



## **INFORMAČNÍ MODELY BUDOV V PROCEDURÁLNĚ GENEROVANÉM GEOPROSTOROVÉM KONTEXTU**

*Pavel Tobiáš<sup>1</sup>*

1. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra geomatiky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, pavel.tobias@fsv.cvut.cz

### **ABSTRAKT**

Tento příspěvek představuje metodiku využívající kombinaci informačního modelování budov, CAD a procedurálního modelování, 3D geografických informačních systémů a technik digitální kartografie pro tvorbu informačních modelů památkových budov a jejich okolí. Výsledkem pracovního postupu jsou 3D webové scény, kde jsou historicky nejvýznamnější budovy prezentovány jako detailní texturované trojrozměrné informační modely. Tyto modely jsou složeny z trojrozměrných reprezentací jednotlivých architektonických prvků, které obsahují sémantické informace a atributy. Další významné budovy jsou modelovány klasicky v CAD programech a mohou být identifikovány jako celek a uživatelé tak mohou získat přehledné informace o historii a důležitých aspektech budov. Běžná zástavba v okolí je generována procedurálně na základě aktuálních či starých map, pohlednic a fotografií. Jednotlivé budovy lze opět dotazovat a získat tak představu např. o materiálu, ze kterého byly postaveny. Vzniklé 3D vizualizace je možno zobrazovat ve webovém prohlížeči bez dalších potřebných pluginů. Uživatelé z řad veřejnosti se tak mohou seznámit s architektonickou strukturou zájmových objektů a s jejich bezprostředním okolím. Vzhledem k charakteru uvažovaných vstupních dat (existující 2D plánová dokumentace) je metodika použitelná jak pro tvorbu modelů budov v současném stavu, tak zejména pro modelování vzhledu objektů v minulosti nebo přímo pro rekonstrukci objektů již zaniklých.

### **KLÍČOVÁ SLOVA**

BIM, informační modelování budov, 3D GIS, geografické informační systémy, procedurální modelování, kulturní dědictví, digitální kartografie

### **ÚVOD**

#### **Cíle výzkumu**

Cílem prezentovaného výzkumu je kombinovat techniky informačního modelování budov (BIM) a geografických informačních systémů (GIS) a vyvinout komplexní metodiku vhodnou pro tvorbu jednoduchých informačních modelů historických budov a jejich integraci do kontextu 3D modelů okolní krajiny. Pracovní postup začíná 3D modelováním v BIM na podkladě existujících (aktuálních či archivních) výkresů a pokračuje přes import do GIS, texturování k správě tříd architektonických prvků a jejich atributů v GIS. Výsledkem je sémanticky strukturovaný model památkové budovy, jehož všechny důležité architektonické prvky jsou identifikovatelné a dotazovatelné. Nakonec je model vizualizovaný na webu v rámci procedurálně generovaného geoprostorového kontextu, vzniklého na základě georeferencovaných map, fotografií a pohlednic.

### **Příbuzné práce**



Rozsáhlou rešerší popisující současný stav informačního modelování památkových budov včetně přehledu existujících softwarových platforem můžeme nalézt v [1,2]. V současné době můžeme rozdělit vědecké snahy zabývající se informačním modelováním historických budov na dvě skupiny. První skupina nasazuje hlavně software přímo určený pro BIM. Hlavním cílem je v takovém případě většinou návrh knihoven parametrických objektů. Takové knihovny potom usnadňují převod nestrukturovaných mračen bodů, generovaných laserovým skenováním nebo pomocí digitální fotogrammetrie, do podoby parametrických objemových 3D modelů. Příklady lze nalézt v [3,4,5,6,7,8].

Mračna bodů nejsou jediným zdrojem dat, který lze využít pro trojrozměrnou rekonstrukci historických budov v BIM softwaru. V některých případech může být naopak výhodné využít archivní výkresovou dokumentaci, a to zejména v případě zaniklých památek. Případy použití 2D výkresů po informačním modelování budov nalezneme v [9,10,11].

Druhá skupina prací používá kromě BIM programů také GIS software a oba přístupy vhodně kombinuje. Důraz je kladen zejména na správu výsledných modelů. Metodika tvorby sémantických modelů budov a jejich převodu do GIS je popsána v [12], přičemž je GIS vyhodnocen jako v současné době vyspělejší systém pro správu informačně bohatých modelů budov, vzhledem k možnosti sloučit velké množství heterogenních datových zdrojů, dvou i trojrozměrných a také negeometrických informačních vrstev. Tento názor je potvrzen také v [13,14,15].

Co se týče procedurálního modelování budov, vyčerpávající rešerše byla provedena v [16]. V tomto článku byly jako nejvíce rozvinuté a kompaktní metody pro reprezentaci budov vyhodnoceny tvarové gramatiky. Mezi tvarovými gramatikami je pro nás nejzajímavější tvarová gramatika CGA (computer generated architecture), která byla primárně vyvinutá jako nástroj pro rychlé modelování architektury. Znalosti o počátcích, implementaci, současném vývoji gramatiky CGA a o jejím nasazení pro modelování kulturního dědictví lze nabýt z [17,18,19,20].

## **METODIKA**

Představovaná metodika je navržena tak, aby sloučila výše uvedené přístupy k virtuální rekonstrukci kulturního dědictví s cílem vytvořit kompaktní 3D webové scény. Protože je založena na existující výkresové dokumentaci, její přesnost nebude vždy porovnatelná s modely odvozenými z mračen bodů. Na druhou stranu pracovní postup může být využit také pro modelování historického stavu zájmových objektů nebo dokonce pro rekonstrukci již zaniklých budov, kde moderní metody sběru dat nepřipadají v úvahu. V porovnání s jinými vědeckými pracemi, které se zabývají tvorbou informačních modelů památkových budov a jejich převodem do GIS naše metodika nabízí dále:

1. texturování modelovaných objektů jak v exteriéru, tak v interiéru,
2. procedurální modelování okolní zástavby a krajiny na základě map a fotografií,
3. prezentaci výsledků ve formě sémantických webových scén.

## **Zpracování dostupných zdrojů dat**

Pracovní postup začíná přípravou 2D zdrojových dat metodami digitální kartografie. Podklady v papírové podobě musí být skenovány s dostatečným rozlišením. V případě historických archivních dat může být nezbytné provést vylepšení obrazu pomocí k tomu určených programů. Protože většinou není možné odečíst všechny potřebné rozměry jen z kót, je nezbytné provádět dodatečné měření přímo na výkresech. Proto je vhodné podkladová data georeferencovat. Jako cílový souřadnicový systém je možno využít lokálních souřadnic, neboť nás v tuto chvíli zajímají spíše vzájemné vztahy mezi jednotlivými architektonickými elementy a zatím nepotřebujeme znát absolutní polohu objektu na zemském povrchu. Georeferencovat přitom můžeme s výhodou i „vertikální“ podklady (tedy pohledy a řezy), samozřejmě s využitím jiného lokálního souř. systému. Pro



georeferencování lze využít vhodný 2D GIS nástroj, jako podklad pro volbu vřícovacích bodů je vhodné vytvořit jednoduchý 2D vektorový model budovy na základě existujících kót.

### **Parametrické modelování v BIM**

Pod pojmem BIM nerozumíme pouze využití určitého softwaru, ale spíše filozofii modelování. To znamená, že u zájmové budovy nejsou modelovány pouze viditelné plochy, ale objekt je rekonstruován jako množina samostatně existujících komponent. To je nezbytné, pokud počítáme s pozdějším přidáváním dalších informací k jednotlivým architektonickým elementům.

První volbou pro informační modelování bude zřejmě využití k tomu přímo určených softwarových nástrojů (např. Autodesk Revit). Výhodou BIM programů je sofistikovanější způsob ukládání geometrie. Jednotlivé architektonické prvky jsou ukládány jako samostatně stojící objemové modely a to implicitně, tedy pomocí parametrů. Jednou vytvořené objekty je tak jednodušší editovat (např. je možné měnit profil i trajektorii u těles vzniklých vytažením). Dále jsou v BIM programech k dispozici nástroje navržené přímo pro modelování konkrétních typů architektonických elementů. Pomocí nich je možné nejprve vytvořit horizontální a vertikální obálku budov (podlahy, stropy, střechy, stěny) a poté model osadit dalšími komponentami, jako jsou okna, dveře a další vybavení. Bohužel tyto nástroje nejsou zcela ideální pro modelování značně nepravidelných a časem opotřebovaných historických budov. Proto je většinou nutné použít funkce pro modelování specifických prvků, které také umožní využití více různých technik modelování.

Výrazně dostupnější alternativou ke specializovaným BIM programům mohou být i jednoduché CAD programy (jako je Trimble SketchUp). Ty ale většinou nedisponují pokročilejšími možnostmi ukládání modelů a geometrie je ukládána pouze pomocí reprezentace hranic, tedy jako jednotlivé body, hrany a plochy. Z toho důvodu nemohou být obecně jednotlivé modely architektonických elementů identifikovány jako jeden celek pro přidávání atributů a jednou vytvořené modely prvků nelze jednoduše editovat (případně je nutno prvky pracně přepracovávat po jednotlivých ohraničujících plochách). Tyto obtíže je možné částečně vyřešit pečlivým „zapouzdřením“ elementů do *komponent*, přičemž je nezbytné modelovat každý objekt nezávisle na ostatních (tedy bez společných ploch). K degradaci geometrie na reprezentaci hranic stejně nevyhnutelně dojde při pozdějším převodu do GIS, takže je nevýhodou vlastně jen těžkopádnější modelování.

### **Souřadnicové umístění**

Souřadnicové umístění výsledného modelu lze provést jak přímo v modelovacím softwaru, tak později po převodu do GIS. Pro nás připadá v úvahu pouze první varianta. Pouze pokud je model správně umístěn již v BIM, je možné zajistit, že při jeho případných pozdějších modifikacích budou upravené prvky po převodu do GIS umístěny exaktně správně vzhledem k již existujícímu modelu.

Vzhledem k tomu, že je náš pracovní postup založen na již existujících podkladech, nepočítáme s žádným dodatečným měřením v terénu (které by ve speciálním případě modelování zaniklých objektů samozřejmě ani nebylo možné). Souřadnice předlohy je tedy nutné získat z existujících zdrojů. V případě modelování současného stavu objektu jsou vhodná například vektorová katastrální data z Registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN). Pokud rekonstruujeme historický stav nebo již zaniklé budovy, je třeba využít georeferencovaných starých map. Přesnost sice nebude taková jako v případě měření in situ, například pomocí metod jako je GNSS, na druhou stranu ale bude odpovídat přesnosti modelu okolní zástavby a krajiny, který je vytvářen právě na těchto podkladech.

Vlastní souřadnicové umístění probíhá na základě zvoleného referenčního bodu budovy (většinou dobře identifikovatelný roh). V GIS jsou určeny souřadnice tohoto bodu a dále orientace budovy vzhledem ke skutečnému severu. Tyto parametry jsou poté zadány



v modelovacím softwaru. V pokročilých BIM programech je možno model umístit přímo na požadované souřadnice, v CAD programech jako je Trimble SketchUp je nutné alespoň umístit model referenčním bodem do počátku souřadnic a vhodně ho natočit. V druhém případě je tedy model přesně umístěn až v GIS, ale to vždy pouze posunem o exaktní hodnoty, takže výsledek bude stejný.

## **Převod do GIS**

Nejvhodnějším prostředníkem pro převod modelu do prostředí GIS je v současné době zřejmě standardizovaný formát IFC (Industry Foundation Classes, ČSN EN ISO 16739-1), přímo navržený pro použití v rámci informačního modelování budov. Tento formát existuje v mnoha verzích, při přípravě metodiky bylo provedeno testování a jako nejbezpečnější byla vybrána verze IFC2x3 Coordination View 2.0. Ta je navržena pro koordinaci mezi jednotlivými účastníky stavebního procesu a v současnosti je v softwaru nejčastěji implementována.

Po importu do prostorové databáze v GIS získáme model, jehož třídy odpovídají klasifikaci elementů v modelovacím programu. Vzhledem k tomu, že současné BIM nástroje jsou určeny spíše pro použití při výstavbě nových budov, nejsou třídy, do kterých je možno architektonické prvky zařadit, ideální pro budovy historické. Z toho důvodu je nutno provést reklasifikaci elementů v GIS. To se týká například dekorativních prvků fasády, ozdobných portálů a podobně. Po zatřídění objektů do odpovídajících tříd je nutno přiřadit atributová data. Je jasné, že v této chvíli již nevystačíme pouze s výkresovou dokumentací a je nutné využít dalších zdrojů, v českém prostředí typicky výstupů ze stavebněhistorických průzkumů. Při přiřazování atributových dat můžeme v GIS využít možnosti tvorby libovolných atributů mnoha typů, což je při správě modelu historické budovy zásadní. Při reklasifikaci a práci s atributovými daty se tedy projevuje větší vhodnost GIS pro správu výsledného modelu památkového objektu, což je v souladu se závěry z rešerše.

Aby byly výsledné modely přitažlivé pro uživatele z řad laické veřejnosti, je třeba je vybavit texturami. Modelovací nástroje texturování samozřejmě umožňují, problémem je ale jejich přenos přes formát IFC, resp. přes jeho verze použitelné pro převod z BIM do GIS. Naproti tomu grafické formáty, jako je např. COLLADA DAE, textury sice běžně podporují, při jejich použití se ale zcela ztratí struktura modelu, tedy rozdělení na jednotlivé komponenty, což je pro nás samozřejmě nepřijatelné. Řešením je provést texturování až po převodu výsledku do GIS. Současné 3D GIS programy sice funkcemi pro texturování nedisponují, místo nich lze ale využít software pro procedurální modelování (jako je ESRI CityEngine). Ten může sloužit také pro dodatečné lokální úpravy modelu, protože je vybaven základními 3D modelovacími nástroji.

## **Procedurální modelování**

Pomocí procedurálního modelování můžeme velmi rychle vytvářet modely zástavby a krajiny, které zájmovou budovu představí v rámci jejího nejbližšího okolí. Pro tvorbu 3D scény pomocí procedurálního modelování je třeba několik datových vstupů. Na začátek je zapotřebí digitální model terénu. Ten bude použit jako základ, na který budou umístovány generované modely. Podle toho, zda modelujeme současný stav nebo vzhled krajiny v minulosti a také podle toho, zda předpokládáme, že dané území doznalo v průběhu let zásadních změn, můžeme využít buď aktuální modely terénu (například Digitální model reliéfu České republiky 5. generace) nebo odvodíme výškopis ze starých map (např. z 1. vydání Státní mapy 1 : 5 000 – odvozené).

Dalším důležitým zdrojem dat jsou současné či staré mapy. Ty použijeme ke dvěma účelům. Zaprvé na jejich základě mohou být zjištěny půdorysy budov nebo pozice stromů a dalších objektů, které budou generovány. Zadruhé mohou sloužit jako textura pro vizualizaci digitálního modelu terénu. Pro druhý účel přitom mohou být použity několika způsoby podle



důrazu na fotorealismus. Vizualně atraktivní staré mapy (typicky např. císařské povinné otisky stabilního katastru) lze použít přímo jako texturu. Méně pohledné podklady mohou být vektorizovány a poté vizualizovány pomocí barevné symbologie. Pro nejvyšší míru fotorealismu lze potom na vektorové polygony aplikovat fotografické textury.

Nejdůležitějším komponentem pro procedurální modelování jsou soubory pravidel, v našem případě soubory pravidel tvarové gramatiky CGA. Ty popisují vzhled výsledné scény v textovém, člověkem čitelném formátu a na jejich základě je výsledný model generován. Před návrhem souboru pravidel je třeba studovat ráz modelované krajiny z fotografií a pohlednic. Protože není naším cílem vytvářet vysoce detailní modely, ale spíše poskytnout uvěřitelné pozadí pro důležitější budovy modelované v BIM, nemusíme navrhovat příliš komplexní soubory pravidel. Na druhou stranu bychom měli alespoň definovat nejdůležitější parametry, které zásadně ovlivňují vzhled výsledné scény. Jedná se zejména o počet poschodí budov, vzhled fasád, typy a materiály střech a také třeba o výšky a druhy stromů. 3D scéna je potom na podkladě pravidel generována automaticky, parametry jsou přiřazovány náhodně ze zvolených rozsahů a vzhled výsledku je u vhodně navržených souborů pravidel možno ovlivnit i dodatečně, ručně ve vygenerované scéně.

## VÝSLEDKY

Model vzniklý v BIM softwaru a následně převedený do GIS je vložen do předem připravené procedurálně modelované 3D scény a celek je uložen v prostorové databázi v GIS. Publikovat výsledek je potom možné dvěma způsoby. První možností je vytvořit statický soubor scény, který musí být načten do paměti jako celek před tím, než si ho může uživatel prohlédnout. To není pro uživatele zcela ideální, protože musí na načtení scény delší dobu čekat, navíc je scéna limitována v rozsahu zobrazovaného území. Druhou variantou je publikace vrstev výsledku jako 3D webových služeb. V takovém případě je scéna načítána dynamicky stejným způsobem jako v případě klasických 2D webových mapových aplikací. Takový způsob je pro uživatele výrazně příjemnější a umožňuje publikovat scény zobrazující rozsáhlé oblasti.

Výsledné 3D vizualizace mohou být prohlíženy ve webovém prohlížeči bez potřeby přidávání dalších zásuvných modulů. Budovy jsou v nich zachyceny následujícími třemi způsoby. Historicky nejvýznamnější budovy jsou prezentovány jako detailní modely s původem v BIM. Tyto modely jsou během modelování pečlivě strukturovány tak, že uživatelé mohou získat dodatečné informace o všech jejich důležitých architektonických součástech. Další významné budovy jsou modelovány klasicky v CAD softwaru a mohou být ve scéně identifikovány každá jako jeden celek, takže uživatelé mohou získat stručné informace o jejich historii a dalších důležitých aspektech. Nakonec běžná zástavba je modelována procedurálně a výsledné budovy mohou obsahovat základní atributy, jako je například popis materiálu použitého pro jejich stavbu.

Příklad takové 3D webové scény je na obrázku 1. Na obrázku 2 je potom zachycena procedurálně generovaná scéna s významným objektem většího rozsahu, modelovaným v nižší podrobnosti. Poslední obrázek 3 potom ukazuje příklad využití procedurálního modelování na rozsáhlém území. Prezentaci tak rozsáhlých scén umožňuje publikace výsledku ve formě 3D webových služeb.





## ZÁVĚR

V příspěvku byla prezentována metodika kombinující různé přístupy a nástroje pro tvorbu jednoduchých informačních modelů památkových budov a jejich okolí. Podle naší rešerše je tento přístup ojedinělý v tom, jak kombinuje BIM, CAD, procedurální modelování, uložení modelu a jeho správu v GIS, techniky digitální kartografie a 3D webového GIS. Prozatím jsou 3D webové scény vytvořené podle této metodiky určeny hlavně pro širší veřejnost. Uživatelé mohou pomocí nich získat představu o architektonické struktuře významných historických budov a o jejich okolí. Vzhledem k uvažovaným vstupům metodiky ji přitom lze využít hlavně pro modelování historického stavu objektů nebo budov již zaniklých. Ačkoliv metodika již v podstatě splňuje naše požadavky, bude vhodné některé její části dále zdokonalovat. Jedná se zejména o návrh sofistikovanějších metod pro reklasifikaci architektonických elementů a zapracování změn v modelu do GIS databáze. Dále budou zdokonaleny soubory pravidel pro procedurální modelování (lepší textury, modely stromů...). Nakonec budou příští výsledky publikovány výhradně ve formě 3D webových služeb, což umožní vizualizovat rozsáhlejší území.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/053/OHK1/1T/11 „Vývoj a využití moderních zařízení a metod pro sběr, zpracování, analýzu a vizualizaci prostorových dat“.

## REFERENCE

- [1] LOGOTHETIS, S., A. DELINASIOU a E. STYLIANDIS. Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015, II-5/W3, 177–183. ISSN 2194-9050. Dostupné z: doi:10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015
- [2] LÓPEZ, Facundo José, Pedro M. LERONES, José LLAMAS, Jaime GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO a Eduardo ZALAMA. A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction*. 2018, 2(2), 21. Dostupné z: doi:10.3390/mti2020021
- [3] MURPHY, Maurice, Eugene MCGOVERN a Sara PAVIA. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2013, 76, Terrestrial 3D modelling, 89–102. ISSN 0924-2716. Dostupné z: doi:10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006
- [4] APOLLONIO, Fabrizio Ivan, Marco GAIANI a Zheng SUN. BIM-based Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings. *SCIRES-IT*. 2012, 2(2), 41–62. ISSN 2239-4303. Dostupné z: doi:10.2423/i22394303v2n2p41
- [5] BAIK, A., A. ALITANY, J. BOEHM a S. ROBSON. Jeddah Historical Building Information Modelling „JHBIM“ - Object Library. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014, II-5, 41–47. ISSN 2194-9050. Dostupné z: doi:10.5194/isprsannals-II-5-41-2014
- [6] BRUMANA, Raffaella, Daniela ORENI, Anna RAIMONDI, Andreas GEORGOPOULOS a Angeliki BREGIANNI. From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi. In: *Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. Marseille, France: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), 2013, s. 497–504. Dostupné z: doi:10.1109/digitalheritage.2013.6743789
- [7] YAJING, Di a Wu CONG. Research on the Building Information Model of the stone building for heritages conservation With the outer south gate of the Ta Keo Temple as an example. In: 2011



International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE). 2011, s. 1488–1491.  
Dostupné z: doi:10.1109/ICETCE.2011.5776479

[8] GARAGNANI, Simone. Semantic Building Information Modeling and high definition surveys for Cultural Heritage sites. DISEGNARECON. 2012, Special Issue (DoCo 2012), 297–302. ISSN 1828-5961. Dostupné z: doi:10.6092/issn.1828-5961/3359

[9] BOEYKENS, Stefan, Caroline HIMPE a Bob MARTENS. A Case Study of Using BIM in Historical Reconstruction. The Vinohrady Synagogue in Prague. In: Digital Physicality | Physical Digitality. 30th eCAADe Conference Proceedings. eCAADe and CTU in Prague, Faculty of Architecture, 2012, s. 729–738. ISBN 978-94-91207-03-7. Dostupné z: doi:10.13140/2.1.2997.0721

[10] MATRONE, F., E. COLUCCI, V. DE RUVO, A. LINGUA a A. SPANÒ. HBIM IN A SEMANTIC 3D GIS DATABASE. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019, XLII-2/W11, 857–865. ISSN 2194-9034. Dostupné z: doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-857-2019

[11] SAYGI, G., G. AGUGIARO, M. HAMAMCIOĞLU-TURAN a F. REMONDINO. Evaluation of GIS and BIM Roles for the Information Management of Historical Buildings. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2013, II-5/W1, 283–288. ISSN 2194-9050. Dostupné z: doi:10.5194/isprsannals-II-5-W1-283-2013

[12] SAYGI, G. a F. REMONDINO. Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-art and Future Perspectives. International Journal of Heritage in the Digital Era. 2013, 2(4), 695–714. ISSN 2047-4970. Dostupné z: doi:10.1260/2047-4970.2.4.695

[13] CENTOFANTI, M., R. CONTINENZA, S. BRUSAPORCI a I. TRIZIO. The architectural information system SIArch3D-univaq for analysis and preservation of architectural heritage. ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2011, XXXVIII-5/W16, 9–14. ISSN 1682-1750. Dostupné z: doi:10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-9-2011

[14] DORE, C. a M. MURPHY. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. In: Proceedings of the 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia. 2012, s. 369–376. ISBN 978-1-4673-2564-6. Dostupné z: doi:10.1109/VSMM.2012.6365947

[15] SAN JOSÉ-ALONSO, J. I., J. FINAT, J. D. PÉREZ-MONEO, J. J. FERNÁNDEZ-MARTÍN a J. MARTÍNEZ-RUBIO. Information and knowledge systems for integrated models in Cultural Heritage. ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2009, XXXVIII-5/W1. Dostupné z: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/sanjosealonso\\_etal.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/sanjosealonso_etal.pdf)

[16] SMELIK, Ruben M., Tim TUTENEL, Rafael BIDARRA a Bedrich BENES. A survey on procedural modelling for virtual worlds. Computer Graphics Forum. 2014, 33(6), 31–50. ISSN 1467-8659. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1111/cgf.12276

[17] MÜLLER, Pascal, Peter WONKA, Simon HAEGLER, Andreas ULMER a Luc VAN GOOL. Procedural modeling of buildings. ACM Transactions on Graphics (TOG). 2006, 25(3), 614–623. ISSN 0730-0301. Dostupné z: doi:10.1145/1141911.1141931

[18] SCHWARZ, Michael a Pascal MÜLLER. Advanced Procedural Modeling of Architecture. ACM Transactions on Graphics (TOG). 2015, 34(4), 107:1–107:12. ISSN 0730-0301. Dostupné z: doi:10.1145/2766956

[19] HAEGLER, Simon, Pascal MÜLLER a Luc Van GOOL. Procedural Modeling for Digital Cultural Heritage. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2009, 2009(1), 1–11. ISSN 1687-5281. Dostupné z: doi:10.1155/2009/852392

[20] WATSON, B., P. MULLER, P. WONKA, C. SEXTON, O. VERYOVKA a A. FULLER. Procedural Urban Modeling in Practice. IEEE Computer Graphics and Applications. 2008, 28(3), 18–26. ISSN 0272-1716. Dostupné z: doi:10.1109/MCG.2008.58