

VYUŽITÍ METODY BIM PRO STUDIE LCA A DIGITALIZACI STAVEBNICTVÍ – REŠERŠE

USE OF THE BIM METHOD FOR A LCA STUDIES AND DIGITALIZATION OF CONSTRUCTION INDUSTRY - A REVIEW

Michal Brandtner^{*1}, Adam Boháček¹

*159111@vutbr.cz

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Česká republika

Abstrakt

Stavebnictví je z hlediska produkce či vytváření pracovních míst strategicky důležité odvětví pro hospodářství České republiky. Jde nicméně o jedno z nejméně digitalizovaných odvětví. Jedním z prostředků pro digitalizaci stavebnictví je zavedení metody BIM (Building Information Management). Dopady na životní prostředí staveb i využívání lidských zdrojů jsou tématem, o něhož v poslední době v odborné i laické společnosti značně vzrůstá zájem. Existuje tedy jasná společenská potřebnost propojení metody posuzování životního cyklu (LCA) a BIM. Posuzování životního cyklu je metoda posuzování životního cyklu produktu nebo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí. Článek přispívá do souboru znalostí novým souhrnem teoretických poznatků, předpokladů a závěrů o konexi LCA a BIM.

Klíčová slova

Digitalizace stavebnictví, BIM, metoda LCA, životní prostředí

Abstract

The construction industry is a strategically important sector for the Czech economy in terms of production or job creation. However, it is one of the least digital industries. One of the means of digitizing the construction industry is the introduction of the BIM method. Impacts on the environment of buildings and the use of human resources are a topic that has recently increased in interest in professional and lay society. There is a clear social need for a connection between the LCA and BIM methods. Life Cycle Assessment is a method of assessing the life cycle of a product or service in terms of its environmental impact. The article contributes to the body of the theoretical knowledge and assumptions with a new summary of findings and conclusions about the LCA and BIM connections.

Key words

Digitalization of construction industry, BIM, the LCA methodology, environment

1 ÚVOD

Stavebnictví je z hlediska produkce či vytváření pracovních míst strategicky důležité odvětví pro hospodářství České republiky. Jde nicméně o jedno z nejméně digitalizovaných odvětví. Je tedy zřejmý celospolečenský požadavek pro digitalizaci stavebnictví. Jedním z prostředků pro digitalizaci stavebnictví je zavedení metody BIM. Mnohem vyšší efektivita při využívání metody BIM je předpokládána v rámci zavedení koncepce digitalizace celého stavebnictví (Stavebnictví 4.0) pro Českou republiku. BIM, při vhodném užití, může být jedním z efektivních nástrojů pro naplnění principů udržitelné výstavby v celém životním cyklu stavby. A to nejen ve fázi koncepčního návrhu a při výstavbě, ale i při provozování a dožití stavby. BIM kombinuje využití počítačového parametrického 3D modelování s informacemi o stavbách za účelem zlepšení spolupráce, koordinace a procesu rozhodování při výstavbě ale i během provozu stavby [1].

Dopady na životní prostředí staveb i využívání lidských zdrojů jsou tématem, o něhož v poslední době v odborné i laické společnosti značně vzrůstá zájem. Existuje tedy jasná společenská potřebnost [2] propojení metody LCA a BIM. Problematika posuzování environmentálních aspektů staveb, výrobků a materiálů v nich obsažených je aktuálním tématem v souvislosti s požadavkem na udržitelnou výstavbu dle Směrnice Evropského

parlamentu a Evropské komise č. 305/2011 [3]. Nový požadavek na stavební výrobky, ale i na celá stavební díla, spočívá v udržitelném využívání přírodních zdrojů pro zajištění šetrnosti budov k životnímu prostředí. Udržitelné využívání přírodních zdrojů souvisí s možnostmi opětovného využití a recyklace jednou nebo vícekrát použitých materiálů pro výstavbu, ale rovněž s recyklací celých staveb či použití materiálů a surovin šetrných k životnímu prostředí již během nové výstavby. Jedním ze způsobů, jak vyhovět požadavkům a jednoznačně prokázat udržitelnost daného stavebního záměru, je metoda posouzení životního cyklu (LCA). Metodou posouzení životního cyklu stavebních výrobků ale i celých stavebních děl lze významně přispět ke snižování emisí skleníkových plynů, což je jeden z hlavních cílů Pařížské dohody (z roku 2017) [2] pro Evropskou Unii a její členské státy, mezi které patří také Česká republika.

Metoda LCA je definována jako analytická metoda, založená na hodnocení environmentálních dopadů na životní prostředí výrobků, služeb či technologií [4]. Posuzování životního cyklu je také metoda využitelná pro prokázání vhodnosti navržených materiálů, konstrukcí nebo celých budov z hlediska životního cyklu a jeho působení na životní prostředí. Kočí [4] popisuje přístup metody LCA k hodnocení environmentálních dopadů na životní prostředí s ohledem na celý životní cyklus produktů, tj. od stádia získávání a výroby prvotních materiálů přes stádium výroby produktů, jejich užívání až po samotné odstranění či opětovné využití produktů v podobě recyklace.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY BIM

Informační management budovy – BIM

BIM neboli informační management staveb je proces vytváření, užití a správy dat o stavbě během celého jejího životního cyklu. Je třeba rozlišit BIM jako model (tzn. určitou formu databáze) a BIM jako proces, který využívá BIM modelu za účelem výměny a sdílení informací, ale také jejich správy. Informační model stavby (BIM model) si je možno představit jako databázi informací, která může zahrnovat kompletní data od úplně prvotního návrhu, přes výstavbu, správu budovy až po jejich demolici včetně ekologické likvidace stavby a uvedení prostoru do původního stavu. Jedná se tedy o veškeré informace využitelné během celého životního cyklu dané stavby. Informační model stavby tedy není pouze samotný 3D model, ale ve své podstatě zahrnuje nejen vlastní informace, ale také pravidla pro zacházení s nimi. BIM kromě geometrické části obsahuje také negeometrické (negrafické) a doplňující informace jednotlivých prvků, ze kterých je 3D model složen. Jedná například o konstrukční, materiálové a užité vlastnosti, které mohou zajistit využití pro vytvořený model skutečného objektu nejenom při navrhování a provádění stavby, ale rovněž i při jejím provozování a udržování. Technickým středem celé metody BIM je společné datové prostředí CDE (z angl. Common Data Environment) zahrnující v sobě všechny informace týkající se nejen samotného 3D modelu a jeho negeometrických dat, ale také i všech dalších dokumentů včetně komunikace mezi účastníky projektu a jejich procesy v jednotlivých fázích životního cyklu stavby [1]. Předávání informací mezi jednotlivými informačními modely staveb je zajištěn dle ČSN EN ISO 29481-1 [5] a ČSN EN ISO 29481-2 [6].

Životní cyklus stavby

Životní cyklus stavby je časové období od vzniku prvotního záměru přes návrh, realizaci, užívání a po samotnou likvidaci stavby. Životní cyklus stavby zahrnuje 4 základní fáze: předinvestiční, investiční, provozní a likvidační.



Obr. 1 Fáze životního cyklu stavby [1].

Zpracovaná data o stavbě předaná dokumentací skutečného provedení stavby jsou v BIM modelu zachována a předurčena k dalšímu používání pro provozní fázi stavby. Provozovatel stavby může z datového modelu využít

informace o všech důležitých součástech stavby včetně jejich konkrétní pozice a parametrů. Data mohou být využita pro provozní fázi (Facility Management – FM) nejen pro optimalizaci provozu, ale také pro plánování udržovacích prací, kontrol a změn dokončených staveb. Data jsou tak zkrátka dostupná pro všechny zúčastněné v aktuální verzi po celý životní cyklus stavby [1].

nD BIM modely

BIM modely kromě geometrie jednotlivých prvků ve formě 3D modelu obsahují rovněž negrafickou část, kterou lze využít k čerpání informací o čase (4D) [7], nákladech (5D) [8], udržitelnosti (6D) [9], provozních a výrobních údajích (7D) [10] atd. [11]. Pak se jedná se o n-dimenzionální tzv. nD BIM modely [12], které lze využít jako nosič informací s možností exportu a importu dat o životním cyklu stavby či materiálu, vycházející z analýzy LCA. Výměna informačních dat mezi nástroji (počítačovými programy), které se využívají pro analýzy metodou LCA a nástroji, pracující s BIM modelem je však stále více či méně manuálním (neautomatizovaným) procesem, který se sestává z několika exportů a importů (zpravidla pomocí tabulkového editoru) s rizikem ztráty těchto informací či kompatibility. Proto se naskýtají hypotézy, zda je daná výsledná informace kompletní a aktuální. Přitom právě výsledky z analýzy LCA by měly být správné a úplné, jelikož na základě těchto dat, uvedených v EPD se pak zhotovitel společně s investorem rozhodují, jaké materiálové portfolio bude zvoleno pro docílení vybrané úrovně certifikace.

Aktivní a pasivní BIM přístup

BIM modely lze dle míry interoperability rozdělit na aktivní a pasivní [13]. Pak je možné hovořit o tzv. aktivním či pasivním BIM přístupu. Pasivní BIM přístup bere v úvahu modely, které neobsahují analytickou část. Informační data z těchto modelů sice mohou být využita pro další výpočty, avšak bez snahy o zpětné obohacení a rozšíření původního BIM modelu novými daty. Naopak aktivní BIM přístup zahrnuje modely, které obsahují aktivní prvky, tedy tzv. analytickou část (formou plug-inů nebo add-onů) nebo je lze využít a pracovat s nimi pomocí jiného softwaru. Cílem je po výpočtech či složitějších optimalizacích data zpětně importovat do BIM modelu, čímž vznikne přidaná hodnota původního BIM modelu a tato data se tak stanou dalším datovým rozměrem BIM modelu. Pro přenos informačních dat z BIM modelu do jiných prostředí byl vyvinut společný datový formát IFC (z angl. Industrial Foundation Classes), který svým otevřeným neplaceným standardem umožňuje volnou implementaci využití modelů BIM do nově vyvíjených softwarů a poskytuje možný standard pro výměnu relevantních dat mezi různými softwarovými aplikacemi.

Datové a informační standardy

Základem digitalizace stavebnictví jsou respektované a dlouhodobě spravované otevřené formáty, které umožňují pomocí strojově čitelných informací sdílet a přenášet data mezi jednotlivými typy softwarových řešení a to bez ohledu na jejich dané poskytovatele. Ve stavebnictví se pro předávání údajů mezi účastníky výstavbového projektu je potřebné ukládat vytvořené informace do formátu, jehož obsah a struktura jsou dokumentovány a dokumentace je dostupná pomocí tzv. otevřeného formátu.

Datový formát IFC

Ve stavebnictví pokrytém metodou BIM je respektovaný otevřený formát IFC dle ČSN EN ISO 16739-1 [14], který je vhodný datový formát pro výměnu informací o stavbách, stavebních výrobcích, materiálech, konstrukcích a souvisejících procesech. Tento standard formátu je již globálně pevně etablován. Pro aplikace je třeba zajistit softwarovou interoperabilitu na základě neutrálních a stabilních otevřených formátů. V současnosti je společný datový formát IFC široce podporován výrobci SW pro navrhování staveb.

IFC je otevřený neutrální standardizovaný datový model s popsáním formátem souborů. Jeho obsahem jsou informace o stavbě, ale i uložená grafická a negrafická data. Aktuální verzi je IFC 4 sloužící především pro popis stavebních prvků a konstrukcí pro pozemní stavby. Současně však IFC umožňuje popis procesů, organizací a osob podílejících se na procesech v celé životní cyklus stavby. Hlavním účelem formátu IFC je především sdílení informací o stavbě během celého životního cyklu. Formát IFC je podstatnou součástí procesů založených na principech informačního modelování staveb a přístupu buildingSMART openBIM.

Formát IFC lze také využít jako možný vstup pro registry s prostorovými daty či je tento formát také vhodný obecně pro publikaci otevřených dat. Formát IFC patří mezi otevřené formáty, které mohou být dále použité i pro zveřejnění otevřených dat [15]. Nová verze formátu IFC (IFC 5) bude rozšířena o další potřeby pro další druhy staveb s možností obecného zápisu souborů STEP21 dle ISO 10303-21 nebo XML.

Standardizace dat

Mají-li BIM modely plnit svoji úlohu jako důležitá součást metody BIM a významný zdroj strukturovaných dat pro další specializované aplikace (např. pro provoz budov), musí být vysoké standardizované. Standardizace zdrojových dat umožňuje programovat jakékoliv rozhraní mezi systémy a následně nabízet funkcionality, které významně zvýší efektivitu a kvalitu práce konkrétních uživatelů specializovaných aplikací. Standardizaci BIM modelů lze rozdělit do dvou oblastí – formát a obsah. Formát IFC obsahuje definice parametrů (vlastností) jednotlivých prvků modelu, které si různé SW již umí mezi sebou předávat. Databáze vlastností stavebních výrobků je základem pro vytvoření databáze stavebních prvků, která bude podkladem pro sestavování 3D modelů a dalších aplikací používaných v rámci metody BIM tak, aby jednotlivé prvky a databáze prvků informačních modelů mohly být tvořeny jednotným způsobem [1].

- Standardizace negrafických informací 3D modelu (SNIM)

Standardizace negrafických informací 3D modelu je soubor informací a standardů, které byly vyvinuty zejména pro projekční fázi s využitím BIM v prostředí České republiky. K jednotlivým prvkům 3D modelu byly přiřazeny parametry (negrafické informace), které jsou dále rozděleny dle požadavků pro jednotlivé stupně projektové dokumentaci v souvislosti s danou fází výstavby. SNIM obsahuje seznam parametrů, které jsou přiřazeny ke konkrétním konstrukcím a třídám stavebních konstrukcí, který jednotlivé typy konstrukcí rozděluje dle technických a parametrických informací. Třídám stavebních konstrukcí byl vytvořen z důvodu snahy o lepší orientaci v projektu za pomoci databázového vyhledávání [16].

- Nově vyvíjený klasifikační systém CCI

Jedná se o mezinárodní klasifikační systém, který je aktuálně stále ve vývoji a do budoucna představuje perspektivní řešení pro kategorizaci a popis staveb [17]. Tento klasifikační systém je vhodný především pro digitální zpracování. Stavebnictví zahrnuje nepřehledné množství výměny informací mezi dlouhou řadou subjektů, přičemž každý z nich má jiné informační požadavky v různých fázích životního cyklu stavby. Na možnosti předání kompletních a relevantních informací ve správném čase závisí úspěšnost celého projektu. České stavebnictví nemá respektovaný jednotný klasifikační systém ani neexistuje společný „jazyk“ mezi jednotlivými účastníky výstavbového procesu. Klasifikační systém CCI nabízí obecný společný „jazyk“ vyhovující všem fázím a rolím účastníků během celého životního cyklu stavby. CCI nabízí řešení pro klasifikaci celých staveb ale i pro detailnější části informačního modelu staveb. K přijetí nové klasifikace je nutné jednoznačně identifikovat informace pro strojové zpracování dat s nejvyšší možnou mírou automatizace s využitím systému fazetové klasifikace. Řešení spočívá v klasifikaci v podobě dílčích faset pro vybudované prostory, technické systémy, konstrukční systémy a jednotlivé detailní elementy stavby. Tyto informace tvoří provázaný systém umožňující zpřehlednění a jednoznačné rozřazení informací o stavbě pro následnou možnost využití nejrůznějšími softwarovými nástroji.

Předmětem informačního modelování staveb je výměna všech druhů informací v průběhu projektu mezi jeho účastníky a používanými aplikacemi. Pro úspěšnost výměny dat v průběhu projektu je nutno mezi jednotlivými projekty vyžadovat ucelený a konzistentní způsob ke klasifikaci stavebních objektů. Vyměňované druhy informací zahrnují geometrická data, data o funkčnosti, technická data a data o nákladech a údržbě se zaměřením na časovou osu projektu probíhající od záměru po samotnou likvidaci objektu. Základní myšlenka třídění informací v CCI je specifikována uživatelem, který jednotlivé elementy zařadí dle jejich účelu využití či dle jejich způsobu užití. Dle klasifikačního systému CCI mohou být rovněž tříděny informace o projektu, které povedou ke snadnějšímu určení parametrů a konkrétní specifikaci nutné pro výpočet studií LCA. Výhodou takto rozřazených informací může být jejich snadná identifikace pro strojové zpracování dat i jejich snadné využití pro tvorbu nejrůznějších automatizovaných softwarů. Díky nově zavedenému společnému „jazyku“ pro všechny účastníky celého životního cyklu stavby bude možné využít výsledky vypočtených studií LCA ve všech fázích projektu včetně fáze užívání nově vybudovaného objektu.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

Rešerše relevantních zdrojů

Při provádění studií LCA ve stavebnictví je nutno shromáždit určité množství dat o budově. K tomuto účelu je možné za určitých podmínek využít informační model budovy (BIM), který obsahuje kromě geometrické části rovněž informační část. V grafické a informační části BIM modelu stavebního díla je možné jednoznačně definovat parametry pro jednotlivé entity modelu budovy a tyto parametry poté využít pro hodnocení LCA. Stavební projekty využívající BIM jsou v současnosti v mnoha zemích střední Evropy považovány stále ještě za pilotní projekty a jejich zpětná vazba o výhodách BIM se tedy stále analyzuje.

Propojením metody LCA s možností využití datové struktury BIM modelu se již zabývalo mnoho autorů. Antón [18] v závěru článku představila dva přístupy integrace mezi LCA a BIM. Jeden z nich je posouzení celého životního cyklu konstrukce a druhý přístup je materiálově orientovaný.

Autoři v dalším článku [19] hodnotí nejnovější studie, které jsou zaměřeny na LCA, které je založené na BIM. Zároveň se soustředí na to, jak by BIM mohlo přispět ke zjednodušení zadávání dat, k optimalizaci výstupu dat a výsledků během aplikace LCA v konkrétních budovách.

Problematickou BIM se zabýval také Jarský a kol. [20] v publikaci věnované přípravě a realizaci staveb. V publikaci je zmínka o možnosti využití BIM modelu pro demonstraci celého životního cyklu budovy včetně procesu výstavby a provozu staveb. Téma propojení externích dat s BIM modely za předpokladu přidání dalšího datového rozměru k BIM modelu je popsáno v kapitole věnující se nD BIM modelům.

Posuzováním životního cyklu budov v souvislosti s využitím BIM, analýzou předchozích přístupů a shrnutím základních informací o této problematice se věnoval článek autora M. Brandtnera [21]. Tento článek navazuje na shrnuté poznatky a závěry z tohoto příspěvku.

Další článek [22] zabývající se hodnocením životního cyklu (LCA) a nákladů životního cyklu (LCC) pomocí metody BIM představuje kritické zhodnocení a přezkoumání vhodných způsobů integrace LCA a LCC pomocí BIM na základě již dosud prezentovaných recenzovaných článků. Článek představuje možnost vývoje čtyřstupňového metodického rámce pro hodnocení LCA a LCC pomocí BIM. Metodický rámec zahrnuje: 1) Definování systémové hranice LCA a LCC, 2) Definování základních parametrů a analýzy zdrojů, 3) Výpočet dopadů na životní prostředí a výsledných nákladů a 4) Analýza a optimalizace výsledků. Výsledky článku identifikují 3 hlavní přístupy pro možnost hodnocení LCA a LCC s využitím BIM modelu: 1) Využití stávajícího softwaru BIM pro získání množství jednotlivých prvků v modelu a pro získání dalších údajů, 2) Export dat z BIM modelu na externí platformu, 3) Zahrnutí získaných informací do stávajícího BIM modelu.

Integrace analýzy LCA a LCC v prostředí založeném na BIM je předmětem dalšího článku, který publikoval Santos a kol. [23]. Článek v rámci studie zkoumá potenciál BIM jako úložiště pro hodnocení životního cyklu (LCA) a nákladů životního cyklu (LCC) a způsob, jakým by tyto informace měly být použity pro environmentální a ekonomickou analýzu. Autoři se zamýšlejí o potenciálu BIM jako úložiště dat a o jeho kapacitě pro podporu automatického a poloautomatického environmentálního a ekonomického hodnocení. V rámci studie byl navržen koncept BIM-LCA a BIM-LCC s využitím formátu IFC pro integraci a výměnu informací v prostředí založeném na BIM. Bylo zjištěno, že ačkoli nejnovější schémata IFC již uvažují s využitím dat k získání požadovaných informací k provedení komplexních studií LCA, je stále zapotřebí provést ještě značné množství studií LCA a LCC. Práce přispívá k základním znalostem, které jsou nezbytné pro budoucí možnost implementace nástroje pro provedení studií LCA/LCC vývojáři softwarů.

4 ZÁVĚR A DISKUZE

Na základě výše uvedených referencí lze konstatovat, že se mnozí autoři v minulosti již zabývali možnostmi propojení studií LCA s informacemi obsaženými ve 3D modelu, který je součástí prostředí BIM. Autoři ve svých publikacích využívali rozdělení stádií životního cyklu produktů pomocí kategorií dopadů a rovněž zvolenou metodiku pro výpočty studií LCA ověřovali pomocí různých softwarových nástrojů jako jsou Gabi 6, apod.

V neaktuálnějších příspěvcích se rovněž autoři zabývají využitím formátu IFC pro integraci a výměnu informací v prostředí založeném na BIM. Za klíčový považují článek [22] z roku 2021 týkající se rešerše dosud provedeného výzkumu v rámci řešené problematiky. Výsledky článku identifikují 3 hlavní přístupy pro možnost hodnocení LCA a LCC s využitím BIM modelu: 1) Využití stávajícího softwaru BIM pro získání množství jednotlivých prvků v modelu a pro získání dalších údajů, 2) Export dat z BIM modelu na externí platformu, 3) Zahrnutí získaných informací do stávajícího BIM modelu.

Článek dává prostor pro další možný výzkum v oblasti tvorby metodiky datového přenosu mezi nástroji LCA a BIM. V oblasti propojení metodiky LCA a BIM existuje publikační mezera a současná řešení jsou popsána velice obecně a teoreticky. Cílem navazující výzkumné práce je vyvinout praktické a nové řešení, které posune oblast propojení metodiky LCA a BIM z teoretické roviny k praktickému využití.

Poděkování

Článek vznikl za podpory Juniorského specifického výzkumu s registračním číslem FAST-J-21-7288.

Použité zdroje

[1] Koncepce zavádění metody BIM v České republice [online]. [cit. 2021-09-17]. Dostupné z:

- <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [2] Pařížská dohoda [online]. [cit. 2021-09-04]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda?fbclid=IwAR15HtLC6BWjTZbHK-9o_YUBNJp1sCULE3O_lai9a5NewTekiiCvxetMYhc
- [3] REGULATION (EU) No 305/2011 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL: laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. In: Strasbourg: European Council, 2011, ročník 2011, 305/2011.
- [4] KOČÍ, Vladimír. LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN ISBN978-80-260-3504-6.
- [5] ČSN EN ISO 29481-1. Informační modely staveb – Manuál pro předávání informací – Část 1: Metodika a formát. 2018, 48 s.
- [6] ČSN EN ISO 29481-2. Informační modely staveb – Manuál pro předávání informací – Část 2: Rámec pro interakce. 2017, 94 s.
- [7] Liu H, Al-Hussein M a Lu M 2015 BIM-based integrated approach for detailed construction scheduling under resource constraints Automation in Construction 53 29–43
- [8] Lu Q, Won J a Cheng J C P 2016 A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM) International Journal of Project Management 34 3–21
- [9] Wong J K W a Zhou J 2015 Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review Automation in Construction 57 156–65
- [10] Motawa I a Almarshad A 2013 A knowledge-based BIM system for building maintenance Automation in Construction 29 173–82
- [11] Eastman a M. C 2011 BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (John Wiley & Sons Inc.)
- [12] GhaffarianHoseini A, Zhang T, Nwadiogo O, GhaffarianHoseini A, Naismith N, Tookey J a Raahemifar K 2017 Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency Renewable and Sustainable Energy Reviews 72 935–49
- [13] Kim H S, Cho B N, Moon H S, Ju K B a Kang L S 2014 Enhancing interoperability of construction data for managing integrated active BIM features Advanced Materials Research roč 831 s 442–5
- [14] ČSN EN ISO 16739-1. Datový formát Industry Foundation Classes (IFC) pro sdílení dat ve stavebnictví a ve facility managementu – Část 1: Datové schéma. 2020, 8 s.
- [15] BIM Koncepce: PS06 Terminologie a normy: Stanovisko k využití formátu IFC v návaznosti na opatření č. 7 UV č. 682 [online]. [cit. 2021-09-18]. Dostupné z: https://www.koncepcebim.cz/uploads/inq/files/Stanovisko%20k%20vyuziti%20formatu%20IFC_Agentura%20CAS.pdf
- [16] Standardizace negrafických informací 3D modelu [online]. [cit. 2021-09-19]. Dostupné z: <http://www.bimin.cz/2289-aktivity-standardizace-negrafickych-informaci-3d-modelu.aspx>
- [17] Klasifikační systém CCI [online]. [cit. 2021-09-19]. Dostupné z: https://www.koncepcebim.cz/634-klasifikaeni-system-cci?fbclid=IwAR0SvP407GaKz7PcFAbKceGt43pdjfM3M-A-AZ16_IR8A3HOoD8kdFNagdI
- [18] ANTÓN, Laura Álvarez a Joaquín DÍAZ. Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. Procedia Engineering. 2014, 85, 26-32. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.525. ISSN 18777058.
- [19] SOUST-VERDAGUER, Bernardette, Carmen LLATAS a Antonio GARCÍA-MARTÍNEZ. Critical review of bim-based LCA method to buildings. Energy and Buildings. 2017, 136, 110-120. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.009. ISSN 03787788. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816317650>
- [20] JARSKÝ, Čeněk. Technologie staveb II. Druhé přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN ISBN978-80-7204-994-3.
- [21] BRANDTNER, M. Posuzování životního cyklu budov založené na BIM – rešerše. Juniorstav 2020, 22. odborná konference doktorského studia, sborník příspěvků. Brno: ECON publishing, 2020, (1), 5. ISSN 978-80-86433-73-8.
- [22] LU, Kun, Xiaoyan JIANG, Jingyu YU, Vivian W.Y. TAM a Martin SKITMORE. Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling: A critical review. Journal of Cleaner Production. 2021, 285. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.125438
- [23] SANTOS, Rúben, António Aguiar COSTA, José D. SILVESTRE a Lincy PYL. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. Automation in Construction. 2019, 103, 127-149. ISSN 09265805. Dostupné z: doi:10.1016/j.autcon.2019.02.011