

# Moderní kartografické metody modelování měst

Lukáš Herman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta,  
Masarykova univerzita, Kotlářská 2,  
611 37, Brno, Česká republika  
222752@mail.muni.cz

**Abstrakt.** Cílem této práce je popis tvorby modelů měst ve formátu CityGML. Rešeršní část je založena na obecném přehledu metod a technologií užívaných v oblasti konstrukce a vizualizace 3D modelů. Na obecnější informace přímo navazuje rozbor samotného formátu CityGML, jeho možností, praktického využití a existujících rozšíření. CityGML slouží k ukládání a výměně komplexních 3D geometrických, topologických, sémantických i vizuálních informací z různých tématik. V rámci praktické části byl zpracován model území brněnské městské části Nový Lískovec. Byly vytvořeny dvě varianty modelu a obě stojí na obsahové kostře tvořené zástavbou a modelem terénu. První varianta je doplněna texturami a je určena k vizualizaci. Druhá je pak založena na kombinaci s daty hlukového mapování, což je v současnosti nejvíce rozpracovaný obor užití CityGML. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky a nastíněn vývoj tohoto formátu v blízké budoucnosti.

**Klíčová slova:** 3D modelování, 3D vizualizace, CityGML, hlukové mapování, modely měst, Nový Lískovec.

**Abstract.** Main goal of this paper is description of making city models in CityGML format. Theoretical part is based on general overview of methods and technologies used in the area of construction and visualization of 3D city models. General information is followed by the analysis of CityGML format itself, its possibilities, practical applications and existing extensions. CityGML can be used for storage and exchange of complex 3D geometrical, topological, semantic and visual information from many thematic fields. In scope of practical part was made a model of one part of Brno town – Nový Lískovec. Two variants of model were created and they both lie on framework consisting from buildings and digital terrain model. First version has been filled up with textures. Second variant is established on combination with data of noise mapping, which is the most advanced application of CityGML in present. There are summarized achieved results and foreshadowed future development of this format in conclusion.

**Keywords:** 3D modelling, 3D visualization, CityGML, noise mapping, Nový Lískovec, urban models.

## 1 Úvod

Hlavním tématem této práce je 3D prostorová reprezentace a především její využití pro tvorbu modelů měst. K tomuto účelu je využita technologie CityGML (*City*

*Geography Markup Language*). Tento formát vychází z jazyka GML (Geography Markup Language), přičemž je zaměřen právě na 3D modelování měst. CityGML je od října 2008 standardem organizace OGC (*Open Geospatial Consortium*). Těžičtě využití CityGML neleží jen v oblasti vizualizace, ale slouží také pro ukládání a výměnu dat a jako vstup do analýz, ve kterých je kombinováno s dalšími daty. Formát CityGML umožňuje ve formální struktuře XML definování jednotlivých tříd objektů a vztahů mezi nimi. Model města tak může obsahovat nejen geometrické, ale i topologické a sémantické informace [6].

Tato práce je dosud pravděpodobně jedinou prací v českém jazyce, která se věnuje CityGML jak z teoretického, tak z praktického hlediska. Nejdůležitější zdroj informací o CityGML pak představuje OGC specifikace tohoto formátu [4]. Z různých stran se CityGML věnují také další autoři [2][6][14].

## 2 Vybrané aspekty 3D v geoinformatice

V současnosti dochází ke značnému rozvoji na poli troj a více rozměrných GISů. Problematiku realizace 3D v GIS lze rozdělit do čtyř základních oblastí. První je získávání dat, druhou modelování a ukládání dat, stručně charakterizované v následujících odstavcích. Další klíčové oblasti tvoří metody vizualizace a s ní úzce související postupy tvorby virtuální reality. Poslední část pak tvoří analýzy 3D dat [7]. Pro pořizování 3D dat jsou k dispozici různé metody. Od konvenčního dálkového průzkumu Země přes laserové skenování až po GNSS. Dále je možné získávat 3D data prostřednictvím extrakce z existujících grafických zdrojů nebo popisných dat. V praxi je však pořizování 3D dat většinou složitý a komplexní úkol, takže dochází ke kombinaci dat získaných různými metodami [7].

Mezi 3D datové modely se řadí modely drátěné (*Wire frame*), povrchové (sem spadá zobrazování pomocí GRIDu, facet modely, jako např. TIN, a reprezentace hranic) a objemové (3D pole, oktalový strom, reprezentace spojitých těles a 3D TIN) [1].

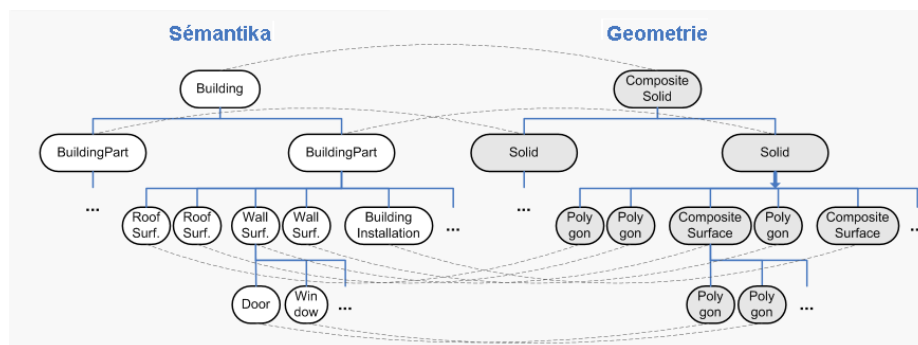
Značný je i počet 3D datových formátů. Za zmínku stojí jak otevřená technologie (OpenGL, VRML, X3D a Java 3D), formáty podporované společností Google (KML, COLLADA), řešení dalších firem (OpenFlight, 3DS nebo 3D PDF), tak existující pokusy o standardizaci (U3D nebo IFC – *Industry Foundation Classes*). Hojně jsou používány i 3D varianty GIS formátů (ESRI Multipatch) nebo CAD formátů (DXF, DWG, DNG) [9] [13].

Jak již bylo naznačeno 3D modelování v GIS je značně komplexní. Výše uvážené formáty mají svá omezení. Ani jeden z formátů nemůžeme považovat za všestranný. S touto skutečností souvisí také malé využití 3D modelů měst v jiných oblastech, než je vizualizace a prezentace. Výjimku v tuzemském prostředí tvoří například práce věnovaná využití 3D modelu části Brna ke studiu městského klimatu [10]. V zahraničí jsou ve 3D rozvíjeny i další aplikace (modelování povodní, 3D katastr nemovitostí nebo facility management) [11]. Formátem, který může být použit (a do určité míry už používán je) právě v těchto oblastech, je CityGML.

### 3 Charakteristika CityGML

CityGML je otevřený datový model a na XML založený formát pro prezentaci a přenos 3D modelů měst. Jeho základem je *Geography Markup Language* verze 3.1.1 (GML3) a rodina standardů ISO 191xx. Jak GML3, tak i samotné CityGML jsou standardy sdružení OGC. CityGML neslouží jen k zobrazení geometrie a grafické podoby modelu města, ale zahrnuje i topologické, sémantické a atributové informace. Dokáže popsat různé třídy objektů, vztahy mezi nimi a související nevizuální vlastnosti [6].

Ještě v nedávné minulosti byly 3D modely měst používány především pro vizualizaci, v současné době se však objevila řada tematických úloh vyžadujících rozšíření geometrického modelu. Podstatou sémantického modelování je propojení hierarchických geometrických struktur se strukturami sémantickými. Model se tedy skládá z jednotlivých sémantických prvků (např. *BuildingPart*, *WallSurface*) a každému z nich odpovídá konkrétní geometrie, např. *Solid*, *Polygon* [12].



Obr. 1. Propojení sémantické a geometrické struktury v CityGML (upraveno podle [12]).

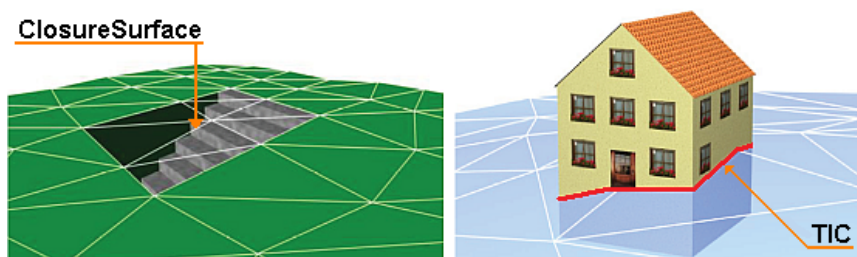
#### 3.1 Víceúrovňová reprezentace

Víceúrovňová reprezentace je v rámci CityGML realizována pěti úrovněmi detailu (LOD). Se zvyšující se úrovní detailu roste počet a složitost geometrických prvků a odlišuje se i tematická náplň. V jednom modelu mohou být zároveň použity prvky z různých úrovní. Jeden konkrétní objekt může mít v každé úrovni detailu jinou reprezentaci [4].

#### 3.2 Geometrie a topologie

Jak již bylo zmíněno CityGML je podmnožinou GML3. Oba tyto standardy dodržují definici geometrie podle specifikace ISO 19107. Geometrie se skládá z 0D až 3D geometrických primitiv, 1D až 3D složených geometrií a 0D až 3D agregovaných geometrií. Prvky složené geometrie (např. *CompositeSurface*) musí mít topologický vztah a musí se skládat z primitiv stejného rozměru. Naopak dílčí prvky agregované

geometrie (*MultiSurface* nebo *MultiSolid*) topologický vztah mít nemusí, mohou se překrývat nebo se vůbec nemusí dotýkat. Objemové (3D) geometrie jsou založeny na reprezentaci hranic. CityGML obsahuje navíc nadstavbové geometrické koncepty, *ImplicitGeometry*, *ClosureSurface* nebo *TerreinIntersectionCurve* (TIC) [4].



Obr. 2. Koncepty *ClosureSurface* a *TerreinIntersectionCurve* (upraveno podle [4]).

V CityGML je použit odlišný přístup k topologii než v GML3, protože ten je příliš složitý. K postžení topologických relací je využit XLink (*XML Linking Language*), který odkazuje na unikátní ID jednotlivých prvků. Konkrétní geometrie je tak definována jednou a při jejím dalším použití je na ni odkazováno, zároveň tento prvek propojuje oba objekty v topologickém vztahu [6].

### 3.3 Textury

Textury a informace o vzhledu povrchů (*Appearance*) nejsou v CityGML použity jen pro vizualizaci, ale lze je využívat i v některých analýzách. CityGML umožňuje takzvaný multi-texturing. Pro jeden model může existovat více variant vzhledu, ty jsou definovány pomocí témat (*themes*). Rovněž mohou být použity odlišné textury pro jednotlivé LOD. Vzhled může být určen nejen rastrovými snímky, ale i definovanými materiály, což je prvek převzatý z formátů X3D a COLLADA. Pomocí atributů *emissiveColor*, *diffuseColor*, *transparency* tak lze nastavit komplexní světelné chování objektů. Objekty jako jsou například budovy, jsou pokrývány texturami transformovanými podle zadané matice (*ParametrizedTextures*). K pokrytí povrchu bývají použity textury georeferencované (*GeoreferencedTextures*) [4].

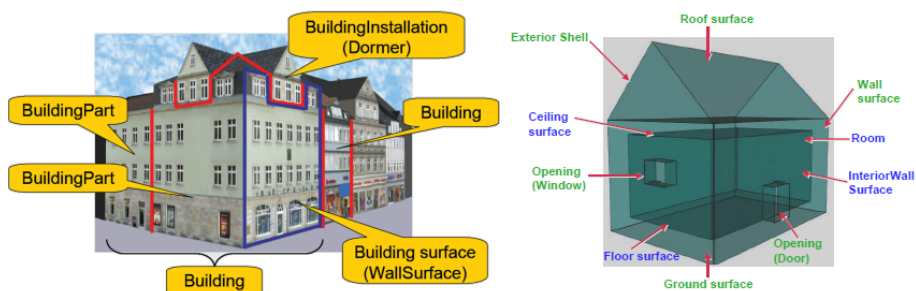
### 3.4 Sémantika

Sémantický model použitý v rámci CityGML je založený na standardu ISO 19109. Třídy a jejich vzájemné vztahy a atributy jsou modelovány v UML (*Unified Modelling Language*). Model se skládá ze sémantických celků, z nichž každému odpovídá určitý typ geometrie. Základní sémantické třídy jsou budovy, model terénu, hydrografie, land use, vegetace a dopravní objekty. Na nejvyšší úrovni se ve strukturním modelu CityGML nachází abstraktní třída *\_CityObject* která je

nadřazená všem ostatním třídám. Jednotlivé prvky *\_CityObject* jsou součástí kolekce *CityModel*, stejně jako třída *Appearance* [4].

Základní částí většiny modelů je DTM. Ve struktuře CityGML je reprezentován třídou *ReliefFeature*, která je obsažena ve všech LOD. DTM může být zadán jako GRID (podtřída *RasterRelief*), TIN (*TINRelief*), pomocí lomových linií (*BreaklineRelief*), nebo pomocí hmotných bodů (*MasspointRelief*). Jednotlivé specifikace reliéfu mohou být vzájemně kombinovány a vymezeny pomocí atributu *extent of validity* [4].

Do největší šíře je sémantický model rozvinut pro budovy. Nejvyšší třída, která popisuje budovy *\_AbstractBuilding*, je specifikována pomocí atributů *class*, *function*, *usage*, *roofType*, *measuredHeight*. Této třídě jsou pak bezprostředně podřizeny třídy *Building* a *BuildingPart*. Všechny tyto třídy mohou být, mimo jiné, provázány s bodovou třídou *Address*. U budov je dobře patrné uplatnění víceúrovňové reprezentace. Zatímco *Building* se vyskytuje v LOD1, další třídy jako *BuildingInstallation* se objevují v LOD2, *Window* a *Door* v LOD3, *Room* v LOD4. Tyto prvky jsou ohraničeny pomocí třídy *BoundarySurface*, která se skládá ze sémantických prvků *RoofSurface*, *WallSurface*, *GroundSurface* [4].



Obr. 3. Třída *Building* a její sémantické členění (převzato z [4] a [12]).

K popisu vodstva slouží třída *WaterBody*. Ta může být z hlediska geometrie jak *MultiCurve*, respektive *MultiSurface*, tak *Solid*. Typ, funkce a využití vodního objektu je definováno příslušnými atributy. Hlavní třídou pro popis dopravních objektů je *TransportationComplex*, jenž se skládá z dílčích tříd *TrafficAreas* a *AuxiliaryTrafficArea*, obě třídy jsou blíže charakterizovány atributy. K tematickému rozlišení třídy *TransportationComplex* slouží její podtřídy *Track*, *Road*, *Railway* a *Square*. *TransportationComplex* je definován v LOD0 jako liniový prvek v dalších LOD jako *MultiSurface* [4].

Vegetace je v CityGML definována dvěma způsoby. Jednotlivé stromy jsou znázorněny pomocí třídy *SolitaryVegetationObject*, kdežto rozsáhlejší plochy používají třídu *PlantCover* (s *MultiSurface* nebo *MultiSolid* geometrií). Třída *CityFurniture* slouží k popisu a znázornění objektů, jako jsou pouliční světla, semaforey, reklamní panely a podobně. Atributy jsou specifikovány funkce konkrétních objektů. Třídou *Land use* je v rámci CityGML definováno využití půdy. Tato třída má vždy geometrii *MultiSurface*. Konkrétní funkce a využití jednotlivých ploch definují atributy. Tuto třídu lze používat ve všech úrovních detailu (LOD0 –

LOD4). Třída *CityObjectGroup* slouží k seskupení jednotlivých elementů *\_CityObject* [4].

Řada zmiňovaných atributů (*class*, *function*, *roofType*) je definována prostřednictvím číselníků obsažených v OGC specifikaci [4]. Jednotlivé prvky v modelu mohou v CityGML sloužit i jako odkaz na zdroj dat nebo na doplňující informace. Budova tak může například odkazovat do katastru nemovitostí na informace o majiteli, nebo anténa na databázi poskytovatelů signálu [4].

### 3.5 Rozšiřitelnost

Pro případné rozšíření základního modelu CityGML slouží dva základní koncepty. Prvním konceptem jsou generické prvky a atributy a druhým je ADE (*Application Domain Extension*). Třídy *GenericCityObject* a *\_GenericAttribute* je možné použít jen pro prvky neobsažené v základním CityGML modelu, třídy nejsou formálně specifikovány, snižují tak sémantickou interoperabilitu a při jejich pojmenování mohou vznikat konflikty [4].

ADE vzniká definováním nových tříd a prvků nebo rozšířením stávajících o zvláštní atributy nebo vztahy (relace). Jejich cílem je rozšíření tematických možností formátu CityGML. Každé ADE je specifikováno prostřednictvím vlastního XSD (*XML Schema Definition*). Definice nových elementů musí být vztažena k obecnému schématu CityGML, nová třída musí být vztažena k třídám stávajícím [4] [6].

Jediné ADE, které je přímo součástí specifikace CityGML 1.0, je určeno k popisu hlukového zatížení zastavěných oblastí. Podoba tohoto ADE vychází ze směrnice Evropského parlamentu a rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku. ADE rozšiřuje obecnou třídu *Road*, které je přiřazena podtřída *NoiseRoadSegment*. Podobně je třída *Railway* rozšířena o podtřída *NoiseRailwaySegment* a jí podřízený element *Train*. O atributy je rozšířena i třída *\_AbstractBuilding*. Hlukové bariéry jsou popsány pomocí třídy *NoiseCityFurnitureSegment*, která je odvozena z obecné třídy *CityFurniture* [4].

Pomocí atributů jsou popsány průměrné hustoty dopravy za hodinu ve čtyřech časových úsecích dne (6:00-18:00, 18:00-22:00, 22:00-6:00 a 6:00-22:00), podíly nákladních automobilů ve stejných časových intervalech, údaje o rychlostních limitech, průměrné denní hustoty dopravy za 24 hodin i řada dalších ukazatelů (např. materiál silnice, korekce odrazu zvuku, šířka vozovky, sklon daného úseku a výskyt tunelů a mostů) [4].

Kromě Noise ADE existují i další ADE, které jsou většinou ve vývoji nebo ve fázi Draft. Jde o Tunnel ADE, Bridge ADE, Hydro ADE (pro modelování povodní), CAFM (*Computer Aided Facility Management*) ADE, GeoBIM (*Building Information Model*) ADE nebo UtilityNetwork ADE. UML diagramy, příklady, XSD schémata a dokumentace jsou pro většinu z nich k dispozici na webu [8].

## 4 Tvorba modelu

### 4.1 Východiska při tvorbě modelu

V rámci praktické části byly vytvořeny dvě varianty modelu. Jedna varianta je určena pro využití v hlukovém mapování, druhá slouží pro vizualizaci. Takto modelováno bylo území brněnské městské části Nový Lískovec.

Obsah a podrobnost modelu pro hlukové mapování vychází ze závěrečné zprávy první části projektu *EU-Umgebungslärmkartierung in NRW* [3]. Navíc byla do modelu integrována existující hluková mapa (pomocí třídy *GenericCityObject*). Druhá varianta modelu, určená k vizualizaci, obsahuje všechny vizuálně výrazné prvky. Kromě budov a terénu, to je také lesní vegetace (třída *PlantCover*). Všechny tyto prvky jsou opatřeny texturami, aby se zvýšila reálnost. Konkrétní použité třídy i jejich stručná charakteristika jsou shrnuty v matici požadavků.

**Tabulka 1.** Matice požadavků na vytvářené modely (použité třídy, jejich geometrie a další parametry).

Použité třídy	Vizualizace	Hlukové mapování
terén ( <i>Relief Feature</i> )	LOD0; <i>TINRelief</i> ; textury (ortofoto)	LOD0; <i>TINRelief</i> , <i>BreaklineRelief</i>
budovy ( <i>Buildings</i> )	LOD2; <i>MultiSurface</i> ; textury	LOD1; <i>_Solid</i>
silnice ( <i>Road</i> )	-	LOD0; <i>Curve</i> ; atributy Noise ADE
protihlukové bariéry ( <i>CityFurniture</i> )	-	LOD0; <i>Curve</i> ; atributy Noise ADE
land use ( <i>LandUse</i> )	-	LOD0; <i>MultiSurface</i>
vegetace ( <i>PlantCover</i> )	LOD1; <i>MultiSurface</i> , textury	-
hluková mapa ( <i>GenericCityObject</i> )	-	LOD1; <i>_Geometry</i> ; textury (hlukové mapy)

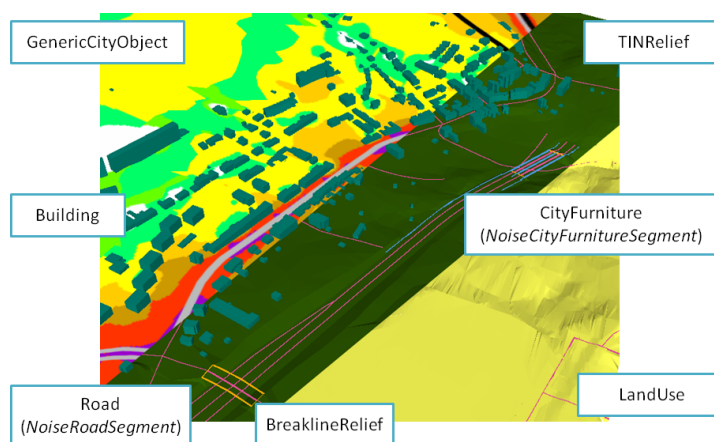
### 4.2 Použitá data a technologie

Při tvorbě modelu byla použita data ze ZABAGEDu, model zástavby poskytnutý společností GEODIS (ve formátu Shapefile), hluková mapa z pozemní dopravy pro území statutárního města Brna, data o intenzitě dopravy z celostátního sčítání dopravy 2005, ortofotomapa z roku 2009 (získaná prostřednictvím WMS) a atributová data pořízená vlastním mapováním.

Celý postup zpracování byl rozložen do dílčích segmentů (předzpracování a tvorba dvou variant modelu). Při tvorbě byl používán softwarový balík FME od společnosti Safe Software, především modul FME Workbench a 3D prohlížeč FME Data Inspector. V rámci předzpracování byl použit také ArcGIS 10 (pro editaci vektorových dat a jejich atributů) a Adobe Photoshop (pro úpravy rastrových dat).

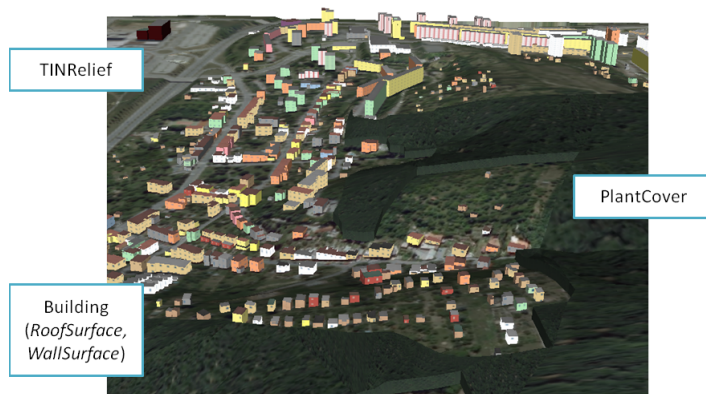
### 4.3 Model pro hlukové mapování

Tato varianta obsahuje model terénu, zástavbu, land use, dále pak liniové vrstvy silnic, protihlukových bariér a generickou třídu pro zobrazení hlukových map.



Obr. 4. Ukázka modelu pro hlukové mapování.

### 4.4 Model pro vizualizaci zástavby



Obr. 5. Ukázka modelu sloužícího k vizualizaci.



Model určený k vizualizaci je založen na texturovaném terénu, zástavbě a vegetaci. Pro zobrazení budov jsou použity třídy *WallSurface* a *RoofSurface* (v LOD2).

#### 4.5 Shrnutí

Při tvorbě modelů ve formátu CityGML je nutné dbát nejen na jeho geometrickou složku, ale důležitá je především sémantika. Jde především o validní pojmenování vytvářených tříd, jejich správné provázání (pomocí atributů *featureRole*, respektive *gml\_id* a *gml\_parent\_id*). Kromě samotné transformace geometrie je nutné také její správné definování pomocí odpovídajícího atributu. Dlužno dodat, že všechny třídy nemusí mít přiřazenu geometrii, některé (například *CityModel*) jsou negrafické a nesou jen atributy. V případě, že používáme textury, je potřeba optimalizovat jejich umístění na model.

## 5 Závěr

Praktická část práce prokázala značné možnosti CityGML pro modelování měst nastíněné v části teoretické. V tomto formátu je možné vytvářet modely měst určené k nejrůznějším účelům. Komplexnost modelů sebou nese i jistá úskalí, především značnou velikost a paměťovou náročnost výsledných modelů. Tento problém je však možné částečně řešit rozložením modelu do dílčích XML dokumentů, podle tematických tříd, což bylo úspěšně vyzkoušeno.

3D modelování klade rovněž značné nároky na používaná data, především na jejich množství, ale i kvalitu a vzájemnou harmonizaci. Ačkoliv byla při výše popsané tvorbě modelů použita data z různých zdrojů, nedošlo při jejich integraci k zásadním kolizím.

Kromě toho, že CityGML integruje data a informace různého charakteru, je jeho největší předností rozšiřitelnost. Do budoucna lze očekávat pronikání tohoto formátu do dalších oblastí. Dobré perspektivy jsou především v oblasti rozšířené reality a také při kombinaci se senzorickými daty. Opomenout nelze ani souvislost a společné znaky části formátu CityGML a tématu prostorových dat budovy z datových specifikací směrnice INSPIRE.

## Reference

1. ABDUL-RAHMAN, A., PILOUK, M. *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 2008, Berlin. 289 s. ISBN: 978-3-540-74166-4.
2. CZERWINSKI, A. *Statewide 3D SDI with CityGML in North Rhine-Westphalia* [online]. 2008 [cit. 24. 3. 2010]. Dostupné z: <[http://www.citygml.org/fileadmin/citygml/docs/2008-06-03\\_2\\_CityGML\\_NRW.pdf](http://www.citygml.org/fileadmin/citygml/docs/2008-06-03_2_CityGML_NRW.pdf)>.

3. CZERWINSKI, A., PLÜMER, L. *Abschlussbericht EU-Umgebungslärmkartierung Stufe I in Nordrhein-Westfalen* [on-line]. 2008 [cit. 17. 4. 2010]. Dostupné z: <[http://www.umgebungslaerm.nrw.de/Dokumente/Berichte/Abschlussbericht\\_Kartierung\\_Stufe\\_1.pdf](http://www.umgebungslaerm.nrw.de/Dokumente/Berichte/Abschlussbericht_Kartierung_Stufe_1.pdf)>.
4. GRÖGER, G., KOLBE, T. H., CZERWINSKI, A., NAGEL, C. *OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard* [online]. 2008 [cit. 2. 3. 2010]. Dostupné z: <<http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>>.
5. KOLBE, T. H.: *CityGML Homepage* [on-line]. 2010 [cit. 24. 3. 2011]. Dostupné z: <<http://www.citygml.org>>.
6. KOLBE, T. H. *Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML* [online]. 2008 [cit. 4. 3. 2010]. Dostupné z: <[http://www.citygml.org/fileadmin/citygml/docs/CityGML\\_Paper\\_Kolbe\\_2008.pdf](http://www.citygml.org/fileadmin/citygml/docs/CityGML_Paper_Kolbe_2008.pdf)>.
7. LOIDOLD, M. *Three-dimensional GIS*. In KEMP, K. K. *Encyclopedia of Geographic Information Science*. SAGE Publications, 2008, Los Angeles. s. 470-474. ISBN: 9781412913133.
8. NAGEL, C., BENNER, J., HAEFELE, K. H.: *CityGML – City Geography Markup Language* [online]. 2010 [cit. 19. 3. 2010]. Dostupné z: <<http://www.citygmlwiki.org/>>.
9. REDDY, M. *Three-dimensional Visualization*. In KEMP, K. K. *Encyclopedia of Geographic Information Science*. SAGE Publications, 2008, Los Angeles. s. 474-477. ISBN: 9781412913133.
10. RYBÁKOVÁ, H. *3D modely a jejich využití pro modelování městského klimatu (na příkladu města Brna)*. Brno, 2010. 63 s. + CD ROM. Diplomová práce, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno.
11. SHIODE, N. *3D urban models: Recent development in the digital modeling of urban environments in three-dimensions* [online]. 2001 [cit. 16. 1. 2011]. Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/2vyt3dxgxj1b36fr/fulltext.pdf>>.
12. STADLER, A., KOLBE, T. H. *Spatio-Semantic Coherence in the Integration of 3D City Models* [online]. 2007 [cit. 22. 2. 2011]. Dostupné z: <[http://www.igg.tu-berlin.de/uploads/tx\\_ikgpublication/SDQ2007\\_Stadler\\_Kolbe.pdf](http://www.igg.tu-berlin.de/uploads/tx_ikgpublication/SDQ2007_Stadler_Kolbe.pdf)>.
13. VOŽENÍLEK, V. *Cartography for GIS: Geovisualization and Map Communication*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2005, 142 s. ISBN 8024410478.