

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

Diplomová práce

Import 3D informace do GIS při zachování atributové
složky na příkladu stavebních objektů

Plzeň, 2015

Ing. Petr Adámek

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne 3. června 2015

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Karlu Jedličkovi, PhD. za jeho ochotu, odborné vedení a cenné rady, které pro mě byly při tvorbě práce velmi užitečné a poučné.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na převod 3D dat z prostředí CAD do GIS při zachování atributové složky. V práci jsou popsány reprezentace a datové formáty pro uložení 3D dat, dále pak postupy pro převod dat z CAD do GIS. Na příkladu modelů stavebních objektů je demonstrován pracovní postup převodu z programu SketchUp do geodatabáze.

Klíčová slova

3D reprezentace, CityGML, 3D GIS, geodatabáze

Abstract

This thesis is focused on the conversion of 3D data from CAD to GIS environment while preserving attribute field. The thesis describes 3D representations, data formats for storing 3D data and procedures for the transfer of data from CAD to GIS. On the example of building objects is demonstrated workflow transfer from the program SketchUp into the geodatabase.

Keywords

3D representation, CityGML, 3D GIS, geodatabase

1	Třetí rozměr v GIS.....	11
2	Typy 3D reprezentací	13
2.1	WIREFRAME REPREZENTACE.....	13
2.2	HRANIČNÍ REPREZENTACE	14
2.2.1	<i>Grid model</i>	14
2.2.2	<i>Shape model</i>	14
2.2.3	<i>Facet model</i>	15
2.2.4	<i>Boundary representation – B-rep</i>	16
2.3	OBJEMOVÉ REPREZENTACE.....	16
2.3.1	<i>3D pole (3D array)</i>	16
2.3.2	<i>3D TIN - TEN</i>	17
2.3.3	<i>Oktalový strom (Octree)</i>	17
2.3.4	<i>Konstruktivní geometrie pevných těles (Constructive Solid Geometry – CSG)</i>	18
2.4	SHRNUÍ 3D REPREZENTACÍ	19
3	Formáty pro ukládání 3D dat	20
3.1	MULTIPATCH	20
3.2	FORMÁT SKP	21
3.3	FORMÁTY VRML A X3D	21
3.4	COLLADA	22
3.5	FORMÁT KML.....	22
3.6	FORMÁT OBJ	22
3.7	FORMÁT STL	23
3.8	FORMÁT PLY	23
3.9	FORMÁT IFC.....	23
3.10	FORMÁT CITYGML	24
3.11	SHRNUÍ DATOVÝCH 3D FORMÁTŮ	24
4	Standard CityGML.....	25
4.1	PROSTOROVÝ MODEL CITYGML	25
4.2	DATOVÝ MODEL CITYGML	26
4.3	VÍCEÚROVŇOVÉ MODELOVÁNÍ	28
4.4	ROZŠÍŘITELNOST	28
4.5	BUILDING MODULE.....	29
4.6	MOŽNOSTI ULOŽENÍ CITYGML V DATABÁZÍCH	31
4.7	SHRNUÍ CITYGML	31
5	Postupy využitelné pro převod 3D dat z editačního nástroje do prostředí GIS	32
5.1	OBEČNÉ POSTUPY PŘEVODŮ DAT Z CAD DO GIS	32
5.1.1	<i>Konverze dat</i>	32
5.1.2	<i>Přímý import</i>	32
5.1.3	<i>Sdílený přístup do databáze</i>	33
5.1.4	<i>Integrovaná správa dat</i>	33
5.1.5	<i>Shrnutí přístupů, zdůvodnění výběru konkrétního přístupu</i>	33
5.2	MOŽNOSTI PŘEVODU DAT Z PROGRAMU SKETCHUP DO GEODATABÁZE	33

5.2.1	Zásuvný modul CityGML	34
5.2.2	Zásuvný modul CityEditor	35
6	Převod modelů stavebních objektů	36
6.1	ÚPRAVA MODELU V PROGRAMU SKETCHUP	36
6.1.1	Úprava nesémantického modelu	36
6.1.2	Georeferencování modelů	38
6.1.3	Úprava modelů - zjednodušení	38
6.2	PŘEVOD MODELU Z EDITAČNÍHO NÁSTROJE SKETCHUP DO GEODATABÁZE	39
6.2.1	Přímý import modelu do geodatabáze	39
6.2.2	Export modelu ze SketchUp do CityGML.....	39
6.2.3	Import modelu z formátu CityGML do geodatabáze	43
7	Diskuze	44
8	Závěr	45
	Použitá literatura.....	46
	Přílohy	49

Seznam použitých zkratk

B-rep – Boundary representation

CAD – Computer Aided Design

CityGML – City Geography Markup Language

CSG – Constructive Solid Geometry

GIS – Geografický informační systém

GML – Geography Markup Language

KML – Keyhole Markup Language

LOD – Level of Detail

OGC – Open Geospatial Consortium

STL – Stereolithography

TEN – Tetrahedral Network

TIN – Triangular Irregular Network

WMS – Web Map Service

Seznam obrázků

Obrázek 1: Nejednoznačnost drátového modelu (Žára et al., 2005)	13
Obrázek 2: Pravidelný grid - ortogonální a perspektivní pohled (Rahman, Pilouk, 2008) .	14
Obrázek 3: Ukázka shape modelu (Rahman, Pilouk, 2008).....	15
Obrázek 4: Facet model (Rahman, Pilouk, 2008)	15
Obrázek 5: Ukázka modelování tělesa pomocí B-rep (Černý, 2013).....	16
Obrázek 6: Příklad objektu modelovaného pomocí 3D pole (Rahman, Pilouk, 2008)	17
Obrázek 7: TEN model (Rahman, Pilouk, 2008)	17
Obrázek 8: Ukázka modelu a jeho zobrazení pomocí oktalového stromu (Taborda, Bielak, 2011).....	18
Obrázek 9: Těleso a jeho popis CSG stromem (Žára et al., 2005)	19
Obrázek 10: Multipatch - typy geometrií (ESRI, 2012).....	21
Obrázek 11: Ukázky různých typů geometrie (Standard CityGML, 2012)	25
Obrázek 12: UML diagram modulů CityGML a jejich závislostí (Standard CityGML, 2012).....	26
Obrázek 13: Zjednodušený diagram tříd modulu Building (Jedlička, Hájek, Čerba, 2012, upraveno dle Standardu CityGML)	29
Obrázek 14: Reprezentace budovy v LOD0 až LOD4 (převzato z Löwner et al., 2012)....	30
Obrázek 15: Možné postupy převodů dat z formátu skp (Jedlička, Hájek, 2014)	34
Obrázek 16: Model kaple před úpravou ve SketchUpu.....	37
Obrázek 17: Model kaple v LOD4 rozčleněný do vrstev dle Standardu CityGML	40
Obrázek 18: Atributová tabulka vrstvy BuildingInstallation a objekt komínu - ručně editovaný model lokajny	41
Obrázek 19: Nastavení exportu georeferencovaného modelu.....	43

1 Třetí rozměr v GIS

V posledních desetiletích došlo k rozvoji geografických informačních systémů (GIS). GIS se stal propracovaným systémem pro správu a analýzu prostorových a tematických informací o prostorových objektech. 2D analýzy prostorových dat jsou dobře propracované, avšak při řešení některých problémů se jeví jako nedostatečné (např. hlukové modelování, modely znečištění ovzduší, záplavové modely, telekomunikace atd.). Z tohoto důvodu se objevila poptávka po 3D GIS. Zavedení třetí dimenze v GIS s sebou přineslo další úkoly k řešení, jako např. organizace 3D dat, rekonstrukce 3D objektů, vizualizace a navigace ve 3D prostoru. Některé z těchto úkolů jsou již vyřešeny, ale stále se v uvedené oblasti objevují nové výzvy k řešení.

V první části práce se nachází rozdělení a popis 3D reprezentací s přihlédnutím k jejich možnostem uložení modelů stavebních objektů. Všechny 3D reprezentace mají své výhody a nevýhody pro různá odvětví modelování, vzhledem k zaměření práce je posuzována vhodnost reprezentací pro modelování stavebních objektů. Následuje rešerše datových formátů pro uložení 3D dat a podrobněji je popsán v práci dále použitý datový formát CityGML, zejména jeho modul pro uložení stavebních objektů (Building). Cílem práce je nalezení vhodného převodu 3D informace do GIS tak, aby byla zachována atributová složka.

Cílem práce je převod 3D modelu stavebního objektu vytvořeného v úrovni detailu 4, jak ho specifikuje standard CityGML, do prostředí GIS při zachování sémantických vlastností modelu. Prvním krokem je úprava stávajícího modelu do vrstev definovaných standardem CityGML. Jádrem této práce je zvolení vhodného pracovního postupu pro převod modelu z programu SketchUp do předem připraveného datového modelu v prostředí GIS. Důvodem využití standardu CityGML je jeho schopnost ukládat vedle geometrie modelu i jeho sémantiku. Mnoho 3D modelů stavebních objektů je vytvořeno v CAD systémech, neboť tvorba a editace 3D modelů je snadnější než v GIS programech. Naopak GIS programy umožňují nad 3D modely provádět kvalitnější analýzy a uložení v přehledném datovém modelu, z těchto důvodů se provádí převod do GIS. Nalezení optimálního převodu je jednou malou výzvou v oblasti 3D GIS.

3D GIS je specifický z hlediska požadavků na vstupní data. Tiede a Blaschke (2005) rozdělují vstupní 3D data pro GIS do tří kategorií: rastrová data pořízená dálkovým

průzkumem Země, stávající vektorová data a CAD data. V praxi často dochází ke kombinování těchto kategorií datových zdrojů.

Obrazová data - data pořízená dálkovým průzkumem Země.

Vektorová data - pokud jsou k dispozici, nabízí se využití stávajících geodat pro 3D vizualizace a analýzy jako logický krok (v případě, že mají 3D složku nebo mají-li ležet na povrchu, ze kterého 3D složku přeberou). Obvykle také mají tato data větší přesnost než předcházející skupina dat (zejména obrysy budov z katastrálních map). Dále mohou být použity územní plány, mapy produktovodů či digitální modely povrchu. (Tiede a Blaschke, 2005)

Častým zdrojem dat jsou pro 3D GIS jsou modely vytvořené v CAD programech. Pro tvorbu 3D modelů v CAD hovoří podpora 3D modelování, velký výběr programů (často i volně dostupných) a oproti GIS i jednoduchá tvorba modelů.

V této práci jsou využity modely vytvořené v CAD. Pro georeferencování modelů jsou použita vektorová data z geodetického zaměření. Při převodu do GIS je tedy využito více typů datových zdrojů.

2 Typy 3D reprezentací

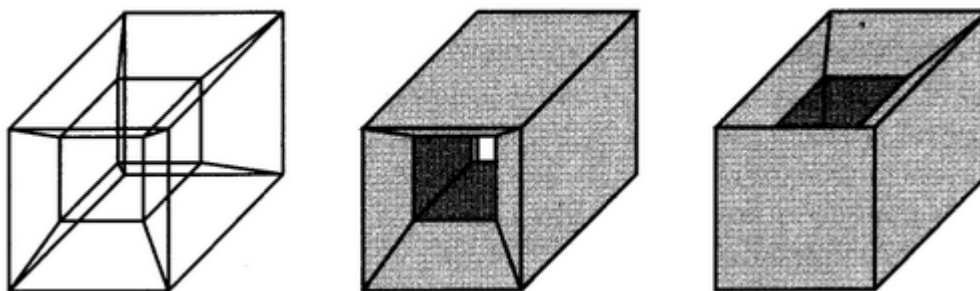
Při trojrozměrném modelování je velmi důležitá volba 3D reprezentace, která závisí na typu modelovaného objektu a následném využití modelu. V následujících odstavcích jsou krátce popsány jednotlivé typy 3D reprezentací a možnosti jejich využití.

V literatuře (Rahman, Pilouk, 2008) je použito přehledné členění na hraniční (surface-based) a objemové (volume-based) reprezentace. Agoston (2005) doplňuje ještě drátové (wire-frame) reprezentace. Rozdělení a popisy jednotlivých reprezentací jsou uvedeny v následujících kapitolách.

2.1 Wireframe reprezentace

Nejstarší a nejjednodušší metoda popisu povrchu tělesa spočívá pouze v zápisu hran a vrcholů. (Píša, 2003)

Při implementaci drátového (wireframe) modelu vytvoříme jeden seznam vrcholů a jeden seznam hran. V seznamu vrcholů jsou uloženy souřadnice. Každá položka seznamu hran má právě dva ukazatele do seznamu vrcholů. Výsledkem je úsporná struktura, která však obsahuje minimum topologických informací, a proto drátovým modelem nelze jednoznačně reprezentovat povrch tělesa. Prosté vykreslení všech hran modelu neposkytuje dostatečnou informaci o tvaru tělesa ani o jeho pozici vzhledem k pozorovateli. Jeden model může být interpretován jako několik různých těles (viz Obrázek 1). Samotné vykreslení hran je však praktické pro vytvoření náhledu, s jehož pomocí lze prozkoumat vnitřek tělesa, který by jinak byl zakryt hraničními plochami. (Žára et al., 2005)



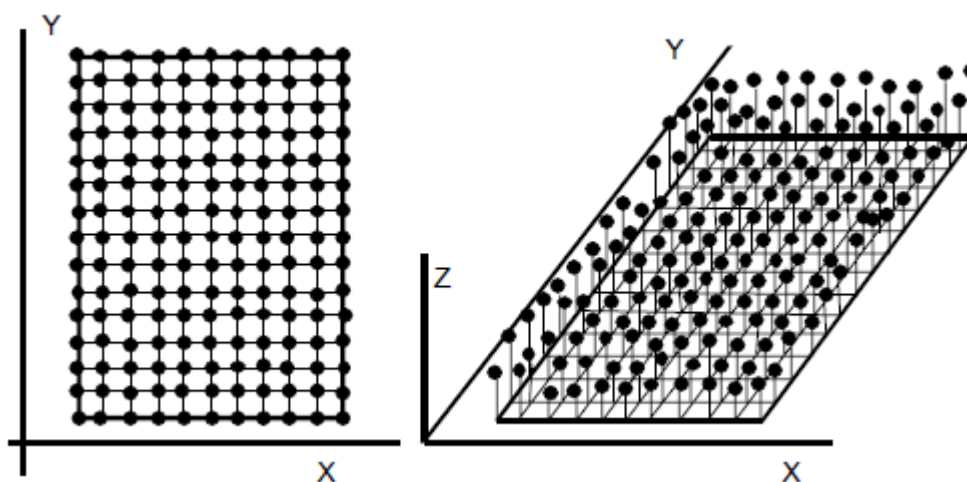
Obrázek 1: Nejednoznačnost drátového modelu (Žára et al., 2005)

2.2 Hraniční reprezentace

Hraniční reprezentace popisují povrch modelovaných objektů pomocí ploch, hran a vrcholů. Mezi hraniční reprezentace patří grid, facet, shape model a Boundary representation – všechny tyto typy jsou popsány v následujících kapitolách.

2.2.1 Grid model

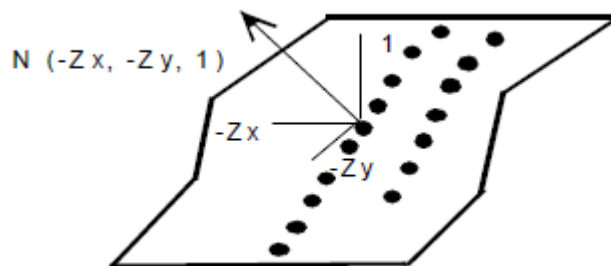
Grid je hojně používanou metodou pro zobrazení povrchu v GIS, digitálním mapování a digitálním modelování terénu (DTM). Grid představuje strukturu určující hodnoty výšky v pravidelné mřížce (viz Obrázek 2). Tento model má tyto výhody: snadnou tvorbu a to, že informace o topologii je implicitně definována. Hlavní nevýhodou je nemožnost využití pro povrchy s vícenásobnou hodnotou výšky např. svislé stěny nebo převisy (Rahman, Pilouk, 2008). Uvedená nevýhoda činí tento model nevhodný pro modelování stavebních objektů. Někteří autoři proto řadí tento model mezi 2,5D reprezentace, kam svým charakterem skutečně patří.



Obrázek 2: Pravidelný grid - ortogonální a perspektivní pohled (Rahman, Pilouk, 2008)

2.2.2 Shape model

Tento typ reprezentace je obdobou gridu, však místo hodnoty Z se ukládá hodnota gradientu největšího spádu. Na základě znalosti hodnoty gradientu a normálového vektoru v každém bodě mřížky je určován tvar povrchu (viz Obrázek 3). Tato reprezentace bývá používána zejména pro mapování povrchu mořského dna (Rahman, Pilouk, 2008).

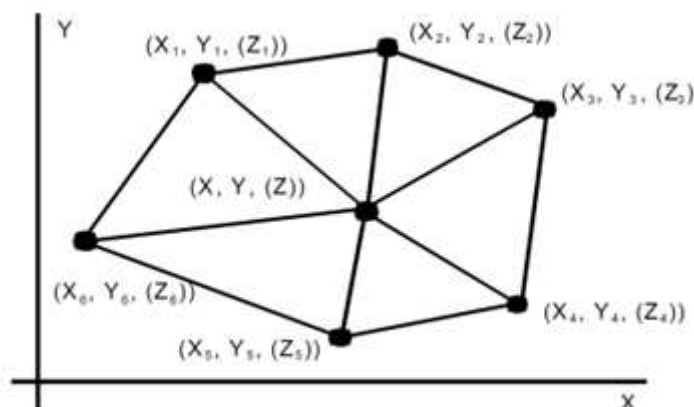


Obrázek 3: Ukázka shape modelu (Rahman, Pilouk, 2008)

2.2.3 Facet model

Tělesa jsou reprezentována plochami uspořádanými do sítě trojúhelníků nebo obecných polygonů (viz Obrázek 4). Z implementačního hlediska jsou trojúhelníky výhodnější, neboť topologii jejich sítě lze snadno zaznamenat (např. do pole, jehož každá položka pevné délky obsahuje právě tři ukazatele do seznamu vrcholů). Pořadí vrcholů na obvodu polygonu je vhodné uchovávat s ohledem na orientaci stěny tělesa, kterou polygon reprezentuje. Časté je zadávání proti směru pohybu hodinových ručiček. Lze z něj odvodit směr normálového vektoru (u konvexních polygonů podle pravidla pravé ruky) (Žára et al., 2005).

Tento model je často využíván pro znázornění 2,5D digitálního modelu terénu nazývaného TIN (Triangular Irregular Network). TIN však nepředstavuje plně trojrozměrnou reprezentaci.

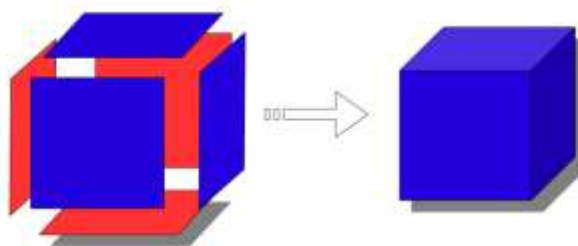


Obrázek 4: Facet model (Rahman, Pilouk, 2008)

2.2.4 Boundary representation – B-rep

Geometrie typu B-rep se skládá ze dvou základních složek, a to geometrie a topologie. Objekt je tvořen základními topologickými entitami, kterými jsou vrchol (vertex), hrana (edge) a plocha (face). Plocha je ohraničenou částí povrchu, hrana je ohraničenou částí křivky a vrchol je bodem o známých trojrozměrných souřadnicích. Složitějšími složenými částmi pak může být schránka (shell) složená z více ploch a smyčka (loop), která je složena ze základních geometrických entit. Pro každý bod prostoru je možné říci, zda se nachází uvnitř objektu, na jeho hranici nebo vně (Černý, 2014). Ukázka jednoduchého modelu vytvořeného pomocí B-rep je na obrázku 5.

Tato metoda je podrobně popsána v knize Boundary Representation Modelling Techniques (Stroud, 2006). B-rep je jednou z nejvíce využívaných možností zobrazování těles. B-rep je použita např. pro zobrazení objektů ve standardu CityGML.

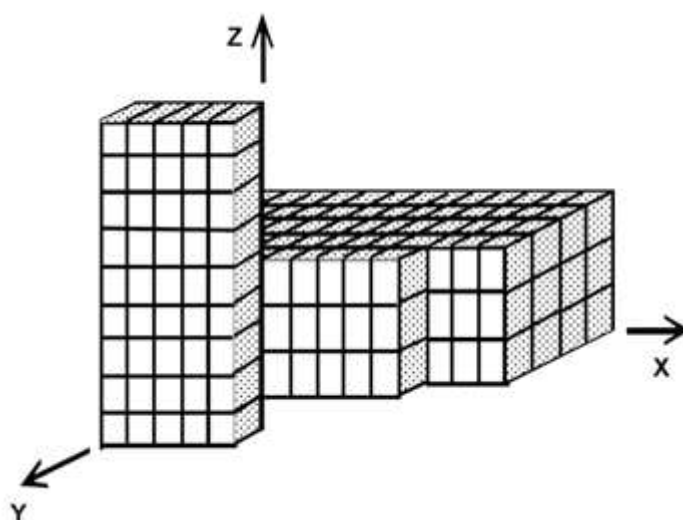


Obrázek 5: Ukázka modelování tělesa pomocí B-rep (Černý, 2013)

2.3 Objemové reprezentace

2.3.1 3D pole (3D array)

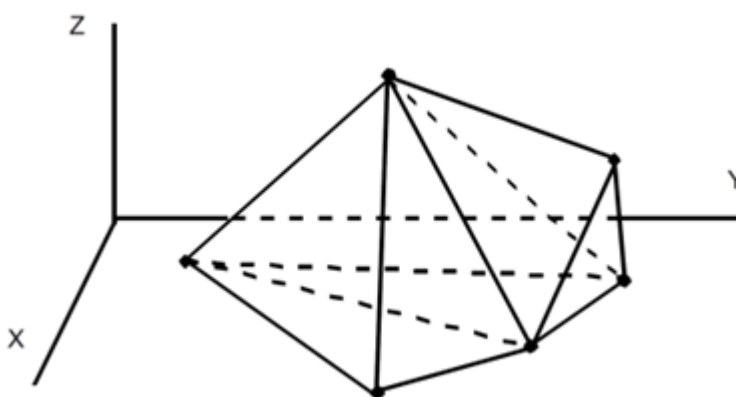
3D pole je trojrozměrnou obdobou gridu. Pixely jsou však nahrazeny voxely, které jsou nejmenším elementem v trojrozměrném diskretním prostoru. V případě, že větší množství sousedících voxelů obsahuje stejné hodnoty, dochází k nežádoucímu nárůstu nadbytečných informací. Příklad 3D pole zobrazuje Obrázek 6.



Obrázek 6: Příklad objektu modelovaného pomocí 3D pole (Rahman, Pilouk, 2008)

2.3.2 3D TIN - TEN

Prostorové rozšíření TIN označované také jako TEN (Tetrahedral Network). Čtyřstěn je nejjednodušší 3D primitivum skládající se ze 4 trojúhelníků tvořících uzavřený objekt ve 3D prostoru (viz Obrázek 7). Čtyřstěn jako objekt je dobře definován, neboť každé tři body trojúhelníku leží vždy v jedné rovině. Nevýhodou je, že pro zkonstruování reálného objektu je třeba vytvořit mnoho čtyřstěnů (Stoter, Zlatanova, 2003).

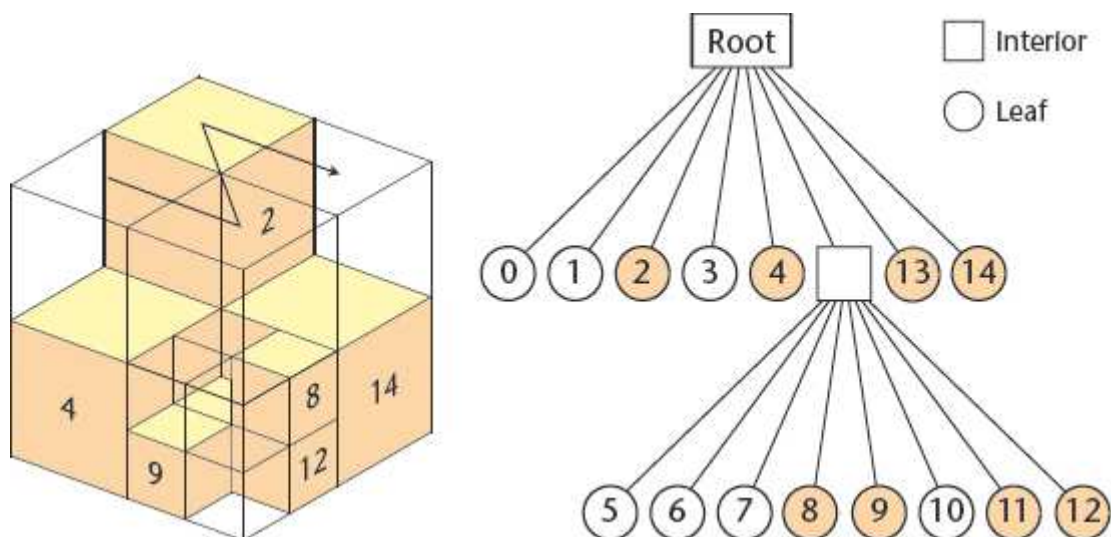


Obrázek 7: TEN model (Rahman, Pilouk, 2008)

2.3.3 Oktalový strom (Octree)

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o stromovou strukturu, která řeší problém s nadbytečnými informacemi u 3D pole. Kořenem oktalového stromu je obvykle krychle, která se v případě nehomogenního prostoru dělí na osm částí. Toto rekurzivní dělení může

být prováděno až do velikosti voxelu (viz Obrázek 8). Nevýhodou oktalového stromu je problematické nebo zdlouhavé provedení některých typů transformací (Píša, 2003).

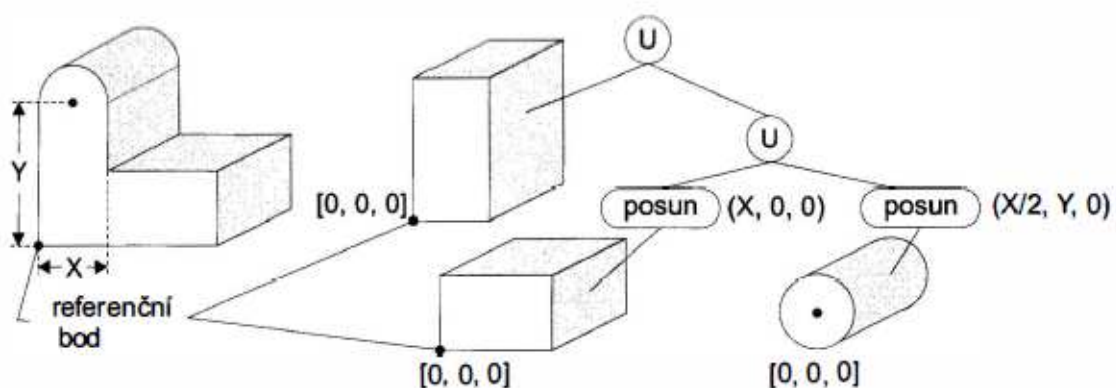


Obrázek 8: Ukázka modelu a jeho zobrazení pomocí oktalového stromu (Taborda, Bielak, 2011)

2.3.4 Konstruktivní geometrie pevných těles (Constructive Solid Geometry – CSG)

Metoda CSG reprezentuje objekty jako stromovou strukturu geometrických primitiv v kombinaci se třemi Booleovskými operátory: sjednocení, rozdíl a průnik. Příklad tělesa vytvořeného touto metodou je zobrazen na obrázku 9. K původně jednoduchým tělesům jako krychle, válce, koule, kužele atd. přibyla primitiva tvořená z abstraktnějších entit (Stroud, 2006).

Reprezentace těles CSG stromem byla zavedena především pro konstruktéry, tedy pro fázi vytváření a tvarování tělesa. Pro zobrazení není příliš vhodná, neboť neobsahuje přímo vykreslitelné geometrické prvky, jakými jsou hrany nebo plochy. Existují sice zobrazovací metody, které pomocí tzv. sledování paprsku nebo upraveného algoritmu využívajícího paměť hloubky dokáží přímo vykreslit CSG těleso, avšak z hlediska rychlosti je lepší převést CSG strom do některé jiné reprezentace, např. hraniční - B-rep (Žára et al., 2005).



Obrázek 9: Těleso a jeho popis CSG stromem (Žára et al., 2005)

2.4 Shrnutí 3D reprezentací

Pro uložení třídimenzionálních modelů stavebních objektů jsou nejvhodnější z hraničních reprezentací Boundary representation, protože ta jako jediná představuje opravdovou 3D reprezentaci. Z objemových reprezentací je to konstruktivní geometrie pevných těles, která umožňuje pomocí geometrických primitiv a jejich kombinací vytvářet členité modely.

3 Formáty pro ukládání 3D dat

Různé formáty pro ukládání 3D dat využívají různé druhy reprezentací, volba druhu reprezentace závisí na způsobu využití daného formátu. Většina formátů využívá pro uložení 3D dat jednu reprezentaci, výjimkou je formát IFC podporující reprezentací více.

V dnešní době existuje velké množství formátů pro ukládání 3D dat. V různých oborech jsou využívány formáty reflektující specifika těchto oborů. Není v možnostech této práce popsat veškeré tyto formáty, ale snahou této kapitoly je uvést významnější formáty a vybrat ty nejpříhodnější pro využití v dalších částech práce.

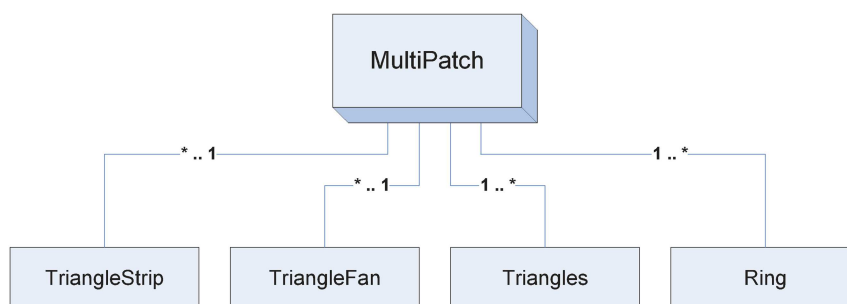
V CAD systémech jsou využívány především formáty Drawing file (dwg) a Design file (dgn), které pro ukládání 3D dat využívají drátěnou (wireframe) reprezentaci. V GIS se využívají převážně hraniční reprezentace (hlavně B-rep) např. ve formátech Multipatch (shp), CityGML (gml) či Collada (dae). Formát Industry Foundation Classes (ifc), který je používaným datovým standardem pro Building Information Modelling (BIM), využívá objemovou reprezentaci (konkrétně CSG).

V následujících odstavcích jsou podrobněji popsány nejvyužívanější formáty pro práci s 3D daty.

3.1 Multipatch

Datový formát multipatch byl vyvinut firmou ESRI (Environmental Systems Research Institute) pro tvorbu 3D prvků v programu ArcGIS a pro uložení stávajících prostorových dat.

Multipatch využívá hraniční reprezentaci – konkrétně Boundary representation. Plášť modelovaného tělesa může být tvořen uzavřenými řetězci, trojúhelníky nebo jejich kombinacemi (viz Obrázek 10). Multipatch umožňuje uložení informací o texturách, barvě a průhlednosti. Tento datový formát je popsán v The Multipatch Geometry Type (2012), kde lze nalézt i příklady modelování za použití podporovaných geometrií.



Obrázek 10: Multipatch - typy geometrií (ESRI, 2012)

3.2 Formát skp

Tento formát je používáný pro tvorbu, editaci a ukládání 3D modelů v programu SketchUp. Modely vytvořené v tomto formátu mohou být exportovány do jiných datových formátů. Volně dostupná verze SketchUpu umožňuje export do souborů s příponou dae a kmz. Komerční verze SketchUp Pro nabízí export do následujících formátů fbx, xsi, dwg/dxf, obj, 3ds a vrml. Malou nevýhodou tohoto formátu je, že s každou novou verzí SketchUpu přichází nová verze datového formátu. V nové verzi programu lze uložit model v předchozích formátech skp, čímž se tato nevýhoda stírá, avšak při přenosech modelů mezi uživateli s různými verzemi může tato skutečnost činit nepříjemnosti.

Formát skp využívá B-rep a umožňuje uložení barev a textur.

3.3 Formáty VRML a X3D

Virtual Reality Modeling Language (VRML) byl vytvořen v roce 1995 a stal se prvním webově orientovaným 3D formátem. VRML byl ve své době jedinečný, protože podporoval 3D geometrii, animace a skriptování. V roce 1997 se formát stal standardem ISO, což přineslo jeho intenzivnější využívání např. ve vědeckých vizualizacích, multimediálních a zábavních titulech či sdílených virtuálních světech. (Carey, 1997) V dnešní době je VRML nejužívanějším formátem pro barevný 3D tisk. (Chen, 2014)

Po roce 1998 ukončilo konsorcium Web 3D vývoj standardu VRML a soustředilo se na vývoj formátu X3D, který je založený na značkovacím jazyce XML. Někteří experti naznačují, že se formát stal příliš složitým pro interpretaci dat. (Zlatanova, Stoter, Isikdag, 2012)

Oba formáty využívají hraniční Boundary representation a podporují uložení textur a barev. Tyto formáty neumožňují uložení sémantických vlastností modelů.

3.4 COLLADA

COLLABorative Design Activity (COLLADA) formát, který je založen na XML schématu, umožňuje ukládání a výměnu 3D dat. Jedná se o otevřený datový formát využívající pro uložení 3D dat hraniční reprezentaci B-rep. (Barnes, Finch, 2008)

COLLADA poskytuje možnosti pro popis geometrie, topologie a textur, ale neumožňuje uložení sémantiky. (Zlatanova, Stoter, Isikdag, 2012)

3.5 Formát KML

Keyhole Markup Language je formát založený na XML se zaměřením na geografické vizualizace včetně popisů. Geografická vizualizace nezahrnuje jen znázornění grafických dat na glóbu, ale může být využita i pro navigaci.

Od roku 2008 je verze 2.2 standardem organizace Open Geospatial Consortium (OGC). Formát KML je komplementární k většině stávajících klíčových OGC standardů včetně Geography Markup Language (GML), Web Feature Service (WFS) a Web Map Service (WMS). (Standard KML, 2008)

KML a COLLADA jsou často zmiňovány společně, protože jsou oba využívány pro vizualizace v GoogleEarth. KML soubory jsou často spojeny s 3D modely uloženými ve formátu COLLADA a komprimovány do souboru KMZ. (Zlatanova, Stoter, Isikdag, 2012)

KML využívá také hraniční Boundary-representation.

3.6 Formát obj

Souborový formát obj je textový a otevřený formát vyvinutý společností Wavefront Technologies. (McHenry, Bajcsy, 2008)

Tento formát je jednoduchý, kompaktní, široce přijímaný komunitou 3D modelářů a umožňuje snadné mapování textur. Nicméně neumožňuje definovat materiály nebo mikrostruktury objemově. (Hiller, Lipson, 2009)

3.7 Formát stl

Soubory stl obsahují pouze informace o povrchu modelu a nepodporují uložení barvy, textur či materiálu modelovaného tělesa (i když byla navržena rozšíření, která však nebyla přijata). 3D povrch je reprezentován výčtem trojúhelníků, které jsou definovány pomocí souřadnic vrcholů. (Hiller, Lipson, 2009)

Tento formát bývá používán pro export dat do 3D tiskáren.

3.8 Formát ply

Polygon file format byl navržen pro ukládání a prohlížení dat z 3D skenerů. Využívá polygonové sítě a může obsahovat textury a barvy. (Hiller, Lipson, 2009)

Vzhledem ke své jednoduchosti a flexibilitě je tento formát velmi populární v akademické a výzkumné sféře. (McHenry, Bajcsy, 2008) Stejně jako předchozí formát stl je také polygon file format využíván při 3D tisku.

Formát ply nepodporuje uložení sémantických vlastností.

3.9 Formát IFC

Industry Foundation Classes (IFC) je datový formát pro Building Information Modelling (BIM). Poslední verze IFC4 z roku 2013 je standardem ISO. Tento formát vyvíjený mezinárodní organizací buildingSMART slouží pro projektování budov a také pro jejich následnou údržbu. (buildingSMART, 2013)

V modelech BIM je běžné, že objekty mají více reprezentací současně. Takovou reprezentací může být bod charakterizující pouze polohu objektu, 2D nárys, ohraničující kvádr (Bounding Box), reprezentace pomocí trojúhelníkové sítě (Triangle Mesh), B-Rep a parametrická reprezentace. Ve standardu IFC je možné, aby měl objekt libovolný počet reprezentací, které jsou od sebe odlišeny kontextem. Zde je podstatný objektový přístup, kdy hlavním je sémantický objekt a jeho geometrická reprezentace je jen jednou z popisných informací. (Černý, 2013)

3.10 Formát CityGML

Datový formát, který je zároveň standardem OGC. Formát byl navržen pro modelování reálného světa ve více úrovních detailu. Kromě geometrie lze v modelech ukládat i sémantické vlastnosti modelovaných objektů.

Modely ve formátu CityGML využívají hraniční Boundary representation.

3.11 Shrnutí datových 3D formátů

Z uvedeného výčtu formátů, vyplývá, že pro modelování stavebních objektů jsou vhodné formáty CityGML a IFC. Tyto formáty totiž umožňují uložení barev, textur a také sémantických vlastností modelů.

Vzhledem ke vstupním datům poskytnutým pro demonstraci převodu modelu z editačního nástroje do GIS, která jsou vytvořena v hraniční reprezentaci, je pro zpracování vybrán a podrobněji popsán formát CityGML. Tento formát využívá hraniční reprezentaci na rozdíl od formátu IFC, který využívá především reprezentaci objemovou.

4 Standard CityGML

Následující kapitola je věnována formátu CityGML, který je využit v práci pro převod modelu stavebního objektu do geodatabáze.

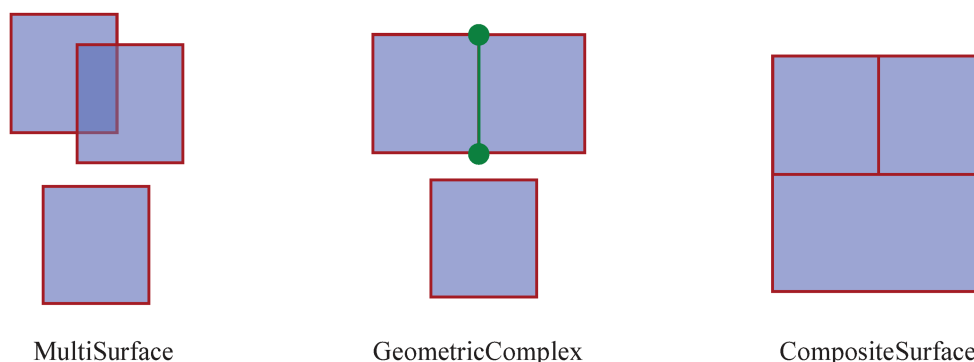
CityGML je nový datový formát (verze 1.0 byla přijata konsorciem OGC jako standard v roce 2008) a verze 2.0 byla vydána v roce 2012.

OGC CityGML Encoding Standard (2012) (dále jen Standard CityGML) charakterizuje CityGML jako otevřený datový model a formát založený na XML pro uchovávání a přenos 3D modelů měst, který je založený na Geography Markup Language 3 (GML3). CityGML je standardem sdružení Open Geospatial Consortium (OGC).

4.1 Prostorový model CityGML

CityGML je podmnožinou geometrického modelu GML3. Tento model je založen na standardu ISO 19107 Prostorové schéma, což představuje 3D geometrii známou jako Boundary Representation (B-rep) (Standard CityGML, 2012).

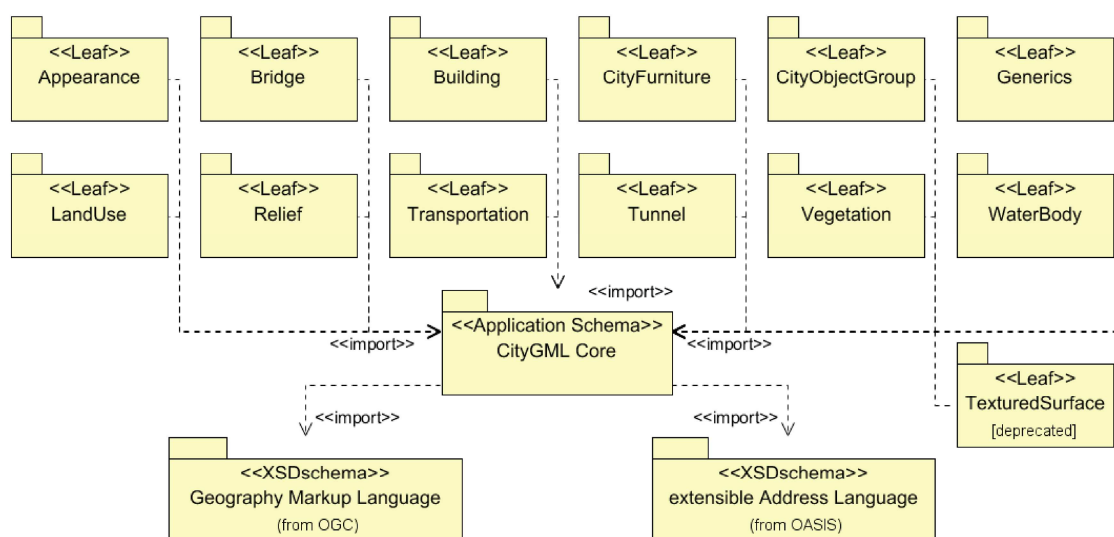
Geometrie GML3 se skládá z primitiv od 0D do 3D, která mohou být kombinována a tvořit složenou nebo agregovanou geometrii. Části složené geometrie (CompositeSurface) musí být topologicky propojeny a musí se skládat z primitiv stejné dimenze (např. Surface) (viz Obrázek 11). Naproti tomu prvky agregované geometrie (MultiSurface nebo MultiSolid) nemusí mít topologický vztah a jejich části se mohou navzájem prolínat nebo mohou být disjunktní (Kolbe, 2008).



Obrázek 11: Ukázky různých typů geometrie (Standard CityGML, 2012)

4.2 Datový model CityGML

Datový model CityGML lze rozdělit na základní modul (core module) a tematicky rozšiřující moduly (extensions modules). Základní modul obsahuje základní koncepty a komponenty datového modelu. CityGML obsahuje celkem třináct rozšiřujících modulů, díky nimž lze modelovat reálný svět ve 3D (viz Obrázek 12).



Obrázek 12: UML diagram modulů CityGML a jejich závislostí (Standard CityGML, 2012)

Standard CityGML specifikuje tyto rozšiřující moduly:

- **Appearance – vzhled**
Kromě prostorových vlastností mohou mít prvky vzhled – pozorovatelné vlastnosti povrchu prvků. Pro jeden objekt může existovat více variant vzhledu. Vzhled není omezen jen na obrazová data, ale může představovat vlastnosti jako např. infračervené záření nebo hlukovou zátěž.
- **Bridge – mosty**
Tematický modul pro mosty byl vyvinut analogicky k modelu budov (samozřejmě s ohledem na specifickou strukturu a vlastnosti).
- **Building – budovy**
Tento modul je podrobněji popsán v jedné z následujících kapitol.
- **CityFurniture – městský mobiliář**
Modul slouží pro modelování drobných nemovitostí, jako jsou pouliční lampy, zastávky hromadné dopravy, semaforey, dopravní značky, reklamní poutače, lavičky apod.

- **CityObjectGroup**
Modul určený k uložení prvků `_CityObject`. Do tohoto modulu mohou být uloženy prvky, které nejsou obsaženy v jiných modulech. Pro modely stavebních objektů může tento modul definovat informace o podlažích v budovách.
- **Generics**
Modul umožňuje ukládání a výměnu 3D objektů, které nejsou modelovány žádným tematickým modulem.
- **LandUse – využití půdy**
V tomto modulu je ukládáno využití půdy.
- **Relief – povrch**
Nezbytnou součástí modelu města je terén. Terén může být zobrazen ve formě gridu, TIN (Triangulated Irregular Network), lomových linií v terénu nebo jako množina výškových bodů.
- **Transportation – doprava**
Prvky dopravní infrastruktury jsou v úrovni detailu (Level of Detail, dále jen LOD) LOD0 zobrazovány jako liniové prvky. Od úrovně detailu LOD1 je dopravní infrastruktura popisována 3D povrchem.
- **Tunnel – tunely**
Modul podporující reprezentaci tematických a prostorových aspektů tunelů a částí tunelů ve čtyřech úrovních detailu – LOD1-LOD4.
- **Vegetation – vegetace**
Vegetační modul rozlišuje mezi jednotlivými prvky vegetace (např. solitérní stromy) a plochami (např. lesní porosty nebo jiná rostlinná společenstva).
- **WaterBody – vodní útvary**
Modul vodních útvarů znázorňující trojdimenzionální geometrii řek, kanálů, jezer a dalších vodních ploch.
- **TexturedSurface – textury**
Modul slouží k přiřazení vizuálních vlastností (barva, odlesky, průhlednost) a textur na 3D povrchy. Použití tohoto modulu se nedoporučuje a pro vzhled je lepší využít modul Appearance.

4.3 Víceúrovňové modelování

Löwner a kol. (2013) udávají, že koncept úrovně detailu (Level of Detail - LOD) je jednou z charakteristik standardu CityGML. Vedle horizontální modularizace nabízí koncept LOD možnost generalizace modelovaných prvků od velmi podrobných až po jejich zjednodušené vyjádření. Koncept LOD zaprvé umožňuje postupné zdokonalování geometrické charakteristiky a za druhé připojení sémantických vlastností (vysvětleno v kapitole 4.5 Building module – konkrétně u popisu LOD2).

Standard umožňuje uložení až pěti různých modelů pro jeden objekt podle úrovně rozlišení detailu (LOD). To je mocným nástrojem pro management podrobnosti informací, ale může to současně komplikovat práci s takovým modelem. (Černý, 2014)

Löwner a kol. (2013) uvádí, že víceúrovňové modelování bylo primárně navrženo pro Building module. Pro tento modul a některé další (např. Bridge, Tunnel) se jeví toto řešení jako dostačující. Avšak autoři si kladou otázku, co znamená více úrovní modelu např. pro tematické modely jako Land use nebo reliéf (DTM). Pro řešení tohoto problému navrhují nový koncept LOD, jež by odděloval geometrické a sémantické LOD. Vzhledem k orientaci práce na stavební objekty však je stávající víceúrovňové modelování dostačující.

4.4 Rozšiřitelnost

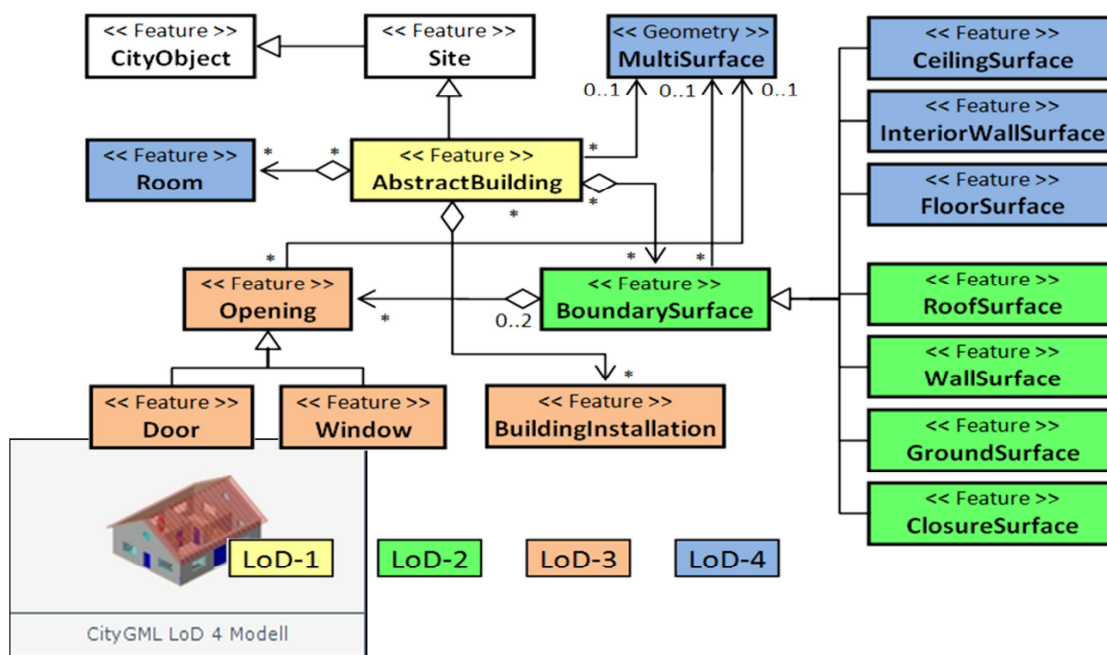
Dalším charakteristickým rysem formátu CityGML je rozšiřitelnost. Ta je umožněna tematickým modulem Generics (viz výše) a také prostřednictvím Application Domain Extensions (ADE). (Standard CityGML, 2012)

ADE je specifikováno v aplikačním schématu CityGML v jiném jmenném prostoru XML (stejně jako je CityGML aplikačním schématem GML). To umožňuje definovat nové typy prvků (s novými atributy, geometrií, asociacemi), které mohou být podtypy existujících typů. Jedna datová sada CityGML může současně používat více ADE, což umožňuje víceúčelové využití 3D modelů měst.

Příkladem může být NoiseADE sloužící k simulaci znečištění hlukem, HydroADE pro hydrologické aplikace či rozšíření pro správu budov. (Gröger, Plümel, 2012)

4.5 Building module

Tento modul pro modelování stavebních objektů je jedním z nejpodrobněji zpracovaných tematických modulů. V literatuře (Löwner et al., 2012) je Building modul uváděn jako nejdůležitější součást CityGML. Modul je podrobněji popsán vzhledem k zaměření práce na stavební objekty. Zjednodušený UML diagram tříd popisující tento modul je zobrazen na obrázku 13.



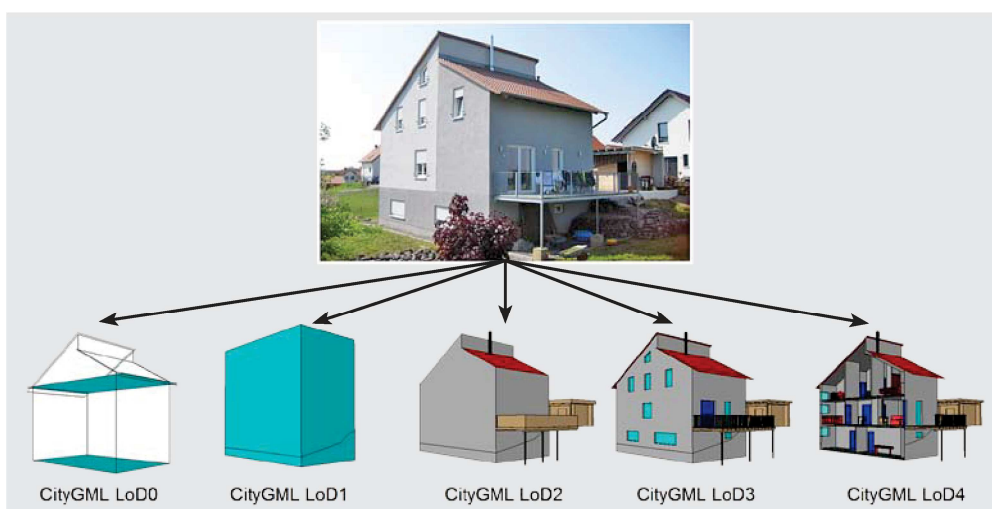
Obrázek 13: Zjednodušený diagram tříd modulu Building (Jedlička, Hájek, Čerba, 2012, upraveno dle Standardu CityGML)

Na obrázku 14 můžeme vidět zobrazení stavebního objektu ve všech úrovních detailu, tzn. LOD0 – LOD4. Popis jednotlivých úrovní detailu je převzat ze Standardu CityGML a možné využití je čerpáno z článku Löwner et al. (2013):

- LOD0 – stavební objekt je reprezentován svým půdorysem v úrovni zemského povrchu nebo půdorysem střešního pláště ve výšce okapů. V obou případech se jedná o horizontální povrchy s konstantní hodnotou výšky. Tato úroveň detailu může být použita při výpočtech hustoty a vzdáleností protipožárních opatření nebo třeba pro vizualizace využívání půdy.
- LOD1 – budova je znázorněna pouze jako blokový model bez jakéhokoli sémantického strukturování. Možným využitím modelu LOD1 je hlukové

mapování, odhadování povodňových škod v záplavových územích nebo také při analýzách viditelnosti pro optimalizaci rozmístění WLAN routerů.

- LOD2 – budova je zobrazena pomocí generalizované geometrie svého vnějšího pláště. Ve srovnání s LOD1 je ale vnější plášť budovy rozlišen sémanticky i geometricky, což rozšiřuje možnosti využití tohoto modelu. Modely v LOD2 jsou využívány např. pro analýzy tepelné náročnosti budov (díky celkové známé ploše vnějšího pláště). Analýzy střešních povrchů jsou využívány pro určení potenciálu solární energie. Díky namodelovaným součástem stavby jako jsou komíny nebo vikýře může být uvažováno i se stínovými efekty, které zvyšují přesnost odhadu.
- LOD3 – budova je reprezentována přesnou geometrií vnějšího pláště. Součástí tohoto modelu jsou již i dveře a okna – tzv. Openings. Toto rozšíření modelu přináší využití při analýzách evakuačních scénářů nebo policejních operací. Dále je možné upřesnit odhady tepelné náročnosti budov (použití odlišných koeficientů přenosu tepla pro okna a dveře).
- LOD4 – model v nejvyšším stupni rozlišení, který obsahuje i interiér budov skládající se z místností, schodů, nábytku a dalších částí vnitřního vybavení. Toto rozšíření umožňuje virtuální prohlídky budov. Dále je možné analyzovat vytápění budov díky vypočteným objemům vzduchu uvnitř budov a známému rozmístění topení (pouze v případě jeho namodelování).



Obrázek 14: Reprezentace budovy v LOD0 až LOD4 (převzato z Löwner et al., 2012)

4.6 Možnosti uložení CityGML v databázích

Gröger a Plümer (2012) uvádějí dvě možnosti uložení modelů ve formátu CityGML v databázích a to sice v Oracle Spatial 11g a 3DCityDB. První možnost představuje Spatial - rozšíření databázového systému Oracle pro ukládání, zpracování a analýzy prostorových dat. Naproti tomu 3DCityDB byla vyvinuta na Technické univerzitě v Berlíně pro uložení modelů vytvořených ve formátu CityGML. Cílem této práce je využít CityGML konceptů a realizovat obdobné uložení v ESRI geodatabázi.

4.7 Shrnutí CityGML

Datový formát CityGML je díky svým modulům vhodný k modelování reálného světa. Velkou předností CityGML je víceúrovňové modelování, které je nejvíce propracováno pro stavební objekty (viz výše).

I přesto, že se jedná o poměrně nový datový formát, tak je podporován celou řadou programů. Kompletní seznam programů a různých nástrojů podporujících formát CityGML lze nalézt na stránkách <http://www.citygmlwiki.org/>, kde je uvedeno i třídění na komerční a volně dostupné nástroje. Většina volně dostupných programů a nástrojů je pouze prohlížečkou dat CityGML, takže pro využití v této práci jsou nevyužitelné.

5 Postupy využitelné pro převod 3D dat z editačního nástroje do prostředí GIS

V následujících kapitolách jsou popsány obecné postupy převodů 3D dat z CAD do GIS (kapitoly 5.1.1 -5.1.4). V kapitole 5.2 jsou popsány možné konverze dat z formátu skp do geodatabáze.

5.1 Obecné postupy převodů dat z CAD do GIS

Li a kol. (2006) uvádí celkem čtyři možné cesty, jak integrovat 3D CAD data do GIS. Jedná se o přímý import, sdílený přístup do databáze, integrovanou správu dat a konverzi dat. Při převodech vždy záleží na konkrétním typu použitého softwaru a také na dalším využití dat. V podstatě neexistuje žádný univerzální klíč, ale vždy je třeba pečlivě zvážit jakou variantu zvolit. Tyto typy obecných postupů jsou popsány v následujících kapitolách.

5.1.1 Konverze dat

Při konverzi dochází k převodu dat z CAD formátu do datového formátu GIS a naopak. Pro tento převod bývá použit třetí datový formát, který je kompatibilní s oběma systémy. Tento proces nemusí být vždy dokonalý a nezdědka dochází ke ztrátě dat. Případná ztráta některých dat během konverze je nevýhodou, proto je nutné pečlivě vybrat zprostředkující datový formát. (Li a kol., 2006)

5.1.2 Přímý import

Přímý import dat je koncepčně podobný konverzi dat s tou výjimkou, že data jsou čtena a konvertována průběžně do paměti. Není zde využit žádný meziformát, ale pouze reprezentace v paměti GIS softwaru. (Maguire, 2003)

V případě využití komerčního software ArcGIS je tento přímý import umožněn nadstavbou Data Interoperability, díky níž je možný import dat do uvedeného programu z více než sta datových formátů. Tvůrcem nadstavby Data Interoperability je společnost Safe Software.

5.1.3 Sdílený přístup do databáze

Alternativou ke konverzi dat je sdílený přístup do databáze. Databáze ArcSDE umožňuje uživatelům CAD programů načítat a ukládat CAD elementy a pracovat s nimi v prostředí GIS. (Maguire, 2003)

Například doplněk CAD Client pro ArcSDE umožňuje sdílený přístup do databáze z programů Microstation a AutoCAD.

5.1.4 Integrovaná správa dat

Další efektivní řešení pro integraci 3D GIS a 3D CAD dat zahrnuje formální sémantickou a integrovanou správu dat. Nejprve musí být sémantika (geometrie a dalších informací) formalizována, což znamená tvorbu ontologické domény. Dále musí být tyto domény sladěny proti sobě tak, aby mohlo docházet ke smysluplné výměně informací mezi těmito dvěma světy. Po vyřešení sémantických rozdílů je vytvořen integrovaný model, který může sloužit více účelům. Integrovaný model musí být řízen takovým způsobem, aby byla zachována konzistence dat během aktualizací nebo během vkládání dat do databáze. (Li a kol., 2006)

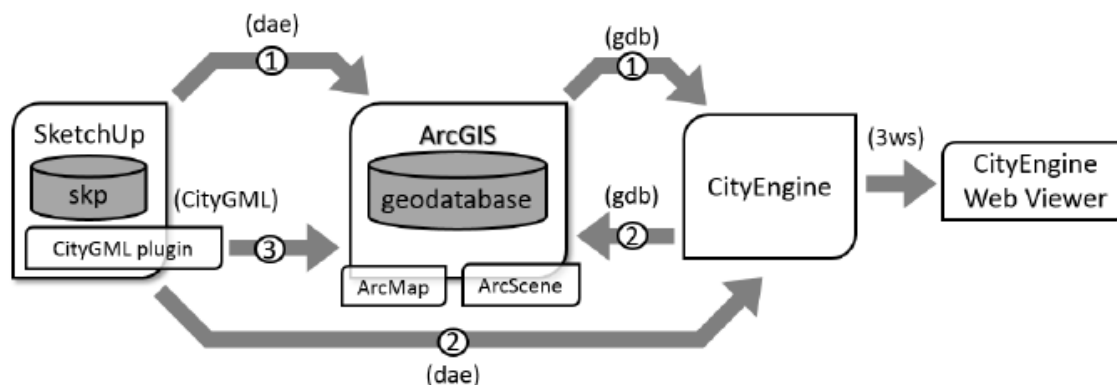
5.1.5 Shrnutí přístupů, zdůvodnění výběru konkrétního přístupu

Pro import 3D informace z editačního nástroje do GIS se jeví jako nejjednodušší a nejlépe využitelné první dva typy převodů – tedy konverze dat a přímý import. U konverze dat se s ohledem na vstupní data jeví jako použitelný meziformát datový formát CityGML. Další dva uvedené typy nabízejí komplexnější řešení převodů mezi CAD a GIS, avšak za cenu větší složitosti a náročnosti – jsou tedy vhodné pro větší projekty.

5.2 Možnosti převodu dat z programu SketchUp do geodatabáze

Tato kapitola popisuje možnosti konverze dat z editačního nástroje SketchUp do geodatabáze. Jelikož mají vstupní data využitá pro demonstraci postupu převodu modelu geometrické vlastnosti odpovídající formátu CityGML, jsou dále zmiňovány postupy konverze dat přes meziformát CityGML.

Jedlička a Hájek (2014) uvádějí celkem 3 možné postupy pro export dat z formátu skp do geodatabáze a dále do prostředí CityEngine (viz Obrázek 15).



Obrázek 15: Možné postupy převodů dat z formátu skp (Jedlička, Hájek, 2014)

První metoda konverze využívá meziformát COLLADA. Tuto metodu podrobněji popisuje Maren (2010).

Druhou metodou je přímý import do CityEngine a odtud je model exportován do geodatabáze. Při použití vhodného skriptu může být model exportován ze SketchUpu již georeferencovaný.

Třetí metoda exportuje model do georeferencovaného meziformátu CityGML. Pro tento export je však třeba zásuvný modul v programu SketchUp.

5.2.1 Zásuvný modul CityGML

Program SketchUp nenabízí přímý export modelu do formátu CityGML. Tento export však nabízí zásuvný modul CityGML-Toolchain-Editor vyvinutý na Westfälische Hochschule v německém Bocholtu. Modul lze stáhnout na stránkách www.citygml.de v sekci Download. Tento zásuvný modul v poslední verzi 1.8 z roku 2012 nabízí export a úpravy modelů budov. Při exportu je však model rozčleněn pouze do 3 vrstev – GroundSurface, WallSurface a RoofSurface, což odpovídá úrovni rozlišení 2 (LOD2). Všechny ostatní vrstvy jsou uloženy do vrstvy Building_Surface. Toto omezení činí tento nástroj nepoužitelným pro potřeby této práce, ve které jsou zpracovávány modely v nejvyšším stupni rozlišení (LOD4). V dokumentaci zásuvného modelu autoři tvrdí, že v dalších verzích bude export rozšířen na všechny vrstvy specifikované Standardem CityGML. Ovšem v současné době (jaro 2015) je poslední verzí zmiňovaná verze 1.8.

Pokud by se odhlédlo od omezení exportu budov v maximálním rozlišení LOD2, tak by zásuvný modul byl dobrým nástrojem pro převod modelů stavebních objektů do formátu CityGML. Proto byl zdrojový kód – CityGMLExport.rb – zajišťující export prostudován a upraven. Úprava modulu byla provedena studenty předmětu Aplikace GIS. Úprava kódu spočívala v přidání vrstev, tak jak je specifikuje Standard CityGML, aby byl celý model budovy správně uložen po jednotlivých vrstvách. Zdrojový kód exportního modulu byl tedy upraven tak, aby mohly být převedeny i prvky v těchto vrstvách: CeilingSurface, InteriorWallSurface, FloorSurface, OuterFloorSurface, Window, Door, BuildingInstallation a IntBuildingInstallation. Rozšíření modulu o uvedené vrstvy umožňuje provádět export modelů stavebních objektů v nejvyšší míře rozlišení (LOD4).

5.2.2 Zásuvný modul CityEditor

Vývoj výše uvedeného zásuvného modulu již neprobíhá na výše uvedené škole, ale modul je vyvíjen soukromou společností 3DIS. Na stránkách společnosti 3DIS lze stáhnout zásuvný modul CityEditor v zatím poslední verzi 1.7.0. Modul cityEditor umožňuje export modelů budov v úrovni detailu 4 (LOD4). Tento modul je vyvíjen jako komerční software avšak lze využít zkušební doby na prozkoušení modulu.

6 Převod modelů stavebních objektů

Cílem práce je převod modelů stavebních objektů z prostředí editačního nástroje do geodatabáze v GIS. Jako příklad poslouží budova zámku Kozel a další budovy z areálu tohoto zámku: zámecká kaple, jízdárna, konírna a lokajna. Zámecký areál na Kozlu nebyl vybrán náhodou, mimo jiné navazuje na řadu diplomových a jiných odborných prací sepsaných na oddělení Geomatiky, jež je součástí katedry Matematiky na Fakultě aplikovaných věd ZČU v Plzni. Oddělení Geomatiky navázalo spolupráci se správou Státního zámku Kozel již v roce 2005 a podílí se na projektu Prostorové evidence kulturního dědictví (více informací lze nalézt na stránkách <http://www.gis.zcu.cz/projekty/Kozel/>).

Řešení problému převodu modelů se stává z několika kroků: úprava stávajících modelů vytvořených v programu SketchUp a georeferencování těchto modelů. Dalším krokem byl export modelů do formátu CityGML a následně do geodatabáze. Tyto kroky jsou podrobněji popsány v samostatných kapitolách.

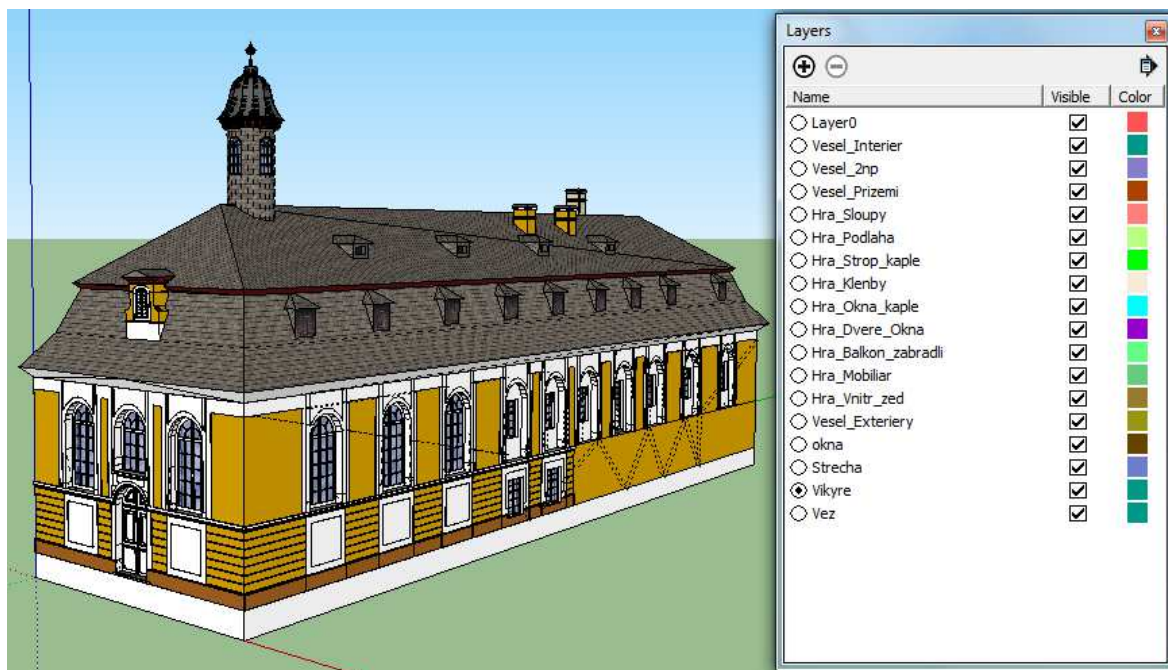
6.1 Úprava modelu v programu SketchUp

Model stavebního objektu kaple musel být nejprve upraven, aby rozvrstvení modelu odpovídalo Standardu CityGML. Další úpravou bylo georeferencování modelu.

6.1.1 Úprava nesémantického modelu

Podkladem pro převod modelu z editačního nástroje SketchUp byl model zámecké kaple na Kozlu. Tento model byl vytvořen kolegyní Elenou Belai nejprve jako semestrální práce z předmětu AGI a do finální podoby byl upraven v její diplomové práci zabývající se 3D tiskem. Geometrie tohoto modelu byla vytvořena v úrovni detailu 4 (LOD4), avšak model neobsahoval sémantické vlastnosti definované Standardem CityGML (viz Obrázek 16).

Prvky tohoto modelu musely být rozděleny do jednotlivých vrstev, tak aby model odpovídal členění dle Standardu CityGML. Tato úprava probíhala v programu SketchUp.



Obrázek 16: Model kaple před úpravou ve SketchUpu

Do modelu byly přidány nové vrstvy (Layers), které byly pojmenovány podle prvkových tříd definovaných Standardem CityGML. Dalším krokem byly přesuny prvků z původních vrstev do vrstev nově vytvořených.

Tato úprava modelu je důležitá pro následné uložení modelu kaple do formátu CityGML. Díky tomuto rozdělení modelu je možné následně uložit jednotlivé vrstvy modelu do samostatných prvkových tříd v geodatabázi, což představuje zachování atributové složky modelu.

SketchUp umožňuje seskupovat jednotlivé prvky modelu do skupin (Group). Této možnosti bylo využito pro seskupení prvků, které spolu vytváří jeden funkční celek (např. okno, dveře, komín). Takto vytvořené skupiny jsou při exportu do CityGML uloženy jako samostatné části budovy. Po importu modelu do geodatabáze nejsou prvky uloženy ve skupinách pouze součástí vrstvy, ale jsou součástí jednotlivých částí této vrstvy. Například prvky sloučené do skupiny objektu okna, jsou součástí celé vrstvy oken, ale také jsou součástí jednoho konkrétního okna.

6.1.2 Georeferencování modelů

Modely v programu SketchUp mohou být georeferencovány pomocí dvou metod. První možností je umístění modelu pomocí funkce Geo-location, která umožňuje zasazení modelu pomocí Google map. Druhou možností je ruční nastavení počátku souřadnic. Toto nastavení lze nalézt na kartě Model Info v záložce Geo-location (Advanced Settings). Při georeferencování modelů byly odzkoušeny a využity obě možnosti nabízené SketchUpem. Pomocí funkce Geo-location se nepodařilo model usadit s potřebnou přesností. Toto usazení však pomohlo poměrně přesně natočit model. Lepší výsledek přineslo ruční nastavení počátku souřadnic, kdy byl vždy jako počátek souřadnicového systému zvolen roh budovy. Přesné souřadnice (v S-JSTK) zvoleného rohu budovy byly získány ze zaměření zámeckého areálu na Kozlu. Protože SketchUp vyžaduje zadání souřadnic v souřadnicovém systému UTM, musely být souřadnice transformovány. Pro transformaci byla využita metoda Burša-Wolf. Transformace byla provedena pomocí knihovny cs2cs, která je součástí programu FWTools. Tímto způsobem byly modely zasazeny do souřadnic X,Y. Pro správné výškové usazení modelu slouží v nastavení exportního modulu políčko Z, kam se zapisuje nadmořská výška. Nadmořská výška modelů byla nastavena totožně se zákřesem nejnižší vrstvy GroundSurface. Hodnota nadmořské výšky byla převzata opět ze zaměření zámeckého areálu.

6.1.3 Úprava modelů - zjednodušení

Z důvodů problémů při převodech (viz kapitola 6.2.2), byl model budovy upraven tak, aby byly do prvkových tříd v geodatabázi uloženy všechny vrstvy s typem geometrie MultiSurface. Prvky z vrstev s geometrií Geometry tedy byly přesunuty do vrstev s geometrií MultiSurface. U modelů stavebních objektů tedy bylo provedeno zjednodušení, což spočívalo ve snížení počtu vrstev. Toto snížení počtu vrstev s sebou přináší ztrátu části sémantických vlastností modelu.

Komíny a vikýře patřící dle Standardu CityGML do vrstvy BuildingInstallation byly nově uloženy do vrstvy RoofSurface. Schody byly přeřazeny do vrstvy FloorSurface. Sloupy uvnitř budovy lokajny byly z původní vrstvy IntBuildingInstallation přesunuty do vrstvy InteriorWallSurface. Části balkonů uvnitř kaple byly rozděleny celkem do tří vrstev podle toho, kam se svým charakterem nejvíce hodí. Podlaha balkonů byla přiřazena do

vrstvy FloorSurface, spodní část balkónů tvořící strop do vrstvy CeilingSurface a ostatní části do vrstvy InteriorWallSurface.

Při zjednodušení modelů bylo vždy pečlivě zváženo, kam prvky z nepodporovaných tříd zařadit.

6.2 Převod modelu z editačního nástroje SketchUp do geodatabáze

Jádrem práce je nalezení optimálního postupu pro převod modelů stavebních objektů vytvořených v programu SketchUp do prostředí GIS, tak aby došlo k co nejmenší ztrátě informací. Takový převod byl prováděn a zkoušen pomocí více metod, které jsou popsány v následujících kapitolách.

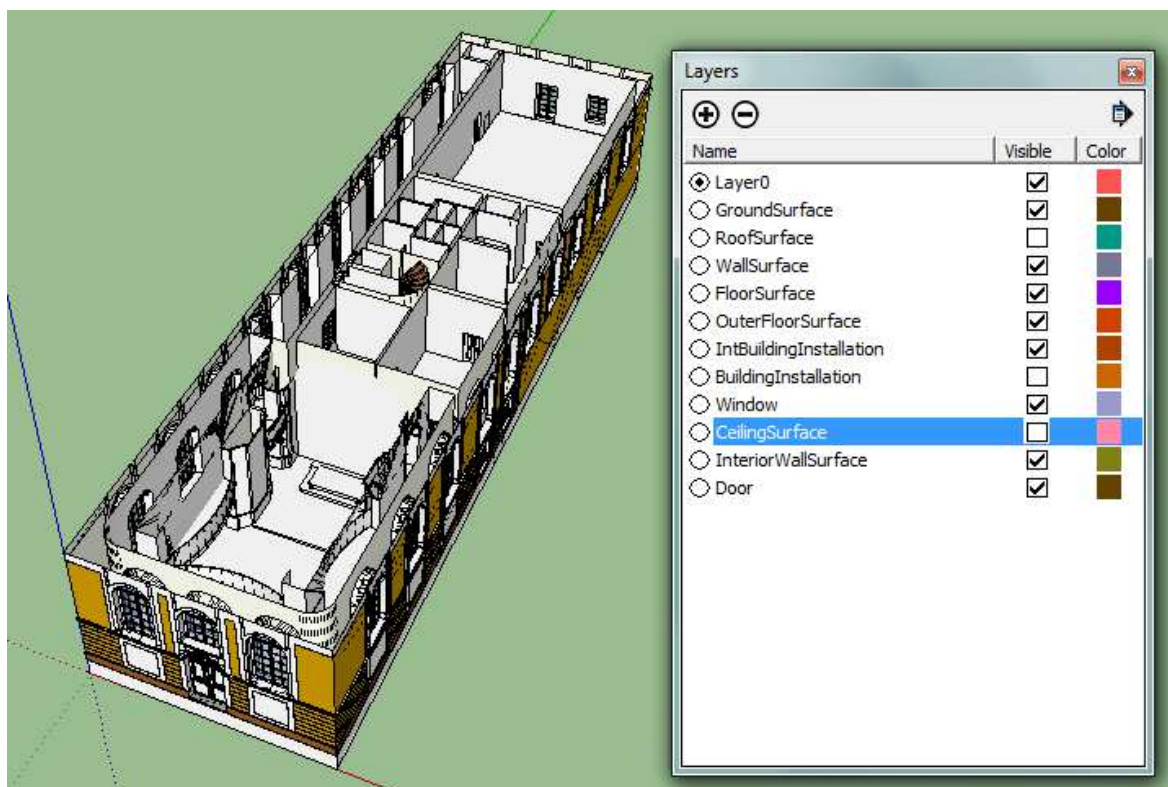
6.2.1 Přímý import modelu do geodatabáze

Extenze Data Interoperability nabízí přímý import modelu ve formátu skp do software ArcMap. Přímý import se nikdy nezdařil, vždy došlo k závažné chybě a import neproběhl. Podobný problém mají i někteří uživatelé. V diskusi na stránkách <http://gis.stackexchange.com/questions/1266/how-can-i-export-a-sketchup-model-to-arcgiss-multipatch> lze nalézt názor, že chyba může být způsobena georeferencováním. I v případě úspěšného importu by tato možnost zřejmě nemohla být v této práci použita, protože s největší pravděpodobností by byl celý model uložen pouze do jedné vrstvy.

6.2.2 Export modelu ze SketchUp do CityGML

Model stavebního objektu rozčleněný do vrstev dle Standardu CityGML, který obsahuje seskupené funkčně související prvky, byl dále exportován do formátu CityGML.

Pro export byl použit zásuvný modul CityGML, který byl upraven pro export modelů v úrovni detailu 4 (LOD4) (viz kapitola 5.2.1). Vstupními daty takového exportu jsou modely budov, rozčleněné do vrstev podle Standardu CityGML (viz Obrázek 17).



Obrázek 17: Model kaple v LOD4 rozčleněný do vrstev dle Standardu CityGML

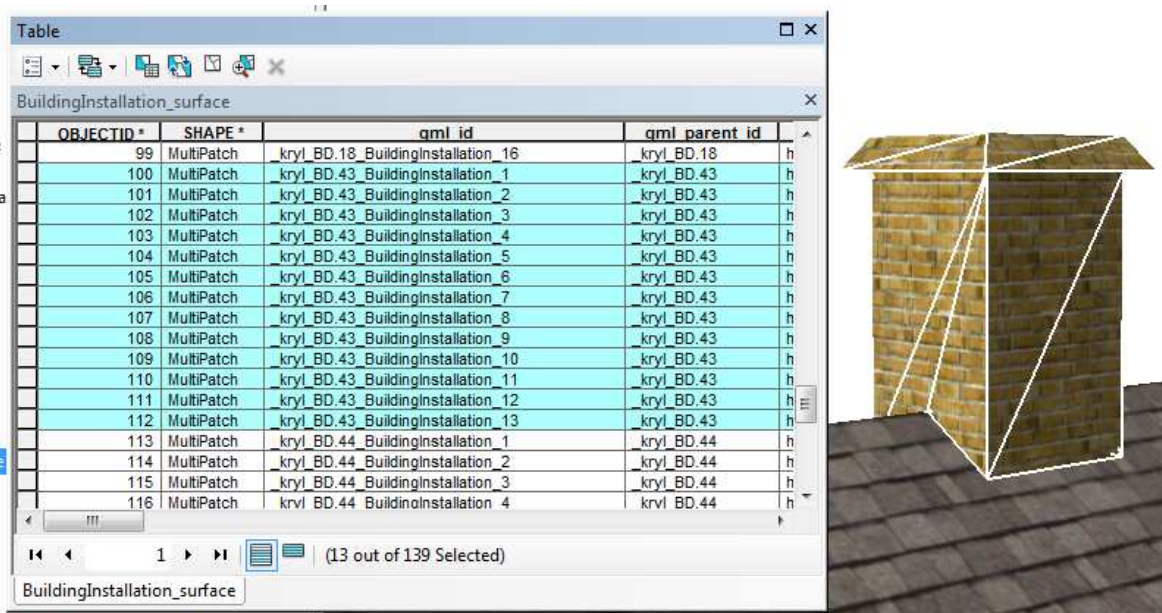
Vyexportovaný model ve formátu CityGML již mohl být pomocí rozšíření Data Interoperability, konkrétně pomocí nástroje QuickImport načten a uložen do geodatabáze v prostředí ArcGIS.

Při kontrole provedeného importu do geodatabáze bylo zjištěno, že nebyly korektně převedeny všechny vrstvy modelu budovy. Do samostatných prvkových tříd byly uloženy tyto původní vrstvy modelu budovy: GroundSurface, WallSurface, RoofSurface, CeilingSurface, FloorSurface, InteriorWallSurface, Window a Door. Problém nastal u vrstev BuildingInstallation, IntBuildingInstallation a BuildingFurniture. Všechny objekty z těchto tří vrstev byly uloženy do prvkové třídy Building_surface. Při bližším prozkoumání modelu exportovaného do formátu CityGML bylo zjištěno, že model obsahuje prvky spadající do těchto tří vrstev, a že jsou uloženy stejným způsobem jako všechny ostatní vrstvy. Po podrobnějším prostudování UML diagramu Building modulu (viz příloha č. 1) byla objevena chyba v uloženém modelu ve formátu CityGML. Prvky ze špatně uložených vrstev mají mít podle CityGML standardu atribut citygml_lod_name nastaven na hodnotu <lod4Geometry>, zatímco zbylé vrstvy mají mít tento atribut nastavený na <lod4MultiSurface> (z hlediska Standardu CityGML povolené hodnoty atributu viz tabulka 1). Skript ovšem nastavuje hodnotu atributu citygml_lod_name pro

celý model a neumožňuje kombinaci více hodnot tohoto atributu. Při nastavení exportu nabízí pouze dvě hodnoty: MultiSurface, kterou využívá větší část vrstev. A druhou hodnotu Solid, jež využívají pouze vrstvy Room a Building

Z tohoto důvodu jsou prvky uložené ve výše zmíněných třech vrstvách převedeny do formátu CityGML, ale následný import do geodatabáze z důvodu špatného přiřazení typu geometrie neproběhne korektně. Uložení do prvkové třídy Building_surface je způsobeno nastavením exportu modelu z programu SketchUp do formátu CityGML. Do této vrstvy se totiž uloží prvky, které se nepřidají do správných vrstev. Zásuvný modul CityGML umožňuje výběr exportu modelu pouze do jednoho z formátů geometrie MultiSurface nebo Solid, proto prvky, které by měly mít jiný atribut připadnou do zbytkové vrstvy Building_surface.

Cílem práce nebylo editovat skript zásuvného modulu, ale ověřit způsob převodu. Proto byl zdrojový kód modelu lokajny ve formátu CityGML ručně upraven, aby mohla být ověřena či vyvrácena hypotéza s odlišným typem geometrie u výše uvedených vrstev. U vrstev BuildingInstallation a IntBuildingInstallation byl změněn atribut z původní hodnoty <bldg:lod4MultiSurface> na správné hodnoty <bldg:lod4Geometry>. Takto upravený model byl následně importován do geodatabáze, kde byly korektně zobrazeny všechny převáděné vrstvy (ukázka viz Obrázek 18). Domněnka s různými typy geometrie tedy byla potvrzena. Ručně editovaný model ve formátu CityGML a jeho uložení v geodatabázi jsou přílohou této práce.



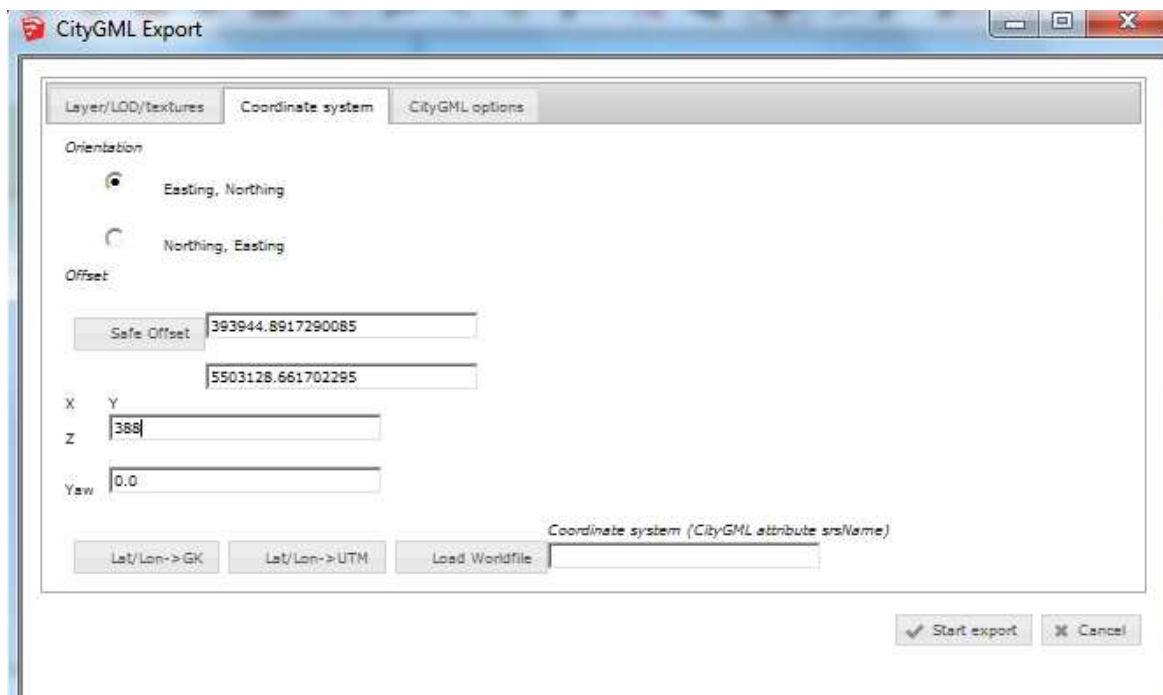
Obrázek 18: Atributová tabulka vrstvy BuildingInstallation a objekt komínu - ručně editovaný model lokajny

Tabulka 1: Možné hodnoty atributu citygml_lod_name (upraveno dle FME Readers and Writers, 2015)

CityGML Prvková třída	Možná hodnota atributu citygml_lod_name
Building BuildingPart	lod[1-4]Solid lod[1-4]MultiSurface lod[2-4]MultiCurve lod[1-4]TerrainIntersection
BuildingInstallation	lod[2-4]Geometry
RoofSurface WallSurface GroundSurface ClosureSurface FloorSurface OuterFloorSurface OuterCeilingSurface InteriorWallSurface CeilingSurface	lod[2-4]MultiSurface
Door Window	lod[3-4]MultiSurface
Room	lod4Solid lod4MultiSurface
BuildingFurniture IntBuildingInstallation	lod4Geometry

Zkušebně byl také proveden export modelu pomocí komerčního zásuvného modulu CityEditor. Tento modul neumožňuje vybrat, které vrstvy je možné převést. Vždy je tedy exportován celý model. Model byl z formátu CityGML následně naimportován do geodatabáze. Při prozkoumání modelu v geodatabázi bylo zjištěno, že celý model je uložen v jedné vrstvě Building_surface. Při zkoušení modulu bylo též zjištěno, že stejně jako jeho předchůdce CityGML ve verzi 1.8, nabízí export dvou typů geometrie – MultiSurface a Solid. Výhodou komerčního CityEditoru je podpora exportu modelů v úrovni detailu 4 (LOD4), ovšem pouze do jedné prvkové třídy.

Export georeferencovaného modelu umožňuje zásuvný modul CityGML (nastavení viz Obrázek 19). Model je exportován do formátu CityGML v souřadnicovém systému UTM.



Obrázek 19: Nastavení exportu georeferencovaného modelu

6.2.3 Import modelu z formátu CityGML do geodatabáze

Následný import do geodatabáze umožňuje také vybrat souřadnicový systém, při zkoušení této možnosti je však model transformován celý a při zobrazení geodatabáze v prostředí ArcScene je model zdeformovaný.

Při importu modelu ve formátu CityGML do geodatabáze tedy nastaven souřadnicový systém. Ten byl jednotlivým prvkovým třídám přiřazen až následovně v geodatabázi. Tato posloupnost prací přinesla nezdeformovaný model stavebního objektu v souřadnicovém systému UTM. Cílem však byl převod modelu do systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Tohoto převodu bylo docíleno pomocí nástroje Batch Project, který je součástí toolboxu Data Management Tools, konkrétně nástroje Projections and Transformations. Pro transformaci byla použita metoda Position Vector. Při transformaci byly transformovány pouze souřadnice X,Y a hodnota nadmořské výšky h byla pouze převzata.

7 Diskuze

Výsledkem této práce jsou modely stavebních budov ze zámeckého areálu na Kozlu uložené v geodatabázi v souřadnicovém systému S-JTSK. Podařilo se tak splnit cíl práce, neboť byly při převodech z editačního nástroje SketchUp zachovány atributové informace prvků modelu. Model stavebního objektu byl uložen do prvkových tříd v geodatabázi, které odpovídají vrstvám dle Standardu CityGML. Do geodatabáze byly uloženy nejen jednotlivé vrstvy, ale i jednotlivé objekty, které se skládají z více prvků (např. okna, dveře). Bohužel byly převedeny pouze sémanticky zjednodušené modely v úrovni detailu 4 (LOD4). Oproti plnému rozlišení chybí tyto prvkové třídy – BuildingInstallation, IntBuildingInstallation, BuildingFurniture, OuterFloorSurface, OuterCeilingSurface a Room. Příčina tohoto nedostatku byla zjištěna v závěrečné fázi vypracování této práce, a proto nebyl zdroj tohoto nedostatku vyřešen.

Výsledkem je tedy model uložený v geodatabázi jehož geometrie odpovídá úrovni detailu 4 (LOD4), ale sémanticky se model nachází mezi úrovněmi detailu 3 a 4. Rozlišením geometrických a sémantických úrovní detailu v CityGML se zabývá Löwner a kol. (2013).

Možným rozšířením práce by byla úprava zásuvného modelu tak, aby byl schopen převést modely stavebních objektů ve všech vrstvách, jak je specifikuje Standard CityGML.

8 Závěr

V úvodní části práce jsou popsány typy reprezentací používaných pro uložení 3D dat s přihlédnutím k jejich možnému použití při ukládání 3D modelů stavebních objektů. Následnou kapitolou je krátký popis nejznámějších formátů pro ukládání 3D dat. Jako vhodný formát pro ukládání 3D modelů stavebních objektů je detailněji popsán formát CityGML. Na základě studia možných využitelných postupů, byl vybrán postup využitý při demonstraci převodu 3D modelu stavebního objektu do geodatabáze v GIS.

Podkladem pro převody modelů z editačního nástroje do GIS byly modely budov ze zámeckého areálu na Kozlu. Tyto modely byly vytvořeny v editačním programu SketchUp. Výsledkem této práce jsou georeferencované modely budov uložené v geodatabázi. Při převodech do geodatabáze v GIS z editačního nástroje, v němž byly modely vytvořeny, se podařilo zachovat atributové složky. Modely jsou v nejvyšší úrovni detailu 4 (LOD4), avšak rozvrstvení modelu neodpovídá plně standardu CityGML. Počet vrstev musel být kvůli problémům s převodem snížen. Důvodem problémů byl odlišný typ geometrie u některých vrstev, přičemž převodní nástroj umožňuje zvolit pouze jednu variantu geometrie.

Výsledné modely byly zasazeny do modelu zámeckého areálu na Kozlu.

Použitá literatura

ABDUL-RAHMAN, A., PILOUK, M.: *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, ISBN 978-3-540-74166-4.

AGOSTON, M. K. *Computer Graphics and Geometric Modelling: Implementation & Algorithms*. Springer-Verlag London, 2005, ISBN 1-85233-818-0.

BARNES, M., FINCH, E. L: *COLLADA – Digital Asset Schema Release 1.5.0 Specification*. Khronos Group, 2008. Dostupné z URL <https://www.khronos.org/files/collada_spec_1_5.pdf>

CAREY, R., BELL, G. MARRIN, CH. *ISO/IEC 14772-1:1997 Virtual Reality Modeling Language (VRML97)* The VRML Consortium Incorporated, 1997.

ČERNÝ, M. *Porovnání datových standardů pro geografické informační systémy a informační modely budov*. Geografický a kartografický obzor. roč. 60. únor 2014. s. 30-41.

ČERNÝ, M. GIS ANALÝZY V PROSTŘEDÍ INFORMAČNÍCH MODELŮ STAVEB. Brno, 2013. 112 s . 4 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc..

FME Readers and Writers. Safe Software Inc., 2015. Dostupné z URL <<https://knowledge.safe.com/KnowledgeDocumentation>>

GRÖGER, G., PLÜMER, L. *CityGML – Interoperable semantic 3D city models*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 71, July 2012, s. 12–33. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271612000779>>

HABIB, A.F., KERSTING, J., T.M. MCCAFFREY, JARVIS, A.M.Y. *Integration of lidar and airborne imagery for realistic visualization of 3D urban environments*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 2008, XXVII(B2): 617-624.

HILLER, J. D., LIPSON, H. *STL 2.0: A proposal for a universal multi-material additive manufacturing file format*. Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF'09), Aug 3-5 2009, Austin, TX, USA

CHEN, Teng-Hao, et al. *How to print a crystal structure model in 3D*. CrystEngComm, roč. 16, č. 25, 2014, s. 5488-5493.

Industry Foundation Classes Release 4 (IFC4). buildingSMART, 2013. Dostupné z URL <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/index.htm>>

JEDLIČKA, K., HÁJEK, P., ČERBA, O. Zkušenosti s metodami 3D kartografie získané během vizualizace detailních geografických dat za účelem dokumentování kulturního dědictví (případová studie na zámku Kozel). In *Geomatika v projektech 2012 : sborník abstraktů příspěvků ze semináře*. Plzeň: Tribun EU, 2012. s. 6-7.

ISBN: 978-80-263-0308-4

JEDLIČKA, K., HÁJEK, P. Large scale virtual geographic environment of the castle Kozel – best practise example. In *Proceedings of the 5th International Conference on Cartography and GIS*, Volume 1, Riviera, June 2015, pp. 397-404. Bulgaria. ISSN:1314-0604

KOLBE, T. H. *Representing and exchanging 3D city models with CityGML*. 2008

KOPF, P. *Workflow für die Generierung semantisch strukturierter, texturierter CityGML-Modelle aus Konstruktionsdaten*. Karlsruher Institut für Technologie, 2013.

LI, J., TOR, Y.K., ZHU, Q. *Research and Implement of 3D Data Integration between 3D GIS and 3D CAD*. Mnichov, 2006.

LÖWNER, M.-O., BENNER, J., GRÖGER, G. & HÄFELE, K.-H. *New Concepts for Structuring 3D City Models - an Extended Level of Detail Concept for CityGML Buildings*. In: B. Murgante et al. (Eds.): ICCSA 2013, Part III, LNCS 7973, Springer, Heidelberg, 466-480.

LÖWNER, M.-O. et al. *CityGML 2.0 - ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle, Teil 1: Datenmodell*. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 6/2012, s. 340 - 349.

MAGUIRE, D.J. *Improving CAD-GIS Interoperability*. ESRI, 2003. Dostupné z URL <<http://www.esri.com/news/arcnews/winter0203articles/improving-cad.html>>

MAREN, G. *ArcGIS to SketchUp and back*. ESRI, 2010. Dostupné z URL <<http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/25/arcgis-to-sketchup-and-back/>>

McHENRY, K., BAJCSY, P. *An Overview of 3D Data Content, File Formats and Viewers*. 2008.

Open Geospatial Consortium. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Ver. 2.0.0. 2012. Dostupné z URL
<https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842>

PÍŠA, Z. *Výměna dat mezi systémy CAD*. Vysoké učení technické. Brno, 2003. ISBN 80-214-2440-0

STOTER, J., ZLATANOVA, S.: *3D GIS, where are we standing?* [on-line], 2003. [cit. 12. 3. 2014]. Dostupný na WWW: <http://www.gdmc.nl/publications/2003/3D_GIS.pdf>.

STROUD I. *Boundary Representation Modelling Techniques*. Springer, 2006. 788 s. ISBN 978-1-84628-312-3.

TABORDA, R., BIELAK, J.: Large-Scale Earthquake Simulation: Computational Seismology and Complex Engineering Systems, *In Computing in Science & Engineering*, vol. 13, no. 4, s. 14-27, July/August 2011

TIEDE D., BLASCHKE T.: *A Two-Way Workflow for Integrating CAD, 3D Visualization and Spatial Analysis in a GIS Environment*. The 6 th international Conference for Information Technologies in Landscape Architecture: Real-Time Visualization and Participation, Visualization in Landscape Architecture 01/2005

The Multipatch Geometry Type. ESRI 2012. Dostupné z URL
<<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf>>

YU, Sz-Cheng; TEO, Tee-Ann.: The Generalization of BIM/IFC Model for Multi-Scale 3D GIS/CITYGML Models. *In Proceedings of 35th Asian Conference on Remote Sensing*. 2014.

ZLATANOVA, S., STOTER, J., ISIKDAG, U.: Standards for Exchange and Storage of 3D Information: Challenges and Opportunities for Emergency Response. *In Proceedings of the 4th International Conference on Cartography & GIS*, Volume 2, Albena, June 2012, pp. 17-28. Bulgaria. ISSN:1314-0604

ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P.: *Moderní počítačová grafika*. Computer Press, 2005. ISBN 80-251-0454-

Přílohy

Diagram tříd modulu Building

Přílohy uložené na DVD

Modely budov ze zámeckého areálu na Kozlu v rozlišení LOD4 ve formátu skp – vstupní data

Georeferencované modely budov ze zámeckého areálu na Kozlu ve zjednodušeném rozlišení LOD4 ve formátu skp

Georeferencované modely budov ze zámeckého areálu na Kozlu ve zjednodušeném rozlišení LOD4 ve formátu CityGML

Georeferencované modely budov uložené v geodatabázi gdb – v souřadnicových systémech UTM a S-JTSK

Sxd scéna s vizualizací zámeckého areálu

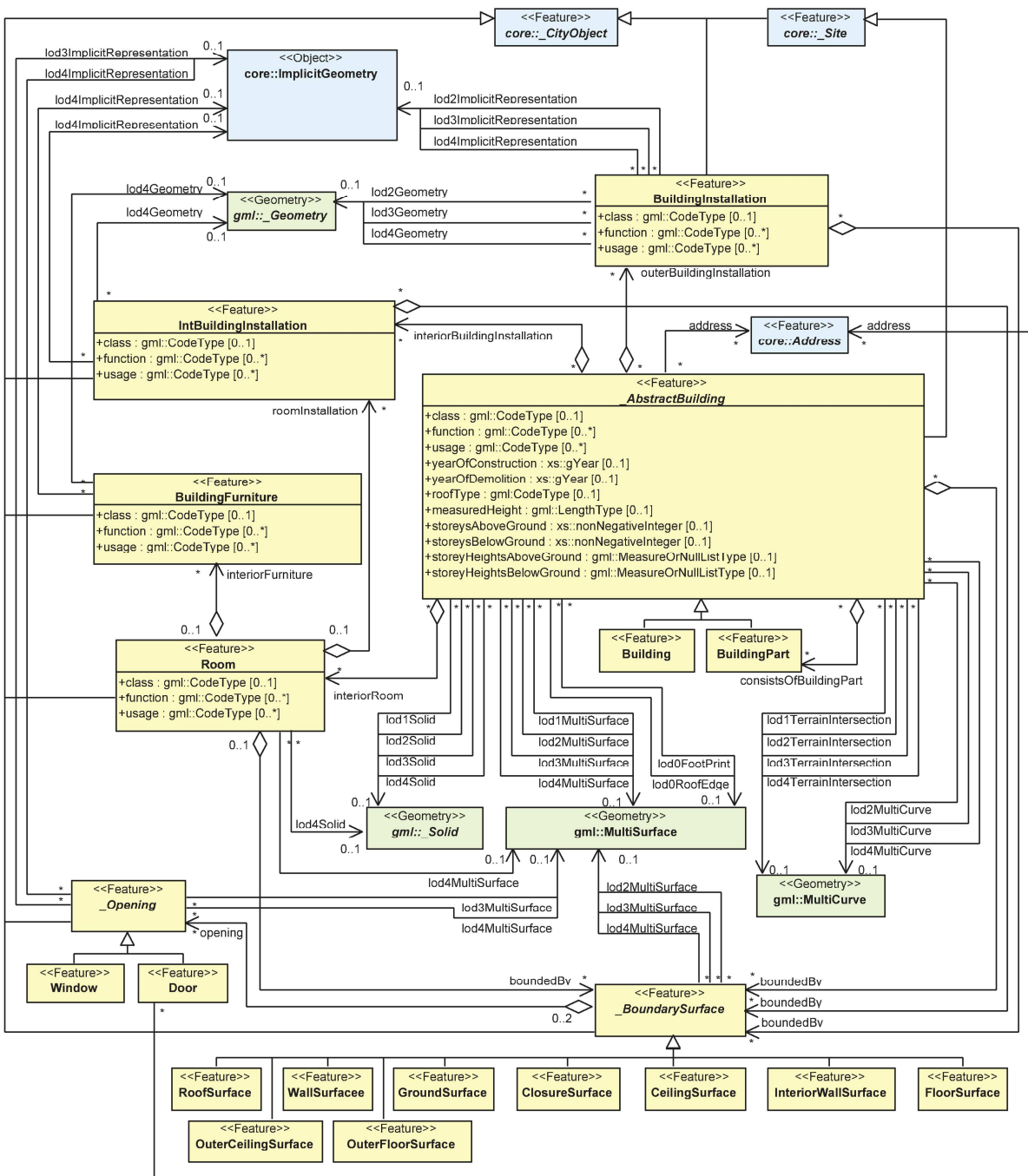
Ručně upravený model lokajny – formáty: CityGML a geodatabáze gdb

Zdrojový kód upraveného zásuvného modulu CityGML

Použitý software

ESRI, 2010. ArcGIS [software]. Version 10.0. Redlands: ESRI

Trimble, 2013. SketchUp [software]. Version 13. Sunnyvale: Trimble



Příloha č. 1: Diagram tříd modulu Building (převzato ze Standardu CityGML, 2012)