

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rekonstrukce modelu podniku z LiDARových dat

Autor: **Jan Havlín**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Polcar**

Akademický rok: 2016/2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan HAVLÍN**

Osobní číslo: **S13B0149P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**

Název tématu: **Rekonstrukce modelu budovy podniku z LiDARových dat**

Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Přehled metodik pro rekonstrukci budov
3. Přehled vhodných softwarových nástrojů
4. Výběr a testování zvolené metodiky a nástroje
5. Závěr

Rozsah grafických prací: 0 výkresů
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

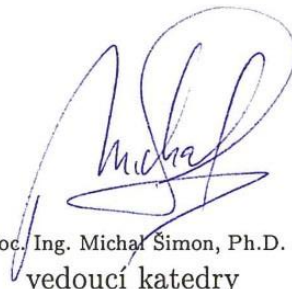
Seznam odborné literatury:

1. Štroner, M. - Pospíšil, J. *Terestrické skenovací systémy*.
Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. 187 s.
ISBN 978-80-01-04141-3
2. Strapek, M. *Modelování výroby za pomoci metody 3D Laserscanningu*.
Diplomová práce. Plzeň: ZČU v Plzni, 2016.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Polcar
Regionální technologický institut
Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Strapek
Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Datum zadání bakalářské práce: 19. září 2016
Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2017



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Polcarovi za cenné rady a odborný dohled.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Havlín	Jméno Jan		
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Průmyslové inženýrství a management“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Polcar	Jméno Jiří		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ		Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Rekonstrukce modelu budovy podniku z LiDARových dat			

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	53	TEXTOVÁ ČÁST	53	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Práce se zabývá tvorbou virtuálního modelu interiéru budovy podle existující předlohy, sloužícího jako podklad pro projektování, a to pomocí zpracování dat z 3D laserového skenování.</p> <p>Výstup má sloužit pro navrhování layoutů především v průmyslové výrobě.</p> <p>Ze tří navržených a testovaných možností byla jedna použita na vytvoření demonstrativního modelu budovy.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>digitální interiér, 3D skenování, model budovy, layout, zjednodušení, mračno bodů</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Havlín	Name Jan	
FIELD OF STUDY	2301R016 „Industrial Engineering and Managemnet“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Polcar	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST – KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Enterprise Building Model Reconstruction from LiDAR Data		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2017
----------------	---------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	53	TEXT PART	53	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis focuses on creation of the virtual model of building interior according to existing condition by adapting data from 3D laser scanning to be used as the basis for engineering work.</p> <p>The output should be primarily used for designing layouts in industry.</p> <p>There have been mentioned and tested three ways where one of them was applied to create the demonstrative building model.</p>
KEY WORDS	digital interior, 3D scanning, building model, layout, simplification, point cloud

Obsah

I	Úvod.....	I-10
II	Teorie	II-11
1	3D Laserové skenování	II-11
2	Odlišné principy skenovacích přístrojů.....	II-12
3	Použité zařízení	II-15
4	Využití 3D skenerů.....	II-17
4.1	Strojírenství.....	II-17
4.2	Kartografie, geodézie (stavebnictví), památková péče	II-17
4.3	Lékařství	II-17
4.4	Kriminalistika	II-18
4.5	Armáda.....	II-18
III	Obecný rozbor a konkretizace zadaného úkolu.....	III-18
1	Problematika modelování budov.....	III-18
2	Metodika obecného problému	III-19
3	Představení vlastního problému	III-20
3.1	Reálná budova jako předmět modelace	III-20
3.2	Pracovní mračno bodů	III-21
IV	Návrh řešení	IV-22
1	Společný úvod.....	IV-22
1.1	Princip řešení	IV-22
1.2	Podpora při modelování.....	IV-22
2	Řešení.....	IV-23
2.1	Revit + Scan to BIM	IV-23
2.2	Scan Explorer + SketchUp.....	IV-32
2.3	3D Reshaper + SketchUp.....	IV-38
3	Výběr varianty.....	IV-43
V	Praktická část	V-45
1	Příprava před modelováním v Revitu.....	V-45
2	Rekonstrukce základních stavebních prvků budovy	V-46
2.1	Základní deska (i s prohlubní v podlaze).....	V-46
2.2	Modelace stěn	V-47
2.3	Desky (strop v přízemí a podlaha v patře).....	V-49
2.4	Atypický tvar na stěně	V-49
2.5	Sloupy	V-50

3	Schodiště, zábradlí	V-50
4	Vrata, dveře, okna	V-53
5	Uzavření prostoru (strop haly)	V-56
6	Stropní osvětlení.....	V-57
7	Přenesení modelu do dalšího programu a vynucené úpravy	V-58
8	Výsledek praktické části práce	V-59
VI	Diskuze.....	VI-60
VII	Závěr.....	VII-62
Zdroje		VII-65

Přehled použitých zkratk a symbolů

- LiDAR – Light Detection And Ranging
- 2D – two-dimensional (dvoudimenzionální)
- 3D – three-dimensional (trojdimenzionální)
- TIN – trianguled irregular network
- CAD – computer-aided design
- TRW – Trimble Real Works
- HVAC – Heating, Ventilating, Air – conditioning
- TSE – Trimble Scan Explorer
- RTI – Regionální technologický institut (modelovaná budova)
- BIM – Building Information Modeling
- GB – gigabyte

I Úvod

Ve strojírenství vždy bylo pravidlem, že je zcela klíčové využívat technologických, konstrukčních, materiálových a dalších novinek, ať už jako živné půdy pro vyvíjení lepších či zcela nových produktů, nebo pro zajištění větší konkurenceschopnosti produktu i podniku. Strojírenství, jako rozsáhlý a dynamický obor, k tomu má takřka nejlepší vlohy, nejlépe se přizpůsobuje a zakládá se na mnoha odborných závěrech a výhledech. Jednou z nejrychleji se šířících moderních technologií poslední doby je tzv. 3D laserové skenování, které dovede zachytit stav reálných fyzických objektů a utváří jejich virtuální kopii v počítači, kde se ocitají jako perspektivní data s velkým potenciálem. Vyžadují však odborný přístup, a někdy se s nimi pojí zatím těžké (nebo nejisté) zpracovávání do prospěšného stavu (zhodnocení dat), to se odvíjí od náročnosti představ o jejich účelu.

Strojírenství má mnoho podob a disciplín; přitom v rámci průmyslového inženýrství se většinou řeší technologicky, ekonomicky, logisticky a ergonomicky ideální dispozice výroby – kde se pro návrh uspořádání tovární haly vžil i v českých zemích název *layout*. Přístup k jeho řešení má velký vliv na kvalitu chodu projektovaných výrobních činností. Proto se vyplatí, pokud může být zobrazen, kontrolován, pozměňován a virtuálně testován ještě předtím, než se rozběhnou montáže linek, umístování strojů a finální ladění výroby, ale kdy postup nebyl předběžně počítačově nasimulován a vyzkoušen.

Layouty jsou dělány jak ve 2D verzi, tak v obsáhlejší 3D verzi, která dovoluje řešit optimální využití volného prostoru ve všech výškových úrovních.

K takovému plánování musí být k dispozici připravené podklady, které se liší mírou vyžadovaných podrobností, ale v některých případech se klade důraz na autentičnost a vysokou přehlednost a názornost modelu a modelových situací. Významným z mnoha potřebných podkladů může být prostorový model budovy, a právě způsoby jeho vytvoření jsou rozebírány touto prací. Model může být vybaven samostatnými stroji nebo široce rozvětvenou pracovní linkou. Některé prostory mohou být složité tvarované, nebo dříve sloužily k úplně jiným účelům a zachovaly si takový ráz. Mohou být také špatně odhadnutelné, těžko dostupné pro měřiče, těžko popsatelné. Proto vyvstává otázka, jestli se do prostor budovy navrhované úpravy vejdu a budou současně splněny i další požadavky, kladené například na dostatek místa pro pohyb obsluhy, dočasné skladování rozpracovaných výrobků, zásobování či únikové cesty za předpokladu stavu ohrožení.

Získat rozměry reálného prostoru pro vytvoření modelu může být obtížné, a právě proto se uvažuje na zjednodušující metodě – její součástí by mohlo být právě 3D laserové skenování schopné rychlé digitalizace ohromného množství reálných prostorových dat. Předmětem této práce je nalezení co nejjednodušší transformace nasnímaných dat do virtuálního prostorového modelu. Za tím účelem budou porovnány některé z počítačových programů, které dokáží každý svým dílem přispět ke zjednodušení procesu. Díky nim by se pak mělo postupovat rychleji, než podle rozměrů získávaných selektivně měřením každého zvlášť.

Pokud budou navrženy nedostatečně přínosné postupy, bude jako výsledek práce brán dokončený virtuální model budovy ve stavu připraveném pro hypotetické navržení layoutu. Jedná se o model univerzitní budovy s halou. Model bude osazen stroji, které měly své digitální obrazy hotové již dřív, a budou tak demonstrovat myšlenku layoutu.

V první části práce je stručné obeznámení s 3D skenováním a principy přístrojů. Následuje rozbor problému ze zadání práce, tj. modelování budov, kde je na závěr krátce popsána reálná budova vybraná k rekonstrukci. Dále je přikročeno k hledání modelovacích metod – ve výsledku jsou zmíněny tři. Poté je zdokumentováno porovnávání, hodnocení a volba té, jejímž použitím bude vytvořen model. Proces jeho vzniku je rozveden v praktické části. Závěr se zabývá zhodnocením výstupu.

II Teorie

1 3D Laserové skenování

Podstatná část této práce se pohybuje kolem jedné z nejmodernějších metod sbírání dat o našem okolí, dovolující velmi ulehčující zpracovávání reálných problémů ve virtuálním prostředí v počítači a nabízející mnoho dalšího užití. Hlavní myšlenkou je, že mají být zachyceny a převedeny do virtuálního prostředí různé předměty, od opravdu malých (menší strojní komponenty) po výrazně velké, jako jsou budovy v případě této práce. Díky prostorovému skenování je člověk zbaven náročného parametrického popisování okolí jen na základě svých pozorovacích schopností. Výchozí reálné objekty se takto dostanou do počítače, kde jsou posléze využívány. Na přínosy procesu je možné se dívat z mnoha pohledů, někdy je důležitá rychlost získání dat, někdy preciznost nebo obsáhnutí miniaturních detailů, které lidské oko nevnímá (někdy je hledáno tvarování povrchu, hrubost, plasticita textur,...) jindy i fakt, že neexistuje žádný přímý způsob sběru dat nebo je komplikovaněji proveditelný než tento. Jedná se tedy o technicky zajištěný a výrazně zautomatizovaný proces, který vyžaduje jen občasnou a snadnou asistenci člověka, zajišťující obstarání si výchozích dat pro další práci.

Ve spolupráci s výpočetní technikou umožňuje užití 3D skeneru prakticky okamžitou realizaci virtuálních prací s objekty, které ještě před vznikem těchto skenerů nebylo jak zásobovat daty o existujících fyzických objektech. Stále však lze říci, že náročnost práce s daty na počítač je velká a ještě se v poslední době zvětšuje, protože se zesložitují úkoly a aplikace pro ně navržené. Přitom od začátků takovýchto zařízení vznikla široká škála rozdílného užití, proto v některých případech například není cílem data upravovat, ale pouze konzervovat, detailněji sledovat v přehlednějších nebo bezpečnějších podmínkách, odměřovat z nich apod. (náročnost na počítače je přesto většinou nezanedbatelná). Vizualizace mračen bodů pomáhají neoborníkům rozumět lépe modelu reality, protože mračna jsou v podstatě velmi blízká realitě (1). Zároveň vysoké množství detailů zvyšuje pravděpodobnost, že model bude správně pochopen dříve a může vést k odhalení vad v plánovacím procesu a ušetřit tak čas i peníze (1).

Nezákladnější princip metody jde popsat následovně. Zájmem je nasnímat nějaký objekt v trojosém (kartézském) souřadnicovém systému tak, aby se následně zobrazoval co nejpodobněji v počítači a byly zachovány jeho proporce, někdy také barvy. Tento přenesený objekt se však liší v tom, že není tvořen prostorovými křivkami jako v reálu, ale nespojitou množinou bodů. Další popis v textu se neobejde bez pojmu *mračno bodů*, v originálním znění *point cloud* (angl.), které je v mnoha případech surovým produktem 3D skenování, de facto je to název zmiňované množiny. Pro provozování skenování vzniká potřeba zařízení, které se nazývá obecně 3D skener, dále je nutné mít k dispozici dostatečně velký výpočetní výkon a kvalitní software (většinou v množném čísle), který umožní viditelné zobrazení dat, manipulaci s nimi, analyzování a úpravy kvality i kvantity mračna a které nabízí specializované nástroje pro transformaci mračna na model.

Během aktivního procesu skenování je laserový paprsek vyslaný zařízením použit jako médium, přes které dokáže řídicí počítač (většinou integrovaný v zařízení) vyznačovat v rámci dostupné vzdálenosti neselektivně, souhrnně, uceleně, v pravidelném úhlovém rastru, s vysokou hustotou a zároveň vysoce rychle body na povrchu předmětů, jejichž směrem byl paprsek vyslán (2)(3). Existuje více možností, jak toho dosáhnout a budou částečně zmíněny. Řídicí jednotka skeneru převádí vyhodnocené informace na strukturovaná data, které jsou vlastně souřadnicemi v prostoru x , y , z . Tyto tři souřadnice pohromadě představují polohový vektor jednoho vyměřeného bodu. Během skenování jich nevznikají jednotky, desítky, ani stovky, ale většinou mnohem větší množství. Ostatně tak může být definována výkonnost přístroje, která se udává řádově od tisíce po množství překračující hranici milionu nasnímaných bodů za sekundu (4). Velká mračna mohou sestávat i z několika stovek milionů záznamů.

Mračna bodů si s sebou nesla od počátku jejich širšího užívání netypické datové formáty pro zavedené počítačové programy, tím pádem i pro CAD programy. U programů muselo dojít k rozšíření zobrazovacích schopností a dialogů úprav.

2 Odlišné principy skenovacích přístrojů

a) polární uspořádání

Pozn.: Skener z jednoho centra obsáhne rotací (ve dvou rovinách) vysílaného laserového paprsku celé své okolí, vyjma výseku limitovaného svou konstrukcí a technickým řešením (viz dále). Snímá tak prostor bez nutnosti absolutního pohybu mezi přístrojem a prostředím (přesto se používá i mobilně, např. na autech a letadlech).

V úvodech do skenování se často objevují obrázková schémata vykreslující přímočarý paprsek letící od skeneru k objektu a zpátky. Stejně schéma může popisovat oba základní principy u prvního druhu přístrojů: paprsek se vždy odráží od snímaného objektu do místa vyslání a podle různých metod je určena délka dráhy, po které letěl.

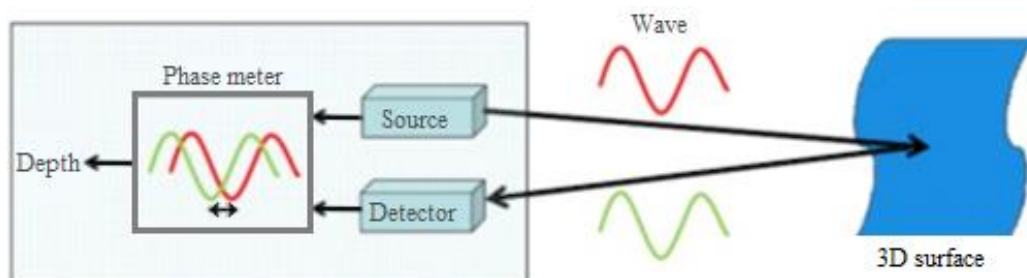
První typ zmiňovaného druhu nese technologii LIDAR (Light Detection And Ranging), které se také říká metoda „time-of-flight“. Jak už překlad do češtiny napovídá, vychází z doby letu světelného, resp. laserového paprsku. Je postavena na vyslání (emitování) paprsku laseru (usměrněné jednobarevné světelné záření s pravidelnou fází), který se odráží od povrchu předmětů a vrací se k přístroji, kde je zaznamenán. Na základě porovnání času odchodu a příjmu je spočítána doba letu, která se poté přepočítává na vzdálenost mezi skenerem a objektem podle známé rychlosti šíření záření v běžném prostředí (vzduch). Vzdálenost by byla obsažena ve výsledku dvakrát, a proto je dělena.

$$d = \frac{c * t}{2}$$

Další podobně koncipovaný typ přístroje se odlišuje v metodě výpočtu, vychází přímo z parametrů emitovaného paprsku, jenž je definován průběhem elektromagnetického signálu (sinusoida) a tento průběh se mění vlivem vzdálenosti bodu odrazu. Skener si pro porovnání ukládá původní signál vyslaného paprsku. Vzniklý fázový posun, angl. phase-shift (samotné

označení pro tento typ skeneru), navráceného vlnění je zaznamenán senzorem. Přístroj vypočítá vzdálenost způsobující takový posunu.

Phase-shift umožňuje nejrychlejší snímání, kolem milionu bodů za sekundu. Na druhou stranu je tato metoda limitována svým dálkovým rozsahem. Hodí se proto více pro integrovanou aplikaci v průmyslových provozech a interiéry budov (5).

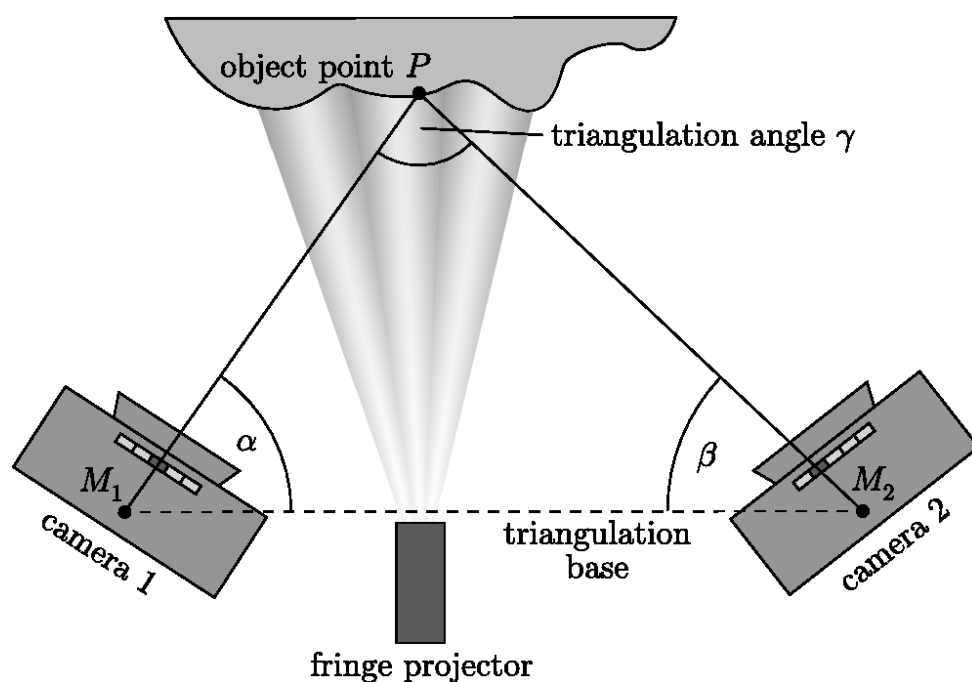


Obrázek 1: Fázový posun mezi vypuštěnou a přijatou vlnou [1]

b) stereoskopické uspořádání

Pozn.: Skener sestává ze soustavy s odlišenými místy vyslání a přijímání světelného média, mezi kterými je pevná vzdálenost. Zde naopak musí být přítomen absolutní pohyb mezi skenerem a objektem, aby mohlo skenování probíhat.

Druhý druh se někdy označuje pojmem *aktivní triangulace*. Obraz promítaný na zkoumaný objekt se sleduje kamerou nebo jejich soustavou. Hledá se odchylka od předpokládaného pravidelného tvaru obrazu, který se pokrivil podle zakřivení ploch, na něž dopadá. Pod slovem obraz je myšlena pravidelná mřížka (3D tri.), vícenásobné rovnoběžné pruhy (2D tri.), nebo to může být také pouze jeden samotný pruh světla (1D tri.). (6) „Úhel, který svírá triangulační báze (označená dole na obrázku) a světelný paprsek, se nemění, zatímco úhel svírající bázi a dopadající paprsek na snímač je závislý na místě odrazu paprsku od předmětu. Pomocí získaných informací je poté možné vypočítat přes trojúhelník Z-ovou souřadnici (6).“ Tento způsob je také velmi rozšířený, ale má odlišné využití, hodí se převážně na skenování menších předmětů a na kratší vzdálenosti.

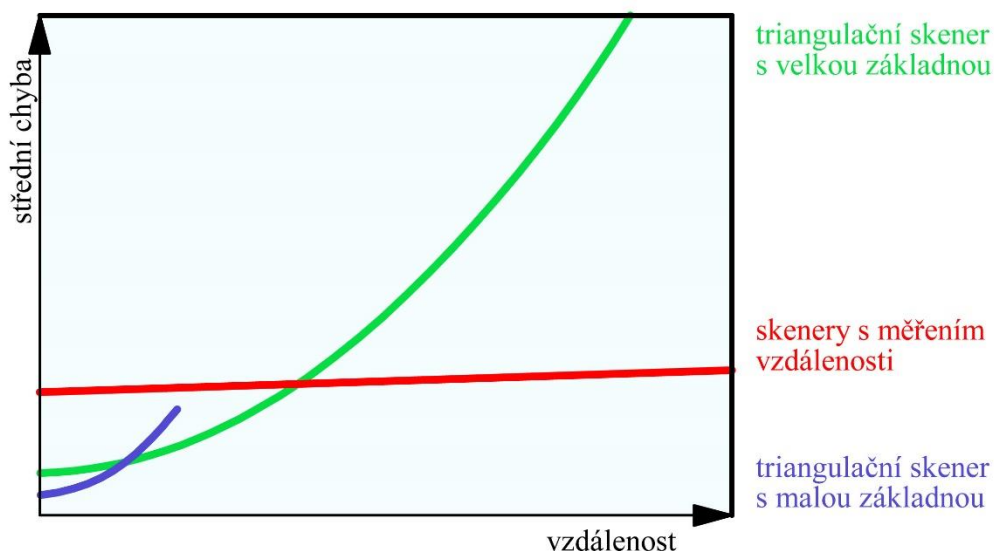


Obrázek 2: Princip triangulace. Dole pevná základna. Po stranách kamery (CCD čidla). Jakožto lineární poziční senzor jsou schopné určit sklon, pod kterým paprsek přichází (trochu znázorněno na prouzcích na kamerách). Získané úhly slouží k dopočítání trojúhelníka, tím pádem i vzdálenosti bodu P [2].

Triangulace se používá, na rozdíl od předchozího druhu, i na ruční snímání objektů; jedná se o ruční skenery, *handheld self-positioning portable 3D scanners*, které jsou výhodné svou univerzálností a snadným a bezprostředním ovládním, protože rozsah skenované oblasti se odvíjí od pohybu ruky. Skener se neustále hýbá a obrazu v počítači musí být kontinuálně souhlasně napojován. Zařízení tedy sleduje referenční značky, které byly napřed nalepeny různě po povrchu objektu nebo i kolem něj, pokud je tenký a dlouhý zároveň a značky by na něm byly zdeformované (7). Před skenováním ještě probíhá přípravný skenovací proces za účelem získání návodu na rozklíčování pozic značek mezi sebou a je vypracováno předběžné rozložení objektu v prostoru (7).

Příprava v rozmístování referenčních značek někdy předchází i skenování na principu letu paprsku, kde značky slouží jako vodítko při slučování několika skenů do většího celku (prováděno v programu buďto zcela automaticky nebo částečně manuálně), dochází tedy k tzv. *registraci*, která ale může být řešena i bez terčů (*markerless point cloud registration*).

Podle jedné teoretické poučky se přístroje dělí na takové, které svou vzdáleností ke skenovanému objektu nepřekročí 2 m, většinou pracující na principu triangulace, a takové, kde tato vzdálenost přesahuje 2 m, typicky přístroje založené na principu doby letu paprsku (8).



Obrázek 3: Přesnost 3D skenerů v závislosti na vzdálenosti objektu (překresleno podle převzatých podkladů) [3]

Podstatné parametry skenovacích systémů (9)

- Přesnost měřené délky, vodorovného směru a svislého úhlu
- Dosah (pozor na definovanou odrazivost cíle)
- Minimální rozestup bodů (maximální hustota)
- Velikost stopy
- Rychlost měření
- Operační podmínky (teplota, vlhkost, výbušné prostředí)
- Bezpečnostní třída použitého laseru
- Softwarové vybavení

3 Použité zařízení

Zařízení, kterým byla skenována budova pro tento projekt, je laserová skenovací stanice *Leica ScanStation C5* a spadá do skupiny zařízení, které měří metodou *time-of-flight*. Přístroj je v první řadě navržen pro terestrické práce, přesto je možné přístroje použít pro nasnímání budov.

Skenovací práce mají přibližně následující podobu. Skener byl vždy postaven na vybrané místo v budově, přitom byl použit stabilizační podstavec, pak byla nastavena svislost osy hlavy přístroje, nejprve podle integrované analogové libely, později podle digitálního ukazatele na displeji. Dále byl navolen rozsah skenování, buďto kompletní (360°) nebo omezený, který byl použit až při pozdějším doplnění chybějících částí (viz mračno bodů a postupné skenování v různých fázích vybavenosti budovy). V druhém případě je potřeba nastavit velikost a počátek úhlu, který skenovací hlava přejede při otáčení. Byla zvolena hustota skenu a zakřížkována funkce kamerového snímání, která zajistí obrázky, jež budou

pospojovány do panoramatického snímku (10, s.16) a poslouží pro obarvení bodů v mračnu podle barevnosti povrchu skenovaných objektů.

Skener začne pomalým otáčením hlavy skenování povrchů a po dokončení, tentokrát za kratší čas, nasnímá ještě celý vybraný úhlový rozsah na kameru. Oskenování jednoho stanoviště trvá asi 15 až 30 minut, v závislosti na množství zachycených bodů.



Obrázek 4: Skener Leica ScanStation C5 [4][5]

Leica ScanStation C5 Vybraná specifika	
Rychlost skenování	25 000 bodů/s
Dosah	35 m při $\geq 18\%$ odrazivosti*
Přesnost **	2 mm
Zorné pole	
Horizontální	360° (maximum)
Vertikální	270° (maximum)***
Typ laseru	
	<ul style="list-style-type: none"> • pulzní • třída 3R (IEC 60825-1)
Ostatní	
Integrovaný pevný disk	80 GB
Int. kamera (upgrade)	1920 x 1920 pixelů
Integrovaný ovládací displej	320 x 240 pixelů

Tabulka 1: informace o pracovním zařízení

*Odráživost je myšlena schopnost skenovaného materiálu odrážet světlo. Pokud je vysoká, způsobuje nežádoucí vady ve skenu (nerovnosti bodového povrchu nebo díry). Někdy se skenovaný povrch musí upravit, například přestříkat antireflexním sprejem.

**Přesnost skenování uvádí rozdíl mezi skutečnou a změřenou délkou (vzdálenost měřeného bodu)

***Při pohledu na nějaké mračno většinou člověk zaregistruje vynechaný přesný kruh, většinou na podlaze. Je to vlastně dáno limitem pohyblivosti skenovací hlavy.

4 Využití 3D skenerů

Už pravidelně jsou při uvádění do problematiky 3D laserového skenování zmiňovány některé obory, ve kterých byly 3D skenery s úspěchem zavedeny. I v tomto textu tomu bude věnována pozornost. Cílem je informovat o možnostech a pokroku ve fenoménu laserového skenování v různorodých odvětvích a ukázat přínosy a kvality technologie.

4.1 Strojírenství

Nejčastějším termínem, který spojuje skenování a tento rozsáhlý obor, je tzv. *reverzní inženýrství*. Činnost ve stálém vzestupu, při které se z existujících fyzických součástí vytváří přesný počítačový 3D model (přenesený do CAD systému). Postupnými úpravami a procedurami se provedou potřebné počítačové analýzy nebo se přistupuje ke změnám na již hotovém produktu podle novějších nápadů a požadavků – tj. inovace výroby. Další ovlivněný podobor se nazývá *výstupní kontrola kvality*, ve kterém je výrobek v nějakém stupni dokončení oskenován a jeho virtuální obraz (tvar, rozměry, povrch) jsou potom porovnávány s projektovou předlohou (11). „Rozdíly mezi 3D modely jsou vyjádřeny numericky a graficky a přímo popisují kvalitu a přesnost provedení výrobku.“ V některých výjimečných provozech se využívá i schopnosti skeneru překonat podmínky bránící člověku bezprostředně měřit, natož aby byla zajištěna také přesnost kontroly. „Jedním z měření, které jsme prováděli, bylo skenování kokil na výrobu pístů. Skenování probíhalo přímo při výrobě v extrémních teplotních podmínkách. Naskenovaná kokila s jádrem se porovnávala s CAD modelem a také se porovnávala roztažnost této sestavy vždy po 10 litích v cyklu 6 hodin.“(12).

4.2 Kartografie, geodézie (stavebnictví), památková péče

Mezi odborníky už delší dobu roste obliba užívání skenovacích přístrojů. Pro ně skenery znamenají ohromné plus v zaznamenání extrémně členitých a složitých objektů, kde na rozdíl od strojírenství není prvořadě důležité převést body na celistvý model. V ohromných rozměrech sledovaných objektů, lokací apod. nahrazuje enormně dlouhé měření a poznámkování. Zde využívané skenery odpovídají zařízení použitému pro tuto práci, tzv. terestrické skenery. Kartografové pomocí laserového skeneru skenují terén z letadla. U geodézie se vyskytují úkoly jako zachycení současného stavu mostů, budov, tunelů, železničních tratí, dokonce i mapování vodního toku nebo analýza pro povrchový důl (13)(14). Ochránci památek skenují pro zakonzervování stavu (virtuální počítačových dat) významných budov či vzácných historických artefaktů. Virtuální předmět pak často podrobují zkoumání skrz počítačovou analýzu, aniž by pravé předměty musely podstoupit rizikovou manipulaci, nebo se mohou podle mračna nechat vyhotovit přesné repliky pro vystavení.

4.3 Lékařství

Ve své podstatě se často nejedná o skener s laserovým paprskem. Naopak se mluví o *3D skenování bez užití laseru* – což jsou přístroje na bázi tzv. *strukturovaného světla* (6, s.29). Přístroj promítá na pacienta pravidelnou mřížku a počítač sleduje, jak se světlo podle tvarů těla deformuje. Na monitoru počítače nasnímaný povrch postupně přibývá, až je rekonstrukce dokončena. Využití s odkazem k ČR představuje například tvorba protetických náhrad nebo vytváření ochranné masky pro pacienty na popáleninovém oddělení. Dále to mohou být plástičti

chirurgové nebo dietologové (15)(16). Podle zahraničních článků se laserové skenování může používat pro diagnostiku lidí, kteří kvůli hrozbě dalších nákaz musí být umístěni v karanténě (17). Skenování lidské postavy také slouží pro dokumentování kondice jedince a z toho plynoucího vyvozování změn v tréninku nebo jako forma motivace (16) (podle proměn křivek těla). Tento konkrétní postup, má však větší uplatnění v oděvním průmyslu. Jinde se zmiňují o navrhování zdravotní obuvi na míru podle přesně nasnímaných chodidel (18). Často se do skupiny 3D skenerů ve zdravotnictví řadí přístroje, jakými jsou počítačová tomografie (CT), magnetická rezonance (MR) nebo sonograf (ultrazvuk), které však pracují na jiném principu.

4.4 Kriminalistika (19, 20)

Zapojování této technologie do řešení kriminalistických případů se rozšiřuje, už vícekrát byly skenery použity. Skenování je používáno kromě mapování dopravních nehod (virtuální zakonzervování místa nehody, aby silnice mohla být rychle zprůjezdněna) také na místech jiných zločinů. Na základě zachycených důkazů mohou dělat rozhodnutí lidé v exekutivě. Skenerem mohou být snímány a zobrazeny i otisky prstů, a to přímo na místě činu, takže odpadá nutnost transportu do laboratoře.

4.5 Armáda

Sem patří například navrhování ochranných prvků pro vojáky, aby jim lépe seděly na těle, nebo modelování pouzder pro zbraně. Jistý článek mluví o kontrolování lodních trupů, zatímco je loď ve vodě (21). V oblasti bojové taktiky se ujímá skenování bojiště ze vzduchu (ideální je dron). Vojákům dávají z velení přesné informace o nepřátelském opevnění a rozmístění protivníkových pozic. Při vytvoření modelu nějakého stavení dokonce dokáží vojáka včas varovat, když by se mohl dostat do zorného pole nepřítele, protože nasimulují oblast, kterou přehlédne jeho zrak (22).

III Obecný rozbor a konkretizace zadaného úkolu

1 Problematika modelování budov

Důvody vytváření virtuálních 3D modelů budov mohou být poměrně různorodé. Všechny však obecně zobrazují věci, které by bylo těžké popisovat pouze slovy a bez grafického znázornění by byly obtížně pochopitelné. V jistých oborech (zejména architektura) mají zkušenost se zhotovováním zmenšeného fyzického modelu, ale oproti počítačovým modelům je to příliš nákladné a zdlouhavé a dále vyplývá, že bývá odlišný i účel.

Užití v rámci konkrétního projektu může mít mnoho podob, které vycházejí z požadavků různých oborů a profesí. Vytvořený model buďto pomůže jen v průběhu projektových prací, a na závěr nemusí být předložen, nebo zůstává jako výsledný produkt. U modelů domů je často primární vizuální stránka (protože se provádí hlavně pro prezentování navrhované stavby a pro uspokojení investora nebo seznámení veřejnosti s projektem). Na rozdíl od strojírenství, resp. průmyslu, ve kterém namodelovaná součást nemá poutat svým vzhledem, ale slouží k doladění funkčnosti. Právě ve strojírenství a dalších oborech, lišících se od spíše uměleckých profesí, může být pohnutkou k výrobě modelu sestavení simulace uspořádání vnitřního vybavení a vykonávaných procesů uvnitř budovy korelující s její stavbou a prostorem. Takové návrhy by bylo jinak obtížné odzkoušet bez použití reálných testů (přičemž zajistit ekonomickou výhodnost simulace oproti definitivnímu řešení a zároveň se vyhnout zkrslujícímu zjednodušení je prakticky nemožné).

Předmětem této práce nebude vytvoření nového prostorového útvaru, ale tvorba 3D podkladů pro vložení nového vybavení. Úkolem je věrně napodobit existující stav. Důležité je říci, že tento postup je hojně využíván i v jiných oborech: minimálně ve stavebnictví, geodézii a památkové péči. U památek se často může jednat o podklad pro domodelování hypotetické podoby historického objektu. Geodeti mohou vytvářet výchozí dokumentaci, na niž mohou navázat architekti a stavební inženýři.

Stavebnictví má dále disciplínu, jejíž podstatou je správa budov na základě 3D modelů, které zahrnují soubor veškerých informací o budově v kompaktním celku, od technické dokumentace, inventáře, historie oprav, po technologické vybavení. Tento soubor dat „slouží jako otevřená databáze informací o objektu pro jeho navrhování, výstavbu a provoz po dobu jeho užívání (23)“, tedy během celého jejího životního cyklu. Uvedenému řešení správy budov se říká BIM. Souvislost se zadáním této práce lze najít: BIM by umělo odpovědět na dotazy kolem instalace nového zařízení do budovy dokonce mnohem komplexněji (včetně možností připojení na energie a potřebná média) a zhodnotit dopad na ni. BIM prakticky poskytuje jak rozměry, tak i záznamy o pronájmech prostor a údaje mohou zahrnovat třeba počet lopatek ventilátoru ve stěně.

Také by mohla být zmíněna počítačová grafika ve virtuální realitě, pro kterou vznikají modely velmi blízkého pojetí. Ačkoliv neobsahují aplikovatelné rozměrové údaje, jsou tyto modely inspirativní svou zjednodušenou stavbou, protože popisují jistý ohraničený prostor pouze z jedné strany a okolní obsah se neřeší. Pozorovatel nalézající se uvnitř má dojem, že se pohybuje v reálném světě, přitom ve virtuální realitě pozoruje pouze plochy bez tloušťky potažené texturou. Stejně tak tato práce nemá ambice navrhovat staticky funkční model, všechno kromě vnitřku budovy je co nejvíc zjednodušeno. Cílem je pouze přenést na pozorovatele pocit, že se nalézají ve funkčním prostoru, resp. zprostředkovat jim virtuální realitu, a pak v ní pozorovat, simulovat a vyvozovat důsledky (konkrétně validitu navrženého layoutu).

2 Metodika obecného problému

Aby mohla být realita přenesena přesně do té virtuální, musí v takovém procesu být zajištěno, že si oba obrazy budou odpovídat, čehož může být dosaženo různě. Na rozdíl od této práce by tvorba modelu na dojem a bez technického využití (s prioritou vzhledu) nemusela být tak svázána s předlohou, takže rozměry by nemusely být pečlivě hlídány. Pokud ale účel vytvářeného virtuálního obrazu má větší přesah a plánuje se na modelu testovat nějaké změny chystané ve skutečné budově, potom je důležité mít model, který odpovídá rozměrům předlohy co nejpřesněji.

Dále je třeba vědět, jakým způsobem budou rozměry získány a jak budou přeneseny na model. Někdy jsou podrobnosti dopředu jasně vyžadovány, jindy mohou být požadavky naplněny vystižením základních tvarů, také mohou být vybrány jen některé relevantní části na budově pro detailnější rozpracování, nebo obojí. Proto se také různě liší počet informací neboli jakýchsi určujících rozměrů, které všechny tyto významné a vyžadované tvary geometricky popisují. Zeď je přeměřena rychleji a snáze než stůl nebo regál, protože nábytek se skládá z více tvarů, a má proto více určujících rozměrů.

Získávané rozměry jsou v různých řádech množství pořízených dat. Pokud dosahují milionů, už nejsou zpracovatelné bez asistence moderní technologie. Dnešní možnosti dokáží vést ke sběru těžko představitelného kvanta informací, ale je vždy dobré si předem ujasnit, jestli případná vysoká přesnost nebude naopak pro projekt zátěží. Touto problematikou se ještě jednou bude zabývat závěr práce. Dnes již výjimečnost sbíraného množství dat nemusí být na

první pohled patrná, protože díky laserovému skenovacímu přístroji není vůbec obtížné získat několik miliónů informací rychle a takřka naráz (pod každou informací se skrývá jeden bod v prostoru). Najednou je o stěně zjištěno více, než že má obdélníkový tvar, jak je vysoká a dlouhá, ale i její povrch je zachycen a vepsán do svého druhu virtuální plastické mapy. Skener toto umožňuje, sbírá informace o objektech celoplošně a ty určující nebo charakteristické rozměry objektů jsou v těchto plošných skenech schovány či dokonce „utopeny“, přitom zbylý „šum“ bodů mnohdy nemá příliš význam. Pak se očekává, že budou využity jen ty rozměry, kterých se dotýká právě řešený problém, a okolním tisícům údajů rozprostřeným po ploše stěny nebude věnována pozornost.

Odlišným přístupem je používání běžných intuitivních metod pro měření délek, které se historicky vyvinuly od primitivních nástrojů do dnešní sofistikované podoby digitálních měřidel. Moderní přístroje určují rozměr na dálku a bezdotykově, např. oblíbená a hojně užívaná laserová délková měřidla a geodetické totální stanice.

I při použití některých modernějších přístrojů (laserový dálkoměr) je postupné přeměrování jednotlivých rozměrů a jejich zapisování včetně upřesňujících poznámek nesrovnatelně pracnějším způsobem. Pokud jsou navíc přítomny konstrukce atypických tvarů, členitý půdorys obsahující množství detailů (např. rozvodné skříně, potrubí), úkol se výrazně ztíží. Když už jsou rozměry získány touto cestou, vždy musí ještě následovat další vyhodnocování poznámek při přenášení do počítače a validování při postupném vytváření CAD modelu. Modelář musí průběžně kontrolovat, jestli virtuální objekty, které vytváří podle poznámek, jsou zrekonstruovány správně, protože jsou dvě místa na chybování: při odměrování a zanášení rozměrů do náčrtu a také při přenášení naměřených rozměrů do modelu. Oproti tomu skeny umožňují okamžitou kontrolu a poskytují větší jistotu při jejich používání jako podkladů (24, s.32). Z těchto důvodů vzniká otázka, kdy se ještě ruční měření vyplatí a kdy už začíná být rychlejší pracovat s hromadnými daty obsaženými ve skenech. Důležitá je pak volba způsobu přeměny těchto možná až nadmíru podrobných dat na kvalitní výstup, v tomto případě kvalitní CAD model. Stále se však vyskytuje množství nespolehlivých a jen málo osvědčených a skutečně ulehčujících cest, ověřených početnějším využíváním v praxi. Pravděpodobně se tu nabízí velký prostor na zlepšování a optimální metody práce včetně více samostatně pracujících softwarů budou vyvinuty až v budoucnu.

Sluší se zmínit, že rozměry pro výrobu modelu budovy by mohly být snadno získány ze stavební dokumentace. Na druhou stranu je dobré brát v úvahu, že v průběhu realizace a provozu stavby mohly být provedeny změny a dokumentace skutečného provedení často není zhotovována. Proto je vždy na místě ověření rozměrů stávajícího stavu, a to i v případě existence použitelné stavební dokumentace (která ovšem především u starších budov většinou dostupná není).

3 Představení vlastního problému

3.1 Reálná budova jako předmět modelace

Na dalších řádcích je představen stavební objekt, který byl při zadávání práce vybrán pro ověření hledaných postupů počítačové rekonstrukce. Ideálně by měla vypracovaná praktická ukázka, která je součástí této práce, pojednat o možnosti aplikace stejné metody na jakýkoliv jiný stavební objekt bez újmy na univerzálnosti řešení.

Rekonstruovaná stavba je součástí Západočeské univerzity v Plzni v areálu kampusu na borských polích a je připojena k budově fakulty strojní. Od roku 2015 se zde aktivně provádí výzkumná činnost zaměřená na strojnictví a technologie. Výzkumné centrum se nazývá Regionální technologický institut, zkráceně RTI.



Obrázek 5: Budova RTI u ZČU [6]

Budova se skládá z haly probíhající po celé půdorysné délce a přidružených prostor po jedné její straně, které slouží jako zázemí výzkumného provozu a kanceláře pracovníků. Hala sahá přes dvě podlaží a nalézají se v ní dvě řady sloupů. Uvnitř byla postavena samostatná „bouda“ do výšky jednoho patra. Stejně tak v jednom z rohů haly. Na dvou místech halu částečně dělí nižší zděné přepážky. Kanceláře s dveřmi do haly, v prvním patře, jsou přístupné po galerii. Kromě spodních propojených prostor v zázemí jsou většinou všude menší obdélníkové místnosti. Rozměry haly jsou přibližně 45 a 15 metrů.

Budova je řešena pouze zevnitř. Model by měl jednoznačně popisovat tvarové uspořádání prostor, tak aby se z počítače daly snadno určit rozměry. V podstatě by v praxi bylo posuzováno, jak velký je vnitřní volný prostor. To interaguje s vnitřní výbavou a stroji, které budou do tohoto modelu také vloženy. CAD modely těchto strojů byly zhotoveny již dříve jinými studenty a pracovníky výzkumného centra, některé byly získány od výrobce.

3.2 Pracovní mračno bodů

Mračno se skládá přibližně z 30 obarvených skenů. I když bylo vytvořeno v nižší kvalitě v porovnání s dnes špičkovými výstupy skenování a při větším přiblížení se body docela rychle rozestupují, tak to nebrání dobré práci. Důležité je především, aby byly rozeznatelné hrubší detaily, zvláště aby byla dobře určitelná lokace modelovaného prvku. Přestože to vypadá, že hustota mračna musí být vysoká, není to jednoznačná pravda, protože charakteristické rysy objektů jdou vyzorovat i z nižšího množství bodů v pozorované oblasti. Na druhou stranu se pak mračno může zdát trochu chaotické a začne více záležet na rozlišovacích schopnostech pracovníka a pozornější interpretaci částí mračna.

Soubor mračna .pts je velký 8,13 GB a obsahuje 153 262 011 bodů.

Registrace mračna probíhala v režimu vizuální registrace (Visual Alignment Registration) v SW Leica Cyclon. Proces je založen na přibližném překrytí dvou skenů přes

sebe, které je prováděno uživatelem, většinou pouze kombinováním rotace a translace ve 2D pohledu. Program potom porovná oba skeny a jejich vzájemnou polohu ještě upřesní. Jedná se o druh registrace bez terčů (značek přichycených na skenovaných objektech).

IV Návrh řešení

1 Společný úvod

1.1 Princip řešení

Další text se bude věnovat třem navrženým metodám k realizaci rekonstrukce budovy. Vedle těch uvedených existuje větší počet možností, ale ostatní programy nemohly být vyzkoušeny pro špatnou dostupnost, většinou z licenčních důvodů.

Převážně platí, že jeden program nezaručí řešení sám o sobě. K vyřešení problému dojde až tehdy, pokud budou dány dohromady jisté fungující skupiny programů, které se budou doplňovat. Každá z dále navrhovaných variant pracuje s CAD softwarem. V něm nastává samotná tvorba ploch a hmoty, ale právě zjednodušeným způsobem příznačným pro CADy. Znamená to, že je nahrazeno přímočaré přetransformování mračna bodů do síťového modelu (*mesh*). Ten by obsahoval velmi vysoké množství geometrických elementů, přičemž v CADu jich je vytvořeno mnohem méně; vliv na velikost dat z důvodu vysokého počtu elementů je značný. Model z CAD softwaru je přehlednější a datově mnohem úspornější. Doplněk přidaný ke CAD softwaru mu umožňuje rozpoznávat v mračnu geometrie a také rovnou tvořit zrekonstruované celky. Samotné CADy neumí mračno správně uchopit. Ještě stále často platí, že mračna jako zpracovatelné podklady moc dobře nepřijímají. V následujícím textu se budou objevovat dva CAD programy. Průběžně budou jmenovány odlišnosti v jejich speciálním (odděleně navržené úzce specializované funkce vždy pro jeden druh prvků jako jsou zdi, sloupy střecha, okna – z čehož plyne rychlejší postupování u těchto prvků) a univerzálním řešení (vše na modelu je kresleno prakticky od nuly, objekty se sestávají z pospojovaných geometrických, hlavně objemových prvků – což představuje svobodu během modelování, ale také všude rozšířenou pracnost).

U každé varianty bude zmíněn výrobce a okolnosti získání programů. Zbytek popisu se bude zabývat funkcionalitou programů. Budou zaznamenány také nalezené nedostatky. Na závěr bude jedna z variant zvolena pro práci na modelu v praktické části bakalářské práce.

1.2 Podpora při modelování

CAD softwary mají širokou uživatelskou základnu včetně komunity lidí, kteří své výtvořiny dále sdílejí. Hodně předmětů se v různých pracích opakuje a jejich namodelování může vyžadovat velkou dávku času. Proto se vyplatí modely získat jako hotové nebo ve stavu, ze kterého se snadno upraví do požadované podoby. Není sice pravidlem, že by každý CAD software měl v sobě zabudovanou vlastní knihovnu prvků, ale jsou mezi nimi takové. Výběr však alespoň ze začátku nebývá dostatečně široký, aby obsáhl každé přání, dokud si uživatel knihovnu sám nerozšíří. Právě hledáním a sbíráním souborů na internetových stránkách sdružujících zmiňované lidi se dá knihovna kvalitně zařídit. Někdy vkládají firmy na internet virtuální modely svých produktů, aby je přiblížily lidem, resp. aby se mohly stát součástí jejich projektů.

Soubory se nachází na samostatných portálech, za tím účelem koncipovaných, nebo jako součást domovských stránek nějakých CAD softwarů. Modely jsou většinou nabízeny hned v několika formátech pro různé CAD softwary. Například lze zmínit:

<https://grabcad.com/library>
<http://bimobject.com/cs/product>
<https://3dwarehouse.sketchup.com/index.html>

2 Řešení

2.1 Revit + Scan to BIM

2.1.1 Seznámení s programy a jejich strukturou modelování

Software Scan to BIM je zmiňován jako doplňkový program vyvinutý pro CAD program v souvislosti se zpracováním mračen bodů. Jméno výrobce se řadí spíše k méně známým, ale tato firma je těsně spjatá se softwarovým výrobcem Autodesk. Firma IMAGINit vyvinula vlastní software, který má doplňovat program Revit (Autodesk) od svého partnera a usnadňovat manipulaci s mračenem bodů. Na trhu je však větší množství podobných softwarů:

Seznam alternativních doplňků kompatibilních s Revitem

- Kohera 3D (Laser Scanning Solution) - www.kohera3d.com
- Edgewise - CLEAREDGE 3D - www.clearedge3d.com
- PointSense for Revit – FARO 3D software – www.faro-3d-software.com
- PointCAB - www.pointcab-software.com

Jak si autor této práce uvědomil o hodně později, celý postup nelze cenit vysoko kvůli aplikaci Scan to BIM, ale hlavně díky schopnostem Revitu, které mohou být posunuty dál. Na druhou stranu je to hypotetický stav, který nebyl, jak se zdá, naplněn. Obrázek o tomto řešení může sice utrpět, ale je pravdou, že na testovacích pracích byla použita vlastně z 80% jen jedna funkce s názvem *Single Wall*. Aby se to nezaměňovalo za konečné hodnocení, mělo by se uvést dopředu, co vlastně utilita přináší. Scan to BIM umožňuje (mimo jiných nabízených funkcí) zrekonstruovat velmi přesně stěny z mračen bodů budovy. Navzdory širší nabídce funkcí se v ukázce o mnoho víc použít nedalo. Trochu dále však ještě budou některé další zmíněny (které by případně mohly pomoci).

2.1.2 Přiblížení programu Revit

Jedná se o jednu z prověřených cest projektantů. Profesionál je klasicky zaměřen na nějaký CAD software, do kterého vkládá v případě potřeby další rozšíření (utility). V případě Revitu tzv. *add-in (doplňek)*. Doplňky jsou zaměřeny na jinak těžko proveditelné operace a uživatel jich může využívat více najednou. Například dohromady tři doplňky vztahující se k mračen bodů, včetně speciálního jen na práci s naskenovaným terénem kolem domu.

Revit je od začátku stavařský CAD software, který byl vyvinut, aby sloužil k tvorbě BIM. Dříve byl rozdělen do tří samostatných celků: Revit Architectural (architekti a stavební projektanti), Revit Structure (konstrukce staveb) a Revit MEP (technické zařízení budov). Od

softwaru verze 2017 jsou sloučeny, přičemž autor volil při zahajování projektu typ šablony „Architectural“.

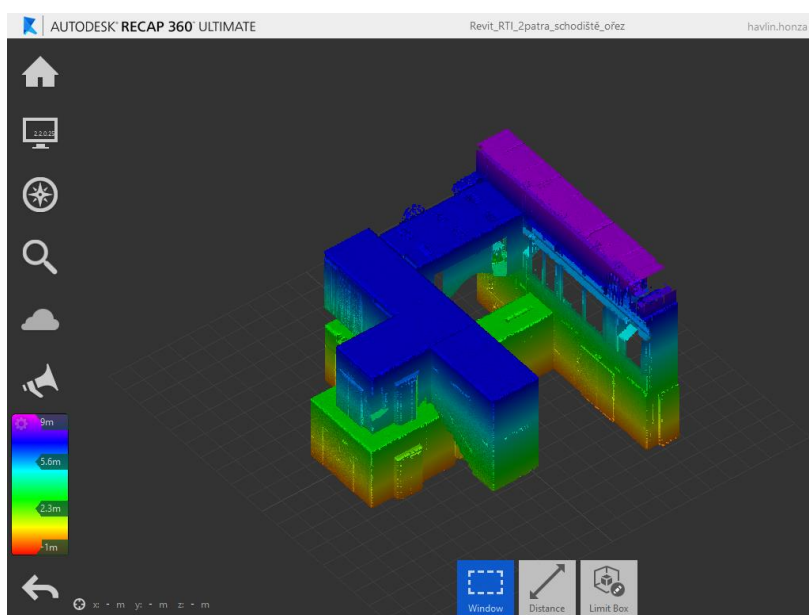
2.1.3 Dostupnost a důvod volby programů

Prvním impulzem pro vyzkoušení byla videa na videoportálu YouTube, kde je vidět mnoho modelů vzniklých z mračna bodů (většinou však není záměrně bez rozvedení postupu). Revit se poměrně často objevuje. Rozhodl fakt, že byla k dispozici studentská verze. Poté byl hledán doplněk, který by práci v Revitu ulehčil.

Americká firma IMAGINiT nabízí trialovou verzi Scan to BIM. Rozhodující byla opět dostupnost a to, že byly předesílány stejné základní (pro úkol stěžejní) funkce jako u podobných programů. Trialová licence programu má platnost 21 dní.

Vložení mračna do Revitu jde docílit přímo, nebo při nutnostech předběžných úprav mračna přes program Recap 360, taktéž z dílny Autodesku). Za každých okolností musí být skeny tzv. indexované, bez toho nebudou programem přijaty. K indexaci vyzývá sám, když zjistí, že mračna jsou ještě stále v běžných exportních formátech jako LAS, ASCII, L54 a podobných. (Porovná-li se doba indexace u Revitu a Recapu, je téměř stejná. Vzniknou formáty .rcp nebo .rcs.)

Revit se k mračnu bodů pouze odkazuje (25) a není zasazeno přímo do projektu. Formát .rcs patří souboru indexovaného z jednoho surového mračna a .rcp se skládá z několika skenů (z několika .rcs). Na obrázku je zachycen výřez, který vznikl v programu Recap 360.



Obrázek 6: ReCap 360: Výřez z budovy RTI pro export do Revitu (výškové neboli elevační zobrazení) [vlastní výroba]

2.1.4 Nejdůležitější funkce a pravidla v Revitu

Pro účely této práce jsou doporučeny hlavně následující věci: Uvědomovat si vrstvy (další obrázek), které znázorňují různé výškové úrovně v projektu. Umísťují nebo spravují se v bočním pohledu, který je otevírán přes strom projektu (*Prohlížeč projektu*) v levém dolním rohu obrazovky – nabízeny jsou Jih, Sever, Východ, Západ – a k samotnému vyznačení linie úrovně se používá nástroj *Podlaží* pod záložkou *Konstrukce* → *Srovnávací rovina*. Při umísťování se

vychází z linií, které ohraničují prostory místností, dobře patrných na mračnu bodů – jsou viděny předěly mezi nimi, tedy podlahy a stropy. Vůbec nejzákladnější jsou úrovně Podlaží 1, podlaží 2, ..., ze kterých zároveň vyplývají dva nepoužívanější půdorysné pohledy. Program je generuje automaticky a aktivují se kliknutím na název těchto podlaží v prohlížeči projektu. K těmto úrovním byly ještě definovány stropy (i když jsou to někdy „falešné stopy“, tj. podhledy) a mezipodesta (plošinu mimo úroveň hlavního podlaží spojující dvě ramena schodiště), tak tedy úrovně, které mají nějakou jedinečnou a rozšířenou výšku.



Obrázek 7: Nanesení výšek úrovní v bočním pohledu (názyvy podlaží podle uživatele) [vlastní výroba]

I když není bráněno projektování přímo v 3D pohledu, prvky jsou přednostně umísťovány prakticky vždy v půdorysných pohledech, což je nejpřesnější způsob. Každý prvek musí mít ve vlastnostech určenou rovinu, od které se jeho výšková poloha počítá pomocí hodnoty odsazení. Není praktické volit speciální roviny, většinou je vybíráno hlavní podlaží.

Vzhledem k tomu, že základní myšlenkou je vycházet z mračna bodů, byly stěny během tvorby testovacího vzorku jen ve zlomku případů umísťovány ručně. Byla využívána funkce Single Wall, která zajišťuje automatické umístění stěny po jednom (neumí jich rekonstruovat více zároveň).

Dále jsou přidávány podlahy a stropy. V půdorysu jsou kresleny obrysy ploch, které překryjí nebo podloží řešený prostor. Fakticky má samozřejmě každá tato plocha tloušťku, jsou to desky. Čáry jsou umísťovány přibližně do poloviny tloušťky stěn (není důležité přesně dodržovat).

Protože dochází k trvajícimu umísťování dalších prvků do modelu, začnou po čase stěny, stropy a další komponenty překážet ve výhledu. Proto by měla být zmíněna důležitá funkce, kterou je tlačítko „skrýt v pohledu“, reprezentované žárovka. K nalezení je nahoře pod záložkou *upravit* v modulu *pohled*. Účinkuje tak, že zneviditelní označené prvky. Úplně dole na liště se nalézá tlačítko s žárovkou, které umožňuje částečné zobrazení skrytých prvků (pracovní plocha dostane fialový okraj). Pro úplné zrušení původního příkazu jsou vybrány a nahoře v kartě úprav je použito další tlačítko s žárovkou a komentářem *Zobrazit prvek*. Téměř to samé jde udělat i zmáčknutím tlačítka, také na dolní liště, s vyobrazenými brýlemi (*Dočasně Skrýt/izolovat*). Když se rozklikne nabídka u brýlí, lze skrytí prvků zrušit paušálně příkazem *Obnovit dočasné skryté/izolované*. Druhý postup je rychlejší, ale důvod zavedení obou dvou je v tom, že po prvním prvky zmizí dlouhodobě, kdežto u druhého příkazu jsou po zavření a

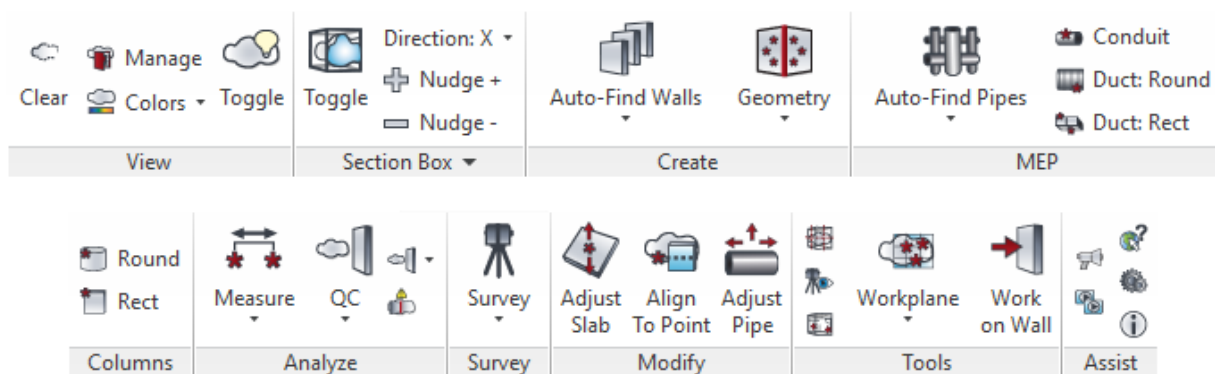
otevření projektu prvky zobrazeny (obnoveny) automaticky. Vypínání/zapínání viditelnosti je základní funkce, bez které nelze pracovat na komplikovanějším projektu.

Do základů programu musí být zahrnut tzv. *ořezový kvádr*, který funguje jako pohyblivé hranice viditelného 3D pohledu. Podmínkou je, aby byl nejdříve zaškrtnut v okně vlastností pohledu, a tím aktivován. (Pozn.: vztahuje se k němu také přepínatelná viditelnost). Tento nástroj je potřeba téměř neustále, ořezává části modelu, aby se pracovní pohled zjednodušil nebo byly odstraněny části mračna či modelu bránící ve výhledu. Pokud chce uživatel vidět dovnitř budovy, je nerychlejší způsobem právě pohybování s hranicemi ořezového kvádru, se kterými se manipuluje použitím modrých šipek na jeho bocích.

V Revitu se nacházejí knihovny komponent s různými objekty: speciální předměty jako je např. nábytek, ale také základní skupiny komponent tvořené dveřmi, okny, profily apod. Kliknutím na tlačítko *Upravit rodinu* je rozevřen editační mód, který umožňuje změnami v náčrtech a rozsazích elementů jako vysunutí apod. měnit flexibilně geometrie prvku.

2.1.5 Scan to BIM

Tento nástroj má k dispozici celou jednu horní lištu Revitu spadající pod stejnojmennou záložku a skládá se z deseti oddělených modulů.



Obrázek 8: Panel nástrojů aplikace Scan to BIM [vlastní výroba]

- View ... nastavení vizualizace mračna (*Toggle* je tlačítko pro zapínání viditelnosti mračna)
- Section Box... omezuje pracovní prostor, interaguje s původním nástrojem *Ořezový kvádr* (Je zde zapínání a potom posuv kvádru. Zvolí se směr x, y, z, dále se navolí krok posunutí pod zobáčkem nastavení *Section box*. Uživatel má možnost se posouvat dopředu/dozadu po zvolené ose)
- Create... zde soustředěn hlavní zájem; první ikona nabízí vytvořit zdi, jsou tam i jednoduchá okna poklepem do dvou rohů po úhlopříčce (nepovedlo se navolit typ okna, asi pevně přednastavené); druhá ikona se týká tvorby hran mezi dvěma plochami, také lze vytvářet rekonstrukci povrchu terénu před budovou

- MEP... *Mechanical, Electrical and Plumbing* – specifická část odvětví navrhování budov; najde potrubí a vytvoří jeho model
- Columns... identifikuje a vymodeluje sloupy s profilem kruhu a rovnoběžníku
- Analyze... zde se nechává zanalyzovat, jak se vygenerovaný náhradní tvar (například zeď) podobá přesnému stavu z mračna (model versus skutečnost); takový proces se v širším kontextu oboru 3D skenování běžně nazývá termínem *Inspection*; Scan to BIM obarví mračno do barev, které vyznačují odchylku od modelu – podle barevné stupnice se odečítá její velikost
- Survey... funkce pro prozkoumávání mračna; umožněno prohlédnout si budovu skrz naskrz z pohledu první osoby
- Modify... nástroje „Adjust“ přizpůsobí desku nebo trubku něčemu sousednímu, co je třeba napojit. V Revitu existuje například nástroj pro spojení dvou různoběžných čar (tak se berou i osy prvku jako trubka), když se z mračna vytáhnou dvě trubky a bylo by přání je spojit, příkaz se nemusí provést, pokud neleží ve společné rovině – pro to slouží *Adjust Pipe*, nástroj, kterým se trubky srovnají před spojením; funkcí *Align To Point* se protáhne zatím krátký profil trubky až k nějakému označenému bodu mračna (na reálně delší trubce)
- Tools... různé nastavení pohledu a vytvoření řezů pro získání pracovního nadhledu ale i přehlednějších detailů

2.1.6 Tvorba stěn a ukázka funkce Single Wall

Scan to BIM dává na výběr mezi ručním a počítačem řízeným vyhledáváním zdí – Single Wall, Auto find walls. Bohužel druhou cestou, tj. hromadným výběrem, nebylo mnoho dosaženo. Záleží na vyplnění nastavení, ale při žádném nebyl výsledek uspokojivý. Program zrekonstruuje jen některé zdi z oblasti.

Programu nebyl dostatečně omezen ani z druhé strany, takže někdy byl až moc podrobný. Vytvořil velké množství ploch neodpovídajících rozměrově zdem, někde i přes sebe vrstvených. Nejspíš proto, že se snaží co nejpřesněji aproximovat výskyt bodů a dostat je do jedné roviny, ale když se přísnost v nastavení přežene, program musí shluky bodů v mračno štěpit a podrobit analýze po menších kusech. Ani při nejvíce nadějném výsledku nebyl získán dojem, že by program někdy dokázal nahradit všechny stěny analytickými rovinami. Přestože by se mohlo přihlédnout ke skutečnosti, že výřez na testování obsahoval složité členění stěn, kdežto u propagačního případu, na kterém tuto funkci prezentuje výrobce, byl vybrán naskenovaný dům bez vnitřních stěn, což je už tak nebyvalé zjednodušení, a který měl přibližně čtvercový půdorys. Těžko by mohla být řešena snazší úloha.

Přechází se tedy k manuálnímu řešení přes funkci *Single Wall*. Nejprve je vyžadováno zadání třech bodů na jedné zdi, čímž bude definována. Je třeba najít pohled, při němž bude jistota, že kurzor klikne na zeď v místech, které má rovný povrch. Pokud se uživatel trefí do výstupků a předmětů na stěně, vypočítaná rovina bude viset nakřivo v prostoru. U stěn s většími vadami v mračnu způsobenými při skenování je třeba dávat pozor na označení nesprávného objektu za nimi. Vyhnout se tomu dá natočením kamery pohledu tak, aby za zpracovávanou zdi prosvítalo bílé pozadí.

Po vybrání bodů se zobrazuje tabulka s volitelnými parametry. Překvapivě bylo při každém použití vyžadováno odstranit varovnou hlášku, že mají být u prvních kolonek zadány celočíselné hodnoty. S každou další zdí bylo nutné projít stejnou procedurou, což výrazně prodlužuje čas strávený modelováním. Údaje nejdou předvolit dopředu a varování nelze vypnout (kolonky však nebyly prázdné a obsahovaly pokaždé stejná nepochopená čísla). Při přepisování čísel byly zadávány jedničky, mimochodem stejně jako na ukázkách od výrobců programu.

Na stejné tabulce se nastavuje druh zdi z knihovny Revitu. Jsou vybírány různé typy.

Wall Region Grow

Step 1: Pick Three Representative Points on the Wall (DONE)

Step 2: Review Wall Preview, Adjust Tolerances If Needed

Planar Tolerance (CM):

Closeness Tolerance (M):

Step 3: Select Wall Type and Side. Create Wall.

Wall Type:

Wall Side:

Obrázek 9: Ovládací okno nástroje *Single Wall* [vlastní výroba]

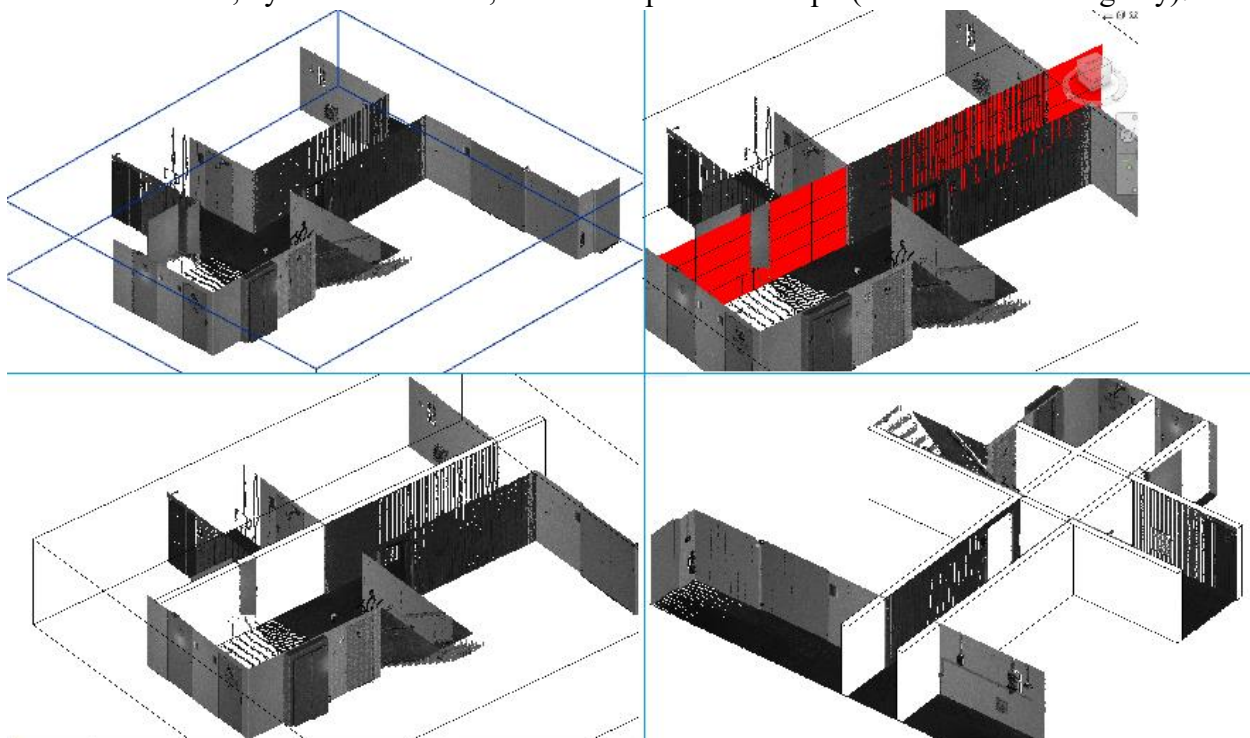
Wall side je další takové místo, které nefungovalo zcela správně. Bylo myšleno, že mění stranu posazení zdi k vypočtené rovině, ale nebyl viděn rozdíl. Proto musely být všechny plochy zdi v mračnu výhradně označovány ze strany, z jaké byly skenerem nasnímány, jinak totiž vymodelovaná zeď vždy byly přiložena k rovině špatnou stranou a zmenšovala vlastně vnitřní prostor místnosti.

Proces vzniku analytické roviny je spuštěn tlačítkem *Search*. Program po chvíli vytvoří sytě barevnou rastrovanou plochu. Její délka neodpovídá skutečnosti a mnohdy překračuje zeď v předloze. Když je zdí hotových více, musí být upraveno jejich křížení. Zkrátí se a napojí.

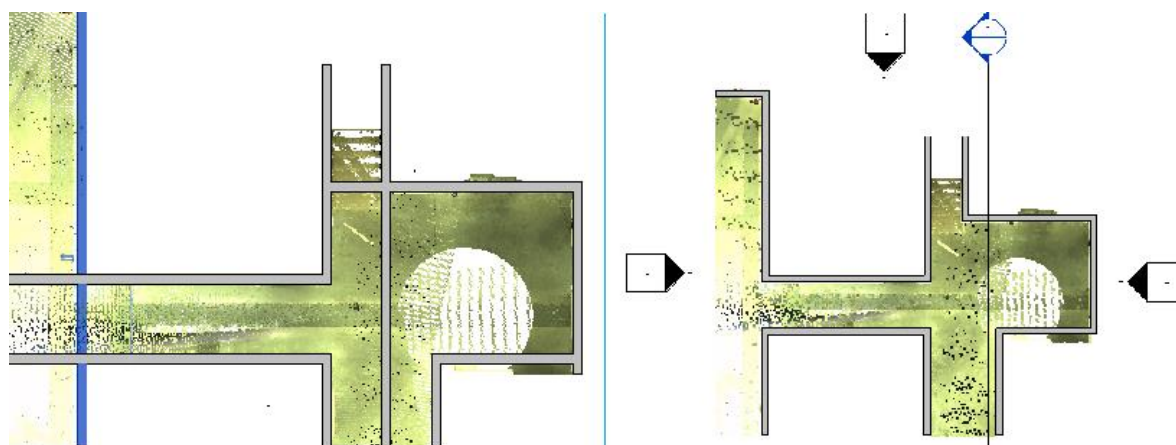
Posledním krokem je zmáčknutí tlačítka *Create Profile Wall*. Zeď je umístěna.

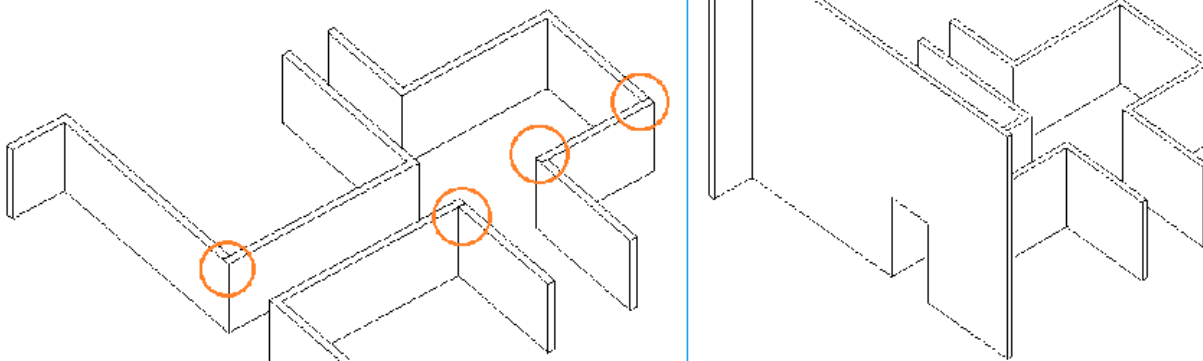
A tím jsou také téměř zakončeny zásluhy Scan to BIM. Minimálně pro další funkce programu nebylo nalezeno využití na testovacím vzorku budovy.

Další činností po vytvoření zdí by bylo upravení správné délky zdí, napojování zdí, připojení jejich dolních a horních okrajů k správným úrovním (podlaží, strop,...), umístování dveří nebo oken, vytvoření schodišť, dokončení podlah a stropů (neřazeno chronologicky).

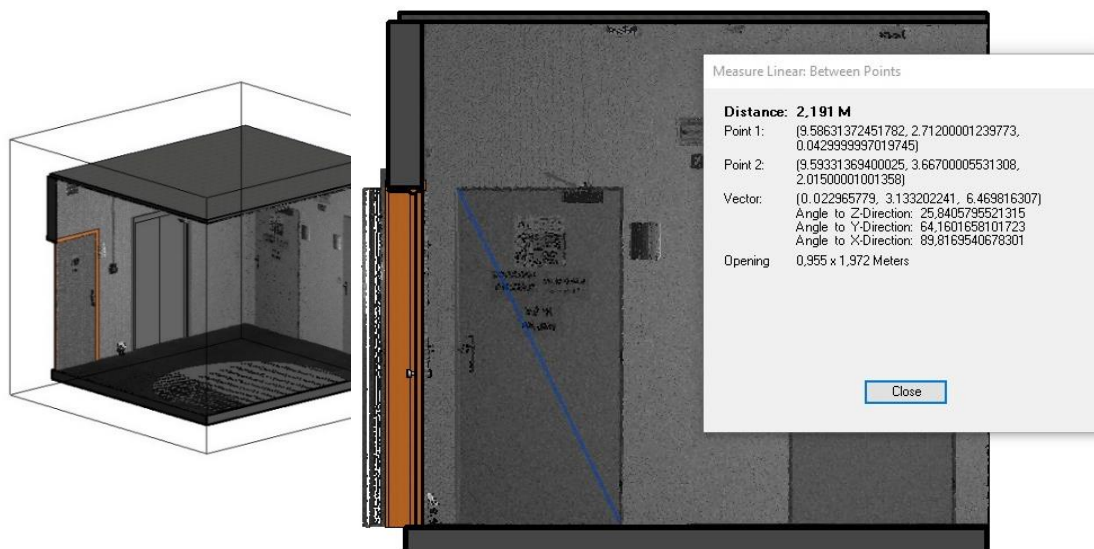


Obrázek 10: Tři fáze: naskenovaná zeď s dírami; proložená analytická rovina (červená); vygenerovaná zeď dle typu z nabídky Revitu; Nakonec čtyři získané stěny, model se v tomto místě začíná zahušťovat, musí se upravit v půdorysu [vlastní výroba]

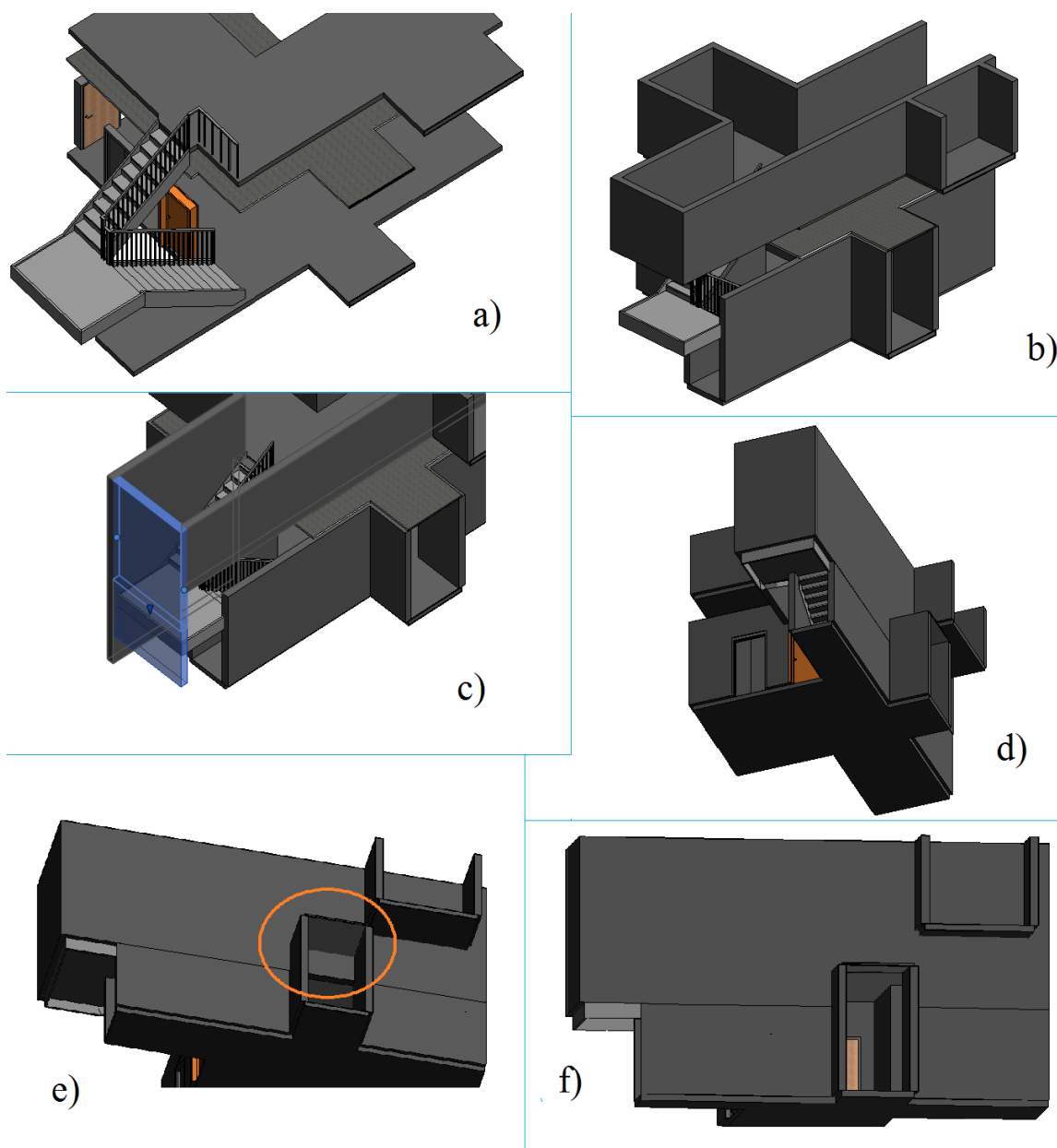




Obrázek 12: Prořezávání a napojování zdí v půdorysu; finální podoba prvního podlaží (natočené čtverečky se stříškou jsou kamery bočních pohledů); první podlaží ve 3D pohledu (značky říkají, kde se objevují nadbytečné hrany na rozích stěn – ukazuje to na rozdílnou výšku, špatně nastavené připnutí zdí nahore, možná i dole); po zarovnání zdí do správné a jednotné výšky, také přibylo prodloužení čelní stěny, aby na jejím povrchu nebyla v polovině čára (tento krok přináší dále spíše komplikace) [vlastní výroba]



Obrázek 11: Prvně pohled na roh chodby s hotovými (vloženými) dveřmi po levé straně. Na druhé ilustraci je ukázka určování velikosti dveří nástrojem pro měření v mračnu bodů "Measure". Takové měření je problematické, později se osvědčilo používat nástroj Revitu „čára modelu.“ Vzdálenost se ukazuje vedle kreslené čáry, čára je pak smazána. Lépe mračno měřit nešlo. [vlastní výroba]



Obrázek 13: a) jednoduché vložení schodiště (základní typ – přibližně odpovídá realitě, ale může se dále upravovat); b) při pohledu na obě patra s rozsahem zdi do výšky stropů je patrná děravá schodišťová šachta; c) jedna z možností: ruční protažení zdi tažením za spodní okraj (tvrdá metoda); d) protažení vybraných zdí příkazem ukotvit k patru „mezipodesta“ – avšak dá se řešit i jinak, například záplatovat díru úzkým pruhem zdi, nebo editovat tvar zdi přes „Upravit profil“, kde bude nakreslen tvar zdi podle představ e) stěna zasahuje do průchodu; f) řešení problému vyříznutím nadbytečné hmoty stěny – k tomu slouží nástroj z karty Architektura -> Otvor -> Otvor ve stěně [v.v.]

Rozšíření:

Modelování ve zmíněném softwaru Edgewise popisuje odborný časopis LiDAR Magazine (26). Přibližuje práci firmy najaté na vytvoření architektonických podkladů pro interiérové změny ve staré budově, ke které chybí dokumentace.

„They usually set up the software and data set in the afternoon and then let the automated feature extraction routines run overnight. The automated feature extraction algorithms recognized the various features such as walls and pipes by their shapes from the point cloud

and then measured them along three axes to create a 3D object model of their actual size, shape and location“

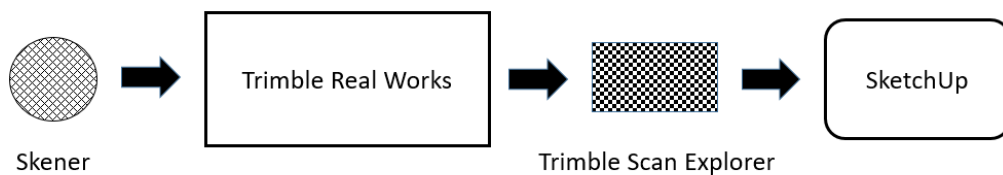
Zaměstnanci firmy zmiňují, že většinou je kombinována automatická extrakce s manuálním modelováním. Složitější tvary se převádí na TIN (trianguled irregular network) a pak jsou samostatně upravovány, vyčišťují se od nepravidelností a zjednodušují se.

2.2 Scan Explorer + SketchUp

2.2.1 Úvod

Celý princip spočívá ve vzájemné spolupráci mezi třemi programy. V první řadě je řeč o základním zpracovatelském softwaru mračen bodů Trimblu, který se jmenuje Trimble Real Works, a nadstavbovým utilitárním nástrojem Trimble Scan Explorer. Konečnou trojici potom tvoří spolu s poměrně uživatelsky rozšířeným CAD programem SketchUP, podstatně známější pod původním názvem Google SketchUp. Trimble ale tento software získal pro sebe. Jinými slovy, lze vypozařovat komplexní a cílevědomé řešení pro zapojení dat ze 3D skenerů do inženýrských a designérských projektů. Celý tvořící řetězec se skládá ze složek od stejného poskytovatele, což vlastně vypadá na ideální stav.

Trimble Scan Explorer je volně nabízené rozšíření pro SketchUp (27). Vyjma komerční licence se SketchUp Pro dá získat také jako měsíční trial verze, nebo neomezená „light verze“ SketchUp Make. Trimble Real Works byl poskytnut v demo verzi na 30 dní od distributora produktů Trimbl pro ČR, firmou GEOTRONICS Praha s.r.o.



Obrázek 14: Schéma spolupráce programů Trimble, na konci je CAD [v.v.]

Co je na tomhle uspořádání tak výhodného? Stěžejním prvkem je utilita Trimble Scan Explorer, s níž je uživatel schopný „vytáhnout“ z mračen bodů hrany geometrií nejen jednotlivě, s mnohočetným výběrem, ale i v režimu pro označení větší oblasti a zrekonstruování všech hran v této oblasti. Některé podobně zaměřené programy striktně vyžadují označování vybraných hran odděleně; to potom nevyhnutelně vede k výrazně dlouhé řadě úkonů.

Aby však byla představa ucelenější, je třeba si co nejdříve uvědomit, že tyto zvýrazněné geometrie se rovnou přesouvají do posledního programu v schematickém řetězci, neboli s nimi lze prakticky okamžitě pracovat v CAD prostředí. Tato vzájemná komunikace probíhá neustále, přičemž je zajištěno správné umístění geometrie v prostoru, i když bude rozdělena a její části se nebudou dotýkat. Pak tedy odpadá problém s hlídáním vzdáleností těchto důležitých (charakteristických) prvků mezi sebou. To je právě činnost, která člověka může hodně zaměstnávat. Pro ještě lepší představu bude zopakováno, že přínos programu, tak jak ho chápe autor textu, se nalézá hlavně v získání záchytných bodů, nebo celých geometrií (ne trojúhelníkových sítí, ale prostých čar, které tvoří okem postřehnutelné – proto i pro lidský mozek lépe pochopitelné – hrany místností a jiných objektů). Tyto záchytné body a geometrie nemohou vytvořit konečný model, ale vlastně z naskenovaného mračen vyabstrahují to

nejzákladnější; dalším postupem se na ně nanosou (nebo se minimálně podle nich vytvoří) jednoduché plochy. Pokud se postupuje správně, lze si v sestavě těchto bodů a geometrií takto připravit všechny potřebné informace o rekonstruovaném prostoru. Pokud se navíc nevyskytnou nějaké výjimky, lze dokončit model bez potřeby měření jeho rozměrů. Takový, i když ideální stav by znamenal další výrazné uspořádkování času.

Na druhou stranu je třeba mít na paměti, že se náročnost těchto operací bude vždy odvíjet od tvarové složitosti rekonstruovaného prostoru a kvality skenu. První zmíněná podmínka by se měla ještě definovat dále, neboť vše zde popisované najde výborné uplatnění u převážně pravoúhlých (bráno ideálně) prostor, kdežto enormně zhoršuje šance u míst tvořených prostorovými křivkami a složitějšími geometrickými útvary.

2.2.2 Stručný popis úpravy před vlastní prací

Nejdříve se vybrané mračno jako obvykle upraví a vyčistí (předpokládá se, že v programu TRW). Poté se tyto data převedou na vyžadovaný formát .tzf*. Pouze ten může být v TSE otevřen. Funkce *Create TZF* je dostupná pod záložkou *Registration* v modulu *Edit*. Před provedením je nutné nastavit mimo jiné rozlišení chystaných snímků. Určení hodnoty rozlišení probíhá buďto samovolně, anebo jej volí uživatel. Nabízený rozsah je od 1 do 500 MPx. Čím vyšší požadavek, tím delší je čas na zpracování. Ale jako podstatnější je bráno to, že při přehnaném požadavku (a takový byl v programu už přednastaven, takže pro některé jiné podmínky možná funguje) půjde sice soubor následně otevřít, ale je pro práci nepoužitelný. Z toho důvodu, že hrubost a členitost povrchů má příliš velkou autenticitu a program ji rozezná a nechává se rozptýlit od hledání výraznějších geometrií. Zvýrazní mnoho rušivých podnětů jako i rýhy na stěně (program dokonce občas nerozezná ani hranu stěny a vypracuje jen různé detaily na stěnách, dveřích, oknech a jiných předmětech, někdy skoro neviditelné a mohou i svou přítomností překvapit). Když by se pracovalo s takovými podklady, více než polovina čar by byla nadbytečná a nezužitkovatelná. I při pečlivé práci tak může být vybrána geometrie v těsné blízkosti jiné, a připnutí v CAD prostředí k nějaké z těchto chybných zachytných čar způsobí snižování jinak uspokojivé rozměrové přesnosti.

Problém lze více méně uspokojivě řešit kvalitním nastavením rozlišení souborů .tzf*, což bylo možné si vyzkoušet i na scanu z Leiky (vysvětlení rozporuplnosti ve vztahu ke sloům o nezpůsobivosti používání dat Leiky bude v poznámce). O přijatelný výsledek se jednalo při hodnotách od 20 do 30 MPx. Blíže většímu z čísel byl výstup lepší. Je dost pravděpodobné, že účinek každé z hodnot je také ovlivněn hustotou naskenovaných dat, a proto bude pokaždé optimální hodnota jinde.

2.2.3 Poznámky na vysvětlenou

Poznámka č. 1: Kvůli vypršení licencí bude ukázka pospojována z dvou různých souborů dat, resp. mračen jako předloh. První (kde bude vidět prostředí programu TSE) pochází ze zdrojů univerzity, je to jedna z učeben spadající pod katedru průmyslového inženýrství. Druhá ukázka znázorňuje, jak vypadá přenesená geometrie ve SketchUpu. Jedná se o data poskytovaná na zkoušku, které vytvořila společnost Trimble a nabízí je. Jsou pojmenována „Office Building Hallway“.

Poznámka č. 2: Čtenáře dost možná překvapila zmínka o zprovoznění dat, které pocházejí ze skeneru vlastněného univerzitou, přestože bylo dříve uvedeno, že jsou nepoužitelné. Testování metody na místnosti učebny skenované také na přístroji Leica opravdu neprovázely žádné potíže. Na rozdíl od toho metoda nešla použít k rozsáhlejšímu projektu jako

je budova RTI. Důvod se skrývá v přístupu k registrovanému mračnu. Program je v tom případě naveden, aby si předpřipravil polohu stanovišť, odkud byla dílčí mračna nasnímána. Jestliže registrace neproběhne přímo v TRW, potom očekávané informace nemůže najít, a převod na tzv. formát proběhne neúplně. TSE si vlastně neuvědomuje přítomnost více stanovišť, vytvořilo se jen jedno. Předpokadem je, že ono samotné stanoviště bylo zkratkovitě přiřazeno kvůli vlivu v minulosti prodělaných specifických vnitřních procesů provázejících registraci uskutečněnou v jiném programu než TRW, ale nejpravděpodobněji byla udělena kompletnímu mračnu informace o výchozím místě skeneru u prvního registrovaného skenu v mračnu. Z těchto důvodů potom neexistuje možnost přepínat mezi jednotlivými místnostmi budovy. Metoda je potom bezcenná, protože sice došlo k načtení všech dat o bodech do prostředí programu, ale chybí možnost se na ně potřebným způsobem (přehledně, volně a jasně) dívat. Pokud je pozorovatel v jedné místnosti, a je omezen na pohled jakoby z čocky skeneru, nemůže zpracovávat prostory zbylého počtu místností, protože mezi sebou mají jednotlivé vrstvy bodů podle výskytů zdí apod., a program navíc logicky vnímá pouze nejbližší body v daném směru od pólu pohledu.

2.2.4 Ovládání TSE a ukázky

Myší je prováděno potřebné pracovní pootočení pohledu kolem skeneru. Je to uzpůsobeno jen na otáčení kolem neměnného bodu a přibližování. Nástroje nabízí hledání přímek, vyznačení (zvýraznění) zajímavých libovolných bodů nebo rohových bodů. Tyto prvky jde nechat vyselektovat i příkazem pro automatické rozsáhlé hledání, jenže není zaručeno obsažení všech výskytů. Ručně vybrané vyhledávací oblasti fungují spolehlivě, mají tvar obdélníku či mnohoúhelníku. Více na následujících obrázcích školní učebny.



Obrázek 17: Prostředí TSE a výběr oblasti – je vidět sekce nástrojů pro vkládání geometrií zpět do TRW - správně by (podle předchozího popisu) byly použity červené ikony (obdobně navržené) pro SketchUp [vlastní výroba]

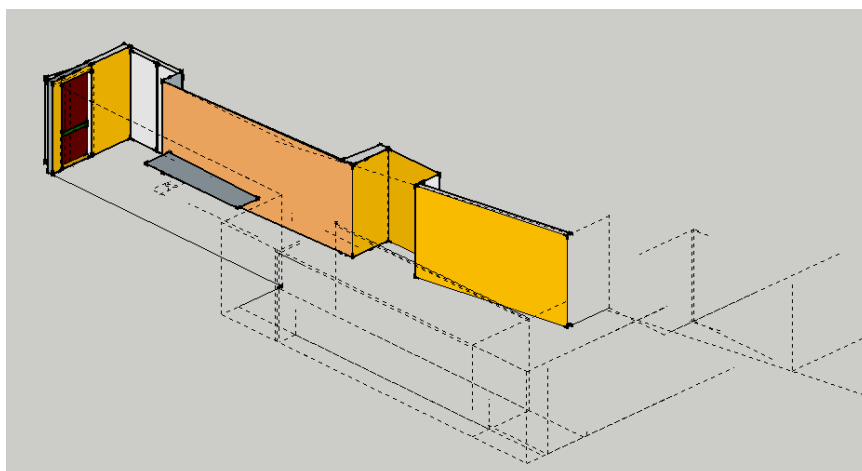


Obrázek 15: Výsledek užšího výběru [v.v.]

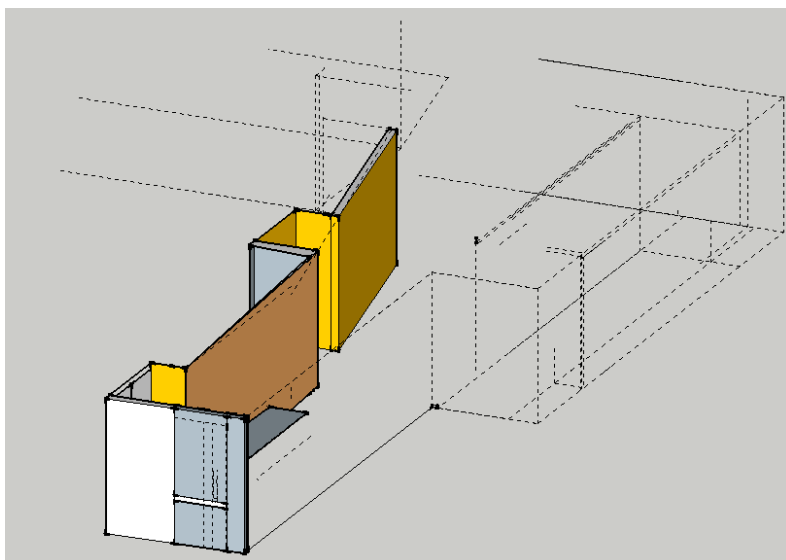


Obrázek 16: Výsledek pro větší oblast. Pravděpodobně jsou tím některé informace nevyhodnoceny – někdy je lepší postupovat po menších krocích. Například dveře lze zpracovat až při lépe zadaném výběru. [v.v.]

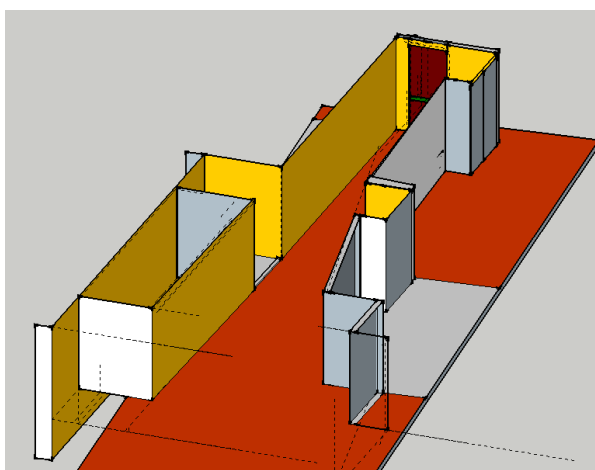
Další ukázky zachycují přenesení geometrie do programu SketchUp. Na prvních dvou se vyskytuje již hotová část modelu vedle původní pomocné geometrie (převedené hrany objektů se zobrazují čárkovanou čarou).



Obrázek 18: Částečný model z prvního pohledu [vlastní výroba]



Obrázek 19: Částečný model z druhého pohledu [v.v.]



Obrázek 20: Pozdější podoba chodby (téměř dokončená) stále s patrnými liniemi pomocné geometrie (čáry jsou nakonec odstraněny, barvy modelu jsou výrazné pro názornost) [v.v.]

SketchUpu je dále řešen také v rámci třetího představeného řešení.

Mimo jiné je třeba si uvědomit, že převedením skutečných geometrií do virtuálního procesu počítačové rekonstrukce via TRW → TSE → SketchUp se nezískají hrany budoucího modelu; skoro ve veškerém množství případů jsou to, co se obdrží, jen částečné definice objektů, přičemž není předem jasné, které z nich konkrétně nejlépe povedou k vytvoření daného objektu. Musí se prakticky vždy uskutečnit kontrola zastoupena úvahou, které z čar nejjasněji odpovídají tvaru, který by podobný objekt v myšlenkách pracovníka měl mít (u klasických objektů lze odtušit). Tam může být „kámen úrazu“, protože není nikde psáno, že všechny nasnímané pohledy budou v sobě skrývat tvary dokonale pravoúhlé, rovnoběžné apod., proto přiblížení se realitě závisí i na osobní znalosti místa, alespoň pro větší jistotu, nebo na pořádném nastudování a interpretaci mračna bodů. Myšleny jsou v důsledku všechny stěny, podlahy, stropy, okna, dveře a další zařízení. Nicméně, navzdory této pobídce k ostražitosti pořád platí, že pomocné čáry vedou k reálné podobě – křivé podlahy mají křivé obrysy, takže se nestane, že by podoba byla zjednodušena programem do něčeho vodorovného, svislého, kolmého, a to může být účel anebo nemusí. Naneštěstí tam může být mnoho zmiňovaných částečných definic reprezentovaných několika čarami, které když se protáhnou, nemusí se spojovat, takže se zdá,

že nelze vytvořit jednoduchou a plnou plochu. Záleží na pracovníkovi, které z nich upřednostní, tj. ze které čáry, resp. vyabstrahované hrany objektu, bude vycházet; která bude brána jako základní (ideálně nejpřesnější, nejdůležitější,...). Důvod tohoto posuzování je ten, že by měly být původní tvary nahrazeny elementární geometrií (čtyřúhelníky, trojúhelníky,...), a proto je vyžadováno, aby hrany těchto geometrických objektů rozpoznávaných v mračnu ležely na jedné společné rovině.

Docela často bylo možné provést rekonstrukci přes funkci pro obdélník rovnou kopírováním polohy (spojováním rohových bodů) přenesené geometrie z TSE, nebo také s pomocí doplňujících příkazů zamykajících směry dané nastavenými osami či zarovnání k jinému bodu v daném směru, to potom znamená některé body použít a zbývající odvodit (nacházející se v pomocné geometrii mírně mimo nebo chybějící).

V některých dalších případech bylo nemožné postupným vytvářením zdí dosáhnout pohromadě fungujícího celku. Zdí se nedaly pořádně napojit nebo byla pomocná geometrie nečitelná. Mimochodem, zde se uvádí důvod, proč je důležité kontrolovat si plánovanou podobu modelu se skutečným stavem, protože může docházet ke sporným interpretacím u pomocné geometrie (pracovník se bez kontroly může splést, takže by vzniknul na pohled uvěřitelný tvar, ale neodpovídající skutečnosti, což by bylo přímo proti zadání tvorby modelu). Pod dalším odstavcem budou zmíněny vady v přenesené geometrii, které způsobují takové rozpory v interpretaci. Avšak nejprve by měl být představen druhý postup rekonstrukce. Ukázalo se, že někdy je nejsnazším řešením pro správně se dotýkající plochy (tj. napojené) vytvoření další plochy vysunutím. Přičemž se využívalo zaručené kolmosti při zamčení směru a průniků objemů a ploch. Ty průniky představují důležitou roli, protože vedou k propojení i v prostoru různě nakloněných ploch, a třebaže se tam mohou vyskytovat malé odchylky, tak nedovolí, aby byla plocha ručně nakreslena (označení rohových bodů myší). Zůstává tedy faktem, že v první řadě se mají plochy vytvářet kopírováním a odvozováním z pomocné geometrie, ale pokud se narazí na těžko řešitelné místo, je potom přistoupeno k postupu druhému. Vysvětlení spočívá v tolik požadované snaze zachytit skutečný stav i s jistou měrou nedostatků, tzn. křivostí apod., kvůli čemuž vzniká někdy více, někdy méně pokrivený model, ale vždy takto ovlivněn (snad říci až přehnaně) podle zachyceného stavu.

Mezi zmiňované vady pomocné geometrie patří především neúplnost přenesení hran z mračna. Dokonalé získání všech hran, navíc aby byly čistě napojené do jednoho bodu, se příliš nestává. I tak se zatím všechny vyzkoušené situace daly řešit bez větších problémů, ale je potřeba zmínit, že zkoušení probíhalo na poměrně primitivním modelu a očekává se i narůstající obtížnost tvorby s narůstající složitostí modelu.

Další vady hrozí z mnohočetných čar nahromaděných na sobě v jednom místě. Při větším přiblížení lze někdy rozeznat zdvojené nebo ještě četnější čáry. Pak je otázkou, odpovídají členitosti povrchu předlohy, nebo tento jev nemá opodstatnění. Když jsou čáry pomocné geometrie příliš blízko u sebe, nastává problém s rozlišováním, která je ta správná. Na druhou stranu v zásadě tvoří jednu čáru, protože se většinou pracuje z větší vzdálenosti. Přesto může náhodné zvolení jedné z těch čar způsobit nenapojení na geometrii na druhé straně stěny. Původ vad může být buďto v přehnaném vyhledávání hran vykonávaném programem, až označuje i nepodstatné změny tvaru, nebo snad v praktičtějším vysvětlení, že vícenásobné čáry vznikají při prolnutí několika výběrů provedených přes nástroje TSE, přičemž byly čáry vyhotoveny pro každý výběr zvlášť, a proto se opakují; v tom zaznívá i možná náchylnost na ovlivnění polohy čáry z definice pracovního pohledu.

Přes všechny připomínky není práce s programem výrazně náročná, ale vyžaduje velkou časovou kapacitu na projekt.

2.3 3D Reshaper + SketchUp

2.3.1 Úvod

Program Reshaper má nejbližší vztah k značce Leica. Tu v českých poměrech zastupuje výhradně firma Gefos a. s., která doporučila vyzkoušet po konzultaci záměru bakalářské práce jeden z distribuovaných produktů.

Podnikatelská činnost firmy Gefos a. s. se týká zaměřování a inženýrských prací, geodézie v širším smyslu a také podporou a prodejem laserových skenovacích zařízení a příslušenství. Firma se skládá z dvou divizí, z nichž jedna se plně věnuje prodeji produktů značky Leica a přidružených doplňků, i softwarových.

Program patří mezi tři softwary, které Gefos nabízí. Z toho dva první pochází z dílny Leica (Cyclon – katedra má k dispozici, Cloudworx). Třetí 3D Reshaper oproti tomu vytvořila společnost TECHNODIGIT. Mezi Gefosem a druhou společností funguje obchodní partnerství.

V popisku produktu se lze dočíst: „*Jedná se o špičkový software na práci s mračny bodů a následné zpracování dat jako je registrace, čištění, vyhodnocování a modelování pomocí trojúhelníkových sítí nebo ploch a geometrických útvarů*“ (28).

3D Reshaper byl získán na zkoušku z jeho propagačních internetových stránek. Doba platnosti demo byl jeden měsíc. Omezení se nachází pouze v ohraničení počtu uložení na 25, jinak se program chová jako plná verze. (Po instalaci je žadatel vyzván k vyplnění formuláře s osobními údaji a s cíli práce v programu. Po kontrole formuláře je případně udělen aktivační kód)

2.3.2 Princip rekonstrukce ploch z mračna

Jak bylo zmíněno v citaci, program je koncipován pro univerzální zpracovávání bodových mračen. Rozhodně se nehodí mu ukládat úlohu něčeho, co bude plnit bod po bodu požadavky této práce. Z jeho nástrojů je však jeden výrazně zajímavější než ostatní. Nazývá se *Building Extractor*, umístěný pod záložkou *Surveying* v modulu *Modeling*. Ten umožňuje bezprostředně vytvářet přibližně zrekonstruované plochy podle skutečného povrchu (reprezentovaného mračnem), stačí poklepnout kurzorem na vybrané místo. Zdá se, že zmiňovaný nástroj vytvořil poměrně dokonalé rovinné plochy, tzn., že došlo k úplnému převedení detailů do plochy nějakého středu mezi výchyly, ale jedná se o klamný dojem. Z toho vzniklé nedostatky se potom projeví jako hlavní problém.

Protože model (hodně zjednodušená *mesh* pospojovaná z jednotlivých „ploch“), který z toho vzejde, má jaksí daleko k dokonalosti (vypadá někde neúplný a děravý; některé oblasti se při označování jakoby bránily a nešlo je označit, nebo by bylo nutné dělat označování po krajně malých kouscích – jenže to zase přinese nesmyslnou „rozdrobenost“), bylo hned viditelné, že se buďto bude muset z této surové podoby upravit nebo se pomocí něj musí vytvořit něco dalšího. Využít ho vlastně jako mezistupeň mezi mračnem a modelem. Bohužel k posuzování úprav a vylepšování *meshe* autor postrádá potřebné zkušenosti, ačkoli byly přesto některé intuitivně vyzkoušeny, jenže s nevalným dopadem na posun k lepšímu. Předpokládá se (osobní názor), že se kvalita takto zjednodušené, a tím vlastně ochuzené *meshe* nedá už posunout o moc

dál. Proto byl zvolen druhý postup: práce z Reshaperu se přenesou do SketchUpu a následně domodeluje nebo přemodeluje. K importování dat posloužil formát dxf.

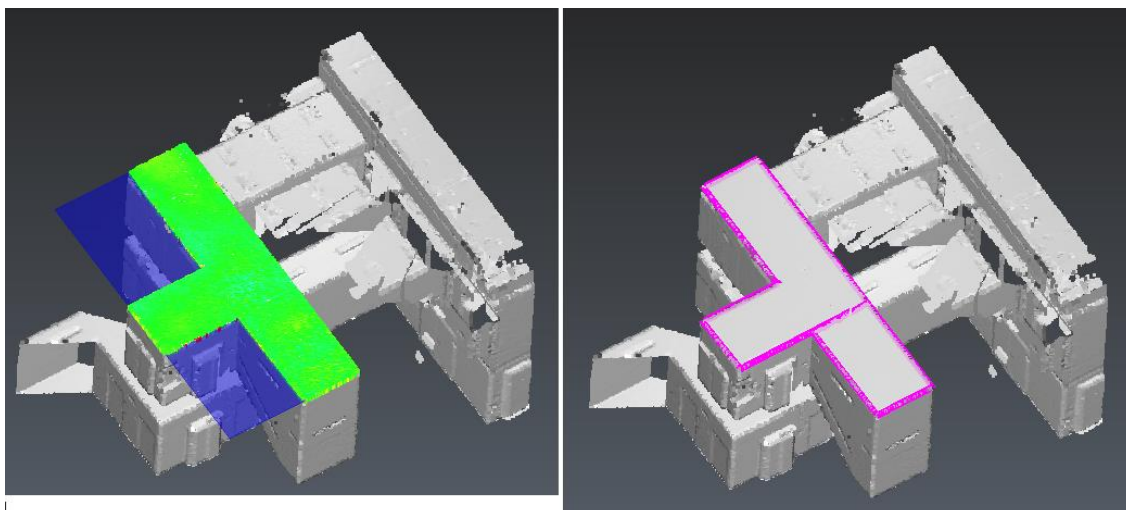
2.3.3 Praktické ukázky

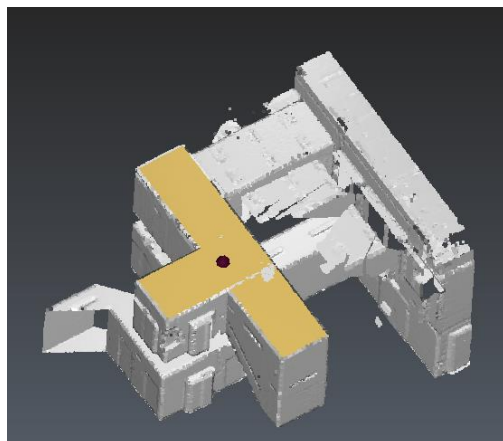
Na importovaných souborech, publikovaných níže, bude nejlépe vidět, jestli a jak dojde k nahrazení úseků budovy za stejně velké a celistvé plochy. To se úplně neděje. Výsledné stěny najednou přes dřívější mylný dojem sestávaly z jistého počtu trojúhelníků a byly kvůli tomu i mírně prostorové, čímž je myšleno, že neleží v jedné rovině. Podobný výsledek by měl být asi trochu očekáván. Jenže při srovnání s přímo generovanou trojúhelníkovou sítí z mračna bodů předlohy (rozšířený a základní nástroj v mnoha programech zaměřených na mračna bodů, tj. převedeno na TIN síť.) trojúhelníky z programu Reshaper překvapují relativně slabou četností a přitom zachováním dobrého tvaru objektu.

Na rozdíl od těchto jasně viditelných vad pozorovaných v prostředí SketchUpu, po vlastním vzniku v 3D Reshaperu se hodnotí kvalita tohoto polotovaru mnohem kladněji. Chybí totiž schopnost rozeznat hrany vad. Ty se skrývají v jednolitě barvě. Proto způsobuje přenesení na první pohled slibné meshe do programu SketchUp možná zklamání. Velký rozdíl v těchto dvou vzhledech bude patrný na větším z modelů představených v dalším odstavci.

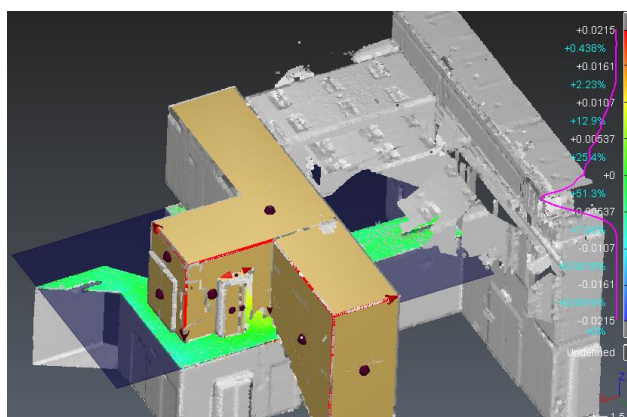
Zkouška proběhla na dvou objektech. Tím jedním se stala celá budova RTI. I přes svou datovou velikost bylo překvapivě snadné ji načíst a poté umožňovala i bezproblémovou manipulaci. V jiných programech, při použití slabšího počítače, dělal naopak každý takový úkon problém. Může z toho plynout, že si program pomáhá nějakým zjednodušením. Druhý zkušební objekt je identický s výřezem z RTI představeném u rozboru softwaru Scan to BIM.

Tímto ještě pár slov k ovládání Building Extractoru. Myší je vybráno některé místo na mračnu a počká se, jak rozsáhlou plochu program vybere (zvýrazní). Přáním je získat naráz celou jednu stěnu. Příliš malé plochy se doporučuje ignorovat. Ovlivnit tento rozsah, nebo kam až sahá ohraničení těchto ploch, lze pomocí jezdce na posuvníku u hodnoty Extraction Tolerance (jaké rozdíly hloubce bodů se ještě vejdu do jednoho generování mapy povrchu, ta je nesouměrně omezená podle případu). Čísla v desetinách představují vysoké nároky na zachycení různorodosti povrchu, čísla v desítkách až kolem stovky vedou k rychlé práci. Byla snaha rozdíl mezi těmito dvěma přístupy prozkoumat. K tomu účelu slouží příslušně otitulovaný obrázek (nalézá se ke konci podkapitoly).

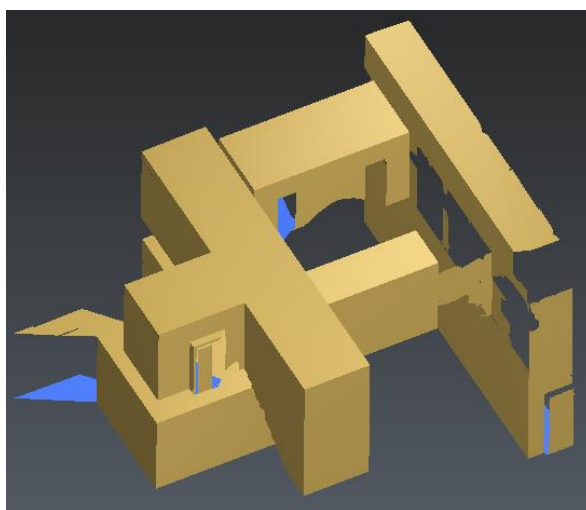




Obrázek 21: Tři fáze rekonstrukce plochy 1) těsně po kliknutí myši (ten výrazný bod na třetím obrázku); 2) po okamžitém vytvoření kontury počítačem; 3) vytvoření plochy potvrzením [vlastní výroba]



Obrázek 22: Několik vytvořených ploch pospolu [v.v.]



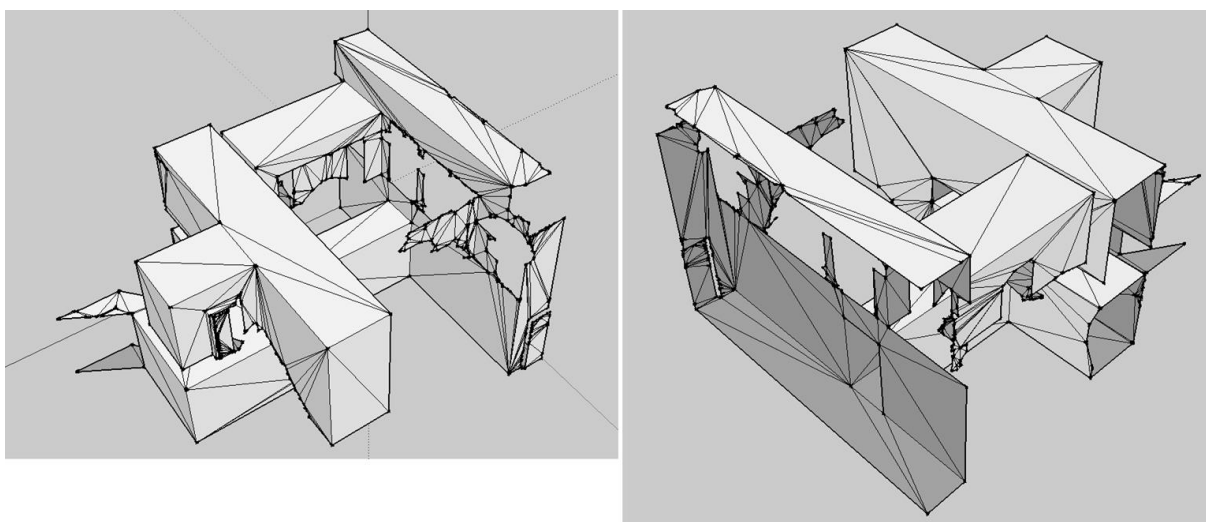
Obrázek 23: Dokončené "kopyto" s vypnutým mračnem [v.v.]

Ačkoliv se výše píše o členitosti získaných ploch a jejich pochybné přesnosti, jsou případy, kdy se znázorněné rohy vyobrazených místností dají brát za ideální vodítka k rekonstrukci. Jinými slovy, pokud podle těchto rohů budou nakresleny obdélníkové plochy,

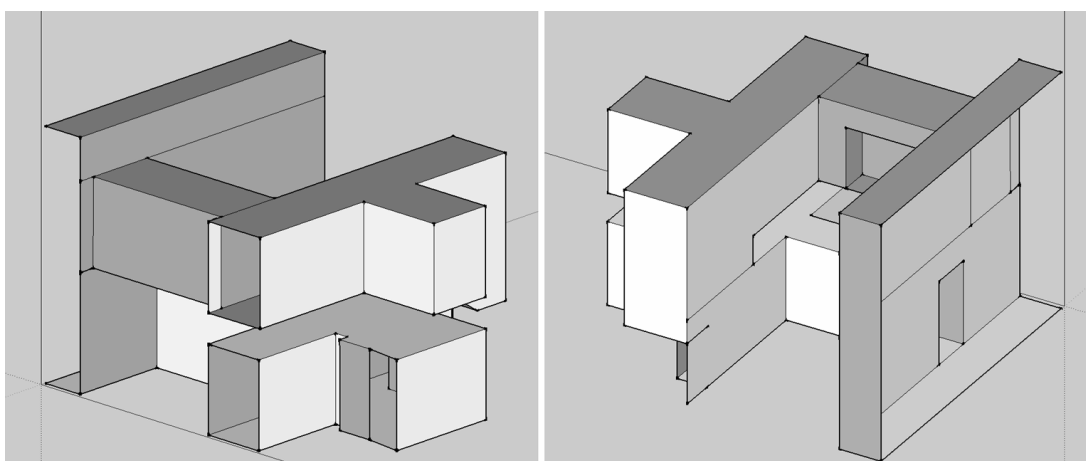
kteře splňují podmínku kolmosti k „podložce“, celkem rychle tak vznikne model jednoduchého prostoru. Nejdůležitější otázka proto potom zní: Jak jednoduchý musí být ten prostor, aby se to vyplatilo? Na ni bude odpovídat ukázka, protože výstižnější komentář je obtížné napsat.

Na prvních obrázcích lze spatřit na první pohled velmi nevzhlednou změť mnoha a mnoha trojúhelníků. Zdá se, že využít je bude obtížné. Opak je ale pravdou, taková síť se překresluje poměrně snadno.

To samé by se nemělo uvažovat u druhého „polotovaru“, kde se nabalují potíže na haly budovy, a to vůbec nedošlo na některé menší prvky. Ještě větší problémy by vytvářelo modelování vnitřních zdí, galerie a schodišť. 3D Reshaper práci na vnitřku znesnadňuje. Jak proces přetváření částí mračna na mesh pokračuje, neboť probíhá postupně, tak tím některé jiné části mračna nenávratně mizí, než byly zpracovány. Proto původně podrobné mračno s mnoha informacemi nesystematicky řídne a ztrácí na významu.



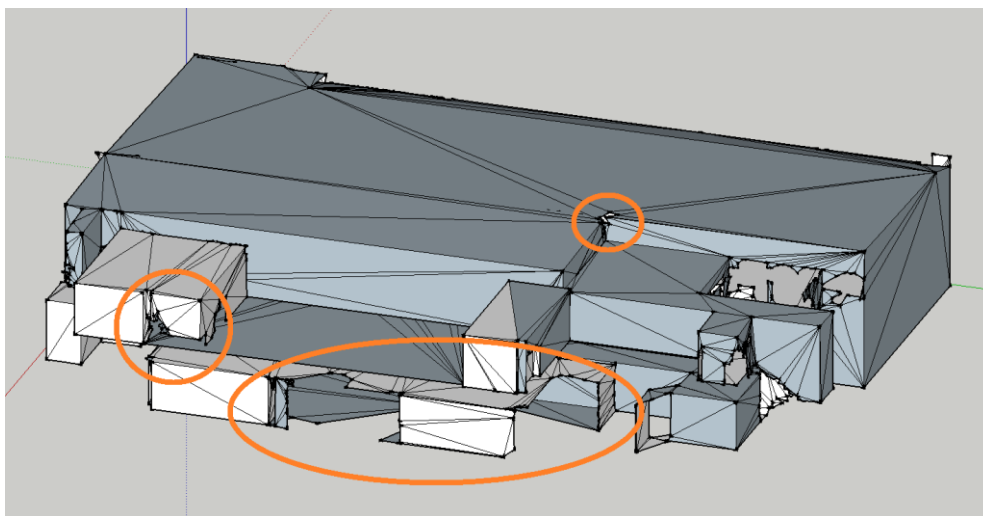
Obrázek 24: „Kopyto“ pro výřez z RTI [vlastní výroba]



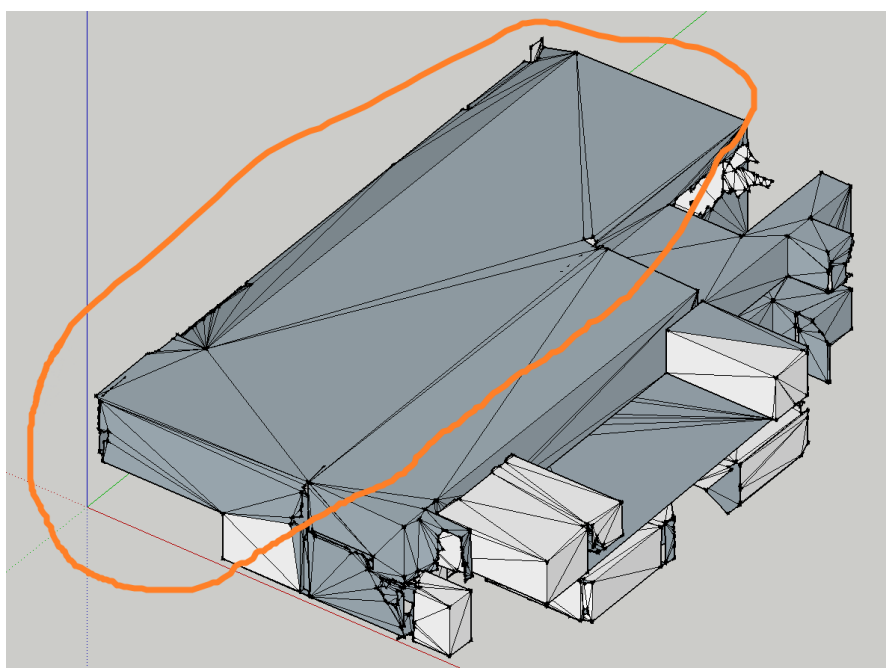
Obrázek 25: Narýsování modelu podle „kopyta“; některé věci samozřejmě chybí, například i prosklené stěny, pak také různé dveře - jenže to není problém dodělat, takže model v daném stavu je hypoteticky použitelný [v.v.]

Tahle ukázka představuje práci se „šťastnějším koncem“. Následující příklad naopak patří k rekonstrukci, kterou ani nebylo možné dokončit, protože se na model nabalovalo čím

dál tím víc tvarů a jejich nejasných napojení. S rostoucí složitostí už nebylo odhodlání pokračovat.



Obrázek 26: Obrázek "kopyta" celého RTI; vyznačena některá problematická místa (přiblížení se skutečné poloze zrovna neusnadňují – identifikace rohových bodů selhává); spodní "bublina" poukazuje navíc na případ zmiňovaný výše – viz pohled dovnitř – postupným přetvářením mračna plno jeho nezpracovaných míst zmizelo, aniž by bylo možné s nimi něco dělat [v.v.]

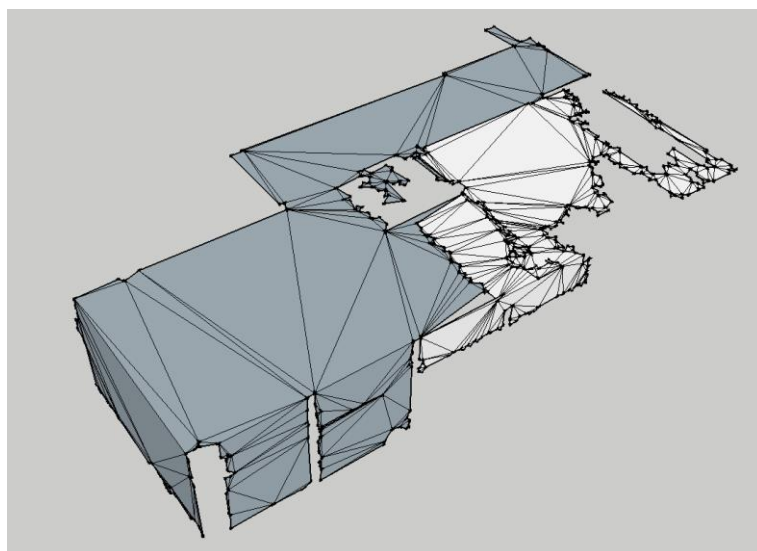


Obrázek 27: Najít správný tvar stropu je samo o sobě dost obtížné (vzhledem k tomu, že má sklon a půdorysné odchylky od pravidelného obdélníku jsou značné) [v.v.]

Měl by zaznít důvod, proč postup selhává. Problémy vychází z požadavků na kvalitní rohové body. Někdy body chybí, nebo je takových kandidátů více vedle sebe a musí se rozlišovat, které jsou nejvýznamnější.

Ve SketchUpu se pracuje s nastavitelnými osami, které reprezentují tři směry v souřadnicích x, y, z. Jsou posunovány a rotovány dle potřeb. Jak vypadají je vidět třeba na předchozím obrázku v levé spodní čtvrtině. Ta rekonstrukce se velmi úzce odvíjela od velikosti rozporu mezi nastaveným směrem těchto os a hranami s nepravidelnostmi nasnímaného objektu. Osy totiž radí uživateli směr, který u neidealizovaného objektu nemusí vždy platit. Konstrukce se neustále potýká s různými kompromisy.

Poslední z plánovaných ukázek se vrací až k úvaze o rozdílech povrchů při odlišném nastavení hodnoty Extraction Tolerance, která mění jemnost vytvářených sítí nástrojem Building Extractor. Světlé plochy byly vytvořeny při velmi nízké hodnotě (setiny), šedé naopak při hodnotách pohybující se v desítkách až stovkách. Podle obrázku nejsou vidět nějaké rozhodující rozdíly v kvalitě, pouze že při nižší hodnotách vznikají větší celistvé plochy, protože se vejde víc bodů do tolerance. Zarážející ovšem je porovnání spodního vygenerovaného výsledku s meshí na obrázcích nahoře. Jsou vidět jiné struktury poskládaných trojúhelníků, takže mesh asi půjde vytvořit někdy o něco lépe. Pokud se našlo optimální nastavení, mohla by narůst efektivita kroku mezi meshí a překresleným modelem.



Obrázek 28: Znáornění rozdílu v nastavení Extraction Tolerance [v.v.]

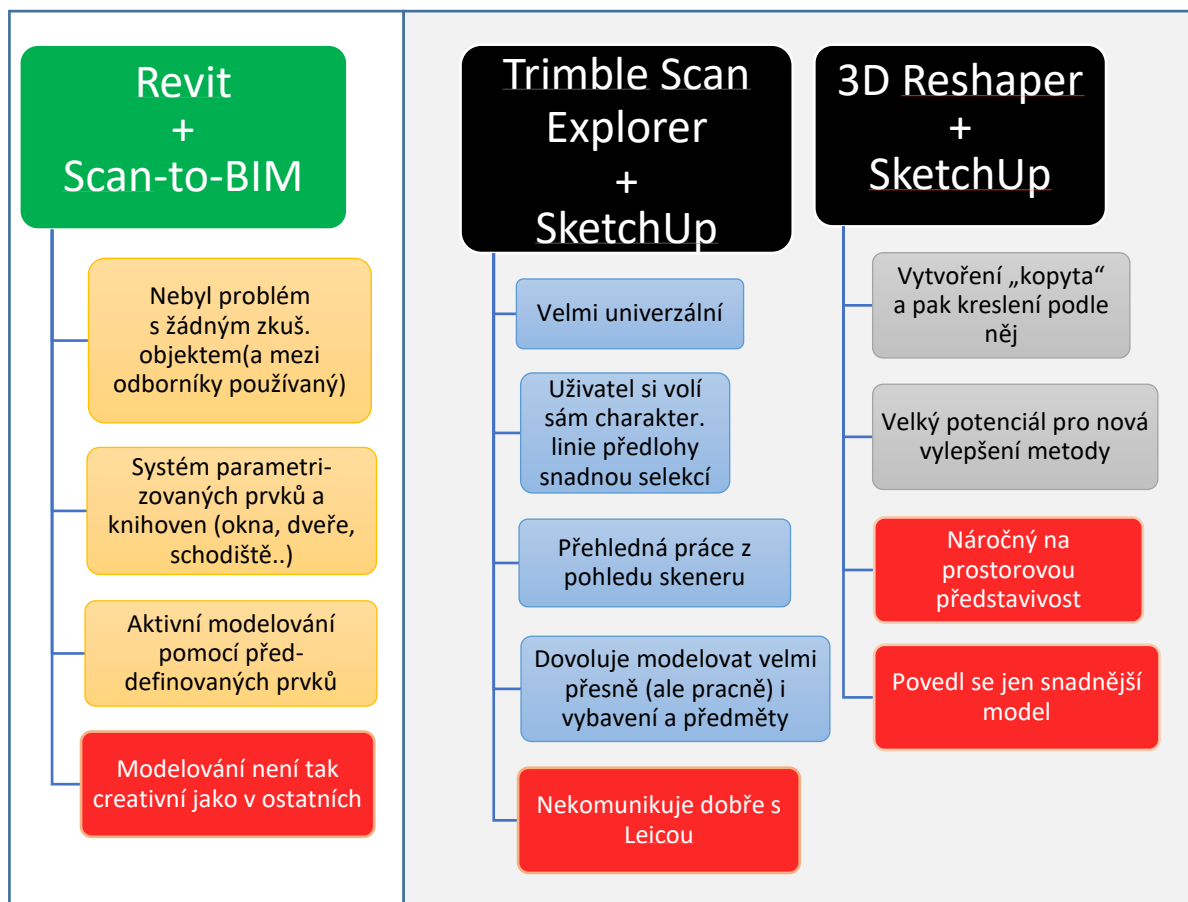
3 Výběr varianty

Názorně je výběr popsán v grafice, ale odlišnosti mezi variantami jsou ještě o něco rozsáhlejší.

Už na konci teoretické části bylo jasné, že poslední dvě představené varianty znatelně více konzumují čas. Tento silně negativní fakt se ještě stále více posiloval, čím dál byly získávány zkušenosti u první varianty během tvorby demonstračního modelu, tzn. až v praktické části. Proto je zde zmíněno, že výběr varianty nebyl těžká v rámci řešerše, ale stal se mnohem jednoznačnější až po skutečném (pořádném) použití nástrojů, kterými disponuje první varianta.

Metody se stavebními programy jsou mezi projektanty dlouhodobě v kurzu a není znát moc jiných způsobů. Ostatní předvedené varianty by vyžadovaly pravděpodobně mnohem větší pracovní nasazení, i když autor také mohl význam výhod těchto variant podcenit. Je třeba relevantním faktem, že druhá varianta byla zřejmě vyvinuta pro komerční účely a pravděpodobně ji někdo využívá. V zásadě v naprosto totožné konfiguraci (všechny zmíněné programy) je nabízena počítačovým modelářům, kteří umí takto čáru po čáře a plochu po ploše vytvářet různé virtuální objekty včetně domů (svědčí o tom velké množství internetových videí typu „Jak namodelovat rodinný dům“ atd.). Dále je potřeba si uvědomit, že spíše teoreticky rozebranou variantu nebylo možné pořádně vyzkoušet, protože tímto způsobem nejde pracovat s mračnem bodů registrovaném ze souborů vytvořených na zařízení Leica. (Zkušební vzorek nebylo registrované mračno). Přitom v druhé i třetí variantě byl použit stejný CAD software, který má právě trochu těžko přijímané principy s ohledem na snahu postupovat rychle a po větších „dílech“. Autor připouští, že po lepším osvojení modelování v softwaru se může vyvrátit pocit náročného postupu a program může vlastně být, navzdory opačnému zdání, také efektivní. Přesto to vypadá, že stavařský program umožňuje mnohem rychlejší práci.

Velkou váhu při rozhodování měla spolehlivost. Z toho důvodu také dostal důvěru stavařský CAD software, který jako jediný dokázal dovést modelování zkušební vzorku až do konce. Nejhorší v tomto ohledu byl program 3D Reshaper, kde pravděpodobně vůbec nelze dojít k výsledku u tak velkého objektu, jako je budova RTI.



V Praktická část

Ačkoliv na zvláštním místě, těsně po kapitole o výběru variant, je tímto předznamenáno (z pohledu po dokončení praktické části), že význam doplňkového programu Scan-to-BIM by měl být zcela přehodnocen. Nakonec se ukázalo, že Scan-to-BIM je nekvalitní zástupce (s mnoha zásadními nedostatky) jinak efektivního a nadějného postupu. Lepší zástupce by přitom mohl podle některých zdrojů nahradit i víc než polovinu práce díky automatickým procesům, například software EdgeWise (26, s.17-18). Scan-to-BIM v mnoha ohledech zcela propadl, protože drtivá většina jeho nástrojů nedokázala zprostředkovat použitelné výsledky při dílčích rekonstrukcích různě konkretizovaných skupin prvků jednoho druhu, ani při hromadné automatické rekonstrukci stěn, ačkoliv bylo postupováno podle instrukcí v nápovědě. Opět byla využita hlavně funkce Single Wall, které byla skoro jediná spolehlivá.

Přesto se nic nezměnilo na tom, že není vyhledávána ruční práce, která je pomalá a pracná. Takže je potřeba volit zodpovědněji a používat kvalitnější zástupce mezi CAD doplňky. Některé z těch, které přichází v úvahu, jsou jmenovány výše v kapitole teoretické části týkající se Revitu a Scan-to-BIM.

1 Příprava před modelováním v Revitu

U projektů s jiným účelem může kvůli správnému zasazení do okolí a odečítání rozměrů záležet na umístění dvou referenčních bodů: *project base point* (pro relativní souřadnice v projektu) a *survey point* (známý geodetický bod, který umožňuje souřadnice přepočítat do absolutních hodnot). Zde by se modelování asi obešlo bez úprav obou dvou, ale s *project base point* bude ještě hýbáno.

Není bezpodmínečně nutné, aby bylo po vložení (postup viz předchozí poznámky) mračno natočeno do nějaké polohy, ale pokud je půdorys pravoúhlý, může být zarovnání se základní osnou výhodou, může to zlepšit uživatelský komfort. V některých případech, pokud se plánuje v Revitu později dodělávat model nad rámec zachyceného reálného stavu nebo vkládat nové objekty, může být ku pomoci, když jsou přednostně nabízeny dva směry x, y podle základní osny. Potom je naopak důležité natočit hlavní stěny objektu, aby korespondovaly s těmito směry. Vždy však musí být čtyři hlavní boční pohledy (pojmenované podle světových stran), reprezentované v půdorysu bílým čtverečkem s černou stříškou, namířeny kolmo na důležité stěny vyskytující se v mračnu, protože jinak by se daný pohled zobrazil délkově zkreslený.

Velmi důležité je ukotvení mračna. Zaprvé proto, aby se nemohlo posunout vůči modelu, zadruhé, aby nedocházelo k rušivým vjemům při práci od jeho opakovaného zvýrazňování během pohybu kurzorem po místech s ním v pozadí. Musí být provedeno ukotvení prvku označením mračna a zmáčknutím tlačítka v podobě připínáčku na liště úprav. Stejně tak je potřeba zaškrtnout podobné tlačítko dole v pravém rohu (oranžová barva) nabízející volbu *Vybrat zamknuté prvky*. Od záměny ikony za připínáček přeškrtnutý červeným křížkem přestanou být připnuté prvky označitelné.

Rozumné zobrazování číselných výšek v projektu (zmiňováno), musí být zařízeno uživatelským ukotvením úrovně prvního podlaží (přerušovaná čára s odkazem zobrazovaná ve všech bočních pohledech) k nulovému bodu projektu. Tento krok fakticky předchází připnutí

mračna. Nulový bod projektu není za normálních okolností vidět. Musí být zobrazen přes příkaz ke zviditelnění skrytých prvků, a tedy zmáčknutím tlačítka s žárovkou na dolní liště. Mračno je uchopeno v libovolném bodě na linii základní úrovně budovy a přemístěno do zobrazeného nulového bodu, dá se také ještě předtím upravit například v programu Recap, zvolit mu počátek (origin) v takovýchto místech a při vkládání do Revitu zaškrtnout volbu umístit *origin to origin*,

Posledním přípravným krokem bude vynesení všech hlavních výšek (podlaží). Tam je třeba natáhnout referenční linie minimálně pro každé podlaží (vlastně rovinu podlah). Autor sám si připravil také úrovně pro stropy a výšku, kde začíná střecha haly. (Přesto běžnější je odsazení stropu odspodu (od podlah) do požadované výšky. Tady se ale zdálo přirozenější obtáhnout poměrně snadno hranu výrazných linií shledaných přímo v mračnu). Stropy, někdy různě odsazené kvůli vytvořeným podhledům, mohou mít více výšek v rámci jednoho podlaží. Všechny vyznačené úrovně by se měly jednoznačně a přehledně pojmenovat. Pro každou výšku program vytvoří nový půdorysný pohled, z nichž nejčastěji se volí hlavní podlaží: 1. podlaží, 2. podlaží, atd. (Pro půdorysné pohledy, ale také ostatní, platí, že viditelnost objektů závisí na „hloubkovém“ nastavení pohledu v jeho vlastnostech. Ve vlastnostech každého pohledu se nachází nabídka *Rozsah pohledu* → *Upravit*, a v nově otevřené tabulce se nastavují různé rozsahy, řeklo by se hladiny definující, kam až pozorovatel dohlédne, nebo v jaké výšce jsou objekty říznuté. Úpravy těchto rozsahů jsou aktuální, jakmile v půdoryse není vidět něco, co bylo právě provedeno v 3D pohledu, a pokud by měla být poloha nebo velikost těchto prvků zkontrolována či zpřesněna.

Vedle řezu v 2D pohledu, který nemá moc opodstatnění pro tenhle druh práce, se hlavně používá ořezový kvádr (viz předchozí popis programu), bez něhož se rozumně nelze podívat dovnitř stavby, a vyžaduje se také spolu s ním častá manipulace s 3D pohledem, protože je důležité pracovat z ortogonálního pohledu (kolmo na objekt). K natočení 3D pohledu se používají plochy a hrany na krychli v pravém horním rohu a šipky kolem něj. Někdy je nutné se dívat ve směru šikmém ale přesném, potom se pod pravým kliknutím na krychli může vybrat rovina (nejlépe podle uděleného názvu), která musí být napřed nakreslena v některém z pohledů, například v půdoryse a musí být nazvána (ve vlastnostech označené roviny). Nástroj na kreslení *referenčních rovin* je jedním z nejdůležitějších a nabízí se pod první záložkou (na jejím pravém okraji) u každého pohledu kromě trojrozměrného.

Když zazněly i obecné poznámky, přímo nesouvisející s fází příprav, musí být také zmíněny filtry umožňující vypnout (odfiltrovat) specifikované části modelu tak, aby nepřekážely při zrovna prováděném úkonu, nebo aby šly snáze vybrat všechny prvky stejné kategorie, rodiny, typu,...; a mnoho dalších, ještě konkrétnějších kritérií je k dispozici. Filtry se nejprve musí nadefinovat a poté zanést do seznamu filtrů projektu v nastaveních viditelnosti (*Viditelnost/zobrazení*), aby se jimi program při vykreslování pohledu začal řídit. Obojí je třeba hledat na kartě *Pohled*. Filtry lze také různě kombinovat, záleží na požadavcích, co má být zobrazeno a co skryto.

2 Rekonstrukce základních stavebních prvků budovy

2.1 Základní deska (i s prohlubní v podlaze)

Modelace byla zahájena vytvořením podlahy *1. podlaží*, která překrývá celý půdorys budovy, stačilo proto táhnout čáry kolem jejího obrysu (Záměrně s přesahem, ale zároveň od oka). Nástroj: *podlaha* → *architektonická* → náčrtem.

Ve stejném náčrtu bylo vytvořeno obdélníkové vynechání (otvor) jako příprava pro zrekonstruování prohlubně. V hale lze totiž v určitém místě jít i pod rovinu okolní podlahy. Proto byla ještě přidělena nová výšková úroveň určená pro dno prohlubně. To je tvořené další podlahou a mezera mezi deskami byla vyplněna čtyřmi velmi nízkými zdmi.

2.2 Modelace stěn

Nejprve poznámka k přednastavení parametrů, aby se vyhnulo komplikacím. Je jasné, že každá budova může vypadat jinak a lišit se může i v barvách stěn. Velmi často ovšem platí, že barva stěn v jedné budově se moc nemění. Pro modelování to znamená, že je u zdí nastaven jistý povrch, který bude použit všude a pouze ve výjimkách bude přetřen lokálním nátěrem. Revit má nástroj *malba*, který přiřazuje různým plochám různá barevná provedení. (Například krychle by musela být natřena – plocha označena – šestkrát, aby byla barevná ze všech stran). V projektu se vyskytují tři typy zdí, každý má jinou šířku. Vznikly předěláním nabízených typů ze systémové knihovny, kde se původně lišily i ve více ohledech než jen barvou a šířkou, ale materiál se strukturou složení zdi (například vrstvy izolace) v tomto případě nemají žádný význam a jsou ignorovány. Ve skutečnosti autor udělal podstatnou chybu, protože si volbu vzhledu těchto prvků nechal až na později. Asi v polovině prací se pustil do přidělování autentických barev, jenže zpětně už nebylo tak lehké všechny typy navolit. Musely být připraveny nové typy a všechny zdi původního, nevhodného typu musely být označeny a souhrnně změněny ve vlastnostech na nový typ. Byly rozlišeny pomocí filtru.

Důvod pro více šířek stěn je v udržení dojmu autenticity interiéru. I když je v tomto druhu modelů stavební řešení budovy upozaděno, pokud šířka může odpovídat skutečnosti, je lepší to udělat. Jsou například situace jako třeba z obou stran přístupné zdi mezi místnostmi, kde může být tloušťka nápadná. Také u průhledných oken, ve kterých je vidět profil zdi, nemůže být úplně nesmyslná. Obecně se doporučuje si tloušťku zdi zjistit.

I když byl od začátku zájem o automatické vyhledávání zdí utilitou Scan-to BIM, v praxi se ukázaly výsledky její práce jako nepříliš důvěryhodné, protože se nepodařilo vytvořit mnoho kvalitních stěn. Například z vybrané oblasti (která zabírala asi jednu čtvrtinu budovy) bylo vygenerováno asi 30% všech zdí. Z toho jich však ještě jistá část byla chybně orientována k ploše výchozí zdi. Byly sice k ploše správně posazeny, ale s faktickou zdí jen sousedily a nebyly přímo na jejím místě. Takovéto opačné nasměrování lze obvykle v projektu, pomocí značky dvou šipek zobrazovaných v půdorysu, překlomit na druhou stranu, jenže se stává, že automaticky vytvořená zeď už je překlomená co nejbližší to jde k rekonstruované zdi a dalším překlopením se ještě více oddálí. Proto bohužel nejde mluvit o plně automatickém vytvoření, neboť pracovník musí zeď přesunout ručně na linii tvořenou hranou mračna, což není nic jiného než půdorysně zobrazený povrch nasnímané zdi.

Navíc ne všechny automaticky generované zdi mají smysl, často například nastává problém, kdy program zamění desky dveří za krátké zdi.

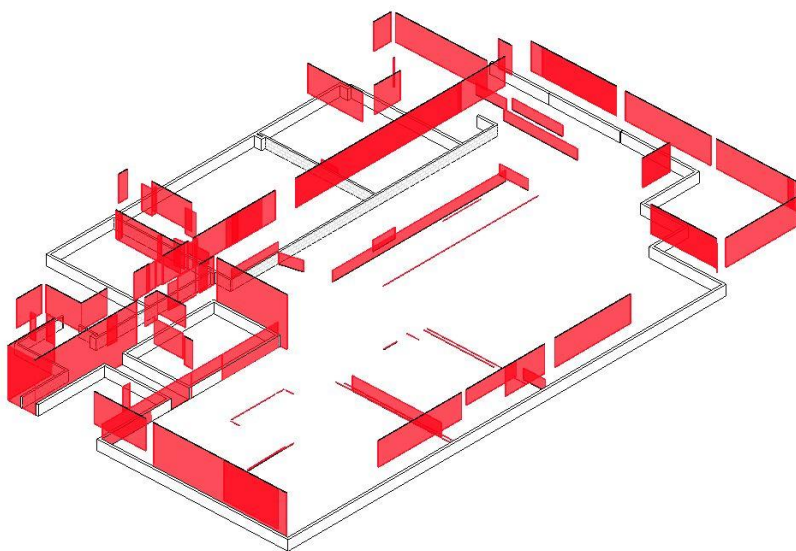
Na obrázcích dále jsou v červené barvě znázorněny stěny vytvořené programem po několika plošných výběrech. Prvně byl sice zkoušen tento způsob, ale poté se přešlo na jinou metodu. Bylo to z důvodu ověření, jak program funguje, jinak by autor na základě získaných zkušeností už s danou utilitou stejným způsobem nepostupoval.

Nakonec byla nejčastěji používána funkce Single-wall zmiňovaná dříve. Opět se však projevil, jak utilita problematicky pracuje. Ne kvůli spolehlivosti, která je velmi dobrá, ale

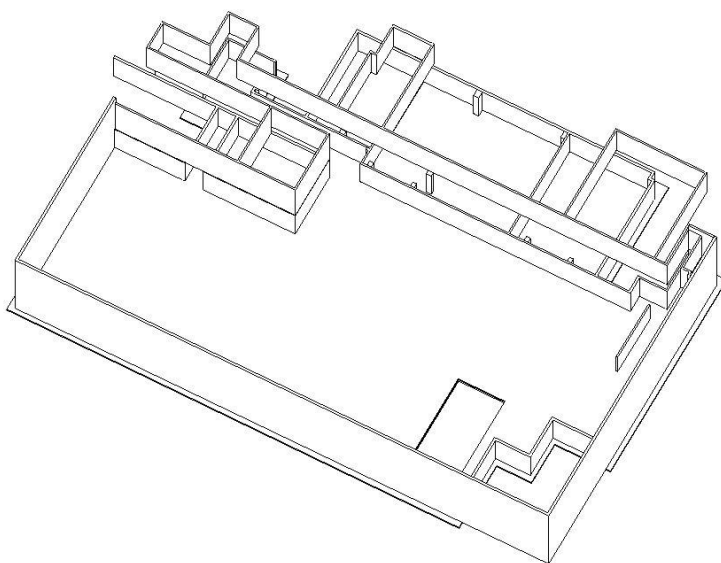
protože výrazně prodlužuje dobu strávenou modelováním zdí. Při řešení každé zdi vyžaduje vyplnit tabulku nastavení, která nejde upravit jednou pro všechny další případy. Navíc je nutné každou zeď označit třikrát myší (vybrat tři body) a počkat na vygenerování. V součtu může trvat vytvoření většího počtu zdí docela dlouho, na druhou stranu přesnost umístění je nejlepší z testovaných přístupů.

Autor přitom vyzpovozoval na některých videích, že lze předchozí potíže prostě obejít tím, že budou stěny kresleny vyloženě ručně. Ačkoliv to zní nelogicky ve vztahu k předchozím snahám, tak pokud by se pracovalo pečlivě (ale to neznamená zdlouhavě) a používalo dobré přiblížení, lze překvapivě přesně napodobit stávající zeď, protože mračno bodů viděné v půdoryse jde využít jako výbornou předlohu s velmi jasnou konturou. Zřejmě by stačilo kreslit jen část její délky a stejně jako v ostatních případech by se nechala protáhnout ve spojení s nějakou sousední stěnou příslušným příkazem *napojit/propojit* (jenž je mimochodem jedním z nejméně používaných vůbec, které dohromady zaručují právě správné navázání a ukončení těchto načatých zdí; další důležitý je příkaz na přerušení či ořezání).

Rady pro úpravu zdí odpovídají těm dříve zmiňovaným v teoretické části. Na obrázcích jsou ukázány hrubě zrekonstruované zdi. Červeně jsou schválně znázorněny zdi generované hromadným výběrem.



Obrázek 29: Hromadné generování zdí v druhém podlaží (červeně)[v.v.]



Obrázek 30: Všechny základní stěny objektu. [v.v.]

2.3 Desky (strop v přízemí a podlaha v patře)

Obojí bylo namodelováno formou náčrtu přes odpovídající místa, kde se podlaha a strop vyskytuje. Podlahy se kreslí do nulté úrovně daného podlaží. Strop se většinou kreslí také do toho samého podlaží a výška se definuje odsazením. Zde byly vloženy stropy do připravených úrovní vytvořených spolu s podlažími před zahájením modelace, odsazení zůstalo nulové.

Hranice desek byly zpravidla kresleny volně vedením čar zhruba osou stěn v půdorysu. Nenaskenované místnosti nebyly překryty těmito deskami.

2.4 Atypický tvar na stěně

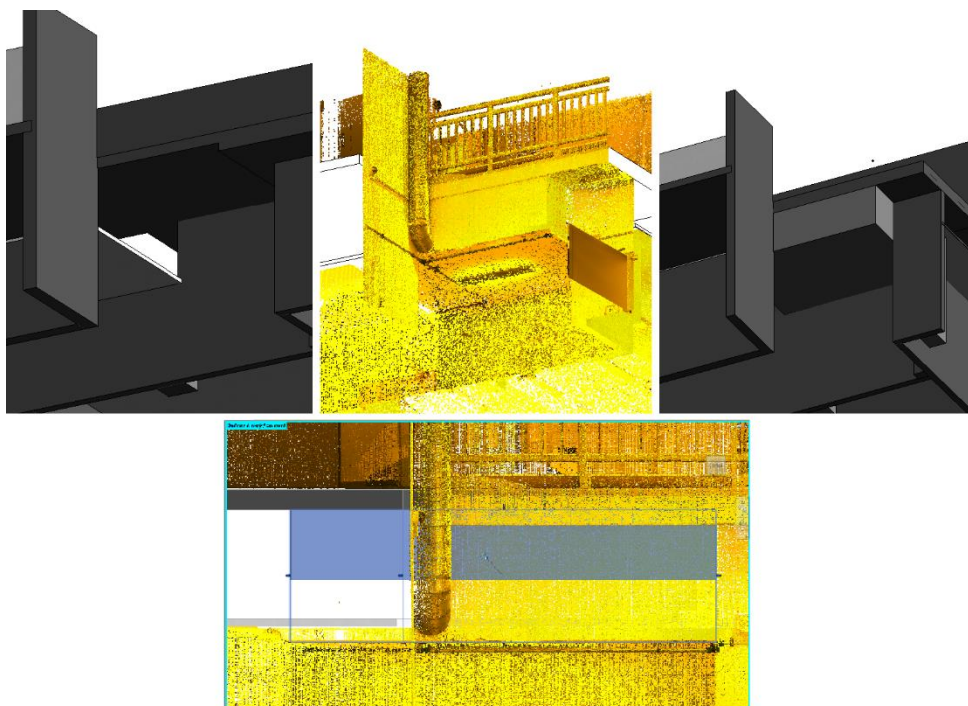
Složitější tvary je výhodnější řešit jako objemovou „komponentu“. Požadované tvary vznikají napojováním objemů. Autor doporučuje složitější prvky a útvary vytvářet pomocí *Vytvořit komponentu na místě*. Výhodou je především vyloučení fáze usazování nového objektu mezi okolní objekty, je totiž vytvořen přímo na místě.

V editoru komponenty jsou nejdůležitější nástroje v kartě *vytvořit*. Patří sem klasické operace s náčrtu jako tažení, rotace, a další, včetně nástrojů pro odebrání hmoty založených na opačném principu. Před používáním nástroje je nutné definovat vhodnou pracovní rovinu.

Komponenta na místě se používá hlavně pro zrychlené modelování. Efekt lze umocnit, pokud se postupuje tak, že je tvar hranatých objektů připraven nahrubo. Využívá se klasického chování Revitu, protože u tažených objektů jsou nabízeny šipky pro upravení tažení při novém označení. Tažením za šipky se plynule mění velikost objektu. V příslušných ortogonálních pohledech jsou přesouvány nahrubo vytvořené plocha přesně na své místo.

Pozn.: Před otevřením editoru se Revit ptá do jaké skupiny prvků má novou komponentu zařadit, což má hlavně význam pro správné fungování filtrů.

Obrázek ukazuje první takto utvořený objekt v projektu – sádkartonový podhled zakrývající nějaké zařízení.



Obrázek 31: Uzavření děravého místa u stropu boxem vzduchotechniky, na dolním obrázku je zachyceno přizpůsobování velikosti objektu v ortogonálním pohledu – stěny objektu byly posouvány šipkami, vždy nabízenými po vysunutí ve středech stěn objektu; vše potřebné se dá dozvědět z mračna

2.5 Sloupy

Všechny sloupy byly vytvořeny způsobem uvedeným v předchozím bodě.

Bylo tak učiněno i proto, že bylo výhodné sloupy mezi sebou kopírovat, přičemž si zachovávají identitu originální komponenty (jejich úprava nezasáhne sousední prvek). Některé sloupy měly trochu jiné parametry a takhle je bylo možné rychle opravit (Jinak by musely být vytvořeny nové typy u rodin, a to trvá dlouho)

Stejně byly vytvořeny i halové sloupy s konzolou a ostatní sloupy.

3 Schodiště, zábradlí

Jedná se o složité prvky, které potřebují více času. Zvláště pokud zadavatel trvá na tom, že virtuální schodiště má věrně napodobovat naskenovanou konstrukci, je zde hodně požadavků. Schodiště ani zábradlí nemusí být úplně typizované, může být podřízeno různým nepřesnostem vyvstalým na stavbě a nemusí úplně splňovat výkresovou přesnost a přesné znění norem. Což je těžké programu vysvětlit, protože má tendenci navrhnout schodiště podle svých idealizovaných představ. Druhou stinnou stránkou je, že program sám navrhne pouze velmi prosté schodiště, které se nemůže srovnávat se všemi eventualitami, které mohou v praxi nastat, a tím víc to platí u zábradlí. Proto každý detail navíc musí být řešen uživatelem individuálně.

Modelace těchto prvků konzumuje hodně času a je proto na zvážení volba rozumného stupně realističnosti. S přihlédnutím k účelu modelu zde nemají takovou důležitost.

V budově se nacházejí dvě schodiště. Jedno v hale, které odtud zpřístupňuje galerii a druhé mimo halu, spojující dvě chodby nad sebou. Hlavní rozdíl mezi nimi je v tom, že první stojí samostatně ve volném prostoru a je podezděné, druhé je naopak obklopeno stěnami ze tří stran.

Jsou dva postupy: buďto vytvořit schodiště jako komponentu (takže se úpravy provádí především přes tabulky s parametry) anebo formou vlastního náčrtu. Protože schodiště je poměrně jednoduché, předpokládalo se, že program navrhne schodiště totožné s tím v předloze – že se stavbaři i program odkáží na normu. Třebaže začátek, konec, výška i rozměr podesty byly stejné, schodiště se odlišovalo ve výšce a šířce stupňů, a tím pádem i ve sklonu. To vedlo také k potížím u zábradlí, které muselo být tvarově upraveno (jinak než vypadá ve skutečnosti), aby mohlo plynule navazovat na zábradlí galerie.

Jak byl řečeno, schodiště bylo vytvořeno jako komponenta. Nastaven je ve vlastnostech počet stupňů, připojení k vybranému podlaží a lze samozřejmě měnit polohu v půdorysu, schodiště se přitom chová jako jeden celek. Bylo vybráno nemonolitické schodiště a byly odstraněny nepotřebné schodnice (z boku přiložené nosníky spojující stupně), protože dané schodiště je podezděno. V praxi to vypadá tak, že se nechá vytvořit schodiště jako komponenta a upraví se do správné polohy. Poté jsou po obvodu nakresleny zdi, od spodního podlaží, které ho prozatím mohou prostupovat skrz. Následně se však upraví profil zdi (*Upravit profil*). Snahou je nakreslit horní okraj zdi tak, aby přesně zapadal do zubatého odstupňování tvořeného stupnicemi schodiště, neboť k jeho vytvoření byl zvolen přednastavený typ se stupni seskládanými z tenkých desek. Při kreslení profilu je tedy potřeba čáry táhnout po spodním líci stupňů při pohledu z boku.

Následuje popis namodelování schodiště z náčrtu, které naopak dovoluje věrně se odkazovat na linie viditelné v mračnu bodů. Nutno uvést, že předešlé schodiště, může být také převedeno na druhý typ, a tím pádem realističtěji upraveno, transformace je však nevratná.

Opět je do vlastností zadáván počet schodů a připojení k podlaží. Rozdíl je v tom, že zde se nevytvoří všechny schody najednou v pravidelných rozestupech, jak tomu bylo v minulém případě, ale každý schod je ručně kreslen ze shora podle viditelné hrany skutečného schodu. Výsledné schodiště kopíruje velmi přesně předlohu. Náčrt schodiště obsahuje tři druhy čar odlišené barvou. Fialovou jsou znázorněny v půdorysu boční hranice schodiště, které lze nakreslit různě podle potřeb a okolních podmínek (hlavně aby zapadalo mezi okolní zdi). Další čáry, zelené, tvoří hranu stupnice. Hranice po obou stranách mají být nespojitě a mají být propojeny čarami stupnic. Poslední čára, tmavě modrá, určuje směr stoupání schodiště.

Co se týče zábradlí, byl vytvořen jistý počet odlišných typů, i když prakticky v celé budově má zábradlí stejnou barvu a vzor. Napojení mezi úseky nebo zalamování směru zábradlí bylo řešeno intuitivně pomocí skládání několika speciálně připravených odlišných typů dohromady (například jednomu typu chybí koncový sloupek, druhý nemá krátké tyče ve vzoru, protože na tak malou vzdálenost by vyšla maximálně jedna a přitom do špatného místa apod.).

Každé zábradlí se vytváří nakreslením schematické čáry v půdorysném pohledu. V běžném případě se připojí k zvolenému podlaží (=pracovní rovina). Pokud má být nakloněné, musí se přiřadit hostitel, kterým může být například schodiště nebo rampa. Se schodišti se zábradlí generuje automaticky.

Autor napojení dvou čar trajektorií odděleně vytvářených zábradlí (pro každou vlastní náčrt) nechal volné a překryl dva úseky tak, aby vypadaly spojené. Vyhýbal se tím situaci, kdy je zábradlí prodlouženo za hranici schodiště, ale nezalomí se, není vodorovné a pokračuje dál ve stoupání, což se někdy program mylně domnívá. Dalším důvodem byla snaha napodobit skutečné rozmístění sloupků zábradlí, hlavně rohových a všech dalších nosných sloupků.

Situace v této budově vyžadovala vytvoření složitějšího vzoru zábradlí, u kterého se musí hlídat, co se stane, když zůstane jeden vzor neúplný, nebo aby nevycházely sloupky nesmyslně u sebe a do špatného místa.

Je třeba zdůraznit základní princip u tvorby takového zábradlí: Hlavní nosné sloupky, které jsou ukotveny v podlaze, se nejlépe rekonstruují, když je každý definován předělem v trajektorii schematické čáry zábradlí (klasický postup). Jinými slovy zábradlí není načrtnuto jednou ucelenou čarou, ale je pospojováno z kratších úseček, dlouhých jako je vzdálenost dvou sloupků od sebe. V praxi se to občas dělá nakreslením celého rovného úseku zábradlí jednou čarou a následným rozdělením po odměřených vzdálenostech nástrojem *rozdělit*. Toto je důležité pro správné nastavení vzoru. Nicméně, zábradlí může být přednastaveno už jako pevně dané, tedy se sloupky na pevně daných místech ve vzoru. V modelu budovy RTI se nachází obě možnosti. Prvně totiž byl vytvořen a vyzkoušen pevně nadefinovaný typ, ale nebylo možné se dobře trefit do rohů v předloze (změna směru). Nosné sloupky na schodištích stále vycházely do jiných míst. Proto je metoda s dělenou čarou jistější a přesnější.

Navržení vzoru se skládá z vyplnění dvou tabulek umístěných v úpravách typu zábradlí. První tabulka vyžaduje úpravy rovnoběžných s madlem, druhá svislých profilů. Profily musejí být předtím typově nadefinovány, tzn., že není možné vytvořit zábradlí pouze zadáváním rozměrových parametrů, ale musí se skládat z dostupných profilů v nabídce. Profil je tedy předtím otevřen nebo vyroben a jsou mu přiřazeny požadované rozměry. Trochu zmatečná se jeví volba barvy, resp. materiálu, zábradlí, kterou lze měnit přímo v tabulce jen u vodorovných profilů, kdežto to samé u svislých profilů musí být zajištěno přes vlastnosti vlastních profilů. Proto pro různě barevná ale jinak stejná zábradlí musí být různě barevné profily, i kdyby měly být rozměrově stejné.

The image shows two software windows for editing a railing pattern. The left window is titled 'Upravit zábradlí (nespojité)' and the right window is titled 'Upravit zábradlí (spojité)'. Both windows contain tables for defining railing components.

Left Window: Upravit zábradlí (nespojité)

Rodina: Zábradlí
Typ: RTI bílé, galerie a ostatní

Průběh	Název	Výška	Odsazení	Profil	Materiál
1	Spodní linie	250.0	0.0	Výchozí	bílá prostá RTI
2	Horní linie	950.0	0.0	Výchozí	bílá prostá RTI
3	Madlo	1100.0	0.0	Výchozí	bílá prostá RTI

Right Window: Upravit zábradlí (spojité)

Rodina: Zábradlí
Typ: RTI bílé, galerie a ostatní

Hlavní vzor	Název	Rodina sloupku	Dolní	Dolní odsazení	Horní	Horní odsazení	Vzd. od předchozího	Odsazení
1	Počátek v	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
2	Hlavní slo	Sloupek, čtverco	Hostite	0.0	Madlo	0.0	0.0	0.0
3	Pravidelní	Sloupek, čtverco	Spodní	0.0	Horní I	0.0	135.0	0.0
4	Pravidelní	Sloupek, čtverco	Spodní	0.0	Horní I	0.0	145.0	0.0
5	Pravidelní	Sloupek, čtverco	Spodní	0.0	Horní I	0.0	145.0	0.0
6	Pravidelní	Sloupek, čtverco	Spodní	0.0	Horní I	0.0	145.0	0.0
7	Pravidelní	Sloupek, čtverco	Spodní	0.0	Horní I	0.0	145.0	0.0

Stojky

Název	Rodina sloupku	Dolní	Dolní odsazení	Horní	Horní odsazení	Mezera	Odsazení	
1	Počáteční	Sloupek, čtvercov	Hostite	0.0	Madlo	0.0	12.5	0.0
2	Rohový sl	Sloupek, čtvercov	Hostite	0.0	Madlo	0.0	0.0	0.0
3	Koncový sl	Sloupek, čtvercov	Hostite	0.0	Madlo	0.0	-12.5	0.0

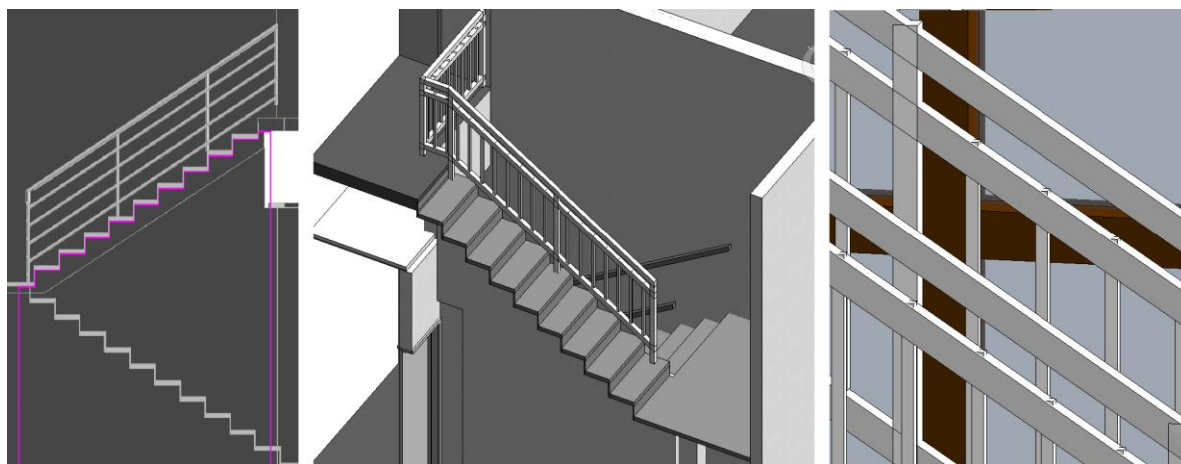
Obrázek 32: Tabulky na vytvoření vzoru zábradlí (vlevo vodorovné, vpravo svislé prvky)

V obou tabulkách jsou přes dotazované parametry umístěny profily do správné výšky (vodorovné) a je zvolen požadovaný rozestup a připojení zespoda a shora k vodorovným prvkům zábradlí nebo k hostiteli. U zábradlí bez pevných sloupků byly první tabulka vyplněna třemi profily, druhá tabulka byla vyplněna šesti profily se stejným rozestupem krom dvou krajních. Všem šesti byl přidělen hostitel, horní a spodní vodorovná příčle. Dále se musí nadefinovat rohové sloupky a podle účelu daného segmentu zábradlí také začátečný nebo koncový sloupek. Všechny představují nosné sloupky. V případě zábradlí pro schodiště musí být použity speciální sloupky se zkosenými čely, protože by část jejich čtvercového čela vylézala ven z naklopeného profilu zábradlí – stejný problém nastává také u krátkých příčlí uvnitř vzoru, ale tam stačilo použít horní odsazení (sloupek je zkrácen a celé čelo je schované v druhém profilu).

Umisťování nosných sloupků u schodiště je dobré provádět ve 3D pohledu. Na ovládacím panelu 3D pohledů (krychle vpravo nahoře) je kliknuto na hranu mezi horní a boční plochou, přenastavený pohled bude veden pod 45°. Zábradlí musí být aktivováno volbou *upravit trajektorii*. Objeví se fialová čára trajektorie ležící na rovině podlaží, ze které schodiště začíná, pracovní pohled je tedy veden kolmo na trajektorii, proto se lze dívat na sloupky zábradlí bez zkreslení rozměrů mezi nimi. Nástrojem rozdělit se potom čára rozdělí přesně tam, kde je v mračnu pozorován nosný sloupek.

4 Vrata, dveře, okna

Na rozdíl od předchozího se tyto komponenty už chovají jako ucelené a navzájem výrazně odlišné, složité rodiny. Velice často dochází k „zápasení“ během hledání dostatečného kompromisu mezi namodelovaným prvkem a předlohou. Program nabízí šablony rodin, které jsou pro každou skupinu rodin specifické. Každá komponenta může být namodelována od nuly,



Obrázek 33: a) fialově vyznačený změněný profil zdi pod schodištěm (zatím se základním zábradlím) b) autenticky upravené zábradlí u schodiště c) patrná vada: musí být použity zvláštní svislé profily s šikmými čely, aby nevystupovaly z „vodorovných“ profilů zábradlí, jen zkrácením problém nejde řešit kvůli začátku a konci zábradlí (výrazné průniky profilů nebudou v koncovém simulačním programu vidět, zde jsou hrany vytaženy černě)

ale je to o dost obtížnější způsob. Autor editoval rodiny ze základní knihovny nebo soubory stažené ze stránek, na kterých lidé sdílí své modely. Knihovna programu musí obsahovat opravdu velké množství rodin (řeč je hlavně o oknech a dveřích), aby se eliminoval počet úprav po načtení do modelu. Základní výbava knihovny je natolik skromná, že nebyla použita ani jedna rodina v původní podobě. Provedené změny však neznamenají pouze úpravu rozměrů a materiálů, ale často se jedná o složitější změnu tvaru rodiny (změny konstrukce).

Vlastní vkládání a umístování komponent do modelu je jednoduché a náleží k němu jisté usměrňující podmínky. U oken a dveří to znamená, že komponenta je povoleno je vložit do stěny (každá je definována jako hostitel). U těchto komponent jsou definované i zásahy do hostitele, které mají za úkol připravit pro okno nebo dveře otvor ve stěně s odpovídajícími rozměry. Tato zmínka byla uvedena proto, že spolupráce mezi komponentou a hostitelem bude narušena dále, při rekonstrukci velkých dělených oken haly.

Přiblížení problematiky těchto prvků bude provedeno na dveřích.

Pokud je vyžadováno dodržení podoby z předlohy, musí být odlišnosti na upravovaných komponentách domodelovány přímo do dané rodiny. To se týká nejčastěji barvy, tvaru a rozměrů a pak konkrétněji klik, pantů nebo zvláště nápadných prvků na dveřích. Rozměry dveří jsou záležitostí typu rodiny. Klasicky je nabízeno více rozměrových řad od jedné rodiny.

Domodelování nebo odmazávání z původních rodin se vždy provádí do nově uložených souborů (nově nazvaných), stejně tak je třeba typy jednotlivých dveří nejdříve duplikovat, než budou vytvořeny nové.

Domodelovat dveře, aby se z nich stal pevný neměnitelný objekt, není těžké, avšak u parametrických rodin (uživatel může opakovaně ovlivňovat rozměry a materiály se zachováním proporcí a stavby) musí být na patřičných místech správné vazby, jejichž stanovení a umístění není jednoduché. Například nejčastěji musí být kliky připnuty k nataženým a také zavazbeným referenčním rovinám a tyto roviny musí být kótovány mezi sebou. Modely rodin vycházejí z těchto rovin. Vymezují rám dveří, desku dveří, práh, otvor v desce, a každý potřebuje více než jednu rovinu. Pokud klika nebude připnuta k některé ze zakótovaných rovin, změnou šířky dveří na větší by se mohla ocitnout v prostředku jejich křídla. Vybrané rozměry na prvku (všechny v tabulce úprav), označené jako charakteristické, a proto upravitelné, jsou tvořeny přes označení kóty a vybrání nabídky na horní tenké liště *Vytvořit nový štítek*. Rozměr (kóta) musí dostat název a být dále definován (jeho vyžadované vlastnosti).

Dveře a okna, mají dvě odlišné strany. Klasické dveře se otvírají na jednu stranu. V půdorysných pohledech jsou podle stavařských zvyklostí vyobrazeny schematicky s otevřeným křídlem, do jehož blízkosti Revit umísťuje dvě značky reprezentované dvojicí protichůdných šipek. Jedna přepíná stranu zdi pro otvírání (do místnosti nebo z místnosti), druhá přepíná směr otvírání (jestli jsou panty nalevo nebo napravo).

Výsuvná (průmyslová) vrata byla získána jako firemní propagační soubor výrobce vrat na internetových stránkách s CAD modely. Byly odmazány nepotřebné prvky a povrchu rolované části byl přidělen rastrovaný obrázek s vodorovnými čarami a šedou barvou, který znázorňuje spojené kovové segmenty vrat.

Přístup k oknům je analogický.

Výjimkou byla velká členěná okna haly, kterým neodpovídala žádná integrovaná rodina, ani modely na internetu. Nakonec bylo zjištěno, že je bude možné napodobit vložením vhodně upravených speciálních stěn, kterým se v Revitu říká obvodový plášť. Revit mimo klasických stěn nabízí také tři druhy přednastaveného obvodového pláště s názvy: Obvodový plášť – výplňová stěna, OP – výloha prodejny a OP – venkovní prosklená stěna. Všechny tři jsou vlastně urychleně zbudované *osnovy obvodového pláště* spolu s výplňovými panely (*panel obvodového pláště*). Tady byl použit druhý typ. Měl by být duplikován, protože by si ponechal

takové nastavení v celém projektu napořád (nemohly by být vytvořeny dva rozdílné typy v jednom projektu).

Stěna obvodového pláště se dále skládá z příčlí, které jsou ukotveny na osnově. Osnova (mřížka znázorňující obrysy panelů v panelové stěně), panely a příčle jsou po vytvoření připnuty (ukotveny), zatímco se stěna jako taková je manipulována v celku. Označování stavebních prvků obvodového pláště se musí povolit odškrtnutím příkazu, stejným, kterým je zabráněno zvýrazňování mračna. Tak je povolen výběr připnutých prvků. Zároveň je potřeba zmínit výběrový filtr (ikona trychtýře-nahoře vpravo), který se může hodit u každého výběru skupiny prvků víc druhů, ale kde má být vyčleněn například pouze jeden z nich. Bez filtru nelze označit jen příčle nebo jen panely, aby se daly upravovat hromadně jejich vlastnosti.

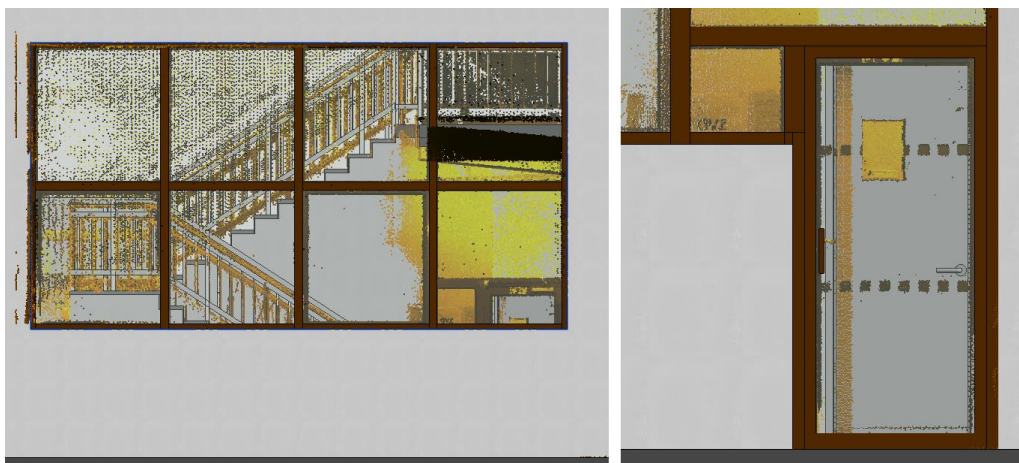
Ve vlastnostech pláště bylo nadefinováno členění osnovy zadáním počtu dělení. V tabulce úprav pláště jsou měněny typy příčlí z rolovatelné nabídky. Musela být vytvořena nová rodina příčlí kvůli barvě (materiálu), viz řešení u zábradlí. Pokud se uživatel má pustit do vytváření nové příčle, najde tu stávající na kartě architektura → funkce *příčel*. Následně upraví typ, čímž v odpovídající tabulce změní rozměr. Upravené příčle jsou nahrány do projektu, takže se dostanou automaticky do nabídky tabulky úprav obvodového pláště. Jsou voleny příčle pro vnější a vnitřní čáry osnovy odděleně. Byl nastaven profil o šířce 60 mm pro obvod a vnitřek byl vybaven profily se 100 mm, barva hnědá.

Stěna (která má nahrazovat okno) byla odsazena od spodního podlaží a horní podlaží bylo nastaveno jako *nepřipojeno*. Výška stěny byla zadána tak, aby odpovídala výšce oken.

Vkládání prosklené stěny do obvodových zdí budovy nezůstalo bez potíží. Doplácelo se na přesnou rekonstrukci zdí, které nestojí přesně podle osy x a y v půdorysu a program se tomu brání hláškou *Stěna je nepatrně mimo osu – může způsobovat problémy*. Pokud bude tvořena stěna obvodového pláště do takovéto stěny, nebude vyříznut otvor v masivu plné stěny a plášť zůstane vnořen uvnitř. Problém se dá řešit změřením odklonu stěny (například hodnoty jako 0,13 nebo 0,29 stupňů), který se potom přisoudí i vkládané stěně (plášti). Objekt musí být chycen v půdorysu jedním koncem na ose plné stěny a druhý konec může být umístěn libovolně mimo, avšak již se určí správná délka žádaného okna. Dále je provedena rotace prvku, ale střed rotace musí být nejprve umístěn (přesunut) na konec stěny uchycené v plné stěně. Po provedení rotace je dokončen průnik a prosklení se stane funkční.

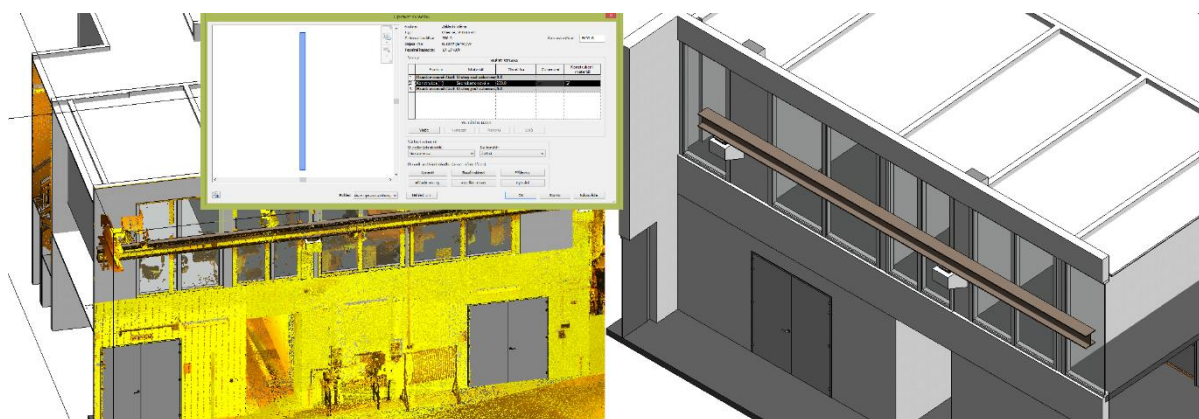
Další taková okna mohou být rovnou kopírována a přesouvána (jen je třeba si pomoci vypnutím svislosti přes klávesu tabulátoru). Šířka takto vzniklých oken může být pro výrazné urychlení roztahována pomocí již známých šipek. Stejně tak se okna nejlépe umísťují právě v bočním pohledu projektu, čelně k řešené zdi budovy. Prosklená stěna je chycena a tažena, dokud nezakryje okno v mračnu bodů. Dalším složitějším objektem byl venkovní vstup. Dveře klasických rozměrů zde zasahují až do velkého děleného okna, takže pro ně byla upravena jedna jeho čtvercová okenní tabule (byla předdělena dvěma dalšími příčlemi). Fakt, že v prosklené stěně mají být obsaženy dveře, vyžaduje záměnu běžného panelu obvodového pláště za *dveře obvodového pláště*. Před záměnou byl upraven profil prosklené stěny (obvodového pláště), která znázorňuje okno, tak, aby obcházel spolu s oknem i obrys budoucích dveří. Potvrzením změn se změnila osnova obvodového pláště a vodorovná dělicí příčel si nevhodně sesedla dolů (doprostřed nejkrajnějších linií obrysu OP). Výběrovým filtrem byla označena prostřední horizontální osa osnovy a posunuta na správné místo tak, aby dělila okno na dvě stejné poloviny. Dále musely být zhotoveny zmíněné další dvě příčle, a proto byla dokreslena osnova (vybrán nástroj pro osnovu na horní liště; dál nástroj pro částečnou příčel – aby nebyly přetnuty všechny oddíly osnovy odshora dolů, ale jen jeden oddíl). Také byla odmazána spodní příčel v místě prahu dveří. Zůstala prosklená tabule (panel) ve velikosti dveří. Předem připravené

(upravené) dveře musí být načteny do projektu. Pak byla prosklená tabule označena a ve vlastnostech nahrazena dveřmi obvodového pláště.



Obrázek 34: Vstupní dveře zasahující do velkého okna; v pravém rohu okna jsou vidět naskenované dveře, vpravo jsou již namodelované

Jedna plnohodnotná prosklená stěna vede kolem kanceláří v druhém podlaží budovy. Tady bylo potřeba zanést do modelu i skokové odsazení pásu oken vůči stěně, které sahají až k podlaze. Zeď je přerušena a pokračuje až nad okna. Aby tento dojem zůstal, byla okna vytvořena opět jako výloha prodejny a posunuta na samou zadní hranu zdi (tyto přesné úkony se dělají vždy v půdorysu nástrojem *přemístit*). Původní zeď byla převedena na nový typ, protože by byla jinak změněna ve všech výskytech. V tabulce úprav pak byla otevřena struktura zdi a v náhledu vybrán pohled v řezu, čímž jsou aktivována tlačítka pro úpravu příčného profilu zdi. Bude potřeba tlačítko *odebrat*. Ještě předtím však musel vzniknout jasně určený profil pro odebrání. Byl nakreslen obdélníkový zakótovaný profil do šablony rodnin odebrání, který musí být při kreslení připojen k nachystaným referenčním rovinám v šabloně. Do kót byly zaneseny rozměry zapuštění skleněných tabulí – výška a hloubka. V tabulce odebrání byl profil vybrán a byly upraveny jeho hodnoty odsazení ke spodku a čelu zdi. Tím byla definována poloha profilu vůči stěně a mohlo fakticky vzniknout finální vybrání.



Obrázek 35: Prosklená stěna u kanceláří a tabulka upravující profil zdi

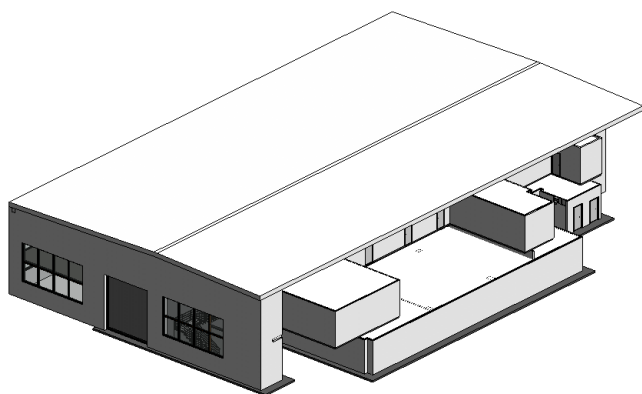
5 Uzavření prostoru (strop haly)

Vytvoření stropu předcházelo namodelování dvou podélných nosníků (průvlaků). Ve středu haly se nachází jeden, který je uložen na velkých halových sloupech. Na něm drží

střecha, která se zešikmuje od něj na obě strany. Nosník prochází po celé délce modelu. Byl vytvořen tažením profilu obtaženého v řezu mračna po trajektorii získané obtáhnutím výrazné kontury v mračnu.

Rekonstrukce stropu byla pojata jako tvorba střechy, přičemž se od ní požadovalo jen to, aby uzavřela vnitřní prostor. Nástroj střecha byl zvolen jako střecha vysunutím. V řezu vytvořeném kolmo na trajektorii vysunutí nosníku byl nakreslen profil schematickou čarou (není kreslena plocha) na obě strany od hrany středového nosníku po nejvyšší okraje obvodových zdí. Na neúplné straně budovy byla čára zrcadlena. Vznikla střecha s pevně nevyžadovanou tloušťkou. Tento objem byl protažen tak, aby přesahoval čela haly. Je užitečné některé čáry sloužící při skicování trajektorie vysunutí připnout na pevně, protože některé úpravy při roztahování stropu po celé ploše haly je mohou ovlivnit (změní se například úhel trajektorie podle půdorysných x nebo y), a dosavadní snahu o přesnost znehodnotit.

Zdi měly do této chvíle horní okraje ještě nedokončené. Proto byly příkazem *připojit nahore/dole*, dotaženy jednotlivě ke stropu/střeše.



Obrázek 36: „Zavřený“ nebo „utěsněný“ model, všechna děravá místa zadělána (zvenčí není potřeba budovu řešit – praktické usnadnění)

6 Stropní osvětlení

Soubor s lampou byl stažen ze stránek s propagačními soubory výrobců. Strop v hale není rovný a každá řada světél má jinou délku závěsu, aby žárovky visely stejně vysoko. Soubor musel mít editovatelný rozměr u délky závěsu.

Bylo nutné se vypořádat se sklonem stropu i proto, že modely podobných předmětů bývají navrženy tak, aby mířily kolmo na hostitelský objekt, takže pokud by lampy byly připnuty na šikmině, vypadalo by to, že popírají gravitaci. Řešením bylo namodelování pomocného objektu, válečku, který byl vnořen dovnitř hmoty stropu, přičemž jeho čelo bylo nepatrně ponecháno venku a bylo vodorovné. Na čelo válečku byla přichycena lampa. V každé řadě byl vytvořen jeden zástupce, protože se lampy v každé prakticky liší. Délka přesahující potřebnou délku závěsu byla změřena a odečtena od aktuálního údaje napsaného ve vlastnostech modelu, postupně se takto srovnaly do roviny stínítka lamp ve všech čtyřech řadách (následují lampy ještě na druhou stranu haly od středového nosníku). Dále byly přes funkci *pole* rozmístěny do celé řady po stejných vzdálenostech vypočtených z měření provedeného v mračnu.

7 Přenesení modelu do dalšího programu a vynucené úpravy

Po dokončení předchozího bodu byl model hotový, a tak byl otevřen v programu Unity 3D, kde ale nejprve vykazoval chyby v přiřazení většiny barev a textur. Ačkoliv z důvodu zachování informací o materiálech přiřazených v Revitu byl model již předtím „protážen“ programem Autodesk 3Ds Max, materiály se nenacházely až na výjimky na svých místech, byly však zachovány v, při té příležitosti vzniklé, knihovně materiálů kterou program Unity 3D přebral kompletní. Problém se skrýval v tom, že nešlo jednoduše přidělit přenesené materiály zpátky na příslušné plochy modelu v Unity, protože program spravuje pouze objekty ve stavu, v jakém se do programu dostaly, a nemůže ovlivňovat rozložení barev po povrchu, protože nedokáže povrch objektů rozdělit na víc částí, kterým by mohl přidělit různé barvy. Funguje to pouze, pokud objekt měl více nastavených materiálů na různých svých částech (například šedé dveře jako objekt se zvláštním materiálem nastaveným u kliky – nerezová ocel).

Přestože jsou inzerovány různé speciální programy, výhradně placené, které by měly uchování textur z Revitu pohlídat, nakonec bylo rozhodnuto přenést model místo Unity nejprve do SketchUpu a přidělit mu všechny materiály od znovu. V tomto programu je zcela běžné barvit veškeré plochy odděleně. Díky struktuře projektů v programu Revit bylo možné využít seznamu vrstev (*layers*), kterými lze vyfiltrovat prvky stejné kategorie a barvit je společně.

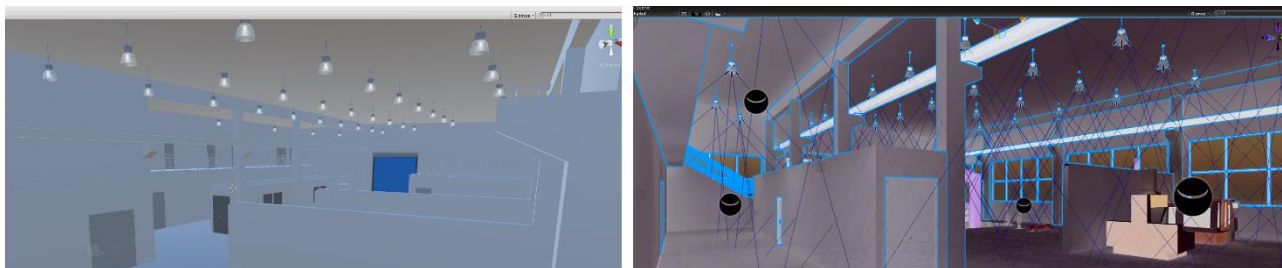
Unity 3D poté upravený model přijala bez opakování potíží.

Když se textury chovaly už správně, byly přidány a umístěny modely strojní výbavy budovy RTI. Modely strojů byly vyrobeny v předstihu, před zadáním této práce.

Muselo být ještě nastaveno nasvícení modelu, aby vnitřek nebyl příliš tmavý a barvy povrchů vypadaly příjemněji a věrohodněji. S tím spojené je vyniknutí detailů a hran, které při špatném nasvícení splývají s okolím.

Do všech stropních lamp byly dány zdroje světla a bylo provedeno tzv. „upečení“ světel (baked lights) pro všechny statické objekty. Proces je velmi výpočetně náročný a jeho nastavení vyžaduje hodně zkušeností. Mimo jiné byla také řešena některá tmavá místa ve scéně (termín z Unity), která byla doplňována pomocnými zdroji světla, aby se tyto problematické, příliš nápadné plochy rozjasnily. Do modelu se také umísťují tzv. *reflection probes*, které zajišťují odrazy světla od objektů mezi sebou a vkládají se po jedné do všech oddělených prostor (ohraňovaných příčkami apod.). Navíc musely být vygenerovány UV souřadnice a normály u všech objektů ve scéně, jinak by světelné mapy na texturách nefungovaly dobře a byly by skvrnitě nebo moc tmavé.

V programu Unity 3D vznikla osvětlená scéna s dobře vyniklými detaily. To je zároveň výsledek praktické části bakalářské práce, který ukazuje kapitola 8.



Obrázek 37: Vlevo téměř monochromatický, nezajímavý a nepřehledný model po vložení do Unity. Vpravo jsou trochu vidět tenké linky okrajů kuželů světla vycházející od stropních lamp a také „vznášející se“ černé koule, které zajišťují odrazivost světla od povrchů, tzv. *reflection probes*. Druhý obrázek je pro zlepšení viditelnosti invertovaný.

8 Výsledek praktické části práce

Obrázky nasvíceného modelu interiéru budovy.





Obrázek 38: Ukázky nasvíceného modelu

VI Diskuze

Zatím byl často v podobných případech výsledek prezentován jako způsob s drahým zařízením šetřící čas, diskutabilně ovlivňující pracnost. Hledá se případ, kdy se to vyplatí (24)(29). Přesto jsou studie, které bez pochybností považují skenování za velikou pomoc, usnadnění a prostředek ke snížení nákladů (10).

Autor se domnívá, že jsou-li skeny budovy zhotovené a dostupné, modelování může být za každých okolností snazší, než na základě měření rozměrů. Jejich výroba však může znamenat neúměrné zdržení u menších projektů.

Co se týče textu této práce a aplikace softwarů na data z laserového skenování, vypadá to, že jsou dnes k dispozici i rychlejší způsoby. Každé z uvedených řešení je nedostatečně zautomatizované. Řešení přitom není skryté, pouze musí být hledána lepší kombinace mezi stavebními CAD softwary a pro ně navrhovanými utilitami zjednodušujícími zpracování mračen bodů.

Na druhou stranu je postup použitý v praktické části totožný s přístupem odborníků v komerční sféře, takže se zjevně vyplácí a musí mít dobrý výsledek. To vyplývá z ukázek rozšířených po internetu.

Zásadní rozdíl bude v tom, že firmy, které se těmito modelacemi živí, vlastní zcela jistě lepší SW než předvedený v této práci. Scan – to – BIM přesto zůstává jako názorná ukázka pro přiblížení hlavního směru toho, jak se tyto úlohy v dnešní době řeší. Velká část ostatních, nediskutovaných programů je silnější v oblasti automatických funkcí, a protože jsou pravděpodobně více zastoupeny mezi odborníky, jsou spolehlivější na rozdíl od Scan-to-BIM. Remodeling by tedy měl být zajištěn algoritmem programu, který v mračnu rozezná hledané prvky a navrhne jejich vymodelovanou podobu. Také nemusí být vždy ručně nahrazovány a jednotlivě vybírány, protože tyto funkce někdy pracují s prvky jednoho druhu souhrnně. K tomu mohou ostatní programy nabízet i víc nástrojů, než kolik jich má Scan-to-BIM, které navíc

pracují účinněji a spolehlivěji. Dle ukázek umí například nahrazovat okna v mračnu automaticky bez lidského faktoru (vizuálního výběru odpovídajícího typu okna) a bez velkých následných úprav. Zmíněna může být utilita PointSense. Právě na zvládnutí automatického nahrazování různě velkých celků vyjmutých z bodového mračna obdobně vypadajícími generovanými prvky, pomocí jasně zaměřených specializovaných nástrojů, závisí urychlení rekonstrukce nejvíce a patrně rozvoji v tomto směru patří budoucnost.

Trochu paradoxně se zdá, že laserové skenování začne mít výrazně vyšší přínos, když zaprvé stoupá složitost stavby, ale také když stoupá počet modelovaných předmětů nad rámec stavby, neboli má-li být řešeno také vnitřní vybavení a konstrukce, protože všechny atypické předměty je snazší modelovat přímo do mračna. Model je v takovém případě většinou vytvářen spojováním objemů, dokud přesně nepasuje do reliéfu bodové předlohy.

Větší zobecnění

Z posledních tezí společně vyplývá zásadní rozdělení na dva pohledy ohledně přínosu:

- a) Přínos v úspoře času (pracnosti)
- b) Přínos v zachycení anomálií

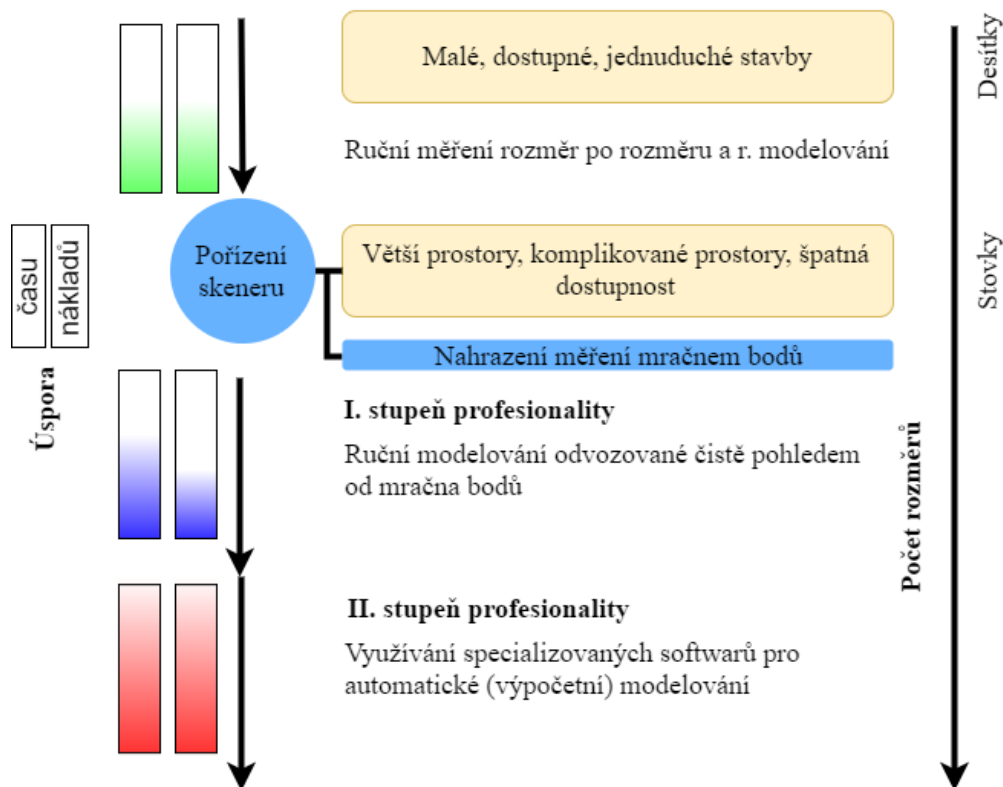
Z toho první bod má několikrát větší váhu a je srozumitelný. Například v jednom článku interpretujícím názory architektů se píše: „*It is highly recommended to get a point cloud for a project containing existing buildings. The accuracy of a Point Cloud and subsequent model can save time with site visits and measure ups*” (30).

Druhý bod se týká vytváření přesného modelu místo idealizovaného objektu. Do přesného modelu jsou zaneseny všechny odchylky a nepřesnosti včetně improvizovaných a nezdokumentovaných úprav. Všechny tvarové zvláštnosti oproti běžnému či projektovanému stavu je nemožné vysledovat jinak než velmi detailním pozorováním a měřením, což je v tomto případě nahrazeno skenováním. Krizové řešení takových odchylek až při realizaci layoutů je náročnější a často i dražší.

Jak je patrné, rozhodujícím kritériem je snižování vytížení pracovníků, kteří proces modelování mají na starost. Stejně tak je však tahle problematika ovlivněna dalším kritériem, kterým jsou náklady spotřebované na prostředky. Zjevně platí, že ruční měřidla a kancelářské potřeby vychází levněji než náklady na pořízení a provoz skenovacího zařízení. Taková investice se může vrátit i velmi dlouhou dobu, než začne přinášet pozitivní efekt.

Pospolu tato kritéria říkají, že je jistá hranice v plánování projektu, od které se provoz vlastního skeneru finančně vyplatí – kdy časová úspora je dostatečně velká a náklady na provoz dostatečně malé. Tuto hranici je velmi těžké určit. Zvláště pokud nejsou učiněny reálné srovnávací testy mezi původní přímou a moderní skenovací metodou, není o co se pořádně opřít.

Na následujícím obrázku se nachází autorova vlastní definice vztahu mezi různými přístupy, zachycující jejich pravděpodobnou míru přínosu.



Obrázek 39: Vztah složitosti skenovaných objektů, zvolené metody a výhodnosti [v.v.]

Podle autora jde říci, že jsou-li skeny budovy zhotovené a dostupné, modelování může být za každých okolností snazší (nebo minimálně stejně náročné), než na základě měření rozměrů. Jejich získávání však může znamenat neúměrné zdržení u menších projektech.

Přitom stále spíše platí, co bylo napsáno v roce 2013 v internetovém článku (31): „Zásadní roli při zpracování dat z laserového skenování hraje zkušenost a zručnost zpracovatele.“ Použití softwaru ještě nezaručuje kvalitní výsledek, velkou zásluhu na něm bude mít zatím člověk, třebaže se do budoucna doufá ve změnu poměru k lepšímu ve prospěch automatizace.

Také lze předpokládat, že každý podnik si nebude pořizovat své vlastní zařízení a nebude si udržovat specialistu pro toto modelování jen kvůli sporadicky plánovaným rekonstrukcím na nemovitostech firmy. Proto je přednostně za aktivního uživatele považován spíše vnější subjekt, který je zaměřen na tyto služby jako na jednu z hlavních činností svého podnikání anebo se očekává, že daná činnost bude přidělena nějakému zaměstnanci, který má ještě další a soustavnější náplň práce.

VII Závěr

Práce se věnovala tvorbě 3D virtuálního modelu interiéru existující (průmyslové) budovy, který by měl dále sloužit pro navrhování výrobního layoutu. Model dle zadání nesmí vycházet z měřených rozměrů ale pouze z tzv. mračna bodů, které je produktem 3D laserového skenování. Očekává se zjednodušení, jež má vést k rychlejší výrobě modelů pro účely layoutů a simulací. Mračno bodů budovy Regionálního technologického institutu, které bylo naskenováno pracovníky školy, získané skenerem Leica, je chápáno jako objekt vhodný na otestování navrhované modelovací metody.

Při zadávání práce nebyly předem známy efektivní cesty, jak dosáhnout modelu podle mračna, a proto byla provedena rešerše. Byly navrženy dohromady tři varianty a byly podrobeny zkouškám a rozboru. Pouze jedna z nich, skládající se ze stavebního CAD softwaru (Revit od Autodesku) a utility (Scan-to-BIM od IMAGINit), byla hodnocena jako metoda umožňující dosažení uspokojivých výsledků. Ostatní dvě byly vyloučeny z různých důvodů, ale spojovala je přílišná časová náročnost. Přesto má každá varianta i své specifické výhody a je patrný prostor pro další rozvedení. Kromě třetí varianty (která nejvíce selhávala) by mohla být používána i druhá varianta, pokud by si uživatel osvojil způsob práce, při které si musí vše sestavit od nuly po jednotlivých tvarech (a ne z kompletních prvků jako v Revitu), které po vhodném složení vytváří dům. V tom složitějším případě jsou používány čáry, plochy a z nich vzniklé vysunuté a rotované objemy, čemuž náleží hůře identifikovatelný systém práce. Navíc, a to asi způsobuje jistý deficit výčtu výhod, varianta nemohla být vyzkoušena, jak by bylo potřeba, natož šířeji použita, protože poskytovatel těchto programů konkuruje společnosti Leica, a data (ze skeneru Leica) tak nebyla přijata v náležitém formátu nutném pro rozsáhlejší zpracování (potíže kvůli registraci mračna).

Praktická část práce se již zaměřuje na vytváření modelu podle vybrané, tj. první varianty. Postup byl pečlivě zaznamenán, aby si mohl čtenář sám udělat obrázek o pracnosti metody. Poznámky často obsahují rady, které mohou pomoci dostat se rychle přes situace při modelování, s jejichž řešením strávil autor hodně času. Měly by pomoci pochopit přístup k rekonstrukci složitějších prvků. Úplné základy programu, ačkoliv jsou stručně popsány také zde, by si měl uživatel obstarat sám. Celá fáze modelování probíhala v programu Revit. Když byly vytvářeny zdi, přistupovalo se, jak jen to bylo možné, k automatickému generování prvků pomocí doplňku (utility). Nicméně bylo shledáno, že ne všechny zdi lze převést z mračna přímo, když je použit hromadný výběr, a automatické generování zdí po jedné trvalo příliš dlouho. Utilita Scan-to-BIM by proto měla být nahrazena jinou, spolehlivější a nástrojově vybavenější. Přitom ale koncept spolupráce CAD softwaru a doplňkového softwaru by měl být zachován a rozvíjen. Právě automatické a převážně počítačem řízené postupy je třeba co nejvíc využívat a je to jeden z hlavních závěrů práce: hledat utility se specializovanými nástroji pro automatické generování prvků podle mračna bodů.

Zhotovení modelu sice následovaly komplikace kvůli chybnému přiřazení textur po přenesení do programu Unity 3D, ale byly vyřešeny novým nanesením textur na bezbarvý model, otevřený v programu SketchUp. V Unity pak byly k budově připojeny modely strojů. Následovalo nasvícení předtím ještě téměř monochromatického modelu (bez toho je špatně rozpoznatelný, kontury jsou slité s okolím). Nastavení světelných podmínek je složitý proces, a jeho ověřování velmi zaměstnává počítač, ve kterém se postupně hledá optimální kombinace různých hodnot. Předchází tomu však osazení modelu světelnými zdroji. Protože bylo záměrem nasimulovat umělé osvětlení v budově (sluneční světlo zbytečně snižuje rozlišitelnost budoucích aplikací modelu) byly zdroje světla přiřazeny modelům stropních lamp. Nakonec byly všechny světelné efekty propočteny (vykresleny) a uloženy. Tak vznikl realistický model interiéru budovy, vhodný pro plánování layoutů.

O zhodnocení metody pojednává kapitola Diskuze, ve které se autor pokouší o shrnutí získaných zkušeností a vymezení podmínek, které po jejich splnění předurčují nějaký projekt k použití této metody, aniž by to bylo kontraproduktivní. Metoda a vůbec používání 3D skenování totiž není univerzální zárukou příjemné a ekonomicky racionální práce.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Skener s fázovým posunem [1]	II-13
Obrázek 2: Princip triangulace [2].	II-14
Obrázek 3: Přesnost 3D skenerů v závislosti na vzdálenosti objektu [3].....	II-15
Obrázek 4: Skener Leica C5 [4][5]	II-16
Obrázek 5: Budova RTI u ZČU [6].....	III-21
Obrázek 6: RECAP 360: ukázka	IV-24
Obrázek 7: Nastavení úrovní (podlaží) v Revitu.....	IV-25
Obrázek 8: Panel nástrojů Scan to BIM	IV-26
Obrázek 9: Ovládací okno Single Wall	IV-28
Obrázek 10: Tři fáze tvorby zdi pomocí fce Single Wall.....	IV-29
Obrázek 11: Pospojování zdí v půrorysu	IV-30
Obrázek 12: Rekonstrukce dveří - Revit	IV-30
Obrázek 13: Dokončení rekonstrukce zkušební vzorku - Revit.....	IV-31
Obrázek 14: Schéma spolupráce programů Trimble.....	IV-32
Obrázek 17: Prostředí TSE a výběr oblasti pro vytažení geometri	IV-35
Obrázek 15: Výsledek užšího výběru - TSE	IV-35
Obrázek 16: Výsledek pro větší oblast - TSE	IV-35
Obrázek 18: Částečný model z prvního pohledu - SketchUp	IV-35
Obrázek 19: Částečný model z druhého pohledu – SketchUp	IV-36
Obrázek 20: Téměř dokončená podoba chodby	IV-36
Obrázek 21: Tři fáze v tvorbě rekonstrukce povrchu – 3D Reshaper	IV-40
Obrázek 22: Několik hotových částečných povrchů společně	IV-40
Obrázek 23: Dokončené „kopyto“ s neviditelným mračnem.....	IV-40
Obrázek 24: „Kopyto“ pro výřez z RTI	IV-41
Obrázek 25: Narýsování modelu z „kopyta“	IV-41
Obrázek 26: Obrázek „kopyta“ celého RTI	IV-42
Obrázek 27: Obtíže se stropem u velké haly	IV-42
Obrázek 28: Znázornění rozdílu v nastavení Extraction Tolerance	IV-43
Obrázek 29: Hromadné generování zdí v druhém podlaží - Revit.....	V-48
Obrázek 30: Všechny základní stěny objektu	V-49
Obrázek 31: Uzavření stropního prostoru boxem vzduchotechniky	V-50
Obrázek 32: Tabulky na vytvoření vzoru zábradlí	V-52
Obrázek 33: Rekonstrukce schodů a zábradlí	V-53
Obrázek 34: Vstupní dveře zasahující do velkého okna	V-56
Obrázek 35: Prosklená stěna u kanceláří.....	V-56
Obrázek 36: Uzavřený model budovy.....	V-57
Obrázek 37: Nevzhledný surový model a příprava osvětlení	V-58
Obrázek 38: Ukázky nasvíceného modelu - konečný výsledek.....	V-60
Obrázek 39: Vztah složitosti skenovaných objektů, zvolené metody a výhodnosti.....	VI-62

Zdroje

Literární a elektronické zdroje

- (1) LINDSKOG, E., BERGLUND, J., VALLHAGEN, J. and JOHANSSON, B. *Visualization support for virtual redesign of manufacturing systems*, 2013 [citace se nalézala v jiném citovaném dokumentu (4)]
- (2) ŠTRONER, Martin. *Laserové skenování* [online]. Přednáška. ČVUT v Praze, Fakulta stavební [cit. 2016].
Dostupné z <http://slideplayer.cz/slide/4088003/>
- (3) DOLANSKÝ, HOLEŠICKÝ, BENEDOVÁ, SKÁCILÍK, *Zpracování prostorového modelu Pravčické brány* [online] [cit. 20.2.2017]
http://projekty.fzp.ujep.cz/transeconet/documents/LS_vysledky.pdf
- (4) Z+F IMAGER® 5010C, 3D Laser scanner, [online] Z+F [cit. 8.2.2017]
Dostupné z http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010C.3d_laserscanner.0.html?&L=1
- (5) *How does Laser Scanning work?* [online] Surv-tech-solutions [cit.13.2.2017]
<http://floridalaserscanning.com/3d-laser-scanning/how-does-laser-scanning-work/>
- (6) ČERMÁK, Jan. *Metody 3D skenování objektů, bakalářská práce* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojího inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, 2015 [cit. 22.1.2017]
Dostupné z <https://core.ac.uk/download/pdf/30294566.pdf>
- (7) ALLARD, P.-H., LAVOIE, J.-A. *Differentiation of 3D scanners and their positioning method when applied to pipeline integrity* [online], [cit. 20.5.2017]
Dostupné z https://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/technological-fundamentals/differentiation_of_3d_scanners_and_their_positioning_method_when_applied_to_pipeline_integrity.pdf
- (8) BARBER D., MILLS J. and BRYAN P. *Laser scanning and photogrammetry: 21st century metrology* [online]. University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, UK, 2001 [cit. 4. 1. 2017].
Dostupné z <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-C7/pdf/2001-08-db01.pdf>.
- (9) KŘEMEN, Tomáš. *Úvod do 3D skenování* [online] Prezentace. ČVUT v Praze, Fakulta stavební [2.3.2017]
Ke stažení na www.kgk.cz/wp-content/uploads/2014/06/Kremen-uvod-do-skenovani.pptx
- (10) *Guidelines on Laser Scanning in Plant Design* [online]. Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation IFF, Magdeburg, 2015 [cit. 6.1.2017].
http://www.viin.co/docs/Guidelines_on_Laser_Scanning_in_Plant_Design.pdf
- (11) *3D skenování součástek* [online]. www.G4D.cz [cit. 3.12.2016].
<http://www.g4d.cz/laserove-skenovani/3d-skenovani-soucastek>
- (12) *3D skenování* [online]. www.cad.cz [cit. 3.12.2016].
<https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2851-3d-skenovani.html>
- (13) *Laser scan.* [online] Příprava mapových podkladů pro mapování pro OB [cit. 10.4.2017]
Dostupné z <http://podklady.jankovic.cz/laser.html>
- (14) LACINÁ, Zuzana. *Zpracování mračna bodů laserového skenování a jeho využití v aplikacích důlního měřictví* [online] Diplomová práce, ZČU v Plzni [cit. 11.4.2017]
Dostupné z <https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/14675?locale-attribute=pl>

- (15) *3D skeny slouží i lékařům* [online]. Zdravotnictví a medicína (odborný měsíčník), 2012 [cit. 2.12.2016].
<http://zdravi.euro.cz/clanek/mlada-fronta-zdravotnicke-noviny-zdn/3d-skeny-slouzi-i-lekarum-466037>
- (16) *Využití 3D skenování v lékařství*. [online] Skenování ve 3D [cit. 2.7.2017]
Dostupné z <http://www.skenovani3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/lekarstvi/>
- (17) *Healthcare 3D laser scanning applications*. [online] Precision Point (poskytují 3D laserové technologie) [cit. 2.12.2016]
Dostupné z <http://precisionpointinc.com/industry-expertise/healthcare-3d-laser-scanning-applications/>
- (18) *The future of footwear and orthoses is here. Now what?* [online] Lower Extremity Review, 2015 [3.12.2016]
Dostupné z <http://lermagazine.com/special-section/conference-coverage/the-future-of-footwear-and-orthoses-is-here-now-what>
- (19) *Lupa už nestačí – místo činu se dnes zkoumá 3D skenerem* [online]. PRIMA BILAVČÍK s.r.o. [cit. 2.12.2016].
<http://www.merici-pristroje.cz/novinky/detail/lupa-uz-nestaci-misto-cinu-se-dnes-zkouma-3d-skenerem.htm>
- (20) ŠMIRAUS, Michal. *Prostorový laserový skener místa činu, jeho možnosti a porovnání s klasickými metodami kriminalistiky* [online] diplomová práce 2010 [cit. 2.12.2016]
Dostupné z http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11940/%C5%A1miraus_2010_dp.pdf?sequence=1
- (21) *Laser 3D Scanning Technology Widely Used for Military Defense Contract Inspection* [online], CMM Quarterly, 2009 [cit. 3.12.2016].
<http://cmmquarterly.blogspot.cz/2009/06/laser-3d-scanning-technology-widely.html>
- (22) *Military Applications of mantis Vision 3d Scan Solutions*. [online] Youtube, kanál: Mantis Vision Professional Solutions, video, 2013 [3.12.2016]
Dostupné z https://www.youtube.com/watch?v=5h1l_4akhTM
- (23) *Informační model budovy*. [online] Wikipedia.org [10.4.2017]
Dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/Informa%C4%8Dn%C3%AD_model_budovy
- (24) REX D., STOLI S. *Applications of 3D Laser Scanning in a Production Environment*, [online]. Master's thesis in Production Engineering, Chalmers University of Technology in Gothenburg, Sweden, 2014 [8.1.2017].
Dostupné z <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/202372/202372.pdf>
- (25) *Using Point Cloud Files in Project*. [online] Revit support
Dostupné z <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Revit/files/GUID-D179BB6C-5528-498F-9413-00237092C2FA-htm.html>
- (26) LiDAR Magazine (Vol 5 – No 7) [online]. Spatial Media LLC, 2015 [cit. 7.1.2017].
Dostupné z http://www.lidarmag.com/PDF/LM_Vol5No7.pdf
- (27) Trimble Scan Explorer Extension. [online] Trimble.com [14.5.2017]
<http://infogeospatial.trimble.com/Trimble-Scan-Explorer-SketchUp-Extension.html>
- (28) Gefos a. s. – www stránky divize s obchodním zastoupením pro Leica Geosystems AG [online]
<http://www.gefos-leica.cz/cz/indexl.php>

- (29) STRAPEK, Martin. *Modelování výroby za pomoci 3D laserscanningu* [online]. Diplomová práce. ZČU v Plzni, Fakulta strojní, 2016 [cit. 22.10.2016].
Dostupné z portálu ZČU.
- (30) HELD, John. *Point clouds in Revit*, 2016 [online], článek na stránkách Russell & Yelland Architects [cit. 10.2.2017]
Dostupné z <http://www.rusyel.com.au/point-clouds-in-revit>
- (31) BREJCHA, Marcel. *Produkty laserového skenování jako zdroj dat pro tvorbu digitálních modelů terénu*. [online] Datasystem s.r.o., 2013 [cit. 20.11.2016]
Dostupné z <http://www.datasystem.cz/produkty-laseroveho-skenovani-jako-zdroj-dat-s-131-m-8.html>
- (32) FIŠEROVÁ, Věra. *Laserové skenování. Ústí nad Labem: Centrum pro dokumentaci a digitalizaci kulturního dědictví, Filozofická fakulta Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012. Acta Universitatis Purkynianae, Facultatis Philosophicae. ISBN 978-80-7414-458-5.*
- (33) ŠTRONER, Martin. *Skenování – trocha teorie* [online]. Přednáška. ČVUT v Praze, Fakulta stavební [cit. 2016]
Dostupné z <http://slideplayer.cz/slide/1908538/>
- (34) HRÁDKOVÁ, Monika. *Zpracování mračna bodů pomocí softwaru RiSCAN PRO* [online], ZČU v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, [cit. 5.12.2016]
Dostupné z http://old.gis.zcu.cz/studium/agi/referaty/2008/Hradkova_ZpracovaniMracnaBodu/
- (35) *Proven Workflows (Creating a BIM Deliverable from a Point Cloud)* [online]. Prezentace. IMAGINiT technologies [online], [cit. 10.1.2017]
Dostupné z <http://www.spar3d.com/wp-content/uploads/woocommerce/uploads/2014/10/IMAGINiT-Proven-Workflows-Creating-a-BIM-Deliverable-Handout.pdf>
- (36) ZÁVODNÍK, Petr. *Scan to BIM – jednodušší přístup k výstupům z laser scanningu* [online]. Autodesk Club, [cit. 21. 11. 2016]
<http://autodeskclub.cz/clanek/5454-scan-to-bim-jednodussi-pristup-k-vystupum-z-laser-scanningu/>
- (37) IMAGINiT Technologies, *Scan-to-BIM 2013-2016* [online], videoprůvodce na portálu You Tube
Seznam videí dostupný z
https://www.youtube.com/user/imaginitech/playlists?sort=dd&shelf_id=2&view=50
- (38) Příručka 3D Reshaper [online]
http://www.3dreshaper.com/images/brochures/BeginnersGuide_Surveying_EN.pdf
- (39) *Laserové skenování neboli laserscanning*. [online] CAD.cz [cit. 19.2.2017]
<https://www.cad.cz/gis/80-gis/1518-laserove-skenovani-neboli-laserscanning.html>
- (40) *3D skener HIMALAYA* [online]. PRIMA BILAVČÍK s.r.o. [cit. 3.12.2016]
<http://www.merici-pristroje.cz/novinky/detail/3d-skener-himalaya-mobilni-a-zaroven-presny-pomocnik-pro-3d-skenovani-za-rozumnou-cenu.htm>
- (41) NOVOTNÁ, Helena. *Základy BIM – Revit Architecture, seznamování s programem* [cit. 8.12.2016].
http://www.fce.vutbr.cz/studium/materialy/BIM/Revit_Novotna.pdf
- (42) NOVOTNÁ, Helena. *Základy BIM – Revit Architecture, pokročilé kapitoly* [cit. 27.2.2017]
http://www.fce.vutbr.cz/studium/materialy/BIM/RevitII_Novotna.pdf
- (43) PLURALSIGHT (Unlimited Online Developer, IT and Creative Training), videa od autora Dejan Skenderovic, [cit. 10. 2. 2017]
<https://app.pluralsight.com>

(44) *From Point Cloud to BIM*. [online] AECMAGAZINE, 2015 [7.12.2016]
Dostupné z <http://aecmag.com/59-features/829-from-point-cloud-to-bim>

Zdroje obrázků

[1] *Science Behind 3D Vision. Depth Biomechanics* (Centre for Sports Engineering Research, Sheffield Hallam University), [cit. 24.4.2017]

Dostupné z <http://www.depthbiomechanics.co.uk/?p=102>

[2] *3D phase-shifting fringe projection system on the basis of a tailored free-form mirror*. OSA Publishing, [cit. 13.2.2017]

Dostupné z

http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/data/journals/optice/24850/oe_52_2_023001_f005.png

[3] *3D laserové skenování – teorie*. Učební text ČVUT, Laboratoř fotogrammetrie [cit. 2.3.2017]

<http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/vvt/s1/laserteorie3d.pdf>

[4] Direct Industry [cit. 22.5.2017]

<http://www.directindustry.com/prod/leica-geosystems/product-14324-1632656.html>

[5] New Leica ScanStation C5: Scalable, Entry-level Laser Scanner. Leica Press Releases. [cit. 22.5.2017]

http://hds.leica-geosystems.com/en/Press-Releases_5604.htm?id=3146

[6] Regionální technologický institut [11.5.2017]

Dostupné z: www.rti.zcu.cz