



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV GEODÉZIE**

INSTITUTE OF GEODESY

**VYUŽITÍ MRAČNA BODŮ V INFORMAČNÍM  
MODELOVÁNÍ BUDOV**

APPLICATION OF A POINT CLOUD IN BUILDING INFORMATION MODELLING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Silvia Tuhá**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK, Ph.D.**

**BRNO 2020**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3646 Geodézie a kartografie
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
<b>Pracoviště</b>	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Silvia Tuhá
<b>Název</b>	Využití mračna bodů v informačním modelování budov
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Novotná, Helena: Základy BIM I. – Revit Architecture, seznámení s programem, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014

NOVOTNÁ, Helena: Základy BIM II – Revit Architecture pokročilé kapitoly, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015

Bc. Věra Pavlíčková Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy. Brno, 2014. 54 s., 20 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Bc. Veronika Sládková Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy. Brno, 2014. 56 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Bc. Jakub Staufčík Využití laserového skenování v informačním modelování budov. Brno, 2019. 62 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Bc. Jan Haltmar Využití laserového skenování v informačním modelování budov. Brno, 2019. 65 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Manuály a tutoriály programu Autodesk Revit

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce provedte řešerši procesu modelování budovy z mračna bodů (point cloud to BIM workflow). Zároveň provedte řešerši BIM v oblasti objektů kulturního dědictví. Na vybraném objektu otestujte proces modelování z mračna bodů v SW Autodesk Revit. Jednotlivé možnosti zhodnotte v závěru práce. Doporučeným výstupem bude mračno bodů a model publikovaný ve webovém prostředí.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Hlavnou úlohou tejto diplomovej práce je využitie technológie laserového skenovania v oblasti informačného modelovania historických objektov (HBIM). Diplomová práce sa zaoberá nájdením optimálnych pracovných postupov pre vytvorenie informačného modelu v prostredí Autodesk Revit, s ohľadom na historickú hodnotu objektu. Pre účely tejto práce bol vybratý objekt hrobky Fabara. Ďalej sa diplomová práca venuje možnostiam publikácie výsledného modelu.

## **KLÍČOVA SLOVA**

Mračno bodov, Informačné modelovanie historickej budovy, HBIM, Revit, CloudCompare, Potree, Autodesk Viewer

## **ABSTRACT**

The main aim of this master thesis is utilization of the laser scanning technology in the field of information modelling of historical objects (HBIM). The optimal workflow of creating the information model in the Autodesk Revit has been demonstrated. The workflow deals with the historical value of the object. For the purposes of this work, the object of the mausoleum Fabara has been selected. Furthermore, the master thesis focuses on the possibilities of publishing the resulting model.

## **KEYWORDS**

Point cloud, Historical building information modeling, HBIM, Revit, CloudCompare, Potree, Autodesk Viewer

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Silvia Tuhá *Využití mračna bodů v informačním modelování budov*. Brno, 2020. 63 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Využití mračna bodů v informačním modelování budov* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2020

---

Bc. Silvia Tuhá  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití mračna bodů v informačním modelování budov* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

---

Bc. Silvia Tuhá  
autor práce

## **POĎAKOVANIE**

Týmto spôsobom by som chcela poďakovať vedúcemu práce Ing. Tomášovi Volaříkovi, Ph.D. za odborné vedenie, firme 3DScanner za poskytnutie materiálov a zároveň rodine a blízkym za podporu počas celého štúdia.

# Obsah

1. Úvod .....	10
2. Informačné modelovanie budov (BIM) .....	11
2.1. Objekty a rodiny .....	13
2.2. Univerzálny výmenný formát v BIM .....	14
2.3. Levely BIM .....	16
2.4. Level of development (LOD) .....	17
2.5. CAD vs. BIM .....	19
2.6. Činnosti geodeta v BIM .....	20
3. Modelovanie kultúrneho dedičstva (HBIM) .....	21
3.1. Informačné modelovanie historických budov (HBIM) .....	21
3.2. As-built .....	23
3.3. Meračské metódy zberu dát pre as-built .....	23
3.4. Level of knowledge (LOK) .....	25
3.5. Objekt záujmu .....	26
4. Mračno bodov mauzólea .....	28
4.1. Vstupné dáta pre modelovanie HBIM .....	29
4.2. Porovnanie technológií získaných mračien .....	31
4.3. Zobrazenie mračna bodov vo webovom prostredí .....	32
5. Tvorba modelu z mračna bodov v Revit .....	34
5.1. Postup modelovania v Revit .....	34
5.2. Tvorba rodín .....	39
5.3. Tvorba materiálu .....	42
5.4. Umiestnenie do súradníc .....	44
5.5. Výsledok a jeho porovnanie .....	45
5.6. Zobrazenie modelu vo webovom prostredí .....	49
5.7. Renderovanie modelu .....	50
6. Ďalšie možnosti využitia dát a vizualizácie .....	51
6.1. Digital twin (Digitálne dvojča) .....	51
6.2. Interaktívne zobrazenie modelu .....	52
7. Záver .....	56
8. Bibliografia .....	57



9. Zoznam použitých skratiek.....	60
10. Zoznam použitých obrázkov a tabuliek.....	61
11. Zoznam príloh .....	63

# 1. Úvod

Zameranie tejto práce spočíva vo využití mračna bodov pre účely informačného modelovania historickej budovy (HBIM). Každý rok dochádza k znehodnocovaniu a mnohokrát až k zničeniu takýchto stavieb. Nedávne požiare katedrály Notre Dame v Paríži zdôraznili význam digitalizácie pamiatok. Obnova môže po negatívnych udalostiach nastať len za predpokladu existencie stavebnej dokumentácie alebo merania slúžiaceho ako podklad. Dokumentácia však už v mnohých prípadoch je buď poškodená, neaktuálna alebo nepostačujúca. Namierané dáta, mračno bodov, vďaka svojej rýchlosti, presnosti a rozsahu je výborný podklad na modelovanie existujúcich budov (as-built). Avšak nie je jediným vstupom pri tvorbe HBIM modelov. Mimo nich je dôležitá rekognoskácia objektu a kooperácia rôznych oborov. Za účelom získania čo najviac informácií o objekte je spolupráca neodlučiteľnou súčasťou. Tvorba 3D modelov historických budov je dôležitá pre zachovanie kultúrneho dedičstva, propagáciu, a aj prípadnú rekonštrukciu.

Mračno bodov tejto práce bolo získané dvomi technológiami, a to fotogrametriou (s využitím oktokopru) a laserovým skenovaním. Kombinácia technológií bola nutná na zachytenie celého rozsahu objektu. Práca overuje vhodnosť integrácie týchto technológií. Na tvorbu 3D modelu bol zvolený softvér Revit od firmy Autodesk. Hlavným zámerom práce je rekonštrukcia historickej budovy do digitálneho prostredia Revit. A to bez potreby inštalácie nadstavieb do tohto softvéru. Zámerom je nájsť postupy, ktoré vybudujú z mračna bodov HBIM model.

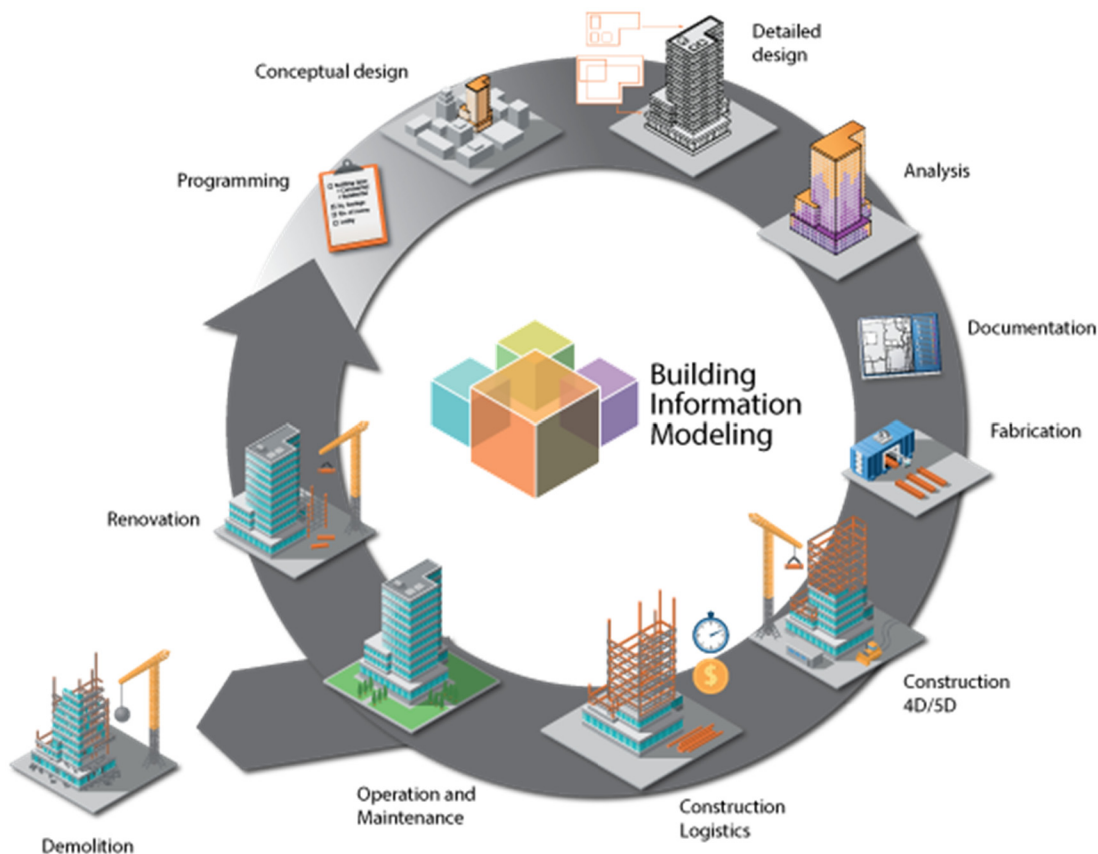
Ďalej sa práca orientuje na možnosti šírenia webovým prostredím ako vstupných dát (mračná bodov), tak aj výstupného 3D modelu. Pozornosť je upriamená na formu zdieľania dát, ktorá bude voľne dostupná, bez nutnosti predávania si objemných dát, inštalácie softvérov a ochrany dát pred ich zneužitím.

Prenesením historických budov do digitálneho prostredia sa rozširuje možnosť ich šírenia a dostupnosti. Poškodenie historických stavieb má často za dôsledok ich uzavretie pre verejnosť. Virtuálne prehliadky zastúpia zážitok prechádzky nimi počas ich zamknutia a taktiež ho sprístupnia ľuďom, ktorí sa na tieto miesta z rôznych dôvodov nedokážu dostať. Týmto spôsobom aj napriek uzávierkam historické objekty ostanú prístupné verejnosti.

## 2. Informačné modelovanie budov (BIM)

Informačné modelovanie budov preložené z anglického “Building Information Modeling”, odkiaľ vzniklo medzinárodne zaužívané akronym BIM. Vhodnejšie je si pod písmenom „B“ predstaviť činnosť budovania, keďže BIM sa zaoberá všetkými objektmi stavebných procesov. Samotná skratka si od svojho vzniku prešla istými zmenami. Písmeno M bolo prekladané ako model, modelovanie alebo manažment. V dnešnej dobe za písmenom M stojí modelovanie, pretože najlepšie charakterizuje celkový proces [1].

Proces BIM tvorí komplexný postup tvorby a spravovania dát stavby počas jej celého životného cyklu. Jej výstupom je digitálny viacrozmerný model stavby. Tvoria ho databázy informácií, z ktorých každý účastník získava údaje na výkon svojej profesie. Kľúčovú úlohu zohráva spolupráca, ktorá je nevyhnutná medzi všetkými zložkami podieľajúcimi sa na projekte.



Obrázok 1: Životný cyklus stavby v BIM [2]

Na všestrannosť využitia procesu BIM v priebehu času a postupu budovania poukazuje obrázok 1. Tento cyklus v sebe zahŕňa fázy: navrhnutia, analýzy, dokumentácie, výstavbu, údržbu, renováciu a aj prípadnú demoláciu.



## 2.1. Objekty a rodiny

BIM objekty sú ekvivalenty reálnych objektov a materiálov umiestnených v digitálnom prostredí. Je možné ich prirovnať ku CAD symbolom a blokom. A však mimo 3D geometrie v sebe BIM objekty nesú aj metadáta (obrázok 3), ktoré definujú o aký objekt ide a aké má vlastnosti [6]. Vďaka vlastnostiam týchto objektov je možné prevádzať analýzy a štúdie napríklad akustiky, osvetlenia, záťaže, vykurovania. BIM objekty rozlišujeme na všeobecné a špecifické.

**Všeobecné** – používané v počítačnom štádiu modelovania. Potrebne pri umiestnení objektu pre jeho vlastnosti. V ďalších krokoch sú nahradené už špecifickými objektami.

**Špecifické** – väčšinou ide o objekty od konkrétneho výrobcu. Všeobecný vzťah je nahradený už konkrétnym dizajnom, ktorý bude aj reálne použitý [6].

Ďalším znakom, v ktorom sa BIM objekty od seba odlišujú, sú rozmery. Ak hovoríme o nejakom nábytku, ten vo väčšine prípadov má pevne daný rozmer. Tento typ objektov je vyberaný aj na základe jeho parametrov. Na druhej strane pri používaní napríklad podláh je plocha pokrytia nastaviteľná užívateľom. Tento rozdiel spočíva v parametrizácii, a teda možnosti prispôbenia jeho rozmerom a podmienkam projektu.



Obrázok 3: Skladba BIM objektu [7]

BIM families (rodiny) predstavujú skupinu objektov so spoločným setom parametrov a podobným grafickým znázornením. Tieto jednotlivé zložky rodín môžu mať rôzne hodnoty parametrov, tie určujú typ rodiny. Príkladom je rodina dvere a typom rodín sú dvere sklenené, drevené, kovové... Rodiny sa delia na:

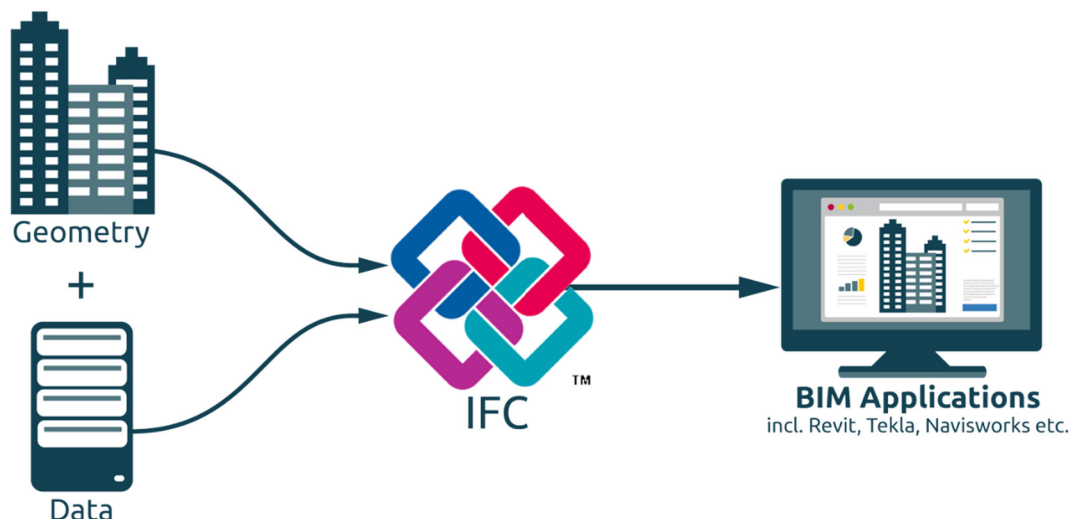
**System (Systémové)** – základné prvky hrubej stavby, ktoré vzniknú priamo na stavenisku (stena, podlaha, strecha). Sú preddefinované v softvéri.

**Loadable (Načítateľné)** – zariadenie budovy, ktoré vyžaduje inštaláciu už existujúcich dielov (okná, dvere, nábytok, technické zariadenie budovy). Modely týchto zložiek je možné stiahnuť napríklad od výrobcov.

**In-place (Na mieste)** – prvky ktoré sú atypické a vzniknú pre jedinečné potreby konkrétneho projektu [8].

## 2.2. Univerzálny výmenný formát v BIM

Industry Foundation Classes (IFC) je súhrn všetkých štandardov a tvorí základ BuildingSMART. Jeho hlavnou úlohou je šírenie informácií bez ohľadu na použité softvéry účastníkov. IFC bol certifikovaný ISO v roku 2013 [9]. Náhľad na princíp IFC je na obrázku 4.



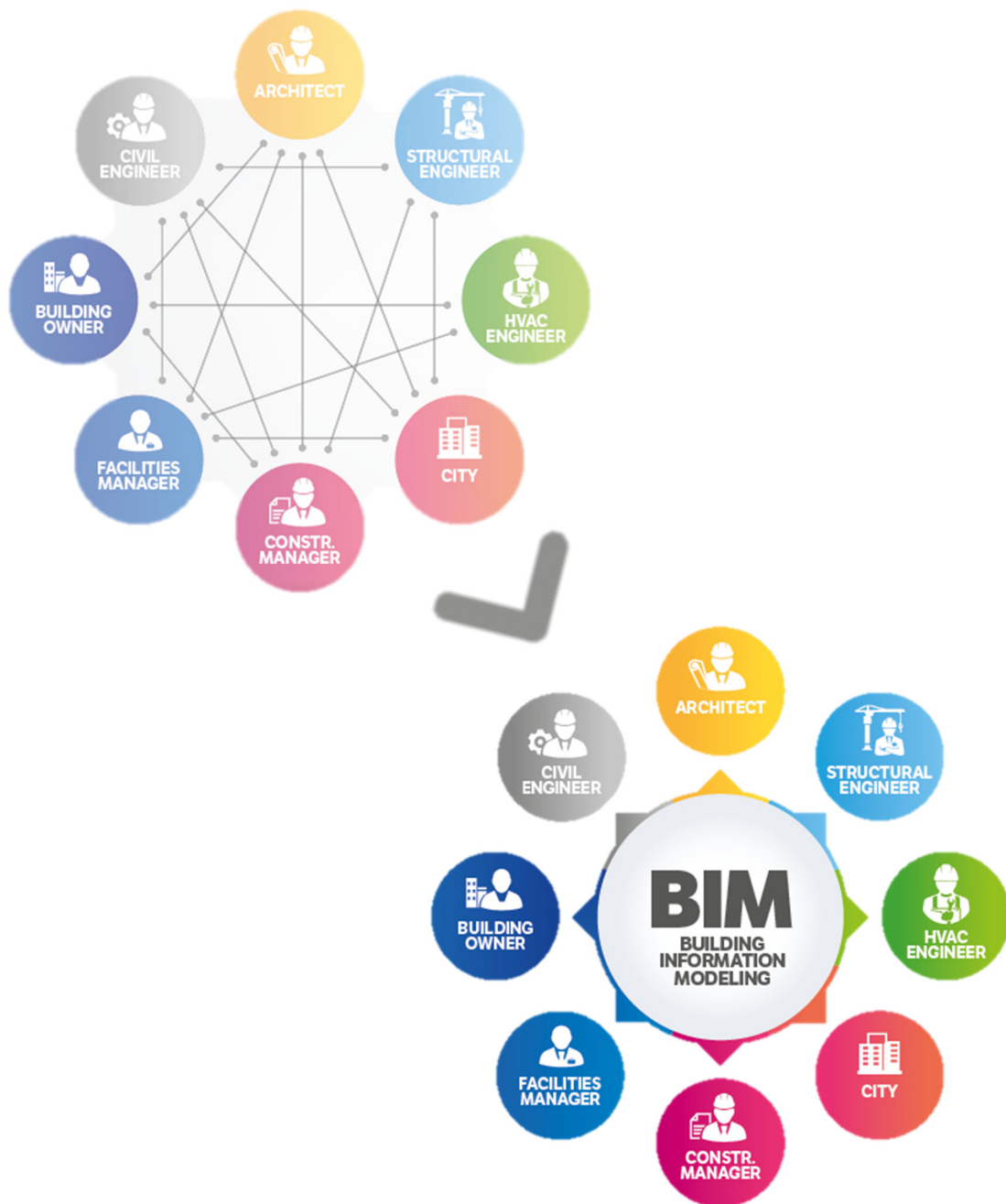
Obrázok 4: IFC štandard [9]

COBie je medzinárodný štandard na výmenu dát. Je úzko spätý s IFC. Štandard IFC obsahuje všetky informácie tak, ako sú do projektu vnesené, COBie je akýsi filter (obrázok 5) na vydolovanie dát. COBie predstavuje „Model View Definition“, teda cestu k vyselektovaniu dát, ktoré sú priamo späté s konkrétnou profesiou. Podieľa sa na štruktúre a formáte dát [10].

	A	B	C	D
1	Name	CreatedBy	CreatedOn	Category
227	Pre-planted vegetation blanket	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_57_91_65 : Pre-planted vegetation blanket
228	Rootball securing assembly	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_72 : Rootball securing frames
229	Stakes	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_84 : Stakes
230	Tree grilles	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_87 : Tree grilles
231	Tree guards	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_88 : Tree guards
232	Corrosion inhibitor chemicals for	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_55_96_15 : Corrosion inhibitor chemicals
233	Scale inhibitor chemicals for op	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_55_96_77 : Scale inhibitor chemicals
234	Dosing pots	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_55_97_07 : Biocide dosing pots ; Pr
235	Gas fired condensing boilers	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_60_08_34 : Gas fired condensing bo

Obrázok 5: COBie [10]

BuildingSMART je spoločnosť s víziou zlepšovania kvality pre oblasti stavebného priemyslu, ako aj pre všetkých zainteresovaných do procesu výstavby. Tvorba štandardov, ktoré sú voľne dostupné pre celý svet je, ako sami tvrdia, ich misiou. Práve vďaka tomu je možný predaj informácií nie len medzi jednotlivými zložkami budovania, ale aj pre spoluprácu na medzinárodnej úrovni. BuildingSMART International je sprievodca digitálnou transformáciou. Účelom je zlepšenie spolupráce, pracovných tokov za pomoci nimi vytvorených štandardov. BuildingSMART stoja za vznikom IFC [11]. Obrázok 6 znázorňuje porovnanie presunu informácií. U klasického spôsobu je získavanie dát od každého oboru zvlášť, ale BIM spôsob túto komunikáciu uľahčuje sprístupnením informácii všetkým zainteresovaným. Je možné nastaviť každému účastníkovi práva a povinnosti v danom projekte.



Obrázok 6: Klasický prístup a BIM prístup [12]

## 2.3. Levely BIM

Vznik týchto úrovní v informačnom modelovaní budov je akousi alternatívou potreby noriem. Predstavujú reguláciu, ktorá stanovuje obsah každej fázy projektu (dokumentu). Výsledkom je optimalizovaný produkt, a taktiež zamedzenie nedorozumeniam vzniknutých pri výmene dát.



Obrázok 7: Levely BIM [13]

Vláda Spojeného kráľovstva (UK), ktorá celkový námet zavádzania BIM chcela podchytiť, definovala určité levely, ktoré slúžia ako podpora pri spolupráci. Úlohou levelov je vytvoriť akúsi hrubú konštrukciu, ktorá vymedzuje určité pravidlá a zásady. Čo sa týka všeobecných „Levels of BIM“, teda Levelov BIM (obrázok 7), existujú mnohé diskusie pojednávajúce o presnom vymedzení týchto pojmov. Univerzálne je možné ich definovať do štyroch levelov.

**Level 0 BIM** – Predstavuje najjednoduchšiu úroveň. Nepozostáva zo žiadnej kolaborácie. Ide len o 2D návrh (elektronický alebo papierový) pre výrobné účely. Vo väčšine prípadov už firmy pokročili na vyššie úrovne.

**Level 1 BIM** – Je tvorený kombináciou 3D modelov pre koncept práce a 2D návrhov pre dokumentáciu a výrobné informácie. Zvyčajne zhotoviteľ spravuje centrálné úložisko informácií pre potreby ich vymieňania. Ide len o čiastočnú spoluprácu disciplín. Skôr je možné hovoriť len o spájaní dát rôznych profesií. V dnešnej dobe zatiaľ najrozšírenejší typ.

**Level 2 BIM** – Predstavuje skoro najvyšší stupeň kooperácie. Kľúčovým v tomto bode sa stáva proces výmeny informácií. Firmy síce stále používajú „svoje“ 3D CAD softvéry, ale tie musia byť zároveň schopné exportovania dát do výmenných formátov, ako je napríklad IFC alebo COBie. Práve tieto formáty majú zabezpečiť kombinovanie dát medzi účastníkmi.

**Level 3 BIM** – Najvyšší stupeň kedy všetci pracujú na jednom modeli tzv. „Open BIM“ mal by zamedziť vzniku akýchkoľvek rizík rozporu informácií [14].

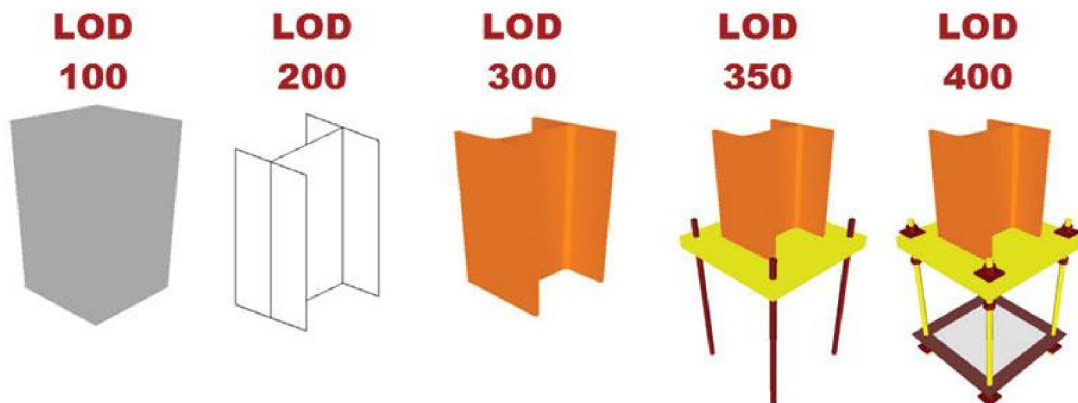


## 2.4. Level of development (LOD)

Úloha „Level of development“ (v preklade úroveň vývoja) spočíva v definovaní obsahu a určitej BIM prvkov. Tieto informácie sú dôležité pri spolupráci odvetví, a tým zlepšujú komunikáciu všetkých účastníkov procesu BIM. Triedy LOD v sebe zahŕňajú dáta o množstve, podrobnosti, kvalite a dôveryhodnosti. Pomáhajú lepšie pochopiť použiteľnosť a obmedzenia konkrétnych objektov. Každý jeden z týchto levelov špecifikuje v sebe údaje potrebné ku každej fáze BIM.

Za vznikom LOD pôvodne stojí spoločnosť Vico Software, ktorá tento systém vyvinula ako systém definovania spoľahlivosti a vhodnosti prvkov modelu. Originálne akronym LOD v sebe skrýval „Level of detail“, teda úroveň podrobnosti. Zmena z pôvodného „detail“ na „development“ nastala pre lepšiu reprezentáciu obsahu týchto tried. V mnohých zdrojoch túto zmenu nezaviedli.

Systém LOD neskôr zovšeobecnila a štandardizovala American Institute of Architects (AIA), združenie architektov Spojených štátov amerických. Tvorený je jednotlivými stupňami (LOD100 až LOD500) podľa úrovne informácie, ktorou daný prvok modelu disponuje (obrázok 8). Na základe týchto stupňov je potrebné k daným prvkom aj pristupovať [15].



Obrázok 8: Znáznorenie rozdielov medzi LOD100 – LOD400 [16]

### Definície jednotlivých úrovní:

**LOD100** – modelovaný prvok reprezentuje symbol alebo všeobecná reprezentácia prvku (informácie len približné)

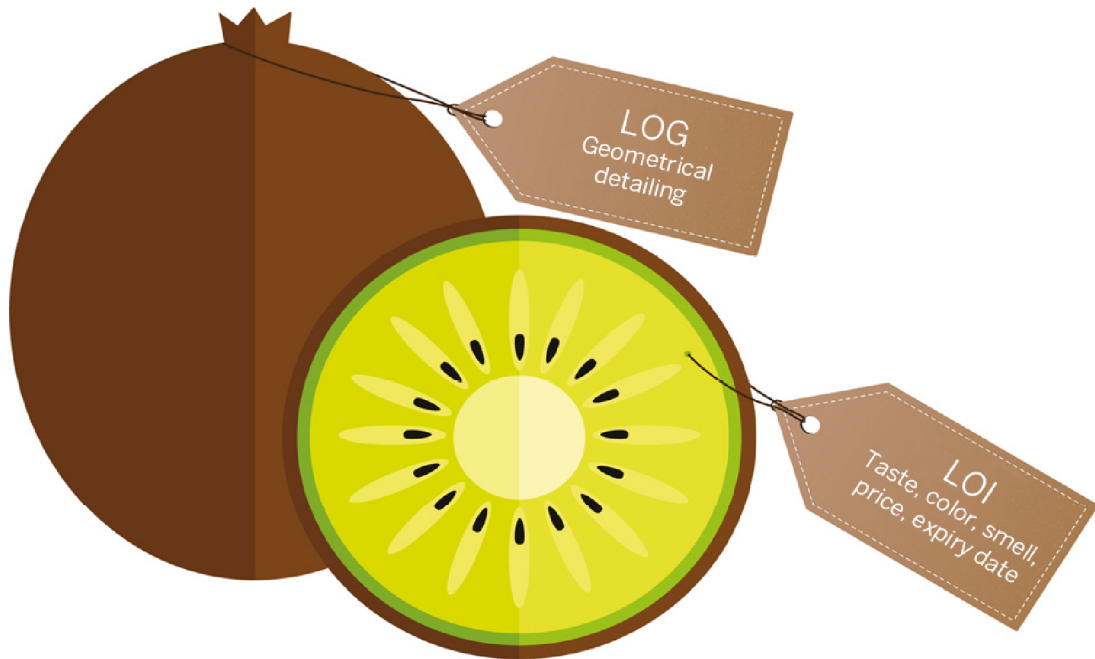
**LOD200** – modelovaný prvok je reprezentovaný ako všeobecný systém (objekt), ktorého veličiny (veľkosť, tvar, umiestnenie a orientácia) sú približné.

**LOD300** – modelovaný prvok je reprezentovaný špecifickým systémom (objektom) s konkrétnymi veličinami.

**LOD350** – modelovaný prvok je navyše od LOD300 znázornený aj so vzťahmi (rozhraniami) s okolitými stavebnými objektami.

**LOD400** – modelovaný prvok je na rozdiel od LOD350 doplnený o detailné informácie potrebné na výrobu, montáž a inštaláciu.

**LOD500** – modelovaný prvok je overený častokrát za pomoci laserového skenovania, netvorí vyššiu úroveň [17].



*Obrázok 9: LOD = LOG + LOI [18]*

„Level of development“ je tvorený z 2 častí (obrázok 9): LOI (Level of information) a LOG (Level of geometry), teda súborom popisných a geometrických informácií. Jednoducho povedané:

**LOI** – prezentuje negrafické informácie, tie hovoria o vlastnostiach objektov v BIM.

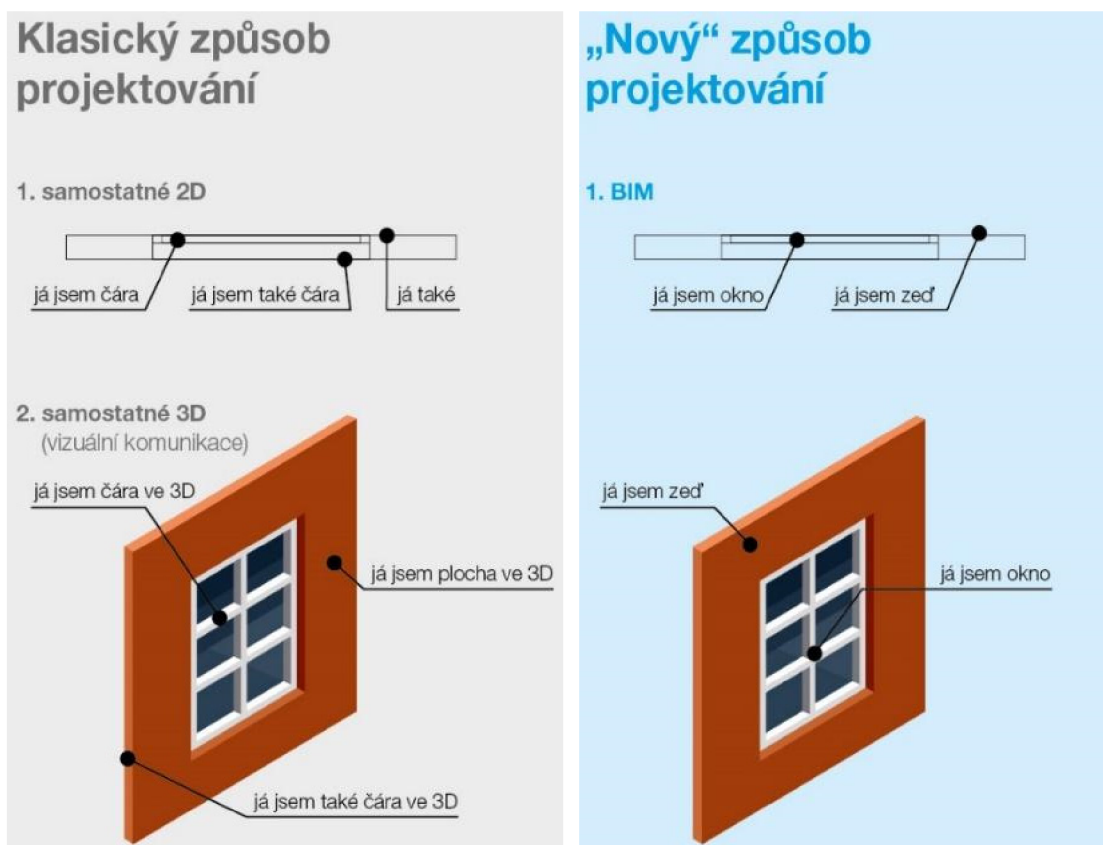
**LOG** – tvorí reprezentáciu skutočného vzhľadu pomocou geometrických tvarov.

## 2.5. CAD vs. BIM

**CAD** (computer aided design) je reprezentácia budovy pomocou línií, plôch, značiek v počítačovom prostredí. Pri vytváraní alebo upravovaní prvkov CAD sa volia/menia atribúty ako štýl, farba, hrúbka. Konkrétny prvok budovy je v softvéri vytvorený za využitia spomenutých atribútov. Napríklad stena je tvorená líniou konkrétnej farby, štýlu a šírky.

**BIM** je reprezentácia budovy pomocou digitálnych reprezentácií reálnych prvkov. Takáto budova je tvorená stenami, strechou, podlahou, nábytkom ... tak, ako aj v reálnom svete. Pri vytváraní/upravovaní jednotlivých prvkov, ako napr. stena, sú v ponuke konkrétne prvky s možnosťou nastavenia ich parametrov. Takže namiesto čiary s atribútmi reprezentujúcej stenu, je využitý prvok konkrétneho typu steny. Ide o reprezentáciu reálneho sveta za použitia reálnych prvkov. Tieto prvky je možné navrhnuť alebo vyberať z tzv. knižníc.

Ďalšia odlišnosť spočíva vo vzťahu medzi jednotlivými časťami budovy. Na rozdiel od CAD-u v BIM sú prvky typu okná a dvere poprepájané so stenami. Akonáhle je zmenené umiestnenie steny, zmení sa aj poloha okien a dverí na nej umiestnených. V CAD systéme je potrebné označiť všetky prvky určené na premiestnenie alebo ich pred zmenou zlúčiť do celku. BIM netreba považovať za konkurenta pre CAD, ale skôr ide o jeho nadstavbu a ďalší vývojový stupeň v staviteľstve. Rozdiel CAD a BIM je znázornený na obrázku 9 [19].



Obrázok 9: Rozdiel medzi CAD a BIM [19]

## 2.6. Činnosti geodeta v BIM

Už bolo spomenuté, že proces BIM ako taký zahŕňa spoluprácu rôznych odvetví stavebníctva. Geodézia je určite neoddeliteľnou súčasťou výstavby. Pre mnohých je ale otázka, aké sú jej hranice využitia v informačnom modelovaní budov.

### **Pred výstavbou:**

Klasická úloha geodetov ako je zameranie, vytyčovanie bodov alebo napojenie na existujúci stav zostáva naďalej nenahraditeľnou činnosťou vo výstavbe. Využitie geodetov je možné v oblastiach tvorby digitálneho modelu terénu (DMT) pred samotnou výstavbou, napríklad na plánovanie výkopových prác. Takýto model je určite vhodný aj na využitie pre „Mixed reality“, ktorá pozostáva z reálneho okolia a vymodelovaného dizajnu stavby. Tým uľahčuje predstavu o umiestnení projektu do skutočného prostredia.

### **Počas výstavby:**

Počas celého procesu je viac než vhodné výstavbu a inštalácie nových prvkov zaznamenávať, najvhodnejšie metódou laserového skenovania. Výsledky sú porovnávané s projektovou dokumentáciou a pri detekcii rozdielov sa situácia rieši. Nasledujúce kroky sa prispôbia tak, aby nedošlo k zbytočnému plytvaniu časom, financiami či vzniku nebezpečenstva.

### **Po ukončení výstavby:**

Geodetické práce sú potrebné aj po samotnom ukončení stavebných prác k zameraniu skutočného prevedenia stavby, a teda uloženia dokumentácie skutočného prevedenia stavby (DSPS) tak, aby naozaj zodpovedala realite. Samotné modely budov je ďalej možno využiť počas rekonštrukcií a v prípade priemyselných hál na umiestňovanie veľkých prefabrikovaných objektov [4].

### 3. Modelovanie kultúrneho dedičstva (HBIM)

Kultúrne dedičstvo, či už hmotné alebo nehmotné, je našou dôležitou súčasťou. Zachycuje výsledky tvorby ľudí každej doby až po súčasnosť. Nesie v sebe nevyčísliteľnú a nenahraditeľnú hodnotu. Práve preto je jeho zachovanie dôležité. Vhodným prostriedkom na ich zvečnenie v počítačovom prostredí je modelovanie. Hotové modely slúžia na zakonzervovanie, rekonštrukčné účely a propagáciu.

#### 3.1. Informačné modelovanie historických budov (HBIM)

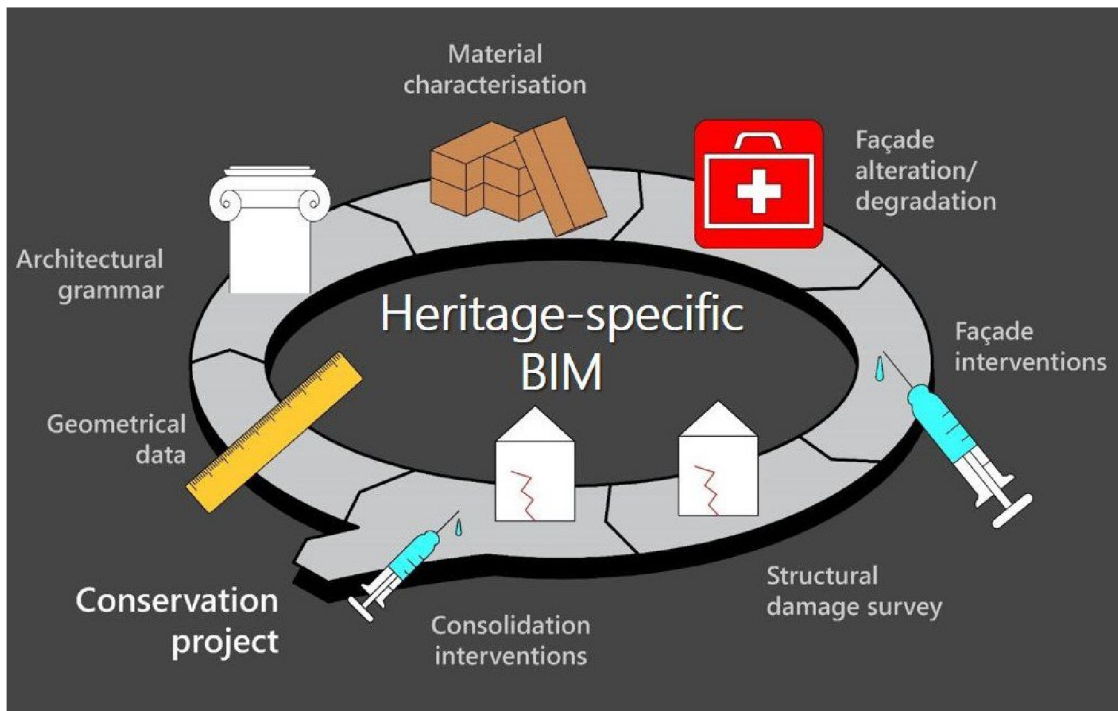
Z Anglického Heritage alebo Historic building information modeling (HBIM) je termín nesúci v sebe proces modelovania historických budov. Téma BIM je pomerne mladou disciplínou a pre niektoré štáty je jej zaradenie do stavebného priemyslu stále len v začiatkoch. HBIM je ešte väčšou neznámou. Prvotné zavedenie tejto myšlienky pochádza z roku 2009. Autorom vedeckého článku, v ktorom bol pojem zavedený, je profesor Murphy z Dublinského inštitútu technológie [20]. Stavby spadajúce do záujmu HBIM sú od pamätníkov až po obydla 50. rokov minulého storočia. V podstate ide o definíciu krokov s cieľom zabezpečenia reprezentatívneho modelu skutočnosti. Na týchto 3D modeloch je možné simulovať rôzne analýzy a zabezpečiť správu objektu [21]. Tak ako BIM aj v HBIM je neodlučiteľná spolupráca expertov rôznych odvetví, tie sa od klasického BIM líšia. Ide o profesie ako sú historici, architekti a rôzni odborníci na túto oblasť.



*Obrázok 10: Porovnanie historickej a modernej budovy, Brno [vlastný]*

Rozdielna koncepcia HBIM je spôsobená zmenou výzoru budov v priebehu času (obrázok 10). V dnešnej dobe budovy charakterizujú jednoduché geometrické tvary,

ako je kocka, kváder a vo väčšine prípadov absencia kriviek. Naopak v minulosti bola fasáda komplikovanejšia a bohatšia na objekty na nej. Zložité fasády z minulosti zdobia postavy, kvety, piliere či zaoblenia. Aj keď existuje určitá spojitosť budov jednotlivých slohov a kultúr, každá budova je unikátna a o to náročnejšia je jej modelácia.



Obrázok 11: HBIM životný cyklus [22]

Postup práce u historických budov je rozdielny od klasického BIM. Na obrázku 11 sú znázornené kroky potrebné k vzniku HBIM objektu a k zachovaniu budov kultúrneho dedičstva. Ako prvé je nutné objekt zamerať. Ďalej je potrebná znalosť použitej architektúry (slohu) a charakteristika materiálu. Toto sú potrebné informácie pre vznik HBIM modelu. Navyše je potrebná znalosť o zmenách, zásahoch a degradácií fasády, ku ktorým v priebehu času došlo. Na ochranu historických budov je nevyhnutnou súčasťou vykonať prieskum poškodenia stavby a následne ich opraviť. Výsledkom týchto procesov je zakonzervovanie stavby.

Pri klasickom BIM je možné z webu stiahnuť knižnice objektov, ktoré stačí umiestniť do projektu. U HBIM sú takéto knižnice menej početné. Modelujúci je častokrát odkázaný na historické dokumentácie stavebných procesov minulých storočí či 3D dáta objektu z terénu.

Jedným z príkladov využitia HBIM v praxi je Oriental Club v Londýne. Táto budova v minulosti predstavovala miesto, kde sa stretávali urodzení páni. HBIM predstavoval jediný spôsob, ako plne porozumieť komplexnosti tejto budovy a zároveň naplánovať jej náročné zakonzervovanie [23].

## 3.2. As-built

As-built (ako vybudované) modely hodnoverne reprezentujú budovy tak, ako boli v skutočnosti skonštruované. Druh dokumentácia as-built je zhotovovaný až po ukončení procesu výstavby alebo konkrétnej fázy výstavby [24].

Hlavné využitie as-built postupov spočíva v zachytení akýchkoľvek zmien, ktoré vznikli počas procesu budovania. Takto zachytené zmeny umožňujú aktualizovať dokumentáciu stavieb, aby reflektovali skutočnosti. Následne takto vzniknutú výkresovú dokumentáciu je vhodné použiť ako dokumentáciu skutočného prevedenia stavby (DSPS), ktorej rozsahom a obsahom sa zaoberá Vyhláška č. 499/2006 Sb.

Okrem kontroly je as-built modelovanie využívané na tvorbu 3D modelov už existujúcich budov. Môže sa hovoriť o reverznom BIM modelovaní. Pri klasickom BIM sa postupuje z projektu k realite pri as-built opačne, z reality k projektu.

Pri historických budovách, kde dokumentácia už častokrát absentuje, je as-built jediný možný spôsob, ako tieto budovy zaznamenať v digitálnom svete.

## 3.3. Meračské metódy zberu dát pre as-built

Výber metódy merania, akým spôsobom budú dáta zo skutočného sveta zamerané je vždy s ohľadom na účel, rozsah, hospodárnosť... Využitím metódy merania totálnou stanicou, kedy sú vyberané konkrétne body zamerania, je pre zachytenie 3D dát historickej budovy nevhodné. Nehovoriac o fakte, že zachytenie charakteristických črtou týchto budov by bolo časovo veľmi náročné. Preto je potrebné využiť technológie vďaka ktorým sú zamerané veľké počty bodov v relatívne krátkom časovom úseku. Práve takou možnosťou je zbieranie dát a ich spracovanie do mračna bodov. Meračské metódy na zber dát pre túto prácu pozostávali z laserového skenovania a fotogrametrie. Výsledkom oboch technológií je mračno bodov.

### **Pozemné laserové skenovanie:**

**Princíp** – Základom tejto technológie je schopnosť prístroja vyslať laserový lúč, ktorý po odraze od predmetu, nachádzajúcim sa v jeho dráhe, je prístrojom prijatý späť. Táto doba potrebná na prekonanie vzdialenosti (prístroj – predmet – prístroj) je zaznamenaná. Získa sa z informácií o čase, kedy bol lúč vyslaný a kedy sa daný lúč vrátil. Vďaka tomu je možné zistiť vzájomné, priestorové umiestnenie predmetov.

**Rekognoskácia a zber dát** – Vhodné umiestnenie skeneru je realizovateľné až po dostatočnom preskúmaní objektu, terénu, nášho záujmu. Skenovací prístroj zaznamená priestorové informácie len o objektoch, ktoré vidí aj naše ľudské oko, to znamená, že v prípade akejkoľvek prekážky je nutné v ďalšom položení skeneru dbať na to, aby sme videli časti, ktoré sme v tom predchádzajúcom položení nevideli.

**Tvorba mračna** – Jednotlivé mračná sú následne poskladané do jedného celkového mračna. Na prepojenie jednotlivých skenov sú využívané rôzne spôsoby. Jedným z nich sú značky rovnomerne rozmiestnené po celom objekte. Na základe týchto bodov na skene je možné zlúčenie mračien. Ďalším variantom je využitie referenčných plôch. Tie fungujú obdobne ako značky, avšak v teréne sa väčšinou prirodzene nachádzajú. Nie všetky softvéry však túto možnosť ponúkajú. Napredujúca automatizácia zasiahla aj skenovanie. Na trhu už existujú skenery, ktoré ponúkajú možnosť spájať jednotlivé skeny automaticky už v teréne pomocou vstavanej inercie.

### **Fotogrametria:**

**Princíp** – Ide o ďalšiu možnosť ako získať mračno bodov. V tejto metóde sú ale namiesto zachytávania odrazených lúčov zaznamenávané fotografie. Dnes už najmä digitálne.

**Rekognoskácia a zber dát** – Aj pri tejto metóde je plánovanie odkiaľ sa budú dáta zbierať kľúčové. Podobne ako je tomu pri skenovaní, aj tu je nutné naplánovať rozmiestnenie snímok, aby bolo zabezpečené zachytenie celého objektu a zároveň dostatočné prekrytie medzi jednotlivými snímkami.

**Tvorba mračna** – Po zozbieraní fotografií je potrebné jednotlivé snímky medzi sebou pospájať. Slúžia nám na to opäť nami umiestnené terčičky v teréne alebo objekty, ktoré sa v ňom prirodzene nachádzajú. Pri dostatočných prekrytiach je tento krok realizovateľný automaticky. Z takto na seba naviazaných snímkou je tvorené mračno bodov.

### **Umiestnenie do súradnicového systému:**

Ďalším dôležitým krokom, využívaným ako pri laserovom skenovaní, tak aj pri fotogrametrii, je umiestnenie mračna bodov do súradnicového systému. Tento krok závisí od potrieb projektu, niekedy prevod do konkrétneho súradnicového systému nie je vyžadovaný.

Odhliadnuc od zvolenej technológie je princíp umiestňovania do systému veľmi podobný. Podstata spočíva v umiestnení značiek alebo terčičkov (vlícovacích bodov), ktorým sú geodetickými metódami určené súradnice. V softvérovom vybavení sú tieto informácie o súradniciach vnesené do projektu a následne je mračno transformované do zvoleného súradnicového systému. Už v dnešnej dobe sú dostupné skenery, ktoré obsahujú v sebe GNSS, a teda umiestnenie do súradníc je už priamo v prístroji počas skenovania.



### 3.4. Level of knowledge (LOK)

V klasickom BIM sú triedy LOD ukazovateľom o množstve informácií a ich kvalite. Pri HBIM nie je použitie týchto levelov vhodné. Budovy radené do HBIM a aj všetky modely zhotovené ako as-built už reálne existujú v teréne. Nie je preto možné klasifikovať takéto objekty do tried podľa fázy výstavby alebo vývoja projektu. Z tohto dôvodu je vhodnejšie u historických budov hovoriť o miere vedomostí, „level of knowledge“, teda o množstve poznaných informácií.

#### **Definície jednotlivých úrovní:**

**LOK100** – identifikácia kultúrneho dedičstva a jeho charakteristika. Grafické znázornenie je v tomto bode len symbolické. Patrí sem aj mračno bodov.

**LOK200** – grafická charakterizácia a informácie týkajúce sa právnej ochrany majetku. Model musí obsahovať: steny, podlahy, strechy a informácie potrebné na ocenenie tejto historickej budovy.

**LOK300** – presnejšia grafická charakterizácia doplnená o výsledky výskumu archeológie a iných špeciálnych disciplín.

**LOK400** – doplnenie kritérií a postupov použitých na konzerváciu a všetky informácie o zásahu do objektu.

**LOK500** – HBIM model využívaný na hospodárne (účinné) riadenie, registrujúci všetky plánované, budúce zákroky [25].

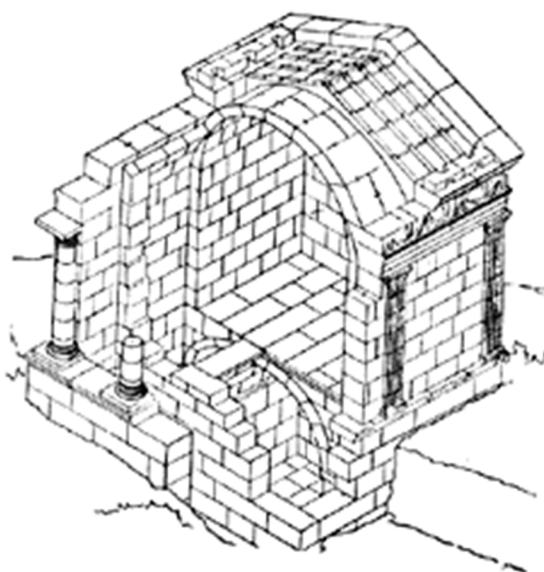
Pri klasickom BIM sa LOD skladalo z 2 častí, a síce geometrickej a informačnej. U LOK je tomu tak tiež. Vymodelované prvky sú radené nie len podľa detailnosti ich geometrie ale aj informácií napríklad o ich použitom materiáli, pôvode či roku umiestnenia na historické stavby. Zároveň vzniká aj prehľad o častiach, ktoré si už prešli rekonštrukciou a sú teda mladšie než pôvodné časti.

### 3.5. Objekt záujmu

Pri stavbách historického charakteru sú často kladené požiadavky na vydanie povolenia pre meračské práce. V rámci spolupráce s firmou 3DScanner so sídlom v Španielsku, ktorá sa zaoberá aj historickou architektúrou, bola zvolená stavba mauzólea „Mausoleum de Fabara. Budova bola predmetom záujmu firmy a zároveň mala schválené vykonávanie meračských prác.

#### **Mausoleum de Fabara:**

Táto hrobka patriaca Lucio Emilio Lupo sa nachádza v severnom Španielsku medzi Zaragozou a Barcelonou. Lupo pravdepodobne patril medzi bohaté rodiny tejto oblasti, keďže si jeho rodina mohla dovoliť takúto veľkú hrobku. 1. a 2. storočie je v tomto regióne spojené s obdobím rozmachu a vzniku bohatstva založeného najmä na poľnohospodárstve. Vďaka svojmu rozsiahlemu hospodárstvu si mohli rodiny dovoliť zaplatiť za hrobky. V okolí je vysoká hustota výskytu románskych pozostatkov, podobné hrobky boli nájdené aj v Caspe a Chiprana. Výstavba pohrebnej pamiatky za dedinou Fabara sa datuje na približne 3. storočie nášho letopočtu a je považovaná za najlepšie zachovalú stavbu románskej architektúry. Obrázok 12 znázorňuje náčrt tejto stavby. V roku 1874 bola nahlásená Španielskej kráľovskej akadémii histórie a v roku 1931 ju vyhlásili za BIC („Bien de Interés Cultural“ = dobro kultúrneho záujmu). BIC je v podstate akýsi register kultúrneho dedičstva, či už hmotného alebo nehmotného. Legislatíva takto označené objekty chráni a stará sa o ich zachovanie. Pred tým, než sa budova stala chránenou, bola využívaná ako sklad a útočisko farmárov, bezdomovcov a banditov. Následkom toho došlo k poškodeniu niektorých častí budovy. Našťastie v 19. storočí kňaz Evaristo Cólera dal opraviť jeden zo stĺpov, ktorý bol vo veľmi zlom stave [26].



*Obrázok 12: Náčrt zhotovený architektom Puig i Caldafalch v roku 1934 [27]*

Mauzóleum má obdĺžnikový pôdorys o rozmeroch 7,40 x 6,06 metrov. Na stavbu bol použitý miestny pieskovec z neďalekého lomu. Veľké narezané kvádre poukladané v radoch sú previazané železnými klipmi bez použitia malty. Pred vstupom sa nachádzajú 4 stĺpy v toskánskom slohu. Entablatura je v iónskom štýle a pôvodne ju zdobili bronzové písmená (obrázok 13). Ostatná steny majú fasádu zdobenú pilastrami a reliéfmi s girlandami, kvetmi, stĺpmi a orlami. Každá strana budovy má tento reliéf iný. Prvotne bola strecha šikmá, no potom zmizla, dnes je stavba bez nej. V podzemnej časti sa nachádzal hrob. Všetko vybavenie mauzólea aj s hrobom bolo premiestnené vedľa do novej stavby [26]. Súčasný vzhľad budovy zobrazuje obrázok 14.



Obrázok 13: Pôvodný vzhľad budovy aj s písmenami [27]

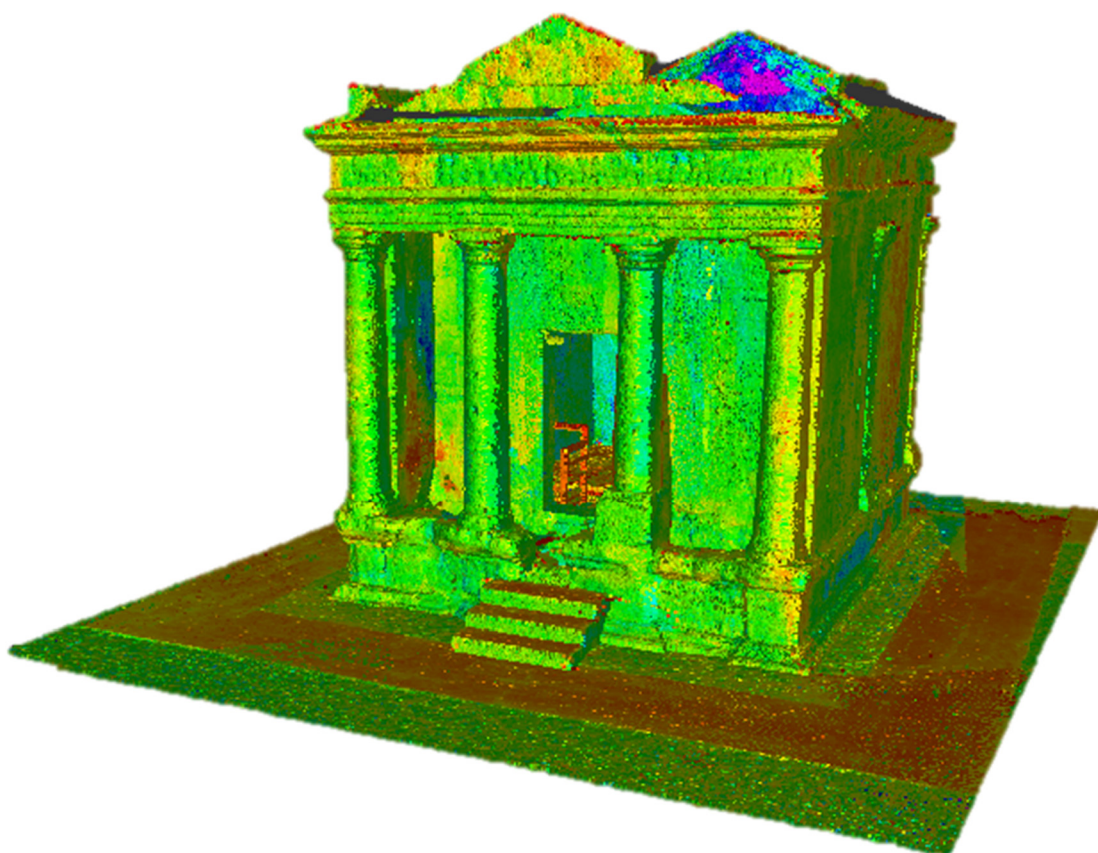


Obrázok 14: Súčasný vzhľad Mauzólea [26]

## 4. Mračno bodov mauzólea

Technicky povedané mračno bodov je databáza bodov v priestore. Jednotlivé body majú informácie o svojej polohe v  $x$ ,  $y$  a  $z$  súradniciach. Tieto body v spojení do mračna reprezentujú celok. Pri použití rôznych technológií a prístrojového vybavenia body v sebe môžu niesť mimo súradníc aj údaje o intenzite odrazu, farbe, teplote.

Na základe charakteristík projektu, jeho rozsahu a požadovanej presnosti je volená metóda zberu dát mračna bodov. Nájdu sa aj projekty, kde je spolupráca rôznych metód súčasne veľmi prospešná. Príkladom takejto kombinácie je aj táto diplomová práca. Náhľad na vstupné dáta, mračno bodov budovy záujmu je na obrázku 15.



*Obrázok 15: Mračno bodov zobrazené podľa intenzity odrazu*

## 4.1. Vstupné dáta pre modelovanie HBIM

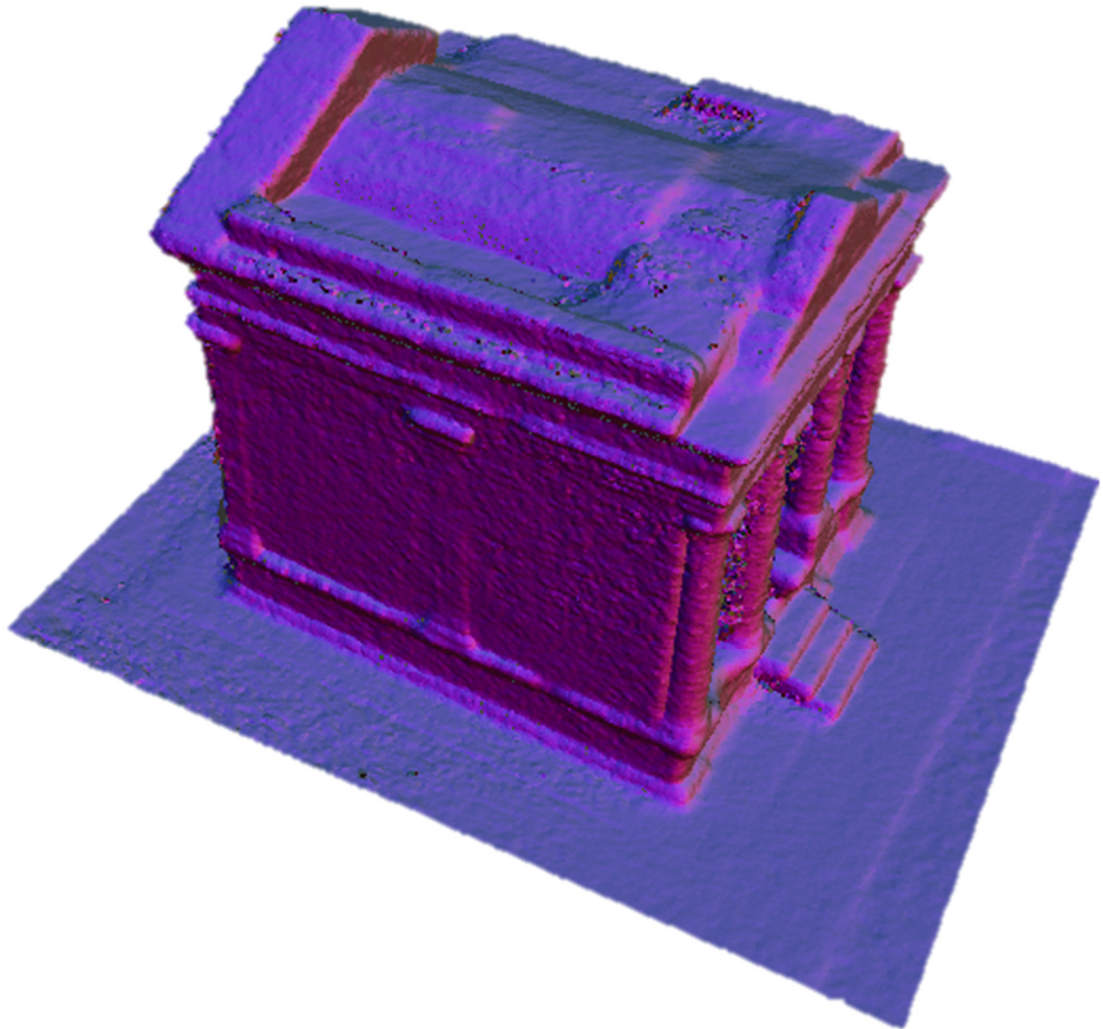
Dáta využité na modelovanie mauzólea Fabara boli poskytnuté spoločnosťou 3DScanner so sídlom v meste Zaragoza, Španielsko. Dáta boli firmou zachytené a spracované do formy georeferencovaných mračien bodov. Zber dát prebehol vo februári 2014. Ide o sady dvoch mračien bodov urobených za využitia dvoch technológií tvorby mračna bodov. Ich kombinácia bola nutná na zachytenie celého rozsahu objektu záujmu. Išlo najmä o zachytenie strechy, ktorú laserovým skenovaním nebolo možné zachytiť.

Prvé mračno bodov (obrázok 16) v sebe zachytáva vonkajšiu fasádu a interiér. Použitá metóda tohto mračna bola laserové skenovanie. Prístroj použitý na jeho získanie bol Leica HDS6100 a spracovanie mračna prebehlo v programe Cyclone 3D reshaper.



*Obrázok 16: Mračno bodov z laserového skenovania*

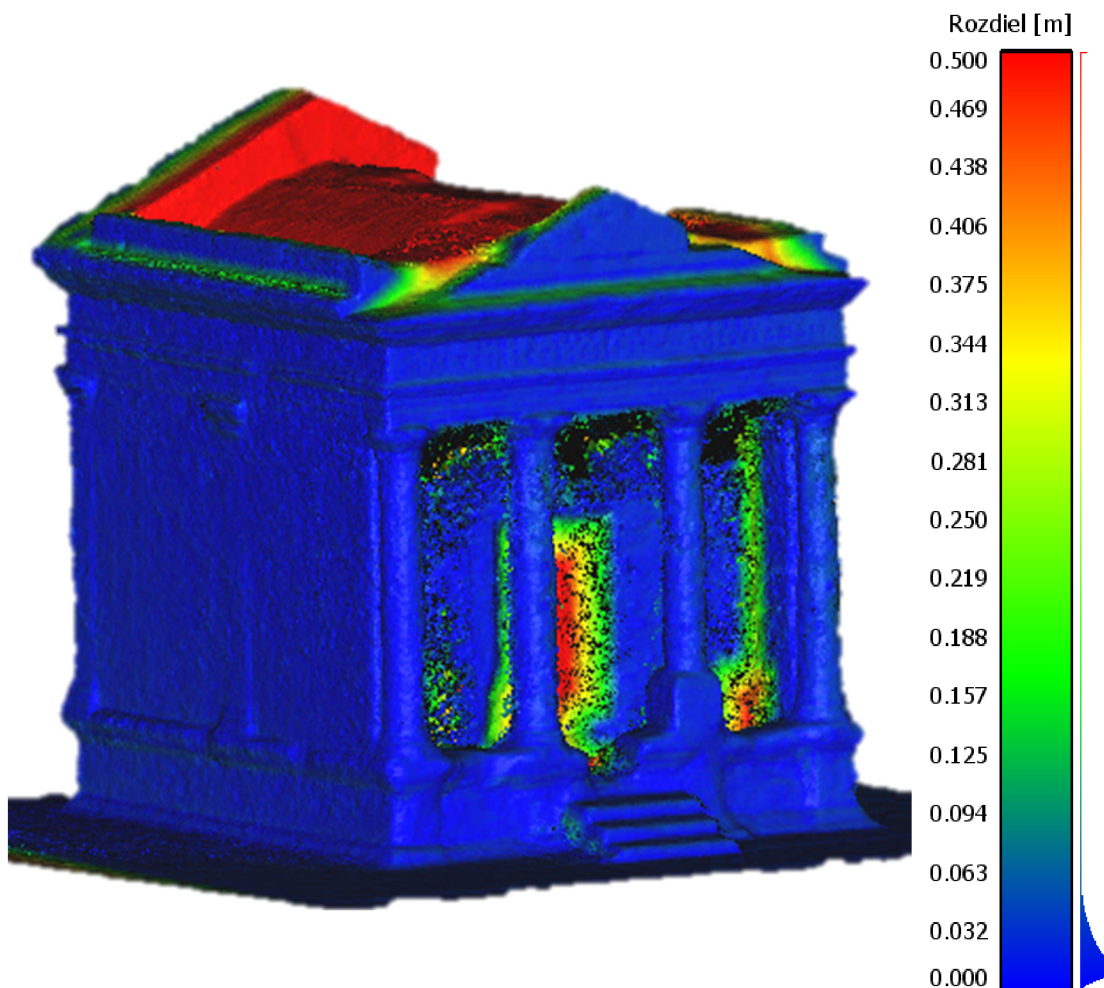
Druhé mračno (obrázok 17), získané fotogrametriou za využitia oktokopty, obsahuje strechu a vonkajšiu fasádu. Na zber dát bola použitá oktokopty (zostrojená firmou, ktorá mi dáta poskytla) s kamerou Canon EOS 550D umiestnenou na gimbale. Mračno bolo spracované v programe Agisoft Methashape Professional. Obe mračná boli georeferencované do systému ETRS89 UTM30.



*Obrázok 17: Mračno bodov z fotogrametrie*

## 4.2. Porovnanie technológií získaných mračien

CloudCompare je softvér určený na spracovávanie mračien bodov a mesh (polygónová sieť v 3D počítačovej grafike). Prvotne bol zhotovený na porovnanie dvoch mračien alebo mračna s mesh. Neskôr bol rozšírený o procesy editovania a spracovania. Ide o open source projekt, teda je zadarmo voľne šíriteľný [28].



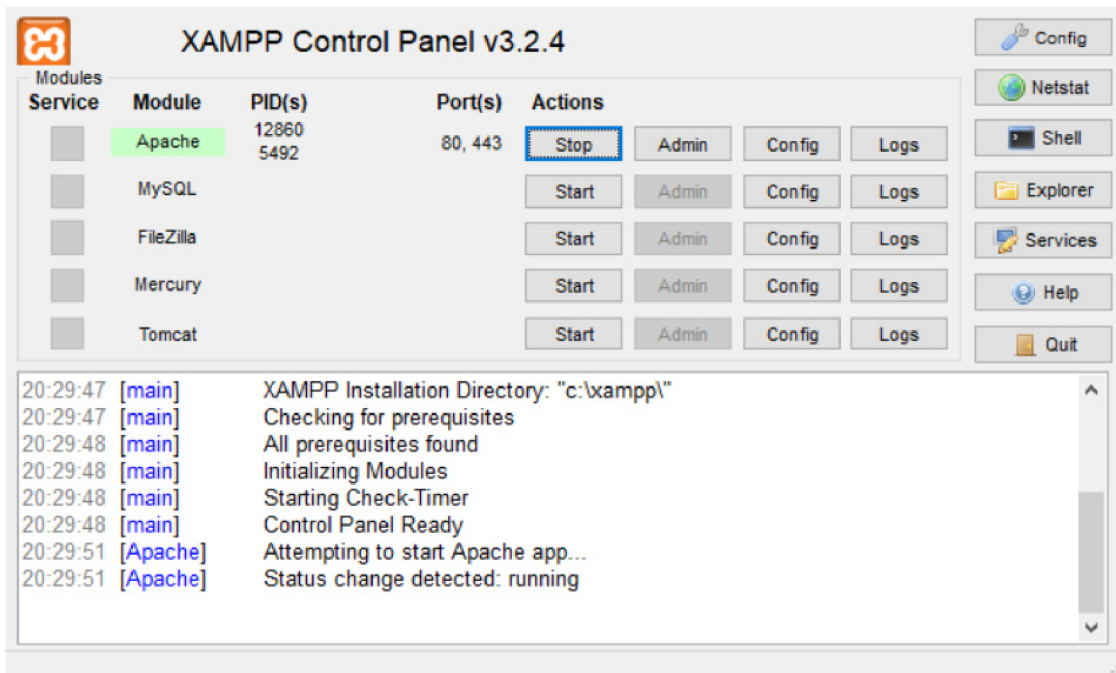
Obrázok 18: Porovnanie mračien v CloudCompare

CloudCompare bol použitý na porovnanie dvoch mračien bodov zhotovených odlišnými technológiami, pozemným laserovým skenovaním a fotogrametriou. Na obrázku 18 je znázornený výsledok porovnania týchto dvoch mračien. Na pravej strane obrázku sa nachádza škála v jednotkách metrov. Červená oblasť znázorňuje rozdiel väčší ako 0,5 m. Tento veľký rozdiel je spôsobený absenciou určitých častí medzi dvoma mračnami (napr. laserové mračno neobsahuje strechu). Ostatné rozdiely od 0,6 m až po modrú časť škály sú spôsobené prekryvaním jednotlivých častí budovy medzi sebou. Vo výslednom porovnaní bola porovnávaná len vonkajšia fasáda budovy (bez strechy a dverí). Priemerná vzdialenosť týchto mračien dosiahla 3 cm. Na základe tohto výsledku porovnania bolo možné dané mračná skombinovať pre účely modelovania.

### 4.3. Zobrazenie mračna bodov vo webovom prostredí

Jedným z výsledkov tejto práce je mračno publikované na webovom rozhraní. Použitý bol Potree open source webgl. WebGL v skratke znamená implementovanie 3D grafiky priamo do internetového prehliadača. Zdieľanie dát pre klientov je bez potreby inštalácie softvéru alebo nastavení. Potree converter umožňuje tvorbu html z formátov: las, laz, binary ply, xyz alebo ptx [29].

Kvôli podmienkam internetových prehliadačov nie je možné otvoriť potree html súbor priamo v počítači. Je potrebné nahrať všetky zdrojové súbory do web serveru. Ďalšou možnosťou, ktorá bola aj pre tieto účely využitá, je inštalácia lokálneho web serveru priamo do počítača. Použitý bol XAMPP, ktorý obsahuje Apache web server (obrázok 19). Vďaka nemu je možné otvoriť potree html v prehliadači zadaním „http://localhost\_“ a jeho polohy v počítači, kde boli vytvorené alebo sú nakopirované vstupné súbory. Vstupné súbory sú podmienkou, aby odkaz mohol fungovať [30].



Obrázok 19: Ukážka rozhrania Xampp a zapnutého Apache.

Vstupné dáta v podporovanom formáte sú jednotlivé mračná, ktoré sa majú týmto spôsobom zobraziť. Na získanie HTML je potrebné do konvertoru zadať „./PotreeConverter.exe C:/menomracna.las -o C:/xampp/htdocs/potree -p meno stránky“.

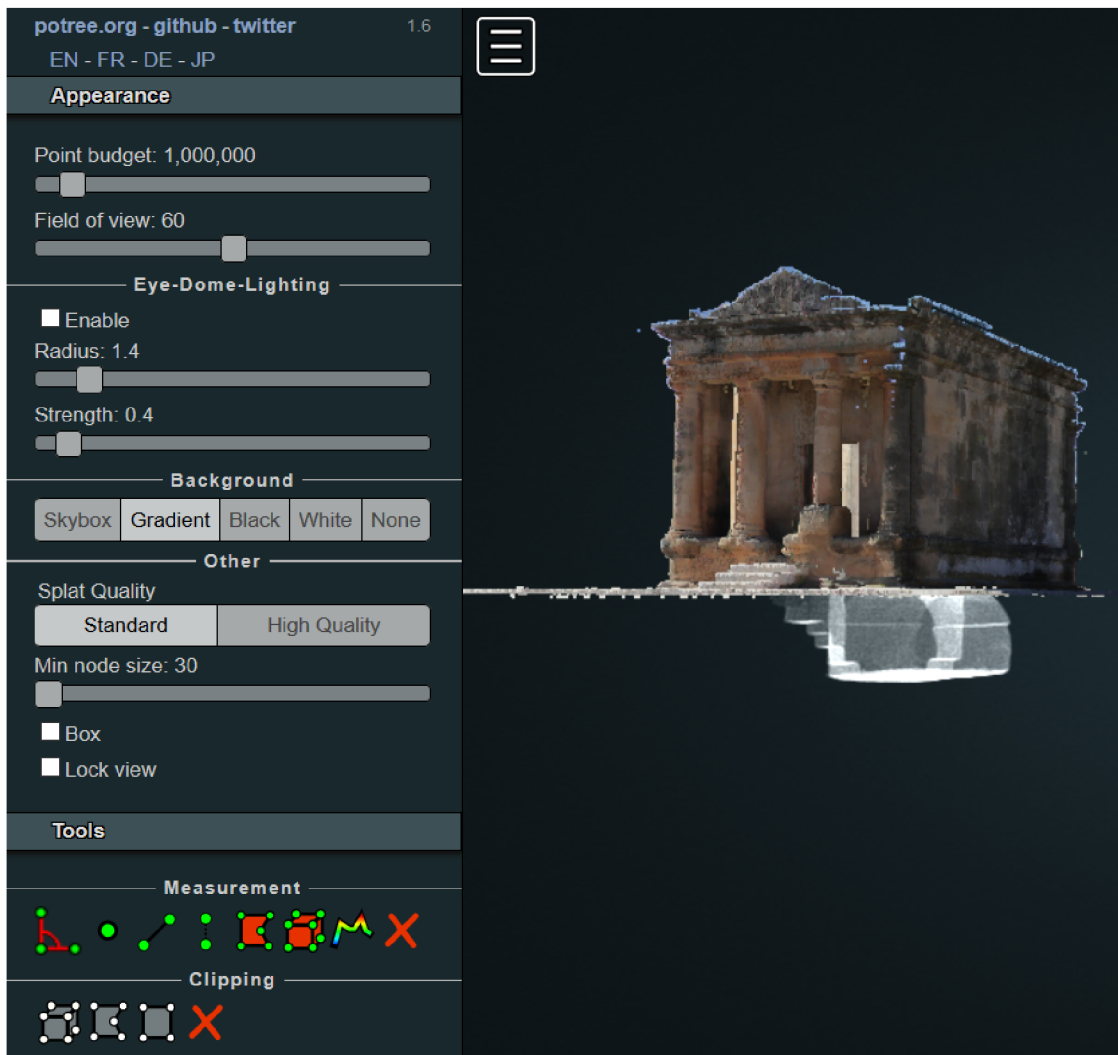
**C:/menomracna.las** – umiestnenie a meno mračna

**-o** – za znakom „o“ nasleduje, umiestnenie výstupu

**C:/xampp/htdocs/potree** – umiestnenie výstupu

**-p meno stránky** – vytvorí html súbor s menom stránky





Obrázok 20: Ukážka mračna vo webovom prostredí, Potree

Publikovaním mračna na webe a následným zdieľaním vytvoreného odkazu naň, je mračno šíriteľné bez nutnosti inštalácie softvérov. Potrebné je len internetové pripojenie. Z takéhoto odkazu sa dajú z mračna získavať súradnice bodov, ich vzdialenosti, objemy či výškové profily (obrázok 20). Všetky tieto informácie sa dajú exportovať. V ponuke sú rôzne atribúty mračna bodov, ako je napríklad nastavenie veľkosti a hustoty zobrazovaných bodov. Možnosti vizualizácie ďalej umožňujú mračno zobrazit' vo farbách RGB, intenzity bodov, výšky či normál.

## 5. Tvorba modelu z mračna bodov v Revit

Pri modelovaní priamo z mračna bodov je postup prác obdobný ako je tomu pri modelovaní z 2D výkresovej dokumentácie. Výhodou tvorby z mračna bodov je rozsah voľby pohľadov. Tvorba modelov moderných budov sa mnohokrát nezaobíde bez využitia už existujúcich modelov komponentov. Spadajú sem ako časti budovy, tak aj jej zariadenie. Jednotlivé prvky sú voľne alebo za príplatok dostupné na internete. U historických budov tieto prvky (vo väčšine prípadov) ešte nikto nevymodeloval, keďže ide o unikáty. Z toho dôvodu je tento proces tvorby modelu náročnejší a zdĺhavejší.

Revit predstavuje softvér firmy Autodesk. Jeho hlavnou náplňou je informačné modelovanie budov a ich dokumentácie. Výsledkom sú jednotné, koordinované a úplné modely. Zároveň pomáha spolupráci rôznych odvetví stavebníctva, čo je jednou z charakteristík BIM [31].

### 5.1. Postup modelovania v Revit

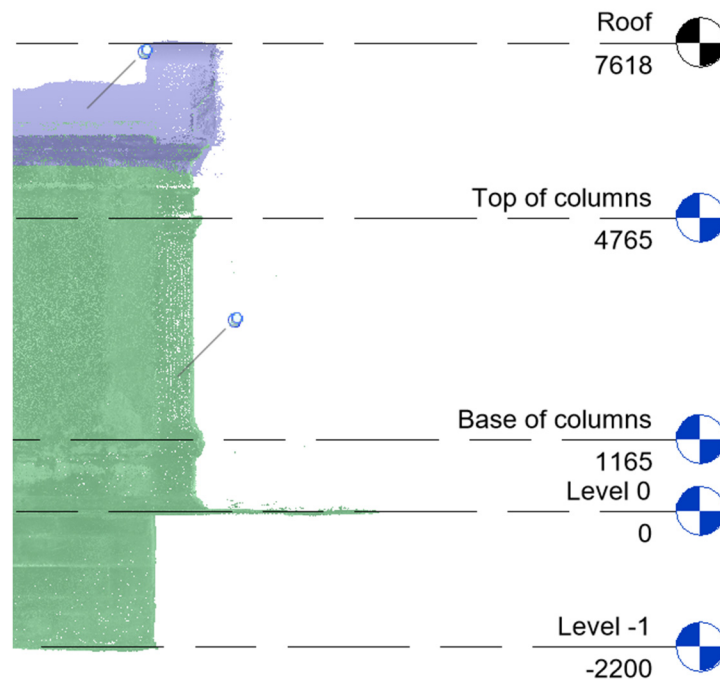
V zadaní práce bol zvolený softvér Revit od firmy Autodesk. Modelovanie prebehlo vo verzii 2018. Neskôr bola použitá novšia verzia 2020 pre svoje rozšírené možnosti použitia reprezentácie materiálov. Softvér umožňuje načítať projekt zo staršej verzie do novej (zároveň verziu projektu zmení na novšiu) ale naopak to nefunguje.

#### **Základné nastavenia softvéru:**

Po spustení softvéru Revit a výbere nového projektu je na výber z niekoľkých šablón výkresu. V nich sú preddefinované zobrazenia pohľadov, základné nastavenia prostredia a rodiny projektu. Bola zvolená defaultná šablóna construction (konštrukčná). Pri častejšom využívaní softvéru alebo opakovaní projektov je vhodné si vytvoriť šablónu vlastnú. V šablónach sú definované jednotky projektu, nastavenia typov čiar a šráf, vzhľad jednotlivých objektov, druhy pohľadov a základné rodiny [32].

Prvým krokom praktickej časti modelovania je import mračna bodov do softvéru Revit. Softvér až po verziu 2018 umožňuje import mnohých formátov, ale najlepšie a hlavne najrýchlejšie pracuje s formátmi .rcp alebo .rcs. Preto je potrebné mračno transformovať pomocou softvéru Autodesk ReCap, ktorý umožňuje export mračna do kompatibilného formátu. Formát .rcs v sebe nesie jeden súbor mračna bodov, druhý typ formátu .rcp je súbor projektu, ktorý obsahuje a ukazuje na jednotlivé súbory .rcs [33]. Okrem zmeny formátu sa dajú v softvéri Recap odčítavať súradnice bodov, zameriavať vzdialenosti, či orezávať mračno. Importované bolo celé mračno bodov metódy laserového skenovania a časť mračna bodov zachytávajúce strechu z výsledkov fotogrametrie.

Aj keď mračno bodov už disponuje súradnicovým systémom, pre prácu v Revit by bolo nutné tieto súradnice redukovať. Preto je vhodnejšie mračno vložiť „center to center“ a po skončení celý model dodatočne transformovať späť. Týmto spôsobom je zabezpečené aj automatické nastavenie pohľadov, ktoré by pri inom type importu museli byť jednotlivito definované. Ak ale je potrebné vložiť mračno v súradniciach, už do projektu je potrebné vybrať možnosť: Shared coordinates (zdieľané súradnice). Zobrazenie mračna bodov sa upravuje po vyvolaní klávesnicovej skratky VV a následne na karte: mračno bodov. Tu sa mení jeho štýl (RGB, intenzita, farba, výška, normály), prípadne sa jeho zobrazenie zapne/vypne.



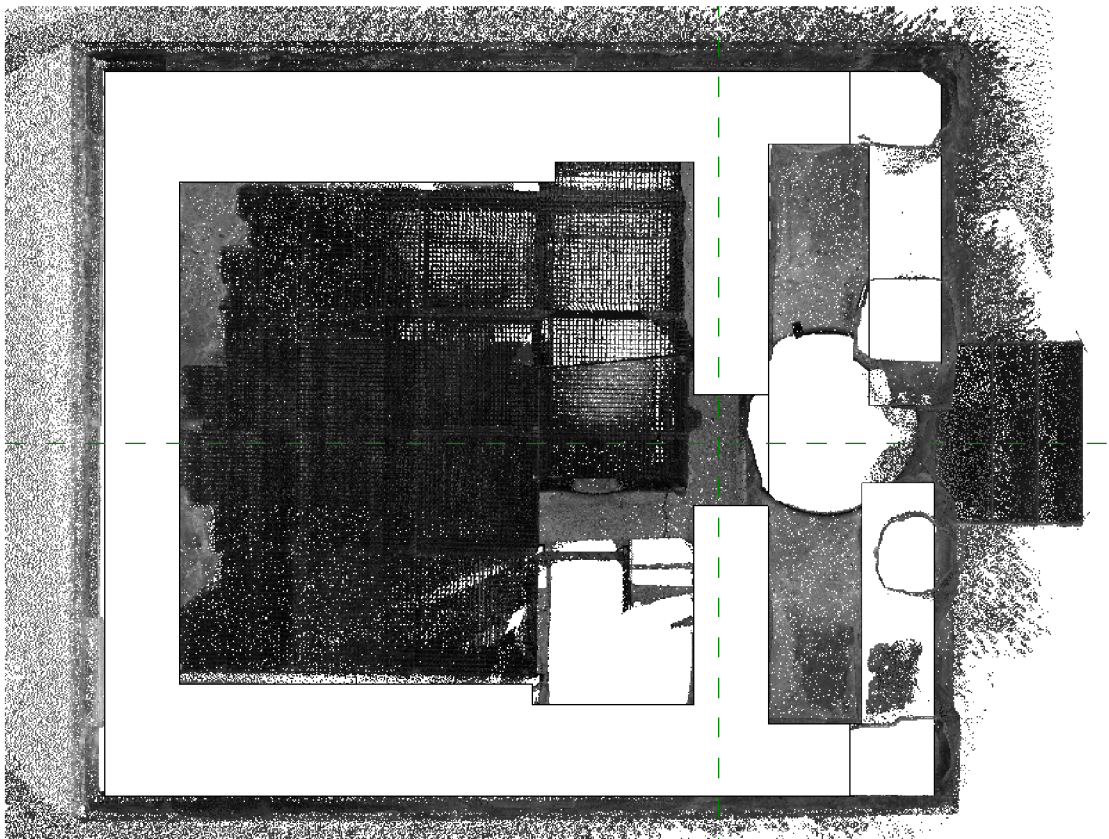
Obrázok 21: Umiestnené mračno a levely.

Na obrázku 21 je náhľad na umiestnené mračno v projekte. Pripínačik na ňom symbolizuje, že poloha mračna je zamknutá. Týmto spôsobom je zabránené mračno nechtiac posunúť alebo pootočiť. Ďalším krokom je nastavenie levelov, výškových úrovní. Zastávajú úlohu reprezentácie jednotlivých poschodí budovy, ale sú využiteľné aj ako pomôcka pri modelovaní a nastavení 2D rezov. Vytvorené boli úchytnom na mračno. Ich polohu je ale možno zadať aj konkrétnou výškou. Ako všetky novo vytvorené elementy projektu sa odporúča zadať špecifické pomenovanie. V tomto prípade boli levely využité na výškové umiestňovanie prvkov budovy (stĺpy, strecha). Pri manipulácii s levelom sa zmeny prenášajú na všetky prvky, ktoré sú s ním prepojené.

Druhá vhodná pomôcka pri modelovaní je tvorba sekcií. Tie sa ľubovoľne vkladajú obdobne ako levely. Jednotlivé sekcie a levely je neskôr možné využiť na nastavenie pracovnej roviny (set work plane) z karty architektúra. V týchto rovinách sa umiestňujú komponenty a vyhotovujú ich náčrty. Ak rezy a levely nepostačujú pri nastavení pracovnej roviny, tak sa ponúka využitie funkcie referenčná plocha. Ide o dvomi bodmi vytvorenú definujúcu úsečku. Jej zakres je možný len v 2D pohľadoch, ku ktorým je referenčná rovina kolmá [32]. Podobne ako je to pri leveloch, aj tu sa zmena roviny premietne na všetky objekty k nej prichytené.

### Modelovanie základných stavebných konštrukcií:

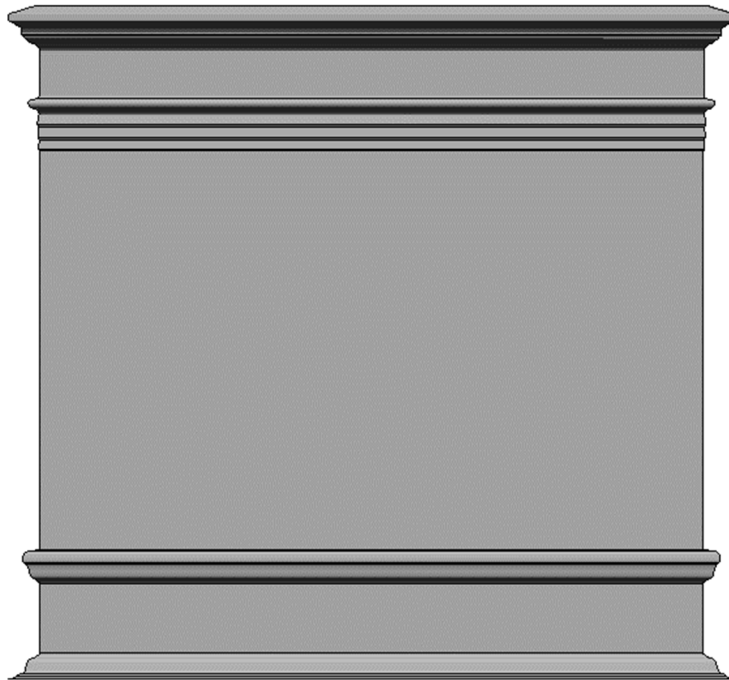
V prvom rade sú modelované steny. Príkaz je vyvolaný z ponuky Architektúra, stena. Pre tento prípad sú vytvorené nové typy stien. Dôvodom viacerých typov je nehomogenita šírky stien hrobky. Postupuje sa po jednotlivých poschodiach. Vybratím konkrétnej výškovej úrovne sa automaticky zapne príslušná pracovná rovina, ktorá vzniká simultánne pri vytváraní levelov. Hrobka pozostáva z prízemnia a jedného podzemného poschodia. Vznikajúca stena má základ v rovine, kde je kreslená. Stenám sa môže nastaviť aj vrchné obmedzenie, vzťahujúce sa k inému z nastavených levelov projektu. Uchopenie je možné priamo na body mračna. Na obrázku 22 je zobrazenie pohľadu prízemnia (Level 0), na podklade ktorého vznikli steny nadzemnej časti mauzólea. Problémom týchto stien je, že sú šikmé, čo sa odrazí pri porovnávaní modelu so skutočnosťou.



Obrázok 22: Pôdorys stien prízemnia

Historické budovy oplývajú bohatou výzdobou fasád. Na vymodelovanie sa využíva wall sweep (prídavok steny). Z mračna bodov boli vymodelované profily (viac v kapitole: 5.2. Tvorba rodín), ktoré boli využité na tvorbu týchto prídavkov. Na karte Architektúra po rozbalení ponuky steny je vyvolaný príkaz : prídavok. Následne stačí umiestniť prídavok na zvolenú stenu kliknutím na ňu alebo zadaním konkrétnej výšky.

Zobrazenie výsledného vzhľadu fasády je na obrázku 23. Rímasy umiestnené na nej sa vplyvom času nerovnomerne opotrebovali. Preto ich finálny vzhľad musel byť značne generalizovaný.




*Obrázok 23: Fasáda s rímsami*

Hrubá skladba postupov tvorby základnej konštrukcie stavby u BIM a HBIM je približne rovnaká. Kroky prác sa líšia v závislosti od preferencií konkrétnej osoby. Po vytvorení stien sú vkladané dosky (podlahy, podhl'ady), schody, dvere a okná. Funkcie zodpovedné za ich zhotovenie sa nachádzajú na karte Architektúra. Softvér Revit ponúka mnoho automatizácií týchto funkcií pri ich vytváraní. Žiaľ niektoré z nich sú pri konštruovaní historickej budovy nepostačujúce. Funkcia tvorby podhl'adov využíva na tvorbu stropov vybrané steny alebo načrtnuté čiary. Tento spôsob nepodporuje modelovanie klenby, ktorá je prítomná v oboch poschodiach budovy.

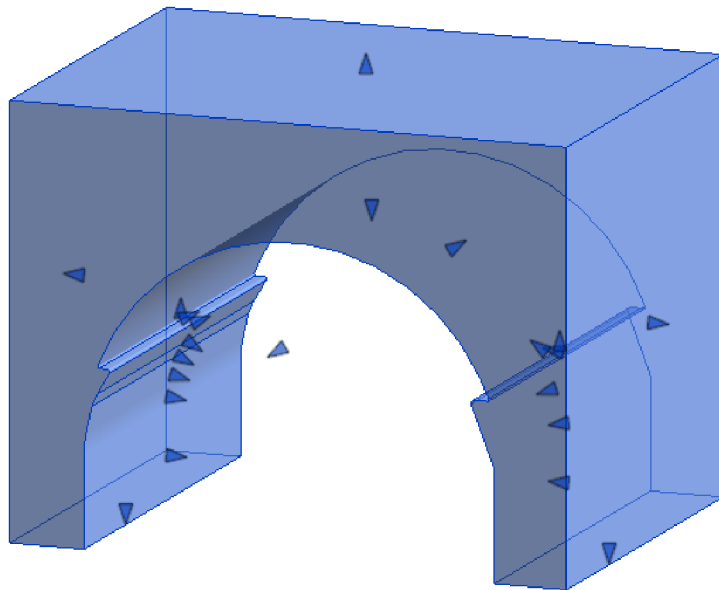
Ďalším modelovaným objektom po stenách sú podlahy. Jednoduchšie druhy sa tvoria za pomoci obvodu stien. Týmto spôsobom vznikla podlaha v suteréne. Podlaha prízemia sa skladá z pôvodného stavebného kameňa a kovovej mriežkovej konštrukcie. Kamenná časť tejto podlahy vznikla nakreslením jej obrysu, prichytávaním sa na mračno bodov. Kovovú časť bolo nutné najprv vytvoriť ako rodinu (Kapitola 5.2.).

Absencia hotových modelov a jedinečnosť prvkov (steny, dvere, vybavenie) u historických budov je príčinou potreby modelovať všetko od základu. Mnohokrát takto vzniknuté modely prvkov sú využiteľné len pre jeden konkrétny projekt. Na preklenutie tohto problému slúži funkcia in place – modeling. Zvyšné časti budovy boli zhotovené práve jej využitím. Preto sa práca bude zberať najprv definíciou tejto funkcie.

### **In place-modeling (modelovanie objemov na mieste):**

Je spôsob tvorby hodnoverných modelov častí budovy. Tento pokyn sa nachádza na karte Architektúra, Komponent : Modelovanie objemom na mieste . Týmto typom modelovania je možné vytvoriť línie, plochy, výrezy, alebo celé objekty. Buď ako plné alebo duté formy. Kladom metódy je aj schopnosť chytania sa mračna bodov pri modelovaní. Úchop na mračno bodov nie je možné pri tvorbe rodiny. Po vyvolaní funkcie vytvoriť na mieste sa zvolí názov a typ modelovaného prvku. Po potvrdení výberu sa zmení celá horná lišta a jej ponuka funkcií. Väčšina modelovaných častí tohto projektu vznikla za využitia funkcie extrusion (vysunutie). Základom je nakreslenie uzatvoreného obrysu. Výsledná hmota je potom podľa potreby „naťahovaná/skracovaná“ do požadovaných rozmerov, čo najlepšie prilnúc k mračnu (obrázok 24) (34). Práve tu zohráva dôležitú úlohu využitie sekcií projektu. Objektu je následne pridelený materiál. Po potvrdení o ukončení procesu je objekt vložený priamo do projektu. Ponuka funkcií hornej lišty je opäť zmenená na pôvodnú. Týmto spôsobom boli vytvorené: schody, stropy, podzemná miestnosť, podlaha.



Pokračovaním modelovania sú stropy, tie sú tvorené obdobne ako podlahy. Románska stavba Fabara sa skladá z klenieb ako v prízemí tak v suteréne stavby. Preto si ich tvorba vyžiadala in place-modeling.



*Obrázok 24: Náhľad na časť suterénu hrobky (hmota vysunutím)*

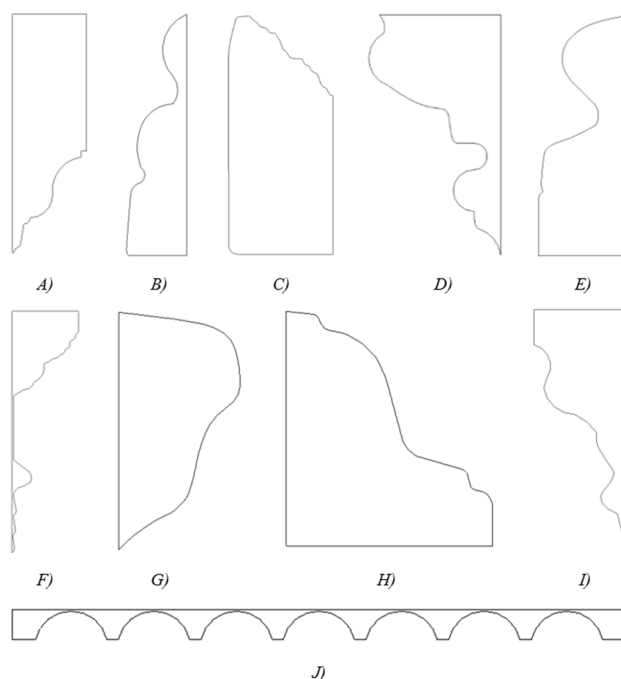
Následne sú do projektu vložené schody ako prepojenie jednotlivých poschodí a výškových úrovní. Pre účely tvorby modelu hrobky boli vytvorené tri schodiská. Jedny sa nachádzajú pred krytým vstupom. Zvyšné dve prepájajú prízemie s podzemím, kde bola pôvodne umiestnená truhla. Všetky schodiská vznikli využitím postupu in place-modeling. Nasledujúcim krokom je umiestnenie okien a dverí. Softvér Revit pri umiestnení týchto prvkov do steny automaticky vytvorí potrebný otvor. Do interiéru mauzólea vedú jedny dvere, ktoré sú jediné na celom objekte. Okná nie sú vôbec prítomné. Ako posledné bolo vymodelované touto funkciou kovové zábradlie na schodisku vedúceho do podzemnej časti hrobky.

## 5.2. Tvorba rodín

Pri opakovaní sa prvku v projekte je vhodné využiť tvorbu rodín. Takto vytvorený objekt je už len jednoducho vkladáný na požadované miesta. Rodina sa vytvorí založením nového výkresu rodiny (family) a vybraním prvku, ktorý je modelovaný. Podobne ako je tomu aj pri in place-modeling. Rozloženie, pohľady a aj pomocné čiary sa prispôbia vybranému prvku. Vytvárané rodiny sa dajú parametrizovať, čím sa zabezpečí prispôbenie rôznym rozmerom. Nevýhodou pri založení výkresu rodina je nemožnosť vloženia mračna bodov. Tento nedostatok je možné odstrániť za pomoci in place-modeling v projekte. Potrebný obrys objektu je nakreslený na podklade mračna bodov po vyvolaní in place-modeling. Následne je skopírovaný  a vložený  do novo založeného výkresu rodiny. Týmto spôsobom je možné vytvárať rodiny z mračna bodov. Dôležité je neukončiť in place-modeling pred skopírovaním, pretože inak kopírovanie medzi projektom a rodinou nie je podporované. Pri zhotovovaní obrysom je nutné dbať, aby sa čiary na seba správne napájali. Akékoľvek nedoťahy alebo presahy budú mať za dôsledok nevytvorenie objektu. Výsledná rodina je uložená do formátu .rfa a do projektu sa vkladá z karty vložiť – načítať rodinu.

### Profily:

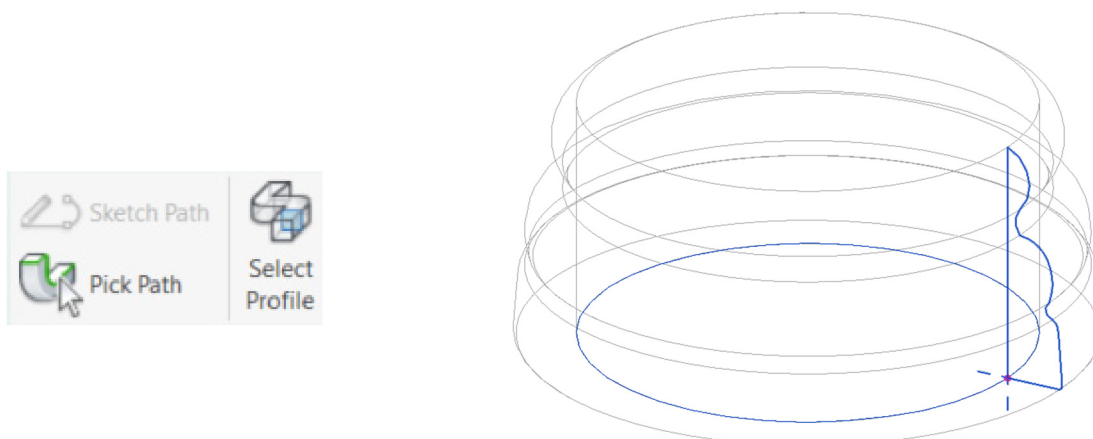
Ide o jednoduchý 2D náčrt obrysu prvku, ktorý vytvára tvar po definovanej trajektórii. Výkres je konkrétne založený pre profily. Profily sú využívané najčastejšie na vytváranie tvarov rotovaním alebo ťahaním, oboje po zvolenej trajektórii. V projekte mauzólea vytvorené rodiny profilov boli použité na prídavky stien, tvorbu podstavcov a nadstavcov stĺpov a na profil časti strechy. Celkovo bolo vytvorených 10 profilov (obrázok 25).



Obrázok 25: Náhľad na použité profily v projekte

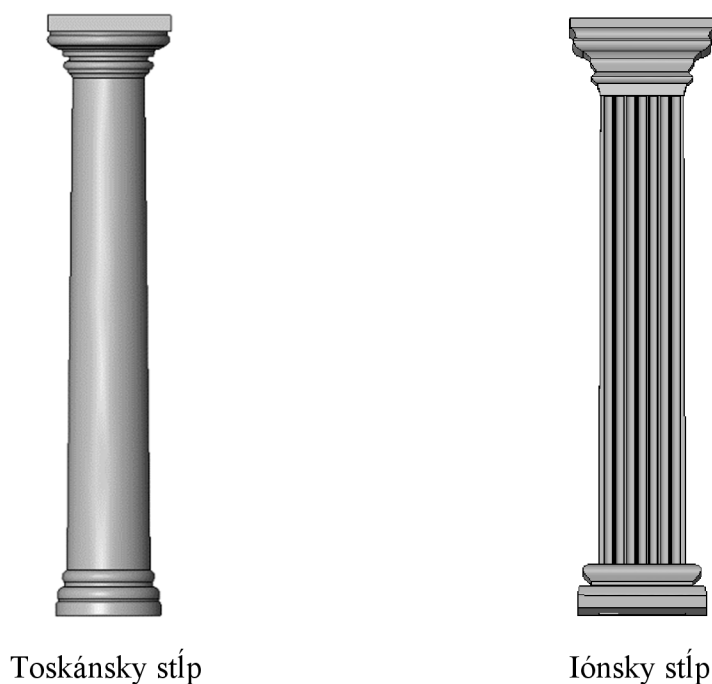
## Stĺpy:

Mauzóleum sa skladá z dvoch typov stĺpov, a to v slohu toskánsky a iónsky. Pri založení výkresu rodiny bol zvolený prvok stĺp. Obvody stĺpov boli pri základni a vrchole rozdielne, preto na ich tvorbu bol využitý blend (prechod) a dva rôzne predpripravené profily. Po obvode základne a vrcholu boli rotované príslušné profily za využitia sweep (ťahanie), a tým vznikli nadstavce a podstavce. Obrázok 26 znázorňuje funkciu sweep, kde je zvolený profil a trajektória. Po výbere profilu je možné ho v prípade potreby otočiť.



Obrázok 26: Funkcia sweep

Oba typy stĺpov boli skonštruované rovnakým postupom, náhľad na ich výsledný vzhľad je na obrázku 27. Obe rodiny boli následne vložené do projektu. V minulosti si jeden z toskánskych stĺpov vyžiadal rekonštrukciu, preto bol vytvorený duplikát upravený o túto rekonštrukciu, zmenu v jeho spodnej časti.

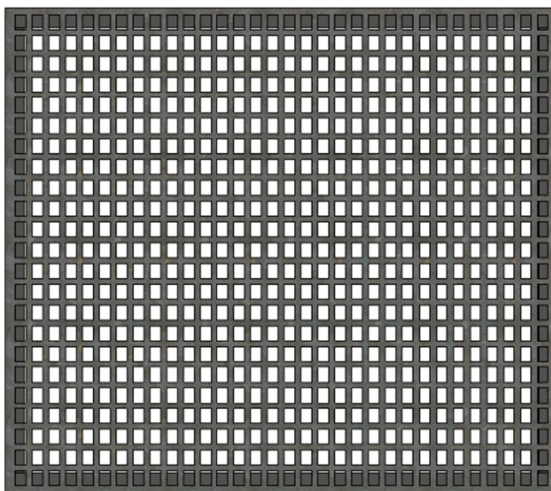


Obrázok 27: Modely stĺpov mauzólea

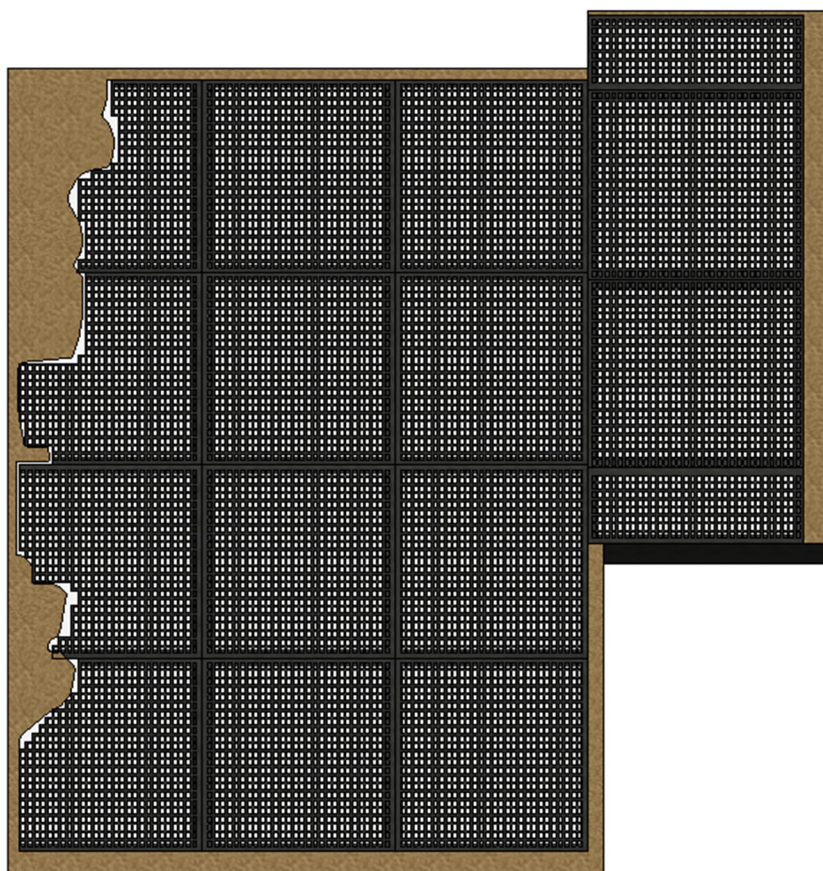


### **Kovové rošty podlahy:**

Ako posledný článok mauzólea boli tvorené kovové rošty umiestnené na pôvodnej kamennej podlahe. Prvá bola vytvorená rodina jedného kusu roštu (obrázok 28) a následne jednotlivé atypy. Tie boli pred inštaláciou prispôsobené vzhľadom pôvodnej, kamennej podlahy. Tieto rošty boli vyrezané aby nedošlo k prekrytom. Pohľad na finálnu podlahu s umiestnenými roštami je na obrázku 29.



*Obrázok 28: Základný kovový rošt na podlahe*



*Obrázok 29: Podlaha prízemia mauzólea*

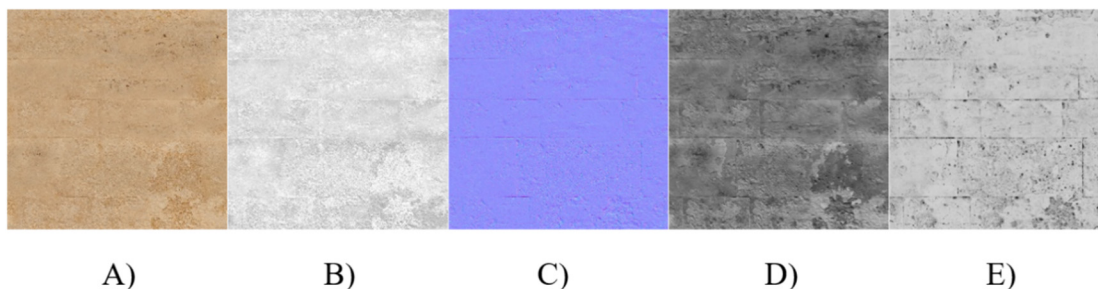
### 5.3. Tvorba materiálu

Voľba materiálu je vo väčšine prípadov už uskutočnená výberom konkrétneho typu prvku, ktorý je do projektu zanášaný. Napríklad, ak je vkladaný prvok dvere od konkrétneho výrobcu, tak je im priradený materiál, ktorý je taktiež ponúkaný výrobcom. Autodesk ponúka škálu materiálov, ktorá je prednastavene pripojená k výkresu. Niekedy táto ponuka nestačí. Vtedy existujú dva varianty riešenia tohto problému. Prvou možnosťou je stiahnuť si materiál z webových stránok obdobne ako sú sťahované jednotlivé prvky stavby, jej vybavenie a pod. Stránky na stiahnutie materiálov sú napr.: [www.texturehaven.com](http://www.texturehaven.com), [www.substance3d.com](http://www.substance3d.com), [www.cc0textures.com](http://www.cc0textures.com), [www.3dtextures.me](http://www.3dtextures.me), [www.poliigon.com](http://www.poliigon.com) [35]. Druhým variantom je vytvoriť si materiál od základu sám. Vytvorenie si vlastného materiálu ponúka mnoho výhod. Najvýraznejšia je z hľadiska vizualizácie architektúry, ale ďalej je to aj výhoda zavedenia vlastností istého materiálu. Všetko v závislosti od potreby a množstva dostupných informácií.

#### **PBR materiál:**

Zaoberajúc sa materiálom v prostredí Revit je dôležité spomenúť míľnik oddeľujúci materiály pred a po verzii Revit 2019. Od verzie 2019 a vyššie je pri mnohých materiáloch žltý výstražný trojuholník. Signalizuje, že ide o tzv. legacy materiál (materiály všetkých predchádzajúcich verzií Revit) bez parametrov potrebných na Physically based rendering (PBR), v preklade renderovanie na základe fyziky.

PBR simuluje spôsob, ktorým je svetlo v skutočnosti šírené. Nájazdom myši na legacy materiál program vypíše, že odporúča vzhľad materiálu nahradiť jeho novšou verziou. Ide o nový fyzikálne presný materiál, ktorý rešpektuje nastavenie svetla a správa sa ako fyzický materiál. Teda spôsob tvorby PBR materiálu je založený na jeho adekvátnom reagovaní na svetlo. Materiály pre PBR sa skladajú z určitých kanálov máp v závislosti od softvéru, kde sú využívané. Pre softvér Revit to sú:



*Obrázok 30: Mapy PBR [36]*

**Albedo map / Diffuse map:** materiálu dodáva informáciu o farbe. Existuje ale drobný rozdiel medzi diffuse map (obrázok 30 A) a albedo map, a síce, že albedo má odstránené tieň. Inak povedané diffuse mapa je len fotografia materiálu.

**Roughness map:** ryhy a výbrusy, ktoré dodávajú materiálu nedokonalosti. Pridáva ostrosť odleskov (obrázok 30 B).

**Bump map / normal map:** dodávajú materiálu hĺbku. Pričom normal map (obrázok 30 C) nemenia geometriu objektu, ale len vizuálne pridajú 3D detaily. Bump map objekt zaťažuje zasiahnutím do jeho geometrie. Na druhej strane Bump map bude vyzerat' vždy vierohodne z akéhokoľvek uhla.

**Ambient Occlusion map:** Pridá tieň materiálu, čím zvýrazní jeho detaily (obrázok 30 D).



Vo verziách pred Revit 2019 sú materiály zložené len z Albedo mapa a Bump mapa (obrázok 30 E) [35]. Využívanie PBR materiálov sa najviac odrazí v kvalite renderovania celkového výsledku. Práca je odľahčená od dodatočných nastavovaní pre odlišné svetelné podmienky vďaka zavedeniu ich fyzikálnych vlastností so vzťahom k svetlu.

### **Substance alchemist:**

Je platený softvér (21 dní zdarma skúšobná verzia) na tvorbu spomenutých kanálov máp materiálu. Jednoduchým vložením fotky materiálu sú vytvorené všetky potrebné jeho zastúpenia vo forme máp. Veľkým kladom je pri tvorbe vizualizácie materiálu aplikovanie filtrov. V týchto filtroch sú rôzne možnosti zavedenia vplyvu vonkajších podmienok v priebehu času na využívaný materiál. Čo sa týka historických budov, je to obrovské plus pri vizualizácii, vďaka čomu je výsledný obraz modelu realistickejší. Na materiáli sa dá aplikovať korózia a rôzne druhy erózie (napr. vplyv dažďa). Obrázok 31 znázorňuje pred (A) a po (B) aplikácii filtrov znečistenia a vplyvu dažďa. Pri exporte materiálu sú vybrané mapy pre konkrétny softvér, v ktorom je materiál používaný. V tomto prípade pre Revit hore spomenuté 4 mapy.



*Obrázok 31: Materiál pred (A) a po (B) aplikácii filtrov*

Tvorba materiálu v softvéri Revit je započatá výberom Materiály  na karte Správa. Následne je kliknutím na  zvolené: vytvoriť nový materiál. V novo vytvorenom materiáli sú vyplnené polia jeho identity, grafiky, vzhľadu a fyzické či tepelné vlastnosti. Všetko v závislosti od množstva informácií, ktoré sú dostupné. Nevýhodou tvorby nového materiálu týmto spôsobom je, že užívateľ musí vedieť všetky vlastnosti daného materiálu v súvislosti s jeho fyzikálnym reagovaním na svetlo. Výhodnejšie je podľa kategórie zvoliť najviac zodpovedajúci materiál a duplikovať ho. Potom už len jednoduchým ťahaním obrázku na miesta originálneho materiálu vložiť potrebné mapy. Kategórie typov materiálov softvéru Revit sú :

**Layered material** – tvorený z viacerých vrstiev (mramor)


**Metalic material** – kov (železo, hliník)

**Opaque material** – nepriehľadný (drevo, kameň)

**Transparent material** – transparentné (voda, menšie sklo)

**Glazing material** (od verzie Revit 2020) – zasklenie (sklenené steny, okná) [35].

## 5.4. Umiestnenie do súradníc

Keďže pri importe mračna bodov do softvéru neboli vložené skutočné súradnice, je nutné ich do projektu vrátiť. Samozrejme, ak je to pre daný projekt potrebné. V softvéri Revit na to slúži karta Správa – Umiestnenie projektu – Súradnice a Špecifikuj súradnice bodu pod tlačidlom . Zvolením konkrétneho bodu je otvorené okno na zadanie súradníc. Súradnice sú zadávané: sever/juh, východ/západ a výška. V tom istom okne sa dá nastaviť aj uhol stočenia severu projektu od skutočného severu. Týmto spôsobom bola budova umiestnená do súradnicového systému ETRS89 UTM30N, teda do pôvodného systému vstupných dát. Súradnice boli získané v prostredí softvéru ReCap z podkladového mračna bodov.

### BIM a GIS:

Georeferencovaním modelu sa otvára ďalšia možnosť implementácie, a to konkrétne medzi BIM a GIS (geografický informačný systém). Kombináciou týchto zložiek sa zlepšuje prepojenie stavieb so svojím okolím. Tento kontext umožňuje lepšie pochopenie počítačových podmienok. V prvom rade je dobré si pripomenúť, že BIM zahŕňa v sebe celkový proces budovania všetkých stavieb, čoho zásluhou je jeho prepojenie s prostredím aj po zavedení zmien v ktorejkoľvek fáze budovania. Zdieľanie geopriestorových informácií s informáciami stavby je prospešné pre obe strany. Táto spolupráca ponúka rôzne možnosti analýz, či už pre jednotlivé mestá alebo celé štáty. Vzniká tu možnosť simulácií napríklad pre infraštruktúru, spotrebu energie, krízové situácie, mobilitu obyvateľov a iné. Konkrétnym príkladom je model záplavy mesta Paríž. V tomto projekte spolupracou rôznych odvetví, zahŕňajúc BIM a GIS, vznikla simulácia krízového stavu. Na jej výsledkoch je možné predpokladať riziká a stanoviť rozsah záplavových oblastí a konkrétnych potencionálne zasiahnutých stavieb [37].

## 5.5. Výsledok a jeho porovnanie

### Porovnanie modelu:

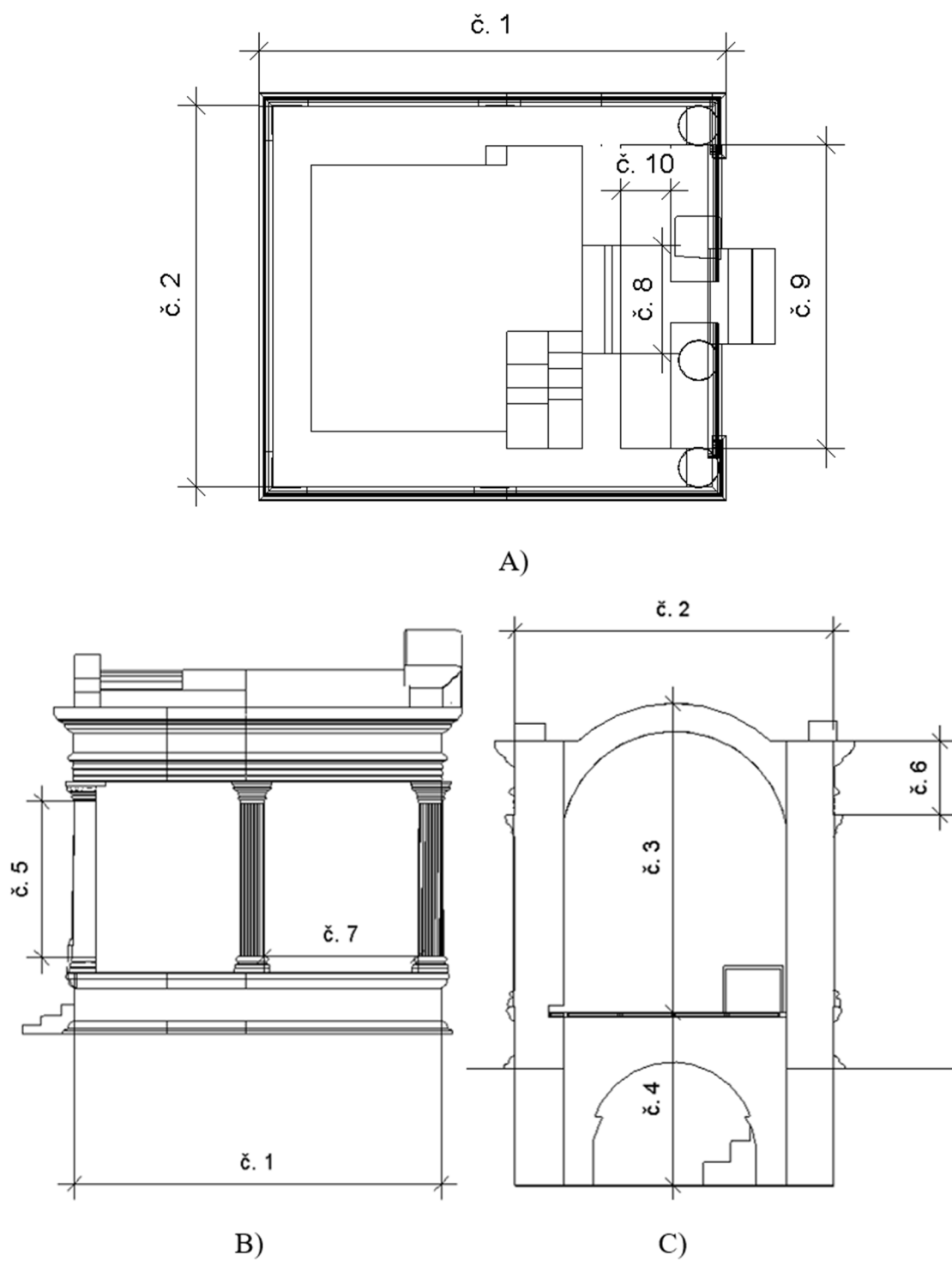
Na porovnanie modelu s realitou geodézia ponúka niekoľko možností. Výber konkrétneho postupu je ovplyvnený prístrojovým vybavením, časom, účelom projektu a ďalšími faktormi. V závislosti od výberu je možné porovnávať namerané dĺžky, uhly, súradnice alebo mračno bodov. Dáta, ktorými je overovaná presnosť konečného modelu, by mali byť získané nezávislým, novým meraním.

Ako prvým a zároveň veľmi jednoduchým princípom porovnania výsledného modelu s realitou je za využitia omerných mier. Tie ale neboli súčasťou obdržaných dát pre túto prácu. Preto omerné miery boli získané z webovej stránky: <http://aragonromano.ftp.catedu.es/mausfaba.htm>. Omerné miery z webovej stránky a namerané hodnoty z modelu sú uvedené v tabuľke 1.

*Tabuľka 1: Porovnanie rozmerov modelu s omernými mierami*

Namerané rozmery	Omerná miera [m]	Model [m]	Rozdiel [m]
Dĺžka budovy (č. 1)	7,40	7,35	0,05
Šírka budovy (č. 2)	6,06	5,98	0,08
Výška nad zemou (č. 3)	5,84	5,82	0,02
Výška pod zemou (č. 4)	3,14	3,17	0,03
Telo stĺpov (č. 5)	3,64	3,60	0,04
Iónska entablatura (č. 6)	1,24	1,39	0,15
Rozostup bočných stĺpov (č. 7)	2,90	2,90	0,00
Šírka dverí (č. 8)	1,70	1,70	0,00
Pred dverami dĺžka prierezu (č. 9)	4,80	4,78	0,02
Pred dverami šírka prierezu (č. 10)	0,86	0,78	0,08

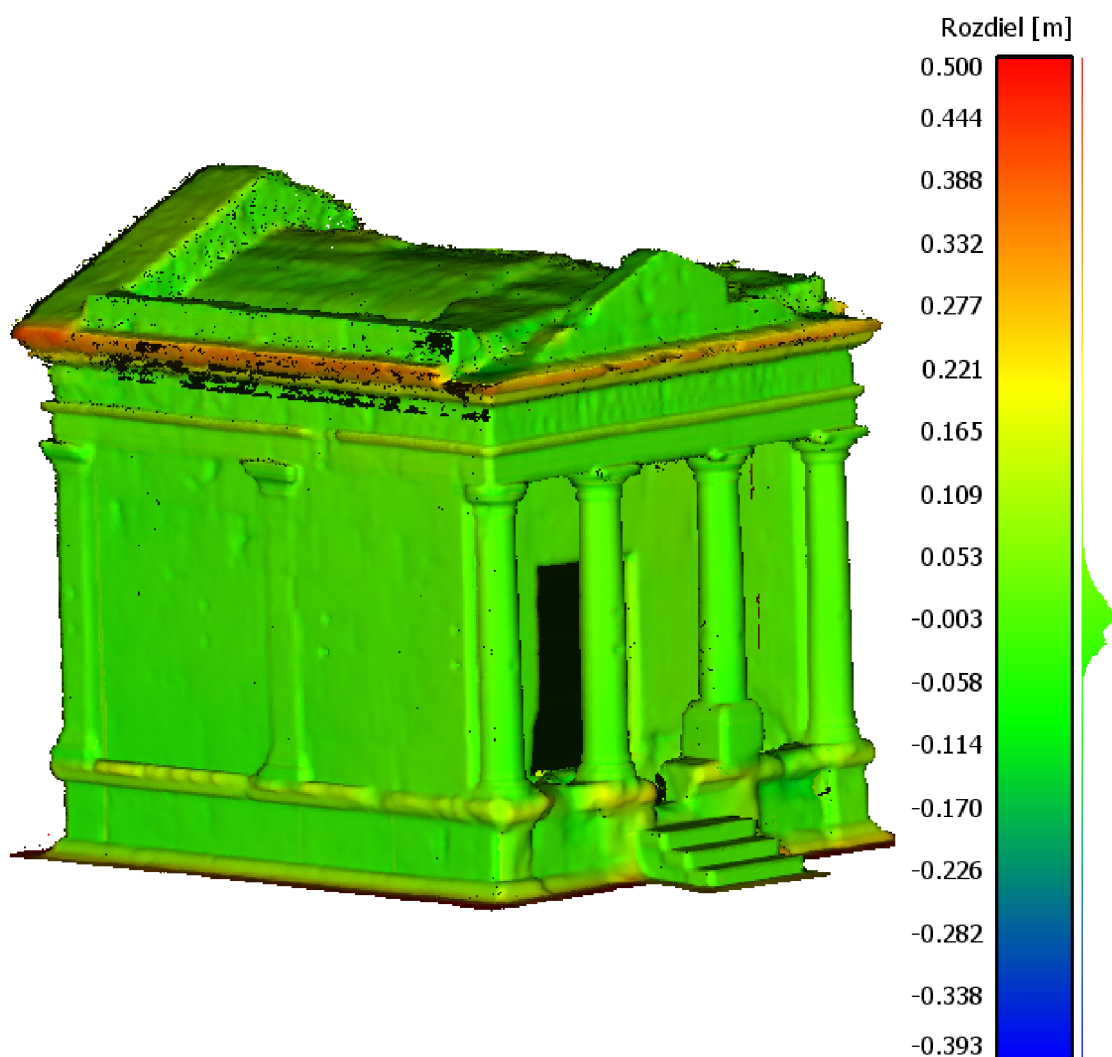
Veľkou nevýhodou týchto dát je ale neznalosť postupov, kde, za akých podmienok a akou metódou boli namerané hodnoty získané. To môže mať vplyv na vzniknuté rozdiely. Na obrázku 32 sú zobrazené schémy odkiaľ boli získané namerané rozmery modelu.



Obrázok 32: Schémy omerných mier

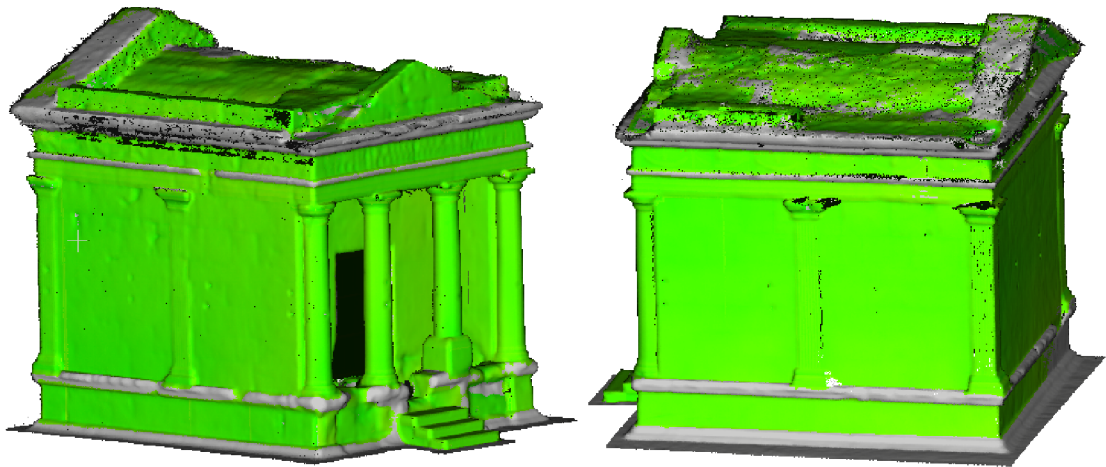
Ďalšou možnosťou, ako porovnať výsledky modelovania so skutočnosťou, je využitie nového mračna bodov. Takéto nové dáta, žiaľ neboli prístupné. V nasledujúcich krokoch bolo využité originálne mračno, na ktorého základe bola budova aj modelovaná.

Na porovnanie presnosti bol opätovne využitý softvér CloudCompare. Ako už bolo spomenuté, tento softvér umožňuje porovnávanie nie len mračien, ale aj meshu s mračnom. Na toto porovnanie bola použitá nadstavba STL do softvéru Revit, vďaka nej bolo možné exportovať výsledný model do formátu meshu .stl ASCII. Revit umožňuje exportovanie aj do .fbx, avšak v tomto formáte neboli exportované údaje o súradniciach. Z toho by vyplýva nutnosť dodatočného transformovania modelu na mračno, a teda zanesenie ďalších nepresností. Nevýhodou .stl formátu je, že nevyexportoval prírastky stien (výzdobu fasády). V pravej časti obrázku 33 je vidieť interval a miesto, v ktorom sú body najviac zastúpené.



Obrázok 33: Výsledok porovnania meshu (zástupca modelu) s mračnom bodov

Ak tento interval je obmedzený na  $\pm 6$  cm, výsledkom bude zafarbené mračno bodov presne tak, ako je tomu na obrázku 34. Ten zobrazuje body mimo vymedzený interval sivou farbou.



*Obrázok 34: Výsledok porovnanie pri obmedzení intervalu na  $\pm 6$  cm*

Výsledky porovnania meshu (ako zástupcu modelu) a mračna bodov sú zavážené aj faktom, že ide o historickú budovu. Stav tejto budovy bol počas postupujúcich rokov narušený. Je názorne vidieť, že oblasti nachádzajúce sa mimo tento zúžený interval sú práve nevyexportované výzdoby fasády, strecha a miesta s najväčším poškodením. Práve tieto oblasti si vyžiadali najväčšiu časť generalizácie. Nehomogenita šírky stien v jej rôznych výškach je ďalším faktorom, prečo bola potrebná generalizácia a následne je to aj dôvod vzniku rozdielov. Taktiež nerovnosť opotrebovania materiálu v rôznych častiach budovy je príčinou vzniku odlišností.

Keďže je model v globálnom súradnicovom systéme, iným spôsobom na porovnávanie presnosti je za pomoci merania súradníc bodov. Merané body by mali byť jednoznačne určiteľné v teréne, alebo by mali byť vyznačené pomocou značiek.

### **Výsledok modelovania:**

Záverom modelovania je, že na tvorbu HBIM mauzólea z mračna bodov nebola nutná žiadna inštalácia nadstavieb programu Revit. Na druhej strane môžu byť pomôckou a prácu uľahčiť. Pri objekte s väčším rozsahom alebo pravidelnom vykonávaní činnosti modelovania as-built by bolo vhodné zamyslieť sa nad ich možnosťami a prípadne do nich zainvestovať.

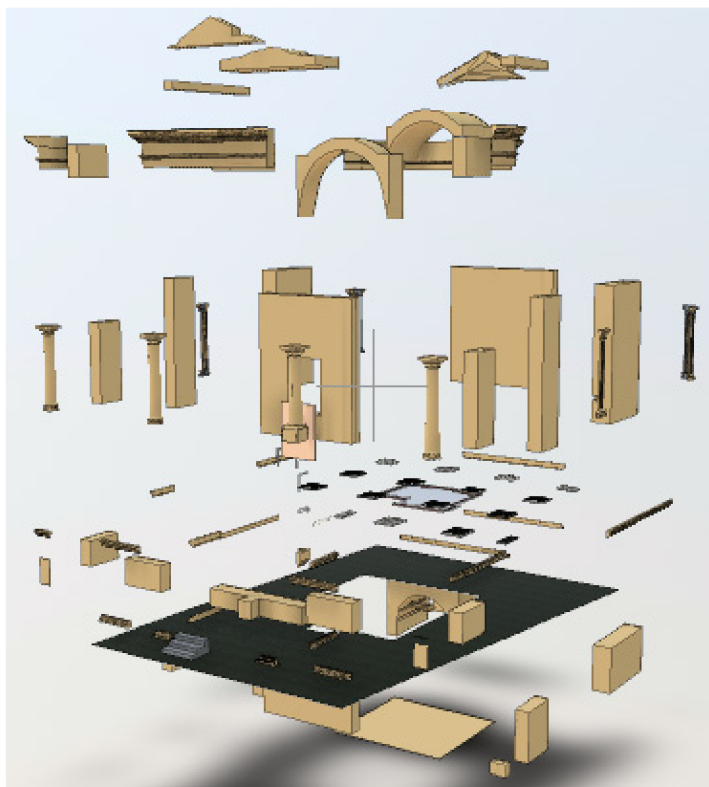
Potenciálne šírenie modelu priamo jeho exportovaním zo softvéru Revit v závislosti od ďalšieho využitia je možné ako 3D tak aj 2D. Z modelu je tak možné získať 2D výkresovú dokumentáciu a tú eventuálne použiť pre DSPPS. V prípade potreby sa dá každý prvok z projektu exportovať ako rodina a následne ho využiť v inom projekte. Výsledný HBIM model mauzólea je zaradený do LOD 500. Čo sa týka LOK, tu by bola potrebná ďalšia spolupráca s inými odborníkmi a zmláčaniami.



## 5.6. Zobrazenie modelu vo webovom prostredí

Na trhu existuje veľa poskytovateľov služby zdieľania modelov na svojich internetových stránkach. Služba je zadarmo alebo za poplatok. Problémom týchto stránok je, že mnohé z nich si nárokuje práva na zdieľaný model. Ďalším problémom je verejné zdieľanie dát a možnosť si model stiahnuť takmer kýmkoľvek.

Pre účely tejto práce bol zvolený Autodesk Viewer. Ide o zdarma dostupný online prehliadač modelov. Pre nahranie modelu je potrebná registrácia (tá je však už potrebná pri samotnom sťahovaní Revit softvéru). Autodesk Viewer podporuje formáty, ktoré priamo využíva Autodesk, takže aj .rvt projekt. O ukončení načítavania projektu je používateľ upozornený e-mailom. Po načítaní je možné si vygenerovať link pre zdieľanie modelu. Link nie je možné dohľadať a prístup k nemu majú len osoby, ktorým je zaslaný. Osoby s prístupom k online modelu ho nemôžu nijak upravovať a ani si ho stiahnuť [38].



*Obrázok 35: Ukážka z Autodesk Viewer*

Autodesk Viewer ponúka rôzne možnosti manipulácie pohľadu na model (pan, zoom, otočenie). Pomocou funkcie explode (oddeliť) jednotlivé prvky modelu od seba posunieme (obrázok 35), a tak je možné detailne preskúmať každý jeden z nich. First person view (pohľad prvej osoby = tak ako vidíme objekty v realite) zabezpečuje akúsi prechádzku po objekte najviac zodpovedajúcu prechádzke v realite. Ďalej je možné do modelu písať poznámky a zaznačiť pripomienky. Zobrazenie modelu je limitované na 30 dní. Pred uplynutím tohto času sa dá predĺžiť. Po uplynutí 30 dní je možné model opätovne nahrať.

## 5.7. Renderovanie modelu

Za najvyužívanejšiu formu vizualizácie modelu je určite možné považovať renderovanie alebo tzv. tvorbu reálneho obrazu. Výsledkom je obrázok snažiaci sa napodobniť reálny svet. Asi najdôležitejšími nastaveniami je vhodný výber materiálov a osvetlenia objektu. Čo sa týka vonkajšieho prostredia, tu bolo využité len svetlo zo slnka. V projekte v prostredí Revit je možné nastaviť dráhu, čas a ročné obdobie. Vo vnútri hrobky sa reálne nenachádza žiadne osvetlenie. To je aj dôvodom čierno bieleho mračna tejto časti. Preto boli umelo vymyslené interiérové svetlá za účelom vizualizácie interiéru. Tvorba týchto svetiel je opäť s využitím výkresu rodina. Užívateľ má mnoho možností nastavenia svietidla tak, aby najlepšie plnilo svoj účel.

Keďže boli použité PBR materiály, je tým pádom uľahčený a urýchlený proces renderovania. Pôvodne bolo nutné prispôbiť výsledný vzhľad rôznym svetelným podmienkam (slnečno, šero, oblačno ...). PBR materiály túto prácu spravia za nás. Výsledok renderovania je zobrazené v prílohách 1 – 7.

### Rendering in cloud:

Autodesk Rendering ponúka funkciu renderovania mimo osobný počítač užívateľa. Značnou výhodou je, že počas procesu renderovanie v cloud (vzdialené zariadenie poskytujúce službu) sa dá ďalej používať Revit na iné úkony. Výsledkom je kvalitný render bez ohľadu na počítačové vybavenie, ktorého tvorba zároveň šetrí aj čas. O dokončení procesu renderovania sa dá upozorniť emailom. Na webovej stránke je potom možné nahliadnuť na všetky rendre, upraviť ich alebo stiahnuť. Okrem statického obrázku je ďalej v ponuke panoráma, stereo panoráma, štúdie oslnenia, intenzita osvetlenia a točňa (objekt umiestnený na otočný stôl).

Všetky typy renderovania pripúšťajú zdieľanie s verejnosťou pomocou linku alebo QR kódu v závislosti od zvoleného typu. Virtuálne zdieľanie je eventuálne zrušené v závislosti od majiteľa projektu.

Naskenovaním obrázku 36 alebo zadaním jeho URL adresy do prehliadača, je možné započat' stereo panorámu vymodelovaného mauzólea.



Obrázok 36: Náhľad na QR kód

[https://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs%2F9ad90098-446a-4454-b19e-f8690fc14a08&version=2&fbclid=IwAR3oesHFu9NF517-YL6NCRjhtQ5DPTME7crhwqPthXixhZiI\\_wyzIDHq-c](https://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs%2F9ad90098-446a-4454-b19e-f8690fc14a08&version=2&fbclid=IwAR3oesHFu9NF517-YL6NCRjhtQ5DPTME7crhwqPthXixhZiI_wyzIDHq-c)

## 6. Ďalšie možnosti využitia dát a vizualizácie

Nasledujúca kapitola pojednáva o možnostiach využitia HBIM modelu. Dôraz je kladený najmä na skvalitnenie a rozšírenie možností vizualizácie modelu. Výsledkom toho má byť zlepšenie interakcie s týmto modelom za účelom jeho propagácie a medializácie. No zaoberá sa aj praktickou stránkou využitia pre potreby zachovania historického objektu, vďaka čomu bude možné lepšie sa postarať o zakonzervovanie kultúrneho dedičstva tohto typu.

### 6.1. Digital twin (Digitálne dvojča)

Predstavuje prienik rôznych technológií s cieľom vytvoriť „dvojča“ reálneho objektu. Jeho účelom pre HBIM je zachovanie objektu a jeho monitorovanie v súvislosti pre stanovenie potreby rekonštrukcie.

#### **Komponenty digitálneho dvojčat'a tvoria:**

**Model** – zachytáva predmety z reálneho sveta. Na základe požiadaviek sa volí úroveň presnosti a detailnosti zobrazovaného predmetu zo skutočnosti.

**Senzor** – prepája skutočný objekt s jeho digitálnym znázornením. Ide o pripojenie Internet of Things (IoT) v preklade internet vecí senzorov. Prijímače, bezdrôtovo monitorujú a zaznamenávajú veličiny z reálneho sveta o objekte záujmu. Sensory snímajú polohu, vlhkosť, teplotu a iné.

**Akčné zariadenie (Actuator)** – rozdielom medzi actuator a senzorom je schopnosť interagovať s prostredím. Kým senzor len prijíma dáta, nie je schopný nijako zasiahnuť do okolia, v ktorom sa nachádza. Na druhej strane actuator (motor, svetlo, hlásič zvuku) svoju akciu mení a zasahuje do prostredia.

**Dáta** – Ide o dáta pozbierané IoT senzormi. Tieto dáta závisia od senzoru, ktorý ich sníma. Ich obsahom je zameriavanie polohy, teploty, vlhkosti, tlaku či prítomnosti chemických látok až po vibrácie.

**Softvér** – Samotné dáta je potrebné pozbierať a vhodným softvérom analyzovať. Vďaka ním je možné vyhotovovať rôzne predikcie a scenáre a odvrátiť potenciálne riziká [39,40].

Niekedy dochádza k zamieňaniu pojmov Digital twin a BIM. Je dôležité pochopiť, že sa nejedná o synonymá. BIM predstavuje digitálny svet a Digital twin zas spojenie digitálneho a fyzického sveta. V odbore stavebníctva práve BIM tvorí kľúčový základ pre Digital Twin. Tento BIM základ musí ale spadať do kategórie LOD500, a teda musí ísť o overené dáta s reálnym objektom. Mimo stavebný sektor nachádza využitie Digital twin aj v zdravotníctve, doprave, strojníctve ...

Hlavnou výhodou aplikácie senzorov na historické budovy je kontinuálne monitorovanie ich zdravia. Práve vďaka nemu je možné zachytiť riziká a odvrátiť nenávratné narušenie kultúrneho dedičstva. Ponúka sa tu využitie senzorov najmä na meranie: vlhkosti, polohy, vibrácií, dymu, tepla, chemikálií a prítomnosť xylofágov. Voľba senzorov je úzko spätá s materiálom a vybavením konkrétnej budovy, keďže každý materiál je citlivý na iné prostredie. Drevené konštrukcie sú citlivé najmä na zmeny vlhkosti a prítomnosť hmyzu, ktorý ho požiera. Dymové a tepelné snímače zas včas informujú o vzniku požiaru. Čo sa týka snímačov pohyblivosti, vďaka nim je možné zaznamenať informácie o rôznych trhlinách a posunoch. Analýzou týchto dát a predikciou za pomoci simulácií je možné stanoviť hraničné hodnoty, kedy by došlo k statickému narušeniu objektu. Týmto snímaním je možné predísť zničeniu budovy, ale aj zraneniam jej návštevníkov.

## 6.2. Interaktívne zobrazenie modelu



*Obrázok 37: Pohľad na model v prostredí Enscape*

Interaktívne zobrazenie umožňuje vzájomnú komunikáciu medzi užívateľom a modelom. Použitý softvér teda priamo reaguje na akcie vyvolané užívateľom. Na zobrazovanie realistického obrazu modelu je potrebná určitá vybavenosť softvéru. Konkrétne ide o Real time rendering (RTR), ktorého podstata je v zobrazení 3D obrázkov za čo najkratší čas. Jeho výsledkom je scéna skladajúca sa z mnohých 3D pohľadov objavujúcich sa v reálnom čase v závislosti od interakcie. Využitie RTR je ale v spojitosti od účelu a potrieb konkrétneho zadania projektu. Mnoho vizualizácií projektov je stále obmedzených len na 2D obrázky. Aj keď aj tu nastal určitý posun v kvalite, je škoda nevyužiť tretí rozmer modelovaných objektov. Nedávna integrácia RTR do stavebných odvetví otvára nové spôsoby vizualizácie a interakcie s modelom. V posledných rokoch sa na túto oblasť kladú vysoké nároky. Forma obrázkov, videí alebo virtuálnych prechádzok je pre zákazníkov spôsob nahliadnutia na výsledky práce modelovania. A preto je dôležité v tejto oblasti napredovať a na trhu nezaostávať. Na druhej strane virtuálne prehliadky u mnohých objektoch môžu tvoriť jediné sprostredkovanie, ako nahliadnuť na budovy kultúrneho dedičstva.

### **Enscape:**

Predstavuje veľmi rýchle prepojenie RTR do pracovných postupov firiem. Ide o nadstavbu, ktorá je inštalovaná priamo do prostredia softvéru Revit. Jej ovládanie je celkom intuitívne, a preto nie je potrebné školenie personálu a učenie sa zložitosti. Mimo klasické renderovanie 2D obrázkov a videí umožňuje vytvoriť virtuálnu prechádzku objektom. Aplikovaním ovládačov pre virtuálnu realitu (VR) napríklad VR okuliarov, je tak prehĺbený zážitok. Vzniká simulácia pohybovania sa v objekte. Užívateľ má tak možnosť vidieť scénu a jej zmenu v čase v rôznej etape dňa či ročného obdobia. Presne tak ako si to sám navolí. Zároveň je prepojením zaručená okamžitá aktualizácia pri prevedení akejkoľvek zmeny v projekte Revitu. Zosumarizovaním Enscape ponúka mimo iné metódu jednoduchého prepojenia modelu s virtuálnou realitou. Obrázok 37 ukazuje náhľad na mauzóleum v prostredí Enscape.

### **Model v hernom prostredí:**

Na prvý pohľad netradičné spojenie dvoch odvetví. Prostredie prvotne určené na tvorbu videohier, nazvané game engine, spestruje ponuku vizualizácie pre BIM a samozrejme aj HBIM. Momentálne sa na trhu radia medzi najvyužívanejšie herné softvérové prostredia Unity a Unreal Engine. Obe ponúkajú po inštalácii svojej nadstavby možnosť načítať BIM model do svojho prostredia. Pre Unity ide o nadstavbu Reflect, a pre Unreal Engine je to Datasmith. Aktuálne je Datasmith voľne prístupný na stiahnutie. Bez týchto nadstavieb vkladať BIM/HBIM modely je vykonávané využitím .fbx formátu, ale s určitými obmedzeniami. Ďalej sa práca zaoberá využitím Unreal Engine.

## **Unreal Engine:**

Po vložení modelu do Unreal Engine je načítaná nielen geometria objektu, ale aj použité materiály. Nevýhodou Revit materiálov je, že v tomto prostredí už nie sú vždy postačujúce. Je to spôsobené práve so zvýšeným potenciálom grafickej reprezentácie objektu v hernom prostredí. Preto je vhodné tieto Revit materiály nahradiť adekvátnymi a vizuálne kvalitnejšími z prostredia Unreal Engine.

Značným plusom a rozdielom od ponuky Revit je interakcia medzi modelom a používateľom. Znázorňuje druhú alternatívu ako vytvoriť virtuálnu prechádzku objektom ovládaním myši a klávesnicových šípok. Tak užívateľ dokáže nahliadnúť do vymodelovaného objektu. Pripadne využiť Oculus (VR okuliare) alebo iné doplnky na virtuálnu prehliadku, a tým možnosti ešte prehĺbiť. Avšak je dôležité si uvedomiť, že síce ide o finančne jednoduchšie riešenie, ale o to náročnejšie na pochopenie a čas. Je potrebná značná investícia času na naučenie sa procesov tvorby v hernom prostredí.

Pre kultúrne dedičstvo je zaujímavé zrekonštruovanie modelov do pôvodného stavu v čase, kedy bola budova novostavbou. Vďaka hernému prostrediu je možné do projektu v Unreal Engine vkladať dobové prvky charakteristické pre čas a miesto odkiaľ budova pochádza. Týmto spôsobom je možná simulácia historického prostredia. Vloženým objektom v hernom prostredí sa dajú pridať pohyby. Namiesto statického stromu je potom strom, ktorý sa kolíše vo vetre. Iným spôsobom interakcie s predmetmi herného prostredia je ich uchopovať, prenášať a využívať (napríklad nejaké svietidlo). Pre plnohodnotné využitie historického obsahu sa ponúka aj napríklad možnosť vloženia postavy (charakteru), ktorá sprevádza užívateľa a „komunikuje“ s ním. Počas interakcie s modelom sú tak sprístupnené historické informácie, ktorými tieto objekty oplývajú.

Znázornenie hrobky v pôvodnom stave je na obrázku 38. Uvedením do pôvodného stavu znamenalo prerobenie stĺpu, strechy, odstránenie kovových roštov z podlahy, zábradlia a zmenenie materiálu na nepoškodený. Následne bolo dotvorené prostredie, ktorému boli pridané fyzické vlastnosti ako pohyb ohňa, vetru a otváranie dverí pri interagovaní s nimi.



*Obrázok 38: Pôvodný stav hrobky v prostredí Unreal Engine*

## 7. Záver

Moja práca sa zaoberala tvorbou informačného modelového systému historickej budovy. Jej hlavným zámerom bola tvorba HBIM digitálnej reprezentácie skutočnej budovy. Modelovanie bolo prevedené na podklade mračien bodov. Na zber a tvorbu týchto mračien bola využitá kombinácia technológií fotogrametrie a laserového skenovania. Pričom na tvorbu strechy bolo využité mračno vyhotovené fotogrametriou za pomoci dronu. Na zvyšok budovy bolo použité mračno laserového skenovania. Kombinácia týchto technológií je a aj bude kľúčová pre tvorbu modelov akýchkoľvek už existujúcich budov. Obe metódy sa medzi sebou vhodne dopĺňajú. Ich súčinnosť bola overená softvérom CloudCompare.

Samotná tvorba modelu prebehla v softvéri Revit. Boli použité postupy bez inštalácie nadstavieb tohto programu. Práca sa zamerala na jednotlivé kroky od importovania dát, tvorbu jednotlivých častí budovy, až po renderovanie a export výsledného modelu. Keďže objektom záujmu je historická budova, bolo potrebné tomu prispôbiť aj postup procesov BIM modelovania. U klasických budov modelovanie prebieha so značným využitím už existujúcich komponentov týchto budov. Pri historických budovách je takmer nemožné sa vyhnúť tzv. modelovaniu na mieste. Väčšina častí HBIM budov sa už nepoužíva, alebo je tak komplexná a jedinečná, že je nutné ju vymodelovať samostatne. Týka sa to najmä ríms, obložení, stĺpov a ďalších dekoračných prvkov. Pokračovaním práce je navrhnutie postupov ako porovnávať výsledky práce so skutočnou budovou. Jedným z nich je zhotovenie omerných mier finančne a technologicky nenáročné. Druhým spôsobom je opätovné využitie mračna bodov. Je nutné si uvedomiť, že mnohé z týchto budov sú už vplyvom času, prostredia a používania poškodené. Preto je nutná značná generalizácia pri ich modelovaní. Práve generalizovanie a nerovnomernosť opotrebovania budovy má vplyv na vznik rozdielov medzi modelom a skutočnosťou. V poslednej kapitole sú načrtnuté možnosti využitia výsledkov a ich prezentácie.

V závere práce je možné zhodnotiť, že sa modelovanie v softvéri Revit je mračno bodov vhodným podkladom aj pre historické budovy. Ide o spôsob zachovania skutočných budov v digitálnom prostredí. Tvorba HBIM tvorí základ pre rekonštrukčné procesy a umožňuje ich obnovenie do pôvodného stavu. Opísané možnosti vizualizácie priblížia historické dedičstvo verejnosti.



## 8. Bibliografia

- [1] Newsroom. The birth of BIM and the virtual model according to Eastman . *Biblus*. [Online] 31. Máj 2017. [Dátum: 24. Apríl 2019.] Dostupné z : <http://biblus.accasoftware.com/en/the-birth-of-bim-eastman/>.
- [2] Fram. 3D Modeling vs. CAD vs. BIM: What's the Difference? *G2*. [Online] 23. Október 2017. [Dátum: 19. Máj 2019.] Dostupné z : <https://learn.g2.com/3d-modeling-vs-cad-vs-bim>.
- [3] *The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design*. Eastman, Charles M. s.l. : AIA Journal, 1975.
- [4] Michl. Historie BIM. *Bimfo*. [Online] 23. Január 2019. [Dátum: 23. Apríl 2019.] Dostupné z : <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Historie-BIM.aspx>.
- [5] Jerry. Advantages and Disadvantages of BIM. *ArchiSnapper*. [Online] 15. Jún 2017. [Dátum: 23. Máj 2019.] Dostupné z : <http://blog.archisnapper.com/advantages-and-disadvantages-of-bim/>.
- [6] Grani, Hans Kristian. BIM objects - in the asset lifecycle. *Areo*. [Online] 26. Február 2016. [Dátum: 31. Január 2020.] Dostupné z : <https://blog.areo.io/bim-objects/>.
- [7] BIM | Building Information Modeling. *BSIgroup*. [Online] [Dátum: 31. Január 2020.] Dostupné z : <https://www.bsigroup.com/nl-NL/Building-Information-Modelling-BIM/bim-objects/>.
- [8] Autodesk. About the Different Kinds of Families. *Autodesk*. [Online] 2016. [Dátum: 5. December 2019.] Dostupné z : <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-Model/files/GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2-htm.html>.
- [9] BIMCommunity. BIM News. [Online] 12. Júl 2018. [Dátum: 31. Január 2020.] Dostupné z : <https://www.bimcommunity.com/news/load/910/ifc-why-now>.
- [10] Hamil, Dr Stephan. What is COBie? *NBS*. [Online] 29. Október 2018. [Dátum: 31. Január 2020.] Dostupné z : <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-cobie>.
- [11] BIM, European. Video EBS Day. BIM for developers and builders. Their fundamental role in the BIM process. *European bim summit*. [Online] 26. Február 2019. [Dátum: 31. Január 2020.] Dostupné z : <https://europeanbimsummit.com/ca/video-ebs-day-el-rol-fonamental-de-promotors-i-constructors-en-el-proces-bim/>.
- [12] Who We Are. *Building SMART*. [Online] 2020. [Dátum: 31. Január 2020.] Dostupné z : <https://www.buildingsmart.org/about/who-we-are/>.
- [13] Benjamin, Josseaux. The BIM revolution in building management. *Drawbotics*. [Online] 7. November 2018. [Dátum: 12. Júl 2019.] Dostupné z : <https://blog.drawbotics.com/2018/11/07/the-bim-revolution-in-building-management/>.

- [14] Bill, Adams. Understanding levels of BIM. *Redstackshop*. [Online] [Dátum: 12. Júl 2019.] Dostupné z : <https://www.redstackshop.com.au/understanding-levels-of-bim>.
- [15] Grani, Hans Kristian. Level of Development - LOD - as a Lifecycle BIM tool. *Areo*. [Online] 3. December 2016. [Dátum: 25. Február 2020.] Dostupné z : <https://blog.areo.io/level-of-development/>.
- [16] Ikerd, Will. Beating Chaos and Achieving Profits in BIM with LOD 350. *Structuremag*. [Online] August 2013. [Dátum: 25. Február 2020.] Dostupné z : <https://www.structuremag.org/?p=558>.
- [17] Adams, Bill. Levels of development, Levels of detail explained. *Redstackshop*. [Online] [Dátum: 23. August 2019.] Dostupné z : <https://www.redstackshop.com.au/levels-of-development-levels-of-detail-lod-explained>.
- [18] LOD simply explained: The LOD Kiwi. *Constructible*. [Online] 6. Marec 2016. [Dátum: 25. Február 2020.] Dostupné z : <https://constructible.trimble.com/construction-industry/lod-simply-explained-the-lod-kiwi>.
- [19] Ekoplastik. Jak a proč začít s BIM aneb odpovědi na otázky začátečníků. *tzbinfo*. [Online] 5. Marec 2019. [Dátum: 23. Máj 2019.] Dostupné z : <https://www.tzb-info.cz/bim/18721-jak-a-proc-zacit-s-bim-aneb-odpovedi-na-otazky-zacatecniku>.
- [20] *Historic building information modelling (HBIM)*. Maurice Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia. s.l. : Structural Survey , 2009.
- [21] What is HBIM? Let's find out about BIM applied to existing buildings . *Biblus*. [Online] [Dátum: 27. Február 2020.] Dostupné z : <http://biblus.accasoftware.com/en/what-is-hbim-lets-find-out-about-bim-applied-to-existing-buildings/>.
- [22] Pocobelli, Danae. twitter. [Online] 22. Máj 2018. [Dátum: 27. Február 2020.] Dostupné z : [https://twitter.com/danae\\_pocobelli/status/998920851293638656](https://twitter.com/danae_pocobelli/status/998920851293638656).
- [23] Historic England 2017 BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England.
- [24] BOMA. What are As-Built Drawings & Models? *xmeasures*. [Online] [Dátum: 26. Február 2020.] Dostupné z : <https://www.xmeasures.com/helpDesk/readMe/whatAreAsBuilts.php>.
- [25] Manuel Castellano-Román, Francisco Pinto-Puerto. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. *Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building InformationModelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez* . Cádiz, Spain : elsevier, 2019.
- [26] Frontera, Beatriz Gimeno. Documentación geométrica del Mausoleo Romano de Fabara. 2015.
- [27] Benavente, José Antonio. Historial del Bajo Aragón. [Online] 4. Január 2013. [Dátum: 26. Február 2020.] Dostupné z :

<https://historiasdelbajoaragon.wordpress.com/2013/01/04/el-mausoleo-romano-de-fabara-zaragoza-y-su-sorprendente-conservacion/>.

[28] CloudCompare3D point cloud and mesh processing software. *danielgm*. [Online] [Dátum: 2. Marec 2020.] Dostupné z : <https://www.danielgm.net/cc/>.

[29] Schütz, Markus. Potree: Rendering Large Point Clouds in Web Browsers TU Wien. *TU Wien*. [Online] 23. Máj 2017. [Dátum: 2. Marec 2020.] Dostupné z : <https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2016/SCHUETZ-2016-POT/>.

[30] Getting started. *Potree*. [Online] [Dátum: 2. Marec 2020.] Dostupné z : [http://potree.org/getting\\_started.html](http://potree.org/getting_started.html).

[31] Autodesk. Revit Přehled. [Online] [Dátum: 17. Máj 2020.] Dostupné z : <https://www.autodesk.cz/products/revit/overview>.

[32] Novotná, RNDr. Helena. *Základy BIM – Revit Architecture*. Brno : Vydavatel: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. ISBN 978-80-214-5023-3.

[33] Bilová, Karolína. 3D Revit blog. [Online] 28. Jún 2019. [Dátum: 5. Máj 2020.] <https://www.revit3dblog.cz/jak-na-mracna-bodu-aneb-autodesk-recap-1/>.

[34] Novotná, RNDr. Helena. *Základy BIM II - Revit Architecture pokričilé kapitoly*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-214-5199-5.

[35] Radle, Josh. PBR Materials for Revit: What These Materials Mean and How You Can Use Them. *Autodesk University*. [Online] [Dátum: 12. Máj 2020.] Dostupné z : <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/PBR-Materials-Revit-What-These-Materials-Mean-and-How-You-Can-Use-Them-2019>.

[36] Tuytel, Rob. sandstone\_blocks\_04. Texturehaven. [Online] 13. Január 2019. [Dátum: 29. Apríl 2020.] [https://texturehaven.com/tex/?t=sandstone\\_blocks\\_04](https://texturehaven.com/tex/?t=sandstone_blocks_04).

[37] Autodesk. BIM & GIS Integration. *Transforming infrastructure planning, design, construction and operation*. 2008.

[38] Autodesk. Welcome to Autodesk Viewer help. *Autodesk instant viewer*. [Online] [Dátum: 10. Apríl 2020.] Dostupné z : <https://autodeskinstantviewer.uservoice.com/knowledgebase/articles/1196281>.

[39] Capers, Zach. Digital twin: An example of related technologies converging. *GetApp*. [Online] 3. December 2018. [Dátum: 23. Apríl 2020.] Dostupné z : <https://lab.getapp.com/digital-twin/>.

[40] Daskalova, Mariela. The ‘digital twin’ – a bridge between the physical and the digital world. *cobuilder*. [Online] 5. Júl 2018. [Dátum: 23. Apríl 2020.] Dostupné z : <https://cobuilder.com/en/the-digital-twin-a-bridge-between-the-physical-and-the-digital-world/>.

## 9. Zoznam použitých skratiek

AR	Augmented Reality (Rozšírená realita)
BIM	Building Information Modeling (Informačné modelovanie budov)
CAD	Computer Aided Design (Počítačom podporované projektovanie)
DMT	Digitálny Model Terénu
HBIM	Historic Building Information Modeling (Informačné modelovanie historických budov)
LOD	Level Of Development (Úroveň vývoja)
LOG	Level Of Geometry (Úroveň geometrie)
LOI	Level Of Information (Úroveň informácií)
LOK	Level Of Knowledge (Úroveň znalostí)
PBR	Physically Based Rendering (Renderovanie na fyzikálnom základe)
RTR	Real Time Rendering (Renderovanie v reálnom čase)
VR	Virtuálna realita

## 10. Zoznam použitých obrázkov a tabuliek

Obrázok 1: Životný cyklus stavby v BIM [2].....	11
Obrázok 2: Kľúčová spolupráca [5] .....	12
Obrázok 3: Skladba BIM objektu [7] .....	13
Obrázok 4: IFC štandard [9].....	14
Obrázok 5: COBie [10].....	14
Obrázok 6: Klasický prístup a BIM prístup [12].....	15
Obrázok 7: Levely BIM [13].....	16
Obrázok 8: Znázornenie rozdielov medzi LOD100 – LOD400 [16].....	17
Obrázok 9: Rozdiel medzi CAD a BIM [19].....	19
Obrázok 10: Porovnanie historickej a modernej budovy, Brno [vlastný] .....	21
Obrázok 11: HBIM životný cyklus [22].....	22
Obrázok 12: Nákres zhotovený architektom Puig i Caldafalch v roku 1934 [27].....	26
Obrázok 13: Pôvodný vzhľad budovy aj s písmenami [27] .....	27
Obrázok 14: Súčasný vzhľad Mauzólea [26] .....	27
Obrázok 15: Mračno bodov zobrazené podľa intenzity odrazu.....	28
Obrázok 16: Mračno bodov z laserového skenovania .....	29
Obrázok 17: Mračno bodov z fotogrametrie .....	30
Obrázok 18: Porovnanie mračien v CloudCompare.....	31
Obrázok 19: Ukážka rozhrania Xampp a zapnutého Apache .....	32
Obrázok 20: Ukážka mračna vo webovom prostredí, Potree .....	33
Obrázok 21: Umiestnené mračno a levely.....	35
Obrázok 22: Pôdorys stien prízemí.....	36
Obrázok 23: Fasáda s rímsami.....	37
Obrázok 24: Náhľad na časť suterénu hrobky (hmota vysunutím) .....	38
Obrázok 25: Náhľad na použité profily v projekte.....	39
Obrázok 26: Funkcia sweep .....	40
Obrázok 27: Modely stĺpov mauzólea.....	40
Obrázok 28: Základný kovový rošt na podlahe.....	41
Obrázok 29: Podlaha prízemí mauzólea .....	41
Obrázok 30: Mapy PBR [36].....	42
Obrázok 31: Materiál pred (A) a po (B) aplikácií filtrov .....	43

Obrázok 32: Schémy omerných mier .....	46
Obrázok 33: Výsledok porovnania meshu (zástupca modelu) s mračnom bodov.....	47
Obrázok 34: Výsledok porovnanie pri obmedzení intervalu na $\pm 6$ cm .....	48
Obrázok 35: Ukážka z Autodesk Viewer .....	49
Obrázok 36: Náhľad na QR kód <a href="https://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs%2F9ad90098-446a-4454-b19e-f8690fc14a08&amp;version=2&amp;fbclid=IwAR3oesHFu9NF517-YL6NCR_jhtQ5D_PTME7crhwqPthXixhZiI_wyzIDHaq-c">https://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs%2F9ad90098-446a-4454-b19e-f8690fc14a08&amp;version=2&amp;fbclid=IwAR3oesHFu9NF517-YL6NCR_jhtQ5D_PTME7crhwqPthXixhZiI_wyzIDHaq-c</a> .....	50
Obrázok 37: Pohľad na model v prostredí Enscape .....	52
Obrázok 38: Pôvodný stav hrobky v prostredí Unreal Engine .....	55
Tabuľka 1: Porovnanie rozmerov modelu s omernými mierami.....	48

## **11. Zoznam príloh**

- Príloha 1: Exteriér modelu budovy s denným osvetlením 1
- Príloha 2: Exteriér modelu budovy s denným osvetlením 2
- Príloha 3: Exteriér budovy s večerným osvetlením
- Príloha 4: Interiér suterénu budovy 1
- Príloha 5: Interiér suterénu budovy 2
- Príloha 6: Interiér prvého poschodia budovy
- Príloha 7: Detailný pohľad na materiál budovy

Príloha 1: Exteriér modelu budovy s denným osvetlením 1





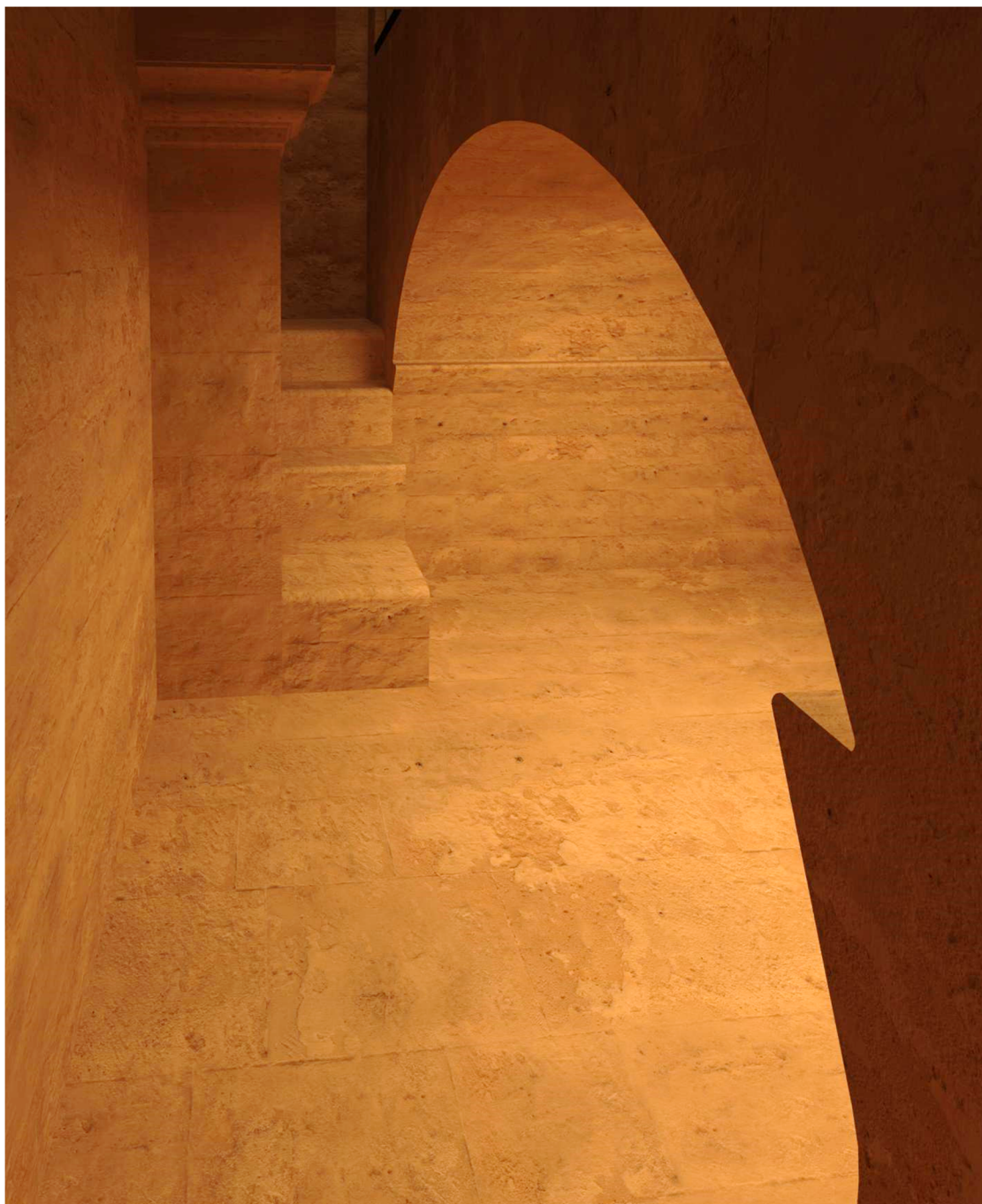
Príloha 2: Exteriér modelu budovy s denným osvetlením 2



Príloha 3: Exteriér budovy s večerným osvetlením



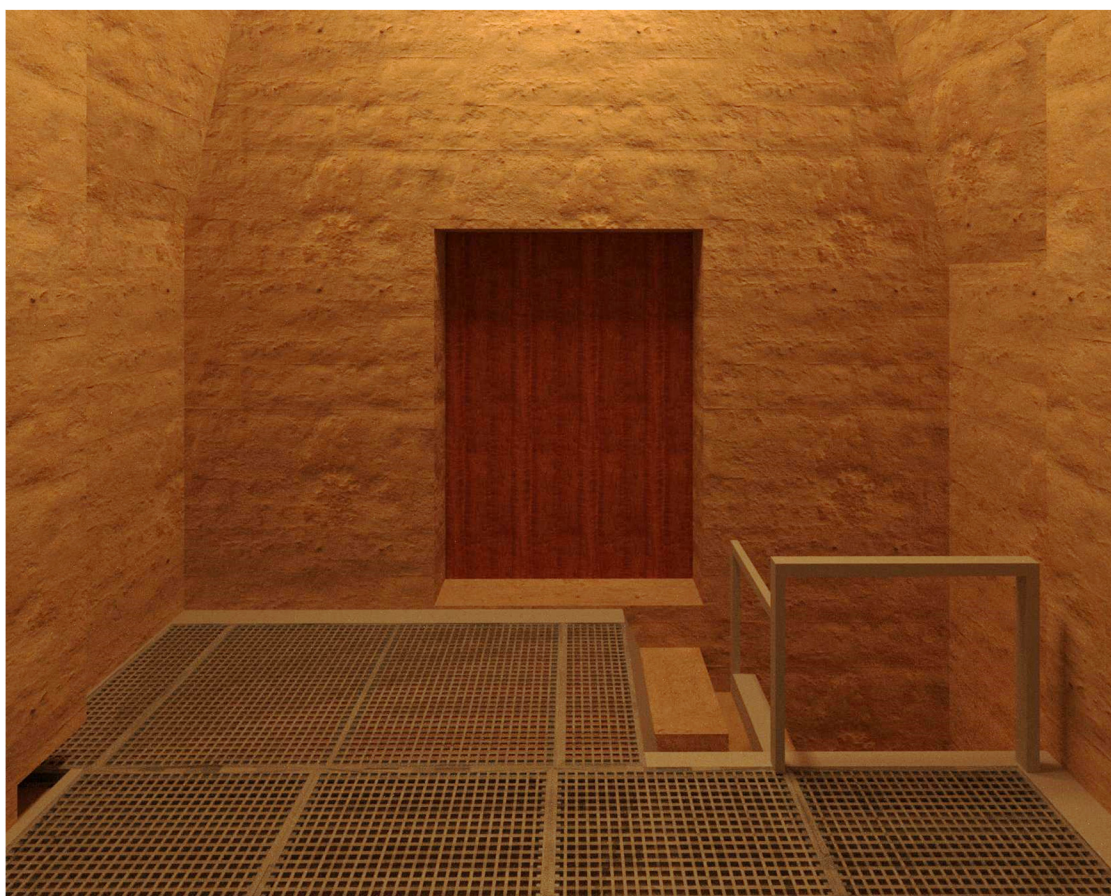
Príloha 4: Interiér suterénu budovy 1



Príloha 5: Interiér suterénu budovy 2



Príloha 6: Interiér prvého poschodia budovy



Príloha 7: Detailný pohľad na materiál budovy

