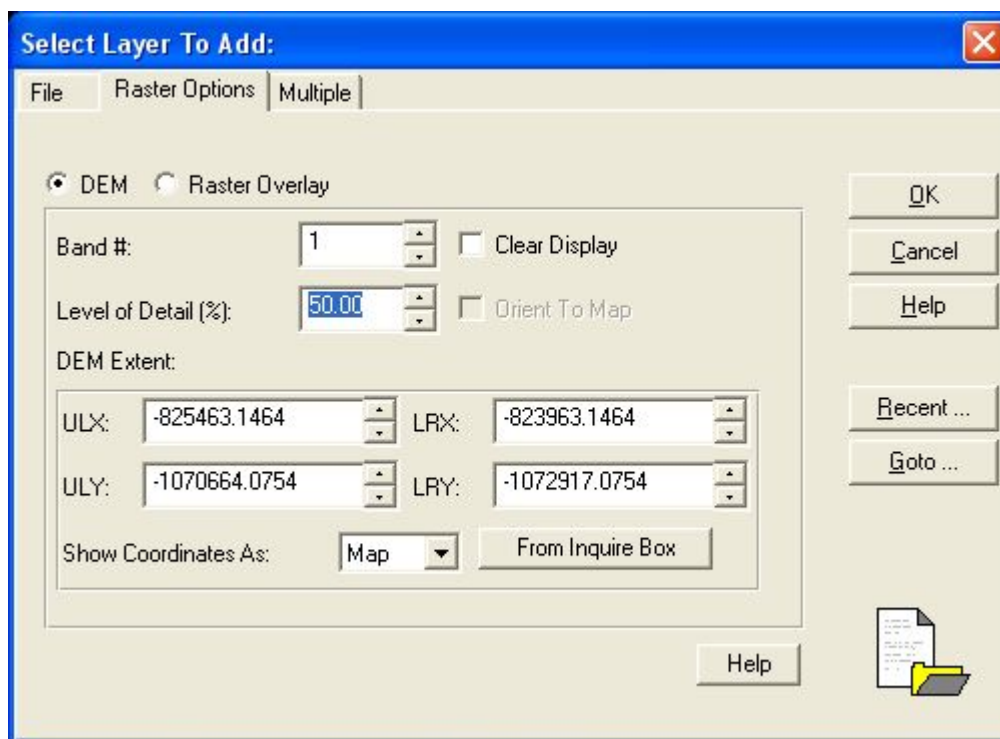
Výsledný virtuální model jsem sestavil v modulu VirtualGIS.



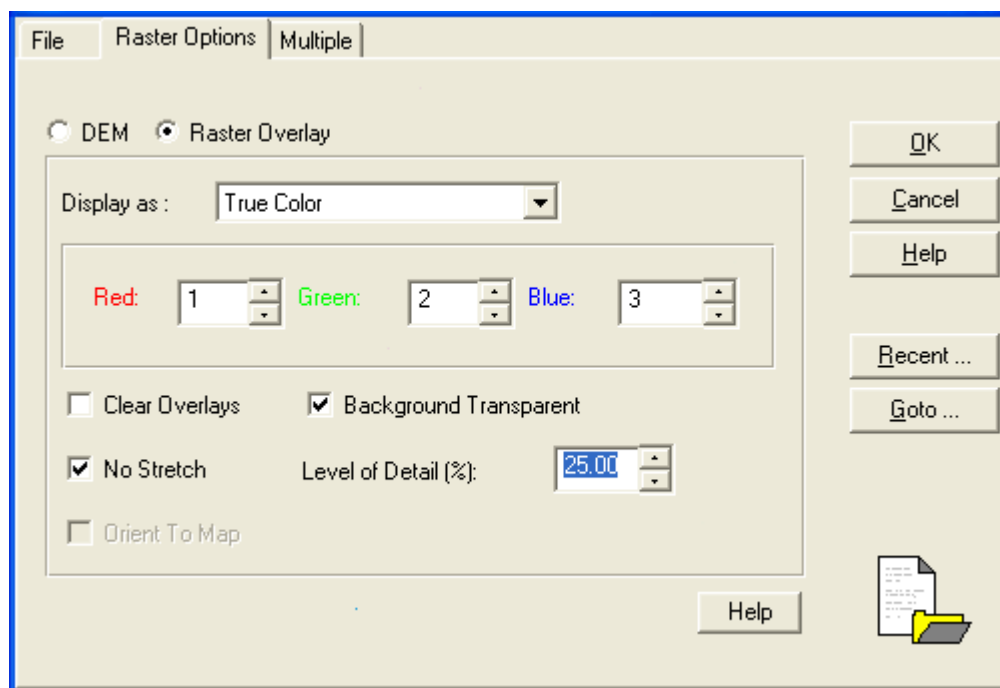
Základem pro vytvoření virtuálního modelu v tomto modulu je DMR. Při jeho otevírání v tomto modulu lze nastavit barvu DMR a kvalitu jeho vykreslení (obr.3.41). Preferovaný formát je DEM (soubor s příponou IMG).

Po zobrazení DMR lze nyní přidávat další vrstvy. Nejprve jsem přidal ortofoto. I zde je možné nastavit několik parametrů jeho vykreslování. Nejdůležitější je kvalita vykreslení, neboť určuje velikost potřebného paměťového místa. Dále lze nastavit kombinaci

barevných pásem, zda se mají smazat ostatní vrstvy (vektorové, vrstvy modelů, ...) či zda má být pozadí vykresleno jako průhledné.



Obr. 3.41 Dialogové okno přidání DMR.



Obr. 3.42 Dialogové okno přidání ortofota.

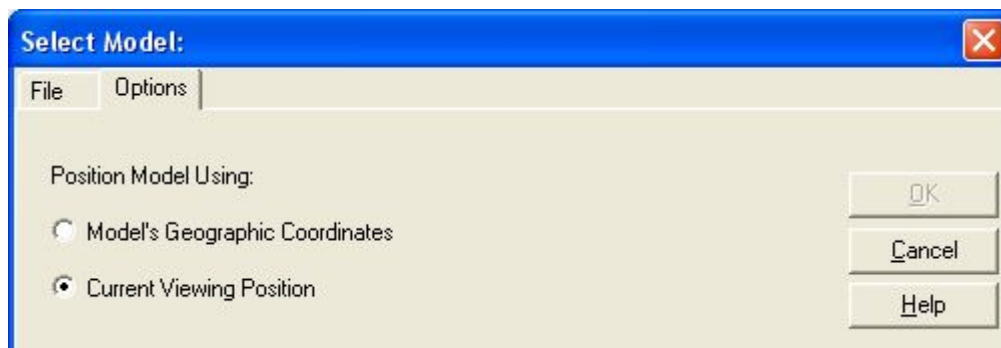
Zatím jsem přidával pouze rastrové vrstvy. Další možné vrstvy využitelné v modulu VirtualGIS jsou:

- vrstva vektorů – jsou podporovány standardní technické vektorové formáty a formáty používané v různých GIS software.
- vrstva popisů – popisy nelze v modulu vytvořit, lze je pouze importovat z vektorových souborů.
- vrstva oblačnosti – umožňuje nadefinovat velikost, hustotu, typ a barvu oblačnosti
- vrstva vodních ploch – vyplní danou plochu barvou. Plocha se vypočte automaticky na základě zadaného bodu, zadané nadmořské výšky a zobrazeného DMR. Tato vrstva je vhodná pro lepší vizualizaci vodních ploch. Lze tím namodelovat např. budoucí vzhled zatopeného lomu.
- vrstva viditelnosti – umožňuje nadefinovat polohu pozorovatele a vizualizovat viditelnost z jeho místa.
- vrstva odlesků světla – definuje směr, typ a další vlastnosti paprsků světla.
- vrstva log – umožňuje do virtuálního modelu vložit grafická loga (např. logo firmy).
- vrstva mlh – na základě DMR vypočítá a vizualizuje polohu mlhy. Lze nastavit barvu, mohutnost a intenzitu mlhy.
- vrstva modelů – lze přidávat modely stromů, domů, letadel a jiných součástí světa, mimo jiné i ve formátu VRML.
- vrstva 2D přehledky – zobrazí v levém dolním rohu malou přehledku virtuálního modelu.

Kromě těchto vrstev lze otevřít povrch ve formě TIN (formát ERDAS), virtuální svět a projekt modulu VirtualGIS.

Pro mě nejdůležitější vrstvou je vrstva modelů, neboť pouze do ní lze přidávat soubory VRML a také modely stromů. Z důvodu větší modulárnosti virtuálního modelu jsem vytvořil dvě tyto vrstvy. Do první jsem vkládal pouze modely budov, do druhé pak modely stromů.

Při importování modelů budov jsem musel vždy zobrazit i druhou záložku na dialogovém okně a zde aktivovat použití geografických souřadnic modelu (obr.3.43). Mnou vytvořené modely budov totiž tyto souřadnice mají, jelikož jsem je vytvořil stereoskopickým vyhodnocením v modulu StereoAnalyst.



Obr. 3.43 Okno importu modelu do vrstvy modelů.

Na obr.3.44 je ukázána tabulka atributů vložených modelů budov. Kromě souřadnic vztazného bodu je zde uložena i relativní výška vzhledem k DMR a rozměry modelu (v jednotkách souřadnicového systému). Pokud tedy změním model např. přidáním nové části budovy do souboru, zmenší se daný model proporcionálně na velikost, která je uložena v této tabulce.

Model	Name	X	Y	ASL	AGL
1	broek.wrl	-824713.878733	-1071850.807783	354.54	3.63
2	oal_nuutek.wrl	-824561.609647	-1071899.174323	352.97	4.68
3	relhoal.wrl	-824652.779474	-1072036.279631	351.02	-2.18
4	knihovna_schody.wrl	-824614.552721	-1071836.282528	347.67	-0.27
5	niepa_mesta.wrl	-824685.851257	-1071931.020096	350.09	-1.03
6	napis.wrl	-824677.369292	-1072058.058981	352.48	-0.30
7	poselstrik.wrl	-824681.111614	-1072079.734019	353.22	0.31
8	plan_university.wrl	-824687.269304	-1072099.062199	352.24	-0.57
9	uf_122_schodiste.wrl	-824666.807733	-1071849.305733	347.46	-0.36
10	knihovna.wrl	-824626.768022	-1071863.276169	344.72	-3.89
11	uf_122.wrl	-824677.619192	-1071849.409927	347.34	-0.75
12	uu.wrl	-824606.878305	-1071906.791287	347.44	-1.72

Obr. 3.44 Tabulka atributů jednotlivých modelů.

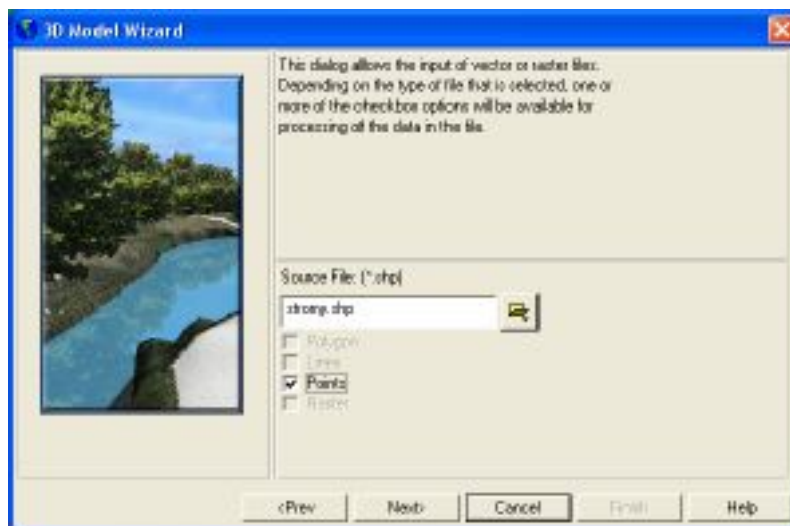
Jak jsem popsal v oddílu 3.4.2, vytvořil jsem si bodové téma stromů v areálu ZČU. Tohoto bodového tématu jsem využil kromě tvorby DMR také k importu modelů stromů do virtuálního modelu v modulu VirtualGIS.

Před samotným importem bylo nutno do atributové tabulky tohoto bodového tématu přidat tři sloupce. Jeden slouží k zapsání cesty k souboru představující požadovaný model – strom, druhé dva slouží k definování maximální a minimální výšky modelu. Tuto přípravu jsem provedl v software ArcGIS (obr.3.45).

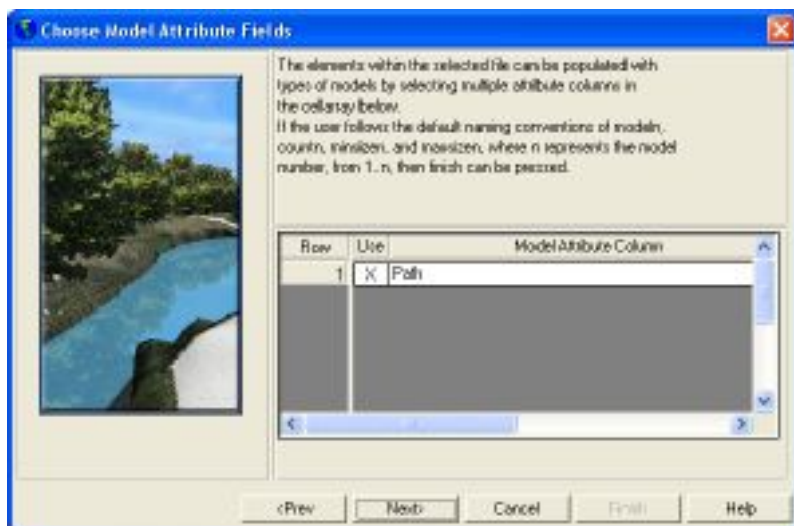
FID	Shape*	FID #	Avg_Z	Path	Max	Min
0	Point SH	3	387.35	4ccccalling	17	12
1	Point SH	4	387.42	5ccccalling	3	3.5
2	Point SH	5	387.46	5ccccalling	3	3.5
3	Point SH	6	387.76	5ccccalling	3	4
4	Point SH	7	387.36	5ccccalling	2	3.9
5	Point SH	3	387.31		0	0
6	Point SH	9	387.98		0	0
7	Point SH	13	387.33		0	0
8	Point SH	11	387.7		0	0
9	Point SH	13	387.98		0	0
10	Point SH	14	387.32		0	0
11	Point SH	15	387.31		0	0
12	Point SH	15	387.36		0	0
13	Point SH	17	387.35		0	0
14	Point SH	13	387.33		0	0
15	Point SH	13	387.31		0	0
16	Point SH	23	387.32		0	0
17	Point SH	13	387.31		0	0
18	Point SH	23	387.36		0	0

Obr. 3.45 Editace atributové tabulky v ArcGIS

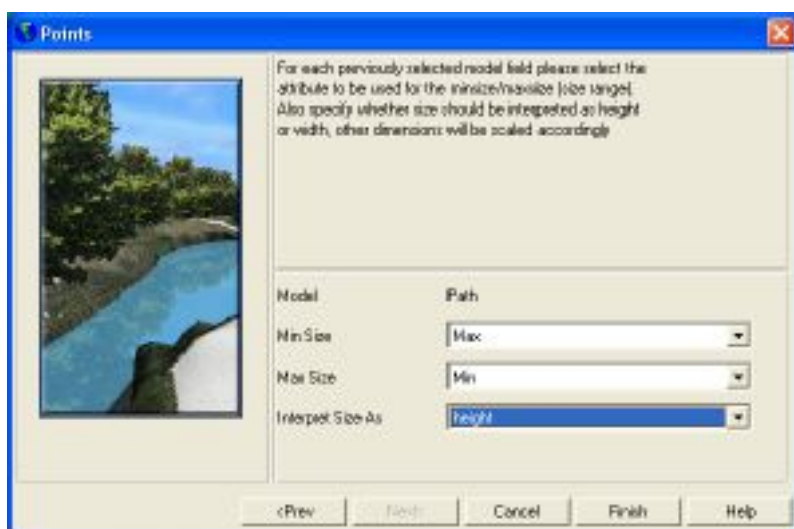
Na začátku importu se vybere soubor a typ vektoru, jež je v něm obsažen (obr.3.46). Dále se vybere sloupec z atributové tabulky, v němž je zapsána cesta k souborům (obr.3.47). V posledním dialogovém okně se modelu přiřadí maximální a minimální hodnota a způsob interpretace těchto hodnot (obr.3.48). Na výběr je výška, šířka, délka.



Obr. 3.46 Import modelů - výběr definičního souboru.



Obr. 3.47 Import modelů - výběr cesty k souborům.



Obr. 3.48 Import modelů - nastavení velikosti.

Modul VirtualGIS nabízí i jiný způsob vkládání modelů, a to přes knihovnu modelů (obr.3.49). Ta nabízí modely rozdělené do pěti kategorií (staré stromy, mladé stromy, budovy, letadla, vozidla). Velikost a umístění takto vkládaného modelu se určuje přes vlastnosti modelu, nebo interaktivně.



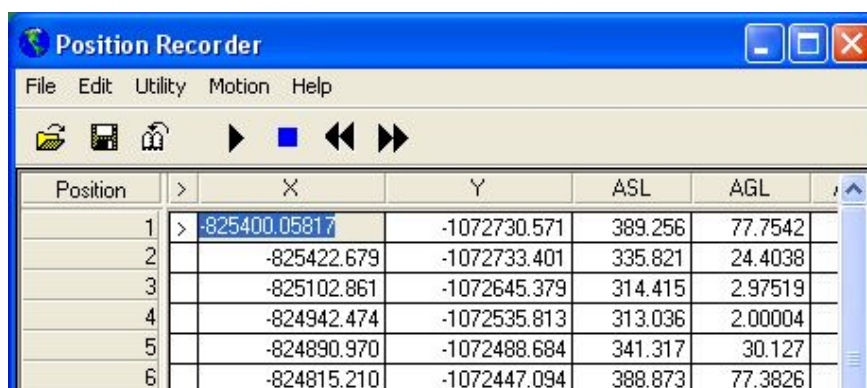


Obr. 3.49 Knihovna modelů.

Jak dokládá Příloha G, dokáží modely stromů značně vylepšit vzhled virtuálního modelu. Jak bývá v těchto případech obvyklé, je toto vylepšení na úkor rychlosti vykreslování modelu a pohybu v něm.

Jelikož již byly do virtuálního modelu přidány modely budov i stromů, prohlásil jsem tento virtuální model za hotový. Definování dalších vrstev nebylo potřebné.

Nyní jsem tedy mohl vytvořit průletové videoklipy nad tímto modelem. Nejprve je nutno definovat letovou dráhu, což je možné udělat zaznamenáním několika poloh pozorovatele (obr.3.50). Současně s polohou se uloží i směr a šířka pohledu. Oba parametry lze dále editovat. Výsledná letová dráha se interpoluje z těchto zaznamenaných poloh.



The screenshot shows a window titled "Position Recorder" with a menu bar (File, Edit, Utility, Motion, Help) and a toolbar with icons for file operations and playback. Below the toolbar is a table with the following data:

Position	X	Y	ASL	AGL
1	-825400.05817	-1072730.571	389.256	77.7542
2	-825422.679	-1072733.401	335.821	24.4038
3	-825102.861	-1072645.379	314.415	2.97519
4	-824942.474	-1072535.813	313.036	2.00004
5	-824890.970	-1072488.684	341.317	30.127
6	-824815.210	-1072447.094	388.873	77.3826

Obr. 3.50 Tabulka uzlových bodů letové dráhy.

Před zaznamenáváním průletu do videoklipu se kromě názvu vybere i typ videoklipu. Na výběr jsou formáty MPEG a AVI. Pro formát AVI se dále definuje kompresní kodek a lze nastavit i kvalitu komprese. U formátu MPEG nelze kvalitu nastavit a přednastavená komprese nedává dobrý obraz. Proto jsem se rozhodl pro formát AVI. Po několika pokusech s různými kodeky jsem vybral kodek Microsoft MPEG-4 Video Codec V2<sup>8</sup>. Důvodem výběru tohoto kodeku byla značná úspora velikosti souboru při dobré kvalitě obrazu. Výsledné videoklipy jsou připraveny ke shlédnutí na přiloženém CD. Viz Příloha L.

Vytvořením videoklipů jsem skončil popis práce s produkty firem ERDAS a ESRI. Nyní se již budu v textu věnovat pouze práci s VRML soubory.

<sup>8</sup> Pokud by nebyl tento kodek dostupný při přehrávání videoklipu, je možno jej získat v jakékoliv kolekci kodeků („Codec Pack“), které jsou volně stažitelné. Osobně doporučuji Nimo Codec Pack. Dostupný je na adrese [http://www.divx-digest.com/software/nimo\\_pack.html](http://www.divx-digest.com/software/nimo_pack.html)

## Kapitola

### 4 Optimalizace 3D modelu pro prohlížení přes webové rozhraní

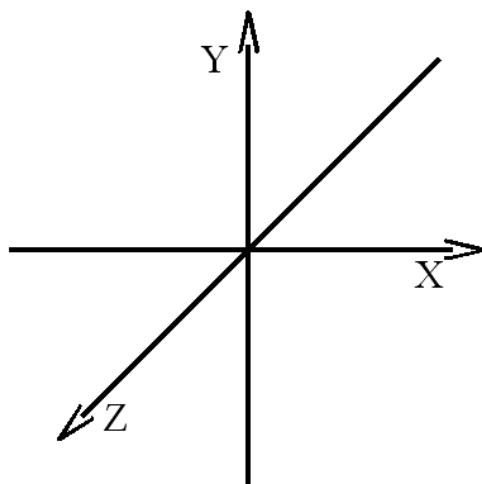
V této kapitole se budu zabývat popisem práce s VRML soubory při jejich úpravách pro použití v modulu VirtualGIS a jejich optimalizace pro prohlížení přes webové rozhraní.

Původně jsem měl pouze optimalizovat VRML soubory vyexportované z modulu VirtualGIS, ale vzhledem k členitosti budov a povaze použitých textur (pro každou stěnu jedna textura) jsem byl nucen použít i při tvorbě virtuálního modelu v modulu VirtualGIS VRML soubory pro modelování budov. ERDAS IMAGINE 8.6 totiž neumožňuje přiřadit zvláštní texturu na každou stěnu vektorové reprezentace budovy, která vznikla protažením střešního polygonu na úroveň DMR. A jelikož i tyto úpravy souvisí s optimalizací, rozhodl jsem se popsat je v této kapitole.

#### 4.1 Úvod do VRML

Syntaxe jazyka VRML (Virtual Reality Modelling Language) ve verzi 2.0, je definována mezinárodní normou ISO/IEC 14772-1/1997. (8) Z roku vydání normy je odvozeno jeho označení jako VRML97. Díky tomu, že je jeho struktura definována normou, může formát VRML sloužit jako výměnný formát pro programy orientované na 3D modelování. Jeho primární funkcí je ovšem přenos interaktivních virtuálních světů přes internet. Jelikož oblast internetu podléhá rychlému vývoji, vyvíjí se i formát pro přenos virtuálních světů po internetu. V současné době je dokončován vývoj jazyka založeného na formátu XML (eXtended Markup Language). Označení tohoto jazyka je X3D a definují ho mezinárodní normy ISO/IEC 19775:200x, 19776:200x a 19777:200x. (8)

Souřadnicová soustava VRML scény je pravoúhlá levotočivá, kde osa  $x$  je rovnoběžná s delší stranou monitoru a kladná poloosa směřuje doprava, osa  $y$  je rovnoběžná s kratší stranou monitoru a směřuje nahoru. Osa  $z$  je kolmá na osy  $x$ ,  $y$  a kladná poloosa směřuje z monitoru ven. Vzdálené objekty tedy mají menší hodnoty souřadnice  $z$  než objekty bližší. (9) Viz obr.4.1.



Obr. 4.1 Souřadnicový systém VRML scény.

Jazyk VRML umožňuje zapisovat složité objekty buď jako kombinaci základních těles (koule, kužel, kvádr), nebo jako množinu trojúhelníků, rotační plochu, plochu vzniklou posouváním příčného profilu po zadané trajektorii, a také jako výškovou mapu. Také není problém přiřadit jednotlivým objektům barvu, jas a případně i texturu. Tato textura může být buď ve formě posloupnosti pixelů, nebo obrazového souboru, nebo videosekvence. Podporované obrazové formáty jsou GIF, JPG, PNG. Formáty GIF a PNG umožňují definovat průhledné části. (9)

Kromě objemových a plošných objektů lze definovat liniové a bodové objekty a též umístit i text a zdroj světla. Zdroje světla mohou být bodové, plošné nebo v nekonečnu (rovnoběžné paprsky světla). (9)

Pro prohlížení VRML scén je zapotřebí mít nainstalován Microsoft Internet Explorer s rozšířením VRML Viewer 2.0, nebo jakýkoliv jiný internetový prohlížeč, který podporuje architekturu rozšíření stejnou jako používá Netscape Communicator a k tomu si doinstalovat Cortona VRML Client 4.1. Tento prohlížeč je vyvíjen firmou Parallelgraphics a podporuje nejnovější vylepšení formátu VRML (prováděné touto firmou). Tyto vylepšení zahrnují možnost definování kubických spline křivek a ploch. <sup>1</sup>

## **4.2 Export do VRML**

Export do VRML jsem prováděl jak v programu ERDAS IMAGINE, tak v programu ESRI ArcGIS.

---

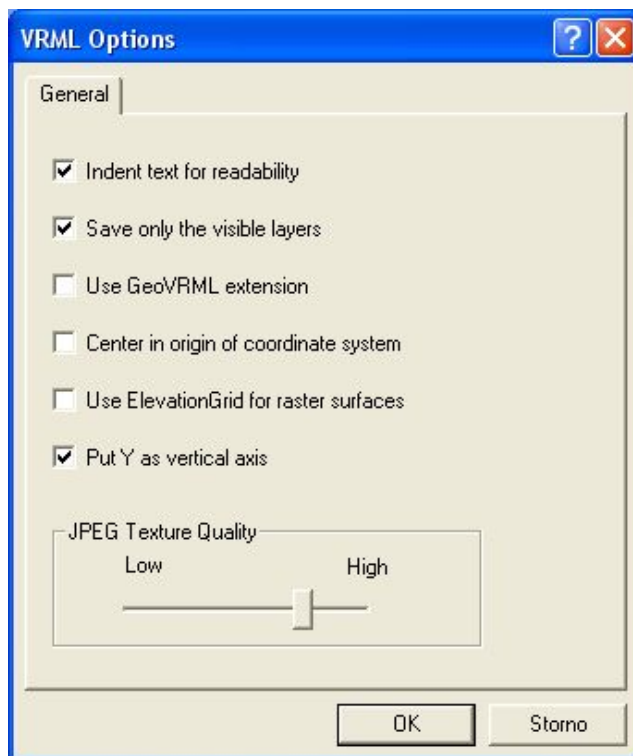
<sup>1</sup> Více informací a ukázky virtuálních světů jsou k nalezení na adrese <http://www.parallelgraphics.com/>

Budovy jsem exportoval z modulu StereoAnalyst, a to včetně automaticky namapované textury. Tato textura je objektu přiřazena ze snímků stereoskopické dvojice. Není zde možnost nastavení parametrů exportu. Osobně bych uvítal možnost zaokrouhlení souřadnic na zadaný počet desetinných míst, případně nastavení kvality JPG souborů textur. Problém zaokrouhlení jsem řešil v oddílu 4.4.

Při exportu budov jsou jednotlivé plochy rozděleny do trojúhelníkových ploch, a to tak, že do souboru je zapisován každý trojúhelník zvlášť. Kromě toho jsou tyto plochy definovány jako oboustranné (viditelné z obou stran).

Obě tyto vlastnosti jsou příčinou toho, že výsledné soubory nejsou optimalizované ani pro přenos po internetu, ani pro prohlížení scény.

Digitální model reliéfu včetně textury jsem exportoval v programu ArcGIS. Ani zde není možnost nastavit počet desetinných míst souřadnic. Jsou zde však jiné možnosti nastavení. Je možno nastavit zda se má text v souboru automaticky odsazovat (pro lepší čitelnost souboru), zda se mají uložit všechny vrstvy nebo jen zobrazené, zda využít rozšíření GeoVRML. Také lze vybrat možnost posunutí středu scény do počátku souřadnicového systému, zda se mají rastrové povrchy exportovat jako výšková mapa, zda se má převést souřadnicový systém (prohození os Y a Z – viz obr.4.1), a lze nastavit i kvalitu JPG souboru textury. Viz obr.4.2.



Obr. 4.2 Nastavení exportu do VRML souboru

### **4.3 Možnosti optimalizace VRML scény**

Obecně existují tři typy optimalizace 3D modelu ve formátu VRML. Jeden je zaměřen na rychlost přenosu VRML scény skrze internet, druhý se zaměřuje na rychlost vykreslení scény a pohybu v ní. Třetí typ optimalizace se zabývá kvalitou VRML scény (snaží se o co nejlepší zobrazení dané skutečnosti). Z mých zkušeností vyplývá, že pokud se provede optimalizace na rychlost přenosu, projeví se to kladně i na rychlosti vykreslení scény a pohybu v ní.

Co se týká optimalizace na rychlost přenosu, je důležité zmenšení objemu přenášených dat. To se týká jak vlastního VRML souboru, tak i případných textur. U textur lze objem dat snížit zmenšením textur, případně snížením počtu barev na 256-ti barevnou paletu (formáty GIF a PNG).

Objem dat, zejména velikost textur jsou často rozhodujícími faktory pro rychlost načtení scény. Prohlížení VRML scény přes internet totiž probíhá tak, že se všechny potřebné soubory přenesou na lokální disk počítače, do odkládacího adresáře internetového prohlížeče. Odtud jsou pak načítány do paměti a následně zobrazovány na monitor. Právě menší textury potřebují při vykreslování scény menší paměťový prostor a méně zatěžují grafickou kartu a procesor. Také se tím zkrátí doba stahování z internetu.

Zmenšit velikost JPG souboru, v němž je uložena textura, lze i zvýšením kompresního poměru. Tím se ovšem zmenší pouze velikost souboru a zkrátí se doba stahování, rychlost vyobrazení scény na monitor se tím nezmění.

Kvalitu VRML scény je možno vylepšit použitím uzlu „*Level of Details*“. V tomto uzlu se nadefinují data, která jsou zobrazována pro různé pohledy na scénu. Pokud se pozorovatel nachází ve velké vzdálenosti od objektu, je onen objekt zobrazen zjednodušeně, pokud si však objekt prohlíží z blízka, je tento objekt vykreslen v největší dostupné kvalitě. Dům tak může být pro pohled z dálky nahrazen obdélníkem, pro pohled ze střední vzdálenosti kvádrem s hrubou texturou. Pro pohled z blízka se použije podrobný model včetně jemné textury.

### **4.4 Použité optimalizace**

Ve své práci jsem použil hlavně optimalizace prvního typu, tedy na rychlost přenosu po internetu.

Pouze jeden optimalizační krok se zabýval rychlostí vykreslování scény a pohybu ve scéně, tak ho uvedu jako první. Bylo to převedení oboustranně vykreslovaných ploch na plochy jednostranné. Zmínku o tom najdete i v předchozí kapitole, oddílu 3.4.6. Jak se tato optimalizace provádí ukazuje text 4.1.

*Neoptimalizovaný kód:*

```
geometry IndexedFaceSet {
  normalPerVertex FALSE
  solid FALSE
```

*Optimalizovaný kód:*

```
geometry IndexedFaceSet {
  normalPerVertex FALSE
  solid TRUE
```

*Text 4.1 Optimalizace vykreslování ploch.*

V dalším kroku jsem nahradil plochy skládající se z jednotlivých oddělených trojúhelníků (definované třemi body v jednom uzlu) plochami sestavenými z více trojúhelníků (definované čtyřmi a více body v jednom uzlu). Blíže to ukazuje text 4.2.

*Neoptimalizovaný kód:*

```
geometry IndexedFaceSet {
  normalPerVertex FALSE
  solid FALSE
  coord Coordinate {
    point [
-824652.45461694198  366.33252238295972  1072048.6859534285,
-824665.21295534843  366.28325692005455   1072048.764885142,
-824665.3378796099  366.28330119652674  1072023.8926811037
    ]
  }
. . .
geometry IndexedFaceSet {
  normalPerVertex FALSE
  solid FALSE
  coord Coordinate {
    point [
-824652.45461694198  366.33252238295972  1072048.6859534285,
-824665.21295534843  366.28325692005455   1072048.764885142,
-824652.48711294506  366.33220995590091  1072023.7883765174
    ]
  }
```

*Optimalizovaný kód:*

```
geometry IndexedFaceSet {
  normalPerVertex FALSE
  solid TRUE
  coord Coordinate {
    point [
-824652.45461694198  366.33252238295972  1072048.6859534285,
-824665.21295534843  366.28325692005455   1072048.764885142,
-824665.3378796099  366.28330119652674  1072023.8926811037,
-824652.48711294506  366.33220995590091  1072023.7883765174
    ]
  }
```

*Text 4.2 Seskupování bodů po více než třech v jedné ploše.*

Tímto postupem jsem k sobě logicky přiřazoval body, které dohromady tvořily buď střechu nebo stěnu budovy. Zároveň jsem těmto plochám přiřazoval mnou vytvořenou texturu namísto textury automaticky přiřazené. Tím jsem zvýšil kvalitu VRML scény. Na druhou stranu se tímto krokem zvětšil objem dat. Pro porovnání mohou posloužit Příloha H a Příloha I. Nahrazování textur platilo pouze pro stěny budov, neboť pro jejich střechy jsem lepší textury nemohl vytvořit.

Takto jsem upravil VRML soubory pro jednotlivé budovy ZČU a tyto soubory jsem posléze využil k vytvoření virtuálního modelu v modulu VirtualGIS (kapitola 3, oddíl 3.4.6).

Po dokončení úprav pro účely vytvoření virtuálního modelu jsem započal s optimalizací VRML scény pro prohlížení přes internet. První úvahy se týkaly DMR a ortofota. Spočívaly v omezení oblasti exportovaného DMR pouze na oblast areálu ZČU a jeho velmi blízkého okolí. Dalšího snížení objemu dat jsem dosáhl nahrazením výškové mapy (DEM) trojúhelníkovou sítí (TIN). I tak však byl VRML soubor obsahující uzlové body trojúhelníkové sítě ještě příliš velký. Jelikož v areálu nejsou většinou velké výškové rozdíly, mohl jsem si dovolit aproximovat průběh terénu menším počtem bodů, hlavní lomové linie jsem však musel zachovat. Tímto krokem jsem opět snížil velikost souboru.

Optimalizací na velikost prošly i soubory, v nichž jsou zapsány modely budov. Nejprve jsem pomocí speciálně pro tento účel vytvořeného programu <sup>2</sup> zaokrouhlil souřadnice bodů na dvě desetinná místa, když původně jich bylo 10 až 14 <sup>3</sup>. To však má spíše vliv na rychlost vykreslování VRML scény, snížení objemu dat zde bylo zanedbatelné. Větší možnosti snížení objemu dat nabízí textury. Ty jsem zmenšil na čtvrtinovou velikost, což při uložení do formátu JPG znamenalo až desetinásobně menší objem dat. A to při velice nízké úrovni komprese JPG. Jelikož i tak byl objem dat pro celou scénu příliš velký (pro rychlý přenos po internetu), přistoupil jsem k větší komprimaci JPG souborů.

### **4.5 Výsledná VRML scéna**

Výsledná VRML scéna je složena z několika souborů. Pominu-li textury, nachází se v samostatných souborech DMR a jednotlivé budovy. Tyto soubory jsou tedy do prohlížeče načítány postupně. Jak se skládá VRML scéna z několika VRML souborů je ukázáno v textu 4.3.

---

2 Tento program vytvořil můj spolužák Václav Strych. Tímto mu za něj děkuji.

3 Počet desetinných míst závisí na velikosti souřadnic. Celkový počet cifer v souřadnici je totiž 17, pro souřadnici  $X_{VRML}$  tedy zbývá na desetinná místa cifer 11, pro souř.  $Y_{VRML}$  14 a pro souř.  $Z_{VRML}$  10.



Výhodu tohoto způsobu vytvoření VRML scény vidím v modulárnosti scény. Pokud se bude scéna rozrůstat o další objekty, lze je jednoduše přidat do tohoto souboru. Navíc je takováto scéna vhodnější i pro případné úpravy objektů stávajících.

```
Group {
  children [
    Transform {
      translation 0.0 0 0.0
      children [
        Inline {
          url "areal_dmr.wrl"
        }
      ]
    }
    Transform {
      translation 0.0 0 0.0
      children [
        Inline {
          url "rektorat.wrl"
        }
      ]
    }
  ]
}
```

*Text 4.3 Ukázka VRML souboru, v němž jsou do scény připojeny jiné VRML soubory.*

Tímto je dotvořena VRML scéna prohlížitelná přes internet.

# Kapitola

## 5 Závěr

Cíle diplomové práce byly splněny. Těmito cíli byly vytvoření virtuálního 3D modelu areálu ZČU v software ERDAS IMAGINE, optimalizace tohoto modelu pro prohlížení přes webové rozhraní, vytvoření ortofotomapy zájmového území a několika průletových videoklipů pro prezentaci virtuálního modelu.

Cesta k těmto cílům však nebyla ideální, neboť se navržený způsob tvorby virtuálního modelu ukázal být příliš časově náročným pro širší využití. Největší možnosti časových úspor vidím v oblasti úprav VRML souborů. Pokud by modul StereoAnalyst již při exportu budov do formátu VRML dokázal sdružovat jednotlivé trojúhelníkové plochy do logických skupin (jednotlivé stěny budov), ušetřily by se až 2/3 času stráveného úpravami skriptového kódu VRML souborů. Pokud by se při exportu dal nastavit počet desetinných míst u souřadnic bodů, nemusel by se tvořit zvláštní program pro zaokrouhlování.

Na tvorbě textur asi nelze moc měnit, neboť postup tvorby je dán členitostí budov v areálu ZČU Borská pole.

Tento virtuální model je typickou ukázkou stárnutí dat v oblasti aktivní lidské činnosti. Zatímco na ortofotomapě je zachyceno pouze staveniště, v době psaní tohoto textu se již dokončuje hrubá stavba budovy Fakulty elektrotechnické. A jelikož letecké fotogrammetrické snímky, z nichž byla ortofotomapa vytvořena, byly pořízeny 9.8.2002, není zmíněná budova ani na těchto snímcích. Tudíž jsem ji nemohl zahrnout do vytvořeného virtuálního modelu. Technologický postup tvorby virtuálního modelu, i jeho optimalizace pro prohlížení přes webové rozhraní je však navržen tak, aby nebyl problém tuto a případně další nové budovy do modelu jednoduše přidat. Přidání modelu budovy do virtuálního modelu v modulu VirtualGIS je popsáno v kapitole 3, oddílu 3.4.6, přidání budovy do VRML scény je popsáno v kapitole 4, oddílu 4.5.

## Použitá literatura

1. ARPONEN, M. From 2D Base Map to 3D City Map. In: *Sborník 23. Urban Data Management Symposium*, Praha 2002.
2. ČADA, V., BŘEHOVSKÝ, M. Transformace rastrů při tvorbě DKM. *Geodetický a kartografický obzor*. Ročník 46/88, Číslo 12, Vesmír 2000. ISSN 0016-7096
3. ERDAS Inc., Atlanta. *ERDAS IMAGINE OrthoBase User's Guide*. 2001
4. ERDAS Inc., Atlanta. *ERDAS IMAGINE StereoAnalyst User's Guide – Do-It-Yourself 3D Geographic Imaging*. 2000
5. ERDAS Inc. *Virtual GIS* [počítačový soubor]. Ver. 8.6. Atlanta 2003. Programový manuál pro ERDAS IMAGINE VirtualGIS.
6. ESRI, Redlands. *Using ArcGIS 3D Analyst*. 2002. ISBN 1-58948-004-X
7. PAVELKA, K., DOLANSKÝ, T., HODAČ, J., VALENTOVÁ, M. *Fotogrammetrie 30 – Digitální metody*. Praha: ČVUT, 2001, ISBN 80-01-02413-X
8. Web3D Consortium. *X3D Overview*. URL: <http://www.web3d.org/x3d.html>, Last revision: 21.11.2002.
9. ŽÁRA, J. *VRML97 – Laskavý průvodce virtuálními světy*. Computer Press, Brno 1999, ISBN 80-7226-143-6

## ***Přílohy***

## **Seznam příloh**

**Příloha A – Kalibrační protokol letecké měřické komory LMK15**

**Příloha B – Výstupní protokol aerotriangulace**

**Příloha C – DMR ve formátu TIN**

**Příloha D – DMR ve formátu GRID**

**Příloha E – DMR zobrazený v modulu VirtualGIS**

**Příloha F – DMR a ortofoto zobrazené v modulu VirtualGIS**

**Příloha G – DMR, ortofoto, modely budov a stromů**

**Příloha H – Budova rektorátu s původními texturami**

**Příloha I – Budova rektorátu s nejkvalitnějšími texturami**

**Příloha J – Budova rektorátu s texturami optimalizovanými pro VRML scénu**

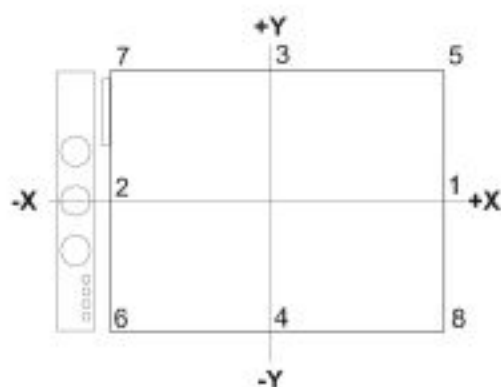
**Příloha K – Ukázka VRML scény s budovou rektorátu**

**Příloha L – Adresářová struktura CD s výstupy z diplomové práce**

## Příloha A – kalibrační protokol letecké měřické komory LMK 15

### Údaje o rámových značkách a radiálním zkreslení kamery.

kalibrace dne 17.1.2001



#### Základní údaje:

Typ kamery	Číslo kamery	Číslo objektivu	Konstanta kamery
LMK 15	263790 A	7381668C	152,137

#### Souřadnice rámových značek:

Číslo RZ	1	2	3	4	5	6	7	8
X	+110,027	-109,984	+0,023	+0,016	+110,026	-109,984	-109,974	+110,015
Y	+0,012	+0,005	+110,004	-110,008	+110,002	-110,000	+110,003	-109,993

#### Souřadnice středů:

		x/mm	y/mm
Hlavní bod autokolimace	PPA	+0,022	+0,000
Předpokládaný střed	FC	+0,020	+0,009
Průsečík spojnic rohových RZ	FCC	+0,023	+0,003

#### Souřadnice rámových značek:

s/mm	0	20	40	60	80	100	120	140
5	0	1	0	-2	-6	-3	2	2
6	0	1	1	1	-2	-2	3	1
7	0	1	1	-1	-4	-1	5	3
8	0	1	2	-1	-2	-1	6	3
průměr	0	1	1	-1	-3	-2	4	2

## Příloha B – výstupní protokol aerotriangulace

The Triangulation Report With OrthoBASE

The output image x, y units: pixels  
 The output angle unit: degrees  
 The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates

image ID = 1

Point ID	x	y
1	7752.142	3482.257
2	13004.570	4213.230
3	12795.720	12896.076
4	6812.320	12059.323
5	8995.068	8740.109
6	11617.891	10029.144

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
113.8489	-0.015005	-0.000034	-114.9211	-0.000034	0.015005

image ID = 2

Point ID	x	y
1	1846.951	3519.344
2	7142.971	4105.306
3	7335.003	12821.740
4	1284.007	12146.996
5	3264.835	8733.816
6	5965.128	9959.009

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
114.0202	-0.015005	-0.000045	-114.9193	-0.000046	0.015004

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT  
 the no. of iteration =1 the standard error = 0.2917  
 the maximal correction of the object points = 0.25716

the no. of iteration =2 the standard error = 0.2917  
 the maximal correction of the object points = 0.00066

The exterior orientation parameters

image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
1	-825319.6715	-1071553.6609	2288.7759	-1.1748	-0.3763	-177.2765
2	-824222.3272	-1071548.1496	2292.9164	-0.4698	-0.4672	-178.8943

The accuracy of the exterior orientation parameters

image ID	mXs	mYs	mZs	mOMEGA	mPHI	mKAPPA
1	1.5921	1.1846	1.0044	0.0317	0.0450	0.0247
2	1.5925	1.1826	1.0311	0.0315	0.0448	0.0247

The interior orientation parameters of photos

image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	152.1370	0.0220	0.0000
2	152.1370	0.0220	0.0000

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
1	0.0483	-0.0893	0.1352
2	0.2508	0.1152	-0.1264
3	-0.1136	0.1707	0.1496
4	0.0906	-0.2569	-0.1279
5	-0.0702	0.0534	0.0461
6	-0.2059	0.0068	-0.0766
	aX	aY	aZ
	-0.0000	-0.0000	-0.0000
	mX	mY	mZ
	0.1492	0.1410	0.1162

The coordinates of object points

Point ID	X	Y	Z	Overlap
1	-825311.9317	-1070797.7893	351.7352	2
2	-824304.3092	-1070881.8848	347.1536	2
3	-824230.5736	-1072566.6493	325.2566	2
4	-825412.1894	-1072461.4969	314.9421	2

5	-825024.1002	-1071783.0966	353.7461	2
6	-824505.3159	-1072007.4132	349.8004	2

The total object points = 6

The accuracy of object points

Point ID	mX	mY	mZ	mP	Overlap
1	0.5908	0.5906	0.7165	1.1005	2
2	0.5628	0.5628	0.7197	1.0731	2
3	0.5611	0.5638	0.6949	1.0562	2
4	0.5445	0.5462	0.7268	1.0597	2
5	0.3767	0.3783	0.4207	0.6797	2
6	0.4002	0.4021	0.4569	0.7284	2
	amX	amY	amZ		
	0.5060	0.5073	0.6226		

The residuals of image points

Point	Image	Vx	Vy
1	1	-0.012	0.100
1	2	0.008	-0.103

Point	Image	Vx	Vy
2	1	0.009	-0.066
2	2	-0.012	0.069

Point	Image	Vx	Vy
3	1	-0.001	-0.175
3	2	0.009	0.176

Point	Image	Vx	Vy
4	1	0.003	0.100
4	2	-0.008	-0.104

Point	Image	Vx	Vy
5	1	0.019	-0.446
5	2	-0.005	0.446

Point	Image	Vx	Vy
6	1	-0.018	0.488
6	2	0.008	-0.484

The image residuals of the control points

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
1	-0.012	0.100
2	0.009	-0.066
3	-0.001	-0.175
4	0.003	0.100
5	0.019	-0.446
6	-0.018	0.488

RMSE of 6 points: mx=0.012, my=0.286

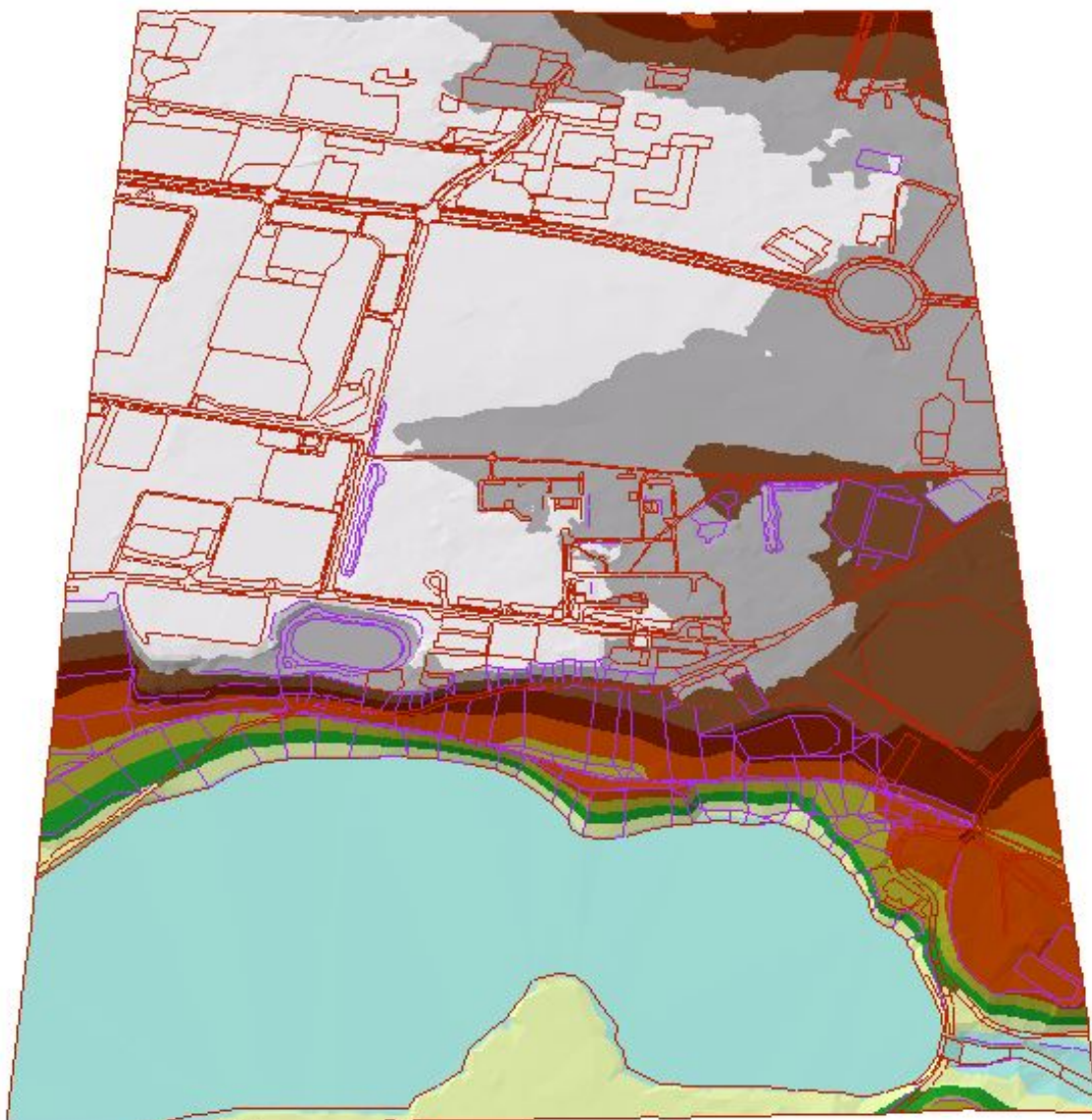
The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
1	0.008	-0.103
2	-0.012	0.069
3	0.009	0.176
4	-0.008	-0.104
5	-0.005	0.446
6	0.008	-0.484

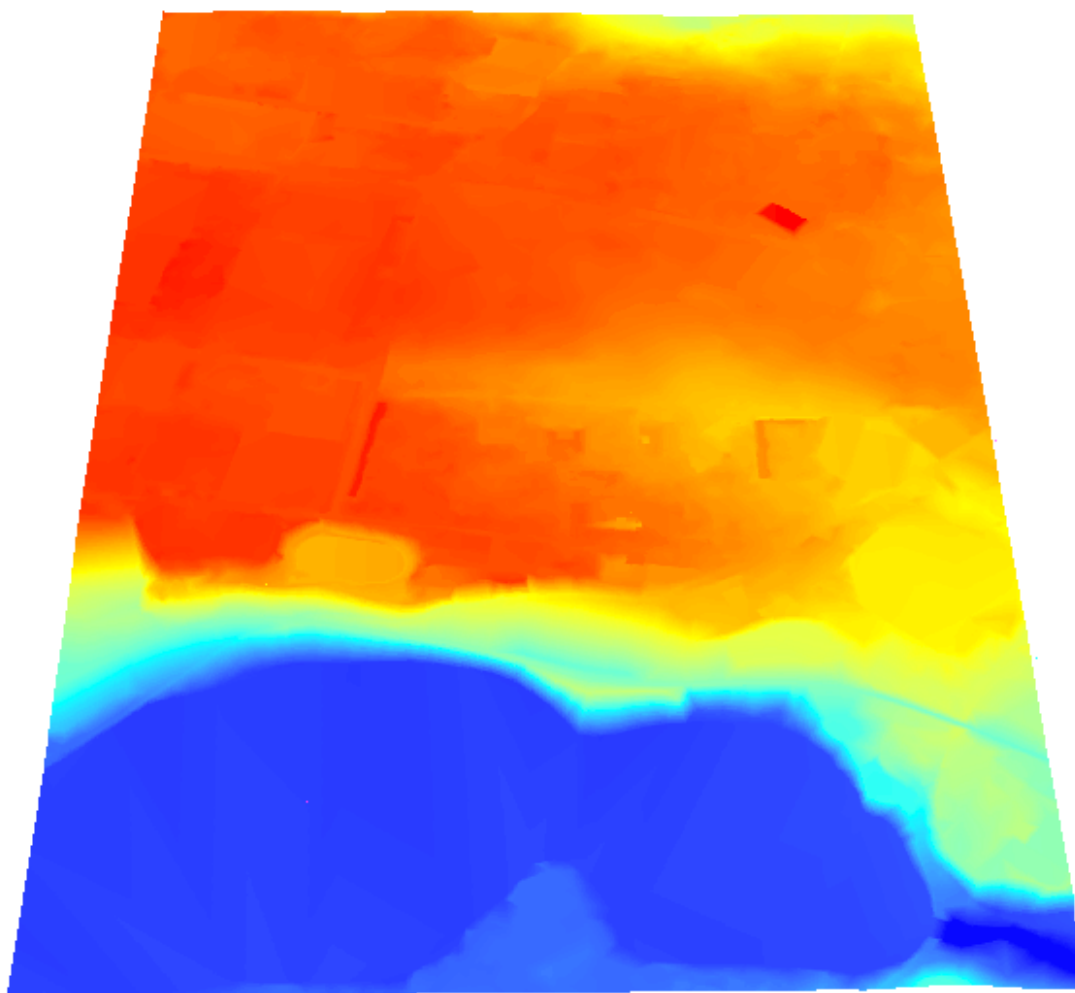
RMSE of 6 points: mx=0.009, my=0.286



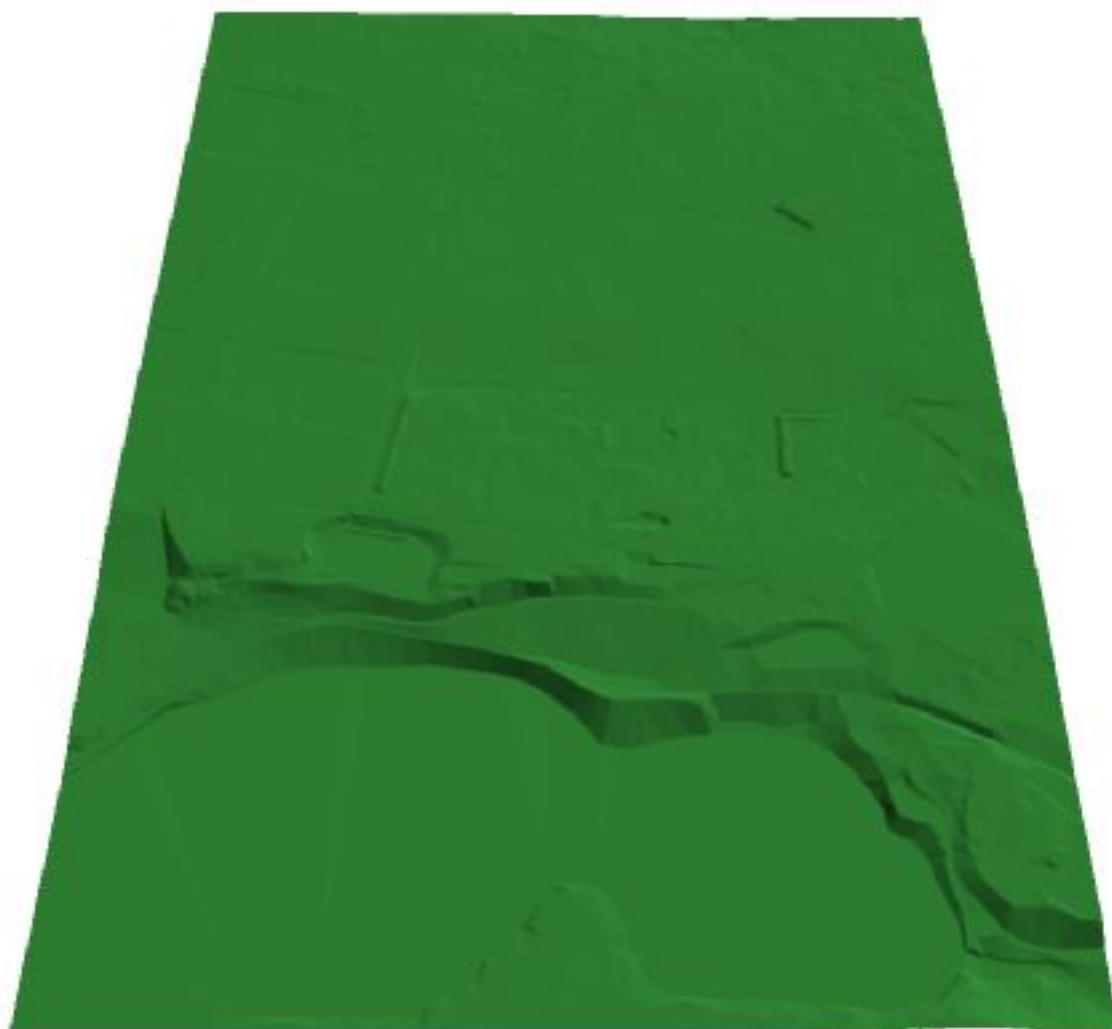
**Příloha C – DMR ve formátu TIN**



***Příloha D – DMR ve formátu GRID***



***Příloha E – DMR zobrazený v modulu VirtualGIS***



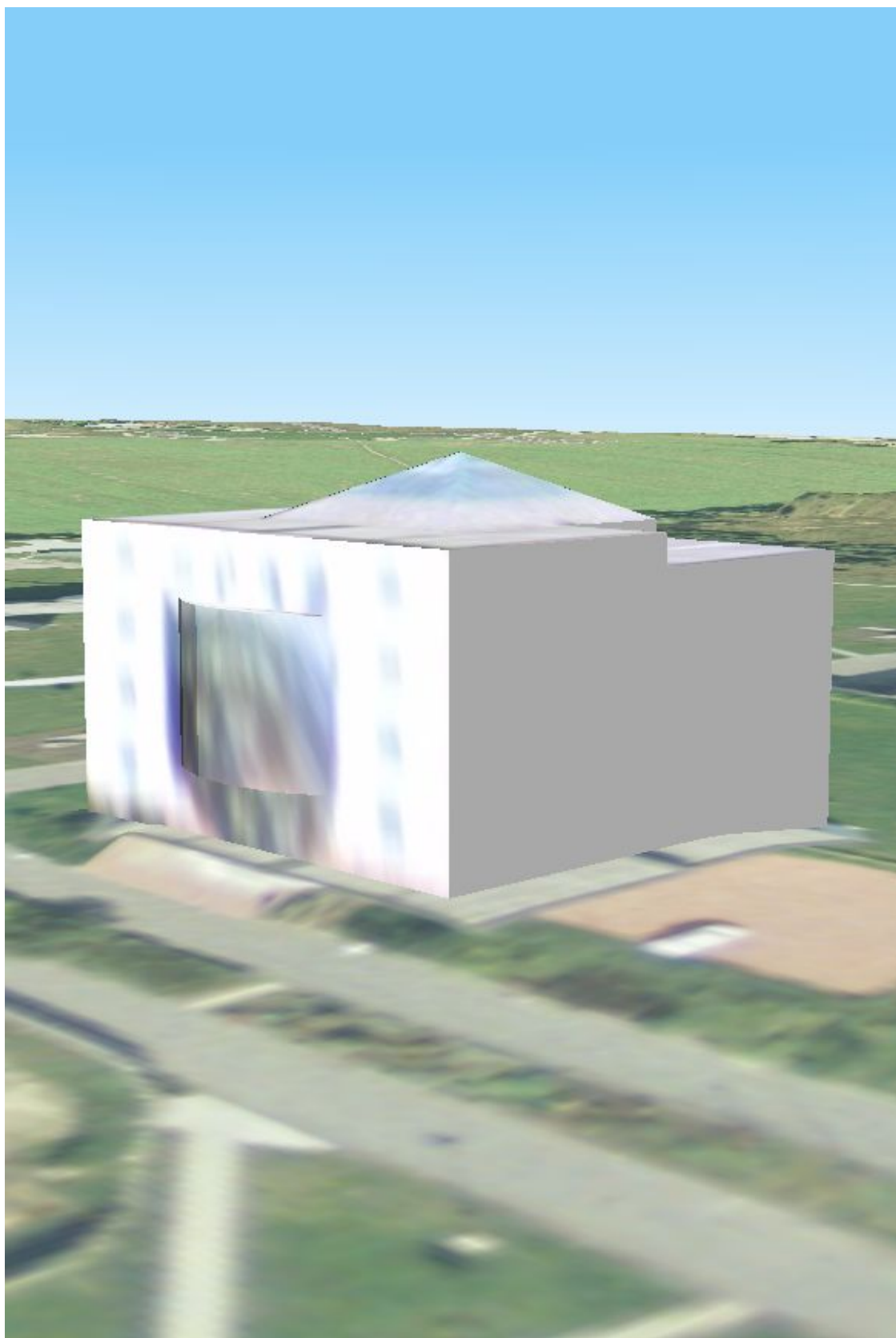
***Příloha F – DMR a ortofoto zobrazené v modulu VirtualGIS***



***Příloha G – DMR, ortofoto, modely budov a stromů***



***Příloha H – budova rektorátu s původními texturami***



***Příloha I – budova rektorátu s nejkvalitnějšími texturami***



***Příloha J – budova rektorátu s texturami optimalizovanými pro VRML scénu***





***Příloha K – Ukázka VRML scény s budovou rektorátu***



## **Příloha L – adresářová struktura CD s výstupy z DP**

<CD-ROM> :

- \dmr - obsahuje DMR ve formátu DEM
- \tin\_grid - obsahuje DMR ve formátech TIN a GRID
- \ortofoto - obsahuje diferenciálně překreslený snímek
- \stereoanalyst
  - \orthobase - obsahuje projekt modulu OrthoBASE
  - \projekt - obsahuje projekt modulu StereoAnalyst
- \text - obsahuje text diplomové práce ve formátu PDF
- \videoklipy - obsahuje videoklipy vytvořené nad virtuálním 3D modelem
- \virtualgis - obsahuje projekt modulu VirtualGIS, vrstvy modelů budov a stromů a data potřebná do těchto vrstev
- \vrml\_sceny
  - \01\_virtualgis - obsahuje VRML scénu v takové podobě, jak ji vyexportoval modul VirtualGIS. Spustí se otevřením souboru vrml.wrl
  - \02\_pro\_pc - obsahuje VRML scénu z adresáře '01\_virtualgis', lehce optimalizovanou pro prohlížení z CD (na výkonném počítači). Spustí se otevřením souboru vrml.wrl
  - \03\_pro\_web - obsahuje VRML scénu optimalizovanou pro prohlížení přes webové rozhraní. Spustí se otevřením souboru vrml.wrl
- struktura\_cd.txt - soubor se strukturou CD
- substitution.bat - dávkový soubor, který připojí CD jako jednotku i: - doporučuji využít pouze v případě problémů se zobrazením virtuálního modelu v modulu VirtualGIS.
- unsubstitution.bat - dávkový soubor pro odpojení jednotky i: