

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**FAKULTA STAVEBNÍ
STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A
KARTOGRAFIE**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**ANALÝZA GEODAT PRO TVORBU
INFORMAČNÍHO MODELU BUDOV (BIM)**

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing Karel Pavelka

Katedra geomatiky

duben 2021

bc. Josef Pudil

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc.Pudil Jméno: Josef Osobní číslo: 469551
Zadávací katedra: geomatiky
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza geodat pro tvorbu informačního modelu budov (BIM)
Název diplomové práce anglicky: Geodata analysis for creating a building information model (BIM)

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši na téma fotogrammetrické a laserové skenovací systémy pro BIM v délce min. 10 stran. Definujte stručně BIM. Popište principy, výhody a nevýhody fotogrammetrické technologie a technologie laserového skenování pro tvorbu 3D modelů, popište možnosti převodu dat do BIM. Na vhodném objektu kostela v Heřmánkovicích proveďte analýzu 3D dat, získaných z fotogrammetrie a laserového skenování. Data využijte pro tvorbu modelu v BIM. Zhodnoťte výsledky a definujte nejvýhodnější postup převodu historického objektu do BIM.

Seznam doporučené literatury:

AUBIN, P.F., MILBURN, A.. Renaissance revit: creating classical architecture with modern software. Oak Lawn, IL: G3B Press, 2013. ISBN 1492150924;9781492150923 (NTK NA2728 .A93 2013, 6.NP, regál 6B/149).

PAVELKA, K. Fotogrammetrie 2, skriptum ČVUT FSv, 2011, ISBN 978-80-01-04719-4

NOVÁKOVÁ, Martina. Venkovské kostely Kiliána Ignáce Dientzenhofera na broumovském panství (Country churches of Kilián Ignác Dientzenhofer on the Broumov estate, in Czech), Prague, 2011. Bachelor thesis. Charles University in Prague, Catholic theological faculty, p.81

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Dr. Ing.Karel Pavelka

Datum zadání diplomové práce: 17.2.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 17.5.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

RPAS	remotely piloted aircraft system
FSv	Fakulta stavební
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
BIM	building information modeling
HBIM	Historical building information modeling
PLS	personal laser scanning
3D	trojrozměrný
ALS	airborne laser scanning
LiDAR	Light detection and ranging
BREP	boundary representation
UAV	unmanned aerial vehicle
UAS	Unmanned aircraft system
EPSG	European Petroleum Survey Group
IFC	Industry foundation classes

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na vytvoření 3D modelu kostela Všetech svatých v obci Heřmánkovice. Pořízena byla data z laserového skeneru statického a mobilního, a dále i fotogrammetrická data z pozemního měření a dronu. Cílem práce bylo posoudit použitelnost obou uvedených technologií pro tvorbu modelu vhodného pro převod dat do BIM. Výsledkem měření byla dvě mračna bodů, která byla analyzována a dále zpracována v programu CloudCompare, kde byla ořezána a zredukována, následně byly mračna na sebe transformována. Další zpracování probíhalo v programu Revit, ve kterém byl vytvořen 3D model kostela.

Klíčová slova

Heřmánkovice, kostel Všetech svatých, BIM, CloudCompare, Revit, 3D model, laserové skenování, fotogrammetrie, RPAS

Abstract

The diploma thesis is focused on creating a 3D model of the Church of All Saints in the village of Heřmánkovice. Data from a static and mobile laser scanner were acquired, as well as photogrammetric data from ground measurements and a drone. The aim of the work was to assess the applicability of both technologies for creating a model suitable for data conversion into BIM. The result of the measurement were two point clouds which were analyzed and further processed in the CloudCompare program. In this software data were edited and reduced, then the clouds were transformed into each other. Further processing took place in the Revit program, in which a 3D model of the church was created

Key words

Heřmánkovice, church of All saints, BIM, CloudCompare, Revit, 3D model, laser scanning, photogrammetry, RPAS

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma analýza geodat pro tvorbu informačního modelu budov (BIM) zpracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s právními předpisy.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu práce prof. Dr. Ing. Karlovi Pavelkovi za věnovaný čas, připomínky a rady ke zpracování. Také velké díky patří mé konzultantce Ing. Paulině Raevě, která mi dávala velmi užitečné rady při zpracování. Velké díky také patří mé rodině, která mi byla ohromnou oporou po celou dobu studia.

Obsah

Úvod	9
1. Cíle práce	10
2. Rešerše literatury.....	10
3. Popis použitých přístrojů a technologií.....	21
3.1 Laserové skenování.....	21
3.2 PLS (personal laser scanning, ZEB-REVO).....	23
3.3 RPAS (remotely piloted aircraft system).....	24
4. Popis lokality.....	27
4.1 Historie kostelů	27
4.2 Historie kostela Všech svatých v Heřmánkovicích	27
4.3 Současnost kostela Všech svatých v Heřmánkovicích.....	28
5. Využití geodat pro HBIM	29
5.1 Co je BIM (informační model budovy)	29
5.2 CloudCompare	30
5.3 Revit.....	31
6. Zpracování dat.....	35
6.1 Program CloudCompare v2.10.2	35
6.2 Program Revit	40
6.3 Export dat.....	52
Závěr	56

Úvod

3D laserové skenování vzniklo v druhé polovině dvacátého století a zdokonaluje se dodnes. Cílem bylo ztvárnit objekty, nebo celé lokality co nejpřesněji. Tato technologie se prosadila postupně do řady oborů.

S postupným vývojem výpočetní techniky a elektroniky začalo být možné tvořit rychle, přesně a realisticky složité modely.

3D skenování se uplatňuje dnes ve stavebnictví, v inženýrské geodézii a geomatice, v těžebním průmyslu, v archeologii, památkové péči, forenzní analýze, v lékařství a mnoha dalších oborech lidské činnosti.

Cílem diplomové práce bylo vytvoření 3D modelu kostela Všech svatých v obci Heřmánkovice z naměřených mračen bodů. Data byla pořízena laserovým mobilním skenerem ZEB-REVO, laserovým skenem BLK360 a fotogrammetricky blízkou pozemní fotogrammetrií a dronem DJI Mavic Pro.

Teoretická část se skládá z rešerše literatury, dále popisu lokality, kde je popsána nejdříve historie kostelů Broumova, a následně současná stav objektu. Poté jsou popsána použitá zařízení a softwary, se kterými se dále pracovalo, tj. *Revit* a *CloudCompare*. Dále se práce věnuje převodu dat do BIM.

Praktická část popisuje zpracování v programu *CloudCompare*, ve kterém byla data upravována a transformována, jsou vysvětleny použité funkce a následně je popsán i program *Revit*, ve kterém se tvořil 3D model.

Model byl vytvořen mimo jiné i pro katedru mechaniky, která potřebovala model kostela pro tvorbu sítě konečných prvků, kterou následně použijí pro mechanickou analýzu poškození konstrukce vlivem sedání na základě klimatických jevů.

V závěru je uvedeno shrnutí a zhodnocení práce včetně kvality použitých dat i zpracování, a dále zhodnocení programů *CloudCompare* a *Revit*.

1. Cíle práce

Data byla pořízena z laserového skeneru statického a mobilního, dále fotogrammetricky z dat pozemního měření a dronu. Cílem práce bylo posoudit použitelnost obou uvedených technologií a převést naměřená data do BIM.

2. Rešerše literatury

Práce je zaměřená na dvě hlavní témata:

- 1) tvorba a prezence 3D modelů a práce s nimi v softwaru Revit a analýza mračen bodů v softwaru CloudCompare,
- 2) sběr mračen bodů moderními metodami, jako jsou blízká fotogrammetrie s využitím pozemního měření, dronů a laserového skenování.

Následující rešerše se zabývá pracemi a odbornými články z oblasti vytváření 3D modelů a BIM, dále prací s mračenými bodů v softwaru CloudCompare a technologiemi pro sběr dat.

Dálkově pilotované letecké prostředky (RPAS), lidově zvané drony, začaly být populární po roce 2010 z různých důvodů. Hlavním důvodem byla cenová dostupnost pro širokou veřejnost, relativně nízké náklady a rychlý vývoj elektroniky.

Diplomová práce *Venkovské kostely Kiliána Ignáce Dientzenhofera na broumovském panství* autorky M. Novákové popisuje historii kostelů v severovýchodních Čechách a jejich budování a příběh opata Otmara Daniela Zinkeho a K. I. Dientzenhofera, z které byla využita část o historii broumovských kostelů, konkrétně kostela Všech svatých v obci Heřmánkovice [1].

Soupis památek historických a uměleckých v politickém okresu Broumovském je práce autora A. Cechnera, která se zabývá zpracováním dějin v okrese Náchod, konkrétně v oblasti Broumovsko, popisován je styl budov a jejich počátky staveb a popis opatů, kteří se na stavbě podíleli [2].

Laser scanners: history and applications je článek autorů M. Edla a spol., zabývající se 3D skenováním a jeho historií, konkrétně prvními pokusy skenování hlavy a hlavně využitím skenování v odvětvích jako jsou stavební průmysl, návrhářský

proces, tvoření 3D modelů a dalším technickým využitím. V závěru se autor zamýšlí nad dalším využitím v budoucnu [3].

Skripta *Fotogrammetrie 2* od K. Pavelky popisují především práci s leteckými snímky, analýzy přesnosti, a výpočetní techniky a odhady přesností, dále také popisují laserové skenování a konkrétní přesnosti technologií a odhady množství dat zejména pro památkovou péči [4].

Renaissance revit: creating classical architecture with modern software Je kniha autorů P. F. Aubina a A. Milburna ukazující práci se softwarem Revit, od nastavování měřítka, tvorbu křivek až po práci s mračny bodů [5].

Článek *Využití mračen od geodetů* jako firemní materiál ukazuje, jak dále využít body od geodetů, jak se data sbírají a v jakých formátech vystupují, v jakém tvaru se data převádějí jiným odvětvím, jako je například architektura. Poukazuje také na významnost BIM modelů se standarty a popisuje minimalizaci nákladů při přechodu na 3D laserové skenování. To ulehčí mnoho měřické práce, protože skener zaměří všechno, co by měřič s totální stanicí mohl lehce přehlédnout a zároveň i kancelářské práce, protože se v mračnách dobře orientuje [6].

Bakalářská práce *metody 3D skenování objektů* od J. Čermáka se zabývá rozdělením, fungováním a principy laserových skenerů. Dále také popisuje nutné přípravy stroje před použitím, jako je například kalibrace [7].

Diplomová práce *Laserové skenování* od O. Košvici popisuje zaměření objektu laserovým skenováním s následným vytvořením digitálního modelu terénu. Nejdříve jsou popisovány metody sběru dat a poté principy laserového skenování. V kapitole zpracování je popisováno očištění mračna bodů a poté vytvoření digitálního modelu terénu v softwaru ATLAS DMT [8].

Kniha *RPAS - Remotely Piloted Aircraft System* Pavelky K. a spol, se zabývá počátky snímkování a historií fotogrammetrických technologií. Dále se zabývá současnou legislativou v České republice, a následně popisuje RPAS, následně

popisovala aplikace RPAS v oblasti plošných oblastí a na závěr byly ukázány případové studie v praxi [9].

Článek *Nova science programming on air and online*, firemní materiál ukazuje historii bezpilotních letadel a pokusy o jejich vytvoření, případně pokusy o využití. Počátky jsou zaznamenány od roku 1903 [10].

Bakalářská práce M. Janovského *Využití RPAS pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality* popisuje technologii RPAS, její historii a vývoj a druhy strojů, v další části je popsáno zpracování dat naměřenými metodou bezpilotním prostředkem. Zpracování v programu ArcGIS [11].

Dokumentace programu CloudCompare firemní materiál, popisuje veškeré možné práce v softwaru CloudCompare a licence [12].

Diplomová práce autora M. Raza *BIM for Existing bulding (A study of terrestrial laser scanning and conventional measurement Technique)* analyzuje využití BIM a jeho klady a zápory pro existující budovy. V další části se zabývá laserovým skenováním, od historie až po aktuální používané metody. Práce se také pozastavuje nad automatickým vytvářením informačního modelu budovy a manuálním tvořením BIM. Studie se soustředila na porovnání ceny a času tvoření třech různých projektů univerzity HTW Berlin, kde jsou i popsány jednotlivá měření [13].

BIM – informační model budovy (bimfo) je portál provozovaný firmami Arkance Systems CZ s.r.o. a architektonické studio CASUA, ve kterém se nacházejí podstatné informace o BIM [14].

Článek *Koncepce zavádění metody BIM v České republice* (firemní materiál) se zabývá důvody zavedení BIM v České republice, jako jsou nevyhnutelná digitalizace v různých oborech, jako jsou stavebnictví; uvádí také rok 2021, kde vláda České republiky vydala usnesení číslo 41/2021 o plnění koncepce zavádění metody BIM do veřejné správy. Zmiňuje také zákon číslo 47/2020 Sb. „Data z informačního modelu stavby“, kde je nutné vytvořit dokumentaci pro jednotlivé fáze stavebního

řízení [15].

Článek *Earthen Jewish Architecture of Southern Morocco: Documentation of Unfired Brick Synagogues and Mellahs in the Drâa-Tafilalet Region* autorů E. Matouškové a spol. je výzkum Českého vysokého učení technického v Praze a Karlovy univerzity, zabývající se skenováním historických obytných zón židovského obyvatelstva včetně synagog v oblasti Maroka. Využita byla technologie laserového skenování, metodou PLS (personal laser scanner) metodou, konkrétně skenerem ZEB-REVO a TLS s využitím miniaturního skeneru BLK 360, následně z nasnímaných dat byly vytvořeny 3D modely a plány obytných zón. Dále byly popsány klady a využití PLS metody, jakožto rychlá a vhodná metoda pro netypické tvary skenovaných budov, nebo objektů [16].

Časopisový článek M. Hulanové *3D ve stavebnictví pro podnikavé* popisuje využití 3D modelů pro BIM, zmiňuje, že BIM umožňuje spojení všech zúčastněných profesí během stavebního řízení. Dále popisuje laserové skenování a práci v softwaru CAD a následnou práci modelování, kde jsou popisovány softwary Revit a Archicad, v poslední fázi je zmíněno využití BIM [17].

Článek autorů F. Guzzettiho a spol. pod názvem *BIM for Existing Construction: A Different Logic Scheme and an Alternative Semantic to Enhance the Interoperability* se zabývá principy a metodikou, která stojí za BIM, také popisuje nutnost informačního modelu budov pro budoucí digitalizační procesy a předpokládá, že do roku 2025 bude muset mít každý objekt BIM [18].

Článek autorů A. Balika a spol. *Integration of Jeddah historical BIM and 3D gis for documentation and restoration of historical monument* nastiňuje tvorbu BIM modelu v prostředí Autodesk Revit a v softwaru GIS 3D, data pro článek byla naskenována pozemním laserovým skenerem a také pozemní fotogrammetrií. Jedná se o budovu „Nasif Historical House in Jeddah“ v práci také poukazují na detaily informačního modelu budovy v Autodesk InfraWorks [19].

Článek D. Hubera a spol. *Using Laser Scanners for Modeling and Analysis in Architecture, Engineering, and Construction* popisuje výzkum nových metod pro

analyzování a modelování dat z laserového skeneru, poté se zabývá přesnostmi a limity použitelnosti laserových skenerů. V posledním případě je zmiňováno automatické vytvoření informačního modelu budovy a tvorba plánu budov, kde je problém vznikající šum. V závěru upozorňují autoři na neustálé zlepšování technologií pro měření mračen bodů a na budoucí využití LiDAR technologie, který má šanci posunout měření mračen na vyšší úroveň [20].

Článek K. Pavelky a spol. *Building facade documentation using laser scanning and photogrammetry and data implementation into BIM* zmiňuje projekt MORE-CONNECT, který se zabývá renovací fasád budov. Cílem je vytvořit rychlou a nákladově efektivní renovaci, která by znamenala co nejmenší obtíže pro obyvatele. V článku jsou nejdříve popisovány měřické metody pro dokumentaci budovy, dále popis vzniku mračen bodů z fotografií, následně práci s mračenem bodů. Případová studie je popsána na budově „dvouletka“ na které je ukázán postup měření, zpracování a poté tvorba výsledků [21].

V článku *Comparison of laser scanning and photogrammetry and their use for digital recording of cultural monuments, case study byzantine land walls Istanbul* autorů B. Bayram a spol. nalezneme případovou studii, zabývající se historickým pozemním Istanbulu, je zde rozebírána problematika měření terestrickými laserovými skenery (TLS), z důvodu nepravidelností stavby. V další části je porovnání metod terestrickým laserovým měřením s fotogrammetrickými metodami. Použitou metodou bylo generování ze stereo-fotografií [22].

Článek z roku 2010 od autorů P. Tanga a spol. *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques* vysvětluje automatizaci vytváření BIM. V první části se zabývá nejvýhodnějším sběrem dat a poté manuálním vytvořením BIM. Popisuje se potřeba zautomatizování vytvoření BIM, z důvodu je to časové náročnosti. Práce se zabývá především tvorbou fasád a upozorňuje, že automatické vytvoření komplexního modelu by bylo poměrně náročnější. Článek předpokládá, že tvoření modelů v blízké době by mohlo být automatizované [23].

Článek A. Talha *Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation* se zabývá vývojem fotogrammetrických metod a pozemním laserovým skenováním a vysvětluje důležitost převedení objektů do uchovatelné počítačové formy. Nejdříve se ve článku popisuje pozemní laserové skenování a poté další druhy skenerů, dále říká, že největší nevýhodou fotografických metod je časová náročnost a potřeba odborníka na práci. Také popisuje klady laserových skenerů, kterými je hlavně přesnost, kterou jsou schopné laserové skenery dosáhnout, tedy 1 až 2 mm. Tímto chtěl autor poukázat na silnou stránku laserového skenování i fotogrammetrie pro vytváření 3D kulturního dědictví hlavně v oblasti Súdánu, a tím motivovat potenciální návštěvníky k návštěvě [24].

Generation of 3D/4D photorealistic building models. The testbed area for 4D Cultural Heritage World project: the historical center of Calw (Germany) je článek autorů J. Balsa-Rarreirho a D. Fritsche, který se zabývá ochranou kulturního dědictví v procesu vytváření 3D,4D modelů, případně jejich využití pro veřejnou správu a územní plánování, popisuje nejpreciznější metody, jak získat přesná data, tedy zejména pozemními laserovými skenery a fotogrammetrickými metodami. Hlavním cílem projektu je generování 3D, případně 4D modelů historického centra Calw v Německu. V projektu je popsán sběr dat pozemním laserovým skenerem a fotogrammetrickou metodou, dále popis zpracování mračen v softwaru Leica Cyclone a následné modelování opět v softwaru Leica Cyclone [25].



Obr 1. Ukázka naměřeného mračen bodů fasády dvou budov [25]

Automatic 3D reconstruction of electrical substation scene from LiDAR point cloud, je článek vydaný v roce 2018 Q. Wu a spol., který rozebírá využití surových LiDAR mračen bodů pro vytvoření složitého 3D modelu elektrické rozvodny.

Elektrická rozvodna je velmi složitý a nepravidelný model, v práci se popisuje nakládání s naskenovanými daty a vytváření jednotlivých modelů každého objektu postupně, jelikož každý objekt v elektrické rozvodně má jiný tvar a muselo se ke každému přizpůsobovat individuálně [26].

Článek P. E. Baltsaviase *A comparison between photogrammetry and laser scanning* z roku 1999 analyzuje rozdíly mezi fotogrammetrií a laserovým skenováním, také rozebírá výhody a nevýhody jednotlivých technologií. V článku je také popsáno, jak pravděpodobně laserové skenování nahradí fotogrammetrii. V článku jsou zmíněny přesnosti, trvání zpracování a nákladnost procesu. Velký důraz je kladen na ALS (airborne laser scanning), u kterého uvádí tvůrce článku, že má ohromný potenciál; je zde také popsáno že fotogrammetrické technologie jsou dražší až o 75%, jedná se ovšem o zastaralé údaje [27].

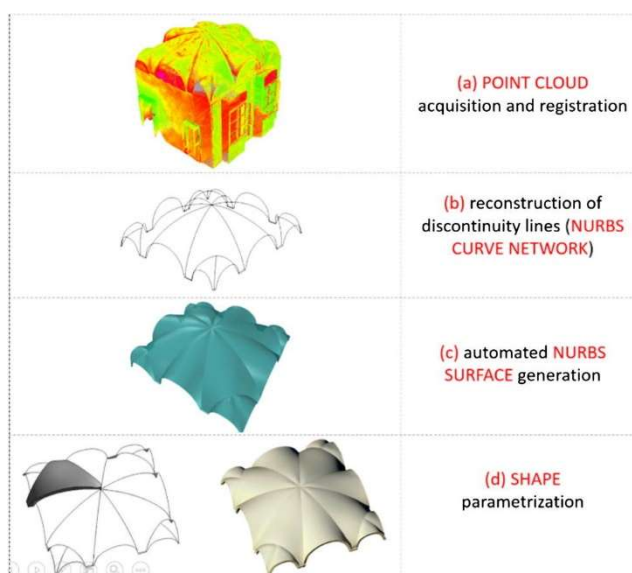
Článek F. Remondina *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning* vysvětluje, jak je důležité předat památky dalším generacím, alespoň v digitální podobě. V práci je popsáno měření dat metodou leteckého laserového skenování a poté zpracování digitálních snímků, dále je zmíněno pozemní laserové skenování a s tím i ukázky vytvořených modelů od hrobky až po hrad. Poukazuje na důležitost kvalitní počítačové techniky a ukazuje veškeré možnosti měření 3D dat v oblasti historických památek [28].

New low-cost 3D scanning techniques for cultural heritage documentation autorů J. Rezníčka a K. Pavelky rozebírá problémy ničení památek, jak vandalismem tak válkou a proto je potřeba uchovávat památky elektronicky, je to ovšem potřeba provést s co nejnižší cenou a co nejrychleji. Práce popisuje hlavně měření technologií LiDAR a triangulačními skenery. Popsány jsou také limitace laserových skenerů i skenerů na krátkou vzdálenost. Následně je popsáno měření a rektifikace a na závěr vytvoření nepravidelné triangulační sítě [29].

V článku *BIM reconstruction from 3D point clouds: A semantic registration approach based on multimodal optimization and architectural design knowledge* autoři F. Xue a spol analyzují vytvoření informačního modelu budovy ze snímků, případně z 3D mračna bodů, které jsou dnes velmi populární. Tato studie vybízí

k tvoření komplikovaných modelů, v studii je ukázka vytvoření modelu divadla, ve kterém se nachází 293 židlí [30].

Článek L. Barazzettiho *Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds* se zabývá parametrickým modelováním nepravidelných tvarů budov, popisuje využitelné softwary pro budování BIM, jako je Revit, AutoCAD. Popisuje, jak má automatické vytvoření BIM složitějšího objektu mnoho chyb, dále popisuje řešení pro parametrizaci složitých tvarů z mračna bodů. Mračno je převedeno do NURBS (Non-uniform rational basis spline), což jsou matematické funkce s jasnou geometrickou reprezentací. Jako další jsou zkoumány reálné projekty, u kterých byl proces parametrizace využit. V poslední fázi je analyzováno modelování historických budov [31].



Obr 2. Ukázka převodu do 3D modelu procesem parametrizace p. 300 [31]

Semi-automatic generation of as-built bim facade geometry from laser and image data je článek autorů C. Doreho a M. Murphyho, zabývající se případovou studií, která mapuje fasádu historické budovy, pomocí BIM softwaru, konkrétně ulice Georgian Street, která se nachází v Dublinu. V první fázi je popsán sběr dat, který proběhl pozemním laserovým skenerem Trimble, následně práce s mračnem bodů, jako je ořezávání šumu v softwaru Trimble RealWorks, a poté vytvoření BIM v softwaru ArchiCAD BIM, kde byla použita parametrická fasádní šablona, ve kterém se nachází knihovny pro automatické vytvoření BIM. Článek popisuje

poloautomatické modelování pomocí plug-inů v softwaru ArchiCAD BIM, v článku je plug-in popsán a zároveň se zabývá přesností vytvoření modelu a efektivitou [32].

Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages je článek autorů A. Schluetera a F. Thesselinga, který analyzuje energetickou náročnost budov, s ohledem na změny klimatu. Nejdříve se v práci rozebírá vytvoření BIM, a poté analýza výkonnosti budov, buď na základě statistického modelu, nebo na fyzickém modelu. V další fázi je popisována nutnost nastavení energetické rovnováhy pro fungování budovy a je vysvětleno, jak se taková analýza provádí včetně ukázky softwaru Design Performance Viewer a příkladu v něm [33].

Článek *Automatic Method for Building Indoor Boundary Models from Dense Point Clouds Collected by Laser Scanners* autorů E. Valera a spol se zabývá automatickým vytvořením modelu vnitřní části budovy z mračna bodů pořízeného laserovými skenery. V práci je popsána metoda krok po kroku pro vytvoření modelu interiéru konkrétní budovy a analyzována je přesnost. Na závěr byl vytvořen BREP (boundary representation) model, který ponechává přesné geometrie prvků, ovšem zanedbává jejich parametry [34].

Studie autorů R. Volk a spol. *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs* se zabývá informačními modely budov a říká, že prakticky pro každou novou budovu je již BIM udělán, avšak většina již stávajících budov není udržována pomocí BIM. V práci se nachází přehled publikací k tématu BIM, zabývající se hlavně výzkumem BIM pro již existující budovy. Jsou zde popsány problematiky s vytvořením BIM, který je občas časově náročný a nedá se zautomatizovat, jelikož by byl pravděpodobně nepřesný. Také naznačuje důležitost BIM pro aktuální společnost, který je užitečný pro všechny zapojené strany dané budovy [35].

Článek *Improving traditional building repair construction quality using historic building information modeling concept* autorů T. C. Wu a spol, popisuje práci s 3D mračny bodů, s kterými se dále pracuje na opravách historických budov. V studii se nachází aplikace 3D laserových skenerů pro vytvoření mračna modů pro opravu

historické budovy. V práci se vyskytuje práce v softwaru 3D GIS a SketchUp, kde byl vytvořen BIM a následně převeden do HBIM a model byl poté obarven vrstvami z 3D GIS. U historických budov může HBIM ukázat kondici před obnovou, během obnovy, a i po konci práci [36].

Článek C. Doreho a spol. *Structural simulations and conservation analysis – Historic building information model (HBIM)* se zaměřuje na strukturu a analýzu HBIM, tedy jaký dopad měla válka na dané budovy. V práci byly vytvořeny dva modely, jeden z historických dat a druhý ze zaměřených dat laserovým skenováním. Studie se zabývá hlavně poškozením budovy Four Courts, která se nachází v Irsku a byla částečně zničena v roce 1922 během občanské války. Dále jsou popsány metody vzniku modelů a historická rekonstrukce [37].

Diplomová práce A. Bregianni *BIM Development for cultural heritage management, National Technical University of Athens* popisuje historii vzniku BIM, jejich význam, výhody a nevýhody BIM, zmiňuje také malé využití BIM pro historické budovy i přes jeho velké využití pro nové budovy. Práce ukazuje využití softwaru Revit pro tvorbu modelu, zmíněny jsou také nepravidelné objekty, které bylo těžké vymodelovat. Studie se zabývá příkladem kostela „The church of Santa Maria“, u které je popsán sběr dat laserovými skenery a následné pracování s mračnem bodů v softwaru Revit [38].

Diplomová práce V. Pavlíčkové *Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy* se zabývá historií a využitím BIM, jeho výhodami a nevýhodami a aplikací BIM pro stávající budovy. Následně byly popsány softwary, s kterými se dá pracovat při tvoření BIM, a popsány metody měření, které sloužily k získání mračna bodů. Celá práce vytvoření 3D modelu probíhala v softwaru Revit [39].

Čtyřdílné články L. Kettnera *Laserscam do BIM 1-4*, jsou články zabývající se problematikou vytvoření BIM od počátku, v prvním díle se autor zabývá zaměřením kostela sv. Mořice v jihozápadních Čechách z exteriéru dronem a pozemními fotografiemi a interiéru laserovým skenerem. V druhé části se zabývá tvorbou modelu v softwaru Revit a poukazuje na vzniklé problémy a komplikace. Ve třetí části se

zabývá analýzou přesnosti modelu a vytvořených prvků. V posledním článku se zabývá tiskem a předáním modelu [40].

Parametric modelling for HBIM: design of window library for rural building je článek Z. Poloprutského, který se zabývá knihovnou HBIM a parametrickým modelováním třech druhů oken historické budovy z 19. a 20. století. Modelování probíhalo v softwaru Revit [41].

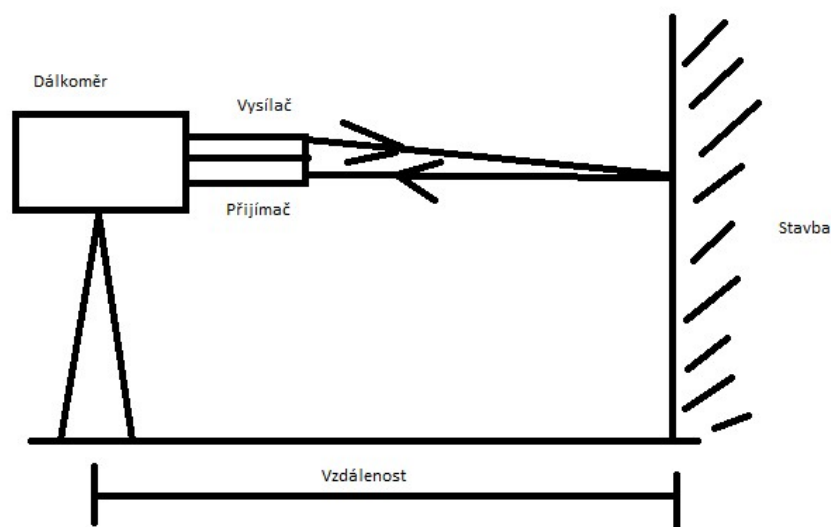
Základy BIM - Revit Architecture, Seznámení s programem je kniha H. Novotné, která popisuje software Revit základní záložky a možnosti v nich, pohledy na objekt, případně možnosti přidání stínů, změn měřítka a dalších. V dalších částech popisuje obecné postupy a také tvorbu jednotlivých prvků, jako jsou například stěny, desky, schodiště, zábradlí, případně střechy [42].

3. Popis použitých přístrojů a technologií

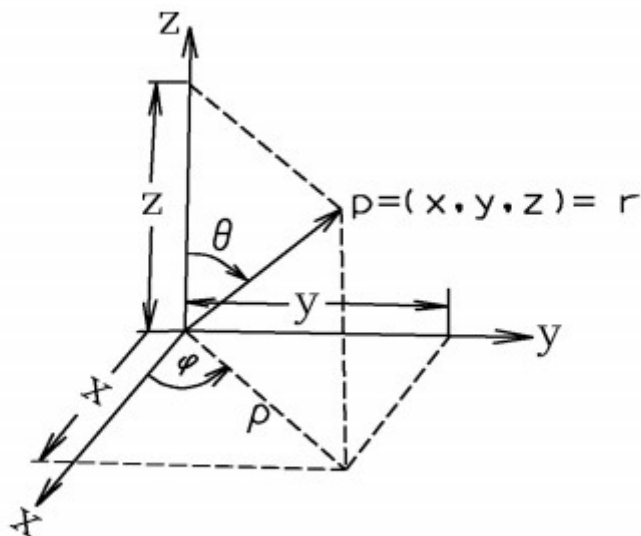
3.1 Laserové skenování

Laserové skenování je vhodná metoda pro 3D dokumentaci větších objektů a prostor. Hlavním důvodem je nízká časová náročnost oproti jiným geodetickým metodám, jako jsou měření totální stanicí, případně při užití běžné kamery pro fotogrammetrii. Laserové skenery fungují na principu měření vzdálenosti od vysílače po nejbližší povrch. Přesnost měření se pohybuje od centimetrů po milimetry. Jediným skenováním může zaznamenat desítky až stovky milionů bodů. Protože skenování z jednoho stanoviska nedokáže zaznamenat veškeré informace, je potřeba měření provést na několika různých místech s dostatečným překryvem.

Při laserovém skenování se velmi často používá digitální kamery k zachycení obrazových informací daného prostředí, který se dá dále spojit s naměřenými daty pro jednodušší práci s modelováním a pro obarvení mračna bodů.



Obr 3. Ukázka schéma měření (zdroj: vlastní)



Obr 4. Schéma prostorové polární metody (cit 2021-5-5), zdroj: (www.quantum3d.cz)

Základním principem měření laserovým skenerem je prostorová polární metoda. Při měření je nutno zjistit souřadnice bodu P, tedy zjistit průvodič (měřenou délku) a také úhly φ , θ ; z toho lze vyvodit, že celé laserové skenování je závislé na co nejrychlejším změření vzdálenosti k jednotlivým bodům.

V dálkoměrech je obvykle použito pulsní laser, který vytváří impulsy nejčastěji infračerveného světla; paprsek infračerveného světla je vyslán dálkoměrem v určitém směru, poté je odražen od povrchu objektu, a vrací se zpět do přijímače. Přijímačem je zaznamenána doba letu paprsku, která odpovídá dvojnásobku vzdálenosti od objektu, či měřeného cíle. Laserové impulsy jsou vysílány vysokou frekvencí. Přesněji lze určit vzdálenost na kratší vzdálenosti měřením fázového rozdílu vyslané a přijaté vlny.

K určení a nastavení vertikální i horizontální úhlové hodnoty se používá skenovací jednotka, u které za použití rotujícího zrcátka, případně hranolu, dochází k odklonění měřících paprsků vždy o určitý úhel na konkrétní měřený bod v závislosti na maximálním zorném poli daného skeneru, který se může pohybovat i do 360° . Úhlové hodnoty jsou ze skenující jednotky získávány pomocí servomotorů a čítačů, které zajišťují otáčení měřící jednotky v zvoleném kroku horizontálně.

Výsledkem skenování jsou měřená šikmá vzdálenost a dva úhly, ze kterých se vypočtou 3D souřadnice konkrétního bodu budovy, případně objektu,

v souřadnicovém systému měřicího stroje, tedy laserového skeneru. Přístroj vykonává tyto operace rychle [3],[4],[5],[7].

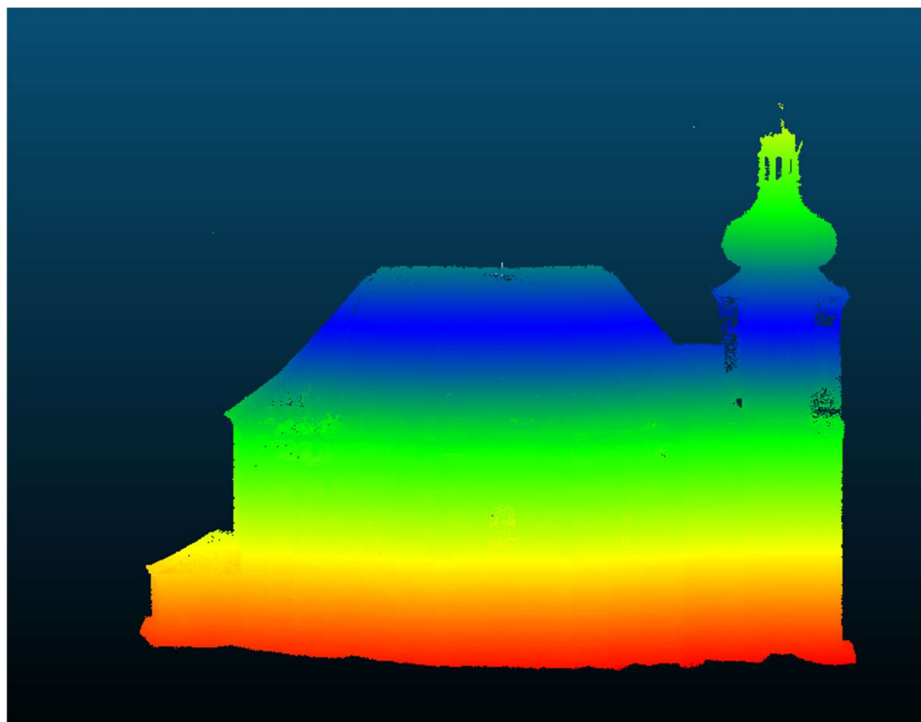
3.2 PLS (personal laser scanning, ZEB-REVO)

Mobilní PLS skenery začaly být užitečnými pomocníky v nepravidelných, nebo špatně přístupných prostorech, jako jsou, například lesy, nepravidelné budovy, jeskyně a podzemní prostory. Slouží též pro vytvoření BIM a tvorbu vektorových plánů. Výhodou je jejich snadné použití a pro rychlou dokumentaci objektu. Konkrétně ZEB-REVO je jednoduché zařízení na ovládání, je lehké, snadno přenositelné.



Obr 5. 3D skener Geoslam ZEB-REVO (citováno 2021-5-5), zdroj: (www.geoobchod.cz)

Kamera v tomto modelu není, tudíž mračno bodů následně není obarvené; lze je obarvit pouze hypsometricky podle výšky bodů, nebo podle času měření.



Obr 6. Ukázka mračna bodů naměřených skenerem ZEB-REVO obarvená hypsometricky dle výšek (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT)

Při práci se skenerem ZEB-REVO GO vznikají data s přesností 1 až 3 cm na 10 m.

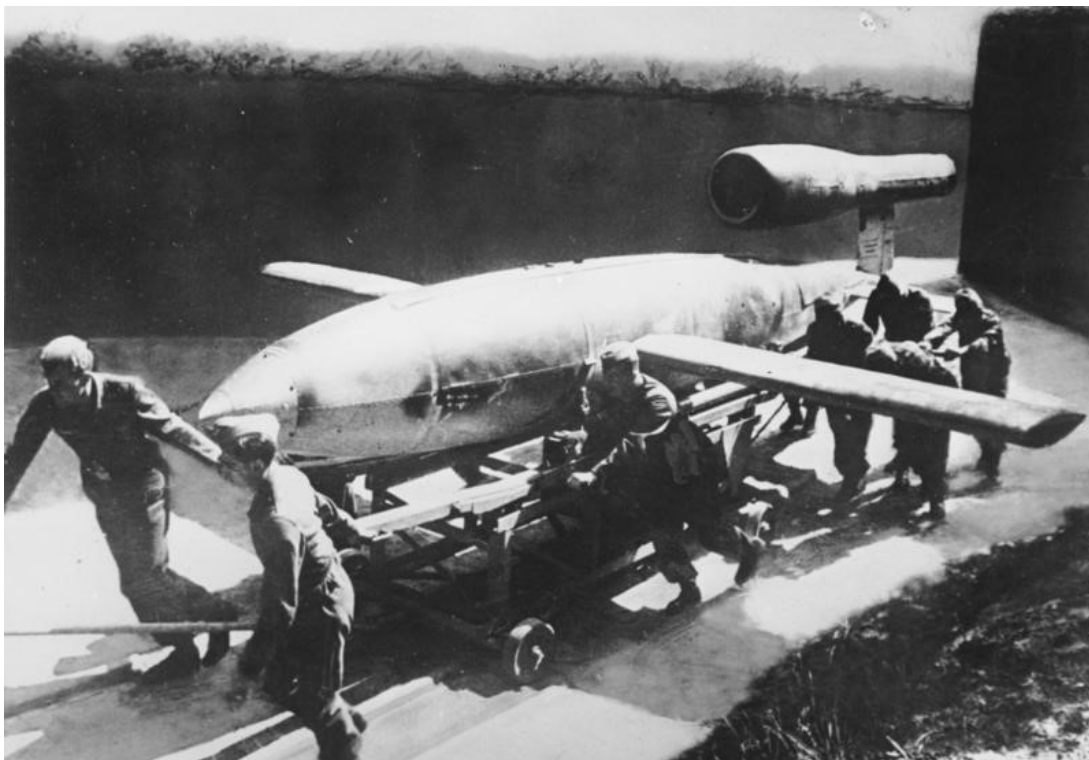
3.3 RPAS (remotely piloted aircraft system)

Jde o poměrně nové, a ne zcela běžné označení pro bezpilotní letecké prostředky, tedy pro zařízení, která jsou ovládána dálkově bez přítomnosti pilota ve stroji. Názvů zkratk existuje více, např. UAV, UAS, nebo dron. Přitom vždy existuje osoba, zodpovědná za řízení bezpilotního prostředku, tedy pilot. Legislativa ohledně RPAS se v poslední době výrazně měnila a sjednocuje se [43].

K použití bezpilotních prostředků došlo již v 19. století v Rakousku-Uhersku. Jednalo se o první pokusy vytvořit bezpilotní letoun pro bombardování nepřátel. K dalším pokusům o bezpilotní ovládání bombardéru došlo při americké občanské válce, kdy byly použity balóny s připevněnými bombami, které měly být shozeny. Oba pokusy selhaly z důvodu nepříznivých povětrnostních podmínky, které způsobily, že bomby nemohly být přímo spuštěny.

K dalšímu použití docházelo za první světové války, kde se používaly balóny, ke kterým bylo připevněné snímací zařízení, které určovalo polohy nepřátelských jednotek na bojišti. K významnému využití bezpilotních systémů došlo za druhé

světové války v Německu, kdy byla vyvinuta okřídlená střela V-1, která bylo poprvé použita při útoku na Londýn v roce 1944.



Obr 7. Raketa V-1 (citováno 2021-5-5), zdroj:(www.wikipedia.org/wiki/V-1)

Základní výhodou bezpilotních prostředků je to, že v létajícím prostředku nemusí být posádka. To znamená zlevnění nákladů na vytvoření takového zařízení, to bude o dost menší a lehčí, případně lze využít místo uvolněné posádkou k jiným účelům. Díky vývoji technologie v oblasti dálkového ovládání, mikroelektroniky a lepšímu řešení pohonu se zmenšily bezpilotní prostředky několikanásobně. RPAS dokážou nahradit klasické letecké prostředky pro některé práce, zejména dokumentační v oblasti mapování. Naměřená data dosahují dostatečné přesnosti a také jsou mnohem méně nákladná na pořízení i na provoz RPAS.

Využití bezpilotních prostředků je mnoho, mezi významné patří zjišťování kvality ovzduší, meteorologické účely, dálkový průzkum Země, fotogrammetrie a mapování, sport, případně rekreační účely. Za hlavní profesionální využití lze považovat fotogrammetrické účely; mezi ně patří mapování, tvorba 3D modelů budov, 3D modelu povrchů, tvorba tematických map za využití speciálních senzorů a např. určování kubatur.

Dva nejvyužívanější typy RPAS jsou multikoptéry (vrtulníky) a okřídlené drony. Dále jsou používány vzducholodě a letadla, balóny či upoutané prostředky (drak), ovšem velmi zřídka.



Obr 8. Kvadrokoptéra DJI Mavic 2 ZOOM (citováno 2021-5-5), (zdroj: www.google.com obrázky)

Multikoptéry mají nejčastěji čtyři vrtule uspořádané do tvaru kříže, ovšem může jich být i více, počet vrtulí sudý z technických důvodů (řízení letu). Uprostřed multikoptéry se nachází elektronické součásti, které umožňují let a případně sběr dat (baterie, navigace, autopilot a závěsná kamera), ze středu multikoptéry vycházejí ramena, na kterých jsou horizontálně umístěné vrtule s motory.

Hlavní výhodou multikoptér je dobrá stabilita ve vzduchu, také díky jejich malým rozměrům lze přistát na omezených a stíněných místech. Díky tvaru se dokáže dron pohybovat ve všech směrech, výhodou je také finanční dostupnost a provozní náklady [9],[10],[11].

4. Popis lokality

4.1 Historie kostelů

Kostelů je v České republice mnoho, lze říci, že v každé vesnici je alespoň jeden malý kostel. V mnoha případech jsou kostely součástí významných architektonických památek. Bohužel, mnoho kostelů bylo zničeno válkami, nebo výrazně poškozeno během komunistické vlády v Československu v letech 1948-1989, která byla nekompatibilní s náboženstvím. Pouze velmi významné památky byly udržovány, řada méně významných nebyla udržována, nebo byla využívána pro zcela jiné účely jako sklady apod.

Opravy památek započaly hlavně ve větších městech v devadesátých letech 20. století. Bohužel z důvodu nedostatku finančních prostředků dále docházelo obecně k devastaci kulturních památek. Kostel Všech svatých v Heřmánkovicích se nachází ve skupině takzvaných Broumovských kostelů.

Tato skupina kostelů se skládá z devíti kostelů v Bezděkově, Šonově, Božanově, Martínkovicích, Vernéřovicích, Otovicích, Vižňově, Ruprechticích a Heřmánkovicích. Jedná se o kostely v okolí města Broumov v chráněné krajinné oblasti Broumovsko na severovýchodě České republiky. Kostely jsou postaveny v sakrální barokní architektuře. Stavitelem kostelů byl opat Otmar Daniel Zinke, cílem bylo vytvořit několik levných, ale velkých kostelů, které by si nebyly zcela podobné. [1],[2].

4.2 Historie kostelu Všech svatých v Heřmánkovicích

O původním kostelu na místě dnešního kostela Všech svatých jsou zmínky již z roku 1353, ovšem na konci šestnáctého století byl původní dřevěný kostel zničen. Projekt dnešního kostela vznikl pravděpodobně námětem Kryštofa Dientzenhofera. Přípravy na stavbu začaly na konci roku 1720. Hrubá stavba konstrukce byla připravena během jednoho roku. Se samotnou stavbou se začalo v roce 1722. Již na svátek Všech svatých 1. listopadu 1723 byl kostel vysvěcen. Kostel byl nadále doděláván až do roku 1726, vnitřní výmalba však byla dopracována dalších deset let. Vlastní stavba kostela byla organizována Kilianem Ignacem Dietnzenhoferem [1],[2].

4.3 Současnost kostela Všeteh svatých v Heřmánkovicích

Kostel se nachází na malém kopci uprostřed obce Heřmánkovice. Blízko kostela se nachází hřbitov. Půdorys kostela je ve tvaru protáhlého osmiúhelníku s presbytářem a sakristií. Naproti se nachází předsíň a hranolová věž s varhany. Budova je jednolodní s úzkou galerií. Kostel byl ve špatném stavu již delší dobu, renovace začala teprve v nedávné době. Budova byla nově zastřešena a nyní je opravována fasáda. Problémy vlastní stavby kostela jsou způsobeny zejména dešťovou vodou, špatnou izolací stavby a pohybem základů po podloží [1][2].



Obr 9. Ukázka kostela Všeteh svatých (zdroj: archiv FSv, k155)



Obr 10. Ukázka rekonstrukce kostela Všech svatých a věž (zdroj: archiv FSv, k155)

5. Využití geodat pro HBIM

5.1 Co je BIM (informační model budovy)

BIM je proces, při kterém vzniká digitální kopie stavby. BIM může zahrnovat mnohé části investičního plánu, projektu, výstavbu, a i další části využití budovy. Do procesu BIM vstupují všechny strany s jakýmkoliv zájmem o budovu, jako majitel, architekt, projektant, technik, energetik a jiní.

Koncept informačního modelu budovy vznikl již v sedmdesátých letech dvacátého století. V lednu 2019 byla zavedena norma ISO 19650. BIM se může vyskytovat od 2D až do 7D, tedy 2D technický výkres, následně 3D rozšířené zobrazení, 4D které doplňuje informace o čase, 5D které doplňuje o náklady, 6D udržitelnosti stavby a 7D, které vykládá provozní a výrobní údaje stavby a zabudovaných zařízení [14].

BIM kombinuje využití počítačového 3D modelování s informacemi o stavbách za účelem zlepšení spolupráce, koordinace a procesu rozhodování při výstavbě a jejich provozování. Pro veřejný sektor by to znamenalo že výstavba a správa budov by mohla být poměrně jednodušší a efektivnější a nemělo by dojít k riziku překročení finančních nákladů na stavbu a provoz objektu.

BIM má velký potenciál zejména do budoucnosti, jelikož se jedná o nový počítačově orientovaný systém, který šetří čas i finanční prostředky. Společnost se adaptuje na nové technologie pomalu a mnohdy je nutno užívání nových forem zavést

legislativně. BIM nabízí vylepšenou vizualizaci, větší produktivitu díky snadnému vyhledávání informací, zvýšenou koordinaci ve stavebních dokumentech, včasné plánování údržby revizí, oprav i celkového provozu budovy včetně řešení krizových situací.

V mnoha státech kooperují organizace s vládou a různými profesními sdruženími na vytvoření BIM manuálů. Také organizují setkání a konference. V České republice má na starosti tyto věci spolek czBIM [13],[14],[6].

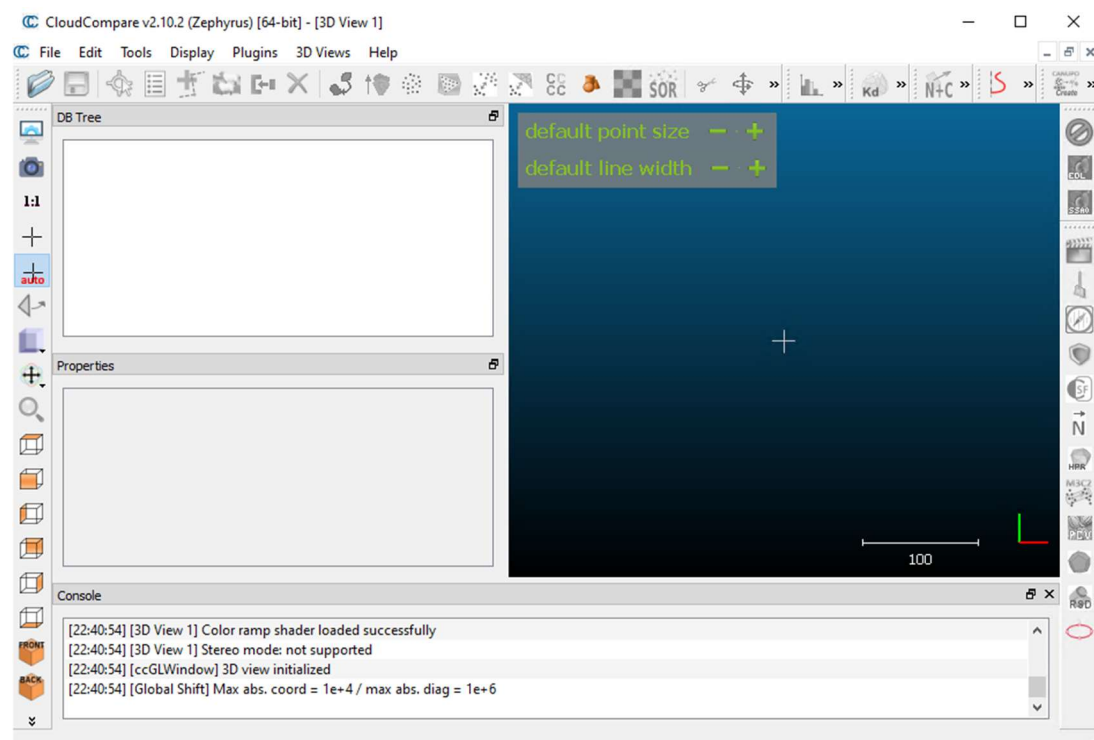
5.2 CloudCompare

CloudCompare je open source software, pro práci s 3D mračnem bodů a zpracování sítí. CloudCompare je software sloužící pro zpracování 3D mračen bodů. Dokáže pracovat s trojúhelníkovými sítěmi a obrázky. Software vznikl v roce 2003, hlavním cílem softwaru bylo rychle nalézt změny v mračnecch pořízených laserovými skenery ve velkých budovách jako elektrárny, případně na staveništích [12].

V CloudCompare se dají pracovat s neomezenou velikostí dat, a mohou se v něm provádět různé akce, jako vyhlazování dat, ořezávání, různé statistické funkce, převzorkování a další.

V softwaru se dají data dobře a snadno prohlížet, jelikož je program interaktivní a snadno se s ním pracuje. CloudCompare je také kompatibilní se všemi platformami operačních systémů [47].

CloudCompare poskytuje řadu nástrojů pro práci s 3D mračny bodů, případně trojúhelníkovou sítě, také nabízí řadu doplňujících modulů. V programu lze transformovat data, počítat vzdálenosti a odlehlosti mezi mračny, vytvářet různé projekce, dále se zde dají provádět výpočty, jako například zakřivení, hustota a další.



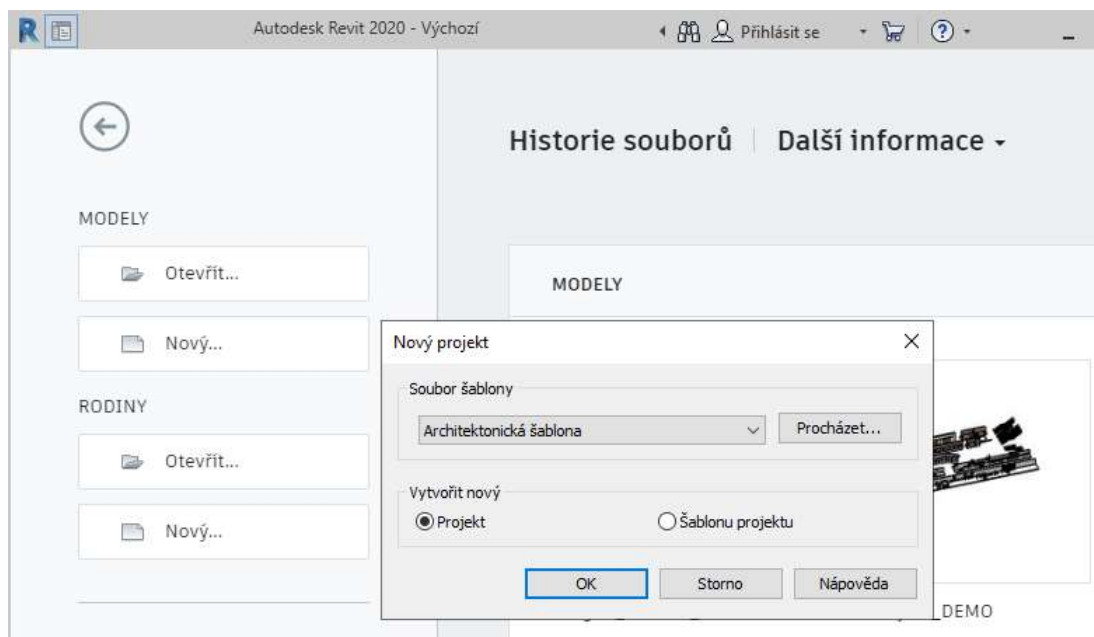
Obr 11. Ukázka softwaru CloudCompare

V programu lze nalézt klasickou lištu se složkami, editačními funkcemi, nástroji, pluginy a dalšími prvky, na levé straně se nachází nejprve funkce pro zachytávání mračna, a pod těmito funkcemi jsou zkratky, které umožňují pohled na daný prvek promítaný v modro-černém pozadí (standart, který ale lze změnit) jako půdorys, pohled zepředu, z boků a další. Pod hlavní lištou se nachází další funkce, které umožňují práci s aktivním souborem.

5.3 Revit

Revit byl vytvořen v roce 1997 a v roce 2002 byl zakoupen společností Autodesk. Software umožňuje uživatelům designovat a budovat ve 3D. Revit je 4D, což znamená, že je v něm možné pracovat i s časem. Nákup od společnosti Autodesk umožnila větší rozvoj systému, výzkum a další vylepšení.

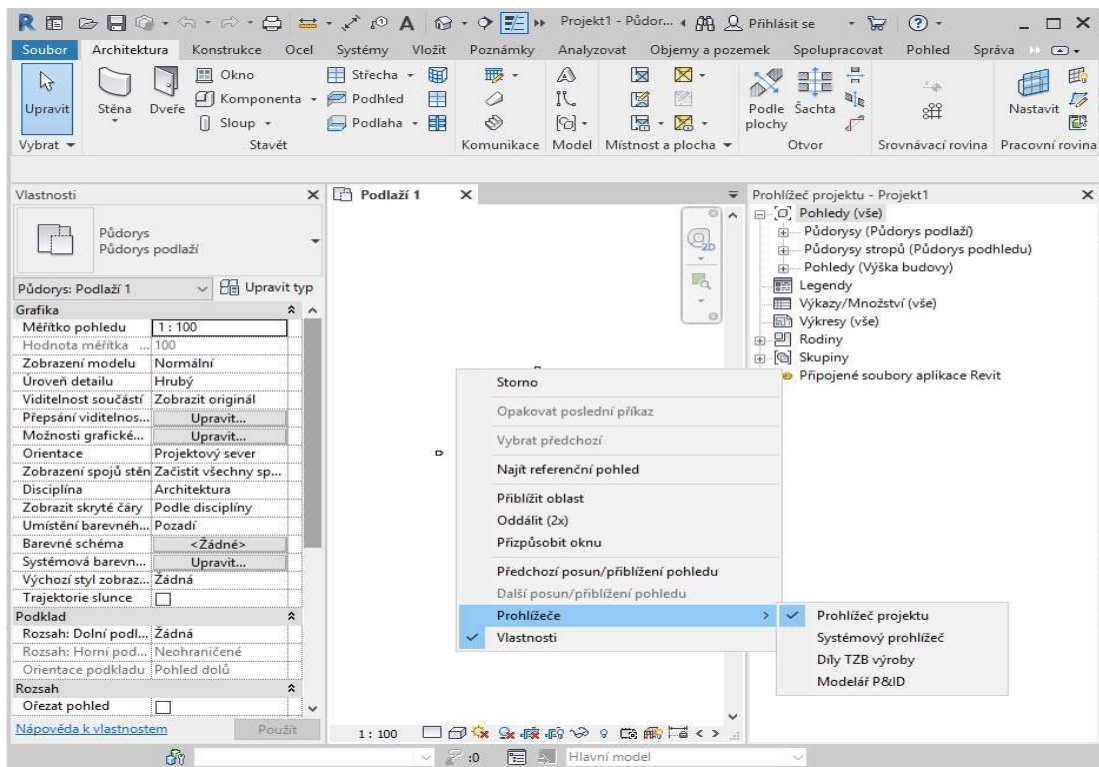
Revit je software sloužící pro práci s BIM soubory, které se dále používají pro architektky, stavebními inženýry a dalšími odborníky. Revit je pravděpodobně nejpopulárnější software na tvorbu BIM. Software umožňuje i pracovní jazyk češtinu. Prostředí revitu je velmi příjemné a velmi snadné.



Obr 12. Ukázka prvního seznámení s programem Revit (zdroj: software Revit, FSv ČVUT)

Software Revit již od prvního pohledu působí velmi intuitivně. Přes funkci „nový“ se dá vytvořit nový projekt a nabízí 4 šablony: Architektonickou, mechanickou, konstrukční a strukturální. Rozdíly mezi šablonami jsou pouze rodiny neboli „revit family“. Software také nabízí, vytvořit nový projekt nebo pouze šablonu projektu.

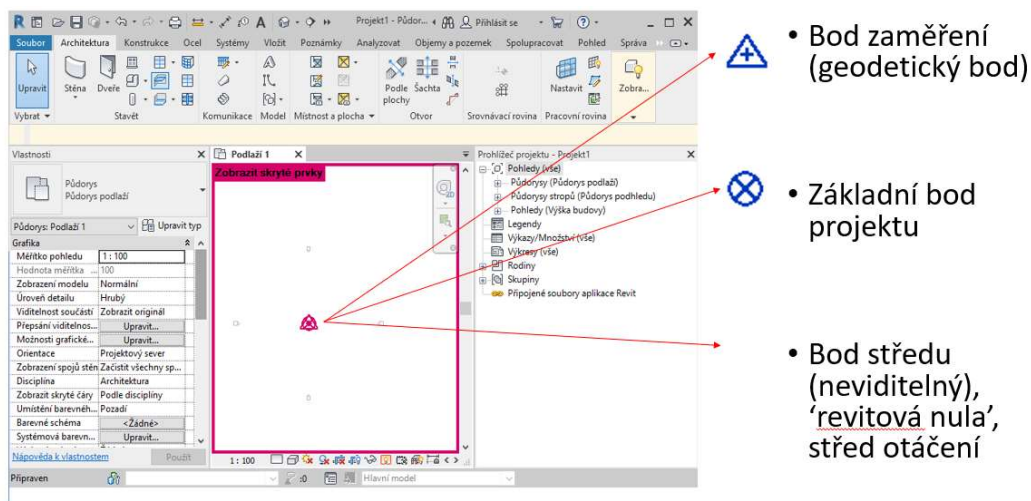
Výchozí soubory z programu Revit vychází ve třech formátech .rvt což je soubor projekt Revit, .rte jako šablona Revit a jako .rfa což je Revit rodina, v kterém se tvoří struktury, které by byly dále nahrány do jedné nebo více 3D modelů, které se ukládají přes Revit rodina editor.



Obr 13. Ukázka prostředí softwaru Revit. (zdroj: software Revit, FSv ČVUT)

Již na hlavní liště lze najít důležité funkce jako měření vzdálenosti, případně aktivace pohledu, či vytvoření řezů. V záložce vlastnosti můžeme nalézt grafické měřítko, rozměry objektu a další

V prohlížeči projektu můžeme nalézt informace o podlažích, řezech a dalších, v kterých případně můžeme upravovat například výšku půdorysů, případně si zobrazit různé pohledy projektu.



paolina.raeva@fsv.cvut.cz

8

Obr 14. Ukázka bodů zaměření a projektového počátku v programu Revit (zdroj: software Revit, FSv ČVUT)

V programu se nachází 3 důležité souřadnicové systémy, a to interní, projektový a geodetický.



Obr 15. Ukázka souřadnicových systémů v softwaru Revit (zdroj: software Revit, FSv ČVUT)

Počátek interního souřadnicového systému je definován mezi pohledy sever, jih, východ a západ, tento počátek ovšem nelze posunout a není viditelný, je to střed otáčení a modelovaný objekt musí být do vzdálenosti 33 km od tohoto bodu.

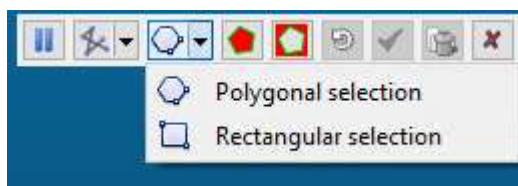
Projektový souřadnicový systém je vytvořený uživatelem a jedná se lokální souřadnicový systém objektu či budovy, s kterým se dá posouvat a nazývá se základní bod projektu.

Geodetický souřadnicový systém má již konkrétní souřadnice, s kterými se pracuje v geodézii. Počátek geodetického souřadnicového systému je geodetický bod, který slouží jako referenční bod reálného geodetického systému.

6. Zpracování dat

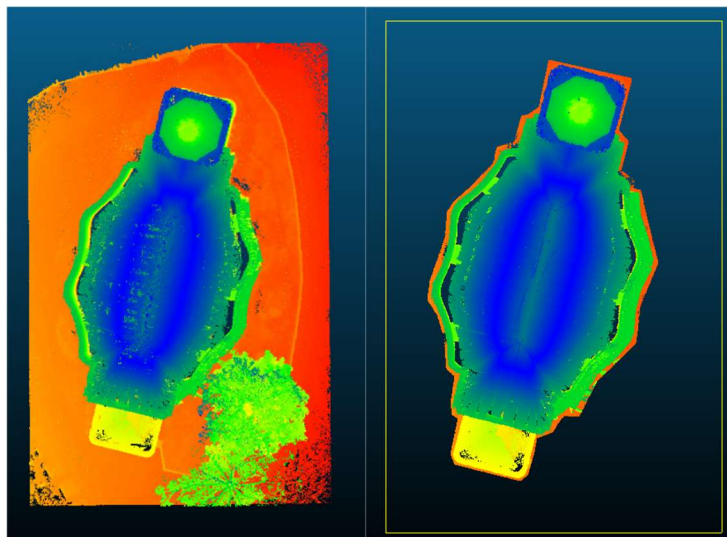
6.1 Program CloudCompare v2.10.2

Do programu CloudCompare byla nahrána naměřená data, jak z dronu, tak z ručního mobilního skeneru přes funkci *file* → *open*. Data z ručního mobilního skeneru obsahovala poměrně velké množství dat, jelikož byl zaměřený i vnitřek budovy. Jednalo se o 74 milionů bodů. Pro práci bylo potřeba data poměrně zredukovat, jako první byl proveden ořez mračna, kde se lze zbavit šumu, nežádoucího okolo a například stromů. Ořez byl proveden přes funkci *segment*, která je zabudovaná v softwaru



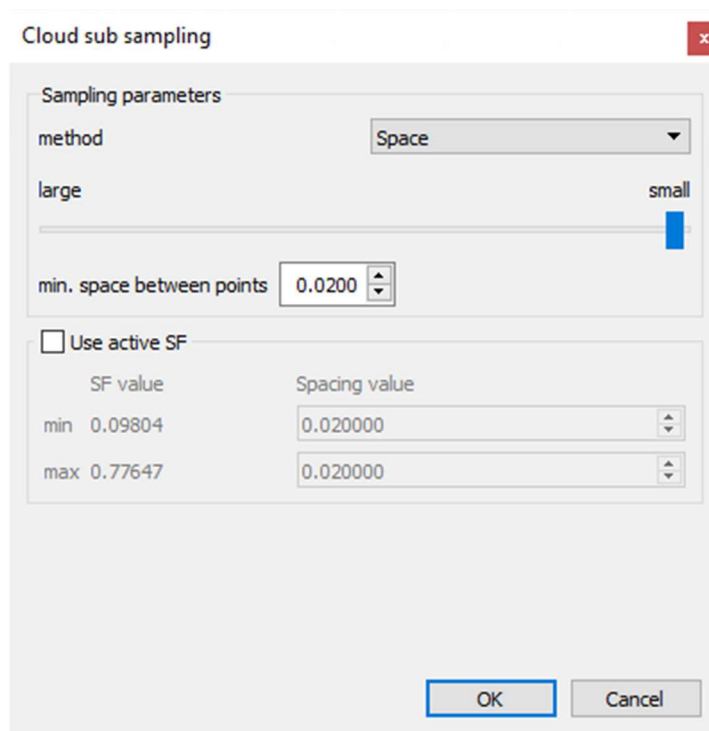
Obr 16. Funkce segment v programu CloudCompare (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT)

Zde bylo zvoleno *Polygonal selection*, a poté byl vybrán po bodech segment, který jsme chtěli ponechat. Přes funkci *segment in* byl následně ořezán do tvaru, který byl dále používán.



Obr 17. Ukázka ořezu mračna (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT)

Tímto se zredukoval počet bodů na 66 miliónů, s čímž bylo stále těžké pracovat a bylo potřeba převzorkovat mračno bodů na nižší prostorovou hustotu. To bylo provedeno přes funkci *Subsample point cloud*.



Obr 18. Funkce cloud sub sampling v programu CloudCompare (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT)

Jako první byla zvolena metoda redukce, kdy byla vybrána z *Space*, *Random*, *Octree*, metoda *space*, která určovala po zredukování dat, jaká je vzdálenost mezi body. Nejprve byly zvoleny 2 cm, ovšem program v následujících krocích neustále kolaboval, bylo provedeno znovu decimování s minimální vzdáleností nastavenou na 4 cm. Tato hodnota se ukázala již jako vhodná pro práci. Při gridu 2 cm se zredukovaly body na celkový počet 14 milionů a následně při 4 cm na 5 milionů.

Stejně se pracovalo s daty z dronu, které ovšem byly barevně rozlišitelné, kde jako první byla data ořezána a následně zredukována přes funkci *cloud subsampling*, původně pouze s gridem 1 cm, kde se data z počátečních 15 milionů změnili na 5 milionů.

[Počet bodů]	Původní	Převzorkování 1cm	Převzorkování 2cm	Převzorkování 4cm
Zeb-Revo	66 496 059	x	14 335 088	4 115 088
Dron	15 687 741	5 717 807	x	x

Tab. 1 Rozdíly počtu bodů po převzorkování



Obr 19. Ukázka dat pořízených z dronu (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT)

Jako poslední krok v CloudCompare bylo transformování dat na sebe, jelikož byla ve svých původních souřadnicových systémech. To bylo provedeno přes funkci *Align two clouds by picking equivalent point pairs*. Bylo zvoleno 14 identických bodů na obou mračnech, které byly po posouzení zredukovány na počet 12 (díky dvěma nepřesným bodům vznikala chyba okolo 50 cm, proto byly vyloučeny). Maximální odchylka byla 22 cm, což může být ve špatné identifikaci bodů. Při ukázce řezů je ovšem vidět, že jsou mračna dobře ztotožněná.

show 'to align' cloud r = 20.000 RMS < 10%

	X	Y	Z	Error	
A0	105.169640	71.184364	11.006197	0.175344	✘
A1	119.399536	106.162872	8.915204	0.164603	✘
A2	114.767029	109.078674	11.043843	0.105536	✘
A3	119.443626	102.976166	-1.835706	0.0663666	✘
A4	118.138237	97.664742	1.416981	0.224558	✘

show 'reference' cloud

	X	Y	Z	Error	
R0	-2.639000	-42.050999	15.066000	0.175344	✘
R1	6.537000	-5.337000	14.568000	0.164603	✘
R2	1.803000	-3.372000	17.535999	0.105536	✘
R3	5.817000	-7.606000	3.710000	0.0663666	✘
R4	5.584000	-13.190000	6.829000	0.224558	✘

adjust scale Rotation XYZ Tx Ty Tz

auto update zoom align reset ✓ ✘

Obr 20. Ukázka chyb a přesnosti napojení mračen na sebe (1)

show 'to align' cloud r = 20.000 RMS < 10%

	X	Y	Z	Error	
A7	97.984901	81.244377	1.821239	0.0788197	✘
A8	96.842911	68.222710	1.346885	0.19058	✘
A9	102.896416	65.744934	1.928844	0.171138	✘
A10	97.144341	74.396294	9.829188	0.177337	✘
A11	118.094154	104.847198	11.874409	0.0821912	✘

show 'reference' cloud

	X	Y	Z	Error	
R7	-11.966000	-32.459999	7.460600	0.0788197	✘
R8	-11.573000	-45.415001	5.739900	0.19058	✘
R9	-5.001000	-46.979000	5.476000	0.171138	✘
R10	-11.014000	-39.958000	14.997000	0.177337	✘
R11	5.787000	-6.965000	17.671000	0.0821912	✘

adjust scale Rotation XYZ Tx Ty Tz

auto update zoom align reset ✓ ✘

Obr 21. Ukázka chyb a přesnosti napojení mračen na sebe (2)

Na ukázkách je vidět, že chyby se pohybují v rámci 6 cm až 22 cm, což je pro další práci modelování v programu Revit dostatečné.

Align info ×

i Final RMS: 0.152533

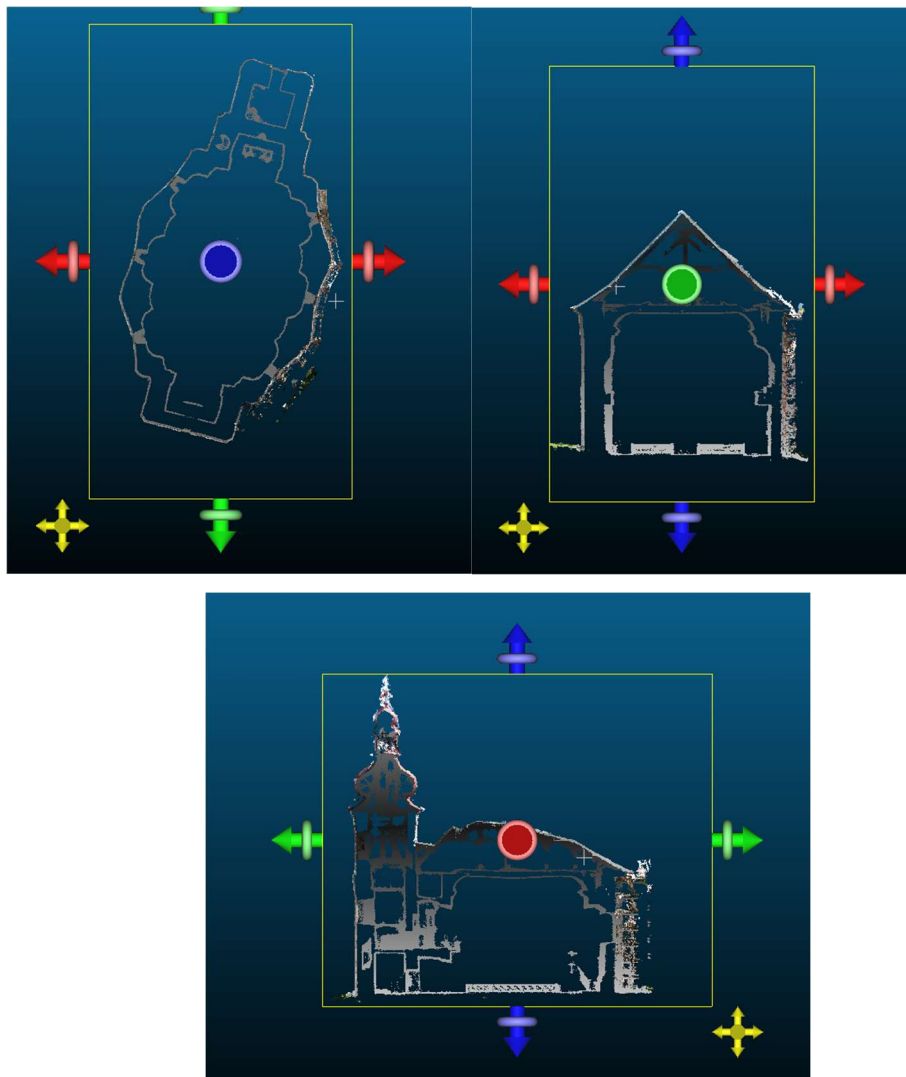
 Transformation matrix
 0.985 -0.134 0.110 -97.857
 0.143 0.987 -0.080 -126.390
 -0.098 0.094 0.991 7.616
 0.000 0.000 0.000 1.000

 Scale: fixed (1.0)

 Refer to Console (F8) for more details

OK

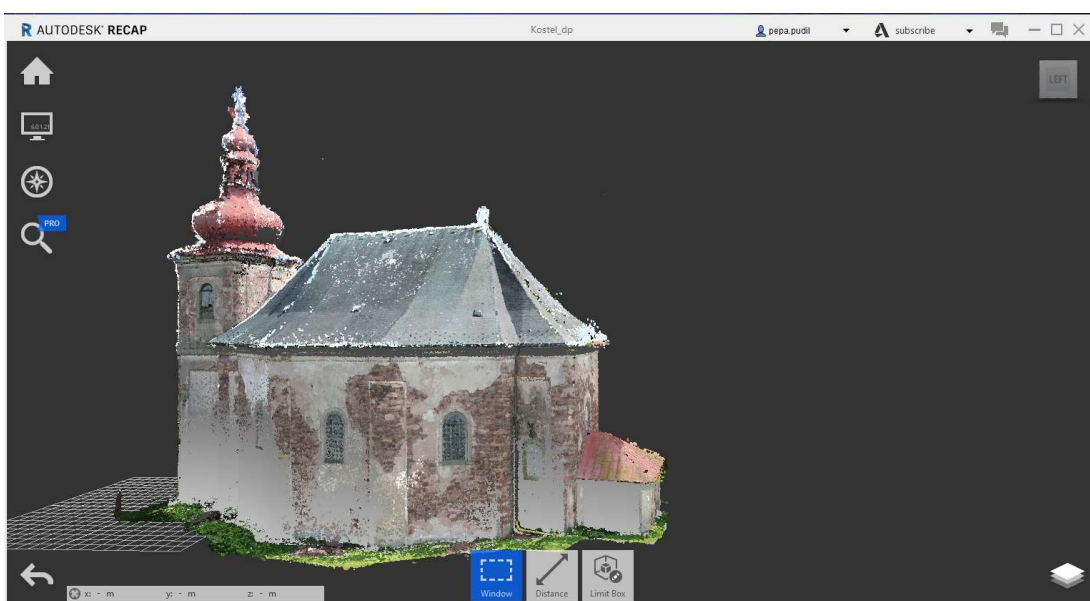
Obr 22. Ukázka výsledku střední kvadratické odchylky



Obr 23. Ukázky řezů po sjednocení mračen, vzniklých různými technologiemi

Bylo zjištěno, že mračna lze použít obě. Z laserového mobilního skeneru obdržíme informace o budově z-venku i zevnitř, ovšem chybí v něm data ze střechy, kvůli čemu bylo využito i dat z dronu. Jako poslední krok bylo provedeno sjednocení obou mračen funkcí *Merge* a mračno uloženo do .xyz souboru.

Další práce probíhala v softwaru Autodesk ReCap, od společnosti Autodesk byla získána studentská licence. V softwaru ReCap byl vytvořen nový projekt a do něho byl naimportován .xyz soubor, a následně z .xyz souboru byl vytvořen .rcp soubor pouze kliknutím na funkci *index scans*. S tímto souborem se dále pracovalo v softwaru Autodesk Revit



Obr 24. Ukázka softwaru Autodesk Recap zdroj: (software Autodesk ReCap Cvut fsv)

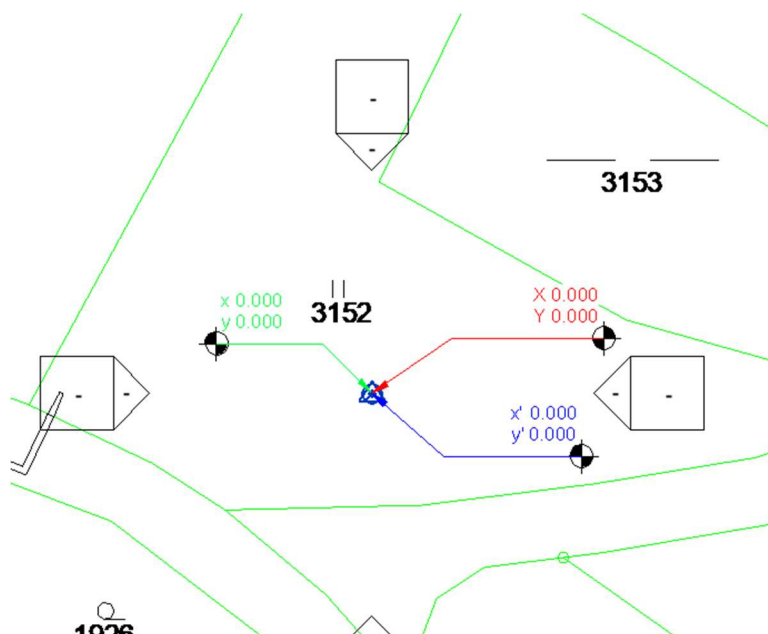
6.2 Program Revit

Pro práci s programem byla získána studentská licence společnosti Autodesk, která je na 1 rok a následně se dá obnovit.

Před prací v programu Revit bylo staženo ze stránek ČUZK [44] katastrální území 638609 – Heřmánkovice, které bylo oříznuto v programu AutoCAD, jenž zmenšil velikost předchozího souboru. Oříznutí bylo provedeno manuálním vybráním území, které mělo zůstat a následně v programu nastaveno, aby exportoval vybraná data. Další nutný krok v AutoCAD bylo nastavit měřické jednotky na metry, s nimiž se dále pracuje v softwaru Revit. Tento ořez byl dále využit pro natočení mračen do souřadnicové systému JTSK.

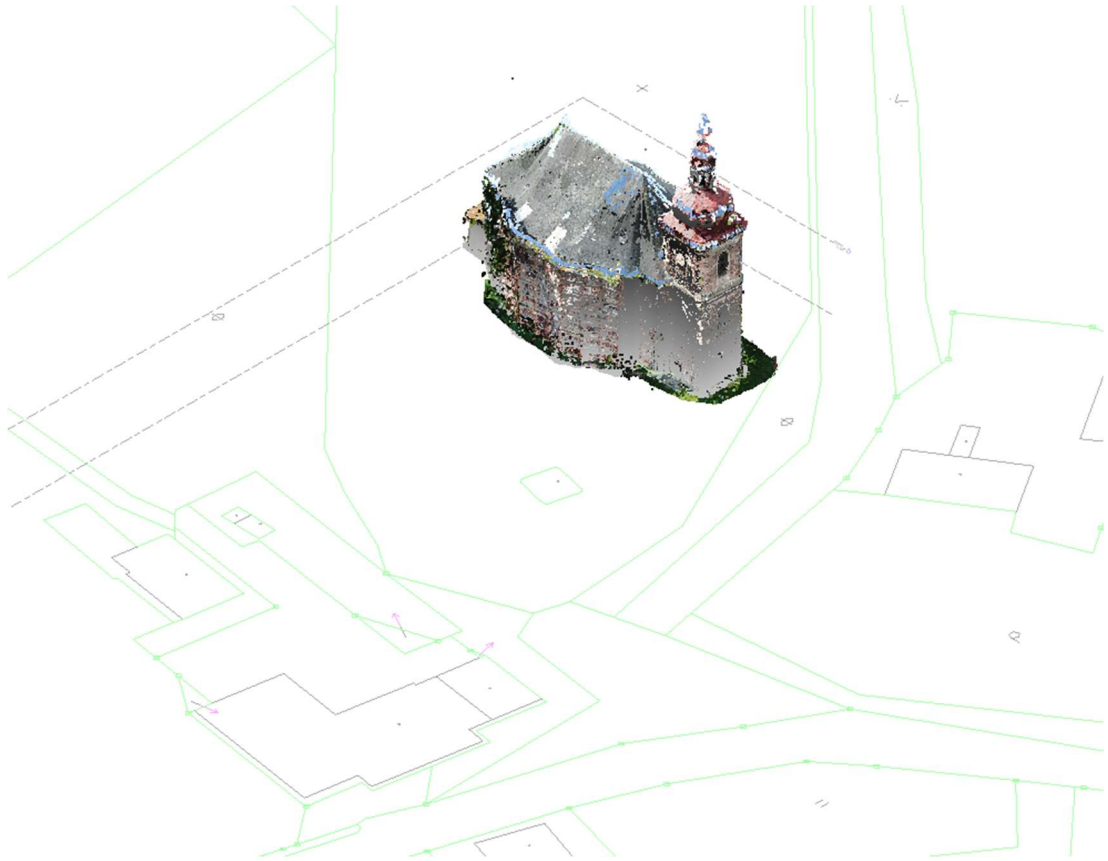
Při spuštění Revitu byly nejprve v záložce Správa jednotky nastaveno metry, jako další byly přidány souřadnicové soustavy (projektové, geodetické a interní), kde

má každý jiný počátek souřadnicové soustavy. Projektové slouží jako lokální souřadnicový systém jedné budovy či objektu. Interní mají počáteční bod systému na středu mezi pohledy sever, jih, východ, západ, modelované objekty musí být do maximální vzdálenosti 33 km od tohoto bodu. S bodem nelze posouvat, je totiž neviditelný. Geodetické souřadnice jsou pro náš model souřadnice v systému JTSK EPSG:5514.



Obr 25. Ukázka katastrálního území po importu a třech typů souřadnic, zelené projektové, modré interní, červené geodetické (zdroj: software Autodesk Revit)

Poté bylo do softwaru nahráno katastrální území Heřmánkovic ve formátu .dxf, přes položku *připojit CAD*. Při importu dat byla nastavena Pozice na „počátek k počátku“. Poté bylo nahráno mračno, ovšem nebylo správně natočené a v souřadnicovém systému. Přes funkce *přesunout* a *otočit* bylo mračno přibližně nastaveno na budovu kostela. Následně ve složce *správa* byla funkce *získat souřadnice*, která pracuje tak, že určuje souřadnice v připojeném projektu a poté je využívá pro aktuální projekt. Poté bylo kliknuto na katastrální území a byly změněny souřadnice na S-JTSK.



Obr 26. Ukázka natočení kostelu (zdroj: software Autodesk Revit FSV ČVUT)

Pro další práci byla potřeba vytvořit podlaží, které nám udělá řez mračnem a dokážeme modelovat v určité výšce budovy. Podlaží bylo vytvořeno v záložce Architektura, funkce *podlaží*, které bylo vloženo do spodku kostela s názvem „Hladina0“ a poté bylo vytvořeno druhé vyšší podlaží s názvem „Hladina1“ výšky hladin byly kontrolovány ručně, podle viditelnosti modelovaných prvků v mračnu. Následně bylo v prohlížeči projektu v záložce půdorysy vybráno Hladina1 a v záložce Vlastnosti, v části rozsah, byl nastaven rozsah pohledu.

Rozsah pohledu ×

Primární rozsah

Horní:	Asociované podlaží (Hladina ▾)	Odsazení:	2.3000
Rovina řezu:	Asociované podlaží (Hladina ▾)	Odsazení:	0.3000
Dolní:	Asociované podlaží (Hladina ▾)	Odsazení:	0.0000

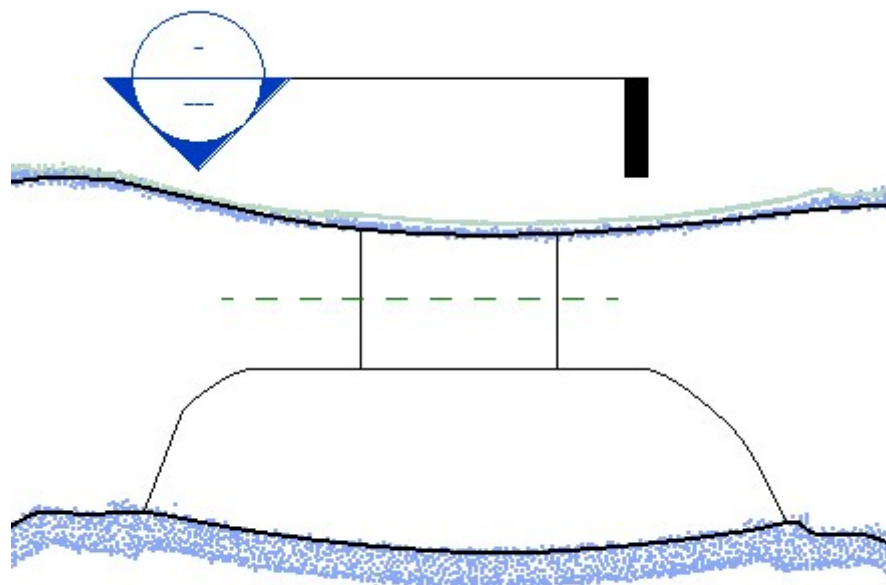
Hloubka pohledu

Podlaží:	Asociované podlaží (Hladina ▾)	Odsazení:	0.0000
----------	--------------------------------	-----------	--------

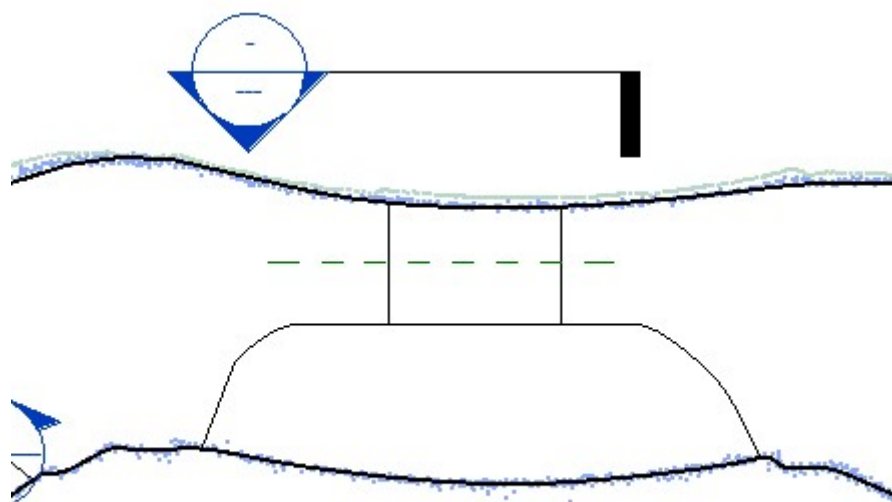
[Další informace o rozsahu pohledu](#)

<< Zobrazit OK Použít Storno

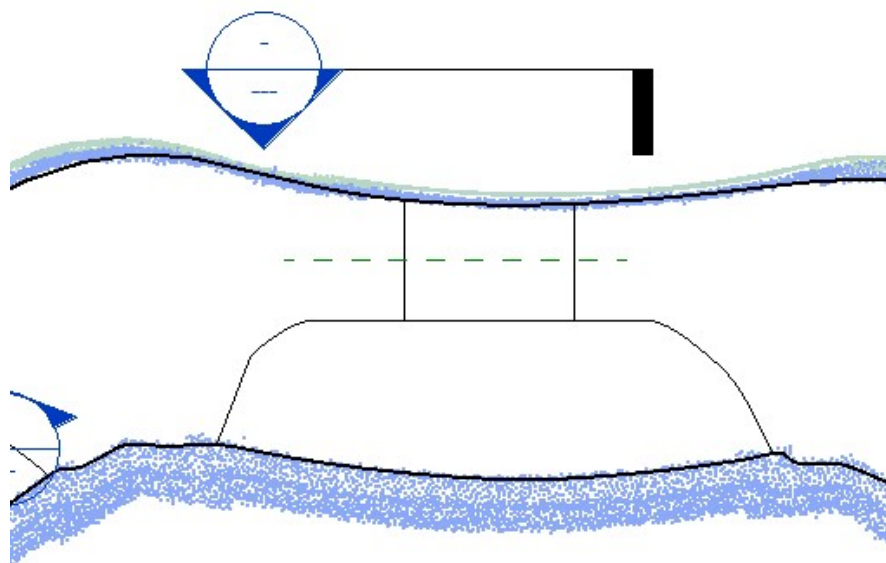
Obr 27. Nastavení funkce rozsah pohledu (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)



Obr 28. Ukázka nastavení rozsahu pohledu (roviny řezu na 0.3 m)



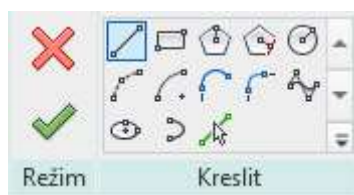
Obr 29. Ukázka nastavení rozsahu pohledu (roviny řezu na 0.1 m)



Obr 30. Ukázka nastavení rozsahu pohledu (roviny řezu na 0.8 m)

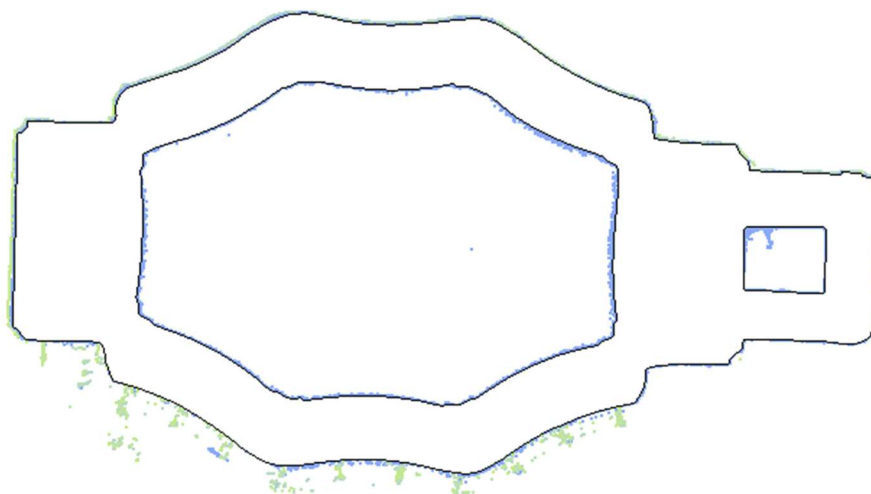
Po nastavení funkce došlo k zřídnutí bodů a dalo se potom lépe orientovat, také došlo k eliminaci chybných bodů a šumu. Dále byly v záložce přepsány viditelnosti nastaveny v záložce mračna bodů Barevný režim na normály, pro opět lepší orientaci v mračnu. První byly vektorizovány hlavní zdi kostelu. V záložce architektura byla vybrána funkce *komponenta* a v ní *Vytvořit na místě*, kde bylo vybráno v kategorii

rodiny Stěny a byl zadán název. Dále byla zvolena funkce vysunutí, která má základní funkce.



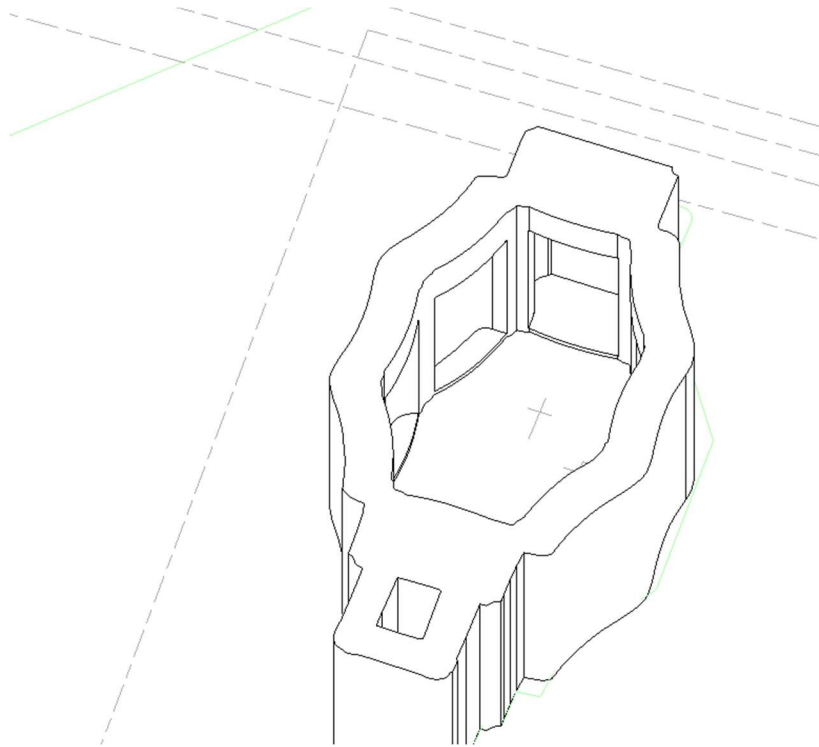
Obr 31. Funkce vysunutí v softwaru Revit (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

Ve funkci je spousta možností vytvoření prvků – od obdélníku, kruhu, linie až po oblouk. Hlavní využití zde měla funkce *spline*, která tvoří přirozeně zaoblené linie. Jako první se začalo se stěnami vnějšími a poté se pracovalo s vnitřními stěnami. Nalezení stěn nebylo komplikované z důvodu pěkné přehlednosti mračna.



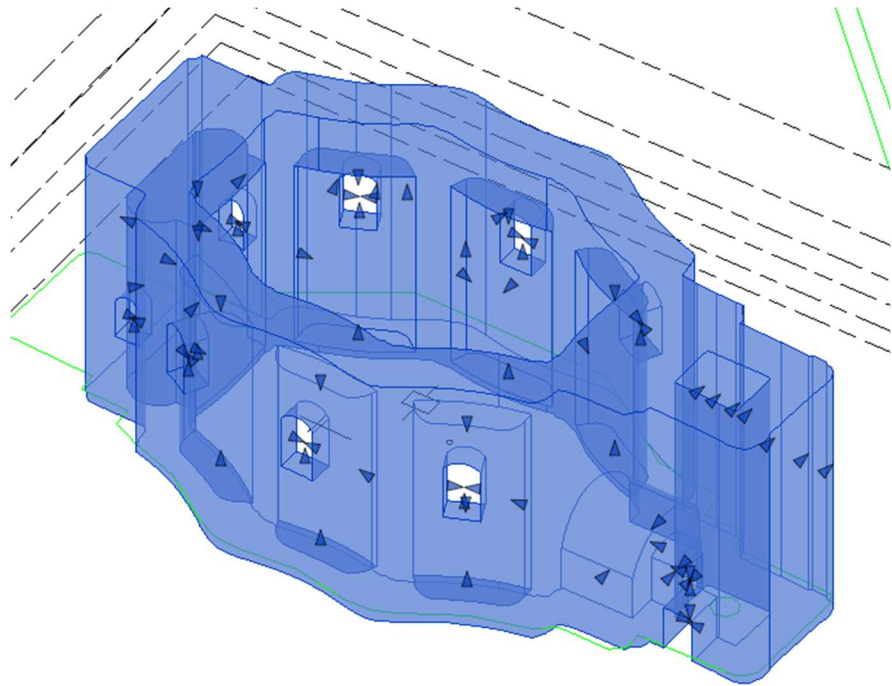
Obr 32. Modelování hlavních zdí (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

V další fázi byly vytvořeny balkóny a oltář, u nichž byla před modelováním změřena výška v softwaru Autodesk ReCap, přes vytvoření řezu a následně funkcí *distance* změřena vzdálenost. Modelování se provádělo přes funkci *duté tvary*, a poté byl tvar oříznut do modelu funkcí oříznout. Tento krok byl proveden u všech šesti výklenků a oltáře.

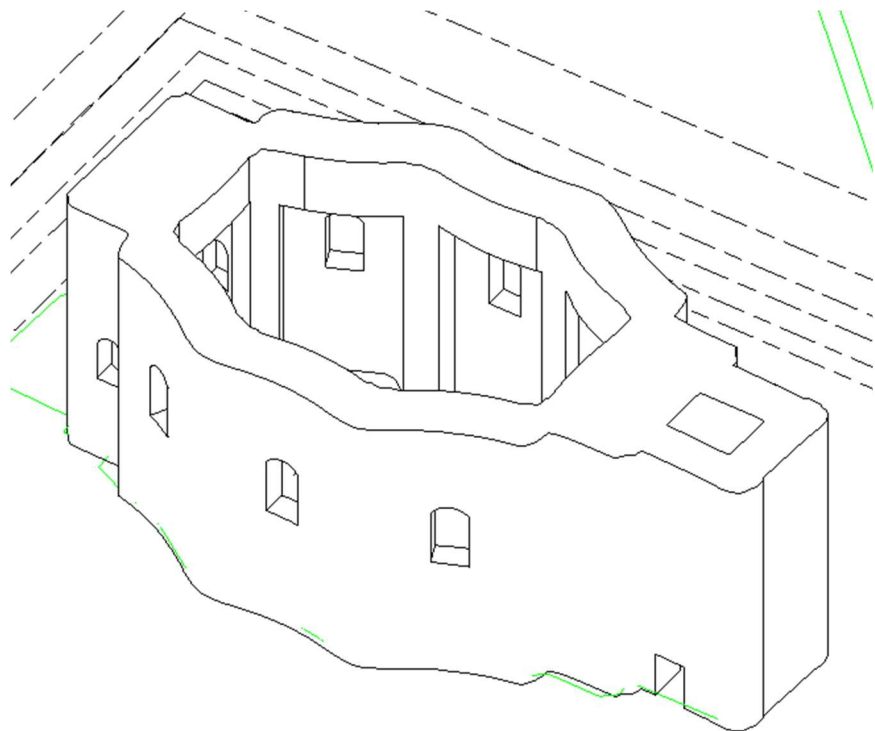


Obr 33. Ukázka vytvoření výklenků (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

V dalším kroku začala modelace vstupu do kostela a oken. Rozměr oken byl opět změřen v softwaru Autodesk ReCap. Poté byl vytvořen řez, který umožnil náhled na modelování ve vertikálním směru. Následně byla vytvořena pracovní rovina, jež určuje, kde se vytvořený prvek bude nacházet. Tímto způsobem bylo vytvořeno šest oken v hlavní lodi kostela a dvě u oltáře. Další krok bylo modelování vstupních dveří a vstup do lodě kostela.



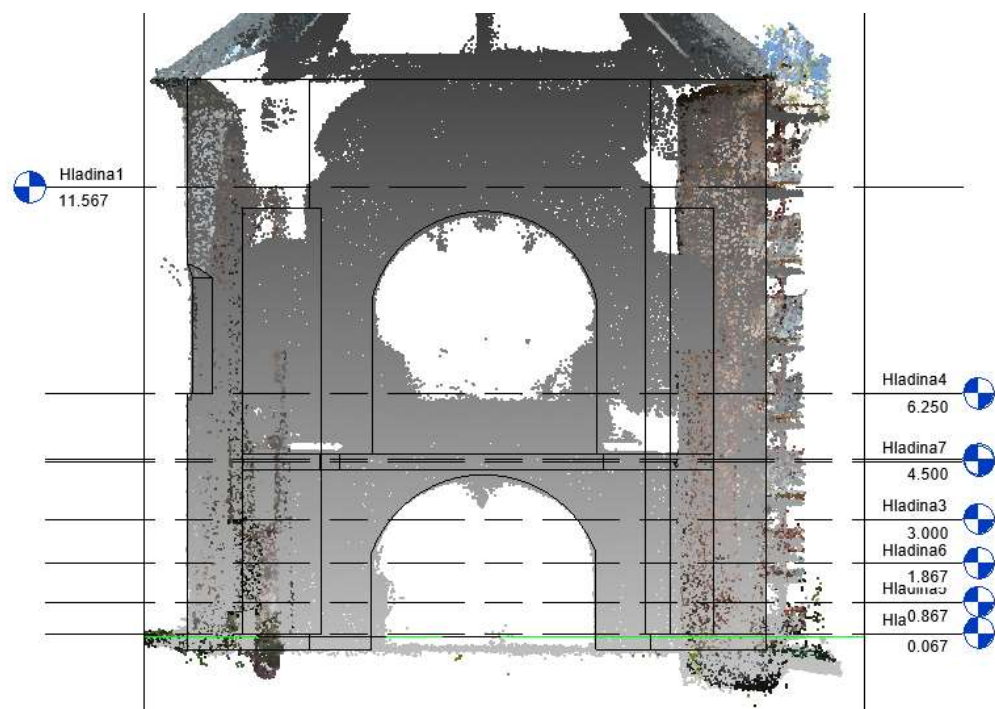
Obr 34. Ukázka vymodelovaných oken a vstupu do budovy s průhlednými zdi. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)



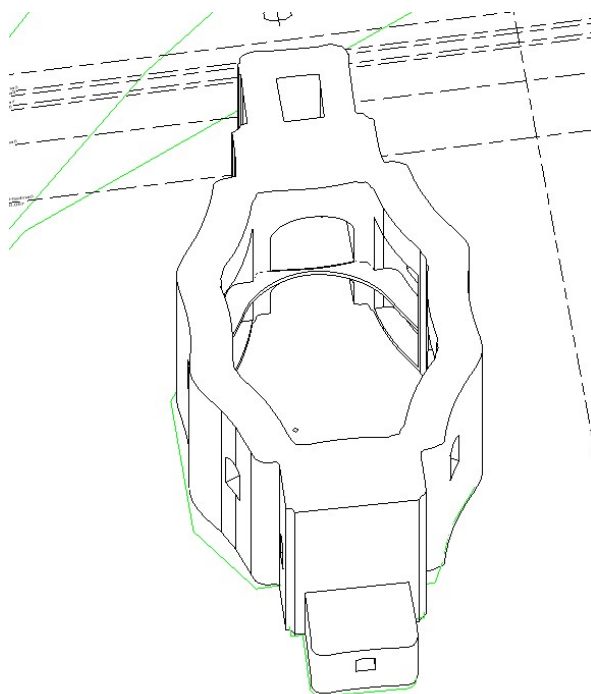
Obr 35. Ukázka postupu modelu (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

Následně bylo vytvořeno druhé patro, kde se nacházeli balkóny a vstup k balkónům. Také byla vymodelována menší budova za oltářem. Modelování opět

probíhalo funkcí *vysunutím* případně *duté tvary*, pokud bylo zakreslováno do již vytvořené části



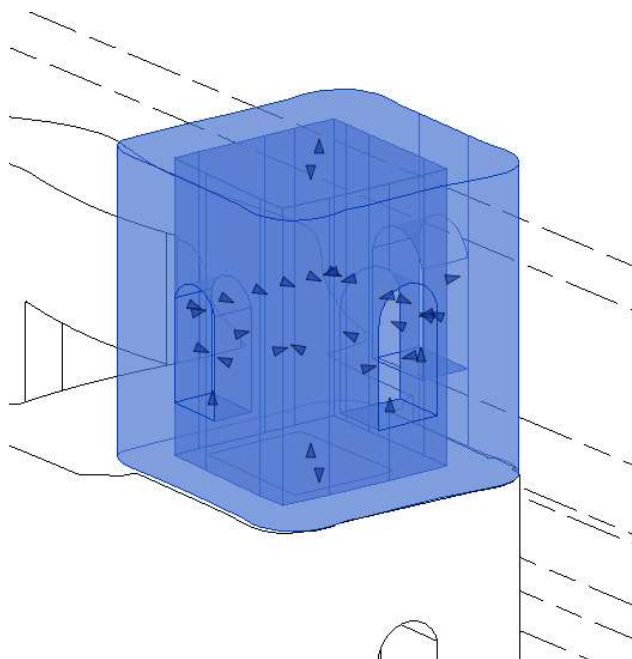
Obr 36. Ukázka modelování druhého patra. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)



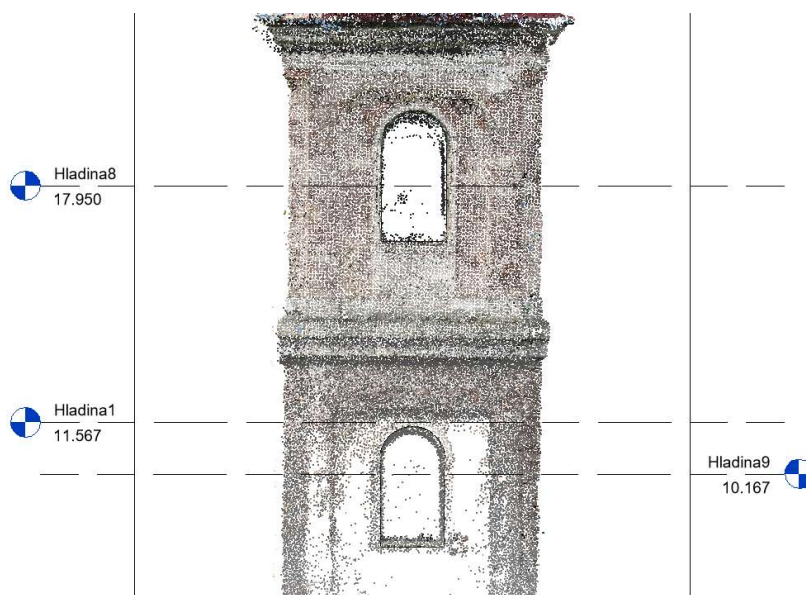
Obr 37. Ukázka vymodelovaného balkónu a vstupu k němu. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

Další prací bylo vytvoření vyšší zděné části věže kostela a přidání podlahy a stropu; modelování věže probíhalo přes vytvoření nové konstrukce a následně funkcí *vysunutí* bylo zvektorizováno mračno v této oblasti, následně byly přidány tři okna, u kterých musely být nastaveny referenční roviny a vytvořené řezy pro lepší tvorbu.

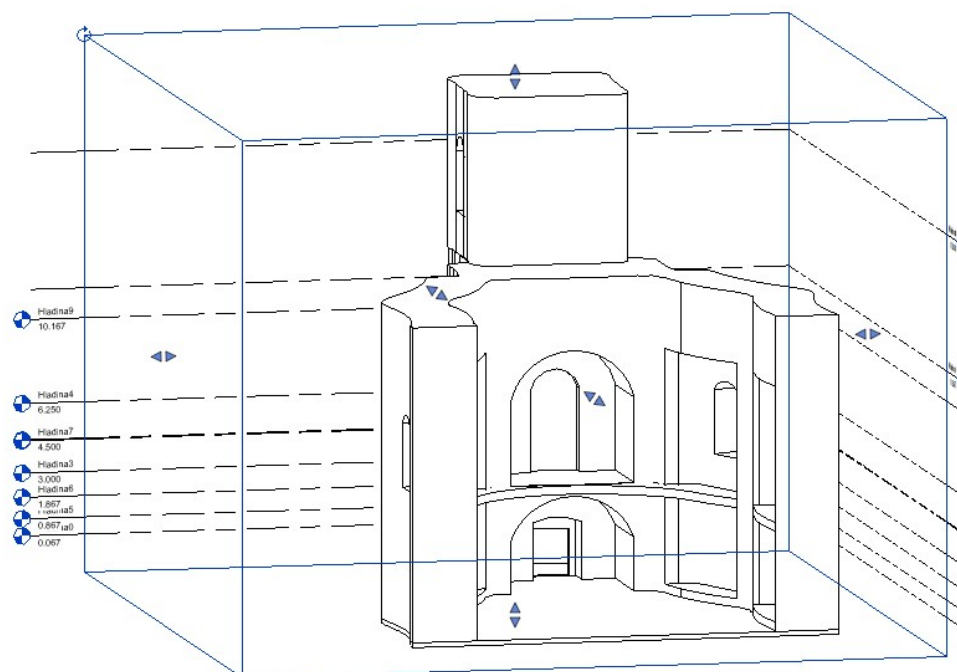
Také podlaha musela být přidána, aby byl model tzv. „uzemněn“. Byla vytvořena editací již vzniklé konstrukce a následně funkcí *vysunutí* vytvořena spodní hrana kostela, tento postup se opakoval i u horní části, kde byl vytvořen strop.



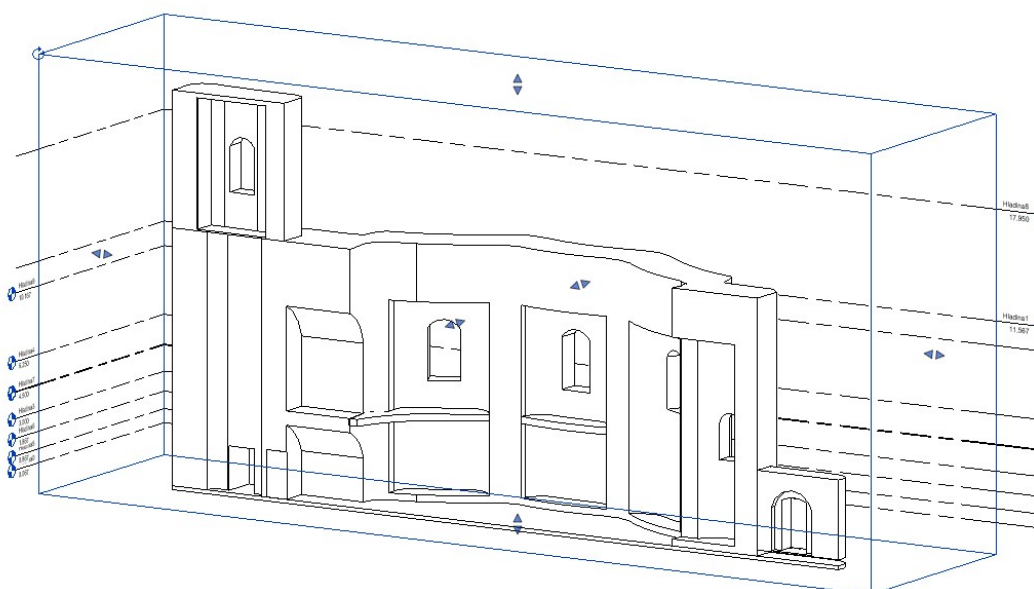
Obr 38. Ukázka tvorby věže (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)



Obr 39. Ukázka řezu a modelování oken ve vertikálním směru (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)



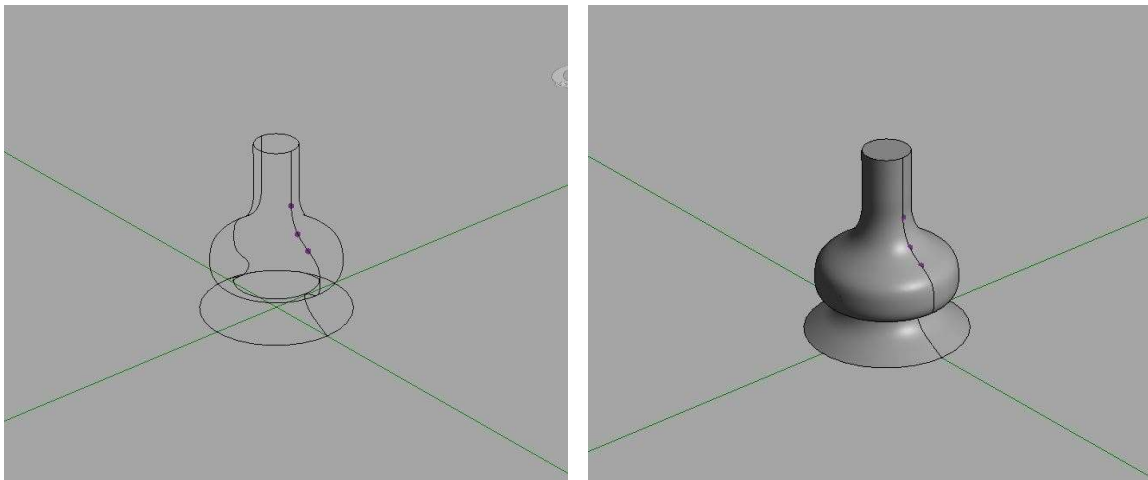
Obr 40. Ukázka vnitřku modelu, příčný řez skrz kostel, kde jsou vidět balkóny (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)



Obr 41. Ukázka vnitřku modelu, podélný řez (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

V poslední části byla vymodelována věž kostela, která má netypický tvar (cibule). Nejprve byly v softwaru ReCap odměřeny poloměry věže, následně byl

v Revitu založen konceptní objem (soubor – nový – konceptní objem) ve kterém byly nakresleny odměřené rozměry a následně položeno na již vytvořený model.



Obr 42. V levé části vektorový model, v pravé části solidní 3D model. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

Dalším krokem bylo vytvoření střechy v záložce architektura – střecha. Podle mračna byl nakreslen obrys střechy (pouze spodní část) a vytvořena obyčejná střecha. Střeše byly přidány detaily přes funkci *Přidej dělicí čáru*, tímto způsobem byl vytvořen i hřeben střechy, kterému byl přidán výškový rozměr pomocí funkce *Upravit dílčí prvky*



Obr 43. Ukázka funkcí v softwaru Revit, a obrys střechy (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)

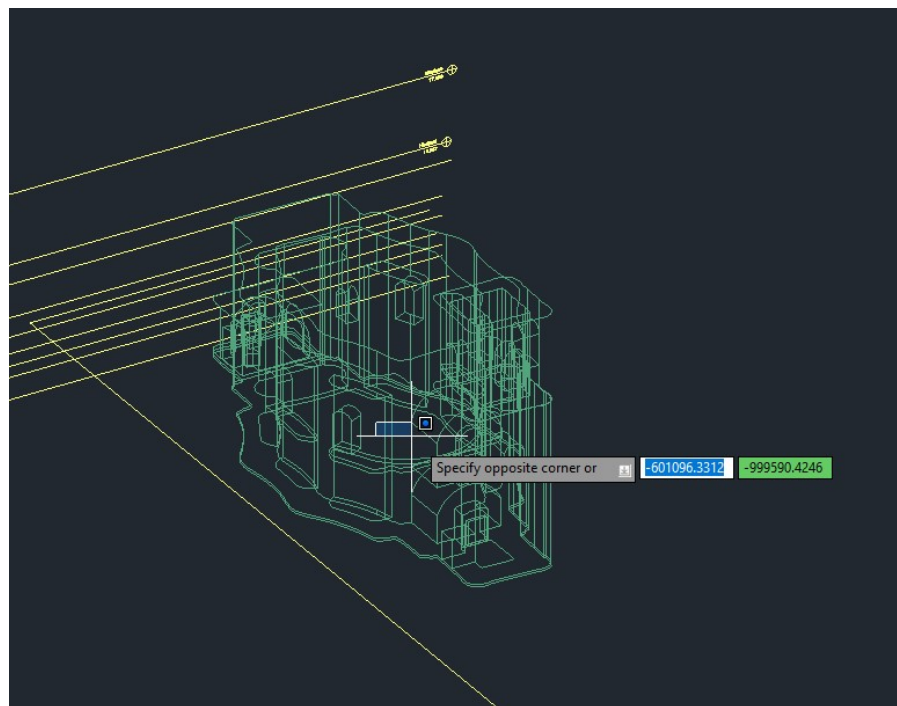


Obr 44. Ukázka vyhotoveného kostelu

6.3 Export dat

Exportování dat probíhalo v softwaru Revit bez obtíží, v záložce *soubor* následně *export, formáty CAD, DWG* při exportu bylo ovšem potřeba nastavit v jakém AutoCAD formátu chceme data vyexportovat v záložce *obecné* a v záložce *jednotky a souřadnice* bylo potřeba přenastavit jednotky z milimetrů na metry.

Dále bylo potřeba vybrat, v jakých souřadnicích model chceme vyexportovat – jedná se o dvě možnosti, interní a sdílené. U interních jde pouze o místní souřadnice aktuálního projektu, ovšem u sdílených jde o souřadnice geodetické, pokud byly nahrány (v tomto případě S-JTSK). Model byl vyexportován v sdílených souřadnicích a zkontrolován, zdali souřadnice sedí v softwaru AutoCAD.



Obr 45. Ukázka softwaru AutoCAD 2020 (zdroj: software AutoCAD 2020 FSv ČVUT)

Export ze softwaru Revit byl proveden do IFC (industry foundation classes) formátu, který slouží k výměně BIM dat, tento formát lze otevřít v jakémkoliv programu pracující s BIM. Export do toho formátu byl proveden z důvodu nahrání modelu do internetové prohlížečky modelů Dalux, do které se bylo potřeba zaregistrovat přes organizaci ČVUT.

Vzhledem k tomu, že model by měl sloužit expertům z katedry mechaniky, kteří chtěli zjistit objemy materiálu a zatížení byl spočten objem hlavních konstrukčních elementů kostela viz tabulka č.2

Výkaz zdí	
Hlavní těleso	3343 m ³
Věž	230 m ³

Tab. 1 Rozdíly počtu bodů po převzorkování

Nahrání do BIM prohlížečky Dalux, bylo provedeno ve formátu .ifc, kde byl vytvořen název projektu na Heřmánkovice, jazyk na Czech a jednotky měření na metry.

Vytvořit projekt ✕

Název projektu * Heřmánkovice

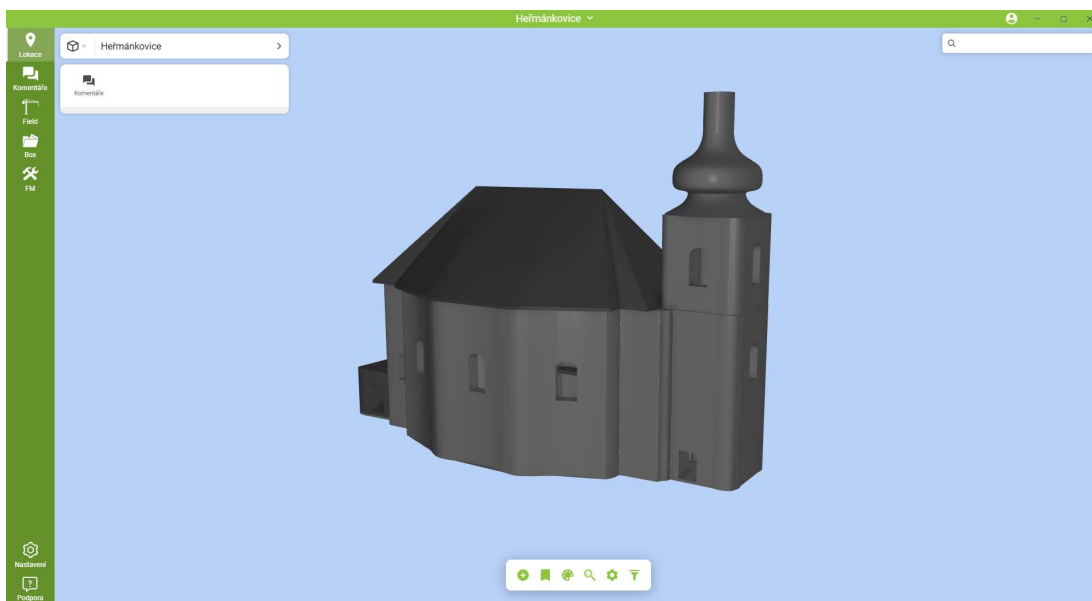
Jazyk * Czech

Jednotka měření * Metrické (metry)

Přijímám Obchodní podmínky platné pro použití bezplatné verze software Dalux BIM Viewer.
[Smluvní podmínky](#)

Vytvořit

Obr 46. Ukázka vytvoření projektu [48]



Obr 47. Ukázka naimportovaného modelu do prohlížeče



Obr 48. Ukázka možnosti prohlížení 3D modelů v mobilní aplikaci Dalux

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit 3D model kostela Věch svatých v obci Heřmánkovice z dvou mračen naměřených dronem DJI Mavic Pro a ručním laserovým mobilním skenerem ZEB-REVO.

V první řadě bylo zpracováno mračno v softwaru CloudCompare, ve kterém bylo ořezáno a následně zredukováno na menší obsah. Poté byla mračna na sebe transformována s chybou 20 cm. Následně byla mračna a převedena do .rcp formátu v softwaru AutoCAD ReCap.

Dále bylo provedeno kompletní modelování kostela v softwaru Revit, které probíhalo bezproblémově, jelikož software s operátorem komunikuje. Jakmile vzniknou nějaké chyby, software ji ukáže, i kde vznikla. V softwaru se pracovalo s modelovací tolerancí 5 cm.

Model byl nahrán do BIM prohlížečky Dalux, ve formátu .ifc, která je volně přístupná. Veškeré zpracování v Dalux probíhalo na internetových stránkách, případně v mobilní aplikaci.

Vytvořený model byl přidán do příloh na dvd v .dxf a .ifc formátu, jenž je pro 3D modely a BIM standardní. Cílem bylo model vytisknout na 3D tiskárně dostupné na FSv ČVUT v laboratoři fotogrammetrie Katedry geomatiky.

Použitá literatura

[1] Nováková, M. Venkovské kostely Kiliána Ignáce Dientzenhofera na broumovském panství, Praha, 2011. Bakalářská práce. Univerzity Karlovy, Katolická teologická fakulta.

[2] Cechner, A., Soupis památek historických a uměleckých v politickém okrese na broumovském. Archeologická komise při České akademii věd a umění. Praha 1930.

[3] Edl, M., Mizerák, M. a Trojan J., 3D Laser Scanners: History and Applications. 2018

[4] Pavelka, K. Fotogrammetrie 20. Praha, skriptum FSv, České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01712-5.

[5] Aubin, P.F. a Milburn, A.. Renaissance revit: creating classical architecture with modern software. Oak Lawn, IL: G3B Press, 2013.

[6] Geo-5 Využití mračen bodů od geodetů. 2018 (citováno 2021-5-5), dostupné na: https://issuu.com/geo5cz/docs/618_era21_geo-5-clanek

[7] Čermák, J., metody 3D skenování objektů, Brno 2015. Bakalářská práce Vysoké učení technické v Brně fakulta strojního inženýrství.

[8] Košvica, O., Laserové skenování, Brno 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně fakulta stavební.

[9] Pavelka, K., Šedina, J., Pacina, J., Plánka, L., Karas, J. a Safář, V. RPAS – Remotely Piloted Aircraft System. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016

[10] Nova science programming on air and online, Time Line of UAVs, 2002 (citováno 2021-4-10), dostupné na: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>

[11] Janovský, M., Využití RPAS pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality, bakalářská práce, Praha 2017 České vysoké učení technické v Praze fakulta stavební katedra geomatiky.

[12] Dokumentace programu CloudCompare (citováno 2021-5-5), dostupné na: <http://www.cloudcompare.org/>

[13] Raza, M., BIM for Existing bulding (A study of terrestrial laser scanning and conventional measurement Technique), Master thesis, International Master of Science in Construction and Real Estate Management Joint Study Programme of Metropolia UAS and HTW Berlin, 2017

[14] BIM – informační model budovy (citováno 2021-5-5), dostupné na <https://www.bimfo.cz/Home.aspx>

[15] koncepce zavádění metody BIM v České republice, (citováno 2021-5-5), dostupné na: <https://www.koncepcebim.cz/koncepce>

[16] Matoušková, E., Pavelka, K., Smolík, T. a Pavelka, K. Jr. Earthen Jewish Architecture of Southern Morocco: Documentation of Unfired Brick Synagogues and Mellahs in the Drâa-Tafilalet Region applied science 2021, 11(4) [online] (citováno 2021-5-5), dostupné na: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1712/htm>

[17] Hulanová M., CAD, Jaký software pro projektování ročník 29 2019 str. 18,19 3D ve stavebnictví

[18] Guzzetti, F., Aanyabolu, K. L. N., Biolo, F. a D'Ambrosio, L., BIM for Existing Construction: A Different Logic Scheme and an Alternative Semantic to Enhance the Interoperability. *Applied Sciences*. 2021; 11(4):1855. [online] (citováno 2021-5-5), dostupné na: <https://doi.org/10.3390/app11041855>

[19] Balik, A., Yaagoubi, R. a Boehm, J., Integration of Jeddah historical BIM and 3D gis for documentation and restoration of historical monument, The International

Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W7, 2015 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015, Taipei, Taiwan DOI [10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015)

[20] D., Huber, B. Akinci, P., Tang, A., Adan, B., Okorn a X., Xiong, "Using laser scanners for modeling and analysis in architecture, engineering, and construction," *2010 44th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*, 2010, pp. 1-6, doi: [10.1109/CISS.2010.5464818](https://doi.org/10.1109/CISS.2010.5464818).

[21] Faltýnová, M., Matoušková, E., Šedina, J. a PAVELKA, K., Building facade documentation using laser scanning and photogrammetry and data implementation into BIM, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2016, DOI [10.5194/isprs-archives-XLI-B3-215-2016](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B3-215-2016)

[22] Bayram B., Nemli G., Ozkan T., Kankotan, B. a Cetin I., (2015). Comparison Of Laser Scanning And Photogrammetry And Their Use For Digital Recording Of Cultural Monument Case Study: Byzantine Land Walls-Istanbul. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-17-2015>.

[23] Tang, P., Huber, D., Pimna R. a Lytle, A., Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques, *Automation in Construction*, 2010 DOI: [10.1016/j.autcon.2010.06.007](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007)

[24] Talha, A., Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation, *International Journal of Applied Science and Technology* 2019, 2019 Sudan. DOI: [10.30845/ijast.v9n4p9](https://doi.org/10.30845/ijast.v9n4p9)

[25] Balsa-Barreriro, J. a Fritsch, D. (2015). Generation of 3D/4D Photorealistic Building Models. The Testbed Area for 4D Cultural Heritage World Project: The Historical Center of Calw (Germany), *Advances in Visual Computing*. ISVC 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27857-5_33

- [26] Wu, Q., Yang, H., Wei, M., Remil, O., Wang, B. a Wang, J., Automatic 3D reconstruction of electrical substation scene from LiDAR point cloud [online] (citováno 2021-5-5), dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.04.024>
- [27] Baltsavias, P. E., A comparison between photogrammetry and laser scanning, 1999 dostupné na [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3)
- [28] Remondino, F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*. 2011; 3(6):1104-1138.
<https://doi.org/10.3390/rs3061104>
- [29] Reznicek, J. a Pavelka, K., New low cost 3D scanning techniques for cultural heritage documentation, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing 2008
- [30] Xue, F., Lu, W. a Chen, K., WEBSTER Christopher J., BIM reconstruction from 3D point clouds: A semantic registration approach based on multimodal optimization and architectural design knowledge, *Advanced Engineering Informatics*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100965>
- [31] Barazzetti, L. Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds, *Advanced Engineering Informatics*, 2016,
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.03.005>
- [32] Dore, C. a Murphy, M. Semi-Automatic Generation of as-built BIM facade, geometry from laser and image data, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 2014, <http://www.itcon.org/2014/2>
- [33] Schlueter A. a Thesseling F., Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages, *Automation in Construction*, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.07.003>

- [34] Valero, E., Adán, A. a Cerrada, C. Automatic Method for Building Indoor Boundary Models from Dense Point Clouds Collected by Laser Scanners. *Sensors*. 2012; 12(12):16099-16115. <https://doi.org/10.3390/s121216099>
- [35] Volk, R., Stengel, J. a Schlutmann, F., Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs, *Automation in Construction* 2014 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- [36] Wu, T. C., Lin, Y. C., Hsu, M. F., Zheng, N.W. a Chen, W.L., Improving traditional building repair construction quality using historic building information modeling concept. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013, France DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-691-2013>
- [37] Dore, C., Murphy, M., McCarthy, S., Brechin, F., Casidy, C. a Dirix, E., Structural simulations and conservation analysis – Historic building information model (HBIM), *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015, Spain, DOI: <https://doi.org/doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-351-2015>
- [38] Bregianni, A., BIM Development for cultural heritage management, National Technical University of Athens, diploma thesis, 2013
- [39] Pavlíčková, V., Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební ústav Geodézie, 2014
- [40] Kettner, L. Laserscan do BIM 1-4, [online] (citováno 2021-5-12) dostupné na <https://cadbim.cz/author/lukasket/>
- [41] Poloprutský, Z. Parametric modelling for HBIM: design of window library for rural building, *The civil engineering journal*, DOI: [10.14311/CEJ.2019.04.0052](https://doi.org/10.14311/CEJ.2019.04.0052)
- [42] Novotná, H.: Základy BIM – Revit Architecture, Seznámení s programem, Brno 2014, ISBN 978-80-214-5023-3

[43] úřad pro civilní letectví[online] (citováno 2021-5-5), dostupné na:

<https://www.caa.cz>

[44] Český úřad zeměměřický a katastrální [online] (citováno 2021-5-12), dostupné

na <https://www.cuzk.cz/>

[45] Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí [online] (citováno 2021-5-12), dostupné na <https://www.vugtk.cz/slovník/>

[46] Pavelka, K. Fotogrammetrie 10. skriptum FSv, Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02649-3.

[47] CloudCompare, [online] (citováno 2021-5-5), dostupné na:

<https://en.wikipedia.org/wiki/CloudCompare>

[48] Dalux BIM viewer [online] (citováno 2021-5-14), dostupné na:

<https://www.dalux.com/cs/>

Seznam obrázků

Obr 1.	Ukázka naměřeného mračna bodů fasády dvou budov [25]	15
Obr 2.	Ukázka převodu do 3D modelu procesem parametrizace p. 300 [31].	17
Obr 3.	Ukázka schéma měření (zdroj: vlastní).....	21
Obr 4.	Schéma prostorové polární metody (cit 2021-5-5), zdroj: (www.quantum3d.cz).....	22
Obr 5.	3D skener Geoslam ZEB-REVO (citováno 2021-5-5), zdroj: (www.geobchod.cz)	23
Obr 6.	Ukázka mračna bodů naměřených skenerem ZEB-REVO obarvená hypsometricky dle výšek (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT)	24
Obr 7.	Raketa V-1 (citováno 2021-5-5), zdroj:(www.wikipedia.org/wiki/V-1) 25	
Obr 8.	Kvadroptéra DJI Mavic 2 ZOOM (citováno 2021-5-5), (zdroj: www.google.com obrázky)	26
Obr 9.	Ukázka kostela Všech svatých (zdroj: archiv FSv, k155).....	28
Obr 10.	Ukázka rekonstrukce kostela Všech svatých a věž (zdroj: archiv FSv, k155) 29	
Obr 11.	Ukázka softwaru CloudCompare	31
Obr 12.	Ukázka prvního seznámení s programem Revit (zdroj: software Revit, FSv ČVUT) 32	
Obr 13.	Ukázka prostředí softwaru Revit. (zdroj: software Revit, FSv ČVUT)33	
Obr 14.	Ukázka bodů zaměření a projektového počátku v programu Revit (zdroj: software Revit, FSv ČVUT).....	33
Obr 15.	Ukázka souřadnicových systémů v softwaru Revit (zdroj: software Revit, FSv ČVUT)	34
Obr 16.	Funkce segment v programu CloudCompare (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT).....	35
Obr 17.	Ukázka ořezu mračna (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT) .	35
Obr 18.	Funkce cloud sub sampling v programu CloudCompare (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT).....	36
Obr 19.	Ukázka dat pořízených z dronu (zdroj: software CloudCompare, FSv ČVUT) 37	
Obr 20.	Ukázka chyb a přesnosti napojení mračen na sebe (1)	38
Obr 21.	Ukázka chyb a přesnosti napojení mračen na sebe (2)	38
Obr 22.	Ukázka výsledku střední kvadratické odchylky.....	39
Obr 23.	Ukázky řezů po sjednocení mračen, vzniklých různými technologiemi 39	
Obr 24.	Ukázka softwaru Autodesk Recap zdroj: (software Autodesk ReCap Cvut fsv) 40	
Obr 25.	Ukázka katastrálního území po importu a třech typů souřadnic, zelené projektové, modré interní, červené geodetické (zdroj: software Autodesk Revit)	41

Obr 26.	Ukázka natočení kostelu (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	42
Obr 27.	Nastavení funkce rozsah pohledu (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	43
Obr 28.	Ukázka nastavení rozsahu pohledu (roviny řezu na 0.3 m)	43
Obr 29.	Ukázka nastavení rozsahu pohledu (roviny řezu na 0.1 m)	44
Obr 30.	Ukázka nastavení rozsahu pohledu (roviny řezu na 0.8 m)	44
Obr 31.	Funkce vysunutí v softwaru Revit (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	45
Obr 32.	Modelování hlavních zdí (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	45
Obr 33.	Ukázka vytvoření výklenků (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	46
Obr 34.	Ukázka vymodelovaných oken a vstupu do budovy s průhlednými zdi. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT).....	47
Obr 35.	Ukázka postupu modelu (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	47
Obr 36.	Ukázka modelování druhého patra. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	48
Obr 37.	Ukázka vymodelovaného balkónu a vstupu k němu. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	48
Obr 38.	Ukázka tvorby věže (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT).....	49
Obr 39.	Ukázka řezu a modelování oken ve vertikálním směru (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	49
Obr 40.	Ukázka vnitřku modelu, příčný řez skrz kostel, kde jsou vidět balkóny (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT).....	50
Obr 41.	Ukázka vnitřku modelu, podélný řez (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	50
Obr 42.	V levé části vektorový model, v pravé části solidní 3D model. (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	51
Obr 43.	Ukázka funkcí v softwaru Revit, a obrys střechy (zdroj: software Autodesk Revit FSv ČVUT)	51
Obr 44.	Ukázka vyhotoveného kostelu	52
Obr 45.	Ukázka softwaru AutoCAD 2020 (zdroj: software AutoCAD 2020 FSv ČVUT)	53
Obr 46.	Ukázka vytvoření projektu [48]	54
Obr 47.	Ukázka naimportovaného modelu do prohlížeče.....	54
Obr 48.	Ukázka možnosti prohlížení 3D modelů v mobilní aplikaci Dalux.....	55

Obsah flash-disku s přílohami

1. Tato diplomová práce v digitální podobě (soubor dp-2021-pudil-josef.pdf)
2. Ukázky 3D modelu ve formátu .png ve složce Ukázky
3. Model ve formátu .dxf a .ifc