



Knihovny BIM komponent: Minulost, současnost a budoucnost

Libraries of the BIM components: Past, present and future

Vojtěch Kusý

Abstrakt: V posledních několika letech se v praxi úspěšně rozvíjí metodika Building Information Modelling (BIM), která pomáhá integrovat podnikové procesy i informační systémy stavebního podniku. BIM modely jsou velmi komplexní, detailní a jednotlivé komponenty obsahují také řadu specifikací. Tvorba BIM modelů je tudíž (alespoň prozatím) dražší než tvorba projektové dokumentace tradiční cestou (pokud neuvažujeme dlouhodobé přínosy BIM modelu). Jedním ze způsobů jak tyto náklady snížit je vytvoření dostatečně kvalitní knihovny BIM komponent, která bude dostupná pro všechny platformy. To se v praxi již částečně podařilo se vznikem britské National BIM Library. V tomto článku navrhuji zapojení ontologií, které takto knihovna zatím nevyužívá a které mají předpoklady zvýšit automatizaci při správě knihovny a poskytnou i nové možnosti pro využití dat BIM komponent v prostředí Sémantického webu.

Klíčová slova: BIM, IFC, IFD, COBie, OWL, RDF, ontologie, interoperabilita

Summary: In the recent years a new method for building design, analysis and maintenance – Building Information Modelling (BIM) – has been finally delivered to the practice. It helps to integrate the processes of the construction industry under one hood. However BIM models are very complex, they go in a great detail and the particular components contain a number of various specifications, thus it takes more resources to create them in comparison to the traditional method of the design. One of the tools, which could help to reduce the BIM model creation costs, are BIM component libraries, which contain a collection of the needed component in an appropriate quality and in a format, which is readable by the target BIM platform. The British “*National BIM Library*” (NBL) is currently an example of this kind of tool. In this article, I am proposing embedding ontologies to a BIM library with the following claims: Processing of the BIM components in a higher semantic level will lead to higher automation and elimination of unnecessary manual man’s work. Moreover, output of components in one of the widely supported ontological formats we enable use of the components data in the environment of the semantic web.

Keywords: BIM, IFC, IFD, COBie, OWL, RDF, ontology, metadata, interoperability

JEL Classification: C80, L74

1. Úvod

1.1 Metodika BIM

V některých částech světa (UK, USA, Skandinávie, Austrálie) se již zhruba deset let v praxi úspěšně rozvíjí metodika Building Information Modelling (BIM), která pomáhá integrovat podnikové procesy i informační systémy stavebního podniku a již je v praxi prokázáno, že pomocí ní lze dodávat rychleji, kvalitněji, s menší chybou a hmotnými škodami. A navíc lze vytvořený informační model budovy dále využívat v celém jejím životním cyklu ať už ze strany státní správy pro účely regulace a statistiky, nebo ve správě budov (facility managementu, FM). Pro výměnu BIM modelů mezi subjekty se používá otevřený formát IFC (Industry Foundation Classes) či případně COBie (Construction Operations Building Information Exchange), nicméně alespoň prozatím nejsou tyto formáty podporovány 100% žádným z poskytovatelů BIM aplikací a tudíž se přenos BIM modelu mimo platformu jednoho výrobce neobejde beze ztrát. Další výzvou je pak problém integrace znalostí z oblasti BIM do systémů mimo doménu stavebnictví.

1.2 BIM – přínosy a problémy

V současné době je vytvoření modelu pomocí metodiky BIM obvykle dražší než vytvoření projektové dokumentace tradiční cestou pomocí CAD systémů a kancelářského balíku programů, či specializovaného programu na rozpočtování stavebních prací a materiálu. Tato investice do lepší – informačně bohatší – dokumentace se však již dnes vyplácí. Z již realizovaných projektů existují konkrétní poznatky, které uvádí např. materiální i časové úspory během výstavby, lepší koordinace jednotlivých profesí, méně chyb, méně víceprací, méně znehodnoceného materiálu a navíc je zde informační model budovy, který lze používat během jejího celého životního cyklu. S rostoucími zkušenostmi a dalšími aplikacemi či službami, které budou umět s BIM modely pracovat, celková efektivita oproti tradičnímu způsobu tvorby dokumentace budov ještě poroste. Pro stavebnictví je to podobně velký krok (či skok?) kupředu jako přechod od rýsovacího prkna k CAD systémům, který proběhl v 90. letech 20. stol.

Přidaná hodnota metodiky BIM a BIM modelů:

- Alespoň základní interoperabilita mezi různými CAD, FM a analytickými systémy ve stavebnictví prostřednictvím otevřených standardů (IFC, COBie).
- Lepší spolupráce mezi profesemi, včetně jednodušší vzdálené spolupráce na projektu.
- Celkové nižší náklady na stavbu díky vyřešení velkého množství konfliktů a koordinačních chyb přímo v informačním modelu.

- Kanonický a okamžitý zdroj informací a znalostí o budově, během celého jejího životního cyklu.
- Rychlejší a transparentnější verifikace při předání budovy (nutná technologická podpora na straně investora)
- Rychlejší a transparentnější proces schvalování (validace) budovy ze strany státních institucí (nutná technologická podpora místní samosprávy).

1.3 Příčiny dražších BIM modelů

Jak jsem již zmínil v předchozím odstavci, vyšší komplexita BIM modelů vyžaduje náročnější a tudíž dražší proces tvorby projektové dokumentace oproti tradičnímu přístupu. Příčiny bych shrnul do následujících bodů:

- Vyšší komplexita modelu.
- Nedostatek zkušeností na straně tvůrců BIM modelu.
- Nedostatek metodik, standardizovaných postupů a osvědčených postupů (tzv. „*best practices*“).
- Nedospělost SW nástrojů na poli BIM.
- Nedostatek standardizovaných BIM komponent s garantovanou kvalitou.

2. Problém integrace a interoperability ve stavebnictví

2.1 Interoperabilita ve stavebnictví

Na procesu návrhu a výstavby se mohou podílet i desítky dodavatelských subjektů a je nutné, aby mezi sebou mohli účinně komunikovat. Různí dodavatelé mohou být vybaveni softwarem od různých výrobců. Interoperabilita je proto pro stavebnictví klíčová, a to zejména pro samotný proces návrhu a výstavby, na kterém se celkem běžně podílí i desítky subdodavatelů a zástupců různých profesí.

2.1.1 Organizace buildingSMART International

Problém interoperability ve stavebnictví se aktivně, na praktické úrovni, řeší již od roku 1994, kdy byla založena nezisková organizace International Alliance for Interoperability (IAI), která byla sestavená ze zástupců firmy Autodesk a dalších 12 společností

z USA. IAI se později přejmenovala na buildingSMART International Ltd. vystupující v současnosti pod značkou „*buildingSMART*“.

buildingSMART, resp. IAI, byla pověřena vytvořením IFC jakožto neutrálního modelu pro celé AEC odvětví (Architecture, Engineering and Construction), které by umožňovalo správu budovy během celého jejího životního cyklu.

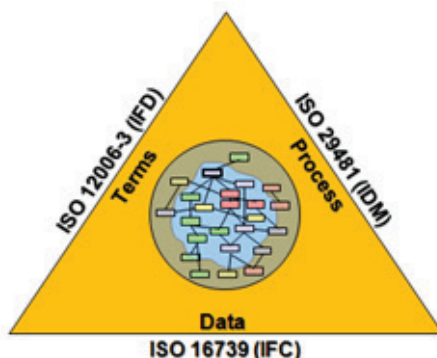
2.1.2 Standardy buildingSMART

Filozofií buildingSMART je vytvoření otevřeného interoperabilního prostředí postaveného na metodice Open BIM™, který spočívá zejména v implementaci buildingSMART standardů Industry Foundation Classes (IFC), Information Delivery Manual (IDM) a International Framework for Dictionaries (IFD). Ty jsou v současnosti tři (viz Obr. 1):

- ISO 29481-1:2010 Building information modelling – Information delivery manual -- Part 1: Methodology and format – definuje IDM
- ISO 12006-3:2007 Building construction – Organization of information about construction works -- Part 3: Framework for object-oriented information – vychází z něj IFD
- ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – definice formátu IFC

Dohromady tyto standardy dávají odpovědi na otázky CO, KDY a JAK sdílet:

- IFC – JAK data sdílet
- IFD – CO se sdílí
- MVD/IDM – která data a KDY



Obr. 1: Trojice buildingSMART standardů: IFC, IDM a IFD. Zdroj: buildingSMART International, <http://www.buildingsmart-tech.org/>.

2.1.3 Formát IFC (ISO 16739)

Problém interoperability se ve stavebnictví snaží řešit formát Industry Foundation Classes (IFC). Viz výřez z výpisu souboru na Obr. 2. Tento formát začala v roce 1994 vyvíjet IAI, resp. buildingSMART Alliance, jakožto formát pro neutrální modelování pro celé AEC odvětví (Architecture, Engineering and Construction), které by umožňovalo snadné předávání informací o stavbě mezi jednotlivými odvětvími a správu stavby během celého jejího životního cyklu (Laakso et al., 2012).

Standard definující IFC byl po mnoho let ve stádiu ISO/PAS 16739 (tzn. budoucí standard ISO v připomínkovém řízení) a i když kvůli němu byla vlastně původní organizace IAI v roce 1994 založena, byl definitivně vydán až jako poslední ze zmíněných standardů buildingSMART, v dubnu 2013. Modelovací jazyk EXPRESS (ISO 10303)

Formát IFC využívá modelovací jazyk EXPRESS, který byl vyvinut v rámci standardu ISO 10303 Industrial systems and integration - Product data representation and exchange (STEP). Je to implementačně nezávislý a objektově zaměřený jazyk pro informační modelování a obsahuje i grafickou část tzv. EXPRESS-G.

Možnosti relací a dědičnosti mezi datovými objekty jsou mnohem širší než u programovacích objektových jazyků. Obsahuje také procedurální jazyk pro nastavení globálních omezení a (lokální) omezení na objektech.

- Hlavní elementy: schéma, typ, entita, pravidlo.
- Ostatní: konstanty, funkce a procedury, spustitelný kód.

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ArchiCAD 11.00 Release 1 generated IFC file.','Build Numb
FILE_NAME('s:\\[IFC]\\COMPLETE-BUILDINGS\FZK-MODELS\Buerogebaeude-Zones\A
FILE_SCHEMA('IFC2X3'));
ENDSEC;

DATA;
#1= IFCORGANIZATION('GS','Graphisoft','Graphisoft',$,$);
#5= IFCAPPLICATION(#1,'11.0','ArchiCAD 11.0','ArchiCAD');
#6= IFCPOSTALADDRESS(.HOME,'Home Address','private','Germany',$,'3640','Kar

#12008= IFCDOOR('0_flqizUv5_A_EGt7DzP3T',#29,'T\S\|r-015',$,$,#11695,#12004,
#12028= IFCRELFILLSELEMENT('0qH6WHlIXECRYzoby3ikZ9',#29,$,$,#11662,#12008);
#12029= IFCDOORLININGPROPERTIES('3F4ksVZbArwhlPrLYVTcq',#29,$,$,0.1,0.05,0.
#12033= IFCDOORPANELPROPERTIES('3pXntS6xj8PAsZLROlcol',#29,$,$,0.001,.SWING
#12037= IFCDOORSTYLE('1f4EcJNA9lggzkRDnd3qW2',#29,'IFC DoorSglSwing',$,$,#1

#195903= IFCWALLTYPE('0vTTOLpwDBYBITPUvyRyuY',#29,'Kalksandstein',$,$,$,$,
#195909= IFCRELDEFINESBYTYPE('2lrWPTWKn3PRf3Z7rC3Z6r',#29,'Kalksandstein',$,
ENDSEC;

END-ISO-10303-21;
```

Obr. 2 Ukázka hlavičky, těla a zakončení souboru ve formátu IFC dle standardu ISO 10303-21. Zdroj: Archiv autora.

21.3.1 IFC Entity-Relationship Model

IFC definuje Entity-Relationship model (ERM) skládající se z několika stovek entit, organizovaných do objektově orientované hierarchie.

- Rooted objects: IfcRoot – Mají globally unique identifier (GUID)
 - IfcObjectDefinition – definice objektů
 - IfcRelationship – definice vztahů mezi objekty
 - IfcPropertyDefinition – dynamicky rozšiřitelné vlastnosti objektů
- Non-rooted objects – nemají GUID a mohou existovat jen jako reference rooted objects.

Příklady IFC entit:

- IfcWall – stavební prvek
- IfcCartesianPoint – základní typ
- IfcExtrudedAreaSolid – geometrický prvek
- IfcProduct – základní třída všech stavebních prvků:
 - IfcSite, IfcBuilding, IfcBuildingStorey, IfcSpace, ...
 - IfcWall, IfcBeam, IfcDoor, IfcWindow, IfcStair, ...
 - IfcShapeRepresentation (NURBS, CSG, ...)
 - IfcLocalPlacement, IfcGridPlacemen
- IfcProcess, IfcResource, IfcProject, ...

2.1.4 Model View Definitions (MVD)

Model View Definitions (MVD) definuje určitou podmnožinu ze schématu IFC, která je potřeba pro určitou výměnu informací – např. “*Coordination View*” – a také poskytuje implementační manuál pro všechny IFC koncepty, které jsou v tomto pohledu podporovány (třídy, atributy, vazby, množiny vlastností atp.). MVD jsou definovány přímo organizací buildingSMART, ale mohou být definovány i jinými subjekty a podány buildingSMART International k akceptaci.

MVD je definována v rámci standardu ISO 29481 (IDM) a patří spolu s IFC k nejvyužívanějším částem otevřených standardů buildingSMART.

2.1.5 International Framework for Dictionaries (IFD)

International Framework for Dictionaries (IFD), během roku 2012 přejmenovaný na buildingSMART Data Dictionary (bSDD), vychází ze standardu *ISO 12006-3:2007 Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information*.

Jak už sám název IFD napovídá, jedná se o katalog objektů, slovník termínů a konceptů, které se vyskytují v doméně stavebnictví, pokrývá všechny prvky ze schématu IFC a jeho cílem je doplnit prvky z IFC o sémantické vazby a např. se ujistit, že dokumentu v IFC bylo správně porozuměno, tj. že neobsahuje sémantické „nesmysly“. Druhý hlavní účel a zřejmě ještě významnější je umožnit jiným systémům porozumět informacím uloženým v BIM modelech IFC a tudíž tyto data obohacovat, analyzovat a dále zpracovávat (Bjørkhaug, Bell, b.r.).

Hlavní účel IFD je sémantické mapování a interoperabilita na sémantické úrovni – viz Obr. 3.

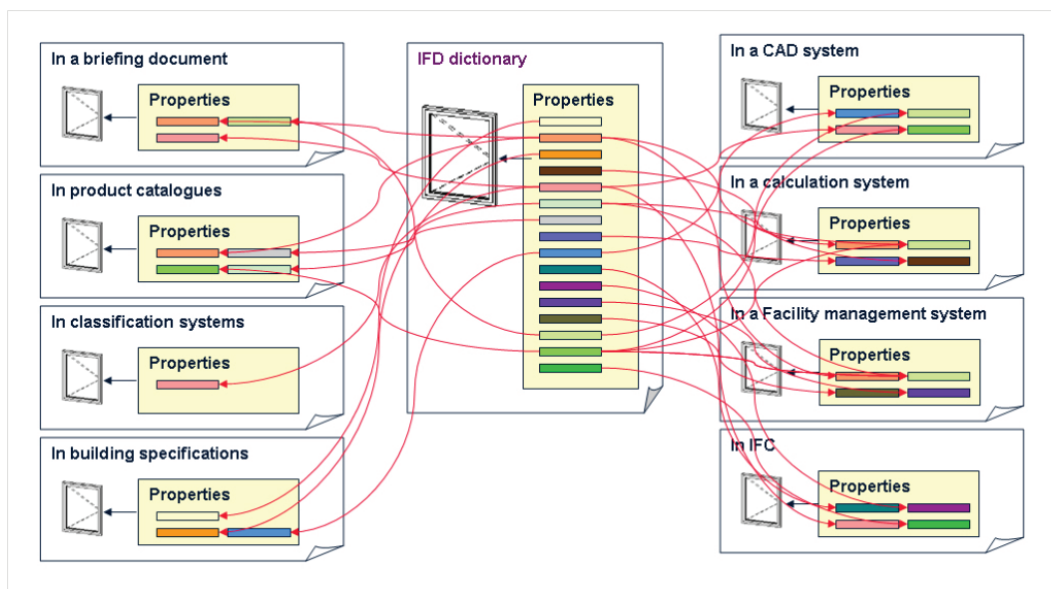
2.1.5.1. Objektový model IFD

Objektový model IFD se skládá z následujících prvků (Diesen et al., b.r.):

- IfdConcept – Koncept, pojem, reprezentuje tzv. rooted objects z IFC (viz odstavec 2.1.3.1)
- IfdMeasure – Míra s příslušnou jednotkou.
 - IfdMeasureInRelationship – Rozšířený typ míry o atributy kontext a typ vztahu.
- IfdValue – Objekt hodnoty určitého typu.
- IfdConceptInRelationship – Koncept, který je v určitém vztahu s jinými koncepty.
- IfdContext – Objekt pro určitý kontext.
- IfdName – Objekt názvu v určitém jazyce.
- IfdDescription – Objekt pro slovní definici či komentář v určitém jazyce.

- IfdLanguage – Objekt pro definici jazyka.
- IfdIllustration – Objekt pro uložení doprovodných multimédií - obrázků, video.
- IfdOrganization – Objekt pro uložení názvu a URL organizace.
- IfdUser – Objekt pro uživatele API.

Objektový model dále obsahuje výčty jako např. IfdConceptTypeEnum (ACTOR, ACTIVITY, DOCUMENT, PROPERTY, SUBJECT, UNIT, MEASURE, VALUE, NEST, BAG, UNDEFINED) nebo IfdValueTypeEnum (STRING, INTEGER, REAL, BOOLEAN, LOGICAL, UNDEFINED) a další. Pomocí tohoto modelu jsou pak popsány objekty z IFC schéma (viz odstavec 1.3.1.5).



Obr. 3: IFD jako prostředník pro mapování napříč dokumenty a systémy. Zdroj: (Bjørkhaug, Bell, b.r.)

2.1.5.2 IFD API

IFD poskytuje veřejné Application Programming Interface (API)¹¹⁴ založené na standardech Web Services Description Language (WSDL) a Simple Object Access Protocol (SOAP), které je zcela otevřené pro čtení a lze požádat o práva i dalším operacím (psaní komentářů, lokalizace, celková administrace).

114) WSDL pro API verze 2.0.5: <http://services.ifd-library.org/api/2.0?wsdl>, WSDL pro API 3.0: <http://services.ifd-library.org/api/3.0/wsdl/soap.wsdl>, každé volání je nutné volat s příslušným identifikátorem sezení (session), pro přístup pouze ke čtení lze použít „demo účet“ - user: demo, password: demo.

IFD se skládá z objektového modelu a sad metod pro hledání, získávání, přidávání, upravování, mazání a spojování objektů v knihovně¹¹⁵, tj. SCRUD¹¹⁶, typické pro libovolné persistentní úložiště dat. Navíc obsahuje několik dalších funkcí jako např. přihlašování a odhlašování uživatele API (Diesen et al., b.r.).

Každý objekt resp. koncept v IFD má svůj globálně unikátní identifikátor (globally unique identifier, GUID) a každý koncept může být lokalizován do všech světových jazyků¹¹⁷. Při získávání informací o konceptu nám stačí mít uloženo GUID, při komunikaci s jiným IFD kompatibilním systémem nám teoreticky stačí přenášet pouze GUID, místo celých struktur metadat charakterizujících daný koncept, a koncept poté můžeme získat dotazem na IFC přes API. Což je de facto princip Linked Data (viz odstavec 3.4.1).

2.1.5.3. IFD a ontologie

IFD je doplněk IFC a silný nástroj pro sémantické zpracování BIM modelů uložených v IFC. Je ale IFD sama o sobě ontologie? Shrňme si, jaké (hlavní) prvky tvoří ontologii:

- Individua: základní objekty, instance.
- Třídy: typy objektů a jejich množiny.
- Atributy: vlastnosti tříd a individuí.
- Relace: vztahy mezi individuí.
- Události: změny atributů a vztahů mezi individuí.

IFD má, kromě té první, všechny prvky ontologií, neboli IFD neobsahuje individua, obsahuje pouze jejich třídy, atributy tříd a vztahy mezi třídami. Nicméně ontologií IFD samo o sobě není. Ontologií se stává až v momentě, kdy ve struktuře IFD instantizujeme entity např. ze souboru IFC. IFD může dokonce držet několik ontologií a to díky vlastnosti context (viz 2.1.5.1), která umožňuje měnit prvky a vazby mezi nimi v závislosti na daném kontextu (např. různé druhy klasifikace IFC konceptů). Vlastnost context umožňuje vytvořit v rámci jedné množiny konceptů IFD mnoho paralelních struktur.

2.1.6 Standard COBie

Americký otevřený standard COBie (Construction Operations Building Information Exchange) byl vytvořen v roce 2007 americkou vojenskou agenturou United States

115) Např. searchForConcepts, addConcepts, updateConcept, removeChildFromConcept, apod.

116) SCRUD = search, create, read, update, delete

117) Aktuálně je většina konceptů v IFD lokalizována jen do jazyků zakládajících členů IFD: angličtiny, norštiny a dánštiny.

Army Corps of Engineers a v roce 2011 byl přijat americkou oborovou nevládní organizací National Institute of Building Sciences (NIBS) jako National Building Information Model (NBIMS-US) standard.

Byť tento standard nepatří mezi původní buildingSMART standardy, bez jeho zmínění by výčet otevřených BIM standardů nebyl úplný.

Datový formát COBie je zaměřen na ne-geometrickou část BIM modelů. Umožňuje tvorbu a přenos specifikací komponent použitých v modelu ve formě spreadsheetů, takže je možné je číst a upravovat v běžných tabulkových procesorech jako je např. MS Excel nebo OpenOffice Calc. Tím je umožněno i menším dodavatelům, kteří nemají dostatek prostředků na implementaci kompletní BIM platformy, aby se podíleli na BIM projektech a také snazší přenos informací např. správci budovy, kteří tak mohou dostat kompletní dokumentaci vybavení ještě před dokončením stavby (William E. East, b.r.).

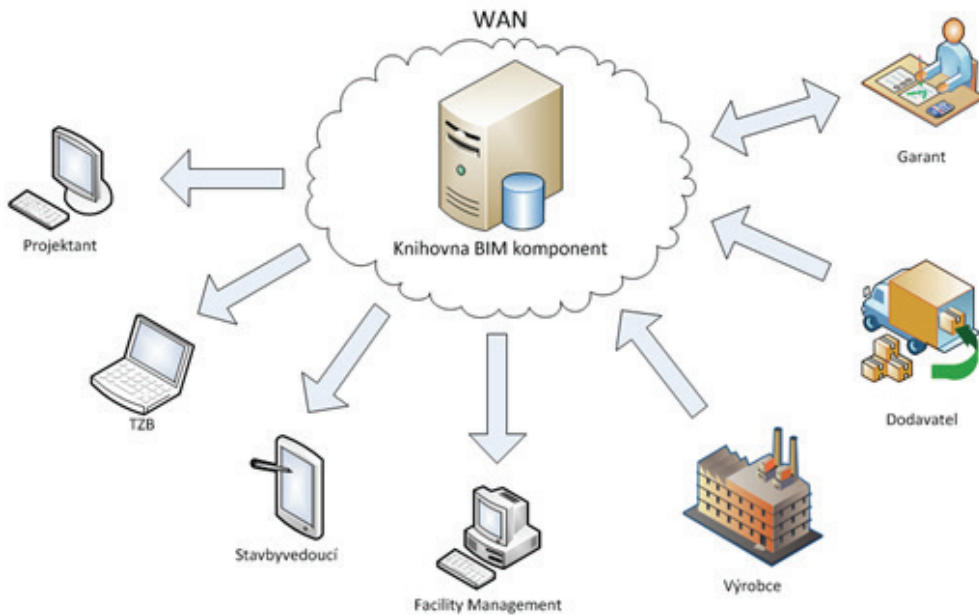
BuildingSMART International pracuje na další verzi tohoto standardu, COBieLite (Bill East, Bogen, b.r.), který bude místo spreadsheetů používat formát XML ¹¹⁸.

2.2 Knihovny BIM komponent

Knihovny BIM komponent slouží ke sdílení jednotlivých prvků pro stavbu BIM modelů. Jelikož jejich vytváření je poměrně náročné. Momentálně existuje několik typů knihoven – knihovny od poskytovatelů SW produktů, knihovny od výrobců stavebních produktů, knihovny od nezávislých poskytovatelů a knihovny od národních poskytovatelů s garantovaným obsahem. Tyto knihovny nabízejí jen velmi jednoduchou kategorizaci a vyhledávání a vyjma posledního typu nenabízejí žádnou interoperabilitu – komponenty jsou

k dispozici pouze v proprietárních formátech (ne v IFC), často i pro určitou verzi SW. Schéma obecné knihovny BIM komponent je znázorněno na Obr. 4.

¹¹⁸) eXtensible Markup Language (XML)



Obr. 4: Knihovna BIM komponent. Zdroj: Archiv autora.

2.3 Přehled existujících knihoven BIM komponent

Již dnes můžeme nalézt na internetu několik centrálních knihoven BIM komponent, které provozují národní oborové organizace, výrobci BIM SW¹¹⁹, či nezávislí poskytovatelé¹²⁰ a mnoho menších knihoven přímo od výrobců stavebních výrobků.¹²¹

Nicméně všechny tyto knihovny trpí nejméně jedním z následujících problémů:

- Poskytované komponenty jsou uloženy výhradně v určitém formátu, určitého poskytovatele CAD/BIM platformy.
- Kvalita komponent kolísá. Informační obsah BIM komponent nikdo negarantuje.
- Standardy, které byly použity při tvorbě komponent, nejsou totožné se standardy, se kterými pracuje příjemce (konzument) komponent.

119) BIM components by Graphisoft <<https://bimcomponents.com/>> or Autodesk components libraries <<http://revit.autodesk.com/library/html/index.html>>

120) bimstore <<http://www.bimstore.co.uk/>>, RevitCity <<http://www.revitcity.com/downloads.php>> or Smart-BIM Library <<http://www.smartbim.com/content/>>

121) Bradley BIM Revit Resources <<http://www.bradleycorp.com/bim/products/bim>> or Lindab Revit Library <<http://www.lindab.com/uk/pro/software/building-components/>>

2.3.1 Knihovny tvůrců BIM platformem

BIMcomponents.com¹²² je knihovna komponent od firmy Graphisoft, která nabízí jednoduchou kategorizaci komponent. Komponenty jsou k dispozici ve formátu pro ArchiCAD 16 nebo ArchiCAD 17 a pochází jednak přímo od Graphisoftu, tak i od poskytovatelů třetích stran. K nahrání komponent do knihovny se stačí registrovat. Podobnou knihovnu nabízí i společnost Autodesk pro svůj produkt Revit.¹²³

2.3.2 Knihovny dodavatelů stavebních výrobků

Menších knihoven dodavatelů stavebních výrobků je zcela očekávaně největší množství.¹²⁴ Většinou nabízí jednoduché rozčlenění do kategorií a podporují zpravidla jen jeden ze dvou nejpoužívanějších formátů – Revit či ArchiCAD. Vytvoření takovéto knihovny je většinou jednorázové od některé z firem, které se zabývají tvorbou komponent na zakázku. Kromě problémů s interoperabilitou (podpora jen jedné platformy) je zde i problém s kolísající kvalitou a standardizací komponent.

2.3.3 Knihovny nezávislých poskytovatelů

Knihovna bimstore.co.uk¹²⁵ je vytvořena v open source CMS Joomla. BIM komponenty jsou rozříděny do jednoduchých kategorií. Projektanti resp. obecně konzumenti komponent mají přístup do knihovny zdarma. Výrobci, kteří zde chtějí umístit svoje výrobky, za to musí zaplatit. Komponenty jsou k dispozici jako soubor ke stažení, většinou v jednom konkrétním formátu pro ArchiCAD či Revit. Knihovna poskytuje i jakousi „kuchařku“ – jednoduchou metodiku, jak vytvořit BIM komponentu „správně“. Na trhu existuje i několik dalších nezávislých zdrojů komponent.¹²⁶

2.3.4 Národní knihovny

National BIM Library,¹²⁷ UK, (NBL), která byla spuštěna v pilotním provozu během července 2012, je prvním zástupcem národních knihoven. Knihovnu vyvinula a spravuje společnost NBS,¹²⁸ resp. RIBA Enterprises Ltd. což je dceřiná společnost Královské komory architektů (Royal Institute of British Architects, RIBA).

122) BIM Components od fy. Graphisoft <<http://bimcomponents.com/>>

123) Autodesk components libraries <<http://revit.autodesk.com/library/html/index.html>>

124) Např. Bradley BIM Revit Resources <<http://www.bradleycorp.com/bim/products/bim>> nebo Lindab Revit Library <<http://www.lindab.com/uk/pro/software/building-components/>>

125) bimstore.co.uk <<http://bimstore.co.uk/>>

126) Např. SmartBIM Library <<http://www.smartbim.com/content/>> nebo RevitCity <<http://www.revitcity.com/downloads.php>>, Arcat BIM Content <http://www.arcat.com/bim/bim_objects.shtml>

127) National BIM Library <<http://www.nationalbimlibrary.com/>>

128) NBS je zkratka National Building Standards; NBS je součástí RIBA Enterprises Ltd, což je společnost vlastněná Royal Institute of British Architects (RIBA)

2.3.4.1. Využití otevřených standardů

Knihovna se snaží maximálně využít otevřených standardů, zejm. COBie a IFC. Zveřejnění komponenty probíhá tak, že se naplní šablona v COBie a speciální utilitou se překonvertuje do požadovaných formátů IFC, ArchiCAD, Bentley, Revit, Tekla a Vectorworks. A následně se zveřejní pod příslušnou kategorií na webu knihovny. Důvod pro konverzi do proprietárních formátů je ten, že formát IFC, který obsahuje tisíce prvků, není výrobcí BIM platforem (zatím) podporován v plném rozsahu. Podporovány jsou jen určité podmnožiny IFC definované pomocí MVD. Nejčastěji je podporován tzv. „*Coordination View*“, který obsahuje jen základní vlastnosti komponent a export do IFC tudíž v současné situaci vždy znamená ztrátu relativně velké části informací.

2.3.4.2. Obsah knihovny

Obsah této knihovny podléhá přísné kontrole – je vytvářen a garantován NBS ve spolupráci s BIM Academy¹²⁹ dle národních standardů, na jejichž tvorbě se subjekty okolo NBL samy podílí.

V první fázi byly vytvořeny základní stavební prvky, které se ve Velké Británii běžně používají ve výstavbě – obecné typy zdí, střech, podlah atp. V další fázi byli osloveni jednotliví výrobci a knihovna se pomalu začíná plnit i komponentami, jejichž vytvoření bylo zapláceno konkrétními dodavateli. Díky této strategii je zajištěno, že i když by nebyla k dispozici komponenta pro konkrétní výrobek, je k dispozici alespoň nějaká základní komponenta, kterou stačí již jen upravit dle konkrétního výrobku. Kromě samotných komponent knihovna obsahuje i odkazy na konkrétní specifikace a manuály.

2.3.4.3. Podpůrné nástroje

NBS usilovně pracuje na rozšiřování celého „*ekosystému*“ – vytváří vlastní nástroje¹³⁰ jako např. NBS Create, který slouží k automatickému generování specifikací z existujících BIM modelů. Nebo pluginy (doplňky) do BIM platforem Revit a ArchiCAD, které umožňují pohodlně vyhledávat v knihovně a asociovat objekty v modelu s objekty v NBL přímo v nativním prostředí platformy.

Pluginy také poskytují lepší podporu pro export do IFC a případně COBie. Export v tomto případě probíhá dvoufázově – během exportu si plugin stáhne doplňující informace skrze NBL API a obohatí tím výstup v IFC/COBie. Tím je z velké části překonán problém se ztrátou informací při exportu do IFC, tak jak to provádí současné BIM nástroje.

129) BIM Academy <<http://www.bimacademy.ac.uk/>>

130) NBS Products <<http://www.thenbs.com/products/index.asp>>

2.3.4.4. Linked Data

Objekty v knihovně jsou jednoznačně identifikovány pomocí globálně unikátního identifikátoru (globally unique identifier, GUID) a pokud obdržíme model, či např. COBie spreadsheet s odkazy na tyto prvky, můžeme s využitím podpůrných nástrojů knihovny načíst doplňující informace podobně, jako tomu je při expanzi unikátního identifikátoru zdroje (unique resource identifier, URI) v definici Linked Data (viz 3.4.1).

Nicméně knihovna NBL zatím zcela definici Linked Data nevyhovuje, jelikož nepodporuje přímou expanzi (dereferencování) URI přes protokol HTTP.

3. Knihovna BIM komponent poháněná ontologiemi

3.1. Motivace

Knihovna BIM komponent v UK momentálně ukazuje směr, jakým způsobem by knihovny měly vypadat (a to i z pohledu procesů), nicméně má stále určité limity a je stále co zlepšovat. Konverzí IFC do některého ontologického jazyka, např. OWL, a s využitím IFD (viz 2.1.5) je možné získat ještě více:

- Využití informací z komponent v dalších znalostních doménách, např. propojení se znalostmi o materiálech a ekologické zátěži.
- Vytvoření robustní konceptuální znalostní báze postavené zejména na pravidlech typu JESTLIŽE-PAK a axiomech, využití schopnost ontologií znalosti odvozovat a validovat. Např. o validace komponent dle platných norem.
- Zveřejnění komponent v sémantickém formátu, který není omezen hranicemi jedné znalostní domény (OWL, RDF) a zpřístupnit komponenty ve formě Linked Data, resp. Linked Open Data.
- Umožnit pokročilé dotazování v rámci znalostní báze komponent např. jazykem SPARQL ¹³¹.

3.2. Sémantická knihovna BIM komponent

Sémantickou knihovnu BIM komponent je možné vnímat jako další evoluční krok, resp. jako další rozvinutí konceptu, který předeštlá britská knihovna NBL.

131) SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL)

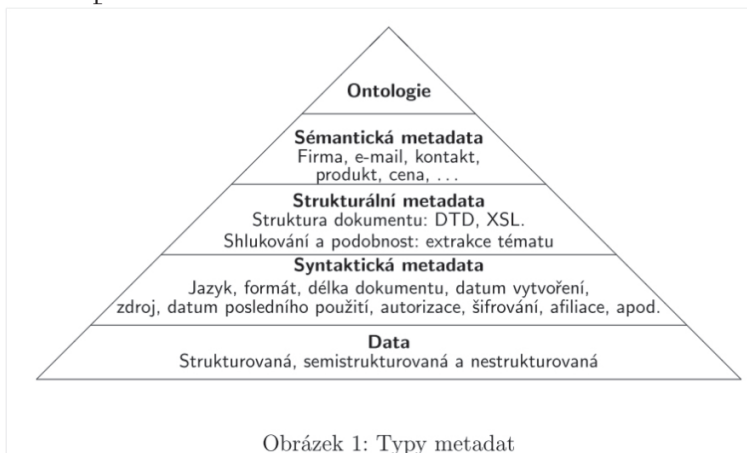
3.2.1. Specifikace sémantické knihovny BIM komponent

Sémantická knihovna BIM komponent by měla mít tyto vlastnosti:

- 1) Měla by pracovat s objekty, resp. koncepty, na sémantické úrovni jak vně tak uvnitř.
- 2) Měla by obsahovat standardizovaný a garantovaný (resp. alespoň autorizovaný) obsah.
- 3) Knihovna by měla poskytovat veřejné a otevřené API.
- 4) Každý prvek/zdroj/koncept by měl mít svůj Global Unique Identifier (GUID) resp. Universal Resource Identifier (URI).
- 5) Výstup v otevřených formátech IFC, IFC/IFD, RDF/OWL.
- 6) Díky podpoře URI a RDF/OWL by na komponenty mělo být možno odkazovat jako na zdroje z prostředí sémantické snadné odkazování, tj. knihovna by měla podporovat Linked Data.
- 7) Díky principu otevřenosti by měla být považována za otevřený zdroj dat ve smyslu definice Open Data, a tudíž by měla být považována za zdroj Linked Open Data.

3.2.2. Srovnání sémantické knihovny s knihovnou typu NBL

Kromě vlastností garantovaný obsah (bod 2) a částečně splněné vlastnosti výstup v otevřených formátech (bod 5) a požadavku na otevřená data (bod 7) z odstavce 3.2.1 v současnosti¹³² nesplňuje NBL, žádnou další z požadovaných sedmi vlastností sémantické knihovny BIM komponent.



Obr. 5: Hierarchie metadat: ontologie jako nejsilnější forma metadat. Zdroj: (Sklénák, 2004)

¹³²) červen 2013

3.3. Ontologie jako nejvyšší forma metadat

Ontologie v současnosti patří k nejsilnějším nástrojům pro sémantické zpracování znalostí, patří do kategorie tzv. formálních sémantik pro strojové zpracování a ze sémantického pohledu je to nejsilnější forma metadat (Sklenák, 2004). Viz hierarchie metadat na Obr. 5.

Ontologie také stojí v pozadí jazyků a technologií sémantického webu (tzv. Web 3.0), jehož hlavní myšlenkou je, že internetové služby by měly poskytovat kromě reprezentace informací pro konzumaci člověkem i datovou reprezentaci s přesně definovanými významy, určenou pro strojové zpracování. Např:

- Resource Description Framework (RDF) – abstraktní model metadat využívaný dalšími technologiemi.
- Web Ontology Language (OWL) – ontologický jazyk pro tvorbu ontologií, má několik formálních úrovní a může být uložen např. ve formě RDF.
- SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL) – dotazovací jazyk, podobný jazyku Structured Query Language (SQL), jak je znám z databází, ale uzpůsobený pro dotazování v ontologiích.

3.4. Linked Data a sémantický web

3.4.1. Principy Linked Data

Principy Linked Data jsou úzce svázány se sémantickým webem a využívají stejné technologie. Nicméně tyto principy nejsou definicí, ale spíše doporučením (Berners-Lee, 2006):

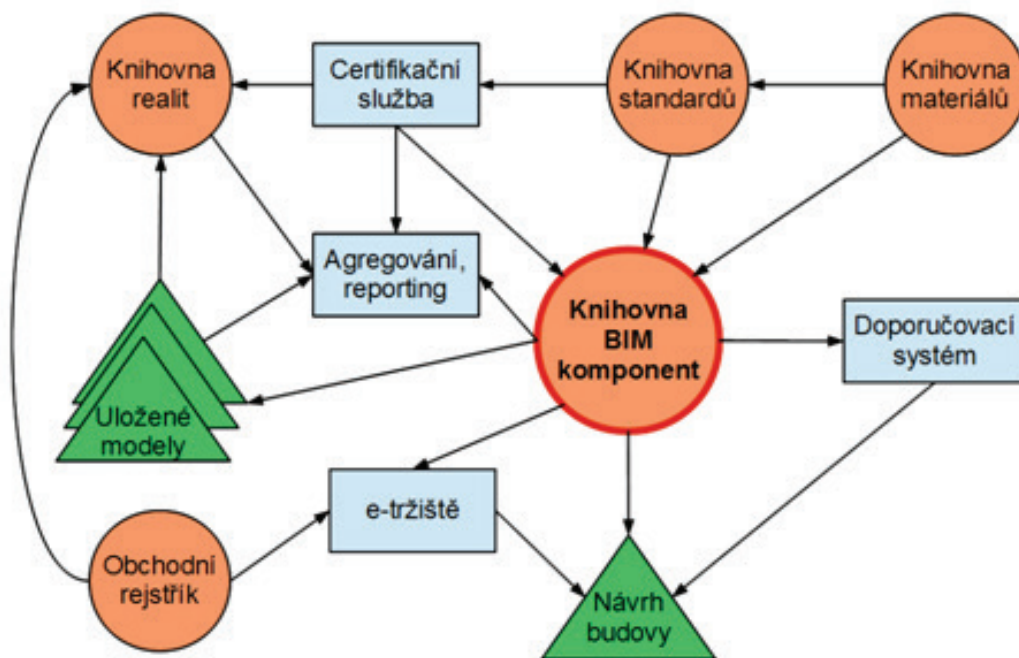
- 1) Věci (resp. zdroje, objekty) jsou označeny jednoznačným identifikátorem URI.
- 2) Používejte HTTP URI (tedy URI dostupné přes HTTP protokol), aby se věci daly vyhledat.
- 3) Při HTTP požadavku na danou URI poskytněte informaci o této věci, nejlépe s využitím sémantických standardů jako RDF a SPARQL. (Jde o tzv. „dereferencování URI“.)
- 4) Umožněte objevování dalších věcí poskytnutím odkazů URI ve vašich datech.

3.4.2. Síť knihoven a Linked Data

Při sémantickém zpracování dat, lze do budoucna uvažovat o propojení knihovny s dalšími službami a knihovnami s využitím principů Linked Data. Komponenty mohou např. obsahovat reference na knihovnu materiálů, toto propojení se dá poté použít pro různé analytické služby a certifikování z pohledu např. energetické náročnosti, odolnosti apod.

Sémantická knihovna standardů (ISO, EN, ČSN) by poskytovala obsah norem v ontologickém formátu a ve spojení s nějakou validační či certifikační službou lze uvažovat i o automatizované (alespoň částečně) validaci dle platných norem.

Doporučovací systém by pomohl z velké množiny BIM komponent vybírat ty vhodné dle zadaných parametrů (požadavků) a dle aktuálního stavu modelu. A to až na hranici automatizovaného návrhu. Elektronické tržiště by umožnilo zjistit, kde mohou komponenty získat a za kolik. Byť je tato vize poměrně smělá a vyžaduje systémový přístup nejméně na úrovni státu dle výzkumy a někdy i částečně funkční řešení existují pro všechny zmíněné knihovny a služby, viz část 4.



Obr. 6: Vize sítě propojených sémantických knihoven (metodou Linked Data). Zdroj: Archiv autora.

4. Související výzkum

Stejný společný cíl – jak lépe zpřístupnit data ve stavebnictví a jak tato data dále využít – si vytklo za cíl mnoho předchozích i současných výzkumů. V následujících odstavcích předkládám výběr zajímavých článků na související témata.

4.1. IFC a ontologie

I když je IFC v zásadě sémantický formát, ontologie je formálně silnější a tudíž lépe strojově zpracovatelná. To je hlavní argument pro převedení IFC schéma do silnějšího ontologického schématu IfoOWL na bázi OWL/RDF (J Beetz et al., 2009). V (Zhang, Issa, 2011) je hlavní motivací pro převod IFC do ontologie zpřístupnění informací pro Sémantický Web.

Můžeme sem zařadit i aktuální výzkum Semantic Exchange Modules (Chuck Eastman, Venugopal, b.r.; Chuck Eastman, Tech, 2012), což je snaha vyřešit problém nekonzistentních IFC a MVD a ulehčit poskytovatelům BIM aplikací jejich implementaci.

4.2. Knihovny komponent

V (Wei, Zhiping Zhou, 2010) je představena idea knihovny komponent založené na standardech IFC a PLIB (parts library, knihovna součástí),¹³³ součástí standardu PLIB je i ontologie OntoML.¹³⁴ V (Nour, 2010) je představena studie otevřené platformy pro distribuci komponent ve formátu IFC. Organizace buildingSMART od roku 2011 pracuje na specifikaci pro knihovny komponent v IFC formátu (Holen, Stangeland, 2012).

Příbuzné téma je vytvoření elektronického tržiště BauDataWeb¹³⁵ s využitím FreeClassOWL ontologie a SPARQL, jež má ambice stát se do budoucna celoevropským e-tržištěm stavebního materiálu (Hepp, 2008).

4.3. Sémantická validace parametrů modelu

V (Niemeijer et al., 2009) je nastíněno řešení automatické kontroly IFC modelů pomocí omezujících podmínek, které jsou popsány v jazyce OWL. V (Gueffaz et al., 2011) je představen nástroj RDF2SPIN pro mapování sémantických grafů (konkrétně IFC modelů budov) do nástroje SPIN Model Checker¹³⁶ pro ověření jejich konzistence. V (Groza, Man, 2011) je představen „*proof of concept*“ modelování norem v logickém programo-

133) ISO 13584 - Industrial automation systems and integration - Parts library (PLIB)

134) OntoML: Product ontology markup language (ISO 13584-32:2010)

135) BauDataWeb <<http://semantic.eurobau.com/>>

136) SPIN Model Checker <<http://spinroot.com/>> je software pro obecné ověřování modelů a systémů v jazyce Promela. Byl vyvinut v 80. letech 20. stol. v Bell Laboratories a od roku 1991 uvolněn k nekomerčnímu i komerčnímu použití.

vacím jazyce Jess a validace modelu budovy v IFC. V (Pauwels et al., 2011) je IFC převedeno do OWL a na příkladu ověření normy pro zvukoizolační vlastnosti je porovnáván jazyk IFC a jeho ontologická verze. V (Jin-Kook Lee et al., 2012) je popsána prostorová databáze (space database), která má sloužit především pro komplexní automatizované ověřování návrhů (BIM modelů) budov. V (Zhong et al., 2012) je popsána metoda komplexního ontologického modelování regulačních omezení pro automatizovanou kontrolu kvality staveb. Byla vyvinuta komplexní ontologie pro kontrolu a vyhodnocování staveb,¹³⁷ v níž jsou regulační omezení modelována jako OWL axiomy a SWRL¹³⁸ pravidla.

4.4. Optimalizace návrhu v prostředí popsaném ontologií

Opačným směrem než projekty z předchozího odstavce se vydal projekt popsáný

v (Verstichel et al., 2011). Projekt se sice nezabývá přímo BIM a IFC, ale téma je z pohledu BIM, IFC a ontologií zajímavé: ontologiemi poháněný rozhodovací systém pro optimální návrh železničních portálů (Saa et al., 2012), kde podobně jako v minulém odstavci autoři zadají do systému technické normy ve formě ontologie a průřez kolejiště, a úkolem systému je doporučit vhodný návrh portálu tak, aby byly splněny všechny technické normy a návrh byl optimální z hlediska nákladů.

5. Diskuse

Jak bylo ukázáno na současném výzkumu (viz část 4), vize propojených knihoven BIM komponent, materiálů či standardů (viz 4.) a vysokého stupně automatizace v této oblasti má reálné základy. A poté, co bude metodika BIM skutečně celosvětově akceptována, lze v této oblasti očekávat bouřlivý rozvoj.

Současné knihovny BIM komponent jsou většinou omezeny na určitou platformu, skutečnou interoperabilitu začala nabízet až knihovna NBL (viz 2.3.4), která navíc cíleně podporuje i své okolí - podílí se na tvorbě národních standardů a vyvíjí i vlastní nástroje a doplňky do BIM platforem, které umožní velmi rychlé osvojení v oblasti britského stavebnictví a v současnosti patří ke vzorovému řešení, jak by se založení takovéto knihovny mělo zajistit.

Nicméně zajištění interoperability v takovémto měřítku a pouze na sémantické úrovni, kterou nabízí otevřené standardy buildingSMART, je poměrně náročné a využití ontologií pro tento účel i v oblasti BIM knihoven se zcela nabízí. K tématu převodu formátu IFC do ontologie (např. do OWL/RDF) již vznikla řada prací (viz část 4.1), k převodu lze také využít i sémantický slovník IFD (viz 2.1.5).

¹³⁷ Construction Quality Inspection and Evaluation Ontology (CQIEOntology)

¹³⁸ SWRL: A Semantic Web Rule Language, v zásadě se jedná o kombinaci OWL a RuleML (Rule Markup Language)

Z technického pohledu je stále otevřená otázka, jak takovouto knihovnu implementovat a jaké strategie zvolit. Výzkum v oblasti Semantic Exchange Modules (viz část 4.1) se zdá vhodnou cestou, jak zajistit konzistentní výstup z BIM modelu pro určitý účel, čehož by možná šlo využít i pro exporty do proprietárních formátů.

Jako úložiště by mohlo sloužit RDF úložiště Sesame,¹³⁹ lze ale uvažovat i o nativních grafových databázích jako např. Neo4j.¹⁴⁰ Vodítkem pro vhodný výběr úložiště by mohl být projekt BIMServer.org,¹⁴¹ který v nejjednodušší podobě používá k ukládání IFC datových struktur pouze BerkeleyDB (Jakob Beetz, Berlo, 2010).

Výstupem budou kromě HTML stránek s náhledy komponent (např. ve WebGL)¹⁴² pro uživatele i rozšířená IFC metadata ve formátu OWL/RDF, která umožní strojové zpracování a propojení s dalšími knihovnami a službami.

Závěr

Ze současného výzkumu (viz část 4) je zřejmé, že se ontologie, a sémantické technologie obecně v komplexním prostředí BIM prosazují stále více, protože se ukazuje, že standardy jako např. IFC v některých případech na požadované úkoly nestačí nebo je použití ontologií v určitých případech přinejmenším výhodnější.

Nelze zapomínat ani na vlivy, které s sebou nese Sémantický web, Linked Data a celosvětové hnutí Open Data. Prostředí internetu se mění ze série uzavřených informačních sil a množiny dokumentů na globální databázi vzájemně propojených znalostí a vývoj v oblasti BIM i v oblasti BIM knihoven to naznačuje.

Sémantická knihovna BIM komponent se v zásadě jeví jako přirozený evoluční krok směrem k potřebám, které budou v blízké „sémantické“ budoucnosti samozřejmostí.

Tento článek se zabývá pouze technologickou stránkou problému, ale neméně zajímavé téma by bylo pojmout problém národní sémantické knihovny BIM komponent i z pohledu procesů a z pohledu systémového přístupu např. pro oblast stavebnictví v ČR.

Poděkování: Tento článek byl napsán za finanční podpory grantu ČVUT SGS13/118/OHK1/2T/11 - Integrace BIM do informační architektury podniku prostřednictvím sémantických technologií.

139) Sesame – de facto standard pro zpracování a ukládání RDF dat <<http://www.openrdf.org/>>

140) Neo4j – nativní grafová databáze <<http://www.neo4j.org/>>

141) BIMserver.org - <<http://bimserver.org/>>

142) Web Graphics Library (WebGL)

References

- [1] BEETZ, J, J VAN LEEUWEN a B DE VRIES. 2009. IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, roč. 23, č. 1, s. 89–101.
- [2] BEETZ, Jakob a Léon Van BERLO. 2010. BIMSERVER.ORG – an open source IFC model server. In: *Proceedings of the 27th International Conference on Information Technology in Construction CIB W78*. Cairo: s.n., s. 16–18
- [3] BERNERS-LEE, Tim. Design Issues: Linked Data. [online]. 2006 [vid. 25. January 2013]. Dostupné z: <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData>
- [4] BJØRKHAUG, Lars a Håvard BELL. IFD in a Nutshell. [online]. b.r. [vid. 5. June 2013]. Dostupné z: http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD_in_a_Nutshell
- [5] DIESEN, Dag, Lars BJØRKHAUG, Chi Ho LAU a Håvard BELL. IFD API. [online]. b.r. [vid. 5. June 2013]. Dostupné z: http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD_API
- [6] EAST, Bill a Chris BOGEN. COBieLite: A lightweight XML format for COBie data. [online]. b.r. [vid. 14. June 2013]. Dostupné z: http://www.nibs.org/?page=bsa_cobielite
- [7] EAST, William E. Construction Operations Building Information Exchange (COBie). [online]. b.r. [vid. 28. January 2013]. Dostupné z: <http://www.wbdg.org/resources/cobie.php>
- [8] EASTMAN, Chuck a Georgia TECH. 2012. The Future of IFC : Rationale and Design of a SEM IFC Layer College of Architecture. 2012. S.l.: s.n.
- [9] EASTMAN, Chuck a Manu VENUGOPAL. Semantic Exchange Modules (SEM). [online]. b.r. [vid. 14. June 2013]. Dostupné z: <http://www.dbl.gatech.edu/sem>
- [10] GROZA, Adrian a Camelia MAN. 2011. Towards automatic norm compliance in construction domain. In: *9th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*. Smolenice: s.n., s. 83–87. ISBN 9781424474301.
- [11] GUEFFAZ, Mahdi, Sylvain RAMPACEK a Christophe NICOLLE. 2011. RDF2SPIN: Mapping Semantic Graphs to SPIN Model Checker. In: *Hocine CHERIFI, Jasni Mohamad ZAIN a Eyas EL-QAWASMEH, eds. Digital Information and Communication Technology and Its Applications - International Conference, DICTAP 2011*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, s. 591–598. ISBN 978-3-642-22026-5.
- [12] HEPP, Martin. 2008. GoodRelations : An Ontology for Describing Products and Services Offers on the Web. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW2008)*. Acitrezza: Springer LNCS, s. 329–346
- [13] From Duplicate 2 (GoodRelations : An Ontology for Describing Products and Services Offers on the Web - Hepp, Martin)
- [14] HOLEN, Trond a Bjørn K STANGELAND. Product Libraries in IFC format - Specification. [online]. 2012 [vid. 27. January 2013]. Dostupné z: http://www.dds-cad.net/files/net.dds-cad.com/downloads/Presseberichte/2012_IFC_for_Object_Libraries_spesification.PDF

- [15] LAAKSO, Mikael, Doctoral STUDENT, Information Systems SCIENCE a Arto KIVINIEMI. 2012. The IFC standard - a review of history, development, and standardization. *ITcon - Electronic Journal of Information Technology in Construction*, roč. 17, č. May, s. 134–161.
- [16] LEE, Jin-Kook, Jaemin LEE, Yeon-suk JEONG, Hugo SHEWARD, Paola SANGUINETTI, Sherif ABDELMOHSEN a Charles M. EASTMAN. 2012. Development of space database for automated building design review systems. *Automation in Construction*, roč. 24, s. 203–212. doi 10.1016/j.autcon.2012.03.002.
- [17] NIEMEIJER, R A, B De VRIES a J BEETZ. 2009. Check-mate: automatic constraint checking of IFC models. In: *Proceedings of the 26th International Conference on Information Technology in Construction CIB W78*. Istanbul: s.n.,
- [18] NOUR, M. 2010. A dynamic open access construction product data platform. *Automation in Construction*, roč. 19, č. 4, s. 407–418. doi 10.1016/j.autcon.2009.11.011.
- [19] PAUWELS, P., D. VAN DEURSEN, R. VERSTRAETEN, J. DE ROO, R. DE MEYER, R. VAN DE WALLE a J. VAN CAMPENHOUT. 2011. A semantic rule checking environment for building performance checking. *Automation in Construction*, roč. 20, č. 5, s. 506–518. doi 10.1016/j.autcon.2010.11.017.
- [20] SAA, Ruben, Alberto GARCIA, Carlos GOMEZ, Jesus CARRETERO a Felix GARCIA-CARBALLEIRA. 2012. An ontology-driven decision support system for high-performance and cost-optimized design of complex railway portal frames. *Expert Systems with Applications*, roč. 39, č. 10, s. 8784–8792. doi 10.1016/j.eswa.2012.02.002.
- [21] SKLENÁK, Vilém. 2004. Metadata , sémantika a sémantický web. In: *Inforum 2004*. Praha: Albertina icome, s. 3–14
- [22] VERSTICHEL, Stijn, Femke ONGENAE, Leanneke LOEVE, Frederik VERMEULEN, Pieter DINGS, Bart DHOEDT, Tom DHAENE a Filip De TURCK. 2011. Efficient data integration in the railway domain through an ontology-based methodology. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, roč. 19, č. 4, s. 617–643. doi 10.1016/j.trc.2010.10.003.
- [23] WEI, Gang a Zhiping ZHOU. 2010. Design of building component library based on IFC and PLIB standard. 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, s. V4–529–V4–534. doi 10.1109/ICCET.2010.5485426.
- [24] ZHANG, Le a Raja R A ISSA. 2011. Development of IFC-based Construction Industry Ontology for Information Retrieval from IFC Models. In: *Proceedings of the 2011 eg-ice Workshop*. Twente: s.n., . ISBN 978-90-365-3216-7.
- [25] ZHONG, B.T., L.Y. DING, H.B. LUO, Y. ZHOU, Y.Z. HU a H.M. HU. 2012. Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking. *Automation in Construction*, roč. 28, s. 58–70. doi 10.1016/j.autcon.2012.06.006.

Vojtěch Kusý, Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering