



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

INFORMAČNÍ MODELOVÁNÍ BUDOV A MOŽNOSTI PUBLIKOVÁNÍ MODELU

BUILDING INFORMATION MODELING AND POSSIBILITIES OF PUBLISHING A MODEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ladislav Horník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KURUC, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0532A260001 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ladislav Horník
Název	Informační modelování budov a možnosti publikování modelu
Vedoucí práce	Ing. Michal Kuruc, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

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. 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.

Bc. David Penk: Vyhotovení 3D modelu části budovy SPŠ stavební Brno. Brno, 2021. 74 s., 4 příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

Manuály a tutoriály programu Autodesk Revit

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce popište proces modelování budovy z mračna bodů na vybraném objektu v SW Autodesk Revit, zejména se soustřeďte na popis tvorby rodin pro vybrané typy objektů. Vyhotovejte ukázkou rodin pro vybrané prvky ve formátu *.rfa, jejich použití v informačním modelu doložte pomocí vizualizací modelu budovy.

Dále proveďte rešerši variant publikování výsledného modelu do formátů dostupných pro koncového uživatele (PDF, 3D PDF, webová aplikace, herní prostředí atd.).

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. Michal Kuruc, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou BIM popsané na budově Maxmiliánova dvoru v Kroměříži a následnou prací s 3D daty zaměřenou na tvorbu funkčních rodin a na možnosti publikování a vizualizace modelu této budovy. V teoretické části jsou představeny základy metodiky informačního modelování budovy. Praktická část nejprve popisuje proces vytváření modelových rodin z mračna bodů v prostředí softwaru Autodesk Revit. Na výsledném modelu budovy jsou popsány a demonstrovány vybrané varianty publikování a vizualizace výsledného modelu, především s využitím softwaru Autodesk Revit a herního engine Unreal Engine.

KLÍČOVÁ SLOVA

BIM, informační modelování budovy, Revit, rodiny, Unreal Engine, publikace prostorových dat, vizualizace

ABSTRACT

The master's thesis deals with the issue of BIM described on the Maximilian's farmyard building and subsequent operation with 3D data focused on creating functional families making and the possibilities of publishing and visualizing the model. The theoretical part presents the basics of the Building Information Modeling methodology. The practical part starts with describing the process of creating model families from the point clouds in the Autodesk Revit software environment. Selected variants of publishing and visualization of the resulting model are described and demonstrated on the resulting model of the building, especially using Autodesk Revit software and Unreal Engine 3D computer graphics game engine.

KEYWORDS

BIM, building information modeling, Revit, families, Unreal Engine, publication of spatial data, visualization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Ladislav Horník *Informační modelování budov a možnosti publikování modelu*.
Brno, 2022. 70 s., 13 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Informační modelování budov a možnosti publikování modelu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 18. 5. 2022

Bc. Ladislav Horník
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Informační modelování budov a možnosti publikování modelu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 18. 5. 2022

Bc. Ladislav Horník
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kurucovi, Ph.D., za jeho vstřícnost při konzultacích a také konstruktivní připomínky a podněty, které mi poskytoval v průběhu celé její tvorby. Rovněž bych rád poděkoval své rodině a blízkým přátelům za neustálou podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Informační modelování budov – BIM.....	11
2.1	Úvod do BIM.....	11
2.2	Historický vývoj	12
2.3	Bilance silných a slabých stránek BIM.....	14
2.4	Formát IFC	16
2.5	Dimenze modelů.....	16
2.6	Informační podrobnost modelu.....	18
2.7	Koncepce BIM v České republice	19
3	Pořízení a práce s 3D daty.....	22
3.1	Technologický přehled	22
3.1.1	Laserové skenování.....	22
3.1.2	Fotogrammetrie.....	23
3.1.3	Klasické geodetické metody	23
3.2	Software.....	24
3.3	Maxmiliánův dvůr	25
3.4	Měřické práce	26
4	Autodesk Revit.....	27
4.1	Vztah k BIM.....	27
4.2	Tvorba rodin	29
4.2.1	Prostředí a modelovací nástroje	29
4.2.2	Okna.....	33
4.2.3	Dveře.....	37
4.3	Publikace dat	38
4.4	Vyhodnocení přesnosti	41
5	Unreal Engine.....	43
5.1	UE4 a jeho dostupnost uživatelům	43
5.2	Uživatelské prostředí	44
5.3	Zavádění výchozího 3D modelu	46
5.4	Tvorba terénu.....	47
5.5	Materiály.....	49
5.6	Úprava scény	51
5.7	Grafické výstupy.....	54

6	Další možnosti publikování modelu.....	57
6.1	Webová aplikace.....	57
6.2	Mobilní aplikace.....	58
6.3	3D tisk	59
7	Závěr	61
8	Seznam použitých zdrojů	63
9	Seznam použitých obrázků a tabulek.....	67
10	Seznam použitých zkratk.....	69
11	Seznam příloh.....	70

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je seznámení s metodikou BIM, popis tvorby uživatelských rodin pro BIM a také možností publikování 3D modelu. Nadále by měla sloužit jako podklad při tvorbě rodin a práci s 3D modely v oblasti publikace, vizualizace a prezentace koncovým uživatelům.

Závěrečná práce je strukturalizována do 11 kapitol. Teoretická část práce nejprve vyhrazuje prostor pro představení metodiky informačního modelování budov. Počínaje historií, postupným vývojem je poté charakterizována její podstata a současná podoba včetně její bilance silných a slabých stránek. Představena je rovněž koncepce zavádění BIM do praxe na území České republiky a ve školství. Následuje stručné uvedení metod sběru 3D dat pro dotyčnou metodiku a příklady softwarů uzpůsobených pro práci s ní.

Představením Maxmiliánova dvora, objektu, jehož prostorová data jsou předmětem následné činnosti, a popisem části měřických činností se práce přesouvá do své praktické složky. Lze ji rozdělit na dvě hlavní části, tvorbu rodin a publikování modelu celé budovy. Demonstrace možností prezentace prostorových dat probíhá ve dvou různých prostředích.

V softwaru Autodesk Revit je nejprve přiblíženo uživatelské prostředí a poté popisován postup tvorby dvou jedinečných uživatelských rodin okna a dveří objektu. Dále byl převzat vyhotovený model celé budovy obsahující tyto rodiny. Na něm byly předvedeny možnosti vizualizace zahrnující tvorbu snímků a tvorbu 3D pdf. Kapitulu zakončíme vyhodnocením přesnosti modelu prostřednictvím kontrolních bodů.

Poté se přesunujeme k práci s modelem v herním prostředí. S využitím pluginu je proveden převod modelu do herního engine Unreal Engine. Zde se již ukazuje potenciál engine dodáváním realističnosti modelu i jeho blízkému okolí. Popisuje se tvorba speciálního materiálu a celé scény. Kromě výstupů v podobě snímků je prostor věnován i tvorbě videoprohlídky pomocí nástroje pro animace.

Hlavní podstata práce tkví v popisu činností s prostorovými daty. Jednak při konstrukci uživatelské rodiny, ale také při demonstraci možností, jakými mohou uživatelé využít potenciálu svého modelu pro co nejlepší prezentaci svého produktu před koncovým uživatelem. Vzhledem k rychlému rozvoji v těchto oblastech bylo pro diplomovou práci čerpáno především z pramenů mladších tří let.

2 Informační modelování budov – BIM

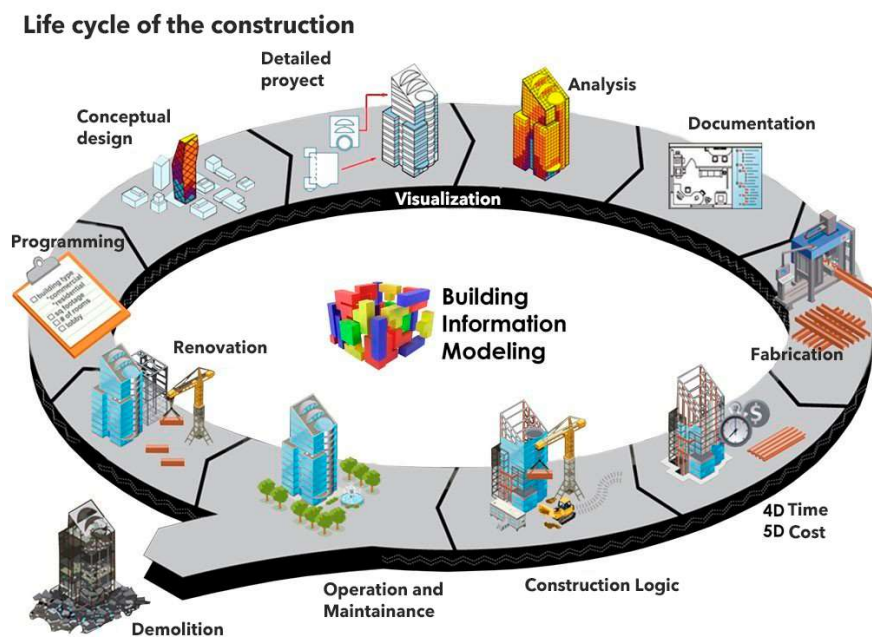
Úvodní kapitola poskytuje nahlédnutí pod roušku jedné z nejslibněji se vyvíjejících vymožeností představující digitální pracovní metodu určenou nejen pro stavební průmysl. Nabízí vyšší efektivitu jak spolupráce, tak i využívání technologií, úspory v oblasti údržby a provozu objektu, pokles rizik a je velkým příslibem do budoucnosti.

2.1 Úvod do BIM

Zkratka BIM má původ v anglickém výrazu Building Information Modeling nebo Building Information Management a česky se obvykle překládá jako informační model/modelování budovy. Zavedená zkratka se běžně používá od roku 2002.

BIM označuje metodiku umožňující proces vytváření, správy a užití dat o stavbě v průběhu celého jejího životního cyklu, tj. počínaje stavebním návrhem, přes výstavbu, správu, rekonstrukci a konče fází likvidace a uvedení do původního stavu. Jedná se v zásadě o otevřenou databázi informací o stavbě. [1]

Patrick Suermann z Národního BIM Standardu Spojených států (NBIMS-US™) jej definuje jako digitální reprezentaci fyzických a funkčních charakteristik stavby od jejího počátku dále a sdílené úložiště informací o stavbě, budující spolehlivou základnu pro spolupráci v průběhu jejího životního cyklu vyobrazeného v následujícím obrázku. [2]



Obr. 1: Vztah BIM vůči životnímu cyklu budovy [3]

Fyzická charakteristika zobrazuje model budovy jako skupinu 3D těles představujících geometrické uspořádání budovy za účelem jejího zobrazení. Funkční charakteristika zastupuje objektově orientovaný informační systém, kde jsou jednotlivým součástem přiřazeny další kvalitativní údaje pro stanovený účel jejich užití. Může se tedy jednat o technické informace konstrukčních prvků, jejich statické parametry, vzájemné vazby na ostatní prvky, ale i životnost a intervaly údržby. [4]

BIM si tedy nelze posadit do role softwaru či pouhého 3D modelu stavby, jde o propojení BIM modelu s procesem BIM modelování. Zahrnuje nejen vlastní informace, ale i pravidla pro práci s nimi. Výsledkem je akumulace všech informací o stavbě, a tedy vznik ucelené informační databáze. Produktem se stane inteligentní 3D model budovy spravující široké spektrum údajů o jednotlivých stavebních prvcích. Silnou stránkou je možnost přispívat do databáze z pozice všech účastníků stavebního procesu, což vede k účinnému předávání informací mezi nimi. [1]

2.2 Historický vývoj

Za vznikem této metodiky si nelze představit jednoho člověka, spíše je výsledkem severoamerických, severoevropských i japonských inovací a implementace vizí některých tehdejších technologických průkopníků a úspěšných podnikatelů v oblasti stavitelství a informačních technologií.

Jedním z prvních byl i Douglas C. Englebart, americký vynálezce a IT novátor, který v roce 1962 zveřejnil práci s názvem „Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework“. V ní představil své vize architekta budoucnosti využívajícího parametrickou manipulaci, objektovou podstatu či relační databáze:

“The architect next begins to enter a series of specifications and data—a six-inch slab floor, twelve-inch concrete walls eight feet high within the excavation, and so on. When he has finished, the revised scene appears on the screen. A structure is taking shape. He examines it, adjusts it... These lists grow into an detailed, interlinked structure, which represents the maturing thought behind the actual design.” [5]

V 70. letech publikoval americký profesor Charles M. Eastman, jenž je považován za průkopníka informačního modelování budov, článek, ve kterém popisuje zefektivnění stavebního procesu. Zde se konkrétně zabýval interaktivními prvky kombinujícími

veškeré informace o stavbě v jediném dokumentu. Každá změna projektu se projevila zároveň ve všech výkresech. Prvním projektem konceptu databáze stavby byl program BDS (Building Description System). Obsahoval knihovnu prvků, jež se mohly vkládat do modelu. Mimo to bylo umožněno na základě konkrétních atributů získávat data z databáze. Následný Eastmanův projekt GLIDE (Graphical Language for Interactive Design) z roku 1977 pak již vykazuje většinu podstatných rysů moderní BIM platformy. [6]

Termín „Building Modeling“ poprvé dokumentoval Robert Aish v roce 1986, kdy ve svém dokumentu představoval koncepci, dnes známou jako BIM, a technologii pro její zavedení. Později byl prvně v dokumentaci uveden též pojem „Building Information Model“, a to v roce 1992 v knize Automatizace ve stavebnictví od G.A. Van Nederveena a F.P. Tolmana. [7]

Prvním průkopníkem v oblasti software je označován britský RUCAPS (Really Universal Computer Aided Production System), který už od 80. let pracoval s 3D informacemi. Následně se stal předlohou pro systémy Sonata či Reflex. Zdroje uvádí, že se RUCAPS stal inspirací pro vývojáře firmy Revit Technology Corporation (RTC), jež byla později v roce 2002 odkoupena Autodeskem. Její produkt Revit v současnosti zastává pozici nejrozšířenějšího softwaru v oblasti BIM navrhování a nahrazuje předchozí projekční postupy využívající CAD a DWG soubory. [6]

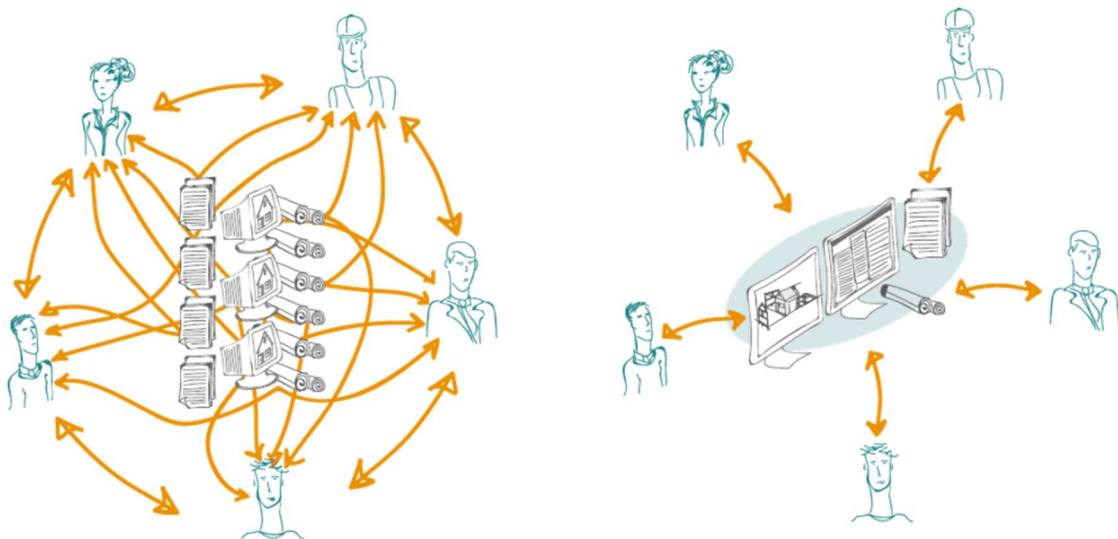
V minulé dekádě se BIM rozvíjel od technických konceptů k systému, který efektivně a hospodárně využívá veškeré informace zahrnuté v BIM projektu, navíc je má k dispozici po celý životní cyklus stavby. Legislativy jednotlivých států jsou postupně doplňovány o požadavky na BIM data za účelem využití např. v oblasti veřejných zakázek. Stejně tak sílí potřeba úpravy vzdělávání, aby bylo dosaženo potřebného stupně znalostí této metodiky. [6]

V současnosti výrobci stavebních komponent vytvářejí parametrické BIM knihovny svých výrobků nebo celých prefabrikovaných celků. Odměnou jim je efektivnější proces navrhování a účinnější propagace. Běžnou (ale ne všeobecnou) praxí je dnes i propojování BIM softwarů s cloudem, technologií 3D tisku, prefabrikačními nástroji, nástroji pro 3D skenování, monitorovacími senzory či s 3D vizualizačními technologiemi pro virtuální a rozšířenou realitu. [6]

2.3 Bilance silných a slabých stránek BIM

Obecně žádná metodika ani technologie není zcela dokonalá. Může s sebou jednat nést značný pokrok a urychlit či usnadnit různé procesy, tak také zpravidla naráží i na různé překážky, ať technické nebo lidské povahy. A právě lidský faktor tu zaujímá podstatnou roli. Je tedy vhodné si i zde pojmenovat silné a slabé stránky jejího zavedení.

Mezi největší pozitiva zcela určitě řadíme časovou i finanční úsporu spojenou s usnadněním komunikace mezi jednotlivými účastníky v životním cyklu stavby nezávisle na jejich funkci v rámci cyklu. Zmínění účastníci popořadě vkládají a spravují jednotlivé části informací v reálném čase, zatímco jsou tyto informace pohromadě na jednom místě v jedné databázi. Umožňujeme tím zefektivnit proces předávání informací a předejít chybám, jež vznikají ztrátou či dezinterpretací informací v důsledku komunikace písemnou formou mezi jednotlivými aktéry (viz obr. 2). Samotné hledání a opravy těchto chyb obvykle působí podstatné finanční a časové ztráty. Akumulace přesných informací představuje výhodnou investici do budoucna. V průběhu životního cyklu stavby se většina nákladů nekoncentruje ve fázi koupě pozemku a pořízení stavby, nýbrž více než dvě třetiny celkových nákladů pojímá následná údržba, opravy a provoz. Přestože se jedná o významně delší časové období, potřebné informace ve své digitální podobě nechátrají jako v případě původní tištěné podoby. [8]



Obr. 2: Demontrace zefektivnění předávání informací - tradiční procesy vs. BIM [9]

Správně koncipovaný BIM model popisuje fyzický stav stavby v takovém detailu, aby se nevyžadovaly další doplňující informace. Je tedy již od fáze projektu stanoveno,

kteře prvky a objekty bude stavba obsahovat. Prvky nesou informace o svých základních rozměrech, materiálu, barvě, tepelných a statických vlastnostech, výrobci atd. Jimi se naplní knihovny rodn pro tvorbu komplexního modelu. Nabízí se tvorba nepřeborného množství situací a analýz nad modelem, pořizování řezů nebo výkresové dokumentace. Umožňuje též zobrazení cen komponentů dovolující lepší nacenění projektu. [8]

Nemalým přínosem je i správa časových informací, a tedy možnost kontroly dodržování harmonogramu stavby nebo naplňování projektu. Z hlediska údržby je velmi výhodné mít pohromadě časové údaje o všech revizích, výměnách komponentů a vybavení, ať již uskutečněných anebo plánovaných. [8]

Jednou z nevýhod spojených se zaváděním BIM se řadí záležitosti legislativy, především v oblasti vlastnictví, ochrany autorských práv a veřejnosti BIM modelu. Důvodem je množství uživatelů podílejících se na jeho tvorbě. Kupříkladu investor může vymáhat nárok na návrh, za který zaplatil, a současně může také vystoupit producent jednotlivých komponentů, jenž poskytl jejich specifikace, nárokuje si své autorské právo. Je tedy dobré těmto situacím a případným následným právním sporům předejít a výše zmíněnou problematiku ošetřit vhodnými smlouvami a dalšími právními dokumenty. [8]

Podobný problém se ukazuje rovněž v otázce zodpovědnosti. Protože s modelem zpravidla nakládá vysoký počet uživatelů, je mnohdy obtížné přiřadit případnou chybu konkrétní osobě. Určují se proto osoby zodpovědné za kontrolu a přesnost vkládaných dat. Musíme ovšem přihlédnout k zárukám a odmítnutím odpovědnosti návrhářů, což zvyšuje nároky na čas pro vkládání a kontrolu dat. [8]

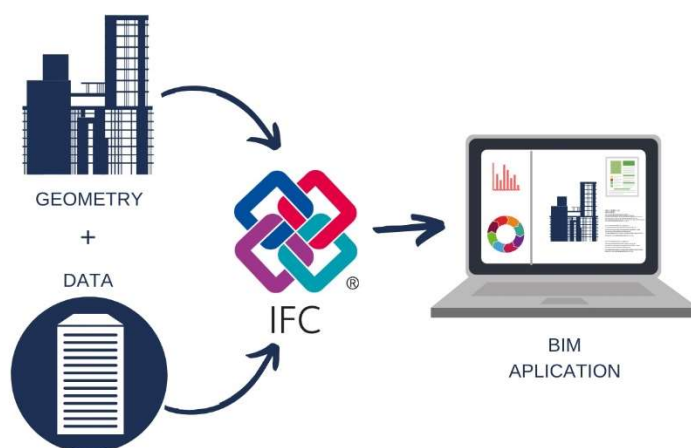
Dostí diskutovanou nevýhodou zavedení BIM jsou i požadavky na jeho vybudování, předcházející samotnému návrhu. Lze sem například zahrnout náklady na softwary, úložiště, technickou podporu nebo i lidi, jejich proškolení a seznámení s prací v BIM. Z takového zásahu do celého podniku samozřejmě vyplývá i nedostatečná iniciativa v oblasti zavádění BIM z pozice některých investorů, uživatelů nebo správců staveb. [8]

BIM model se vede v určitém formátu, proto může taktéž do procesu negativně zasáhnout nekompatibilita předávaných dat. Přirozeně společnosti nepracují v jednotných softwarech a může tedy nastat situace, kdy někteří uživatelé využívají softwarová či systémová řešení neumožňující přímý přenos těchto informací. Řešení může přinášet kupříkladu export dat pro vybrané uživatele do jiných formátů. [8]

2.4 Formát IFC

Navazující na závěr předchozí podkapitoly je vhodné se nyní blíže seznámit s formátem IFC (The Industry Foundation Classes). Jelikož je standart formátu IFC již z globálního hlediska vymezen, je pro něj závazná mezinárodní norma ISO 16739. V České republice byla převzata a stala se součástí souboru českých státních norem pod označením ČSN EN ISO 16739:2017. [1]

Jedná se o otevřený souborový formát určený pro vzájemnou komunikaci mezi BIM aplikacemi. Vývoj IFC spadá pod mezinárodní organizaci s kořeny ve Spojených státech buildingSMART, formát má ale statut neutrálního produktu a je nezávislý na konkrétním výrobci. Jak vyobrazuje schéma v obrázku níže, datový soubor obsahuje všechny informace o prostorovém uspořádání. Komponenty mohou nést mnoho dalších informací jako typ, materiálové vlastnosti, cenu, výrobce, časovou složku, analýzy atd. [10]



Obr. 3: Formát IFC [11]

2.5 Dimenze modelů

Extrahování rozličných dat z modelu BIM může sloužit k aplikaci v různých odvětvích či oblastech. V kontextu jeho vícenásobného použití při řízení projektů hovoříme o modelech různých dimenzí. [12]

3D/BIM model reprezentuje sadu parametrických 3D objektů jakékoli specializace (architektura, mechanika, elektrická síť a jiné), která v sobě zahrnuje několik aspektů stavby (od geometrie přes vzájemné prostorové vztahy, strukturu komponentů až po materiální složení každého prvku). [12]

4D/BIM model přináší časový aspekt do modelu. Díky tomu lze analyzovat projekt, jeho stav nebo funkce v průběhu času. Model nabízí dynamickou podporu plánování fází a kritických bodů výstavby, správu logistiky, lokální změny, instalaci komponent, chronologické kontroly zásobování materiálem anebo dostupnost způsobilého personálu. Předkládá také simulaci BIM modelu z pohledu trvanlivosti konstrukce. [12] [13]

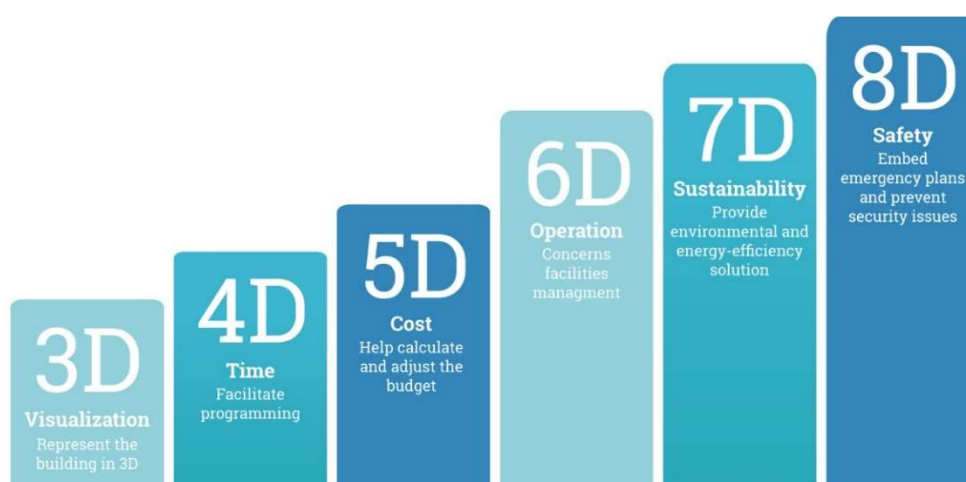
5D/BIM model přidává finanční stránku. Součástí jsou analýzy zaměřené na objem využitého a potřebného materiálu. Pomáhá s tvorbou přesných kalkulací a výkazů v různých etapách stavby. Můžeme lépe hlídat náklady, cenové dopady jednotlivých variant projektu nebo analyzovat finanční dopady změn projektu. 5D nabízí uplatnění i v oblasti prefabrikace. Nespornou výhodou se stává úspora nákladů. [12] [13]

6D/BIM model podporuje implementaci studií v oblasti energií a udržitelnosti. Zde se již zabýváme i odhadovanou spotřebou energie, měřením a verifikací její spotřeby v době užívání stavby. [12]

7D/BIM model cílí na správu a údržbu stavby v průběhu celého životního cyklu. Umožňuje simulaci jednotlivých řešení, což vede k optimalizaci správy. V některých přehledech dimenzí bývá zaměňován s 6D/BIM modelem. [12] [15]

8D/BIM model se pak zabývá bezpečností a prevencí nehod nejen v průběhu realizace stavby, ale po celý životní cyklus stavby. Lze jím predikovat potenciální rizika a obohatit systém o bezpečnostní prvky i ukazatele hrozících rizik. [15]

Uvedené dimenze jsou shrnuty v následujícím obrázku:



Obr. 4: Dimenze BIM modelů [14]

2.6 Informační podrobnost modelu

Level of Development nebo Level of Definition, známější pod zkratkou LOD, představuje doporučení umožňující specialistům ve stavební praxi přesně konkretizovat a naformulovat grafickou a informační podrobnost informačního modelu stavby v jednotlivých etapách návrhu. Můžeme jej považovat za jakési měřítko způsobu reprezentace informací stanoveného prvku, ale ne nutně za měřítko množství informací. Rovněž není definicí přesnosti grafického zpracování prvku, to zastupuje pouze určitou část informací a často nenabývá významu srovnatelného s jinými složkami informací. Například pro dodavatele BIM elementu je podstatnější vědět výrobce, označení modelu, popřípadě jeho rozměry, než vzhled či jeho následnou polohu v modelu. [16]

LOD má více výkladů, nejznámějšími jsou anglický podle National Building Specification a americký podle American Institute of Architects, které se dosti podobají a rozcházejí se jen v názvosloví či drobných detailech. Znamější je u nás pravděpodobně americký systém zahrnující 5 fází od LOD 100 do LOD 500: [17]

LOD 100 představuje fázi studie. Model obsahuje pouze základní výměry ploch a objemů, dále orientace ke světovým stranám, umístění v terénu a obvykle i odhad nákladů. Stavba je reprezentována pouze 2D bloky. [18]

LOD 200 je etapou rozpracovaného návrhu. V modelu jsou obsaženy návrhy konstrukcí, vnitřního prostředí a informace o jejich přibližném tvaru, velikosti, orientaci umístění atd., avšak bez širších podrobností. [18]

LOD 300 označuje stádium finálního návrhu. Model zde představuje poslední stupeň návrhu, příhodný ke zpracování položkového rozpočtu stavby, tj. souhrnu informací o nákladech stavebního díla. Jednotlivé prvky mají konkrétní rozměry a jednotlivé obory jsou zkoordinovány. Své využití tato úroveň nachází i ve zpracování tradiční projektové dokumentace stavby. [18]

LOD 400, též fáze realizace, je míra podrobnosti popisující model, který již obsahuje konkrétní návrh konstrukcí a vnitřního prostředí. Jeho každý element obsahuje technická data od výrobců a dodavatelů. Zpracování modelu se provádí do takové míry podrobnosti, že jej lze uplatnit ve výrobě jednotlivých prvků, jejich následné montáži nebo pro tvorbu

dokumentace ve formě vizualizace. Nicméně se tato úroveň podrobnosti užívá spíše ojediněle. [18]

LOD 500 je fází užívání. Obsahem modelu jsou konkrétní zrealizované konstrukce a systémy vnitřního prostředí podle skutečného stavu. Uplatnění nachází v oblasti údržby nebo provozu skutečného objektu. [18]

Jednotlivé fáze LOD můžeme vidět v aplikaci na modelu budovy v obr. 5:



Obr. 5: Vykreslení stavby podle LOD [19]

2.7 Koncepte BIM v České republice

Informační modelování budov bylo donedávna v České republice spíše pouze předmětem debat a jeho aplikace se objevovala v menší míře, často jen pro konkrétní etapy životního cyklu stavby. Rozhodnutím vlády č. 682/2017 bylo ministerstvo průmyslu a obchodu pověřeno realizací Koncepte zavedení metody BIM. Následující léta lze považovat jako přípravné období pro očekávaný zákon o BIM, jehož platnost je stanovena od července roku 2023. Na základě něj bude mít veřejný sektor povinnost používat metodu BIM při zadávání nových staveb, pasportizaci již existujících staveb a následně i v rámci životního cyklu stavby. BIM by se však neměl týkat pouze tohoto sektoru. [20]

V únoru roku 2022 byl uskutečněn Summit Koncepte BIM v Praze, který se celé problematice zavádění věnoval. Svými prezentacemi a diskusí problematiku blíže podhalovali například ředitel odboru Koncepte BIM České agentury pro standardizaci Jaroslav Nechyba, náměstek ministra průmyslu a obchodu Eduard Miřický, Lucie Švamberková a další včetně zahraničních zástupců např. z Německa či Estonska. [20]

Jaroslav Nechyba definuje účel zákona jako „*vytvoření jednotné sdílené datové základny v podobě informačního modelu stavby jako podkladu pro přesné, hospodárné*

a účelné procesy plánování, výstavby, správy a údržby, užívání, změn a odstraňování staveb během jejich životního cyklu“. Mezi důvody změn můžeme řadit stoupající komplikovanost staveb, rostoucí množství i provázanost informací ke stavbě, tlak na rychlé reakce a rozhodnutí, či potřebu více těžit z potenciálu, který nabízí digitalizace a počítačová technika. V rámci fází vedoucím k digitalizaci (viz obr. 6) se Česká republika v současnosti nachází mezi pomyslným čtvrtým a pátým schůdkem, trend je ale pozitivní. [20]



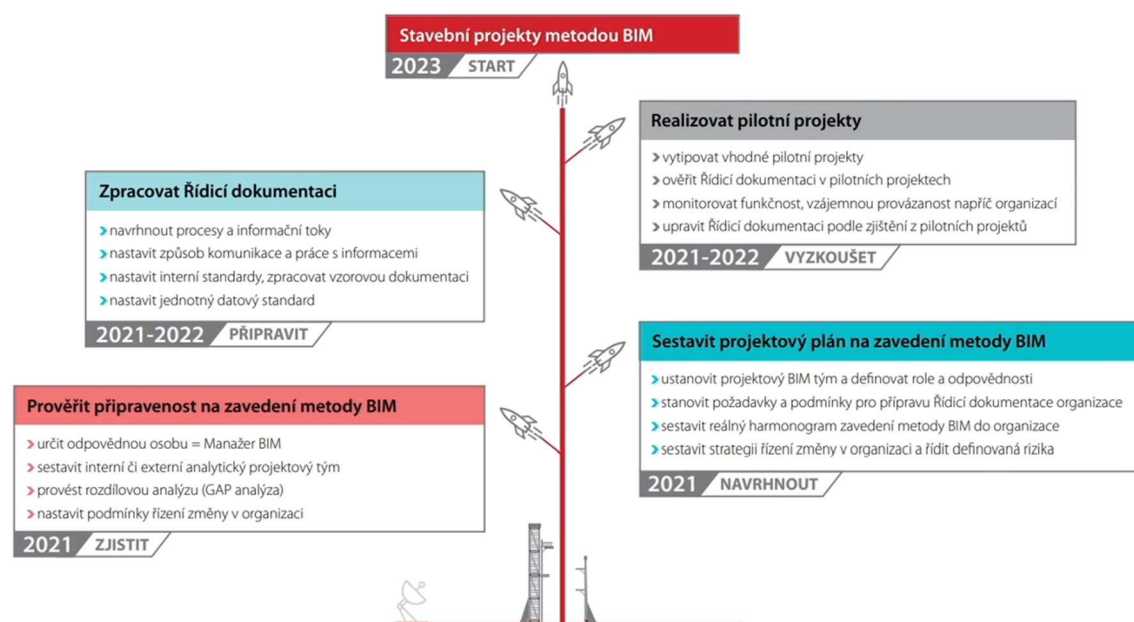
Obr. 6: Směr k digitalizaci [20]

Cílem změn a celého procesu je snadný přístup k informacím, klíčovou úlohu hraje selektivita informací, kdy bude uživateli předloženo jen to, co v daný okamžik potřebuje. Změny se dále zaměřují na digitální procesy, strojovou čitelnost a sdílení informací mezi agendami. Výsledkem je poté mimo jiné časová úspora i větší sebevědomí při rozhodování, spojené s vyšší kvalitou rozhodování, a to z důvodu opírání se o konkrétní data. [20]

Adaptaci BIM v České republice Jan Nechyba dělí na dvě etapy. Do první etapy řadí získávání základních znalostí a principů, rozvoj standardů včetně jejich adaptace do praxe či zakotvení těchto znalostí v publikovaných dokumentech. Dále také pilotní projekty sloužící pro nabývání praktických zkušeností, položení základů společného digitálního jazyka staveb a první kroky směrem k provázání s dalšími agendami. [20]

Zmíněná etapa již byla úspěšně překonána, momentálně se vstupuje do druhé etapy. Důležitým krokem, který je v současnosti třeba zvládnout, je ukotvení ve srozumitelném a jednoduchém právním prostředí. Etapa zahrnuje dynamický rozvoj obsahu datového standardu staveb, nastavení priorit mezi směry rozvoje, zavádění BIM do organizací, zvyšování pilotních projektů a kvalitnější sběr zpětné vazby z nich. Do února 2022 se

v celkem 26 pilotních projektech zapojilo 18 organizací. Důraz bude rovněž kladen na vzdělávání veřejné správy a plošnou aktualizaci již vydaných dokumentů. Cestu k plnohodnotnému zavedení BIM zobrazuje i následující mapa projektu. [20]



Obr. 7: Mapa projektu zavedení BIM [20]

Společně se zaváděním informačního modelování budov vyvstávaly otázky okolo jeho začleňování do školních vzdělávacích programů. Lucie Švambergová poukazuje na cestu, jakou BIM prošel ve své integraci ve středoškolském vzdělávání. Roku 2018 byl podán návrh na aktualizaci rámcových vzdělávacích programů, o dva roky později následovalo schválení a již od září 2022 je uložena povinnost aktualizace školských vzdělávacích programů. [20]

Co znamená ovládat metodu BIM ve středoškolské úrovni definují již dva vydané dokumenty – Metodika pro SPŠ stavební a Soupis potřebných dovedností a oblastí znalostí s BIM. Velmi pozitivně se jeví fakt, že začlenění metodiky do středních škol v České republice proběhlo jako v jedné z prvních zemí na světě, ohledně vzdělávání se tedy náš stát řadí mezi lídry. Ve vysokoškolském vzdělávání se informační modelování budov již přes deset let úspěšně integruje do celé řady studijních programů. Cílem je zajistit plynulý přechod do praxe. [20]

3 Pořízení a práce s 3D daty

3.1 Technologický přehled

Volbu metody sběru dat pro BIM stavby, která je již dlouho ve fázi užívání, ovlivňuje mnoho faktorů – účel, členitost stavby, požadovaná přesnost a hustota, úroveň detailnosti a další. Technologie pro pořizování 3D dat používané geodety v nejhodnější míře lze rozdělit do tří následujících základních kategorií.

3.1.1 Laserové skenování

Pravděpodobně nejpoužívanější metodou pro pořízení prostorových dat je laserové skenování. Systém pro 3D skenování pojímá skener, řídicí jednotku, program pro řízení skenování, program zajišťující zpracování naměřených dat a také potřebné příslušenství, jako jsou stativ, baterie, terče, referenční koule, kabely atd. Systémy mohou mít buď statický charakter, kdy se poloha stanoviska nemění, nebo dynamický, kdy je umístěn na pohybujícím se prostředku. [21]

Laserové skenování dovoluje automatizované bezkontaktní určování prostorových souřadnic bodů objektu v podobě mračen bodů. S vhodnými softwary lze poté provádět 3D modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů, historických, archeologických, památkových a dalších objektů. Vše se značnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. [21]

Vysoce efektivní a časově nenáročná technologie je založena na podobném principu jako totální stanice s pasivním odrazem. Souřadnici určuje impulsním či fázovým dálkoměrem měřená vzdálenost a také velikosti horizontálního a vertikálního úhlu, které jsou stanoveny například z polohy zrcadel rozmítajících laserový svazek. Program navádí laserový svazek na body rastru v pravidelném úhlovém kroku ve sloupcích a řádcích, zatímco jsou měřeny výše zmíněné parametry. [21]

Měření bývá často kombinováno s měřením totální stanicí a technologií GNSS. Snímky se totiž spojují pomocí vlíčovacích bodů, které jsou připojeny do S-JTSK a Bpv.

Mezi slabé stránky metody můžeme zařadit neselektivitu sběru dat, což má za následek pozdější nutné naředění a ořezání mračna. Pořízení přístrojového

a softwarového vybavení také představuje pro některé firmy značné ekonomické překážky.

Prostorová data, se kterými se v rámci diplomové práce pracovalo, byla pořízena především touto metodou. Prvotní práce se skeny, nezřaděným mračnem a transformace do referenčních systémů nebyly předmětem mé činnosti.

3.1.2 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie využívá obrazového záznamu pro získávání geometrických informací. Dělí se podle mnoha hledisek od pořizování dat, způsobu vyhodnocování snímků, počtu vyhodnocovaných snímků až po typ výstupu. Nejčastěji se pro měření stavby využívá měření z dronu a nepohyblivého stanoviska na zemi.

Fáze měření je obvykle výrazně kratší oproti jiným metodám, je však závislá na meteorologických podmínkách, které mají zásadní vliv na kvalitu snímků. Snímky jsou navzájem provázány vlíčovými body. Vlícovací body jsou určeny v rámci účelové sítě za pomoci totální stanice a GNSS aparatury a připojeny do S-JTSK a Bpv. Většina práce se soustředí do zpracování v kanceláři. Zpracování a vyhodnocování snímků je časově náročnější, přičemž vyžaduje potřebné softwary a výkonnou počítačovou techniku.

Fotogrammetrii lze využít i pro doplnění měření jinými metodami, například pro přiřazení textur vybraným povrchům.

3.1.3 Klasické geodetické metody

V závislosti na požadavcích lze též zvážit přikročení ke klasickým geodetickým metodám, z nichž se nejčastěji využívá tachymetrie. Zpravidla pak přístrojové vybavení sestává z robotické či standardní totální stanice a odrazného hranolu, uplatňuje se také pasivní odraz.

Aplikace této technologie vyžaduje tvorbu účelové sítě. Přesnost sítě je klíčová pro přesnost vlíčovacích bodů. V případě celkového zaměření stavby se síť navrhuje tak, aby provázala měření exteriéru i interiéru budovy, všechna měřená podlaží a umožnila získání nadbytečných měření. Prostorami, jež to svým uspořádáním neumožňují, se pak vedou polygonové pořady. Připojení sítě do S-JTSK se obvykle provádí technologií GNSS, stejně tak i výškové připojení do Bpv, které se však při vyšších požadavcích na přesnost vykonává metodou nivelace k bodům ČSNS.

Mezi silné stránky této metody se řadí vysoká přesnost měření. Slabé stránky ovšem zahrnují vysoké časové nároky a nízkou efektivitu měření při vyšších požadavcích na hustotu či úroveň detailnosti, účinněji se pak jeví přikročení k fotogrametrii nebo laserovému skenování.

3.2 Software

Pro práci se získanými 3D daty sloužícími pro informační model budovy je nutné využít softwaru k tomu uzpůsobené, mající potřebné funkce a nástroje. Programové vybavení potřebuje být schopné tvorby 3D modelů objektově orientovaným přístupem, sdílení dat, kontroly, analýzy. Podstatné je i využívání předdefinovaných prvků, kterými programy buď sami disponují, nebo je mohou získat stažením z dostupných online knihoven. [8]

Za nejrozšířenější BIM software lze považovat Autodesk Revit. Architektům, konstruktérům a projektantům poskytuje možnost práce v jednotném modelovacím prostředí, které má velký podíl na zvýšení efektivity práce. Jeho velikou předností jsou i četné pluginy.

Mezi průkopníky BIM softwarů se zcela určitě řadí Archicad. Předkládá kompletní řešení pro návrhy i projektování jakéhokoli rozsahu. Přinesl také revoluci v týmovém projektování a souběžné práci svojí technologií Archicad Teamwork. Funkcemi i schopnostmi se vůči Revitu pohybuje na podobné úrovni a mezi oběma softwary panuje jistá rivalita. [22]

Jako platforma ke shromažďování propojených dat ze všech zapojených subjektů v jednotném prostředí slouží BIM 360. Tato cloudová webová služba umožňuje minimalizaci integračních omezení vznikajících prací na různých platformách, a tedy správu projektu v průběhu celého jeho životního cyklu. [23]

Samostatně bych umístil software Unreal Engine, který má k informačnímu modelu budovy odlišný vztah. Vazba vede především skrze vizualizaci a virtuální realitu. Herní engine se sice velkou měrou orientuje na herní či filmový průmysl, zastává ovšem stále silnější pozici při tvorbě 3D vizualizací, animací a simulací staveb. Velkou předností softwaru je nezaplatněný přístup uživatelům při nekomerčním používání.

3.3 Maxmiliánův dvůr

Praktická část závěrečné práce se věnuje tvorbě konkrétních předdefinovaných prvků, které se využívají při tvorbě modelu budovy, a také vybraným možnostem publikace koncového modelu. Budovou, jejíž prostory byly předmětem modelování a následné publikace, je Maxmiliánův dvůr v Kroměříži.

Objekt byl postaven v polovině 19. století olomouckým arcibiskupem Maxmiliánem Sommerau podle návrhu architekta Antonína Arche. Ozdobné hospodářské stavení typu „ferme orné“ sloužilo pro potřeby zámku. Neoklasicistní stavba se do zahrady otevírá sloupovou kolonádou, nad jejíž centrem se tyčí zlatý nápis a nad ním trojúhelníkový tympanon zdobený znakem arcibiskupa Sommerau (viz obr. 8). [24]



Obr. 8: Maxmiliánův dvůr v Kroměříži [24]

Již od počátku se budova těšila zájmu veřejnosti, také však byla pro svoje značné náklady na stavbu veřejností kritizována. Později podlehla zestátnění, načež sloužila jako veterinární nemocnice. Po sametové revoluci se navrátila arcibiskupství a v současnosti je již majetkem SŠHS Kroměříž, které zde provozuje pracoviště Hubertcentrum. [24]

Stavba obsahuje velký počet unikátních konstrukčních prvků a řešení, ke kterým je třeba zaujímat individuální přístup. Setkáváme se zde s plejádou typů oken a dveří, členitou fasádou, kolonádou a mohutným krovem. Na mnohých částech se ovšem zřetelně projevuje i pokročilý stupeň degradace.

3.4 Měřické práce

Měřické práce v zájmové lokalitě spočívaly v kombinaci klasických metod měření a technologie laserového skenování. Mým úkolem bylo vybudování měřické sítě, její zaměření a určení vlíčovacích bodů rozmístěných po celém objektu.

Měřická síť se rozprostírala po všech stranách objektu a její struktura byla přizpůsobena husté vegetaci v části zájmové lokality a také plánované konfiguraci vlíčovacích bodů. Síť pomocných měřických bodů tvořilo 13 bodů, jež byly zajištěny dočasnými stabilizacemi. Body 4001, 4002, 4006, 4009, 4011 a 4012 byly dvakrát určeny pomocí technologie GNSS s využitím přístroje Trimble R8s. Síť byla nato zaměřena totální stanicí Trimble M3 DR 2" (viz obr. 9) s cílem získání dostatečného počtu nadbytečných měření pro vyrovnání sítě.



Obr. 9: Měřické práce

V průběhu měření sítě bylo rovněž rozmístěno 16 vlíčovacích bodů v podobě šachovnicových terčů připevněných na vnitřní i vnější stěny v úrovni 1PP, 1NP i 2NP, tedy rovnoměrně po objektu. Takto rozmístěné vlíčovací body byly následně zaměřeny a doplněny o dalších 59 přirozených vlíčovacích bodů měřených přímo na objektu, které představovaly např. rohy výstupků, okenních rámců, okrasné prvky či rohy budovy. Zaměřené vlíčovací body později sloužily pro georeferencování mračna bodů. Vhodná část měřených bodů z celého souboru byla také užita jako kontrolní body pro zhodnocení přesnosti výsledného modelu popsaném v podkapitole 4.4.

4 Autodesk Revit

Po předání předpřipravených dat získaných laserovým skenováním, následuje analýza a zpracování prostřednictvím modelování. Vzhledem ke komplexnímu uplatnění technologie a metodiky BIM se s oblibou užívá nejrozšířenější software Autodesk Revit. Pro práci v tomto softwaru byla v rámci diplomové práce zvolena verze Revit 2020 (viz obr. 10).



Obr. 10: Logo Autodesk Revit 2020 [25]

Autodesk Revit je software, jehož vznik se datuje k počátku třetího tisíciletí. V roce 2000 jej vydala společnost Revit Technology Corporation a po dvou letech jej odkoupila nadnárodní softwarová firma Autodesk, která je celosvětovým gigantem v oblasti navrhování a tvorby. Aktuálně je každý rok vydávána nová verze tohoto softwaru, k dispozici je také pro stavaře a architekty verze Autodesk Revit LT, která ovšem obsahuje menší množství funkcí. Studentům jsou navíc nabízeny k dispozici neomezené bezplatné verze mnoha produktů. [26]

Kapitola nejprve blíže charakterizuje Revit a jeho vazbu k BIM projektování. Dále je blíže představeno uživatelské rozhraní a funkce, načež se věnuji oblasti modelování. Předmětem mé práce nebylo modelování celé stavby, ale některých vybraných členitých prvků objektu ve formě tzv. rodn, které byly poté ve výsledném modelu použity. Princip tvorby dvou konkrétních rodn je v kapitole popsán. Následně mi byl předán 3D model budovy, na němž jsou pak mnou demonstrovány vybrané možnosti vizualizace a publikace modelu.

4.1 Vztah k BIM

Již od svého počátku byl Revit navrhován jako plnohodnotná BIM platforma představující databázově orientovaný systém zefektivňující a zrychlující projekční postupy. Poskytuje zcela paralelní projektování jednoho modelu všem dotčeným

uživatelům v rámci životního cyklu stavby a dovoluje nenáročné pozměňování všech projekčních dokumentací na základě úpravy konkrétních parametrů objektu. Uživateli umožňuje komplexní práci na návrhu budov, kdy kterýkoli výkres, 3D pohled, řez nebo detail je bezprostřední reprezentací informací databáze. Software zachovává tyto informace v celém průběhu projekčního i stavebního procesu. Pomocí parametrického správce změn přenáší změny provedené v jedné reprezentaci objektu i do zbylých reprezentací. [27]

„Navrhování BIM je založeno na „umístování“ objektů do modelu a úpravě jejich parametrů. Tyto objekty tvoří plnohodnotné stavební komponenty, jako jsou stěny, dveře a okna. I když se jejich parametry mohou lišit, umístěné objekty si zachovávají svou základní identitu.“ [28]

Všechny objekty jsou v Revitu součástí hierarchie zajišťující jejich uspořádání:

„K popisu této hierarchické klasifikace se používají tyto termíny (od nejobecnějšího po nejkonkrétnější): objekty, rodiny, typy a prvky. To je základní uspořádání databáze modelu budovy. Většina aspektů modelu budovy, včetně pohledů, má tuto organizační strukturu.“ [28]

„Všechny objekty v modelu budovy mají přiřazenou kategorii: Všechny dveře náležejí do kategorie Dveře. Tato obecná kategorie je dále rozdělena do rodin.“ [28]

„Rodiny jsou skupiny s podobnou geometrií. V případě dveří náleží plně hladké dveřní křídlo do jiné rodiny než dvoukřídle prosklené dveře, protože geometrie těchto dvou typů dveří se liší.“ [28]

„Typ definuje, jaké má objekt vlastnosti, jak reaguje na jiné objekty a oni na něj a jak se vykreslí v různých typech reprezentace.“ [28]

Program předkládá pro uživatele nástroje a funkce jak v oblasti architektonické, konstrukční nebo technického zařízení budovy (TZB), tak také i statiky, energetické náročnosti apod.

Výchozím formátem této platformy od Autodesku je RVT. Tvoří se v něm projekty a obsahuje veškeré informace o projektu, dále veškeré použité knihovny a materiály, které zajišťují mobilitu a funkčnost. Slabinou programu je nekompatibilita verzí a z ní plynoucí nemožnost otevírání souborů uložených v novější verzích ve starších a je tedy nutný

soulad verzí, ve kterých pracují jednotliví uživatelé. Rodiny, kde se nacházejí informace o prvcích, ze kterých se skládají, využívají formát RFA.

4.2 Tvorba rodin

Rodiny v Revitu zastávají základní prvky, kterými podobně jako v případě jednotlivých dílků stavebnice sestavujeme informační model budovy. Důležitou vlastností rodin je jejich parametrizace a díky ní lze měnit její rozměry, zobrazení a rovněž i negrafické vlastnosti.

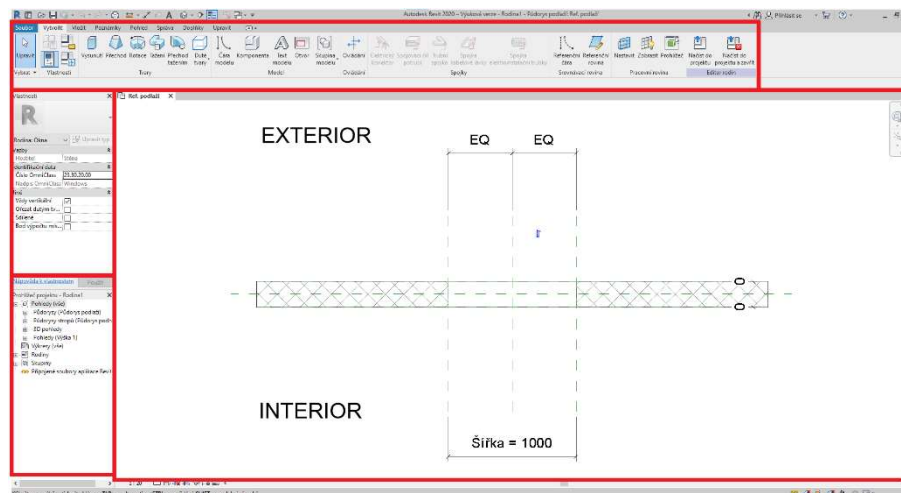
Rodiny v Revitu diverzifikujeme na tři druhy: systémové, uživatelské a rodiny na místě. Systémové rodiny nelze měnit z hlediska jejich chování, pouze skrze předdefinované nabídky a pevně stanovené parametry. Řadíme sem podlahy, stěny, schodiště apod. Uživatelská rodina je od začátku libovolně tvořena uživatelem a může nabývat jak prosté, tak i velmi komplikované podoby a struktury. Následně se načítá do projektu a lze s ní pracovat. Rodina na místě je obdobou uživatelské, kdy ji ovšem netvoříme v editoru, ale v projektu. [29]

Rodiny popsané v práci níže se řadí ke druhu tzv. uživatelských rodin. Využívá se předdefinované šablony, která určuje, jak se bude výsledná rodina chovat a jak s ní má software pracovat. Základní šablony jsou v programu volně dostupné a při tvorbě nové rodiny je program předkládá v katalogu šablon a ukládá jako soubory ve formátu RFT.

4.2.1 Prostředí a modelovací nástroje

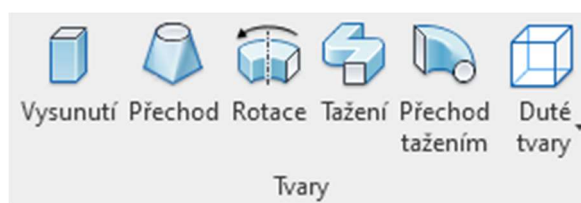
Spuštěním programu se otevře nabídka, která uživatele směřuje k založení nového či otevření již existujícího modelu nebo rodiny. K dispozici jsou rovněž jejich vzorové soubory. Po zvolení tvorby nové rodiny si uživatel musí vybrat konkrétní šablonu z nabízené knihovny.

Nyní se již zobrazí grafické uživatelské rozhraní, které obsahuje v horní části základní ovládací panel s nástroji, vlevo nahoře panel s vlastnostmi vybraného prvku, vlevo dole prohlížeč projektu reprezentovaný kořenovým adresářem a v centru pracovní plochu. Na následujícím obrázku můžeme vidět uživatelské prostředí Autodesk Revit a znázornění jednotlivých panelů.



Obr. 11: Prostředí Revit 2020

Panel nástrojů obsahuje množství karet, které mohou být doplňovány o další v rámci instalace rozšíření, například Datasmith (viz podkapitola 5.3). Po většinu práce tvorby rodiny se užívá hlavně karet Vytvořit a Upravit. První jmenovaná obsahuje velmi důležitý modelovací panel – Tvary (viz obr. 12).

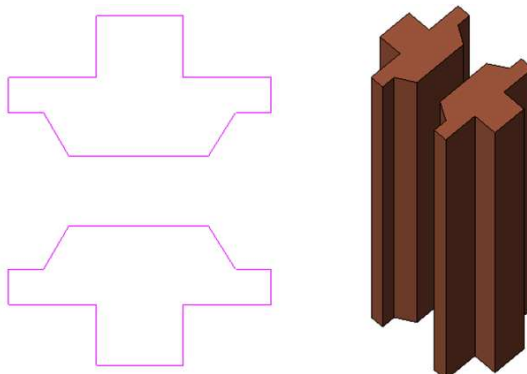


Obr. 12: Panely Tvary

V panelu Tvary nacházíme šest základních nástrojů, kterými lze tvořit tělesa. Prvním z nich je zároveň i pro svoji jednoduchost nejvyužívanější tzv. Vysunutí vytvářející prostorové těleso vysunutím 2D tvaru. Princip funkce nástroje spočívá ve zkonstruování profilu požadovaného tělesa a zadání délky jeho vysunutí. V praxi je však třeba zadat také pracovní rovinu, v níž se zvolený profil konstruuje a ve které nastavujeme směr vysunutí. Vůči této pracovní rovině lze rovněž nastavit počáteční a koncový bod vysunutí.

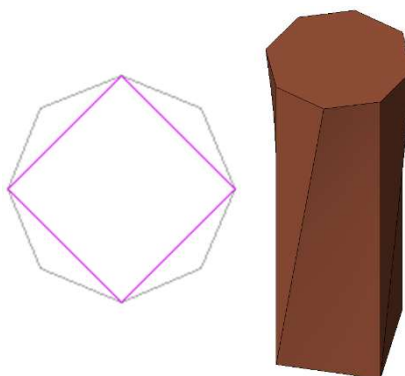
Spuštěním nástroje se přemístíme do karty Upravit | Vytvořit vysunutí, ve které se nejprve nastaví pracovní rovina. Poté v panelu Kreslit využíváme jednotlivé nástroje pro zkonstruování obrazce profilu, přičemž musíme dodržet, aby obrazec byl uzavřený a nepřerušovaný. V jednom profilu lze nakreslit více obrazců zároveň, musí se však dodržet výše zmíněné zásady. Už v editoru vysunutí je možno nastavit materiál tělesa, dále také počátek a konec vysunutí, nebo hloubku a odsazení. Kliknutím na „Dokončení

režimu úprav“ se provede vysunutí a vzniklé těleso se zobrazí, přičemž jej následně můžeme dále editovat do požadované podoby. Profil vysunutí a jeho výsledná podoba je vyobrazena na obrázku níže.



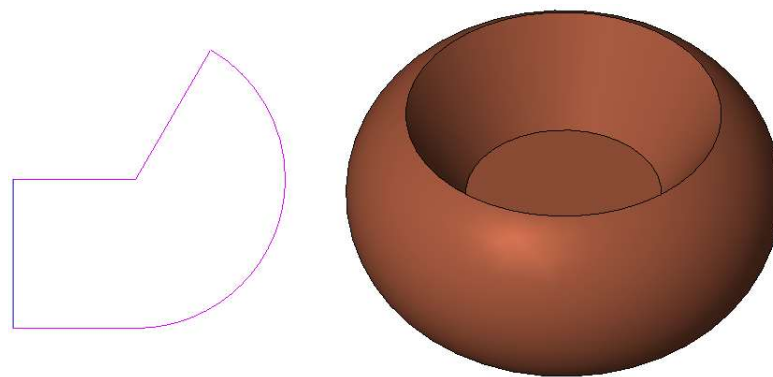
Obr. 13: Nástroj Vysunutí

Nástroj Přejchod pracuje na stejném principu jako Vysunutí, avšak profil tělesa na jeho koncích se liší (viz obr. 14). Přejchod zajišťuje plynulou změnu počátečního profilu v koncový. Při jeho spuštění editor předkládá úpravu spodní a horní části přechodu. Znovu zde navolíme pracovní rovinu, další parametry, a především zkonstruujeme oba obrazce profilu. Tělesa vznikající tímto nástrojem nacházejí hojně využití u složitějších konstrukcí a designových elementů.



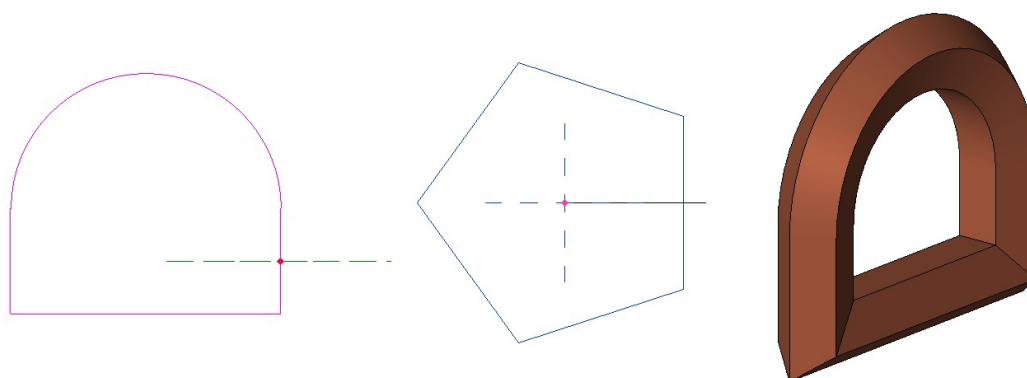
Obr. 14: Nástroj Přejchod

Rotace vytvoří prostorové těleso tažením zkonstruovaného profilu okolo zvolené osy (viz obr. 15). Kromě pracovní roviny profilu a jeho nakreslení je nutné určit osu rotace i počátek a konec rotace. Nástroj je velmi užitečný u složitějších obloukových konstrukcí, kde jednak nestačí samotné vysunutí kvůli většímu množství detailů, ale také je třeba zajistit správnou funkčnost rodiny při změně jejích parametrů, například aby obloukový rám okna patřičně změnil svoji velikost odpovídající změně šířky okna.



Obr. 15: Nástroj Rotace

Tažení umožňuje formování tělesa podél zvolené trajektorie, jak si můžeme všimnout na obrázku č. 16. Jako obvykle se volí pracovní rovina. Samotnou trajektorii můžeme načrtnout jednak zcela novou, kdy bude připadat zvolené rovině, nebo lze využít již existujících prvků a převzít část jejich geometrie spolu s pracovními rovinami. V případě oken lze pro vytvoření hranatého křídla okna využít vnitřní hrany rámu, na něž můžeme trajektorii tažení takto navázat kreslícím nástrojem „Vybrat 3D hrany“. Zvolenou trajektorii potvrdíme a přesuneme se do editoru profilu, jenž bude po ní tažen.



Obr. 16: Nástroj Tažení

Opět lze sestavit jeden či více tvarů, které musí být uzavřené a nesmí se navzájem protínat. Dokončením režimu úprav se objekt vygeneruje a následně se může v 3D pohledu prověřit. Editaci provádíme obdobně jako u předešlých nástrojů.

Přechod tažením představuje kombinaci nástrojů Tažení a Přechod. Výsledkem je těleso měnící svůj profil v průběhu stanovené trajektorie. Zvláštní postavení zastupují tzv. Duté tvary. Pomocí tohoto nástroje vymodelujeme všechny výše zmíněné druhy objektů, které však nepředstavují hmotné těleso, ale naopak hmotu daného tvaru (nebo část, která do dutého tvaru zasahuje) odstraňují z jiného tělesa nebo skupiny těles.

4.2.2 Okna

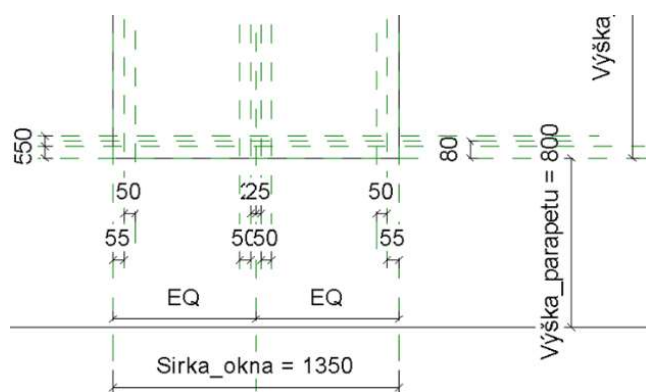
Stavba obsahuje velké množství různých typů oken v závislosti na umístění či účelu. Setkáváme se tu s variacemi tradičních dvoukřídlých dřevěných jednoduchých i dvojitých oken s jednoduchým zasklením, okny falešnými, půdními dřevěnými plnými okny či jednoduchými okny s okenicí. Podkapitola se zaměřuje na postup tvorby rodiny dvoukřídlého dvojitého okna v přízemí, z části zazděného, díky čemuž je jeho horní část „falešná“ stejně jako spodní, kde se nachází malé okenice, jak lze vidět v příloze č. 2.1. *Vizualizace rodiny – Okno*. Vyhotovená rodina je součástí příloh pod označením 3.1. *Rodina okno.rfa*.

Nejprve se v softwaru MicroStation V8i provedla analýza geometrických parametrů stavebního prvku z mračna bodů získaného měřením objektu laserovým skenováním. Pro snadnější analýzu a manipulaci se mračno zředilo a následně ořezalo. Prostřednictvím několika svislých, vodorovných či šikmých řezů (viz obr. 17) byly změřeny rozměry otvorů a také jednotlivých geometrických útvarů, z nichž se okno skládá.



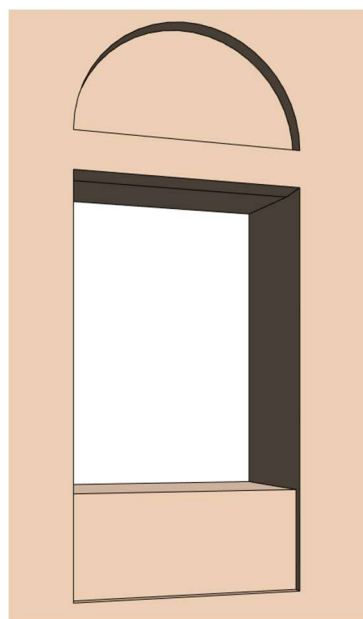
Obr. 17: Analýza mračna v řezu v MicroStation V8i

V Revitu je důležitá volba vhodné šablony. Vzhledem k netypickému vzhledu a konstrukční složitosti okna byla z katalogu šablon vybrána jednoduchá šablona *Okno.rft*, kterou lze snadno modifikovat. Přednastaveny jsou např. referenční roviny pro výšku parapetu a rozměry okna, přesto je svým obsahem strohá. Referenční roviny doplníme o nové, jelikož jsou pro konstrukci rodiny a její správnou funkčnost velmi podstatné. Můžeme jim přiřadit štítek či vytvořit parametr. Mezi jednotlivými rovinami vytvoříme zarovnané kóty, ke kterým uvedeme počáteční požadované hodnoty, jak je patrné z obr. 18. Některé kóty necháme otevřeny možnosti editace, jiné uzamkneme, protože jejich hodnotu budeme chtít pevnou.



Obr. 18: Užití referenčních rovin a zarovnaných kót

Před samotným modelováním prvků okna si ještě připravíme tvar otvoru, do něhož je budeme umisťovat. Šablona předkládá univerzální otvor pro okno, avšak při složitějším útvaru jej musíme vytvořit z dílčích dutých útvarů, které odejmou hmotu od výchozí stěny. Jak si lze na snímku níže všimnout, horní falešné okno je od zbytku odděleno pruhem omítky.

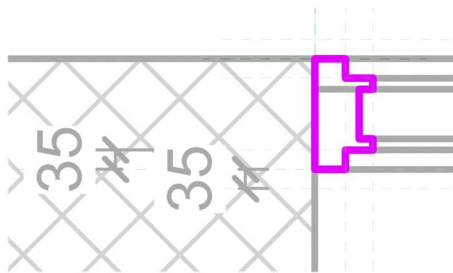


Obr. 19: Příprava otvoru okna ve výchozí stěně

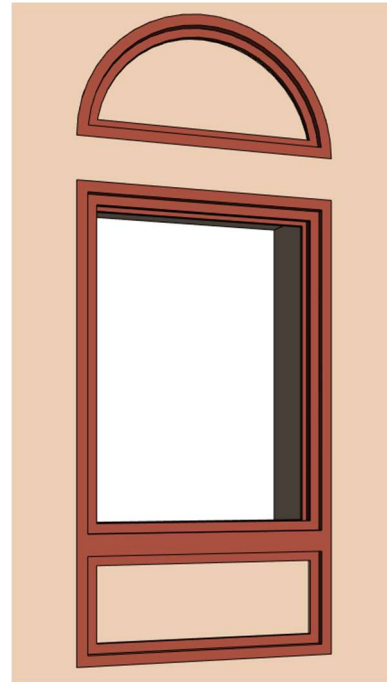
Nejčastěji se užívá dutý tvar Vybrání, velké uplatnění nachází rovněž Přejechod a Tažení. Každý z těchto útvarů již uzamykáme k referenčním rovinám, k nimž budou vztažené, což nám zajistí proměnlivost velikosti či polohy otvoru v souvislosti se změnou šířky okna, výšky parapetu, výšky okna, nebo parametrů, které si můžeme volně navolit.

Nyní k samotným konstrukčním prvkům okna (viz obr. 20 a 21). Pro sestavení okenního rámu ve všech úrovních okna byl použit nástroj Tažení. Jeho trajektorie je stejně

jako skica profilu uzamčena vůči otvoru. Většina práce probíhá v pohledu Exteriér, Interiér, Vlevo (příp. Vpravo) a Půdorys. Prvkům lze již od počátku přiřazovat materiály.

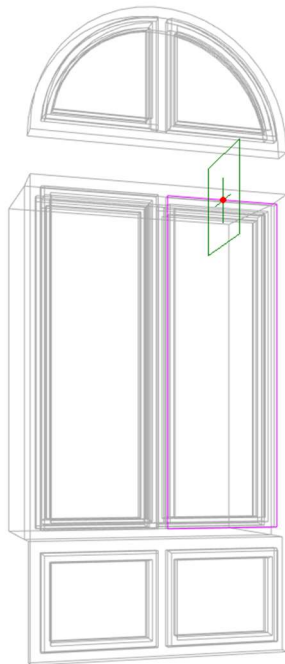


Obr. 20: Profil okenního rámu



Obr. 21: Konstrukce okenního rámu

Dále sestojíme jednotlivé stojiny středem každého okenního rámu prostřednictvím Vysunutí. Jednotlivá křídla okna konstruujeme opět s využitím Tažení (viz obr. 22 a 23).



Obr. 22: Trajektorie tažení profilu křídla



Obr. 23: Konstrukce okenních křídel

Každý nový prvek kontrolujeme v jednotlivých pohledech a také v obecném 3D pohledu, aby byla případná chyba či nepřesnost včas odhalena a napravena.

Okenní křídla mají v každé ze svých tří úrovní jinou strukturu. Ve spodní části ji tvoří okenice, v hlavní centrální části svislé a vodorovné příčle a v horní se jedná o půlkruhové dělené zakončení. Okenice realizujeme v levém či pravém pohledu vysunutím mezi okraji křídla. Do okna v centrální části se umístily stejným principem jednotlivé příčle, přičemž jim bylo nutné z osy vytvořit délkové vazby ke stranám křídel s rovností kót, aby při změně výšky či šířky rovnoměrně měnily svoje proporce. Horní úsek příčle neobsahuje. Můžeme se setkat i s horním půlkruhovým zakončením s paprskovitým dělením, kde obloukové příčle spojují přímé i zakřivené prvky, obtížně se však váží k okolní konstrukci rodiny, aby se zároveň chovaly flexibilně. Všechny vytvořené prvky každého křídla seskupíme nástrojem Spojit do jednoditého komponentu.

Nakonec zbývá dokončit výplň oken konstrukcí tabulek skla. Zvolíme tedy Vysunutí, vytvoříme profil skleněné výplně a určíme její hloubku. Profil tabulek můžeme sestavit v rámci jednoho užití tohoto nástroje, nesmíme zapomenout na vhodné zvolení referenční roviny stejně jako na uzamykání vazeb k hranám, jichž se budou tabulky dotýkat.

Na obr. č. 24 a 25 můžeme vidět podobu okna v terénu a jemu odpovídající rodinu.



Obr. 24: Okno objektu v terénu

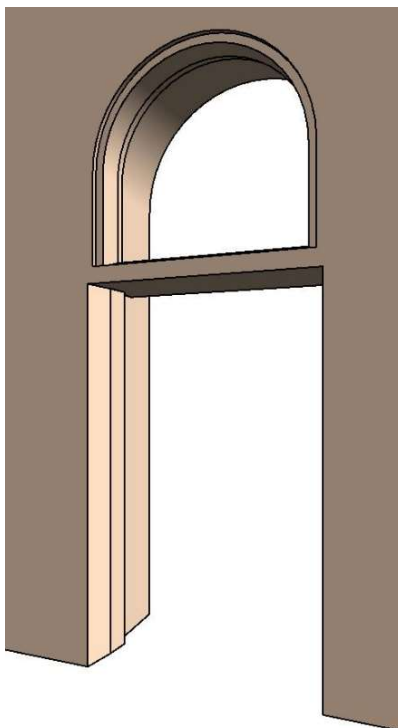


Obr. 25: Rodina okna v Revitu

4.2.3 Dveře

Obdobný postup tvorby rodiny zaujímáme v počátku i v případě dveří, v pozdějších bodech se ale liší. Nejprve se provedla analýza části mračna bodů v zájmové lokalitě a předběžně se určily žádané parametry budoucí rodiny. Činnost v Revitu znovu počíná výběrem šablony, tentokrát *Dveře.rft*, jež obsahuje základní prvky pro konstrukci dveří.

Vytvořily se nové pomocné referenční roviny a pomocí zadaných zarovnaných kót se ukotvily. Poté byl s jejich pomocí konstruován velkým množstvím dutých tvarů parametrizovaný členitý otvor dveří. Nad sebou obsahuje ještě členitější otvor pro okno, přičemž společně tvoří jeden prvek (viz obr. 26). Následně se tažením po obvodu otvorů zkonstruovaly rám okna a zárubeň dveří, k nim budou uchyceny dveřní a okenní křídla, vždy ve stanovené vzdálenosti od okraje exteriéru (viz obr. 27).



Obr. 26: Příprava otvoru dveří ve výchozí stěně



Obr. 27: Konstrukce zárubeň a rámu

Okenní část dohotovíme podobným principem jako v předchozí podkapitole, konstrukce dveří však bude vyžadovat odlišný postup. Pohyblivou část dveří, tzv. dveřní křídla, realizujeme jako vysunutí mezi rovinou podlahy a vnitřním okrajem rámu dveří. Skutečné dveře objektu nejsou zbudovány z masivu, ale spojením velkého množství úzkých prken, které v místě každého spoje obsahují zářez. Stejným způsobem byla tedy vytvořena pohyblivá část dveří této rodiny, aby byla po vizuální stránce co

nejvěrohodnější. Křídlo, které bude užíváno pro otevírání, je dále doplněno o klapačku a poté z knihovny komponentů o kovovou kliku.

Opět je třeba všechny prvky vhodně uzamknout, aby se chovaly správně se změnou parametrů dveří, a pospojovat. Dveře jsou kvůli značné složitosti konstrukce okenní části modelovány pro pevnou šířku. Správnost rodiny si ověříme zobrazením v jednotlivých pohledech, zkouškou změny parametru Výška a aplikací do stěny. Obrázky č. 28 a 29 zobrazují dotyčný prvek v terénu spolu s vytvořenou rodinou.



Obr. 28: Dveře objektu v terénu



Obr. 29: Rodina dveří v Revitu

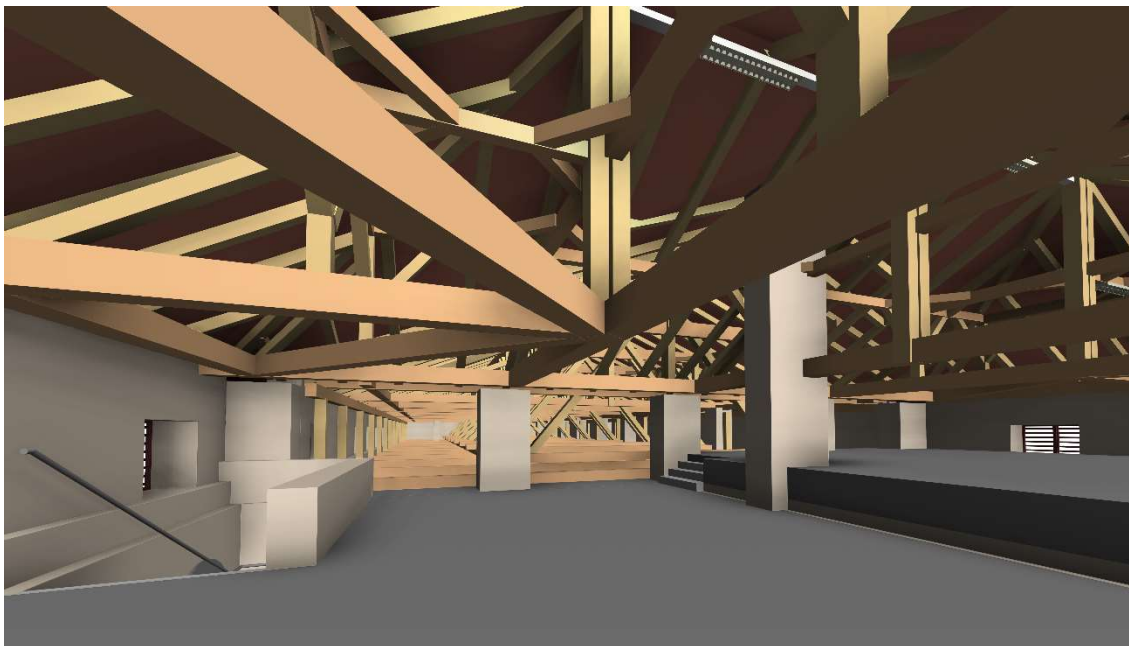
Konstrukce rodiny dveří skýtá také specifickou problematiku. Pro účely půdorysných pohledů bývají součástí rodiny dveří i čáry otevírání. Je nutné použít čáry symbolické, protože je naším záměrem tyto čáry zobrazovat jen v půdorysném pohledu, ne v jiném. Vyhotovená rodina a její vizualizace jsou obsahem přílohy pod označením 2.2. *Vizualizace rodiny – Dveře* a 3.2. *Rodina dveře.rfa*.

4.3 Publikace dat

Výsledný model budovy lze publikovat mnoha způsoby. Výstupy bychom mohli podle jejich účelu rozdělit do několika kategorií, z nichž některé uvedu.

Jednou z možností je publikace vizuální stránky modelu pomocí snímků. Snímky Revit dovoluje exportovat v široké variabilitě nastavení a jednak přímo z pracovního

prostředí softwaru bez výraznějších úprav, jak je znázorněno na následujícím obrázku, nebo provedením sofistikovanějšího postupu ústícího v renderování snímku.



Obr. 30: Snímek modelu půdních prostor bez renderování

Více se využívá druhé možnosti zahrnující přípravu perspektivního pohledu s možností nasvícení sluncem či jiným světelným zdrojem a následuje provedení renderu neboli tvorby reálného obrazu vycházející z počítačového modelu (viz obr. 31).



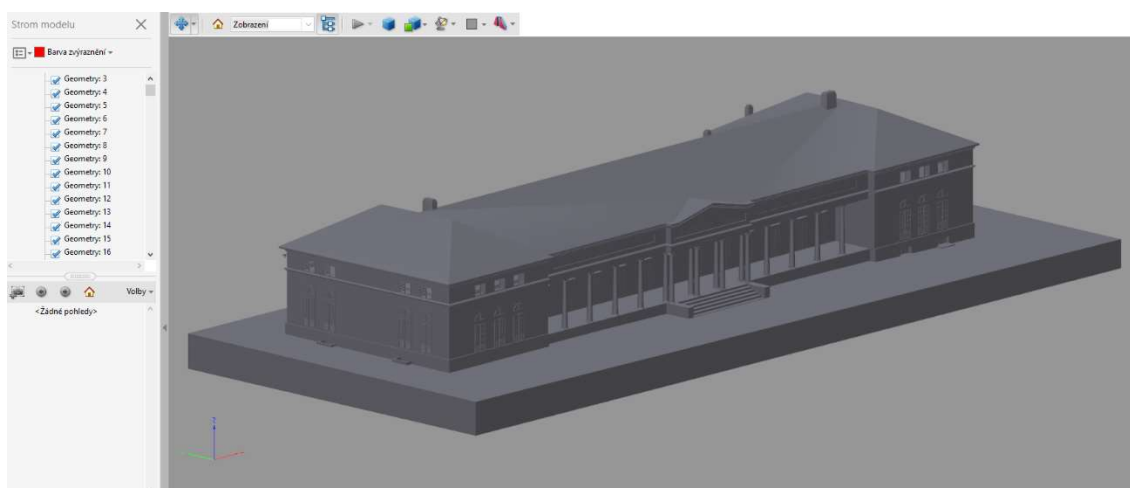
Obr. 31: Snímek interiéru modelu budovy s využitím renderování

Snímky se mohou exportovat v obvyklém tiskovém formátu PDF, rastrovém formátu bezztrátové komprese TIFF, PNG, ztrátové JPG apod. Vizualizace modelu budovy

v podobě snímků v softwaru Autodesk Revit je součástí příloh práce pod označením 2.3. *Vizualizace modelu – Revit.*

BIM nespočívá pouze ve výsledném modelu budovy, zásadní postavení mají také informace v něm obsažené. Dostupností, a stejně tak i snadným sdílením mezi uživateli bez větších odborných znalostí, disponuje 3D pdf. Takový dokument slouží pouze k prohlížení, úpravy je nutné provádět zpět ve zdroji. Umožňuje měření prostorových vzdáleností a v ideálním případě též předkládá rozměry jednotlivých komponentů. Před exportem lze předběžně nastavit styl zobrazení pohledů i jejich ovládání.

Pro tvorbu 3D pdf můžeme využít volně dostupný softwarový doplněk od Bentley – Bentley View. Model v Revitu exportujeme do souboru formátu FBX, který následně v Bentley View otevřeme. Model předložíme k tisku do PDF a zvolíme možnost tisku ve 3D. Vytvořený výstup je v běžném formátu PDF a je obsahem přílohy 3.3. Jak znázorňuje obr. 32, pro jeho otevření a následnou manipulaci s ním postačuje například mezi veřejností hojně rozšířený prohlížeč tiskových souborů Adobe Acrobat Reader.



Obr. 32: Výřez z 3D pdf budovy

Pro prezentaci modelu se také užívá tvorby procházky. Princip spočívá v rozmístění kamer, jejich trajektorie v prostoru modelu, nastavení kamery, její rychlosti a kvality záznamu. Výsledný záznam může být ve formátu AVI a podrobněji se této tématice věnuji v podkapitole 5.7, kde je v softwaru Unreal Engine velmi podobným, trochu komplexnějším způsobem výstup ve formě videozáznamu prováděn.

Výstupem u modelu tohoto typu může být i zjednodušená výkresová dokumentace pro pasportizaci obsahující na sebe kolmé řezy a půdorysy jednotlivých podlaží.

4.4 Vyhodnocení přesnosti

Současně s měřením vřícovacích bodů byl též terestrickým měřením určen soubor jednoznačně identifikovatelných bodů na objektu, které byly později využity pro vyhodnocení přesnosti výsledného modelu. Body reprezentují rohy objektu, stěn, oken či výstupky na stěnách.

Reprezentativní soubor čítající 21 kontrolních bodů je rozmístěn rovnoměrně po celém modelu, přičemž se část nachází v úrovni 1NP, část v úrovni 2NP. Jak číslování kontrolních bodů naznačuje, množství bodů bylo z původního souboru vyřazeno. Na původním objektu se totiž nacházel značný počet okrasných výstupků a prvků, které však byly z valné většiny kvůli nutnému zjednodušení modelu vyřazeny. To se stalo i důvodem k vyřazení příslušných bodů na nich určených z testovacího souboru.

Souřadnice odpovídajících bodů v příslušném modelu v Revitu obdržíme v S-JTSK a Bpv prostřednictvím funkcí Souřadnice bodu a Výšková kóta v kartě Poznámky.

Následovalo porovnání souřadnic určených terestrickým měřením se získanými z modelu budovy a poté výpočet potřebných charakteristik přesnosti (viz tab. 1). Určovány byly rozdíly v jednotlivých souřadnicích a také chyby v poloze a prostoru.

Tab. 1: Vyhodnocení přesnosti

BOD	Terestrické měření			Revit - 3D model			Rozdíl			2D odchylka [m]	3D odchylka [m]
	Y [m]	X [m]	H [m]	Y [m]	X [m]	H [m]	ΔY [m]	ΔX [m]	ΔH [m]		
1	540750,258	1154332,418	192,761	540750,293	1154332,494	192,733	0,035	0,076	-0,028	0,083	0,088
2	540760,264	1154338,052	192,695	540760,252	1154338,123	192,665	-0,012	0,071	-0,030	0,072	0,078
5	540759,566	1154339,327	192,883	540759,568	1154339,333	192,861	0,002	0,006	-0,022	0,007	0,023
6	540757,659	1154336,627	198,019	540757,684	1154336,671	198,060	0,025	0,044	0,041	0,051	0,066
7	540766,645	1154342,732	198,031	540766,615	1154342,718	198,060	-0,030	-0,014	0,029	0,034	0,044
9	540782,052	1154351,433	198,058	540782,024	1154351,426	198,060	-0,028	-0,007	0,002	0,029	0,029
10	540793,249	1154356,698	192,721	540793,190	1154356,749	192,713	-0,059	0,051	-0,008	0,078	0,078
11	540803,266	1154362,329	192,759	540803,330	1154362,364	192,736	0,064	0,035	-0,023	0,073	0,077
17	540794,644	1154377,531	192,766	540794,643	1154377,533	192,758	-0,001	0,002	-0,008	0,003	0,008
24	540784,648	1154371,853	192,632	540784,639	1154371,879	192,625	-0,009	0,026	-0,007	0,028	0,029
25	540784,853	1154371,466	192,586	540784,856	1154371,497	192,600	0,003	0,031	0,014	0,031	0,034
26	540786,672	1154368,254	197,241	540786,671	1154368,284	197,210	-0,001	0,030	-0,031	0,030	0,043
27	540772,522	1154364,525	192,542	540772,502	1154364,515	192,592	-0,020	-0,010	0,050	0,022	0,055
28	540771,364	1154366,520	192,513	540771,336	1154366,579	192,530	-0,028	0,059	0,017	0,065	0,067
29	540763,079	1154361,934	192,397	540763,057	1154361,900	192,411	-0,022	-0,034	0,014	0,041	0,043
30	540751,903	1154352,950	192,306	540751,913	1154352,880	192,316	0,010	-0,070	0,010	0,071	0,072
31	540751,702	1154353,360	192,302	540751,671	1154353,306	192,311	-0,031	-0,054	0,009	0,062	0,063
32	540753,685	1154349,749	197,193	540753,728	1154349,667	197,210	0,043	-0,082	0,017	0,092	0,094
35	540768,767	1154362,844	197,567	540768,830	1154362,864	197,554	0,063	0,020	-0,013	0,066	0,068
46	540764,249	1154359,840	192,491	540764,223	1154359,837	192,515	-0,026	-0,002	0,024	0,026	0,035
47	540741,722	1154347,715	192,220	540741,712	1154347,678	192,296	-0,010	-0,037	0,076	0,038	0,085

Charakteristiky přesnosti

Střední souřadnicová chyba	0,048 m
Střední výšková chyba	0,023 m
Střední prostorová chyba	0,056 m

Nejvyšší dosažené rozdíly

ΔY	0,064 m
ΔX	0,082 m
ΔH	0,076 m
2D	0,092 m
3D	0,094 m

Střední chyba dvojího určení souřadnic kontrolních bodů činila 4,8 cm a střední chyba dvojího určení jejich prostorové polohy 5,6 cm. Přesnost výsledného modelu by se měla pohybovat v řádu centimetrů. Dosažené výsledky na kontrolních bodech tedy splňují požadavek na přesnost konečného modelu.

Vyšší odchylky v určení souřadnic jsou částečně způsobeny generalizací modelu, především stěn, které nejsou na skutečném objektu zcela přímé, stejně široké a erozí poškozená fasáda místy nabývá lehce zvlněné podoby.

Měřická síť a příslušné kontrolní body použité pro vyhodnocení přesnosti výsledného modelu jsou znázorněny v příloze č. 1. *Přehledka měřické sítě a kontrolních bodů.*

5 Unreal Engine

Mezi populární softwary pro práci s 3D daty v současnosti patří rovněž herní engine s názvem Unreal Engine (viz obr. 33). Za jeho vznikem stojí vývojářská společnost Epic Games, jež byla založena na počátku roku 1991. V současnosti zastává Epic Games po platformě Steam druhé místo v žebříčku největších distributorů her a softwarů. Své využití ale nenachází pouze v herním průmyslu, stále pevnější pozici zastává i mezi architekty, projektanty či v oblasti filmů a reklamních kampaní. [30]



Obr. 33: Logo Epic Games a Unreal Engine [31]

V roce 2021 se Epic Games mohl pyšnit půl miliardou registrovaných účtů, přičemž denně jej navštěvují desítky milionů uživatelů. Mohutně rovněž působí zisky společnosti, které za předchozí čtyři roky činily v součtu více než 10 mld. dolarů. Je ale nutno dodat, že za tato čísla vděčila společnost především úspěchu hry Fortnite. Hodnota společnosti v současnosti dosahuje 28,7 miliard dolarů. [32] [33]

Možnost využití Unreal Engine s sebou nese povinnost vytvoření účtu na webových stránkách Epic Games. Následně si uživatel stáhne distribuční platformu Epic Games Launcher a v ní po přihlášení k účtu dá příkaz k instalaci engine. Pro účely této diplomové práce byla použita verze programu Unreal Engine 4.27.1.

5.1 UE4 a jeho dostupnost uživatelům

S první verzí tohoto typu engine se herní svět seznámil roku 1998 ve hře Unreal. Následoval jeho rozvoj a postupné zdokonalování.

V roce 2015 vedení Epic Games přistoupilo k unikátnímu kroku – rozhodlo se zdarma poskytnout veřejnosti svůj základní engine včetně dokumentace a zdrojových kódů. Obrovskou měrou tak podpořilo rozvoj nejen herního průmyslu, ale otevřelo i pomyslné dveře příležitosti lidem, kterým by buď z důvodu nedostatku svých finančních

možností, nebo nedostatečné softwarové podpory nebylo umožněno najít a využít svůj skrytý potenciál.

Je-li následný projekt úspěšný a začne generovat zisk, začne teprve podléhat poplatkům, konkrétně pokud produkt generuje za čtvrtletí zisk 10000 \$, je následně zaveden licenční poplatek 5 % z výtěžku. Zmíněný poplatek však není vztažen na filmové, konzultační a smluvní projekty, jako jsou například simulace, vizualizace nebo architektura. [34]

Lze tedy logicky vyvodit, že drtivá většina uživatelů využívá nabízené nástroje opravdu zdarma. Uživatelé si ovšem mohou dokoupit plnou verzi softwaru, doplňky do základní verze či nadstavby. [35]

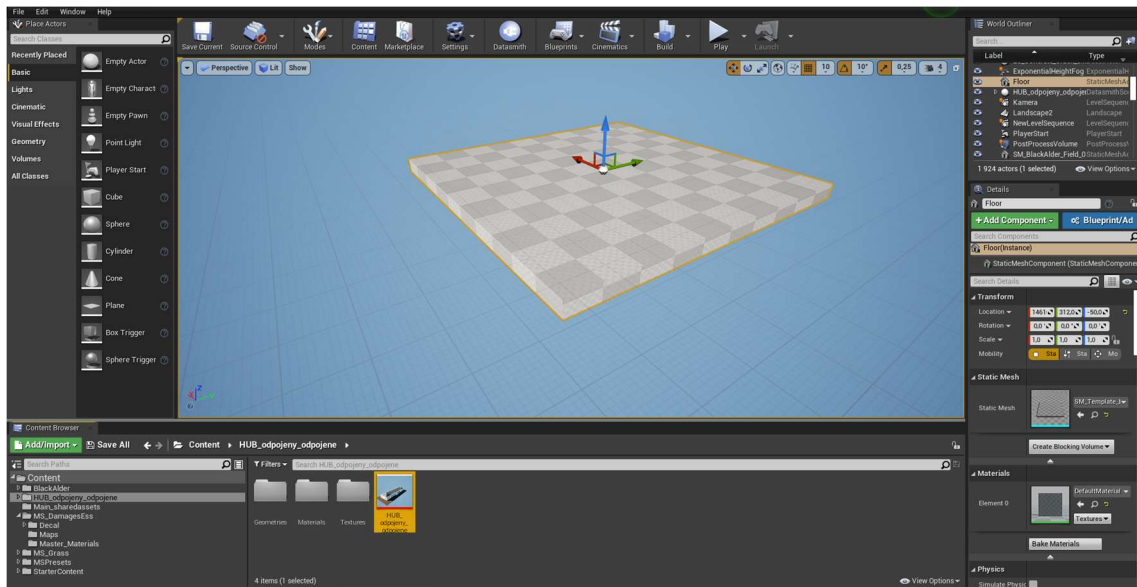
5.2 Uživatelské prostředí

Prvním oknem, které nám je po spuštění softwaru předloženo, je Unreal Project Browser. V něm nalezneme přehled již vytvořených projektů včetně poznámky o verzích programu, ve kterých byly tvořeny, dále možnost nalezení jiného projektu z adresáře a také záložku New Project, která nás provede tvorbou nového projektu. K dispozici je paleta šablon určující mechaniku, modely a další nastavení. Uživatel si musí vybrat, zda bude pro tvorbu chtít používat jazyk C++ anebo vizuální skriptovací systém Blueprint. Při založení prázdného projektu volíme nastavení projektu, typ zařízení, kvalitu a tzv. Starter Content čili objekty, které chceme mít při započetí projektu.

Následně se založením projektu otevře Level Editor (viz obr. 34), kde již probíhá většina činností v tomto programu. Level neboli úroveň zjednodušeně reprezentuje prostor obsahující objekty, terén, atmosféru, světlo, a další prvky. V tomto prostoru následně můžeme s těmito objekty vzájemně působit. Na horní liště se nachází záložka umožňující vytvoření, otevření a uložení levelu i projektu jako takového, dále záložka pro editaci a nastavení projektu či kroky zpět a vpřed. Window poskytuje přehled dostupných panelů spolu s jejich rozložením. Help odkazuje na výukovou dokumentaci. Nechybí zde i ikona pro základní tutorial v programu. Level Editor obsahuje několik ovládacích panelů, které jsou rozmístěny po celém okraji pracovní plochy.

V horní centrální části se nachází panel nástrojů nabízející základní úkony jako uložení projektu, nastavení projektu, spojení se softwarovým obchodem Marketplace či

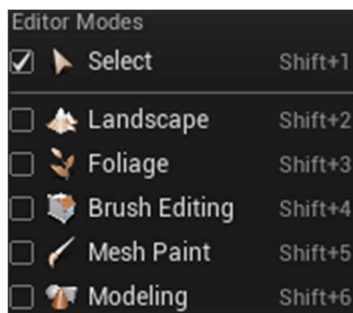
otevřít Blueprint editor. Nezbytný je také přístup do nástroje Content Browser, který nabízí uživateli listovat souborem složek projektu. Odtud lze importovat jednotlivé prvky do levelu, ať se jedná o zvuky, skripty či objekty spolu s jejich materiály a texturami. Funkce Built umožňuje vykreslení světla a stínu na levelu. Hru a její funkci lze otestovat pomocí funkce Play, která hru v dotyčném levelu zahájí v editoru spolu s jeho animacemi, zatímco Launch ji spustí v samostatném okně na dostupných platformách.



Obr. 34: Uživatelské prostředí Unreal Engine 4

Velmi důležitým nástrojem je panel módů, jenž je vyobrazen na obr. 35. Skýtá totiž pod sebou šest základních režimů úprav. Place mode umožňuje pokládat objekty do levelu. Umístěny mohou být obecné objekty jako koule, krychle a další, stejně jako i komplexní předměty typu židle, socha nebo i celé budovy apod., které si můžeme v dostupných knihovnách zakoupit, zadarmo stáhnout či zručněji z nás sami naprogramovat a vyrobit. Tímto módem do levelu stejně tak umisťujeme i animace, zvukové efekty, mlhu, oblačnost nebo osvětlení, které má významný dopad na výkon počítače. Významnou roli hrají v tvorbě scény a blíže se jimi zabývá podkapitola 5.6.

Landscape mód se koncentruje na tvorbu a editaci terénu a je předmětem podkapitoly 5.4. Foliage umožňuje rychlé umisťování objektů do levelu, Brush Editing mění geometrické vlastnosti těles a objektů, Mesh Paint se soustředí na editaci textur včetně jejího překreslování. V poslední řadě módy Brush Editing a Modeling objekty vytváří a mění jejich geometrické vlastnosti.



Obr. 35: Panel módů

Na pravé straně pracovní plochy nalezneme tzv. World Outliner. Jedná se o seznam všech objektů, tzv. aktérů, které jsou na levelu umístěny. Umožňuje nastavení viditelnosti jednotlivých objektů, jejich třídění a řazení do složek v rámci levelu, stejně jako přechod do vlastností a editorů konkrétních objektů. Podrobnosti o samotných objektech a jejich změny můžeme provádět v panelu Details, jenž je umístěn níže.

V centru pracovní plochy se nachází náhledový panel do levelu, Viewport. Umožňuje pohyb po daném levelu a poskytuje několik stylů vykreslení – vykreslení se světly, bez světla, jen světlo, či pouze hrany objektů a jiné. Pro pohyb ve viewportu lze užít myš nebo klávesnici. Počítačová myš umožňuje pro uživatele pohyb vpřed a vzad (levé tlačítko), pohyb do stran (prostřední kolečko) a změnu úhlu pohledu simulující rozhled (pravé tlačítko). Klávesnice umožňuje stejné pohyby tlačítka W-S a Q-E-A-D v součinnosti s pravým tlačítkem na myši. Klávesy C-Z navíc slouží k přiblížení a oddálení kamery, kdy se ovšem hned po ukončení tisknutí myši pohled zresetuje. Je vhodné si také přizpůsobit rychlost pohybu na stupnici nabízené v pravém horním rohu viewportu.

Uživatelské prostředí poskytuje mnoho možností, jak si jednotlivé panely uskupit a rozmístit, lze jich totiž mít otevřeno více současně. Je v tomto směru tedy uživatelsky příjemný a flexibilní.

5.3 Zavádění výchozího 3D modelu

V rámci mé závěrečné práce byl pro demonstraci některých funkcí tohoto softwaru a jeho možností výstupů z něj použit výchozí model budovy Maxmiliánova dvora v Revitu. Převod modelu mezi těmito programy nečiní pro uživatele komplikace. Unreal Engine totiž pro tyto modely užívá unikátní formát UDATASMITH, který vytvoříme

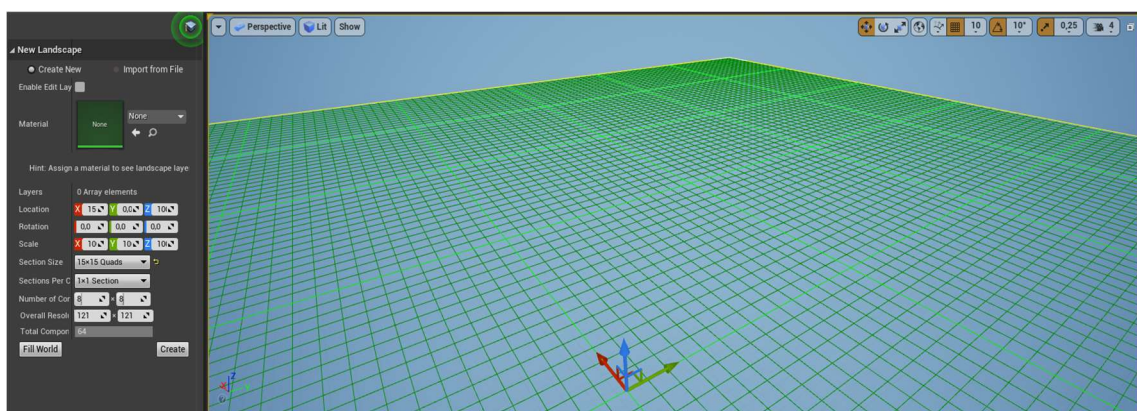
pomocí zásuvného modulu Autodesk Revit Exporter, jenž je dostupný ke stažení zdarma na webových stránkách UE v sekci Datasmith Exporter Plugins [36]

S nainstalovaným pluginem v prostředí Revitu v módu 3D View klikneme na záložku Datasmith, zvolíme Export 3D View a operaci dokončíme. Soubor plní funkci záznamu pozice vytvořené složky obsahující veškeré záznamy a textury. Do Unreal Engineu objekt importujeme funkcí Datasmith nacházejícího se na panelu nástrojů. Načteny budou kromě geometrie také informační záznamy modelu a textury. Panel World Outliner model neuvádí jako kompaktní celek, ale jako soustavu jednotlivých prvků rozčleněných do vrstev.

5.4 Tvorba terénu

Součástí prezentace modelu budovy nebo celých stavebních komplexů zpravidla bývá zasazení do kontextu její skutečné či plánované polohy, a tedy vymodelování okolního terénu. Rozsah a míra podrobnosti se obvykle odvíjí od významu a účelu daného projektu. V případě mého zájmového objektu je kolem budovy zachyceno nejbližší okolí reprezentované přístupovými a obslužnými cestami pro hospodářskou techniku spolu s přilehlými koňskými pastvinami, v nichž se rozprostírá i několik listnatých a jehličnatých porostů.

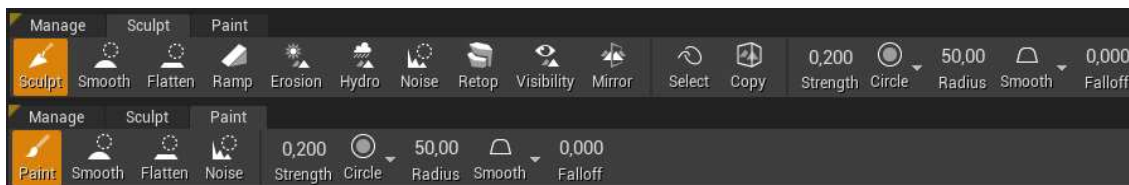
Jak bylo dříve zmíněno, tvorba a editace krajiny je hlavní úlohou Landscape módu v panelu nástrojů. Terén se chová jako běžný aktér. Lze jej v levelu vytvořit, importovat do něj či skrýt, může být posouván, otáčen i měněno jeho měřítko. Využijeme-li pro nahrání terénu šablonu, šedotónovou pixelovou výškovou mapu, tvar bude dopředu definován. Níže pracuji s terénem bez šablony, jak je patrné i ze snímku níže.



Obr. 36: Čtvercová síť terénu

Unreal Engine Landscape sestává ze čtvercových oblastí nazvaných Components, Sections a Quads. Největšími částmi jsou komponenty, jejichž počet působí na výpočet viditelnosti, a počty jeho sekcí ovlivňují míru detailnosti výsledného terénu. Požadované hodnoty se zadávají před samotným vytvořením, samozřejmě s možností pozdější editace.

Příkaz Create vygeneruje základní terén reprezentovaný rovinou o zadaných rozměrech. Nový aktér můžeme přesunout do požadované výškové úrovně a započít s jeho tvarovou úpravou. K ní je určena funkce Sculpt (viz obr. 37). Uživateli předkládá tři kategorie úpravy – Tool, Brush a Falloff. První jmenovaný obsahuje různé typy terénních útvarů. Druhý plní funkci štětce, jehož tvar, vzhled a sílu nastavujeme. Falloff definuje lineárnost a hladkost čili přechod mezi původním a novým stavem. Funkce je vhodná pro primární úpravu terénu, při níž jsou určeny základní terénní tvary.



Obr. 37: Výřez nástrojů úpravy terénu

Následně se geometrie uhlazuje a provádí se detailnější úpravy. Funkce Smooth umožňuje zjemnit nechtěné ostroty útvarů, Flatten vyrovnává zasaženou oblast do stejné výškové úrovně a nástroj Ramp vytváří plynulý přechod mezi dvěma vybranými místy, v našem případě je užitečný pro modelaci mírně klesajícího terénu a komunikací. Mód má také možnosti napodobit přírodní eroze, konkrétně Erosion a Hydro Erosion. Spontánní členitost vyvolává funkce Noise.

Dokončením modelování vznikla námi tvarově požadovaná krajina, ta ovšem není tvořena jediným materiálem. V zájmové lokalitě se nachází alespoň čtyři typy povrchů a k jejich vykreslení použijeme funkci Paint. Nástroj využívá vícevrstvého materiálu, který si uživatel musí nadefinovat a který posléze nanášíme v podobě nátěru na vybraná místa. Výroba tohoto typu materiálu je mimo jiné specifikovaná v následující podkapitole.

5.5 Materiály

Prvkům levelu můžeme přiřadit materiál. V porovnání s texturou se materiál chová přirozeněji, neboť při dopadu světla provádí výpočet, jehož výsledek poté stanoví charakter vzájemného působení světla s povrchem. Následně se projevuje kvalitními stíny, drsností či lesklostí povrchu.

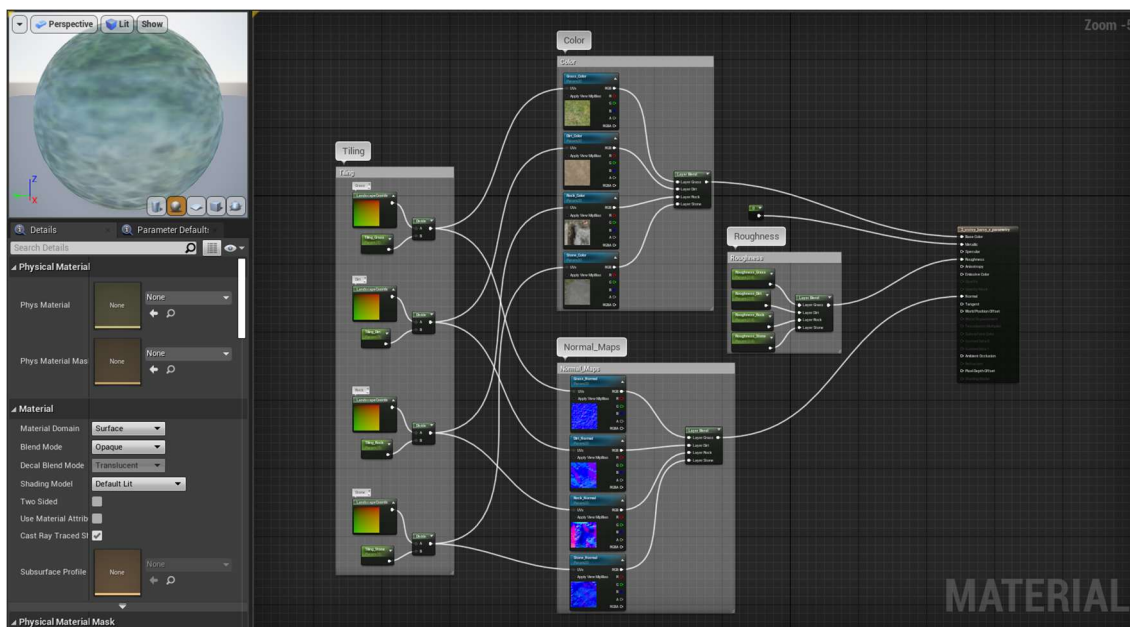
Adresář Materials panelu Content Browser již při založení projektu obsahuje výchozí balíček. Přetažením zvoleného materiálu na aktér či do panelu detailu vybraného aktéru materiál aktivujeme. Nyní si uvedeme postup tvorby vícevrstvého materiálu a jeho parametrizaci. Pro zjednodušení bude mít uvedený materiál jen dvě vrstvy.

Přidáme nový materiál v panelu Content Broser a dvojklikem se ocitneme v editoru materiálů. Těžiště činnosti se odehrává v editorovém panelu Graph. Z adresáře si přetáhneme dvě textury, pro trávu a bláto (v případě trávy „T_Ground_Grass_D“). Pravým tlačítkem a textovým zadáním vložíme uzel Landscape Layer Blend. Zobrazíme si jeho vlastnosti a v odrážce Layers přidáme obě textury, načež Preview Weight nastavíme 0,5. Obě textury v panelu Graph spojíme z výstupu RGB textury do příslušného vstupu Landscape Layer Blend, jehož výstup napojíme do Base Color materiálu. Pro lepší kontrolu skládání textur si pro každou z nich vložíme Landscape Layer Coords, spojíme s UVs vstupem příslušné textury a chceme-li, změníme ve vlastnostech měřítko na hodnotu 2.

Nyní vložíme normální mapu pro obě složky (pro trávu „T_Ground_Grass_N“). Rozklikneme u rámečku možnost poznámky symbolizovanou třemi tečkami a vepíšeme název složky (Grass a Dirt). Landscape Layer Coords napojíme z totožných výstupů do normální mapy stejné textury. Vytvoříme Landscape Layer Blend jako v případě textur, provedeme stejné úkony s normálními mapami a spojíme se vstupem Normal materiálu.

Jelikož popisovaný vícevrstvý materiál bude pojímat trávník a bláto, bude mít nekovový charakter. Abychom jej zajistili, vložíme funkci Constant, která může nabývat hodnot v intervalu (0;1), a nastavíme ji na 0, načež ji propojíme se vstupem materiálu Metallic. Drsnost definujeme obdobně, avšak pro každou texturu zvlášť. Vložíme tedy dvakrát Constant. Pro dosažení vysoké hrubosti a zároveň neúplné potlačení lesklosti materiálu jej určíme 0,9. Zkopírujeme Landscape Layer Blend a oba výstupy do něj správně přiřadíme. Navážeme jej ke vstupu Roughness.

Materiál zhotovený výše uvedeným způsobem je připravený pro aplikaci. V levelu ve vlastnostech terénu jej nastavíme jako Landscape Material. Zpravidla prvně obrazovka zčerná, není ovšem důvod se znepokojovat, protože stačí vytvořit informace o vrstvě pro zobrazení textur. Informace vytvoříme cestou Paint - Target Layers – Layers, u příslušné textury stiskneme symbol plus a zvolíme layer info – Weight-Blended Layer (normal).



Obr. 38: Výřez schématu vícevrstvého materiálu

Zavedený vícevrstvý materiál nám již na terénu umožňuje si dle libosti vykreslovat jednotlivé terénní prvky. Parametry jako jsou textura, normální mapa, jejich měřítko či hrubost jsou ale zadány pevně v editoru materiálu. Mnohem praktičtější a uživatelsky přátelštější je nastavení parametrizace materiálu přímo v hlavním pracovním okně.

V editoru materiálu označíme postupně tabulky Constant, pravým tlačítkem je konvertujeme na parametry a pojmenujeme (např. Roughness_Grass). Parametry materiálu si uvnitř instance můžeme zorganizovat označením příslušných tabulek, otevřením detailů, kliknutím na Material Expression – Group a souhrnně je pojmenovat (např. Roughness). Stejně postupujeme i u textur a normálních map. V případě skladby (tiling) pomocí zkratky S + Levé tlačítko myši vytvoříme Scalar Parameter Node a pojmenujeme (Tiling Grass). Pravým tlačítkem vložíme funkci Divide, do jejíhož vstupu A připojíme Landscape Coords a do B Tiling_Grass. Parametr mapping scale nastavíme dle uvážení. Pro lepší přehlednost a orientaci se doporučuje vhodné rozmístění tabulek v editoru, jak je znázorněno v obr. 38.

Vyhledáme si materiál v Content Browseru a pod pravým tlačítkem se zobrazí možnost Create Material Instance. Vyhotovenou instanci přetáhneme do prohlížeče a šipkou nebo výběrem nastavíme. Zde si již také můžeme všimnout možnosti výběru parametrů. Pro věrné vykreslení terénu v místě objektu byl vícevrstvý materiál vytvořen z celkem čtyř složek – trávník, bláto, hrubá kamenná dlažba a hladká kamenná dlažba.

Výhodou kreslení vícevrstvým materiálem je i možnost překrývání jednotlivých vrstev použitím štětce s menší intenzitou. Elegantně tím v příslušném modelu řešíme případy, jako jsou například prашné koleje od zemědělských strojů na kamenné dlažbě nebo místa, kde v některých částech trávniku prosvítá více hlíny v souvislosti s volnou pastvou hospodářských zvířat.

Určitou míru editace také zaznamenala fasáda, kde byl na omítku použit materiál vykazující povrchové vady. Totéž platí i pro interiérové obklady, které se při exportu z Revitu načetly neúspěšně, a bylo jim všem čtyřem potřeba nadefinovat materiál nový.

5.6 Úprava scény

Jakmile je terén uspokojivě vymodelován, vykreslen a je na něm umístěn požadovaný objekt spolu s případnými dalšími objekty, přikročíme k úpravě scény. Stávající scéna je pro uživatele strohá, plochá a postrádá potřebnou realističnost. Předmětem úpravy bude pokrytí části terénu vegetací, doplnění fasády jejími vadami v podobě různých deformací, nastavení osvětlení, mlhy a oblačnosti.

Objekty reprezentující stromy, trávu či kamenivo lze vkládat jednotlivě, což je ale časově velmi nevhodné, takový postup využíváme jen v případě umístění samostatně ležících prvků s přesným umístěním. Nástroj Foliage umožňuje hromadné vkládání aktérů. Požadovaný aktér do této funkce vložíme tlačítkem Add Foliage Type a aktivujeme jej zaškrtnutím. Objekty můžeme vkládat štětcem, u něhož se nastaví mimo jiné velikost plochy štětce, hustota umístěných objektů nebo jejich vzájemná vzdálenost, měřítko vkládání v jednotlivých osách či na jaký povrch budou umístěny (v tomto případě Landscape). Funkce k terénu vložené objekty „přilepí“, takže se následně jejich poloha a náklon mění v závislosti na dodatečné modifikaci terénu.

Použité aktéry, kterých si můžeme všimnout na obrázku 39, jsou v rámci balíčku evropské vegetace zdarma ke stažení na Unreal Engine Marketplace, kde jsou od roku

2020 poskytovány spolu s obrovským počtem jiných doplňků největší knihovnou 3D skenů na světě Quixel Megascans.



Obr. 39: Použití nástroje Foliage pro tvorbu vegetace

Realističnosti vzhledu fasády dodávají přidávané praskliny a vady, které jsou opět v rámci Decal balíčku dostupné zdarma na Marketplace. Zmíněné prvky představující vady se však chovají poněkud odlišně než jiné, jelikož konají funkci určité formy nálepky či plakátu. Po vložení do projektu a nastavení parametrů dané praskliny nebo jiného poškození se po průniku s jiným aktérem na něj v podstatě připne. Nastavením odstínu či kontrastu prasklin se dá docílit dojmu rozličnosti jejich stáří a povahy vložených vad. Možnosti aplikace povrchových vad různé povahy demonstrují následující dva snímky:



Obr. 40: Aplikace vad fasády 1



Obr. 41: Aplikace vad fasády 2

Osvětlení se kategorizují na statická, stacionární a dynamická. Navzájem se liší, a to jak v chování, tak i ve výpočetní náročnosti výsledné aplikace. Statická světla umožňují nastavení obvyklých parametrů - intenzita a tvar zdroje světla (Directional, Point, Spot, Rectangle, Sky Light), teplota barvy světla nebo stíny. Dynamická světla vykonávají kalkulaci v čase, jsou proto velmi náročná na výpočetní kapacitu zařízení, kterou největší měrou vyčerpává určování stínů. Světla stacionární přebírají část vlastností statických i dynamických světél.



Obr. 42: Nastavení oblačnosti a slunečního svitu

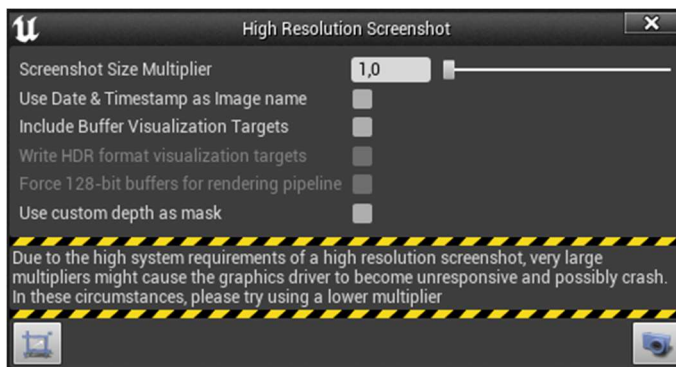
Do scény jsem zvolil aktér simulující slunce a jeho chování, tzv. SunSky. Jeho předností je možnost nastavení slunečního záření zeměpisnou polohou, datem v roce a slunečním časem. Grafický výstup zachycuje sluneční osvětlení objektu odpovídající skutečné zeměpisné poloze, dni měření a podvečernímu času (viz obr. 42).

Mlha označovaná jako ExponentialHeightFog poskytuje možnosti nastavení její hustoty, výšky, zabarvení a dalších parametrů. Skvěle působí zasazena do členitého terénu, kde zpoza terénních tvarů nebo objektů vytváří pruhy slunečních paprsků. Není však žádoucí v situacích, kdy klademe důraz na ostrost pozadí obrazu či provádíme snímek objektu z větší vzdálenosti. Oblačnost do levelu vloží aktér VolumetricCloud. Volby parametrů skýtají mnoho možností vykreslení mraků na obloze. Mraky navíc při pohybu kamery po terénu projevují dynamičnost a vzbuzují dojem plynulého vývoje.

5.7 Grafické výstupy

Obrazové výstupy, které byly v rámci diplomové práce tímto enginem vyhotoveny, reprezentují snímky scény s vysokým rozlišením a videoprohliídka scény. Video zachycuje exteriér budovy včetně jejího nejbližšího okolí, načech se následně přesouvá do interiéru, kde vyobrazuje model prvního nadzemního podlaží a půdních prostor. Zmíněné výstupy jsou součástí elektronické přílohy práce.

Běžný snímek z prostředí se v Unreal Engineu získá funkční klávesou F9. K vygenerování snímku ve vysokém rozlišení lze ovšem použít nástroj High Resolution Screenshot Tool (viz obr. 43). Použití se umožňuje kromě hlavního okna i ve všech oknech editací. Výhodou nástroje je možnost konkretizovat oblast nebo kvalitu snímku, stejně tak i možnost aplikovat masku pro aktéry bez parametru Render Custom Depth. Na obr. 44 a 45 je nástroj použit pro pořízení snímků exteriéru a interiéru modelu [37]



Obr. 43: High Resolution Screenshot Tool



Obr. 44: Snímek exteriéru v Unreal Engine 4



Obr. 45: Snímek interiéru v Unreal Engine 4

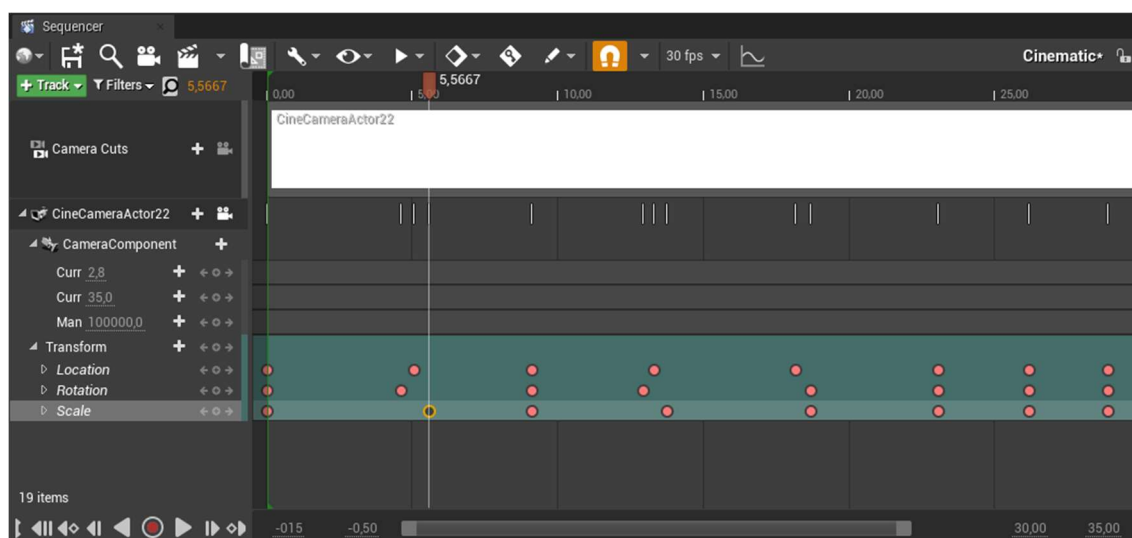
Vizualizace modelu budovy ve formě snímků v herním enginu Unreal Engine je součástí příloh práce pod označením 2.4. *Vizualizace modelu – Unreal Engine.*

Software uživateli nabízí mimo jiné tvorbu snímků i filmové scény pomocí nástroje Cinematics v panelu nástrojů. Aktér Matinee umožňuje pohyb krajinou a předmětným objektem v proměnném osvětlení, vlastnostech okolních aktérů apod. Vložení tohoto aktéru se přesouváme do editoru.

Prostředí editoru se člení na panel nástrojů, Curve Editor věnující se trase či křivce kamery a Tracks. Z nabídky panelu nástrojů zvolíme Camera a tvorbu nové skupiny. Tím vznikne v panelu stop seskupení obsahující dvě složky – pohybovou Movement a úhlovou FOVAngle. V levelu se zobrazí kamera, se kterou zvolením Pilot CameraActor můžeme po scéně pohybovat a natáčet ji v libovolném úhlu.

V prvním kroku se určí počáteční místo, odkud filmová scéna bude vycházet. Pohyb kamery se odvíjí od jednotlivých částí trajektorie, v náhledovém poli označovaných jako klapky, v editoru barevnými symboly. V náhledovém okně potvrdíme polohu kamery na výchozím bodě klávesou Enter a uložíme její polohu.

Matinee editor zobrazuje časovou osu se sekundovým dělením, na níž vzniká stopáž videa. Délka stopáže se odvíjí od rozpětí mezi symboly na časové ose. Další klapku vytvoříme posunutím se na časové stopě, posunutím kamery v náhledovém okně a jejím potvrzením. Editor umožňuje zadat odlišný čas, kdy se v záběru otáčí, posouvá a přibližuje či oddaluje kamera. Vytvořit můžeme libovolné množství klapek a vznikající záběry kontrolujeme spuštěním animace. Obrázek níže zachycuje tvorbu stopáže.



Obr. 46: Tvorba stopáže

Nastavení tvořeného videa zahrnující kvalitu, rozlišení, počet snímků za sekundu, formát a jiné umožňuje okno Render Movie Settings. Po vhodném nastavení se příkazem Capture Movie spustí nahrávání scény po vybudované trajektorii. Výsledné renderované video je exportováno ve formátu AVI. Z důvodu velikosti bylo video umístěno na server YouTube a odkaz na toto video je obsahem přílohy č. 2.5. *Videoprohlídka*.

6 Další možnosti publikování modelu

Výsledný model ve formátu RVT nachází využití pouze v prostředí odborné veřejnosti disponující softwarem Revit. Je však nutné zajistit možnosti pro další profese, které by mohly v průběhu životního cyklu stavby tento model využít. Dotyčnými osobami mohou být např. správce budovy zjišťující počty svítidel nebo hasicích přístrojů, elektrikář shromažďující informace o parametrech zásuvek či jističů anebo zástupci "laické veřejnosti", investor apod, kteří ocení možnost si prohlédnout výsledný model.

Rozsáhlý technologický pokrok v novém tisíciletí umožnil rozvoj mnoha odvětví, jejichž cílem je takto model zprostředkovat uživatelům i mimo odbornou veřejnost či jej dokonce zhmotnit. Předmětem této kapitoly je poukázat na další oblíbené prostředky pro publikaci nebo prezentaci modelu budovy, případně jeho částí.

6.1 Webová aplikace

V současnosti existuje mnoho způsobů, jak „laickému“ uživateli předložit produkt k nahlédnutí bez potřeby stahování specializovaného softwaru. Sketchfab (viz obr. 47) představuje vhodnou cloudovou platformu pro sdílení a zobrazování 3D modelů nezávisle na typu operačního systému, internetového prohlížeče a zařízení. Umožňuje bezplatnou licenci a model lze zobrazit i ve virtuální či rozšířené realitě. [38]

Aplikace disponuje jednoduchou intuitivní ovladatelností. Uživatel může využít základních editačních nástrojů včetně vkládání popisků ke konkrétním částem modelu. Poskytuje také možnosti hodnocení či pořizování cizích veřejných modelů. [38]



Obr. 47: Logo Sketchfab [38]

Tvorbě 3D modelů a návrhů stejně tak jako jejich prezentaci se ve webovém prostředí věnuje i online modelář ShetchUp (viz obr. 48). Vývoj zajišťuje společnost Trimble a je nabízen ve verzi Free a Pro. Ke sdílení výsledků práce nabízí prohlížeč 3D modelů dostupnost na všech typech zařízení. [39]

Prohlížeč umožňuje prezentovat jednotlivé detaily modelu a současně i zobrazovat scény, vrstvy a pohledy. S využitím kompatibilních brýlí otevírá možnosti virtuální či

rozšířené reality. Pomocí smíšené reality lze interagovat s projekty ve formě holografických modelů v různých měřítcích, což doplňuje nebo vylučuje potřebu vytvářet fyzické modely. [39]

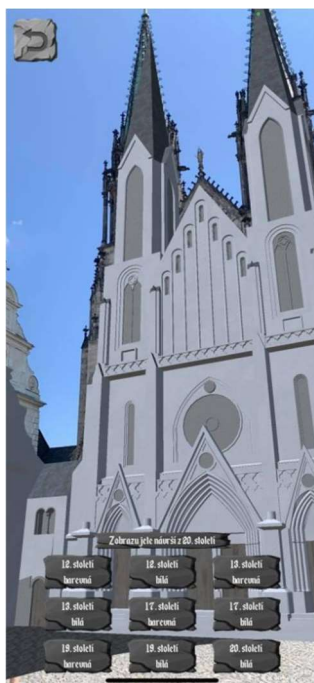


Obr. 48: Logo SketchUp [39]

Jelikož se jedná o aplikaci, v níž se 3D modely i budují, umožňuje více možností, jak s nimi během prezentace pracovat.

6.2 Mobilní aplikace

Populárnější se v posledních letech stávají i samostatně vznikající mobilní aplikace tvořené za účelem publikace konkrétního modelu či skupiny modelů a jejich částí. Jak můžeme vidět na následujícím obrázku, využití nacházejí mimo jiné u historických památek, kde slouží pro edukaci a mívají často populárně naučný charakter. Poskytují možnost prohlídky dané památky jako celku, často navíc s časovou proměnlivostí. Uživatelé tak může být pomocí aplikace například předložen v rámci rozšířené reality hradní komplex a jeho podoba v jednotlivých staletích nebo obdobích vlády.



Obr. 49: Příklad tvorby mobilní aplikace [40]

Nejprve se vyhotovují modely, jež slouží jako podklad pro tvorbu projektu v herním engine, jenž je pro tento typ činnosti uzpůsoben. Použity mohou být Unreal Engine od Epic Games či konkurenční Unity od Unity Technologies. Při tvorbě aplikace a zajišťování funkčnosti prvků rozšířené reality se shromažďují potřebné knihovny a funkce. Následuje vývoj User Interface, vývoj vzhledu aplikace, její interiérová i exteriérová část. Nakonec se provádí export aplikace s vybranými cílovými platformami s operačními systémy Android či iOS. [40]

6.3 3D tisk

Někdy se ani ta nejlepší virtuální projekce nemůže rovnat možnosti si daný objekt ve zmenšeném měřítku skutečně „osahat“ a prohlédnout. Počátky 3D tisku sahají do přelomu 80. a 90. let minulého století. Předchozí dekáda se v oblasti dotyčné technologie nesla ve znamení největšího pokroku. Došlo k postupnému zdokonalování a 3D tisk se stal komerčně dostupnou záležitostí. V současnosti je aplikován v plné škále odvětví. [41]

Mezi nepoužívanější technologie 3D tisku řadíme stereolitografii, která byla jednou z prvních a spočívá v tvrzení fotopolymerické pryskyřice ultrafialovým laserem. Dále se používá tvrzení pomocí světelného paprsku, laserové spékání práškového materiálu, vytlačování termoplastických materiálů, vstřikování pojiva a materiálu, selektivní vrstvení (laminování) a také lineární plošný 3D tisk, jenž se užívá ve stavebnictví. Jako materiál slouží především plasty, kov, keramika, papír, rozšiřují se ale také i biologické materiály či extrudéry na bázi potravin. [41]

Máme-li v úmyslu 3D tisk modelu, v tomto případě zmenšeného 3D modelu budovy, je potřeba model zjednodušit a také včas odhalit případné chyby vniklé během modelování. Může se jednat o chybná vykreslení, nepotřebné prvky či příliš tenké prvky jako jsou okenní výplně, jež by nebylo možné vytisknout. [41]

Modely jsou poté v animačním softwaru graficky upravovány do finální podoby a exportovány do formátů určených pro 3D tisk, mezi které patří například formát STL či OBJ. Následuje import v uvedených formátech do tiskařského softwaru, jenž je již napojen na 3D tiskárnu, a vysílají se z něj do tiskárny data. Program mimo jiné generuje řezy modelu a vytváří trajektorii pohybu tiskařské hlavice. Délka doby tisku je proměnlivá v závislosti na velikosti a složitosti modelu nebo na typu tiskárny, obvykle se

však pohybuje v řádu několika hodin. Výsledný vytištěný model (viz obr. 50) je nakonec potřeba začistit, případně povrchově ošetřit. [41]



Obr. 50: Použití 3D tisku na modelech podlaží budovy [42]

Ve stavebních podnicích je zavádění technologie 3D tisku příhodné tam, kde je implementována metodika BIM. Vytištěné modely usnadňují pochopení některých stavebních projektů a jejich částí a pro některé účastníky mohou působit srozumitelněji. Hojné využití zaznamenávají při prezentacích dispozičního uspořádání vnitřních prostor stavby, stejně jako exteriéru. [41]

7 Závěr

Diplomová práce se věnuje problematice BIM a práci s prostorovými daty. Vyhotovené uživatelské rodiny představují ukázkou práce s mračnem bodů a jeho použití při tvorbě předdefinovaných prvků pro model budovy Maxmiliánova dvoru v Kroměříži. Jsou dále součástí celého obdržného 3D modelu, na němž se prostřednictvím terestricky měřených kontrolních bodů a jim odpovídajícím bodům v modelu provedlo vyhodnocení přesnosti modelu. Poté jsou demonstrovány možnosti, jak dané dílo vizualizovat a prezentovat ve formátech dostupných pro koncového uživatele včetně využití herního prostředí.

Metodika BIM je v první části stručně charakterizována. Představeny jsou dimenze modelů, míra podrobnosti a je předložena i bilance silných a slabých stránek zavádění BIM. Součástí je současná koncepce její plošné aplikace jak ve veřejném sektoru na našem území v praxi, tak i v oblasti vzdělávání. Nutno dodat, že informace v této oblasti mají vzhledem k rychlému vývoji tendenci rychle zastarávat. Opírají se tedy z větší části o nové publikace, ale také o poznatky získané z nedávného summitu Koncepce BIM.

Tvorba rodin okna i dveří v softwaru Autodesk Revit 2020 vyžadovala ne zcela standartní přístup přizpůsobený jejich vyšší konstrukční složitosti. Každá ze zmíněných uživatelských rodin je vyhotovena v poměrně vysoké podrobnosti. Skládá se z velkého počtu dílčích prvků, které se ve výsledku formují v kompaktní celek. Funkčnost a flexibilita byla ověřena jejich aplikací v modelu celé stavby, což je prezentováno v další části závěrečné práce věnované tématu vizualizace.

Celý model Maxmilánova dvoru byl dále podroben testování přesnosti. Skrze porovnání souřadnic určených terestrickým měřením se souřadnicemi příslušných bodů získanými z modelu budovy byly vypočteny charakteristiky přesnosti. Střední chyba dvojího určení prostorové polohy kontrolních bodů činila 5,6 cm, což splňuje požadavek na přesnost konečného modelu, který se v rámci použité metody sběru dat pohybuje v řádu centimetrů.

Rozboru způsobů publikace modelu jsou podrobena dvě rozdílná prostředí, Revit 2020 a herní engine Unreal Engine 4. V obou prostředích se představuje forma pořizování snímků s vysokým rozlišením. Část práce se v herním enginu věnuje i dotváření

realističnosti vzhledu modelu a jeho blízkého okolí. Dále je popisován způsob, jak předložit koncovému uživateli možnost nahlédnout na celý model v podobě 3D PDF. Vrcholem vizualizace je nesporně videoprohlídka exteriéru a interiéru budovy.

Vyšší časové požadavky praktické části byly značně ovlivněny mými počátečními menšími zkušenostmi s uvedenými pracovními prostředími. Při dostatečných zkušenostech však dané programy poskytují skvělé možnosti pro práci s prostorovými daty, ať už z hlediska modelování, tak i z pohledu vizualizace.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Koncepce zavádění metody BIM v České republice* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Zář 2017 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.koncepcbim.cz/uploads/inq/files/Koncepce%20zav%C3%A1d%C4%9Bn%C3%AD%20metody%20BIM%20v%20C4%8CR.pdf>
- [2] KUBBA, Sam PH.D., LEED AP. *Handbook of Green Building Design and Construction*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012, 201-226. ISBN 9780123851284. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123851284000056>
- [3] BIM - IpsaBIM. *IpsaBIM* [online]. Bucharest [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://ipsabim.com/en/bim/>
- [4] Bc. PEJCHAL, Mojmír. *Přepřevádění dokumentace stavby do modelu pro BIM*. Brno, 2021. 52 s., 15 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
- [5] ENGLEBART, Douglas C. *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Washington, 1962, 5 s. Dostupné také z: https://www.doungengelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-Augmenting_HumanIntellect.pdf. Director of Information Sciences Air force Office of Scientific
- [6] MICHL, Vladimír. *BIMfo - Historie BIM*. BIMfo [online]. 23.1. 2019 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Historie-BIM.aspx>
- [7] *A history of BIM - LetsBuild*. Letsbuild [online]. Lets build, 22.3. 2017 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim>
- [8] Bc. HALTMAR, Jan. *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.
- [9] Kenmerken van BIM – BIMportal. *Bim portal* [online]. Bim portal, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bimportal.be/nl/bim/algemeen/kenmerken/>
- [10] *A co je vlastně ten BIM?* | Bim.Point. *Bim-point* [online]. 28. 6. 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bim-point.com/blog/a-co-je-vlastne-ten-bim>
- [11] *Everything worth knowing about the IFC format – Bim Corner*. *Bim Corner* [online]. 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/>

[12] SAMPAIO, Alcinea Z.; BERDEJA, EDGAR. *Collaborative BIM environment as a support to conflict analysis in building design*. University of Algarve, 2017, 78-79. doi:10.1109/EXPAT.2017.7984348 4th Experiment@ International Conference.

[13] MICHL, Vladimír. Více dimenzí - 3D CAD vs. 4D/5D/6D BIM: Co znamená označení BIM projektů jako 4D, 5D nebo 6D?. BIMfo [online]. 4. dubna 2017 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Vice-dimenzi-3D-CAD-vs-4D-5D-6D-BIM.aspx>

[14] The BIM revolution in building management. *Drawbotics blog* [online]. 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://blog.drawbotics.com/2018/11/07/the-bim-revolution-in-building-management/>

[15] PhDr. ŠVAMBERKOVÉ, Lucie M., et.al.. *Soupis potřebných dovedností a oblastí znalostí v souvislosti s BIM* [online]. Česká agentura pro standardizaci, květen 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.koncepcbim.cz/uploads/inq/files/Soupis%20potrebnych%20dovednosti%20a%20oblasti%20znalosti%20v%20souvislosti%20s%20BIM_Agentura%20CAS%20%282%29.pdf

[16] TUNKA, Lukáš. BIMfo - LOD - Level Of Development: Co znamená pojem Level of Development pro spolehlivost informačního modelu stavby. *BIMfo* [online]. 2016 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-Level-Of-Development.aspx>

[17] ŠPALEK, Michal. Co znamená pojem LOD v BIM? - TZB-info. *Tzb info* [online]. TZB-info, 16.3. 2020 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/20352-co-znamenava-pojem-lod-v-bim>

[18] TUNKA, Lukáš. BIMfo - LOD = LOD + LOI: Informační podrobnost BIM modelu. *BIMfo* [online]. Praha 8: Arkance Systems, 2017 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-LOD-LOI.aspx>

[19] What are LOD and LOIN in BIM and what are they for? - BibLus. *BibLus* [online]. Bagnoli Irpino: ACCA software S.p.A, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://biblus.accasoftware.com/en/what-are-lod-and-loin-in-bim-and-what-are-they-for/>

[20] NECHYBA, Jaroslav; ŠVAMBERKOVÁ, PhDr. Lucie. Summit Koncepce BIM [konference]. PVA EXPO Praha, Česká agentura pro standardizaci, 24. 2. 2022. In: *mikeportal.online* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://summitkoncepcbim.mikeportal.online/main>

- [21] ŠTRONER, Martin. Možnosti zvyšování přesnosti 3D skenování. Praha, 2016. České vysoké učení technické v Praze.
- [22] Archicad — Cega. *Centrum pro podporu počítačové grafiky* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.cegra.cz/produkty/software/archicad/>
- [23] BIM 360|Software pro spolupráci ve stavebnictví. *Graitec* [online]. Graitec, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.graitec.cz/bim/bim-360>
- [24] Maxmiliánův dvůr + Muzeum:: Chovatele koní. *SŠHS Kroměříž* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://chovatelekonu.webnode.cz/maxmilianuv-dvur-muzeum/>
- [25] Autodesk | Software pro 3D navrhování, projektování a zábavu. *Autodesk* [online]. Autodesk, 2020 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/>
- [26] Bc. MATĚJ, Simon. BIM a virtuální geografická prostředí. Brno, 2020. 97 s., 2 s. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Geografický ústav. Vedoucí práce doc. RNDr. Petr Kubíček, CSc.
- [27] Bc. PENK, David. Vyhotovení 3D modelu části budovy SPŠ stavební Brno. Brno, 2021. 74 s., 14 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.
- [28] GREENWOLD, Simon. *Informační model budovy v aplikaci Revit Architecture* [online]. březen 2004 [cit. 2022-05-14]. Skripta. Dostupné z: <https://www.abecedapc.cz/obr/revit/RC/poznamky.pdf>
- [29] CIMALA, Lukáš, et. al. *Revit ve stavební praxi* [online]. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014 [cit. 2022-05-14]. ISBN 978-80-214-4966-4. Dostupné z: https://www.aiu.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/2/2021/01/Revit_ve_stavebni_praxi.pdf
- [30] About Epic Games | Interesting Facts & Information About Epic Games - Epic Games. *EPIC games* [online]. Epic Games, Inc., 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.epicgames.com/site/en-US/about>
- [31] Microsoft Supports Epic Game's Stance on Maintaining Unreal Engine Software for Future Users - mxdwn Games. *Mxdwn* [online]. mxdwn.com, 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://games.mxdwn.com/news/microsoft-supports-epic-games-stance-on-maintaining-unreal-engine-software-for-future-users/>

[32] Fortnite made more than \$9 billion in revenue in its first two years - The Verge. *The Verge* [online]. Vox Media, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2021/5/3/22417447/fortnite-revenue-9-billion-epic-games-apple-antitrust-case>

[33] Two N.C. billionaires make Forbes list of richest people in America. *WBTV: On your side* [online]. A Gray Media Group, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.wbvtv.com/2021/10/07/two-nc-billionaires-make-forbes-list-richest-people-america/>

[34] EULA - Unreal Engine. *Unreal engine* [online]. Epic games, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/eula/unreal>

[35] *UE Marketplace Support Site* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://marketplacehelp.epicgames.com/s/?language=en_US

[36] Datasmith Exporter Plugins - Unreal Engine. *Unreal engine* [online]. Epic games, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/datasmith/plugins>

[37] Taking Screenshots | Unreal Engine Documentation. *Unreal engine* [online]. Epic games, 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/WorkingWithMedia/CapturingMedia/TakingScreenshots/>

[38] Sketchfab - The best 3D viewer on the web. *Sketchfab* [online]. 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://sketchfab.com/>

[39] SketchUp Free | SketchUp Pro Česko. *Sketchup: Authorized distributor* [online]. Praha 7 - Holešovice [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://sketchup.cz/sketchup-free/>

[40] Bc. MUŽÍČEK, Petr. Návrh a tvorba interaktivní exhibice s využitím geoinformačních technologií. Olomouc, 2021. 62 s., 9 s. příl. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Katedra geoinformatiky. Vedoucí práce RNDr. Jan Brus, Ph.D.

[41] Bc. ČERNOHORSKÝ, Zdeněk. Vyhodnocení výkladů a technologií 3D tisku s využitím BIM modelů ve stavebním podniku. Praha, 2017. 133 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Matějka

[42] How to Make a 3D Printed Architecture Model | All3DP Pro. *Craftcloud* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/how-to-make-a-3d-printed-architecture-model/>

9 Seznam použitých obrázků a tabulek

Obr. 1: Vztah BIM vůči životnímu cyklu budovy [3]	11
Obr. 2: Demonstrace zefektivnění předávání informací - tradiční procesy vs. BIM [9]	14
Obr. 3: Formát IFC [11].....	16
Obr. 4: Dimenze BIM modelů [14]	17
Obr. 5: Vykreslení stavby podle LOD [19]	19
Obr. 6: Směr k digitalizaci [20]	20
Obr. 7: Mapa projektu zavedení BIM [20]	21
Obr. 8: Maxmiliánův dvůr v Kroměříži [24]	25
Obr. 9: Měřické práce	26
Obr. 10: Logo Autodesk Revit 2020 [25]	27
Obr. 11: Prostředí Revit 2020	30
Obr. 12: Panely Tvary.....	30
Obr. 13: Nástroj Vysunutí.....	31
Obr. 14: Nástroj Přejchod	31
Obr. 15: Nástroj Rotace	32
Obr. 16: Nástroj Tažení	32
Obr. 17: Analýza mračna v řezu v MicroStation V8i	33
Obr. 18: Užití referenčních rovin a zarovnaných kót	34
Obr. 19: Příprava otvoru okna ve výchozí stěně.....	34
Obr. 20: Profil okenního rámu	345
Obr. 21: Konstrukce okenního rámu.....	35
Obr. 22: Trajektorie tažení profilu křídla.....	345
Obr. 23: Konstrukce okenních křídel.....	345
Obr. 24: Okno objektu v terénu	346
Obr. 25: Rodina okna v Revitu	346
Obr. 26: Příprava otvoru dveří ve výchozí stěně	347
Obr. 27: Konstrukce zárubně a rámu	347
Obr. 28: Dveře objektu v terénu	348
Obr. 29: Rodina dveří v Revitu.....	38
Obr. 30: Snímek modelu půdních prostor bez renderování	39

Obr. 31: Snímek interiéru modelu budovy s využitím renderování	39
Obr. 32: Výřez z 3D pdf budovy	40
Obr. 33: Logo Epic Games a Unreal Engine [33].....	43
Obr. 34: Uživatelské prostředí Unreal Engine 4.....	45
Obr. 35: Panel módů	46
Obr. 36: Čtvercová síť terénu	47
Obr. 37: Výřez nástrojů úpravy terénu	48
Obr. 38: Výřez schématu vícevrstvého materiálu.....	50
Obr. 39: Použití nástroje Foliage pro tvorbu vegetace	52
Obr. 40: Aplikace vad fasády 1	52
Obr. 41: Aplikace vad fasády 2	53
Obr. 42: Nastavení oblačnosti a slunečního svitu.....	53
Obr. 43: High Resolution Screenshot Tool.....	54
Obr. 44: Snímek exteriéru v Unreal Engine 4	55
Obr. 45: Snímek interiéru v Unreal Engine 4	55
Obr. 46: Tvorba stopáže.....	56
Obr. 47: Logo Sketchfab [38]	57
Obr. 48: Logo SketchUp [39]	58
Obr. 49: Příklad tvorby mobilní aplikace [40].....	58
Obr. 50: Použití 3D tisku na modelech podlaží budovy [42]	60
Tab. 1: Vyhodnocení přesnosti	41

10 Seznam použitých zkratk

BIM	Building Information Modeling
Bpv	Výškový systém baltský – po vyrovnání
ČSNS	Česká státní nivelační síť
FOVAngle	Field of view angle
IFC	Industry Foundation Classes
GNSS	Globální navigační satelitní systémy
LOD	Level of Development
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
UE	Unreal Engine

11 Seznam příloh

1. Přehledka měřické sítě a kontrolních bodů
2. Vizualizace
 - 2.1. Vizualizace rodiny – Okno
 - 2.2. Vizualizace rodiny – Dveře
 - 2.3. Vizualizace modelu – Revit
 - 2.4. Vizualizace modelu – Unreal Engine
 - 2.5. Videoprohlídka¹
3. DVD
 - 3.1. Rodina okno.rfa
 - 3.2. Rodina dveře.rfa
 - 3.3. 3D PDF modelu.pdf

¹ Příloha 2.5. Videoprohlídka je dostupná na: <https://www.youtube.com/watch?v=bstIEM137sA> nebo prostřednictvím QR kódu:

