

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

Diplomová práce

**MOŽNOSTI TECHNOLOGIE GOOGLE
EARTH PRO 3D VIZUALIZACI
GEOGRAFICKÝCH DAT**

Vložený list

Prohlášení

Diplomovou práci předkládám jako součást procesu dokončení studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Zároveň prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně. Všechny informační zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury, který je součástí bakalářské práce.

V Plzni dne _____

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Fialovi, který mi poskytl mnoho užitečných informací, nezbytných pro vypracování diplomové práce.

Děkuji plzeňské firmě GEOREAL spol. s r. o. za poskytnutí leteckých měřických snímků města Plzeň.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na zpracování a vizualizaci geografických prostorových dat. Řeší možnosti jejich reprezentace a způsoby prezentace. Popisuje možnosti jazyka KML pro vizualizaci prostorových dat v aplikaci Google Earth, postup vyhodnocení prostorových dat, jejich konverzi pro potřeby vizualizace. V další části se práce zaměřuje na technologii aplikace Google SketchUp pro tvorbu 3D virtuálních modelů a jejich vizualizaci v aplikaci Google Earth.

Klíčová slova

Geografická prostorová data, Google Earth, KML, KMZ, Google SketchUp, CAD, vizualizace, letecké měřičské snímky, 3D model.

Abstract

Thesis is focused on processing and visualization of geospatial data. It is discussed on the possibilities of representation of spatial data and methods of their visualization. Describes KML for visualization of spatial data in Google Earth, a process evaluation of spatial data, their conversion to the need visualization. In other parts of the work focuses on the technology of Google SketchUp to create 3D virtual models and their visualization in Google Earth.

Key words

Geographic spatial data, Google Earth, KML, KMZ, Google SketchUp, CAD, visualization, air imagery, 3D model.

1 Úvod	6
2 Reprezentace a vizualizace 3D geografických dat	7
<i>2.2 Fyzický a virtuální model</i>	8
<i>2.3 Formáty CAD (Computer-Aided Design)</i>	9
<i>2.3.1 DXF formát</i>	9
<i>2.3.2 DWG formát</i>	10
<i>2.4 VRML (Virtual Reality Modeling Language)</i>	10
<i>2.5 COLLADA (COLLABorative Design Activity)</i>	11
<i>2.6 GML (Geography Markup Language) a CityGML</i>	11
<i>2.7 Prohlížeče Země (Earth browsers)</i>	13
<i>2.7.1 Microsoft Virtual Earth</i>	13
<i>2.7.2 NASA World Wind</i>	16
<i>2.7.3 Google Earth</i>	18
<i>2.8 Shrnutí kapitoly</i>	20
3 Historie a možnosti Keyhole Markup Language (KML)	21
<i>3.1 Historie</i>	21
<i>3.2 Možnosti využití KML</i>	22
4 Struktura KML	24
<i>4.1 Placemark</i>	25
<i>4.2 Geometrie ve struktuře KML</i>	27
<i>4.2.2 Line String</i>	30
<i>4.2.3 Polygon</i>	32
<i>4.2.4 MultiGeometrie</i>	35
<i>4.3.1 Umístění modelu (Location)</i>	38
<i>4.3.2 Orientace modelu (Orientation)</i>	38

4.3.3	<i>Měřítko modelu (Scale)</i>	38
4.3.4	<i>Resource Map</i>	39
4.3.5	<i>Shrnutí kapitoly</i>	39
5	Fotogrammetrické vyhodnocení Fakulty elektrotechnické ZČU	40
5.1	<i>Výhody a nevýhody bezkontaktních metod</i>	40
5.2	<i>Postup vyhodnocení</i>	41
5.2.1	<i>Stereoskopická dvojice</i>	41
5.2.2	<i>Stereoskopické vyhodnocení</i>	42
5.3	<i>Přesnost stereoskopického vyhodnocení</i>	43
5.4	<i>Shrnutí kapitoly</i>	45
6	Konverze prostorových dat	46
6.1	<i>Konverze měřených dat</i>	47
6.1.1	<i>Formát shapefile (*.shp)</i>	49
6.1.2	<i>Formát VRML (*.wrl)</i>	49
6.1.3	<i>Konverze VRML do DXF</i>	49
6.1.4	<i>Konverze DXF do COLLADA</i>	51
6.2	<i>Konverze dat uložených v databázi</i>	51
6.2.1	<i>Konverze do DXF</i>	51
6.3	<i>Shrnutí kapitoly</i>	52
7	Využití technologie Google SketchUp pro vizualizaci prostorových geografických dat	54
7.1	<i>Import 3D dat</i>	54
7.2	<i>Editace modelu, tvorba a umístění textur na model</i>	56
7.3	<i>Georeferencování 3D virtuálního modelu</i>	58
7.3.1	<i>Georeferencování à la vue</i>	58

<i>7.3.2 Georeferencování na základě polohy dvou bodů</i>	58
<i>7.4 Vizualizace interiérů budovy</i>	63
<i>7.5 Export KMZ souboru</i>	66
<i>7.6 Shrnutí kapitoly</i>	66
8 Závěr	68
Seznam použité literatury	70

Seznam použitých zkratk a pojmů

CAD - Computer-Aided Design

KML - Keyhole Markup Language

DXF - Drawing Interchange Format

DWG - Drawing

COLLADA - COLLaborative Design Activity

VRML - Virtual Reality Modeling Language

GML - Geography Markup Language

DAE - Digital Asset Exchange

NASA - National Aeronautics and Space Administration

USA - United States of America

S.S. - Souřadnicový Systém

OEEPE - European Organization for Experimental Photogrammetric Research

GIS - Geographic Information System

3D - Three Dimensional

2D - Two Dimensional

XML - Extensible Markup Language

X3D - Extensible 3D

DGN - Design

ISO - International Organization for Standardization

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

WGS84 - World Geodetic System 84

UTM - Universal Transverse Mercator

S-JTSK - Systém Jednotné Trigonometrické Sítě Katastrální

DEM - Digital Elevation Model

CSML - Climate Science Modelling Language digital

dwGML - digital weather Geography Markup Language

TWML - Tsunami Warning Markup Language

AIXM-GML - Aeronautical Information Exchange Model

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Microsoft Virtual Earth - 3D virtuální model London Eye	15
Obr. 2 NASA World Wind	17
Obr. 3 Google Earth - London Eye	19
Obr. 4 Struktura KML	24
Obr. 5 Placemark	26
Obr. 6 Způsoby vyjádření výšek	29
Obr. 7 Line String a LineString extrude	31
Obr. 8 Polygon, Polygon 2D, Polygon 3D s výřezem	34
Obr. 9 MultiGeometry	36
Obr. 10 Schéma konverze dat	46
Obr. 11 Schéma konverze měřených dat	48
Obr. 12 Schéma konverze databázových 3D dat	53
Obr. 13 Importovaný virtuální 3D model	55
Obr. 14 Virtuální 3D model s texturami	57
Obr. 14 3D model bez použití rotace	60
Obr. 15 Georeferencovaný model	62
Obr. 16 3D model s interiéry - vnější pohled	64
Obr. 17 3D model s interiéry - vnitřní pohled	65
Tabulka 1 Druhy středních chyb	44

1 Úvod

V současné době se v oblasti geoinformačních systémů dostává do popředí zpracování a vizualizace geografických prostorových dat. Dříve se GIS zabýval převážně zpracováním a vizualizací 2D geografických dat v podobě rastrových nebo vektorových map, dále tvorbou analýz nad zmíněnými daty, které sloužily pro modelování daného jevu. Postupem času došlo k vývoji technologií umožňujících vizualizaci prostorových dat. Rozvoj v této oblasti podporuje společnost Google se svojí aplikací Google Earth, která nabízí vizualizaci georeferencovaných prostorových dat v podobě virtuálních 3D modelů.

Cílem této práce je popsání metodiky vizualizace prostorových geografických dat získaných na základě geodetických měření a vytvoření 3D virtuálního modelu Fakulty elektrotechnické ZČU v aplikaci Google Earth. Práce je částečně zaměřena na datové formáty, které mohou být použity pro reprezentaci prostorových geografických dat. Jedná se především o CAD formáty a rozšiřitelné značkovací jazyky. Důraz je kladen na značkovací jazyk KML (Keyhole Markup Language), který je primárně použit v aplikaci Google Earth pro zobrazení informací geografického charakteru.

Jedním z dílčích úkolů je fotogrammetrické vyhodnocení budovy Fakulty elektrotechnické a získání prostorových dat pro vizualizaci. K tomuto účelu je použita fotogrammetrická metoda stereoskopického vyhodnocení leteckých snímků v aplikaci ERDAS Imagine. V dalších krocích je popsána konverze měřených dat do formy kompatibilní s aplikací Google Earth a využití technologie Google SketchUp pro vizualizaci geografických prostorových dat.

Dalším dílčím cílem práce je zjištění možností vizualizace interiérů budov v aplikaci Google Earth. Tato problematika byla konzultována s kolegou Bc. Tomášem Luňákem, který ve své diplomové práci na téma Geografická báze dat Státního Zámku Kozel popisuje způsoby uložení měřených dat v databázi ESRI Personal Geodatabase. Prostorová data, uložená v datovém modelu databáze, jsou určena pro modelování památkových objektů. Z těchto dat má být vytvořen 3D model, který lze vizualizovat v aplikaci Google Earth.

2 Reprezentace a vizualizace 3D geografických dat

S rozvojem výpočetní techniky v průběhu uplynulých let došlo k přechodu od vizualizace 2D geografických dat k vizualizaci 3D geografických dat. V tomto smyslu se jedná o vizualizaci 3D dat reprezentovaných formou virtuálních 3D modelů. Pro vizualizaci jsou vyvíjeny softwarové aplikace, jejichž hlavním úkolem je zobrazování vstupních dat v 3D podobě. S rostoucími nároky na zachycení reality, tzn. zobrazení skutečného jevu, narůstá množství vstupních dat, ze kterých je 3D model tvořen. Důsledkem toho je potřeba velkého prostoru pro uložení těchto dat. Z hlediska softwaru jsou řešeny způsoby a efektivnost zpracování těchto dat. 3D vizualizace může být použita pro zobrazení městské architektury, zemského povrchu, plánování nových staveb, geologických půdních analýz, meteorologických jevů atd.

V posledních letech se převážně rozvíjí architektonická vizualizace, tedy vizualizace budov. Průzkum European Organization for Experimental Photogrammetric Research (OEEPE) zjistil, že 95 % dotázaných má zájem o 3D data budov a jejich vizualizaci. [22] Počítačové technologie, grafika a počítačem podporovaný design nyní nabízejí velmi užitečné nástroje pro tvorbu a vizualizaci digitálních modelů měst. Otázkou je, jak získat kvalitní data pro vizualizaci. Je možné využít několika metod pro sběr dat. Jedná se o metody pozemní, letecké nebo družicové fotogrammetrie, laserové skenování, metody GPS a geodetická měření. Výsledná měřená data se následně uloží do prostorových databází a geografických informačních systémů (GIS), kde se uplatní pro inženýrské plánování nebo tvorbu analýz. To vše vytváří zájmovou oblast s intenzivním rozvojem technologií pro vizualizaci 3D dat.

Digitální vizualizace má relativně krátkou historii v kontextu s formami reprezentace zemského povrchu. První snahy o vizualizaci povrchu se objevily v 60. letech minulého století. Vývojem CAD a počítačové grafiky se do popředí zájmu dostaly technické vizualizace strojů, např. letadel, motorů atd. První náznaky vizualizace zemského povrchu byly spojeny s vývojem softwaru pro letecké simulátory, kdy se v GIS začala používat technologie TIN pro reprezentaci zemského povrchu. V následujících 20 letech se reprezentace povrchu používala velmi málo. V současné době se 3D vizualizace zemského povrchu dostala do profesionální sféry. Stala se součástí mnoha odvětví, například architektury a civilního inženýrství. Využívá

se ve filmových efektech a animacích. V průběhu let dochází k přibližování CAD aplikací s GIS technologiemi. Proto vznikají aplikace, které posouvají virtuální 3D vnímání světa do reálné podoby.

V posledních 10 letech se používání 3D modelů dostalo do běžné praxe. Dříve se převážně používaly fyzické modely, které sloužily pro vizualizaci. Dnes jsou modely využívány jako médium, zejména pro prezentace, kde jde o snahu přiblížit projekt široké veřejnosti. [6,7]

2.2 Fyzický a virtuální model

Fyzickým modelem rozumíme zmenšenou popř. zvětšenou kopii objektu. Může být tvořena z modelovací hlíny nebo pomocí 3D tiskáren. Důležitým parametrem je měřítko. Geometrie modelu je vytvořena zmenšením nebo zvětšením jednotlivých objektů tvořících model. Zmenšováním a zvětšováním může docházet ke zkreslení daného objektu.

Fyzický model umožňuje vizualizaci dat a jejich bližší zkoumání. Postup má určitě své výhody i některá omezení. S použitím fyzického modelu lze dobře nasimulovat prostředí, které je velmi náročné na virtuální vizualizaci. Jde především o vizualizaci, kde je kladen důraz na světlo a tmou. Vyjádřit tento popisovaný jev ve virtuální podobě je značně náročný grafický proces, vyžadující detailní modelující metody, obsahující složité výpočetní algoritmy náročné na výkon počítače. Při použití fyzických modelů nelze vždy dosáhnout velké míry detailu při 3D vizualizaci. Použití fyzického modelu se uplatňuje převážně v oblasti architektury.

Virtuálním modelem rozumíme digitální reprezentaci fyzických objektů, které lze následně použít pro 3D vizualizaci v rámci počítačových prezentací. [8] 3D virtuální modely mohou být vytvářeny následujícími způsoby:

- překreslením na základě původních (stavebních) plánů,
- na základě měřených dat,
- novým projektováním.

Pro tvorbu virtuálního modelu je možné použít modelovací aplikace nebo značkovací jazyky, kterými je virtuální model popsán. Značkovací jazyky zprostředkují vizualizaci virtuálních modelů v internetu.

2.3 Formáty CAD (Computer-Aided Design)

Nejnámější formou reprezentace 3D dat jsou CAD formáty, které splňují standard ISO 13567-1/3. Jedná se o počítačovou technologii, která umožňuje projektování a grafické zobrazení informací. CAD aplikace pracuje s grafickými, geometrickými a matematickými nástroji, které slouží pro kresbu 2D výkresů a modelování 3D objektů. Pro tvorbu modelů se využívá aplikací, jakými jsou Autodesk AutoCAD 2009, SolidWorks, ArchiCAD, Microstation atd. Vytvořený model může být uložen do souboru *.dxf nebo *.dwg, který je společný pro všechny CAD aplikace. Tento soubor je v binární nebo textové (ASCII) formě. [19]

2.3.1 DXF formát

Vektorový formát DXF (Drawing Interchange File Format nebo také Drawing Exchange Format) byl navržen společností AutoDesk pro její aplikaci AutoCAD. Původně se mělo jednat o formát, který měl zajišťovat komunikaci jen mezi aplikacemi AutoCAD. Formát DXF se natolik rozšířil, že dále zajišťoval přenos dat mezi aplikací AutoCAD a ostatními CAD aplikacemi, které nebyly vyvinuty společností AutoDesk. Postupem času se stal nativní součástí vyvíjených modelovacích aplikací.

Vektorová data mohou být ve formátu DXF uložena ve dvou formách. První forma je textová. V tomto případě mají soubory *.dxf strukturovaný ASCII formát. Druhá forma je binární. Její výskyt je méně častý, ale soubory uložené v této podobě jsou kratší (cca 20 % velikosti textové varianty, konkrétní hodnoty se mohou lišit podle typu ukládaných výkresů) a mnohem rychleji se načítají. Soubory uložené v binární formě DXF mají většinou koncovku *.dxb (Drawing Binary Interchange File Format), můžeme se však setkat i s příponou *.dxf, což není zcela korektní, protože některé programy a operační systémy rozeznávají typy souborů pouze podle jejich přípony. V současné době existuje velké množství verzí DXF formátu, nejčastější verze odpovídá exportu z AutoCad R12. [19]

2.3.2 DWG formát

DWG je nativní uzavřený formát vyvinutý společností Autodesk pro aplikaci AutoCAD. Všechny výkresy rýsované v AutoCADu jsou ukládány do souboru s příponou *.dwg. Od vzniku tohoto formátu, který se datuje do 70. let minulého století, bylo vytvořeno více než 18 variant.

V roce 1998 vznikla organizace Open Design Alliance, jejímiž členy jsou např. společnosti Adobe, Bentley, Esri, Oracle, Intergraph atd., které vytvořily OpenDWG standard. Ten má sloužit jako výměnný formát DWG pro CAD aplikace. Standard zajišťuje rozšíření v používání DWG formátu nejen v produktech společnosti AutoDesk, ale napříč spektrem mnoha ostatních aplikací, které jsou schopny na základě standardu OpenDWG mezi sebou spolupracovat. [13]

2.4 VRML (Virtual Reality Modeling Language)

VRML je grafický formát založený na programovacím jazyce, který slouží k popisu 3D scén a objektů s nimi spojených. VRML může popisovat pasivní i aktivní objekty, tzn. že lze vyjádřit 3D realitu pomocí statických nebo dynamických jevů. K popisu scény je použit strom s hierarchickou strukturou. Definice objektů jsou v uzlech a listech tohoto stromu. Jazyk VRML byl vytvořen pro tvorbu a popis virtuální reality. V současné době není tolik využíván, protože je nahrazen nově vyvíjeným formátem X3D.

Ve VRML 1.0 se texty zapisují pomocí ASCII kódování. Ve verzi VRML97 je již možné použít kódování UTF-8. Obsah VRML je uložen do souboru *.wrl. GIS aplikace umožňují uložení dat do tohoto formátu. [20]

Ukázka VRML kódu:

```
#VRML V2.0 utf8
# Shape { appearance Appearance { material Material { diffuseColor 0.827451 0.827451 0.827451 } }
  geometry IndexedFaceSet {
    normalPerVertex FALSE
    solid FALSE
    coord Coordinate {
      point [
-824822.65624544967 370.61603458668105 1072009.4580259202,
-824844.0639244552 370.61603458668105 1071994.3203064897,
-824822.64764604322 370.61603458668105 1072008.2493702569 ] }
    normal Coordinate {
      point [ 0.00000, 0.00000, -1.00000 ] } coordIndex [ 0,1,2,-1 ] } }
```

2.5 COLLADA (COLLABorative Design Activity)

COLLADA je otevřený výměnný formát vyvíjený konsorciem Khronos Group, který zajišťuje vzájemnou komunikaci aplikací pracujících s 3D daty. COLLADA formát je založen na XML schématu, což umožňuje jeho použití ve všech sférách, které XML podporují. Data přenášena mezi aplikacemi jsou uložena v textovém souboru *.dae. Formát je užíván společností Google pro vizualizaci dat ve své aplikaci Google Earth.

Více o formátu na: <http://www.khronos.org/collada/>

Ukázka COLLADA kódu:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<COLLADA xmlns="http://www.collada.org/2005/11/COLLADASchema" version="1.4.1">
<asset>
<unit name="meters" meter="1.0"/>
<up_axis>Z_UP</up_axis>
</asset>
<geometry id="mesh1-geometry" name="mesh1-geometry">
<mesh>
<source id="mesh1-geometry-position">
<float_array id="mesh1-geometry-position-array" count="15">-8.450898 -1.990486 39.530400 -18.751211 -14.939754
23.400000 4.498370 -12.290799 23.400000 -21.400167 8.309828 23.400000 1.849415 10.958783 23.400000 </float_array>
<technique_common>
<accessor source="#mesh1-geometry-position-array" count="5" stride="3">
<param name="X" type="float"/>
<param name="Y" type="float"/>
<param name="Z" type="float"/>
</accessor>
</technique_common>
</source>
<vertices id="mesh1-geometry-vertex">
<input semantic="POSITION" source="#mesh1-geometry-position"/>
</vertices>
<triangles material="material_0_16" count="4">
<input semantic="VERTEX" source="#mesh1-geometry-vertex" offset="0"/>
<input semantic="NORMAL" source="#mesh1-geometry-normal" offset="1"/>
<p>0 0 1 0 2 0 3 1 1 1 0 1 4 2 0 2 2 2 0 3 4 3 3 3 </p>
</triangles>
</mesh>
</geometry>
</COLLADA>
```

2.6 GML (Geography Markup Language) a CityGML

Geography Markup Language (GML) je značkový jazyk založený na bázi jazyka XML. Slouží k uložení a přenosu geografických informací obsahujících geometrii a současně specifické vlastnosti geografických prvků. GML verze 3.2.1 splňuje normu ISO 19136 vydanou Open Geospatial Consortium (OGC) jako mezinárodní standard. GML poskytuje základní doménové popř. komunitní specifikace, tzv. aplikační schémata, která zajišťují

podporu v různých oblastech zájmu. [5] Z těchto schémat, splňujících normu ISO, se následně tvoří např. nadstavby¹:

- CityGML,
- Climate Science Modelling Language (CSML),
- digital weather Geography Markup Language (dwGML),
- Tsunami Warning Markup Language (TWML),
- Aeronautical Information Exchange Model (AIXM-GML).

CityGML je otevřený datový model a formát založený na XML, který slouží k tvorbě a výměně virtuálních 3D městských modelů. Je implementován jako aplikační schéma Geography Markup Language verze 3.1.1 (GML3). GML3 je rozšířený mezinárodní standard pro výměnu prostorových dat, vydaný společenstvím OGC a organizací ISO (ISO TC211). CityGML je založeno na několika základních dokumentech ISO 191xx, OGC a dalších (konsorcium W3C, konsorcium Web 3D,...).

CityGML definuje třídy a vztahy pro nejvýznamnější topografické objekty v městských modelech s ohledem na jejich geometrické, topologické, sémantické a vizuální vlastnosti. Základní třídou všech objektů je CityObject, všechny další objekty dědí její vlastnosti. Na rozdíl od jiných 3D vektorových formátů je CityGML založen na informačním modelu obsahujícím geometrii a grafické prvky, kterými lze vyjádřit geografická data v podobě 3D městského modelu. Na modelu je možné provádět jednoduché analýzy a simulace. To vše lze použít v architektuře a designu, turistických aktivitách, mobilních komunikacích, v otázce národní bezpečnosti, navigaci, leteckých simulátorech atd. [2]

Ukázka GML kódu:

```
<gml:Polygon>
<gml:outerBoundaryIs>
<gml:LinearRing>
<gml:coordinates>0,0 100,0 100,100 0,100 0,0</gml:coordinates>
</gml:LinearRing>
</gml:outerBoundaryIs>
</gml:Polygon>
<gml:Point>
<gml:coordinates>100,200</gml:coordinates>
</gml:Point>
<gml:LineString>
<gml:coordinates>100,200 150,300</gml:coordinates>
</gml:LineString>
```

¹ Úplný výčet nadstaveb dostupný na: <http://www.ogcnetwork.net/node/210>

2.7 Prohlížeče Země (Earth browsers)

K zobrazení 3D dat jsou vytvářeny aplikace, které jsou přizpůsobeny pro potřeby vizualizace zájmových dat z různých odvětví a oborů (GIS, designérství, architektury, strojírenství atd.). Řešení této diplomové práce je zaměřeno na vizualizaci geografických dat v aplikaci Google Earth. Tento prohlížeč byl zvolen z důvodu jeho rozšířenosti v oblasti IT a dominantního postavení mezi ostatními prohlížeči. Byly vybrány dva prohlížeče Země a vyzkoušeny jejich možnosti a funkce pro vizualizaci 3D. Je nutné si uvědomit, že virtuální 3D vizualizace je převážně otázkou počítačové grafiky. Většina prohlížečů je proto postavena na 3D grafickém systému a ve své podstatě fungují jako počítačové hry. Prostředí, do kterého jsou data vložena, simuluje reálný svět.

2.7.1 Microsoft Virtual Earth

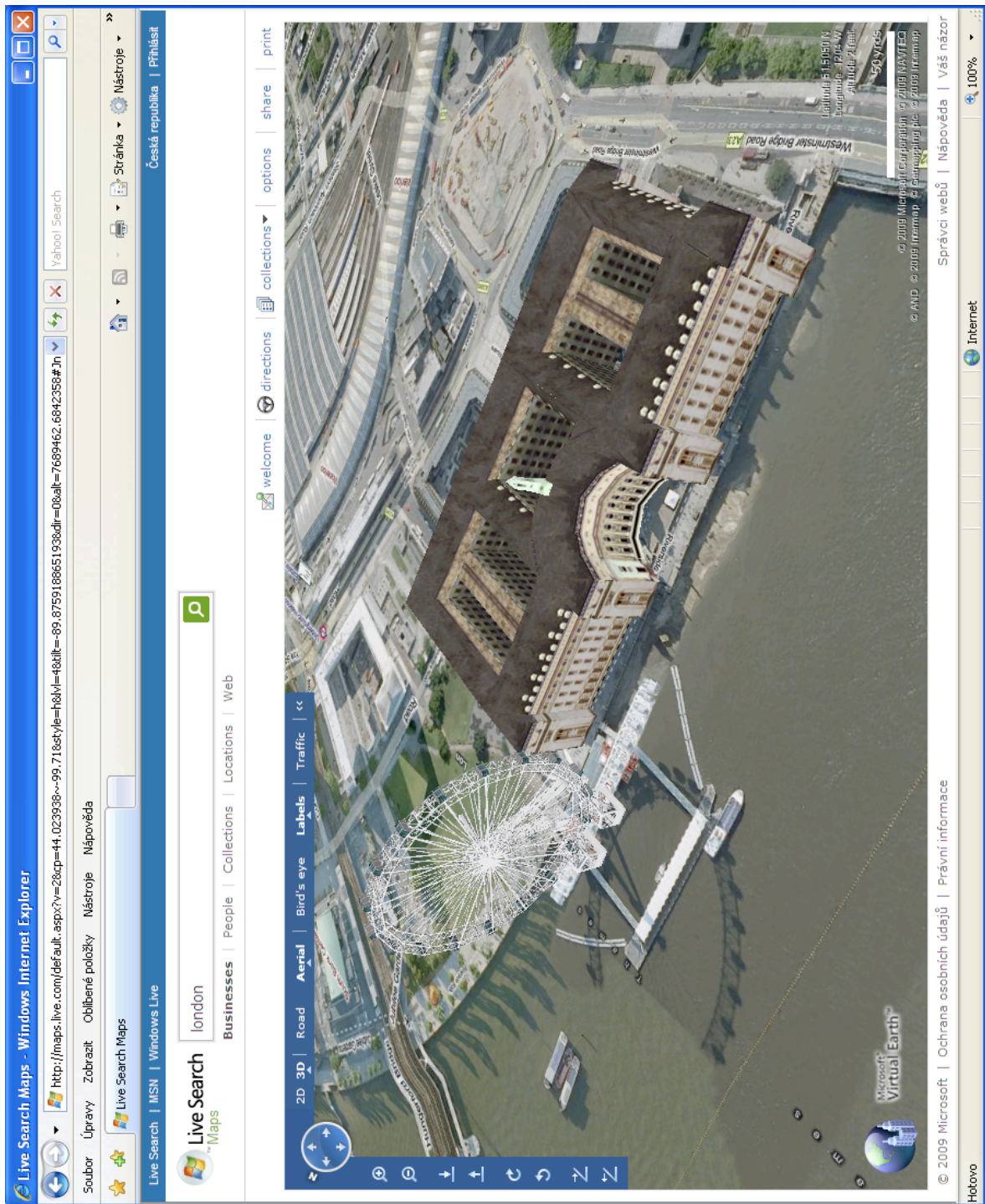
Virtual Earth je platforma, do které jsou integrovány služby umožňující práci s geografickými daty, jejich organizací a vizualizací. Je tvořena třemi službami:

- Virtual Earth Map Control
- Virtual Earth Web Services
- MapPoint Web Services.

Platforma je po instalaci integrovaná do webového prohlížeče (Internet Explorer, Firefox, Opera atd.) s použitím doplňku Virtual Earth 3D. Umožňuje prohlížení klasické topografické mapy a ortofotomapy v režimu 2D. Virtual Earth 3D nabízí možnost přepnutí do 3D režimu, kdy se stává z Virtual Earth tzv. prohlížeč Země. Virtual Earth řeší 3D vizualizaci pomocí funkce Bird's Eye nebo vložení 3D modelu. Vizualizace při použití funkce Bird's Eye je zajištěna technologií Photosynth, která pracuje s velkým množstvím leteckých snímků nasnímaných z několika úhlů. Tak vznikne izometrický pohled na území. Funkce Bird's Eye je převážně používána v zastavěných územích. Do aplikace Virtual Earth je možno vkládat virtuální 3D modely budov vytvořené aplikací 3DVia, která je primární pro tvorbu modelů pro tuto platformu. [9] Vykreslení 3D objektů v režimu online při práci s Virtual Earth je poměrně časově náročné. Závisí na rychlosti internetového připojení, grafickém adaptéru a

procesoru počítače. V porovnání s aplikací Google Earth je produkt Microsoftu pomalý a práce s ním je málo efektivní.

Microsoft se snaží vytvořit konkurenci pro aplikaci Google Earth. Do vývoje produktu Virtual Earth investuje nemalé finanční prostředky, kterými zajišťuje přísun dat v podobě mapových podkladů, ortofotografických map, družicových map a leteckých snímků. [11] Virtual Earth ve své současné beta verzi nedosahuje svými funkcemi kvalit Google Earth. Chybí zde např. možnosti použití datových nebo informačních vrstev pro následnou vizualizaci. Pozitivem této aplikace je zmíněná funkce Bird's Eye. Platforma Virtual Earth je stále ve fázi vývoje a je otázkou času, kdy se stane plnohodnotným prohlížečem.



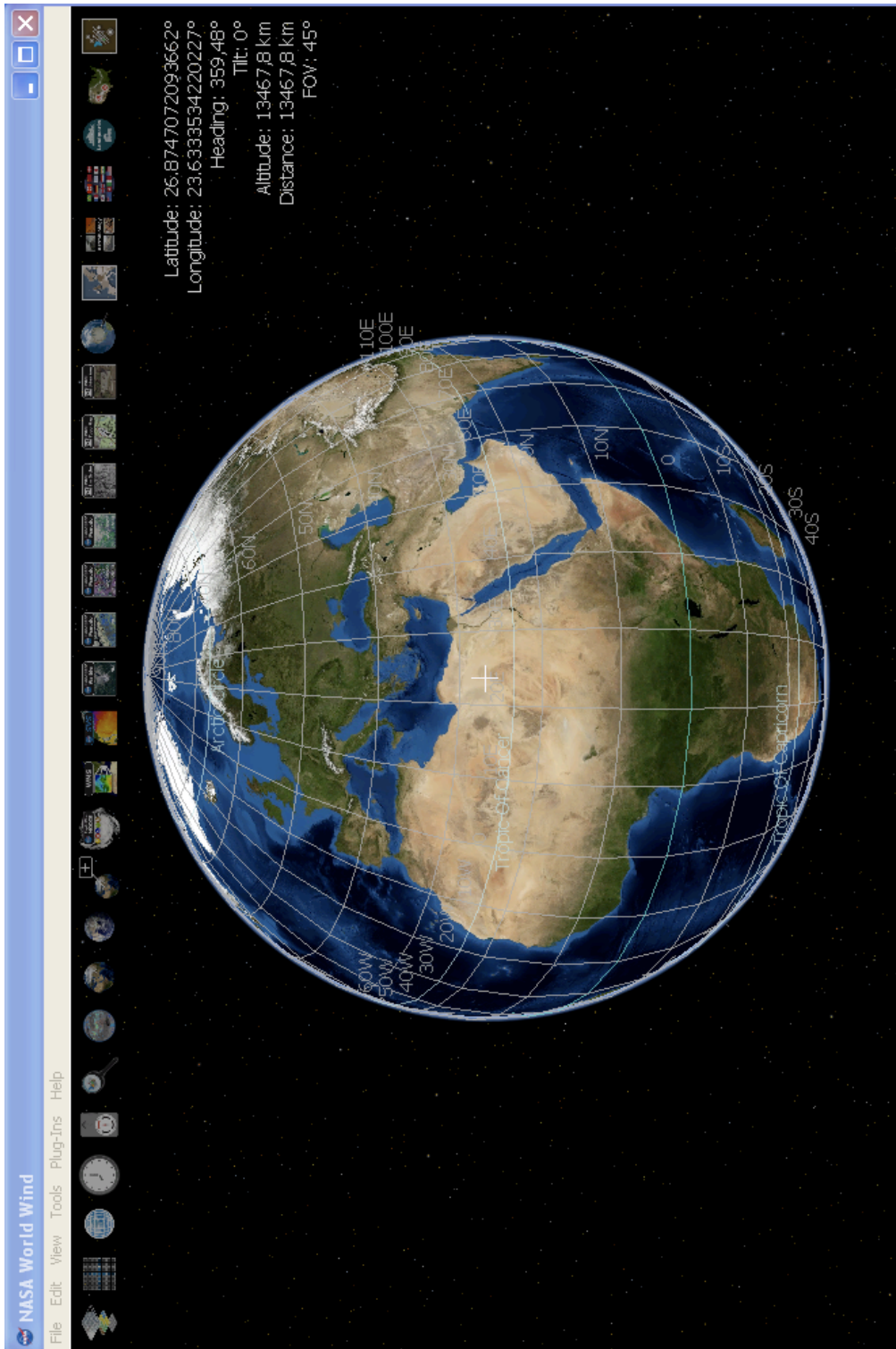
Obr. 1 Microsoft Virtual Earth – 3D virtuální model London Eye

2.7.2 NASA World Wind

Dalším prohlížečem Země je open source (otevřený zdrojový kód) aplikace NASA World Wind, která byla v roce 2004 vytvořena jako první aplikace tohoto druhu. Umožňuje vizualizaci na základě datových podkladů NASA a USGS. Jedná se o družicové a letecké snímky, topografické mapy a volně dostupná GIS data. Její další funkcí je zobrazování objektů naší Sluneční soustavy. World Wind umožňuje prohlížet mapy a geografická data s použitím OGC WMS serverů, dále podporuje import ESRI shapefile a KML/KMZ souborů. Tento prohlížeč je převážně zaměřen na vizualizaci dat spjatých se Spojenými státy americkými (USA) a globálními jevy na Zemi. Při zapnutí vrstvy ortofota nad územím USA, lze získat detailní zobrazení daného území. Nad územím Evropy chybí vrstva ortofota úplně nebo je detail rozlišení pouze 15 m na pixel (pro představu, aplikace Google Earth pracuje v rozlišení 0,2 m na pixel pro Českou republiku). Zajímavou funkcí je možnost zobrazit povrch anaglyficky². S použitím 3D brýlí, je terén zpracován uvedenou technikou, vizualizován v 3D podobě. [10]

Tento prohlížeč je vhodný k vizualizaci geografických dat zaměřených na přírodní jevy a vesmír.

² technika umožňující stereoskopické vnímání obrazu



Obr. 2 – NASA World Wind

2.7.3 Google Earth

Google Earth je interaktivní mapová aplikace. Umožňuje uživatelům pracovat s virtuální podobou Země. Tu tvoří družicové snímky, 3D objekty a jiné prvky. Jedná se o open source aplikaci, která byla představena v roce 2005 společností Google. Google Earth je samostatná multiplatformní aplikace, využívající internetové připojení pro svoji plnou funkčnost. Hlavním úkolem aplikace Google Earth je umožnit vizualizaci zájmových dat, která jsou uložena v databázích na serveru Google. Data jsou vizualizována pomocí vrstev a každá obsahuje specifický druh dat. Základní vrstvy aplikace Google Earth jsou:

- Terrain
- Geographic Web
- Roads
- 3D Buildings
- Street View
- Borders and Labels
- Traffic
- Weather
- Gallery
- Ocean
- Ocean
- Global Awareness
- Places of interest
- More

Obsah těchto vrstev je vytvářen společností Google a jejich partnerů. Jedná se převážně o multimediální druh dat (fotografie). Uživateli aplikace je umožněno rozšiřovat obsah vrstev pomocí Keyhole Markup Language (KML).

Aplikace Google Earth dokáže vizualizovat data v podobě virtuálních 3D modelů budov, které se ukládají do vrstvy 3D Buildings. Zmíněné modely lze tvořit v aplikaci Google SketchUp, která je k tomuto účelu primárně vytvořena. Tvorbou 3D modelů je umožněno rozšiřovat vrstvu 3D Buildings. Dochází tak k neustálému nárůstu dat.

Google Earth pracuje v ekvidistantním válcovém zobrazení³. Je použit referenční elipsoid WGS84. Rovnoběžky a poledníky jsou na sebe kolmé. Souřadnice jsou udány ve formě sférických (φ , λ) popř. v UTM. K vizualizaci 2D nebo 3D dat je třeba zajistit, aby byla v souřadnicovém systému, který je použit v aplikaci Google Earth. V opačném případě data nelze zobrazit. [6]

³ další možné názvy: Equirectangular projection, Plate Carreé, Plane chart



Obr. 3 Google Earth – London Eye

2.8 Shrnutí kapitoly

V této kapitole byly popsány způsoby reprezentace geografických prostorových dat, které byly použity při řešení této diplomové práce. Uvedené datové formáty CAD se začínají používat v GIS. ⁴ Společnost Autodesk (jeden z největších tvůrců CAD aplikací) vytvořila aplikaci LandXplorer Studio Professional, která umožňuje vizualizaci prostorových dat uložených v prostorových databázích Oracle Spatial nebo ArcSDE. [1]

V kapitole byly popsány pouze základní informace o jednotlivých prohlížečích službách pro pochopení jejich vlastností a funkcí. Nebyly popsány do detailů, protože detailní informace jsou součástí manuálu ke zvoleným aplikacím. V případě potřeby je možno požadované informace vždy dohledat na níže uvedených adresách:

- Microsoft Virtual Earth: <http://www.microsoft.com/virtualearth/>
- NASA World Wind: <http://worldwind.arc.nasa.gov/>
- Google Earth: <http://earth.google.com/>

⁴ poznámka autora

3 Historie a možnosti Keyhole Markup Language (KML)

3.1 Historie

V roce 2001 byla založena společnost Keyhole Inc. se zaměřením na vývoj softwaru pro zpracování a vizualizaci geografických dat. Keyhole Inc. vyvinula nový značkový jazyk KML umožňující práci s geografickými daty. Za účelem vizualizace geografických dat byla společností Keyhole Inc. vytvořena aplikace Earth Viewer, dnes známá pod jménem Google Earth. V roce 2004 se Keyhole Inc. stala součástí společnosti Google. Tímto spojením připadly veškeré technologie společnosti Google. Technologie jsou v současnosti implementovány v aplikacích Google Maps, Google Maps for mobile a Google Earth. [21]

14. dubna 2008 členové Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC) schválili standard OpenGIS® KML 2.2 Encoding Standard. Schválení zajistilo přechod KML do otevřeného standardu, který bude pod kontrolou OGC. Z hlediska vývoje KML to byl pro OGC a Google velmi důležitý krok vpřed. KML se stal jediným mezinárodním standardizovaným jazykem pro popis a vizualizaci geografických dat v již existujících nebo nově vzniklých webových mapových aplikacích a prohlížečích Země. [14] KML je v dnešní době široce používaný jazyk podporovaný různými aplikacemi. Jsou to např. Microsoft Virtual Earth, Microsoft WorldWide Telescope, NASA WorldWind, ESRI ArcGis Explorer, Adobe PhotoShop, Autodesk AutoCAD a Yahoo! Pipes. Použití KML neustále narůstá.

KML je značkový jazyk, který vznikl na základě Extensible Markup Language (XML). KML se dá označit za „lidmi-čitelný jazyk“ (human-readable language). Může být vytvářen a editován v základních textových editorech. Textový obsah se ukládá do souboru *.kml. Hlavním úkolem KML je zprostředkovat reprezentaci geografických dat v prostředí webových mapových aplikací nebo prohlížečích Země. KML nese informaci o tom, co má být zobrazeno a jak se tato data mají zobrazit. Z tohoto pohledu KML doplňuje většinu klíčových OGC standardů, kterými jsou GML (Geography Markup Language), WFS (Web Feature Service) a WMS (Web Map Service). V současné době dostupná verze KML 2.2 využívá některých geometrických prvků získaných z GML 2.1.2. Těmito prvky rozumíme point (bod), line string (linie), linear ring (polylinie) a polygon (polygon). OGC a Google se dohodly, že

pro harmonizaci KML a GML použijí s výhledem do budoucna stejnou geometrickou reprezentaci. [1, 8]

3.2 Možnosti využití KML

Využití KML je velmi různorodé a flexibilní. Převážná část uživatelů, pracujících s aplikací Google Earth, je schopna vytvořit *KML prezentaci*, tedy soubor *.kml, který při vizualizaci bude identifikovat uživatelem definované místo – bydliště, trasu plánované expedice, trasu letadla z Prahy do New Yorku atd. Architekti a developerské agentury mohou použít KML pro vizualizaci stavebních plánů. Z vědeckého hlediska může být KML použito pro tématické mapování geografických jevů. V současné době dochází ve světě GIS k propojení dat pomocí KML a k implementaci KML v GIS a CAD aplikacích.

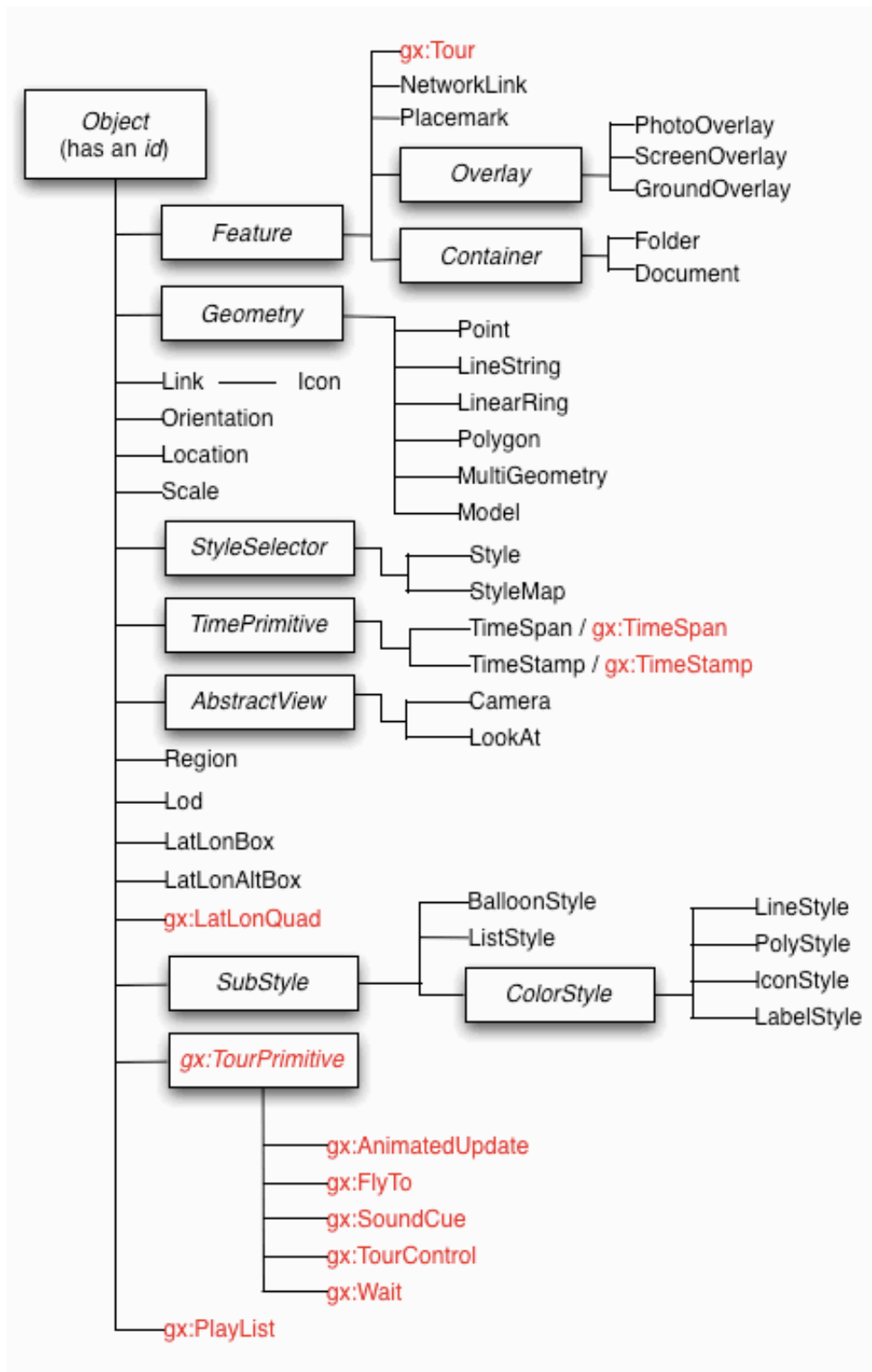
Pro vytvoření *KML prezentace* existuje možnost přímého použití aplikaci Google Earth nebo libovolného textového editoru. Při použití textového editoru se vytváří obsah *KML prezentace* formou KML syntaxe. Při uložení vytvořeného KML kódu je nezbytná změna přípony na *.kml. Chceme-li vytvořit *KML prezentaci* s velkým obsahem externích dat, je vhodné vytvořit *KMZ archive*. [21]

3.3 KMZ archive

KMZ archive je komprimovaná forma *KML prezentace* při použití ZIP komprese. Všechna data spojená s *KML prezentací* jsou zkomprimována do jednoho souboru s příponou *.kmz. *KML prezentaci* „zazipujeme“. Tento proces proběhne ve chvíli, kdy *KML prezentace* obsahuje velké množství externích dat. Jedná se o rastry, vektorová data a 3D modely. Pro vizualizaci *KMZ archivu* musí mít koncový uživatel k dispozici aplikaci podporující jazyk KML, např. aplikaci Google Earth. *KMZ archive* je z důvodů své komprese mnohem menší než původní kolekce dat tvořící *KML prezentaci*. Aplikace Google Earth je schopna přímo pracovat s prezentacemi ve formátu KML a KMZ a umožňuje vytváření a ukládání *KML prezentací* do obou zmíněných formátů [21].

KMZ archive je možno vytvářet na různých platformách (Mac OS, Linux, Windows) za použití nástrojů pro ZIP kompresi. Vytvořený formát ZIP souboru s příponou *.zip je nutné přejmenovat na příponu *.kmz.

4 Struktura KML



Obr. 4 Struktura KML

4.1 Placemark

Pro označení a popis místa se v KML používá element `<Placemark>`. Nejznámější podoba tohoto elementu je žlutý špendlík umístěný nad zájmovým územím v aplikaci Google Earth. Element `<Placemark>` je tvořen třemi potomky:

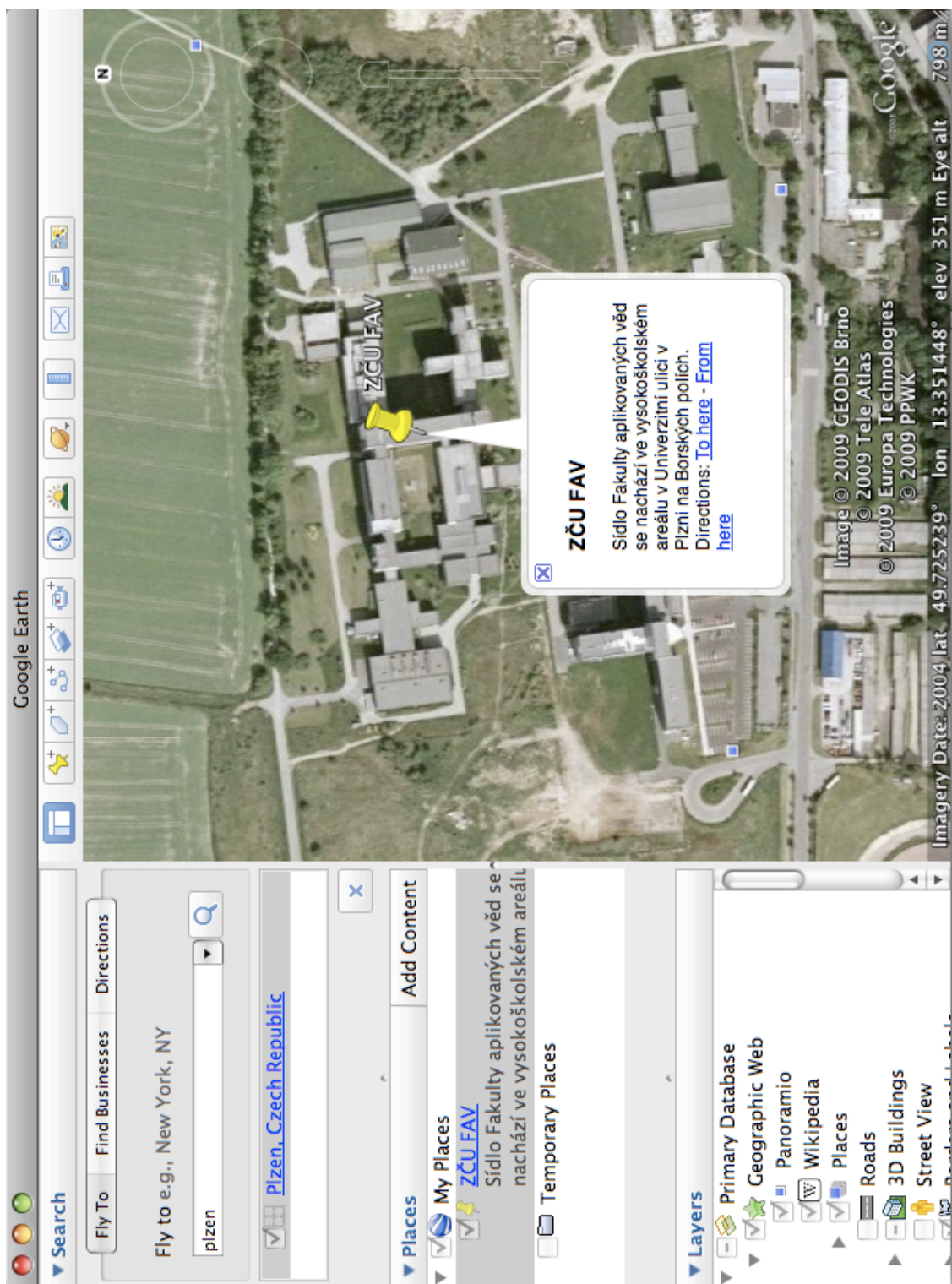
- `<name>` – Pojmenuje placemark.
- `<description>` – Vytvoří text popisující informace o placemarku.
- `<Point>` – Obsahuje element `<coordinates>`, který nese informace o zeměpisné délce, zeměpisné šířce a výšce.

`<Placemark>` je spojen s elementem `<Point>`. Jde o jediný možný způsob zobrazení bodové značky, která představuje označení místa a jeho popis. Element `<Placemark>` může obsahovat jeden nebo více elementů geometrie: `<LineString>`, `<Polygon>`, `<Model>`, `<LinearRing>` nebo `<MultiGeometry>`. Pokud je použit placemark např. s elementem `<Polygon>` a vyžaduje se pojmenování nebo popis místa, je potřeba přidat element `<Point>`. Vytvoří se element `<MultiGeometry>`, do kterého jsou vloženy elementy `<Polygon>` a `<Point>`.

Pokud nebude použit element `<Point>`, nebude placemark souřadnicově určen a zobrazí se jen pojmenování a popis umístěný v levém dolním rohu zobrazovacího okna aplikace Google Earth. Pokud není vyžadován popis a pojmenování místa, není potřeba element `<Placemark>` použít. [21]

Příklad KML kódu Placemark:

```
<name>placemark.kml</name>
<Placemark>
  <name>ZČU FAV</name>
  <description>Sídlo Fakulty aplikovaných věd se nachází ve vysokoškolském areálu v Univerzitní ulici v Plzni na Borských polích.</description>
  <styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
  <gx:balloonVisibility>1</gx:balloonVisibility>
  <Point>
    <coordinates>13.35134105226702,49.72507505981373,0</coordinates>
  </Point>
</Placemark>
</Document>
</kml>
```



Obr. 5 Placemark – Žlutý špendlík

4.2 Geometrie ve struktuře KML

Potomky abstraktního datového typu *Geometry* jsou elementy:

- `<Point>`
- `<LineString>`
- `<LinearRing>`
- `<Polygon>`
- `<MultiGeometry>`
- `<Model>`

Těmito elementy lze definovat geometrii vizualizovaných geografických dat. Vytvořenou geometrii lze spojit s elementem `<Placemark>`. Souřadnice elementů `<Point>`, `<LineString>`, `<LinearRing>`, `<Polygon>` primárně definují tvar zobrazovaného jevu. Souřadnice jsou zapsány přímo v kódu *KML prezentace*. Element `<Model>` nedefinuje geometrii geografických dat, ale obsahuje informace o 3D modelu, kterým jsou geografická data reprezentována.

Další elementy ovlivňující vizualizaci geografických dat jsou:

- `<altitudeMode>` – Definuje jak jsou vyjádřeny výšky.
- `<extrude>` – Definuje protažení tvaru geometrie k povrchu Země.
- `<tessellate>` – Definuje, jak moc lze rozdělit dlouhé linie na kratší části tak, aby dobře kopírovaly zemský povrch. [21]

4.2.1 Souřadnicový referenční systém

Každý prvek geometrie je prostorově určen pomocí souřadnicového systému. V KML je výchozí systém World Geodetic System (WGS), konkrétně WGS84. Výškový systém je definován na základě elipsoidu WGS84 a geoidu WGS84 EGM96.

Souřadnice zeměpisné délky jsou definovány od -180° do $+180^\circ$, kde hodnota 0° je nultý (Greenwichský) poledník. Směrem na západ od nultého poledníku nabývá zeměpisná délka záporných hodnot $\langle 0^\circ, -180^\circ \rangle$. Na východ nabývá hodnot kladných $\langle 0^\circ, +180^\circ \rangle$.

Souřadnice zeměpisné šířky jsou definovány od -90° do $+90^\circ$, kde hodnota 0° je Zemský rovník. Směrem na sever od rovníku nabývá zeměpisná šířka kladných hodnot $<0^\circ, +90^\circ>$. Na jih nabývá hodnot záporných $<0^\circ, -90^\circ>$.

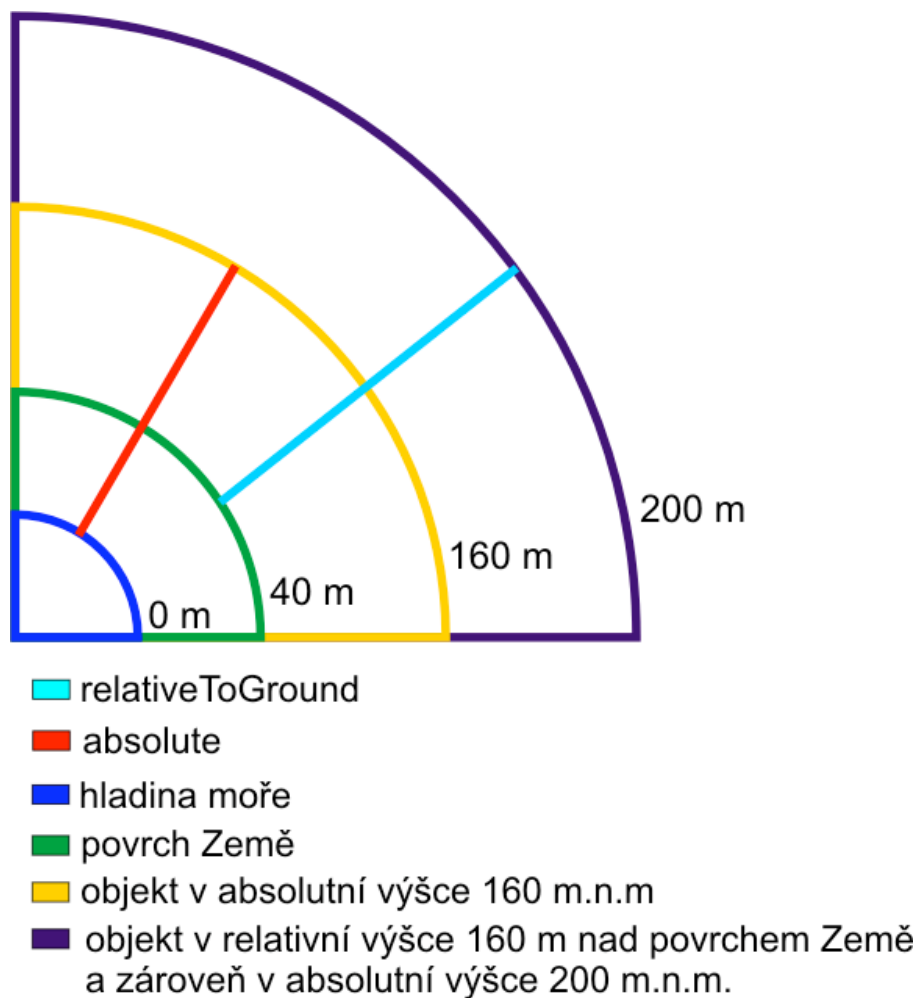
Výška je v KML definována jako vzdálenost bodu od nulové hladinové plochy – hladiny moře. Její hodnota je udána v metrech. Výška může být vyjádřena několika způsoby, které definují polohu objektu.

Element *<altitudeMode>* může být určen těmito elementy (viz obr. 6):

- *<clampToGround>* – Je výchozí nastavení, kdy je zanedbána výška. Geometrie je přímo zobrazena na povrchu Země.
- *<relativeToGround>* – Nastavuje výšku geometrie tak, že je odvozena od aktuální výšky povrchu Země, tzn., že zadanou výšku připočítá k výšce zemského povrchu v daném místě.
- *<absolute>* – Nastavuje výšku od hladiny moře bez ohledu na výšku zemského povrchu. Může se tedy stát, že daná geometrie nebude zobrazena, protože se nachází pod povrchem země.

Souřadnice pro geometrii se zapisují do elementu *<coordinates>*. Zápis probíhá v pořadí zeměpisná délka, zeměpisná šířka, výška. Tento vztah se používá pro elementy *<Point>*, *<LineString>*, *<LinearRing>*, *<Polygon>*. Element *<Model>* je umístěn pomocí *anchor point* (kotevní bod), který představuje počátek pro definici souřadnic pomocí elementů *<longitude>*, *<latitude>*, *<altitude>*. Pro lokalizaci modelu je použito elementu *<Location>*.

[21]



Obr. 6 Způsoby vyjádření výšek

Příklad zápisu souřadnic pro bod:

```

<point>
<coordinates>13.37368988961526,49.74077122371547,126</coordinates>
</point>

```

Příklad zápisu souřadnic pro model:

```

<Location>
<longitude>13.353612568621</longitude>
<latitude>49.723726803986</latitude>
<altitude>0.000000000000</altitude>
</Location>

```

4.2.2 Line String

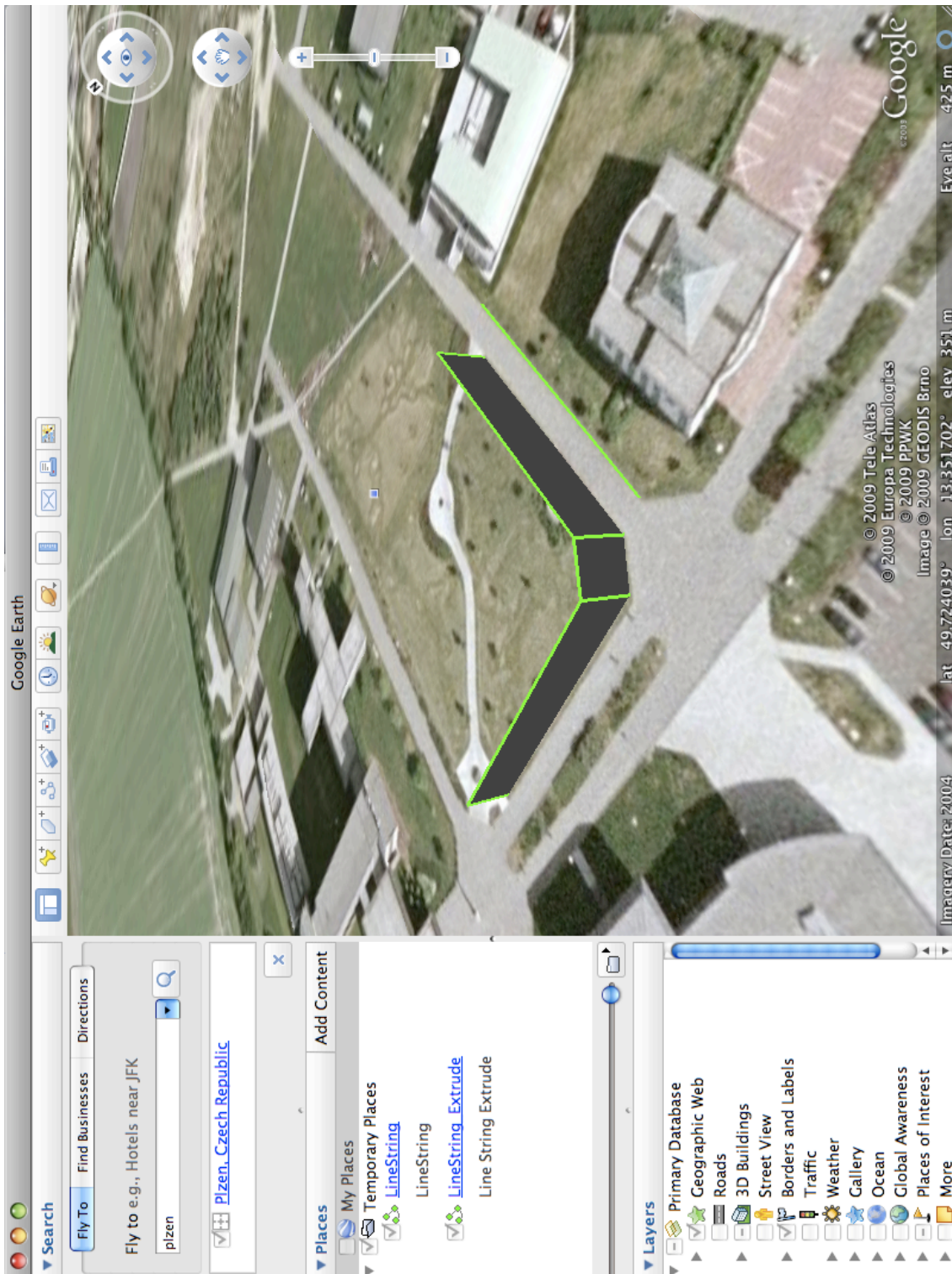
Element geometrie `<LineString>` je tvořen minimálně dvěma body se zadanými souřadnicemi. Každé dva po sobě jdoucí body jsou spojeny linií. Tento element lze použít při popisu liniových geografických dat. Používá se při zobrazení průběhu hranice územím, pro zobrazení lomů tektonických oblastí atd. Element `<LineString>` je možné rozšířit o element `<LineStyle>`, který definuje styl kresby pro zobrazení daného jevu geografických dat. Lze zadat barvu a tloušťku linie.

Pro korektní zobrazení linie elementem `<LineString>` je nutné zvolit pro `<altitudeMode>` hodnotu `clampToGround`. Linie je tak zobrazena přímo na zemský povrch. Jsou-li souřadnice bodů tvořících v prostoru linii daleko od sebe, může jejich spojnice procházet pod zemským povrchem (nebude viditelná). V tomto případě je nutné použít element `<tessellate>`, který chybu odstraní. U blízkých bodů tato chyba nenastane.

Pro zvýraznění liniové geometrie lze použít element `<extrude>`, který umožní protáhnout prostorově určenou linii k zemskému povrchu. Je nutné zadat `<altitudeMode>` na hodnotu `<relativeToGround>`. Vznikne tak 3D hraniční linie (viz obr. 7). [21]

Příklad zápisu kódu linie s použitím `extrude`:

```
<LineString>
<extrude>1</extrude>
<tessellate>1</tessellate>
<altitudeMode>absolute</altitudeMode>
<coordinates>
13.35198036363487,49.72397570092267,360.0000000000001
13.35135625507042,49.72391183312685,360.0000000000001
</coordinates>
</LineString>
```



Obr. 7 Line String a Line String extrude

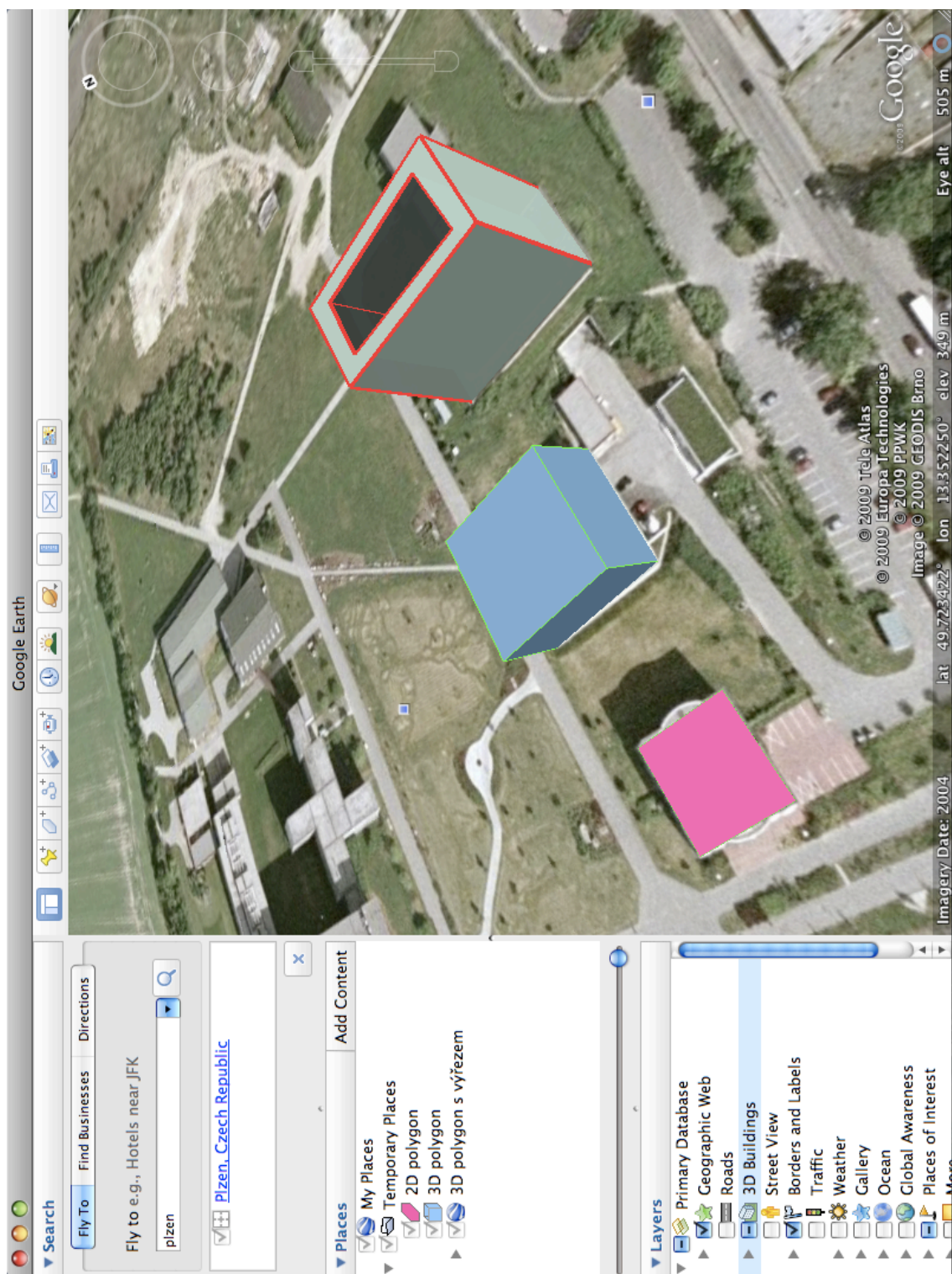
4.2.3 Polygon

Uzavřené plošné tvary, tvořené minimálně třemi liniovými segmenty, se nazývají polygony. V KML se polygony reprezentují elementem geometrie `<Polygon>`. Hranice polygonu jsou tvořeny výčtem souřadnicově určených bodů zapsaných do elementu `<LinearRing>`, kde je počáteční a koncový bod totožný. Tímto způsobem lze tvořit tzv. jednoduché polygony, které reprezentují souvislou plochu. Pokud je potřeba vytvořit složitější typ polygonu s výřezem, je nutné rozlišit hranice polygonu na inner boundary (vnitřní hranice) a outer boundary (vnější hranice). Pro inner boundary je použit element `<innerBoundaryIs>`. Do něj jsou zapsány souřadnice bodů tvořících vnitřní hranici polygonu, resp. vnější hranici výřezového polygonu. Element `<outerBoundaryIs>` je použit pro označení vnější hranice polygonu. Do tohoto elementu jsou zapsány souřadnice bodů, které tvoří vnější hranici polygonu.

Pro zvýraznění specifického druhu geografických dat lze polygonům přiřadit styl zobrazení. Pro tento účel je použit element `<Style>`, do kterého se definuje styl zobrazení hraniční linie polygonu a výplň polygonu. Element `<LineStyle>` definuje tloušťku a barvu linie, element `<PolyStyle>` barvu výplně. Tímto způsobem lze tvořit 2D polygon nebo 3D polygon. Pro vytvoření 3D polygonu je použito elementu `<extrude>` (viz výše). [21]

Příklad zápisu kódu polygonu:

```
<Placemark>
<name>hollow box</name>
<Style>
<LineStyle>
<color>ff2c11ff</color>
<width>4</width>
</LineStyle>
<PolyStyle>
<color>f7ebffd5</color>
</PolyStyle>
</Style>
<Polygon>
<extrude>1</extrude>
<altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
<outerBoundaryIs>
<LinearRing>
<coordinates>13.35314511589209,49.72341838433975,40
13.35351930054239,49.7234533706997,40
13.35339695939436,49.7238904900298,40
13.35304689841314,49.72385619937129,40
13.35314511589209,49.72341838433975,40
</coordinates>
</LinearRing>
</outerBoundaryIs>
<innerBoundaryIs>
<LinearRing>
<coordinates>
13.35318743057934,49.72347007799982,40
13.35344403950327,49.72350194659774,40
13.35334960198277,49.72383041164392,40
13.35312273661482,49.72381174993221,40
13.35318743057934,49.72347007799982,40
</coordinates>
</LinearRing>
</innerBoundaryIs>
</Polygon>
</Placemark>
```



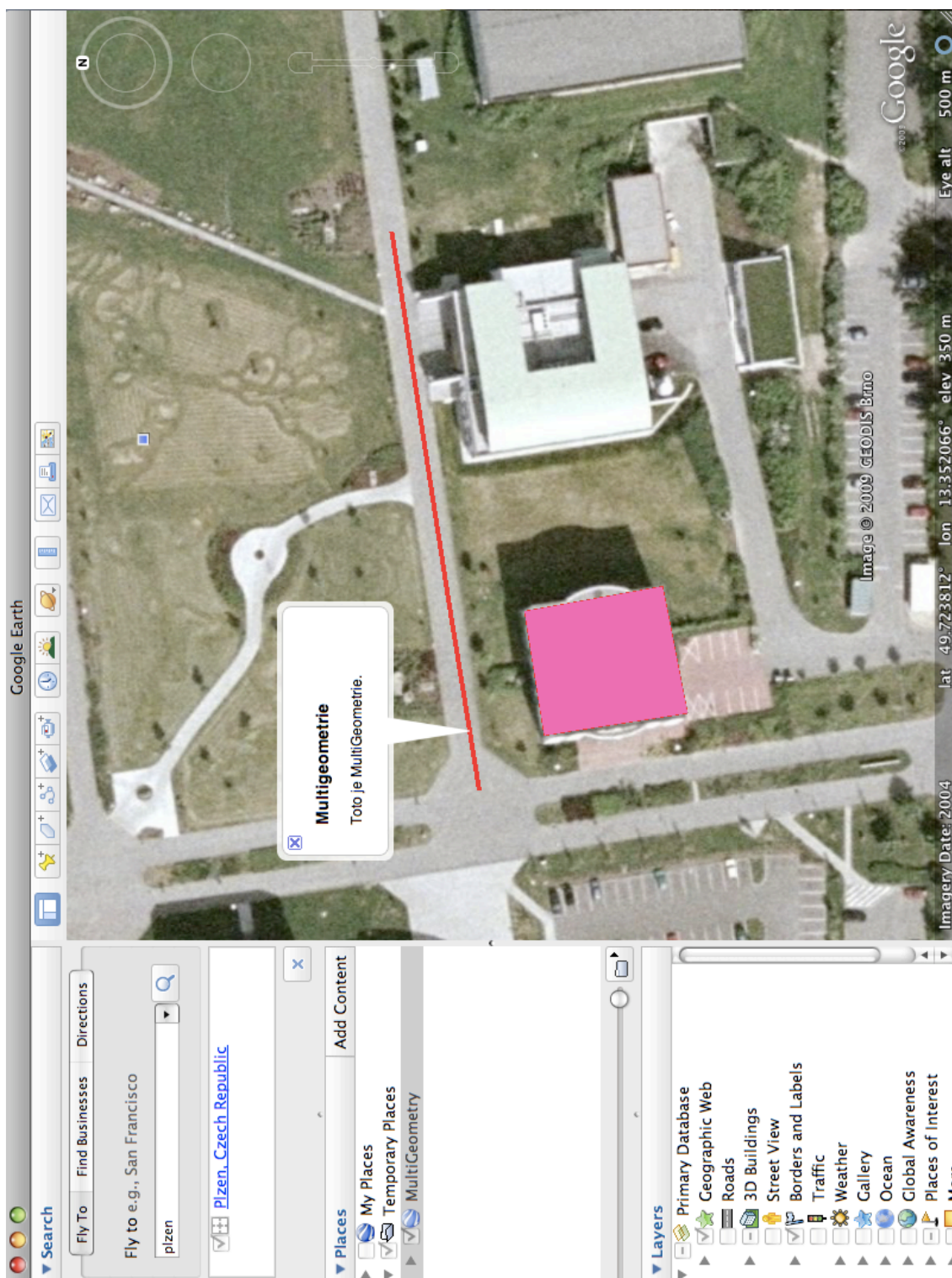
Obr. 8 Polygon, Polygon 2D a 3D Polygon s výřezem

4.2.4 MultiGeometrie

Element `<MultiGeometry>` slouží jako kontejner pro více prvků geometrie, které reprezentují geografická data. `<MultiGeometry>` obsahuje elementy geometrie vyjadřující daný jev pomocí své kombinace. Se všemi prvky je pracováno jako s jedním celkem. [21]

Příklad zápisu kódu multigeometrie:

```
<MultiGeometry>
<styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
<gx:balloonVisibility>1</gx:balloonVisibility>
<LineString>
<tessellate>1</tessellate>
<coordinates>
    13.35125616275922,49.72386346816698,0
    13.3517327985977,49.72391371077309,0
    13.35234137671634,49.72397504608112,0
    13.3527021268243,49.72401159554142,0
</coordinates>
</LineString>
<Polygon>
<tessellate>1</tessellate>
<outerBoundaryIs>
<LinearRing>
<coordinates>
    13.35145292419958,49.72351612624465,0
    13.35178128099202,49.72355782586966,0
    13.35171676902947,49.72378883145142,0
    13.35139535117351,49.72375591907748,0
    13.35145292419958,49.72351612624465,0
</coordinates>
</LinearRing>
</outerBoundaryIs>
</Polygon>
</MultiGeometry>
```

Obr. 9 Multigeometrie

4.3 Model

Element *<Model>* ve smyslu KML umožňuje do aplikace Google Earth import 3D virtuálních modelů. Pracuje stejně jako ostatní druhy geometrie, stojí vždy jako potomek elementů *<Placemark>* a *<MultiGeometry>*. V KML je možnost importovat virtuální 3D modely budov, mostů, historických památek a jiných objektů našeho zájmu. Modely jsou reprezentovány ve výměnném datovém formátu COLLADA. Mohou být tvořeny např. v aplikacích Autodesk 3D Studio Max, Maya nebo Softimage XSI. Vytvořený 3D model v těchto aplikacích je definován v odlišném souřadnicovém systému. Z tohoto důvodu musí dojít ke korektnímu georeferencování.

Souřadnice definující geometrii 3D modelu nejsou součástí KML prezentace. Jsou definovány v externím COLLADA souboru. Ten lze vytvořit ve zmíněných aplikacích. Z tohoto COLLADA souboru je odkazováno na připojené textury tvořící model. Ty jsou uloženy v podobě rastru ve formátu JPEG. *KML prezentace* 3D modelu obsahuje COLLADA soubor *.dae, složku s texturami a řídicí soubor *.kml. Vše je zkomprimované do *KMZ archivu*.

Existuje také možnost oddělit 3D model od *KML prezentace*. Aby to bylo možné, nesmí být *KML prezentace* ve formě *KMZ archivu*. COLLADA soubor a složku s texturami je možno uložit na externí server. Na data je možné odkázat z řídicího souboru, tedy z *KML prezentace*. Uvedenou operací dojde ke zmenšení velikost *KML prezentace* a všechna data jsou načítána do Google Earth prohlížeče ze zvoleného externího zdroje, ze serveru. Pro potřebu vizualizace náročnějších objektů nebo dat větších velikostí je uvedena varianta řešení, i když je závislá na rychlosti internetového připojení. [21]

Další elementy rozšiřující element *<Model>* jsou:

- *<Location>* – Definuje počáteční umístění modelu na zemském povrchu (kotevní bod).
- *<Orientation>* – Definuje rotaci modelu.
- *<Scale>* – Definuje měřítko modelu.
- *<ResourceMap>* – Definuje propojení textur odkazovaných z původního COLLADA souboru na textury uložené v *KMZ archivu*.

4.3.1 Umístění modelu (Location)

Element *<Location>* udává polohu umístění pro daný 3D model. Potomci tohoto elementu jsou *<longitude>*, *<latitude>* a *<altitude>*. 3D model je umístěn na zemském povrchu v souřadnicovém systému WGS84 pomocí tzv. anchor point (kotevní bod), který je reprezentován jako počátek souřadnicového systému modelu (0, 0, 0), ke kterému se vztahují elementy *<longitude>*, *<latitude>* a *<altitude>* (viz kap. 4.2.1 a 4.3.1). [21]

4.3.2 Orientace modelu (Orientation)

Model se v aplikaci Google Earth orientuje pomocí kotevního bodu, který je počátkem souřadnicového systému definující samotný model. Při umístění modelu osa *x* směřuje na východ, osa *y* směřuje k severu a osa *z* směřuje k zenitu.

Pro umístění modelu v aplikaci Google Earth je možná 3D rotace. Rotaci umožní následující elementy:

- *<heading>* – Definiuje rotaci kolem osy *z*. Princip je stejný jako při měření azimutu, kdy hodnota rotace 0° znamená, že model je orientován osou *y* na sever. Rotace vyjádřená hodnotou 90° určuje orientaci na východ, hodnota 180° orientuje model k jihu a hodnota 270° orientuje model na západ.
- *<tilt>* – Definiuje rotaci kolem osy *x*. Orientace v kladném smyslu je ve směru hodinových ručiček, rotace probíhá kolmo na směr osy *x*. Hodnoty rotace jsou od -180° do $+180^\circ$.
- *<roll>* – Definiuje rotaci kolem osy *y*. Orientace v kladném smyslu je ve směru hodinových ručiček, rotace probíhá kolmo na směr osy *y*. Hodnoty rotace jsou od -180° do $+180^\circ$. [21]

4.3.3 Měřítko modelu (Scale)

Měřítko modelu je definováno pomocí elementu *<Scale>*, který obsahuje číselné hodnoty *<x>*, *<y>* a *<z>*. Hodnoty představují souřadnicové osy 3D modelu a specifikují protažení nebo zkrácení modelu v daném směru. Pokud *<x>*, *<y>* a *<z>* nabývají hodnoty 1,

model je v původní velikosti. Hodnoty menší než 1 zkracují daný model ve zvoleném směru. Hodnoty větší než 1 zapříčiňují protažení modelu v daném směru. Element *<Scale>* může být použit, pokud je 3D model vytvořen v aplikaci používající jiný souřadnicový systém než aplikace Google Earth, ke ztotožnění měřítek. [21]

4.3.4 Resource Map

Původní soubor COLLADA *.dae obsahuje odkazy na textury, které jsou použity v modelu. Element *<ResourceMap>* zprostředkovává propojení mezi původním umístěním texturových souborů a jejich novým umístěním v rámci *KML* nebo *KMZ prezentace*, která obsahuje model i textury. Tím je zajištěna možnost přesunu popř. přejmenování souboru textury bez nutnosti aktualizace v původním COLLADA souboru. [21]

4.3.5 Shrnutí kapitoly

Tato kapitola popisuje možnosti KML pro reprezentaci a vizualizaci geografických dat. Jsou zde popsány principy a způsoby, jakými lze 3D data zobrazovat. Není zde řešena vizualizace 2D dat, protože náplní této práce je vizualizace 3D dat. Detailnější popis vizualizace 2D dat v KML je možné vyhledat na adrese:

<http://code.google.com/apis/kml/documentation/kmlreference.html#resourcemap>

5 Fotogrammetrické vyhodnocení Fakulty elektrotechnické ZČU

K získání dat pro vizualizaci budovy elektrotechnické fakulty byla zvolena metoda fotogrammetrického vyhodnocení leteckých snímků. Jedná se o bezkontaktní metodu sběru dat, kde nedochází k přímému kontaktu měřiče s měřeným objektem. Měřený objekt je zaznamenán na obrazové médium a záznam je později zpracován. Tyto metody jsou využity v dálkovém průzkumu Země, fotogrammetrii a laserovém skenování.

Důvodem volby metody fotogrammetrického vyhodnocení byla rychlost získání dat a její vyzkoušení jako výchozí metody pro sběr a následnou vizualizaci zájmových dat v 3D podobě.

5.1 Výhody a nevýhody bezkontaktních metod

Výhodou bezkontaktních metod je získání dat v relativně krátké době, měřená data lze považovat za homogenní. Při leteckém snímkování rozsáhlé oblasti jsme schopni získat data mnohem rychleji, než při použití klasických měřických metod. Rychlost sběru dat je vhodná pro zdokumentování aktuálního stavu dané oblasti k určitému datu. Upřednostňuje se např. k dokumentaci povrchových dolů nebo pro zachycení stavu po přírodních katastrofách.

Nevýhodou leteckého snímkování je závislost na počasí. Při leteckém snímkování je nutná velmi dobrá viditelnost, a proto je prováděno podrobné plánování, kdy snímkování zahájit. Pro vyhodnocování DMR snímkování probíhá v období vegetačního klidu. Při tvorbě ortofotomapy probíhá v době vegetační aktivity, kdy nejsou sluncem vytvářeny dlouhé ostré stíny.

Další nevýhodou bezkontaktních metod sběru dat je rychlé stárnutí dat. Rychlost stárnutí souvisí s obsahem zájmové oblasti a podrobností dat. Pokud oblast mění svůj krajinný ráz, což může být ovlivněno urbanizací, výstavbou silnic, těžbou nerostných surovin nebo již zmíněnými přírodními katastrofami, pořízená data stárnou rychleji než v oblastech bez tohoto efektu. [12, 15, 16]

5.2 Postup vyhodnocení

Vyhodnocení leteckých snímků bylo provedeno v programu ERDAS Imagine. Veškeré postupy při vyhodnocení byly provedeny podle manuálu [4] této aplikace a na základě postupu popsaného v diplomové práci Stanislava Olivíka. [12] Z citované diplomové práce je částečně převzat i následující text. Letecké snímky a potřebná data (prvky vnější orientace) pro triangulaci snímků byla získána od firmy Georeal spol. s r. o. – oddělení fotogrammetrie.

5.2.1 Stereoskopická dvojice

Řídící soubor:

Na začátku tvorby virtuálního 3D modelu je zapotřebí vytvořit z dvojice leteckých fotogrammetrických snímků stereoskopickou dvojici. Postup tvorby je shodný s klasickou leteckou fotogrammetrií, jen s tím rozdílem, že je zajišťován digitálními prostředky. Stereoskopickou dvojicí 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 při pozorování stereoskopický vjem. To znamená, že terén zachycený na snímcích se jeví plasticky (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.

Při založení nového projektu je zapotřebí zadat parametry nutné pro správné vytvoření modelu (stereoskopické dvojice). Těmito parametry jsou geometrický model komory, projekce (zde kartografické zobrazení včetně souřadnicového systému), používané jednotky a parametry komory. Dále je potřeba zadat pracovní jednotky. Jako délkové jednotky byly zvoleny metry, jako úhlové pak stupně. Poslední se při zakládání nového projektu zadávají informace týkající se parametrů orientace komory, a to rotační systém a směr fotografování. Rotační systémy jsou nabízeny tři: ω, φ, κ ; $\varphi(+), \omega, \kappa$; $\varphi(-), \omega, \kappa$. V klasické letecké fotogrammetrii se využívá systém ω, φ, κ . Směry fotografování (směr osy záběru) jsou nabízeny dva: ve směru osy Z (pro leteckou fotogrammetrii) a ve směru osy Y (pro pozemní fotogrammetrii).

Parametry snímku:

Parametry snímku jsou zadány v okamžiku vložení snímků do projektu. 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. Následuje editace parametrů jednotlivých snímků (typ a parametry komory, hodnoty vnitřní orientace, hodnoty vnější orientace). Byly zadány parametry komory.

Vnitřní orientace:

Vnitřní orientace spočívá v odsunutí souřadnic rámových značek na snímku. 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.

Vnější orientace:

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 ω , φ , κ natočení osy záběru vzhledem ke kolmici. Vnější orientace se provádí pomocí identifikace vlíčovacích bodů ve snímcích a následnou triangulací. Tyto body mají známé souřadnice X, Y, Z v cílové souřadnicové soustavě. Následně se spouští proces aerotriangulace. Během tohoto procesu se dopočítá vnější orientace snímků. [12] Prvky vnější orientace pro účel této práce byly získány společně s leteckými snímky. Proběhlo tedy jejich načtení do projektu.

5.2.2 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 (*.blk). Výhodou tohoto postupu je fakt, že v souboru s příponou *.blk jsou již uloženy všechny potřebné informace. Modul sám nabízí uživateli předdefinované třídy objektů rozdělené tematicky do několika kategorií (např. silnice a s nimi spojené objekty). Třídy slouží

k logickému rozřídění 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), je možno si vytvořit vlastní třídu objektů. Třídy je možné uložit do vektorového formátu shapefile (*.shp), který je nativním formátem software ArcGIS.

Pro vyhodnocení byla použita základní třída Building 1, vybraná z kategorie objektů. Ke zlepšení přehlednosti při vyhodnocování bylo použito barevné odlišení výplně polygonů a jejich průhlednost. Pro pravoúhlé objekty (střechy) se osvědčilo použití funkce *Right Angle Tool*, která zajistí pravoúhlost polygonů reprezentujících vyhodnocované hrany objektů. Vyhodnocené polygony, které představovaly střechy budov, byly spojeny se zemí (protáženy do polohy představující půdorys) pomocí funkce 3D Polygon Extend Tool. Tím vznikl 3D model budovy. Model byl následně zobrazen pomocí funkce 3D Feature View, kde je možnost nahlédnout na model v podobě 3D. Důležitou vlastností této funkce je uložení vyhodnoceného modelu do podoby VRML (*.wrl).

Vyhodnocená data pomocí modulu StereoAnalyst mohou být ukládána resp. exportována dvěma způsoby. Prvním možným způsobem je uložení do podoby shapefile (*.shp). Druhým zmíněným způsobem je export do VRML. V této fázi vznikla otázka, který postup bude vhodnější. Bylo zvoleno uložení prostřednictvím VRML, je rychlejší a jednodušší. Odůvodnění je uvedeno v následující kapitole 6.1.

5.3 Přesnost stereoskopického vyhodnocení

Výpočet přesnosti stereoskopického vyhodnocení vycházel z diplomové práce Hany Šnebergerové. [18] Bylo nutné stanovit střední chybu m'_{xy} , která je výsledkem souhrnu dílčích vzájemně nezávislých chyb. Její hodnota je dána vztahem:

$$m'_{xy} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2}$$

Vzorec obsahuje následující střední chyby:

typ střední chyby	hodnota (mm)
m_1 – výslednice rozlišovací schopnosti systému fotografického objektivu	0.005
m_2 – způsobena nepravidelnou místní deformací filmové podložky negativu	0.005
m_3 – vzniká náhodně v důsledku neurovnání filmu v okamžiku expozice	0.004
m_4 – přesnost vyhodnocení	0.014

Tabulka 1 Druhy středních chyb

Přesnost vyhodnocení m_4 byla vypočítána na základě přesnosti skenování leteckých snímků a přesnosti vyhodnocení. Geometrická přesnost skeneru je stanovena na 2 mikrometry. Tato hodnota byla uvažována při výpočtu. Přesnost nastavení kurzoru pro dobře identifikované body je stanovena na 0,7 pixelu. Velikost jednoho pixelu je 0,014 mm.

Z důvodů nezkušenosti při stereoskopickém vyhodnocování, je uvažována hodnota přesnosti nastavení kurzoru 1 pixel. Celková střední chyba dosáhne hodnoty:

- $m'_{xy} = 0,016$ mm

V případě snímkování širokoúhlou kamerou o ohniskové vzdálenosti $f = 152$ mm a měřítku snímků 1 : 23 000 dosahují hodnoty charakterizujících vnitřní přesnost aerotriangulace $m_{xy} = 0,14$ m a $m_z = 0,175$ m, kde m_{xy} je střední souřadnicová chyba a m_z je střední výšková chyba ve skutečnosti. Střední chyba horizontální paralaxy je stanovena na $m'_{px} = 0,007$ mm. [18]

Tyto hodnoty jsou převzaty z průzkumu přesnosti určovaných bodů na leteckém snímku 1 : 23 000 pro Plzeňský kraj. Jsou stanoveny jako výchozí pro určení absolutní přesnosti. Je předpokládáno, že tyto hodnoty nebudou překročeny při použití leteckých snímků 1 : 17 320, se kterými bylo pracováno.

Absolutní přesnost na snímcích 1 : 17 320 v určení přesnosti prostorové polohy bodů digitální aerotriangulací je:

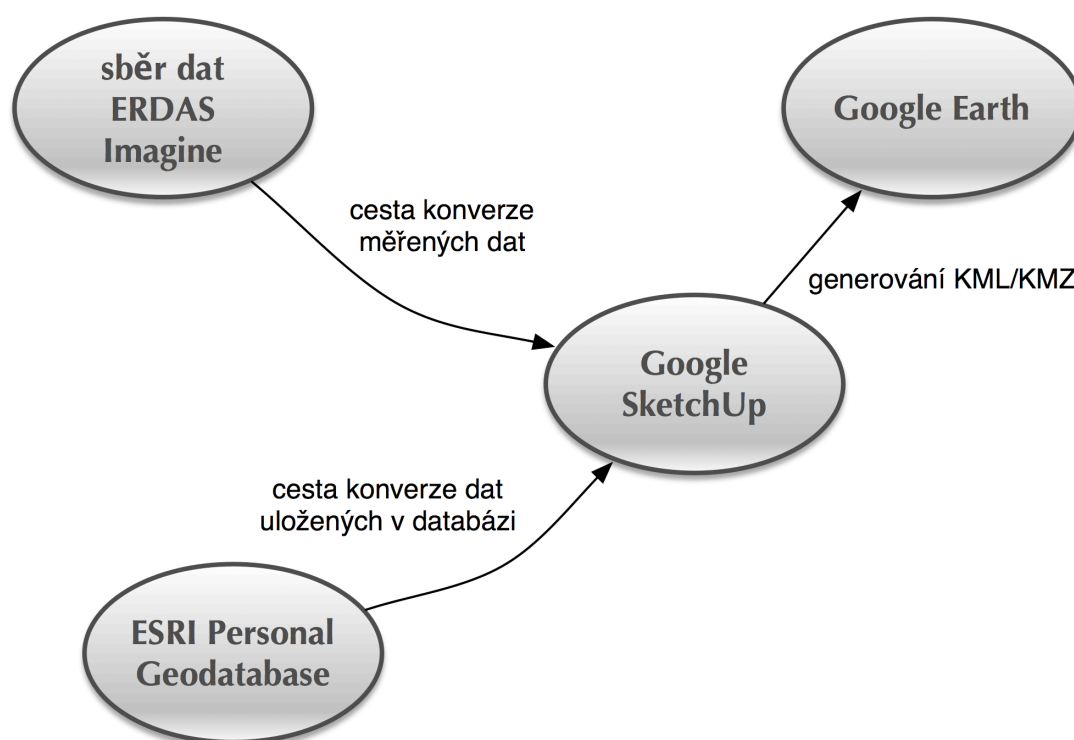
$$m_{xy} = \sqrt{m_{xy}^2 + (m'_{xy} - M_s)^2} \quad m_z = \sqrt{m_z^2 + (m'_{px} \cdot B \cdot M_s)^2}$$
$$m_{xy} = 0,31 \text{ m} \quad m_z = 0,48 \text{ m}$$

5.4 Shrnutí kapitoly

Tato kapitola popisuje první etapu praktické části. Je zde uveden proces sběru dat v aplikaci ERDAS Imagine metodou stereoskopického vyhodnocení leteckých snímků. Software ERDAS Imagine nenabízel při zadání projekce český národní souřadnicový systém S-JTSK. Z tohoto důvodu bylo je nutné nahradit S-JTSK jiným pravoúhlým souřadnicovým systémem. Byl zvolen kartézský pravoúhlý souřadnicový systém. Souřadnice vyhodnocených dat odpovídaly souřadnicím S-JTSK. Vyhodnocená data byla uložena do formátu VRML. Byla spočítána přesnost vyhodnocení. Polohová přesnost je 31 cm. Výšková 48 cm. Hodnoty přesnosti jsou pro účely vizualizace měřených dat dostačující.

6 Konverze prostorových dat

Aby bylo možné vizualizovat 3D data v aplikaci Google Earth bylo zapotřebí zjistit jak převést měřená data do takové formy, aby byla kompatibilní s aplikací Google SketchUp. Tato aplikace je výchozí pro generování formátu KML/KMZ, se kterým aplikace Google Earth pracuje. Následující schéma (obr. 10) popisuje řešenou problematiku.



Obr. 10 Schéma konverze dat

Prvotně byly zjištěny možnosti konverze měřených dat mezi aplikacemi ERDAS Imagine a Google SketchUp. Tato data primárně reprezentují exteriér budovy Fakulty elektrotechnické. Bylo třeba zajistit, aby 3D data vstupující do Google SketchUp byla korektní, tzn., aby nedošlo k případné ztrátě dat (geometrie) vlivem použitých konverzí, které budou popsány dále v textu. V okamžiku, kdy správně proběhla konverze a 3D data byla korektně importována do Google SketchUp, byl splněn hlavní úkol popisovaného procesu. Google SketchUp následně vygeneroval KML/KMZ soubor, který nese informace o 3D datech. Otevřením souboru v aplikaci Google Earth došlo k vizualizaci 3D dat.

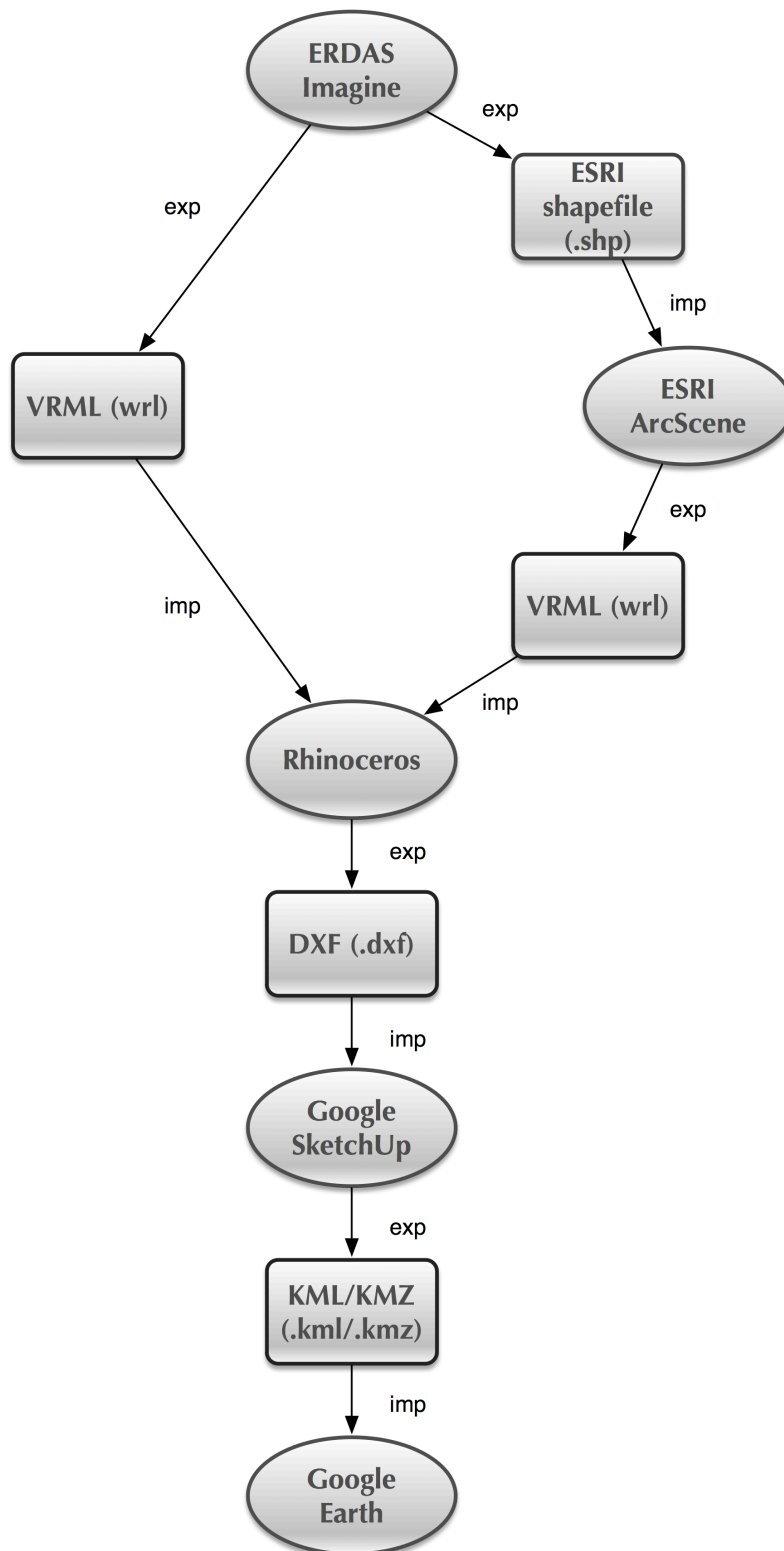
Dále byla řešena varianta konverze 3D dat mezi ESRI Personal Geodatabase při použití aplikace ESRI ArcScene a již zmíněnou aplikací Google SketchUp. V této variantě data uložená v databázi reprezentují interiéry a exteriéry budovy. Tento postup konverze byl řešen z důvodu potřeby vizualizace historických objektů pro účely památkové péče.

6.1 Konverze měřených dat

Veškeré aspekty konverze měřených dat jsou ukázány na schématu (viz obr. 11), kde jsou popsány vztahy aplikací a jejich datových vstupů a výstupů. ERDAS Imagine – modul StereoAnalyst nabízí export dat do následujících formátů:

- shapefile (*.shp),
- VRML (*.wrl).

Zmíněné formáty byly výchozí pro nalezení vhodné cesty, kterou následná konverze probíhala.



Obr. 11 Schéma konverze měřených dat

6.1.1 Formát shapefile (*.shp)

Shapefile (*.shp) je možno importovat do ESRI ArcMap. V aplikaci ArcMap se importovaný shapefile zobrazí ve 2D podobě, protože tento modul neumí pracovat s daty, která nesou třetí rozměr. Pro účel 3D zobrazení dat je možno použít aplikaci ArcScene, do které lze importovat zmíněný formát shapefile. V tomto prostředí jsou opět zobrazena data ve 2D podobě. Je možné použít nástroj *extrusion* sloužící k přidání složky třetího rozměru. Je nutné napevno zadat Z souřadnici (nadmořskou výšku), do které mají být objekty (v našem případě polygony reprezentující střechy budovy) vytaženy. Nástroj *extrusion* pracuje stejně jako funkce *3D Polygon Extend Tool*, která byla použita při vyhodnocení v programu ERDAS Imagine (viz kap. 5.2.2). Tímto procesem dostaneme 3D podobu objektu, který lze následně uložit. Aplikace ArcScene nabízí přímé uložení do VRML (*.wrl).

6.1.2 Formát VRML (*.wrl)

Druhý formát, do kterého lze uložit data ve StereoAnalyst, je VRML (*.wrl). Uložení je možné provést pouze při použití funkce *3D Feature View*. V této fázi je výchozí pozice stejná, jako při použití ESRI ArcScene. Úkony provedené v ArcScene byly totožné s úkony provedenými ve StereoAnalyst. Byly použity nástroje plnící stejnou funkci. Výsledkem je formát VRML (*.wrl), který je následně konvertován. Ze zmíněných důvodů byl zvolen postup ukládání dat do formátu VRML (*.wrl) již v modulu StereoAnalyst, jelikož je postup rychlejší a celkový výsledek je stejný.

6.1.3 Konverze VRML do DXF

Data uložená ve formátu VRML bylo nutné v dalším kroku převést do CAD formátu DXF. Formát DXF byl zvolen z důvodu jeho využití při importování 3D dat do aplikace Google SketchUp. Pro konverzi byla použita aplikace Rhinoceros 4.0 (dále jen Rhino), která je k dispozici v učebnách Fakulty aplikovaných věd. Je možné použít jiný konvertor podporující tuto konverzi. Rhino byl zvolen, protože katedra matematiky ZČU vlastní licence na používání aplikace. Při importu dat v podobě VRML do Rhino se data nezobrazila

korektně. Došlo k záměně souřadnicových os. Z tohoto důvodu musela být provedena záměna souřadnic Z a X v souboru *.wrl. K tomuto účelu je použit příkaz:

```
cat nazev_souboru.wrl | perl -e '@l = <STDIN>; foreach (@l) { if ( /^s+-(\d+\.\d+)+\s+(\d+\.\d+)+\s+(\d+\.\d+)+/ ) { print " $1 $3 $2\n"; } else { print "$_" } } ;'
```

Regulární výraz `/^s+-(\d+\.\d+)+\s+(\d+\.\d+)+\s+(\d+\.\d+)+/` vyhledá souřadnice na pozicích, ve kterých jsou uloženy v souboru *.wrl. Při spuštění příkazu dochází k výměně souřadnic na pozici druhého a třetího sloupce. Příkaz se spouští v konzoli platformy Linux za užití programovacího jazyka Perl.

Původní VRML soubor bez korekce os:

```
geometry IndexedFaceSet {
normalPerVertex FALSE
solid FALSE
coord Coordinate {
point [
824797.33789572772 381.39000404509716 1071993.3814772088,
824779.76111245085 381.46684190956876 1071993.3112213006,
824779.73223983985 381.46684190956876 1072000.5346369492 ] }
```

Nový VRML soubor s korekcí os:

```
geometry IndexedFaceSet {
normalPerVertex FALSE
solid FALSE
coord Coordinate {
point [
824797.33789572772 1071993.3814772088 381.39000404509716
824779.76111245085 1071993.3112213006 381.46684190956876
824779.73223983985 1072000.5346369492 381.46684190956876 ] }
```

Záměnou souřadnic a vytvořením nového souboru v podobě VRML je docíleno správného zobrazení v aplikaci Rhino a následně i v aplikaci Google SketchUp. Po importu nového VRML souboru do Rhino, je nutné znovu uložit tento soubor do formátu DXF. Konverzí vytvořený soubor *.dxf je možné importovat do aplikace Google SketchUp, ve které jsou prováděny další kroky.

6.1.4 Konverze DXF do COLLADA

Tuto konverzi provádí aplikace Google SketchUp při finálním exportu 3D dat do aplikace Google Earth. Vzniká tak soubor ve formátu COLLADA (viz kap. 2.5), kterým jsou reprezentována 3D data. Konverze modelu z DXF do formátu COLLADA probíhá při vytváření KML/KMZ formátu v aplikaci Google SketchUp. Model je uložen do souboru *.dae, který je uložen ve struktuře *KML prezentace*.

6.2 Konverze dat uložených v databázi

K vizualizaci 3D dat v aplikaci Google Earth byla zvolena data uložená v databázi ESRI Personal Geodatabase na základě datového modelu. Tato data reprezentují exteriér a interiér historické budovy (zámek, hrad, atd.) pro účely památkové péče. V databázi uložená data je možné vizualizovat a editovat v aplikaci ArcScene. Úkolem bylo vizualizovat data v aplikaci Google Earth. Při řešení problému byl zvolen postup s využitím CAD formátu DXF, který je možné importovat do aplikace Google SketchUp a následně pak do aplikace Google Earth.

Pro potřeby práce byla vytvořena databáze, která byla následně naplněna smyšlenými daty, na kterých byl postup testován.

6.2.1 Konverze do DXF

3D data, která jsou vizualizována v ArcScene, mohou být reprezentována dvěma typy prvkových tříd. Jedná se o typy polygon a multipatch. Součástí aplikace ArcGIS 9.3 je nástroj pro export uvedených tříd do CAD formátu DXF – Export to CAD. Bylo zjištěno, že tento nástroj neplní svoji funkci. Při použití nástroje Export to CAD dochází k vytvoření *.dxf souboru, jehož obsah po zobrazení neodpovídá výchozím datům, ze kterých bylo DXF tvořeno. Došlo ke ztrátám geometrie původních prvkových tříd. Převážně došlo ke ztrátě prvků geometrie tvořících svíslé objekty (v tomto případě zdi, okna, dveře).

Pro vyřešení popsaných problémů byla použita aplikace Arcv2CAD 5.0 společnosti Guthrie. Tato aplikace byla zvolena, protože v současné době jako jediná řeší problém tzv. 3D

shapefile. Ostatní konvertory řeší pouze 2D shapefile. Arcv2CAD 5.0 je konvertor ESRI shapefile do CAD formátů DXF a DWG. Aplikace nabízí export do všech dosud vydaných verzí DXF a DWG formátu. Pro vytváření *.dxf souboru byla použita nejnovější verze formátu DXF 2007.

V aplikaci ArcScene lze geometrii modelu ukládat do dvou typů tříd – *Polygon* a *Multipatch*. Prvek uložený ve vrstvách třídy *Polygon* je složen z jednoho polygonu. Narozdíl od třídy *Multipatch*, kde je jeden prvek složen z více polygonů. Vrstvy *Multipatch* nelze editovat, ve smyslu změny tvaru, sločování prvků, a tudíž i nelze dělat topologické kontroly.

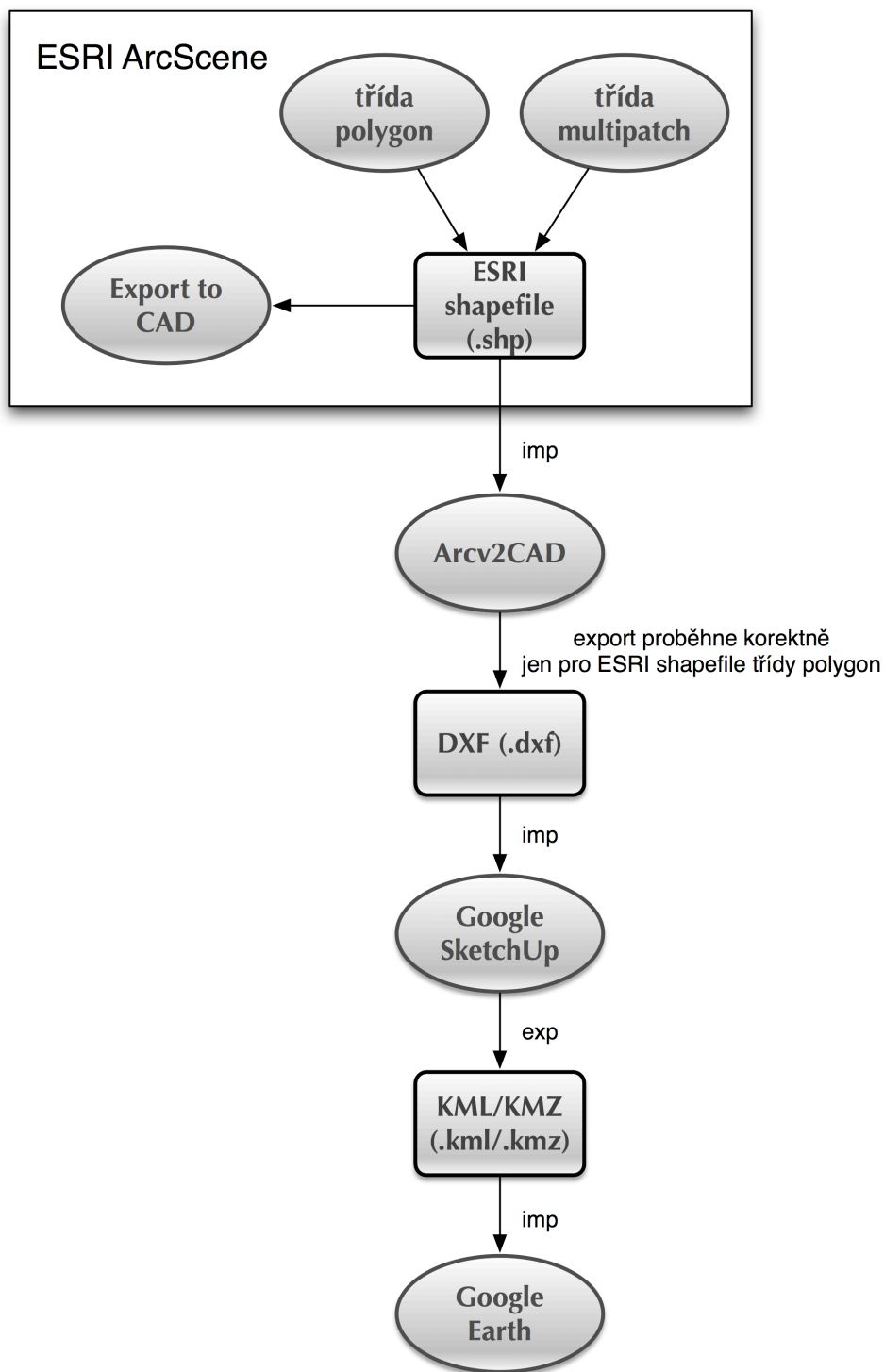
Při konverzi třídy *Polygon* proběhlo vytvoření *.dxf souboru v pořádku. Jeho následná vizualizace odpovídala původním datům. Konverze provedená na třídě *Multipatch* vykazovala po vizualizaci vytvořeného *.dxf souboru ztráty geometrie (svislé prvky – zdi, okna, dveře), přestože byly vyzkoušeny všechny verze formátu DXF.

Nebyly zjištěny důvody a příčiny nefunkčnosti konverze pro třídu *Multipatch*. Dále nebyla zjištěna příčina špatného exportu nástroje Export to CAD, který je nativní součástí ArcScene. Je pravděpodobné, že společnost ESRI při vývoji svých produktů chybu v budoucnu odstraní.

Vytvořený *.dxf soubor ze třídy *Polygon* byl následně importován do aplikace Google SketchUp. Postup je popsán na schématu níže (obr. 12).

6.3 Shrnutí kapitoly

V této kapitole je popsán a řešen postup konverze měřených dat uložených ve formátu VRML do formátu KMZ. Aplikace Google Earth pracuje při vizualizaci dat se soubory vytvořenými jazykem KML, tedy s formáty KML nebo KMZ. Vzniklý problém s uložením datových formátů CAD v ESRI ArcScene byl vyřešen alternativním uložením dat pomocí nástroje Arcv2CAD. Tato operace by nemusela být provedena pokud by aplikace ERDAS Imagine a ESRI ArcScene byly navzájem kompatibilní s aplikací Google Earth. To by byl z hlediska současných možností ideální stav.



Obr. 12 Schéma konverze databázových prostorových dat

7 Využití technologie Google SketchUp pro vizualizaci prostorových geografických dat

Pro vizualizaci 3D geografických dat byla pro účely této práce zvolena aplikace Google SketchUp. Jedná se o aplikaci vytvořenou společností Google, která umožňuje vytváření 3D modelů, jejich úpravu, sdílení a zejména jejich vizualizaci v aplikaci Google Earth. Společnost Google koncipuje tuto aplikaci pro širokou veřejnost. Disponuje nástroji, které umožňují rychle a efektivně tvořit 3D modely. Google SketchUp může být pro svoji jednoduchost používán jak v laické, tak i profesionální sféře. Běžný uživatel je schopen si vymodelovat svůj vlastní dům a umístit ho na Google Earth. Touto cestou dochází k vizualizaci prostorových dat. A o to společnosti Google jde především. Zajišťuje si tím používání svých produktů u širší veřejnosti, z čehož získává a prosperuje.

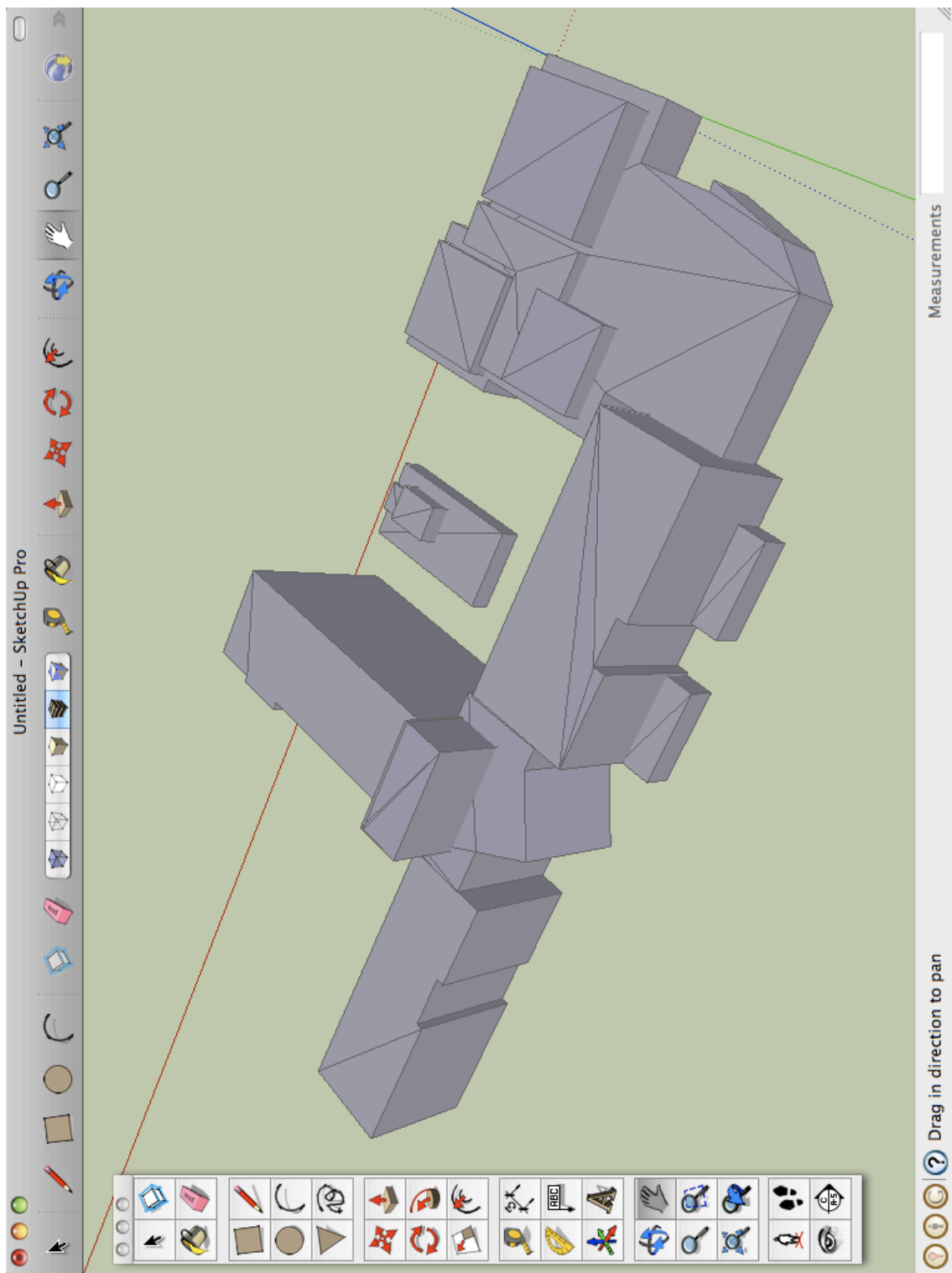
Google SketchUp je zde využit jako prostředek umožňující zpracování prostorových měřených dat, jejich editaci a vizualizaci v aplikaci Google Earth. Detailní popis nástrojů, funkcí a možností aplikace pro vytváření 3D modelů není smyslem práce. Tyto informace jsou k dispozici na internetových stránkách produktu a v uživatelském manuálu, který je na těchto stránkách volně stažitelný.

7.1 Import 3D dat

Google SketchUp umožňuje import následujících formátů souborů:

- CAD (*.dwg, *.dxf),
- AutoDesk 3D Studio Max (*.3ds),
- Digital Elevation Model (*.dem, *.ddf).

Měřená 3D data byla importována do Google SketchUp v CAD formátu DXF (viz kap. 2.3.1). Způsob vytvoření souboru byl popsán v předchozí kapitole. Při importování je nutné v možnostech importu nastavit délkové jednotky a vypnout funkci *Preserve drawing origin*, čímž je zajištěno umístění obsahu souboru v počátku místního souřadnicového systému (S.S.). Po načtení obsahu souboru jsou zobrazena 3D data v podobě linií a polygonů (viz obr. 13).



Obr. 13 Importovaný virtuální 3D model

7.2 Editace modelu, tvorba a umístění textur na model

V této fázi je nutné virtuální 3D model tzv. přiblížit více realitě. Proto byl doplněn detailními prvky geometrie, které nebylo možné vyhodnotit fotogrammetrickou cestou. Následovalo otexturování. Nevyhodnocené prvky byly doměřeny klasickými geodetickými metodami při použití konstrukčních oměrných. Prvky byly doplněny do modelu a následovalo nanesení textury na budovu.

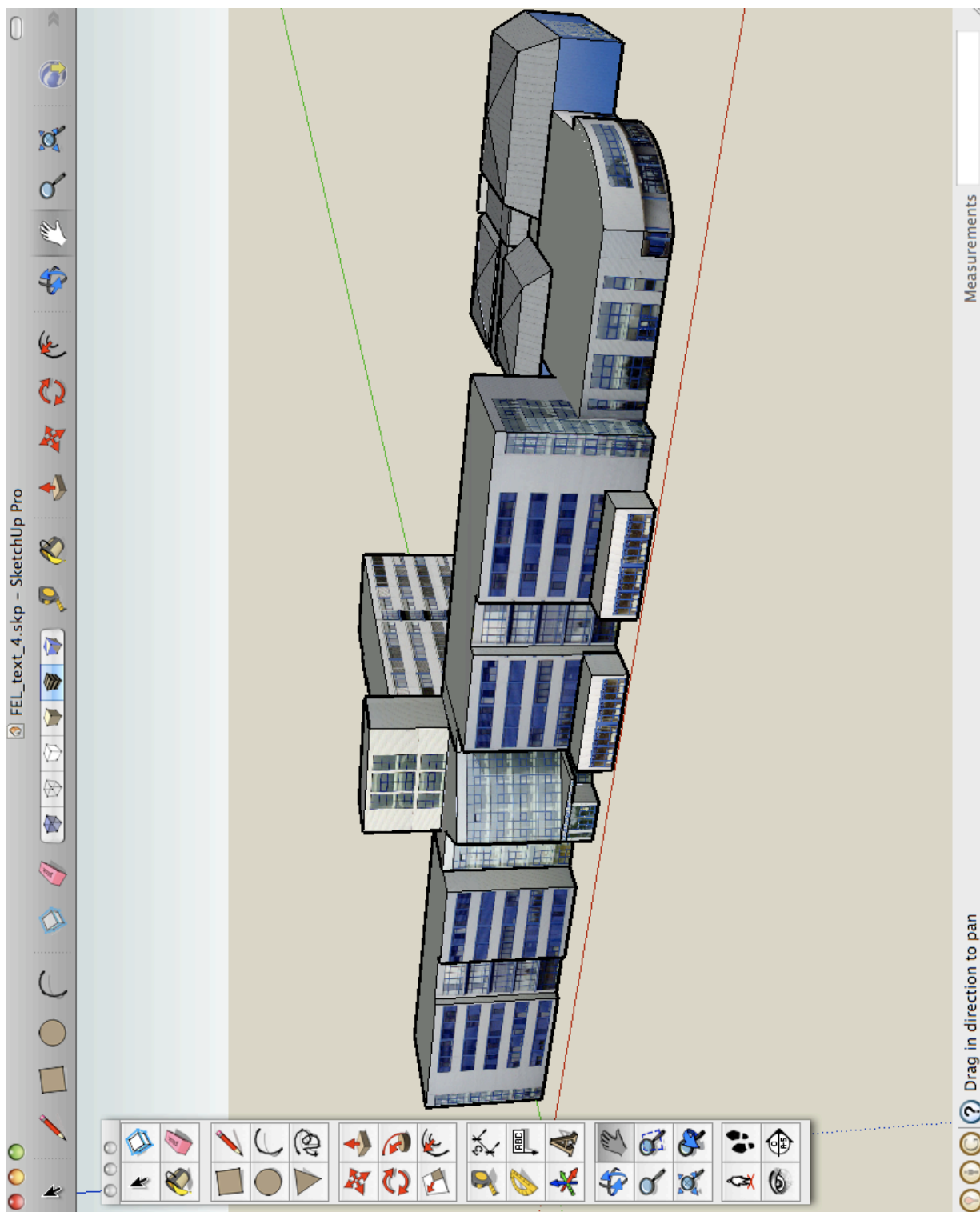
Každá stěna objektu byla fotografována zvlášť. Problém nastal u stěn, které nešlo vyfotografovat jako jeden celek. Důvodem byla jejich velikost nebo poloha, kdy se ve směru ke stěnám nacházely další objekty v podobě částí budov, stromů a dopravních prostředků. Pokud byly zmíněné objekty na fotografiích odstranitelné, provedla se retuše. V případě, že nešlo rušivé prvky retušovat, musela být textura vytvořena seskládáním po částech fotografované stěny. Dále bylo nutné upravit perspektivní zkreslení závislé na ohniskové vzdálenosti fotoaparátu a vzdáleností stanovišť, ze kterých byly jednotlivé snímky pořizovány. Všechny uvedené úpravy byly provedeny pomocí aplikace Photoshop CS2. Pro odstranění perspektivního zkreslení bylo použito funkcí *Perspective* a *Distort*.

Pro snadnější načítání prvků tvořících model (geometrie, textury) v aplikaci Google Earth, je zapotřebí redukovat jejich množství a velikost. Tím se předejde dlouhému načítání modelu do paměti počítače při vizualizaci a zároveň při práci v aplikaci Google SketchUp. Pokud model obsahuje přebytečné prvky geometrie, které mohly vzniknout konverzí, je vhodné tyto prvky odstranit použitím funkce *Eraser*. Odstraněním prvků dosáhneme topologicky čistého modelu. Při vytváření textur je vhodné dbát na co nejmenší datovou velikost textury. Po nanesení textur na model se sčítají datové velikosti všech použitých textur a následně může vzniknout model, jehož velikost je např. 30 MB, což je naprosto nevyhovující. Z důvodů limitní velikosti pro uložení do Google Warehouse⁵ je přijatelná velikost modelu do 10 MB.

Umístění textur na model je provedeno nástrojem *Paint Bucket*. Podstatou tohoto nástroje je vyplňovat plochy objektu. Nástroj umožňuje zadat rozměr textury odpovídající rozměru plochy, na kterou je textura umístěna. Pokud byla plocha rozdělena na dvě části

⁵ Online uložení 3D modelů. Více na <http://www.google.com/intl/cs/sketchup/3dwh/>

konstrukčním liniovým prvkem modelu (prvek nelze odstranit), byla změněna viditelnost tohoto prvku funkcí *Hide*. Následně se nanesly textury na zmíněné části plochy – každá zvlášť.



Obr. 14 Virtuální 3D model s texturami

7.3 Georeferencování 3D virtuálního modelu

7.3.1 Georeferencování à la vue

V běžné praxi je vytvořený model georeferencován do aplikace Google Earth pomocí funkcí *Get Current View* a *Place model*, které jsou součástí aplikace Google SketchUp. Použití funkcí je závislé na souběžném chodu obou aplikací, mezi nimiž vznikne propojení. V aplikaci Google Earth se musí vyhledat místo, ve kterém se nachází poloha vizualizovaného objektu. Následně se použije funkce *Get Current View*, která zaznamená aktuální obsah okna prohlížeče (tedy družicový snímek, na kterém je zobrazen půdorys budovy) a v podobě monochromatického rastru jej vloží do Google SketchUp tak, že střed rastru je umístěn do počátku místního S.S. Počátek plní funkci tzv. kotevního bodu (viz kap. 4.3.1). V dalším kroku dochází k manuálnímu posunu a rotaci modelu nad rastrem. Koincencí modelu a půdorysu se docílí georeferencování modelu. Následně je použita funkce *Place model*, která vytvoří KMZ soubor, jehož obsah je zobrazen v aplikaci Google Earth. Zmíněný postup nelze z hlediska geodetického považovat za korektní. Dochází k nepřesnému georeferencování vlivem nepřesné koincidence modelu a rastru. Tuto metodu lze nazvat à la vue (od oka). Aby bylo dosaženo korektního umístění modelu, musela být nalezena jiná metoda.

7.3.2 Georeferencování na základě polohy dvou bodů

Tato metoda byla vytvořena na základě znalosti charakteristiky místního S.S. v aplikaci Google SketchUp a souřadnicového systému aplikace Google Earth. Dále znalost vzájemné polohy dvou bodů na sféře. Georeferencování 3D modelu je omezeno na použití kotevního bodu (počátek místního S.S.) a rotace modelu kolem něj. Důvodem je specifikace KML jazyka, která jiný způsob neumožňuje.

Místní (rovinný) pravoúhlý souřadnicový systém aplikace Google SketchUp tvoří osy X (červená), Y (zelená) a Z (modrá). Aplikace Google Earth pracuje v pravoúhlém sférickém souřadnicovém systému. Snahou je zmíněné systémy ztotožnit. To lze provést na základě těchto tvrzení:

„Kouli nahrazujeme plochou, která se dá rozvinout do roviny. Tečnou rovinu považujeme za referenční plochu pro polohová měření pro území nevelkého rozsahu do 700 km².“ [17]

„Zakřivenou plochu lze nahradit rovinou do vzdálenosti $s = 30$ km.“ [3]

Sjednocení systémů je provedeno následujícím způsobem:

- ztotožnění osy Y místního S.S. s místním poledníkem,
- ztotožnění osy X místního S.S. s rovníkem nebo místní rovnoběžkou,
- osa Z je kolmá na X a Y.

V dalším kroku byly v modelu vybrány dva body (A, B), které ve skutečnosti představují vyhodnocené dolní rohy budovy (A', B'). Bod A byl zvolen jako kotevní bod a umístěn do počátku místního S. S. (funkce *Move*). Bod B byl umístěn na osu X místního S. S. (funkce *Rotate*). Došlo tak k přemístění celého modelu do nové výchozí pozice, ve které se zobrazí v aplikaci Google Earth. Jelikož měřená data byla vyhodnocena v systému S-JTSK, bylo zapotřebí body (A', B') transformovat do systému WGS84. K této transformaci byl použit převodní systém [7] Coordinate Reference System Transformations. V této transformaci je použit globální klíč, tzn. 7 prvků matice. Koeficienty transformačního klíče jsou převzaty z databáze EPSG. Přesnost transformace je do 1 m.

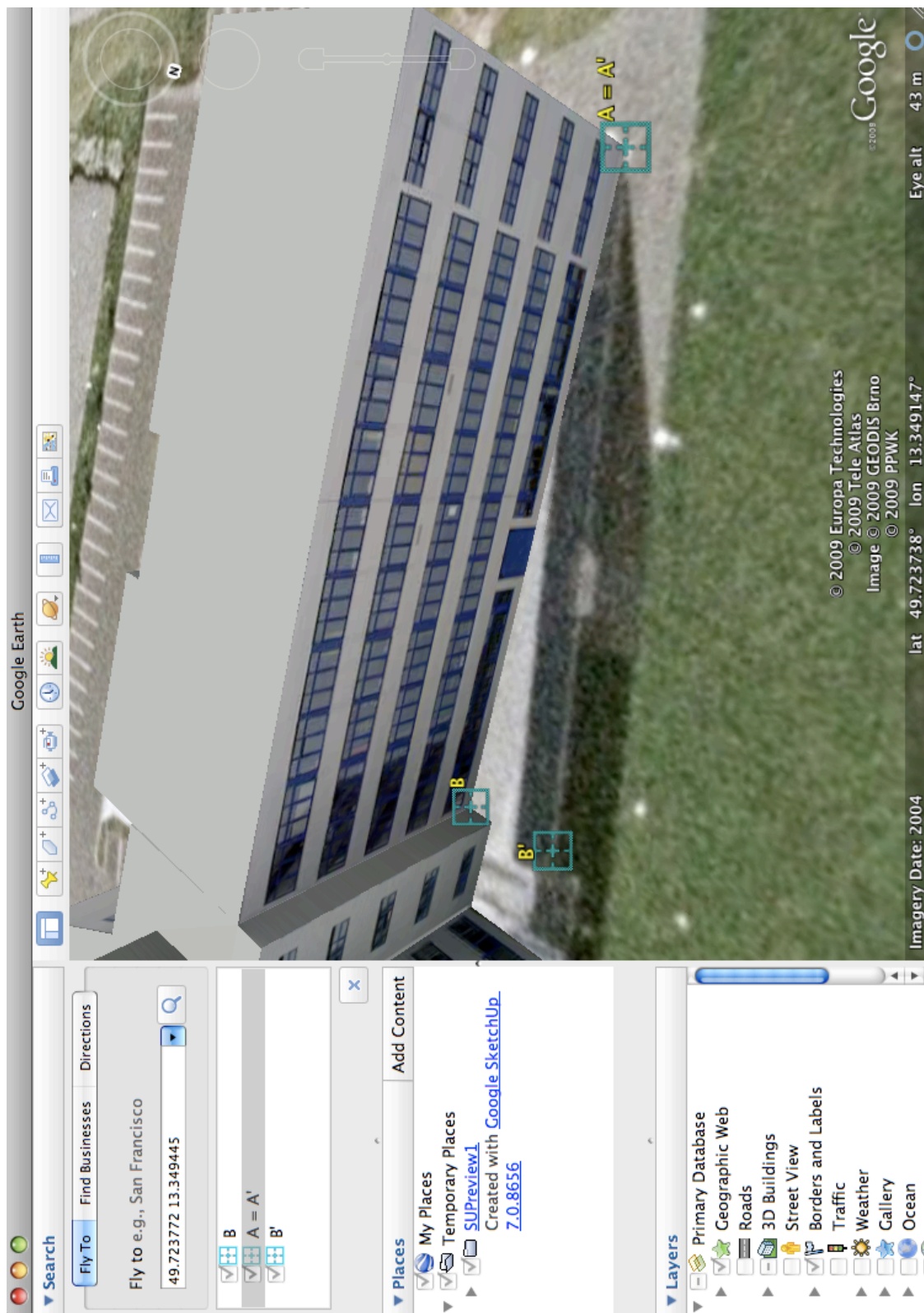
V této fázi byla známa skutečná poloha bodů A', B' v systému WGS84 a zároveň byla určena jejich poloha při vizualizaci v aplikaci Google Earth. Následně byly přiřazeny kotevnímu bodu skutečné souřadnice WGS84 ($A = A'$).

Přiřazení bylo provedeno následujícím postupem:

- záložka Window/Model Info/Location
- shift+cmd+I (pro Mac uživatele)

Je zobrazena nabídka manuálního zadání souřadnic pro počátek místního S.S., který byl v tomto případě kotevním bodem. Souřadnice jsou zadány ve formě φ, λ (49.7432N, 13.3880E). Fáze georeferencování je v tomto okamžiku zobrazena na obr. 14.

Dále bylo nutné ztotožnit bod B modelu do jeho skutečné polohy ve WGS84 dané bodem B' ($B = B'$). To znamenalo rotovat bodem B (tedy celým modelem) o dosud neznámý úhel kolem bodu A. Úhel rotace byl zjištěn na základě výpočtu azimutu mezi body A' a B'.



Obr. 14 Model bez použití rotace

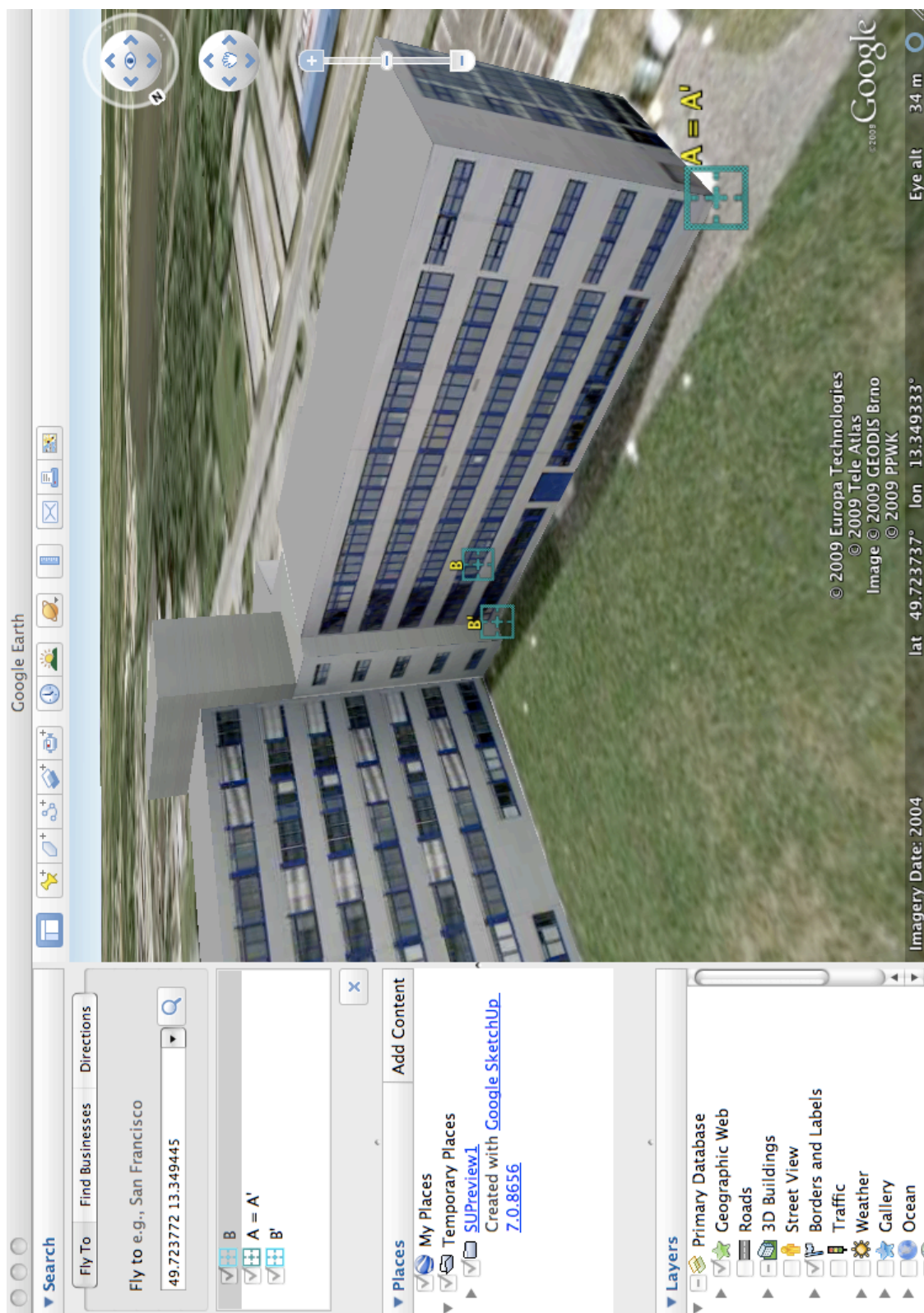
Rotace modelu je provedena funkcí *Rotate* výše uvedeným postupem. Je nutné zadat střed rotace (A), rotující bod (B) a vypočtený úhel rotace v tomto pořadí.

Výsledkem popsané metody je georeferencovaný 3D model v aplikaci Google SketchUp. Na obr. 15 je 3D model vizualizován v aplikaci Google Earth. Tuto metodu lze považovat za korektní v porovnání s první popsanou metodou.

7.3.3 Georeferencování na základě výpočtu meridiánové konvergence

Umístění na základě výpočtu meridiánové konvergence je provedeno na základech metody popsané v kapitole 7.3.2. Hlavní myšlenkou je otočení modelu pomocí vypočtené meridiánové konvergence vztažené na daný bod. Tím je zjištěno relativní natočení systému S-JTSK oproti WGS84. K umístění modelu stačí souřadnice kotevního bodu a vypočtená meridiánová konvergence v kotevním bodě.

Meridiánová konvergence dosahuje hodnot kolem 8° pro Plzeň a okolí. Na východě České republiky dosahuje hodnot kolem 4° .

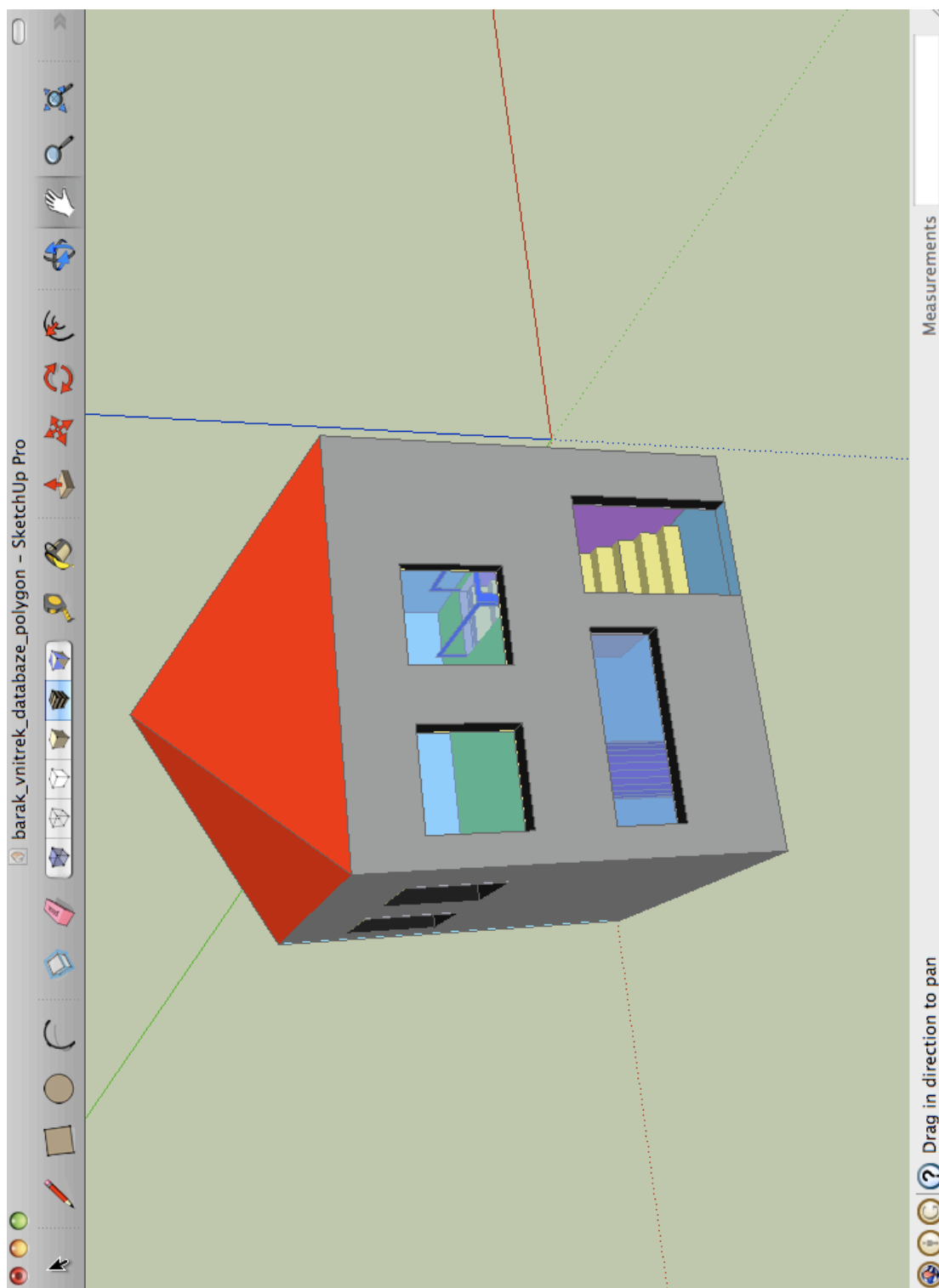


Obr. 15 Korektně georeferencovaný model

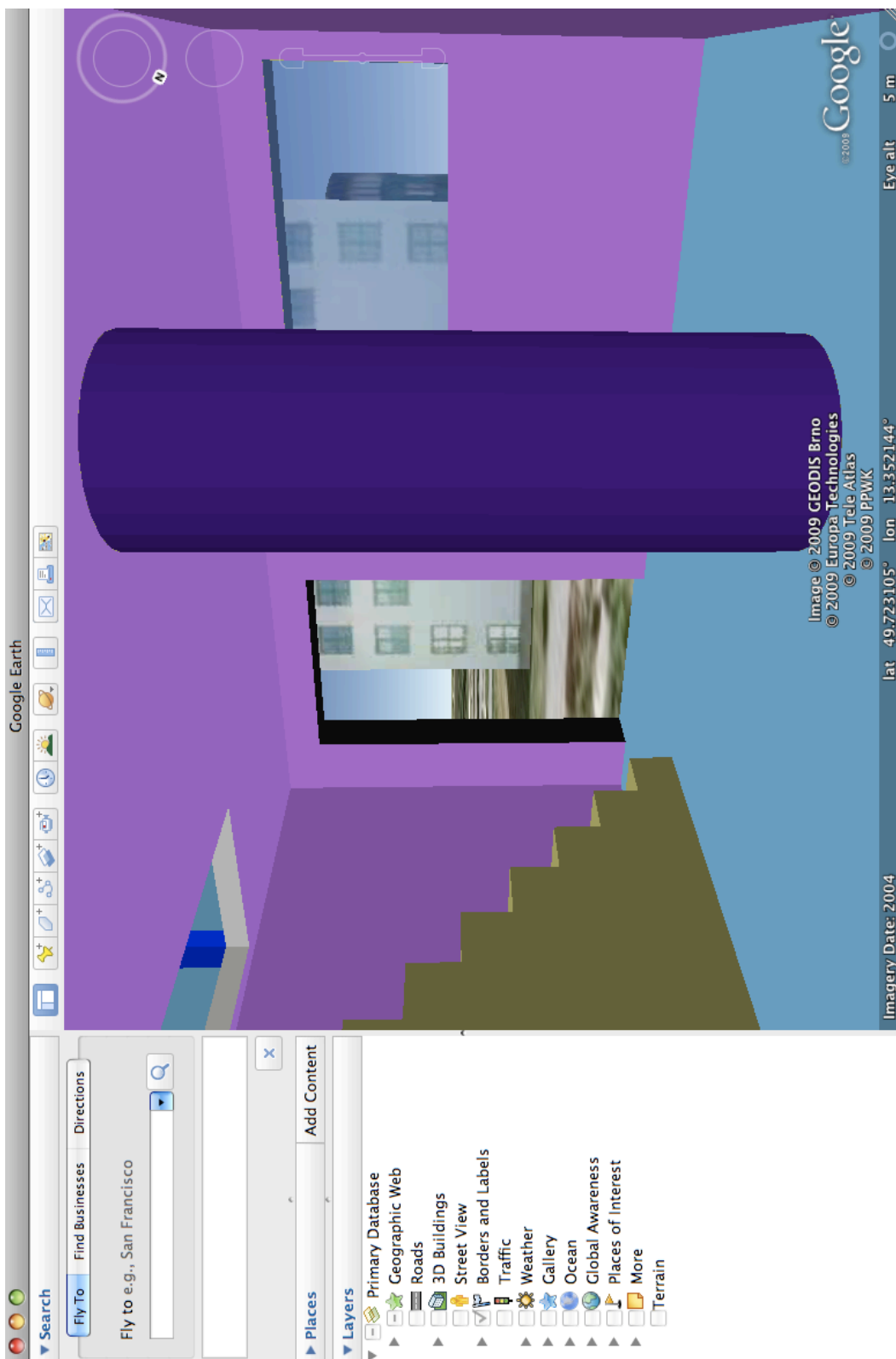
7.4 Vizualizace interiérů budovy

Nad rámec zadání této diplomové práce byla řešena problematika vizualizace interiérů budov. Vizualizace byla provedena na základě prostorových dat uložených v prostorové databázi ESRI Personal Geodatabase. Způsob získání dat je popsán v kapitole 6.2. Na vstupu aplikace Google SketchUp byl soubor *.dxf, ve kterém byla prostorová data uložena. Po importu souboru se zobrazila geometrie dat v podobě 3D modelu (viz obr. 16). Výše zmíněné postupy editace, nanesení textur na model a georeferencování modelu lze aplikovat na 3D model. Při editaci je vhodné použít funkci *X-Ray*, která umožní průhledné zobrazení modelu a tím i nahlédnutí do vnitřku modelu. Aplikace Google SketchUp není dostatečně přizpůsobena na modelování interiérů, jedná se především o nedokonalý pohyb uvnitř zobrazené scény. Všeobecně platí, čím menší prostor interiéru, tím je složitější jeho editace.

Výsledná vizualizace budovy s interiéry v aplikaci Google Earth je vidět na obr. 17.



Obr. 16 3D model s interiery – vnější pohled



Obr. 17 3D model s interiéru – vnitřní pohled

7.5 Export KMZ souboru

Aplikace Google SketchUp ukládá vytvořený model do formátu KMZ, který je výchozí pro aplikaci Google Earth. Soubor *.kmz je vytvořen 2 způsoby. První způsob využívá funkci *Place model*, která automaticky vytvoří dočasný soubor *.kmz. Tento soubor je okamžitě vizualizován v aplikaci Google Earth na základě přímého propojení aplikací (viz kap. 7.3.1), kde je nutné provést jeho uložení. Pokud nenastane uložení, soubor je automaticky smazán. Druhý způsob vytvoření souboru *.kmz je pomocí funkce export. Ta uloží soubor na harddisk počítače. Následným otevřením je soubor vizualizován v aplikaci Google Earth.

7.6 Shrnutí kapitoly

CAD aplikace a jiné aplikace umožňující matematické a geometrické modelování pracují ve vlastních implementovaných souřadnicových systémech. Zmíněné systémy jsou pravoúhlé. Z tohoto důvodu jsou modelové souřadnice (tzn. souřadnice bodů tvořících model) vždy v pravoúhlém systému. Je zcela lhostejné, jakými druhy souřadnic jsou modelové souřadnice reprezentovány, protože se jedná o číselné hodnoty udávající rozměry 3D modelu. Pro účely této práce byly použity letecké měřické snímky s vřícovacími body zaměřenými v systému S-JTSK, proto i vyhodnocené modelové souřadnice byly určeny v systému S-JTSK. Je důležité si uvědomit, že modelové souřadnice nelze použít pro georeferencování 3D modelu v aplikaci Google Earth. Zmíněné souřadnice reprezentují pouze geometrii modelu, nikoli jeho polohu. Aplikace Google Earth pracuje se sférickými souřadnicemi (φ , λ), které nelze zaměnit s pravoúhlými modelovými souřadnicemi. Záměna by měla za následek deformaci geometrie 3D modelu.

Georeferencování modelu proběhlo na základě znalosti souřadnic dvou měřených bodů v systému S-JTSK. Z tohoto důvodu bylo nutné transformovat tyto souřadnice do systému WGS84. Pro budoucí zjednodušení práce je vhodnější pracovat s daty měřeními v systému WGS84.

Nanesení textur na model je časově náročná činnost, která je nezbytná pro celkovou reprezentaci vizualizovaného modelu. Je dobré si uvědomit, pro jaký účel je model tvořen.

Má-li být zobrazena jen geometrie modelovaného objektu, není potřeba textury. Celkový proces vytvoření modelu se tím časově zkrátí. Je-li model určen pro potřeby široké veřejnosti, je vhodné použít texturu. Virtuální 3D model je mnohem více přiblížen realitě.

V současné době dochází k neustálému vývoji technologií, které jsou implementovány do aplikace Google SketchUp. Mají za úkol usnadnit tvorbu 3D modelů na základě fotografických snímků objektů. Společnost Brainstorm Technology LLC vyvíjí produkt s technologií založenou na metodě průsekové fotogrammetrie. Jedná se o zásuvný modul pro Google SketchUp s názvem PhotoSketch. Má za úkol umožnit tvorbu 3D modelů s minimální manuální činností uživatele. Produkt nemohl být vyzkoušen, protože v době zpracování úkolu této práce nebyl vydán. Autor dává podnět k budoucímu vyzkoušení jeho možností v oblasti GIS. Více o produktu na: <http://www.brainstormllc.com/>

8 Závěr

Výsledkem této práce je metodika vizualizace geografických prostorových dat v aplikaci Google Earth, za použití dostupných technologií, umožňujících zpracování prostorových dat. Výstupem popsaných činností je virtuální 3D model Fakulty elektrotechnické a virtuální 3D model areálu Západočeské univerzity na Borech ve formě KML prezentace. Tuto prezentaci je možné vizualizovat v aplikaci Google Earth. Práce je rozdělena do dvou částí. V úvodních kapitolách je teoreticky řešena vizualizace geografických dat. V následujících kapitolách je popsáno praktické vypracování. V každé kapitole je uveden dílčí postup práce a v závěru komentované shrnutí kapitoly.

K řešení otázky zpracování dat a vizualizace bylo v práci přistupováno dvěma způsoby. První způsob vycházel z rychlého sběru prostorových dat a nalezení nejsnadnějšího postupu, který umožnil jejich vizualizaci. Pracovalo se s daty, která reprezentovala budovu Fakulty elektrotechnické ZČU, tedy exteriér budovy. Z těchto dat byl vytvořen virtuální 3D model.

Druhý způsob vycházel z prostorových dat uložených v databázi ESRI Personal Geodatabase. Z důvodů nedokončeného sběru dat na Státním zámku Kozel byla vytvořena data simulující geometrii zámku. Způsob uložení dat v databázi vycházel z návrhu popsaného v diplomové práci Bc. Tomáše Luňáka.

V obou zmíněných způsobech bylo při řešení využito CAD formátů, které slouží pro uchování a přenos prostorových dat. Dosavadní technické prostředky nabízející zpracování prostorových dat nejsou na takové úrovni, aby zajistily bezchybný proces zpracování. Příkladem je aplikace ESRI ArcScene, která nesplňuje požadavky kladené na práci z prostorovými daty. To může být způsobeno nejednotností formátů, kterými lze prostorová data vyjádřit. Bylo zjištěno, že výměnné formáty DXF a DWG zajišťující přenos dat mezi aplikacemi, ve kterých jsou implementovány, mnohdy nesplní svoji funkci z důvodu zmíněné nejednotnosti formátů nebo absencí nástrojů pro jejich zpracování. Je velmi pravděpodobné, že tento problém bude vyřešen postupem času s rostoucím zájmem o zpracování prostorových dat pro účely analýz nebo vizualizací.

Aplikaci Google Earth lze v současné době považovat za nejlepší možný prostředek mezi prohlížeči Země pro vizualizaci geografických dat. Musíme si ale uvědomit, že se jedná pouze o prohlížeč, nikoliv o profesionální nástroj pro analýzy nad prostorovými daty. Při práci s aplikací Google Earth nelze očekávat přesnost, která by byla využita pro geodetické účely. Pro vizualizaci prostorových dat je dosavadní přesnost aplikace dostačující, neboť je kladen důraz na vizuální aspekty, které zajímají především laickou veřejnost. Jistě by bylo zajímavé ověřit absolutní přesnost, kterou aplikace nabízí pro vizualizaci dat. Aplikace Google Earth není v současné době přizpůsobena pro vizualizaci interiérů budov, jelikož se jedná o příliš malé prostory v porovnání s celkovým měřítkem zobrazovaného prostředí (celé Země). Ovládací prvky neumožňují pohyb po krátkých úsecích. Dojde tak k rychlému přemístění kamery při nepatrném pohybu kurzoru myši. Problém by byl odstraněn při možnosti přepnutí do ovládacího režimu umožňujícího pomalý pohyb kamery. Pro vizualizaci exteriéru 3D modelu je ovládání bezproblémové.

Tato práce zcela splnila všechny požadavky a cíle, které byly kladeny v zadání na úplném počátku. Nad rámec zadání této diplomové práce byla vyřešena problematika vizualizace interiérů budov. Všechny zjištěné aspekty, ovlivňující proces vizualizace, jsou podrobně popsány v jednotlivých kapitolách.

Vizualizace prostorových dat formou virtuálních 3D modelů je fenoménem posledních let a nadále bude docházet k vývoji nových technologií a nástrojů, které umožní snadnější a kvalitnější způsoby vizualizace.

Seznam použité literatury

- [1] *Autodesk LandXplorer Studio Professional*. [online]. [cit. 2009-05-12].
Dostupné z: <http://www.3dgeo.de/ldxstudiopro.aspx>
- [2] *CityGML - City Geography Markup Language*. [online]. 2008 [cit. 2009-03-20].
Dostupné z: http://www.citygmlwiki.org/index.php/Main_Page
- [3] ČADA, V. *Přednáškové texty z Geodézie. Tvar zemského tělesa a referenční plochy*. [online]. [cit. 2009-05-12].
Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02.html>
- [4] ERDAS INC. *ERDAS Stereo Analyst User's Guide*. 2000.
- [5] *GML Application Schemas and Profiles*. [online]. 2009 [cit. 2009-04-17].
Dostupné z: <http://www.ogcnetwork.net/node/210>
- [6] Google Earth. *Google Earth User Guide* [online]. 2009 [cit. 2009-04-12].
Dostupné z: <http://earth.google.com/userguide/v4/>
- [7] JEŽEK, J. *Coordinate Reference System Transformations*. [online].
2008 [cit. 2009-05-18]. Dostupné z: <http://gist.fsv.cvut.cz:8080/webref/>
- [8] MARKUS, J.; JÜRGEN, D. *3D City Model Visualization with Cartography-Oriented Design* [online]. 1. University Potsdam - Hasso Plattner Institute, Research Group 3D Geoinformation, 2008 [cit. 2009-03-21].
Dostupné z: http://cgs.hpi.uni-potsdam.de/publications/Public/2008/JD08b/2008-03-15_corp08_jobst_preprint.pdf
- [9] *Microsoft Virtual Earth*. [online]. 2009 [cit. 2009-04-12].
Dostupné z: <http://www.microsoft.com/virtualearth/>
- [10] *NASA World Wind*. [online]. 2009 [cit. 2009-04-12].
Dostupné z: <http://worldwind.arc.nasa.gov/>
- [11] NĚMEC, L. *Microsoft Live Search Maps & Virtual Earth 3D: interaktivní mapy a 3D glóbus*. [online]. [cit. 2009-07-04].
Dostupné z: <http://www.grafika.cz/art/sw/clanek881704200.html>
- [12] OLIVÍK, S. *3D virtuální model areálu ZČU Borská pole*. 2003.
- [13] *OpenDWG History*. [online]. [cit. 2009-02-07].
Dostupné z: http://www.opendwg.org/OpenDWG_History

- [14] OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM, INC. *OGC® KML* [online]. 1. Open Geospatial Consortium, Inc., 2008 [cit. 2009-03-21].
Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/standards/kml/>
- [15] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie*. 2003. ISBN 80-7082-972-9.
- [16] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 20*. 2003. ISBN 80-01-02762-7.
- [17] RATIBORSKÝ, J. *Geodézie 10*. 2004. ISBN 80-01-02198-X.
- [18] ŠNEBERGEROVÁ, H. *Kontrola homogenity přesnosti a výskytu hrubých chyb na katastrálních mapách v sáhovém měřítku porovnáním s digitálním ortofotem*. 2006.
- [19] TIŠŇOVSKÝ, P. *Vektorový grafický formát DXF*. [online]. 2007 [cit 2009-03-12].
Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/vektorovy-graficky-format-dxf/>
- [20] *VRML*. [online]. 2009 [cit. 2009-03-15].
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/VRML>
- [21] WERNECKE, J. *The KML Handbook: Geographic Visualization for the Web*. 2008. ISBN 0-321-52559-0.
- [22] ZOJA, V.; VERONIKA, S.; MODRIS, D. *3D Urban Landscape Visualization* [online]. 1. Riga Technical University: Department of Computer Aided,
Dostupné z: <http://www.ep.liu.se/ecp/034/020/ecp083420.pdf>