



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra geomatiky**

**Usedlost Trstěnice č.p. 2 (Litomyšl)
tvorba 3D modelu z dat laserového skenování**

**Homestead Trstěnice No. 2 (Litomyšl)
Creating of 3D model from laser scanning data**

Bakalářská práce

Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie kartografie a geoinformatika

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Karolína Nesrstová

Praha 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Nesrstová</u>	Jméno: <u>Karolína</u>	Osobní číslo: <u>423988</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra geomatiky</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie a kartografie</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Usedlost Trstěnice č.p. 2 (Litomyšl) - tvorba 3D modelu z dat laserového skenování

Název bakalářské práce anglicky: Homestead Trstěnice No. 2 (Litomyšl) - creating of 3D model from laser scanning data

Pokyny pro vypracování:

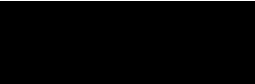
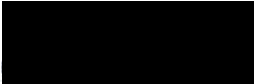
- ve spolupráci se zadavatelem proved'te prohlídku dříve pořízených měřických dat pro objekt zájmu. Definujte typ a parametry výstupů projektu,
- navrhnete vhodné technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proved'te testování různých postupů převodu dat laserového skenování do podoby vektorového 3D modelu,
- zpracujte poskytnutá data do podoby výstupů,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.

Seznam doporučené literatury:

Fláskal, Lubomír - Zhotovení měřické dokumentace výměnku vesnické usedlosti v obci Čistá čp. 97 (Svitavy). diplomová práce; Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2006

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

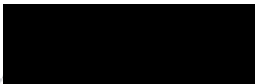
Datum zadání bakalářské práce: 22. února 2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 22. května 2016

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

22. 2. 2016 

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala sama pouze s pomocí vedoucího práce Ing. Jindřichem Hodačem, Ph.D. a s odbornými konzultacemi se zadavateli práce týkající se zájmového objektu a způsobu zpracování obdržených dat.

Dále prohlašuji, že veškeré použité podklady jsou uvedeny v seznamu literatury na konci bakalářské práce.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis



Poděkování

Ráda bych poděkovala především vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, vstřícný přístup a čas, který mi věnoval během zpracování práce. Dále děkuji paní Ing. Kociánové a dalším zaměstnancům z firmy Gefos za poskytnuté rady, prostředky a čas, kterými mi byli nápomocni při tvorbě 3D modelu. V neposlední řadě děkuji architektům z Institutu lidového kulturního dědictví za poskytnutou kresebnou dokumentaci a fotodokumentaci zájmového objektu.



Abstrakt

Předmětem této bakalářské bylo vyhotovení vektorového 3D modelu roubené hospodářské usedlosti č. p. 2 v obci Trstěnice u Litomyšle. Tato práce by měla být nápomocna při snaze o zachování lidového kulturního dědictví, lidového stavitelství a kultury a ručního zemědělství. Použitý způsob zpracování dat laserového skenování není v současné době příliš rozšířený, proto byla práce doplněna zhodnocením metod, různými postřehy a také problémy a zaváháními při zpracování.

Klíčová slova

Roubená usedlost, laserové skenování, trám, rekonstrukce, bodové mračno, 3D model

Abstract

The main subject of this thesis was to create vector 3D model of timbered homestead no. 2 in Trstěnice. This documentation should be assisted in the effort to preserve the folk cultural heritage, folk architecture and culture and hand agriculture. Used method of processing laser scanning data is not currently too widespread, so thesis was supplemented by evaluation methods, personal perceptions and problems and hesitations during processing.

Keywords

Timbered homestead, laser scanning, beam, reconstruction, point cloud, 3D model



Obsah

1. Úvod	8
2. Projekt a zájmová oblast.....	9
2.1. Seznámení s projektem.....	9
2.2. Seznámení s objektem.....	9
3. Vstupní data a použité přístroje	12
3.1. Měřená data.....	12
3.2. Sběr dat v terénu – alternativy.....	14
3.2.1. Geodetické zaměření	14
3.2.2. Fotogrammetrické zaměření	15
3.2.3. Kombinace zmíněných metod	15
4. Použitý software a jeho funkce	16
4.1. Použitá verze software	16
4.2. Možné alternativy.....	17
4.3. Výhody a nevýhody zvoleného software	17
4.3.1. Výhody software MicroStation	17
4.3.2. Nevýhody software Microstation.....	18
5. Postup zpracování v CAD systému.....	20
5.1. Import dat.....	20
5.2. Tvorba modelu.....	20
5.2.1. Vrstvy.....	20
5.2.2. Pomocné souřadnicové systémy.....	21
5.2.3. Tvorba trámů	22
5.2.4. Modelování zdí	25
5.2.5. Tvorba otvorů	25
5.3. Možnosti vizualizace.....	27
6. Zhodnocení použité technologie.....	29
6.1. Časová náročnost zpracování.....	29
6.2. Posouzení přesnosti modelu.....	31
6.2.1. Vliv vstupních dat na výsledný model.....	31
6.2.2. Míra generalizace.....	31



7. Závěr	34
Seznam obrázků	36
Seznam tabulek.....	37
Seznam příloh	37
Obsah CD.....	37
Zdroje informací a použitá literatura.....	38



1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je vyhotovení 3D modelu z dat laserového skenování za účelem vizualizace, prezentace a zpřístupnění lidového stavitelství veřejnosti. Zájmovým objektem je roubená usedlost č. p. 2 v obci Trstěnice u Litomyšle. Celá práce je součástí projektu, který se věnuje záchraně a prezentaci lidového stavitelství, čemuž bylo celé zpracování přizpůsobeno. Veškeré výstupy jsou podmíněny požadavkům zadavatele a případné problémy budou konzultovány.

Měřenými daty je bodové mračno, které bylo získáno pomocí laserového skenování a bylo zajištěno firmou Gefos. V této práci jsou také nastíněny možné alternativy sběru dat.

Dále je uveden a posouzen použitý software včetně možných alternativ z hlediska požadovaných výstupů, jejich výhod i nevýhod. Volba softwaru byla konzultována se zadavatelem a na základě požadovaných výstupů a mých možností byl zvolen.

Nejrozsáhlejší a nejdůležitější částí této práce je popis samotných prací v CAD systému a způsob tvorby jednotlivých prvků objektu. Hlavním záměrem je názorně ukázat možnosti zpracování takto získaných dat ve zvoleném softwaru. Práce je zaměřena především na roubené prvky objektu.

Součástí je také shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a jejich přesnosti, která se odvíjí od použitých metod sběru dat i zvolené technologie zpracování. Na závěr bude provedena úvaha o vypovídající schopnosti v kontextu dalšího využití zadavatelem.



2. Projekt a zájmová oblast

V této kapitola je popsáno, v rámci jakého projektu celá práce probíhá a jak vypadá zájmová oblast a objekt.

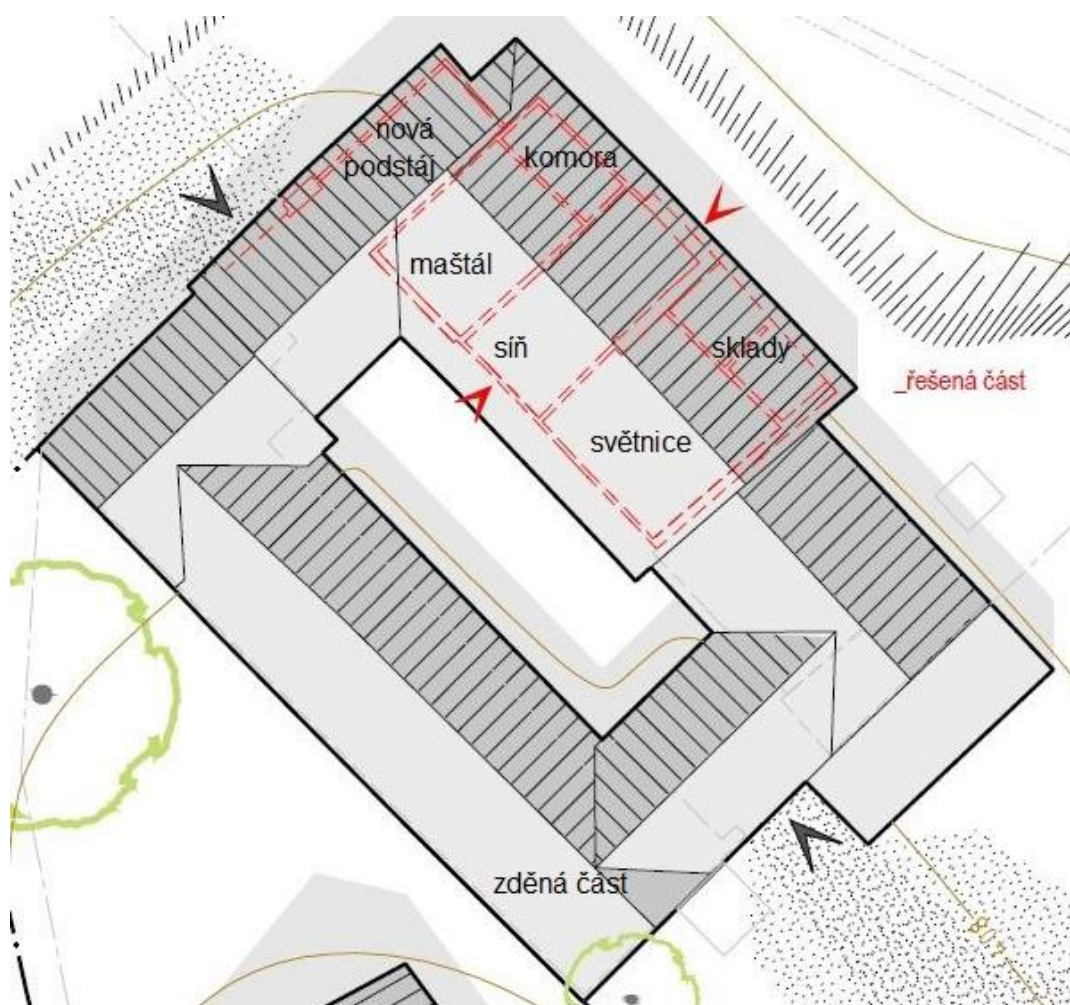
2.1. Seznámení s projektem

Bakalářská práce vznikla za účelem tvorby dokumentace jednoho objektu v rámci projektu Záchrany a prezentace lidového kulturního dědictví východních Čech [1]. Cílem tohoto projektu je poukázat na podstatu lidového kulturního dědictví a na jeho hodnoty a funkce, které plnilo v minulosti a které plní v dnešní době. Je považováno za zásadní, aby se tento odkaz dostal do povědomí širokého okolí a to vzájemným propojením lidového stavitelství, zemědělských prací, řemesel, tradičních způsobů obživy ale i lidových tradic a zvyků.

Hlavní náplní práce členů Institutu lidového kulturního dědictví [2] je mapování a dokumentace lidové architektury a sledování jejich proměn v čase. Dále se také zaměřují na tradiční zemědělství a lidová řemesla a snaží se o jejich udržení, zpřístupnění veřejnosti a posílení vědomí o regionální lidové kultuře. Nedílnou součástí je organizace seminářů, provoz vzdělávacích středisek i publikační činnost zaměřená na lidovou kulturu a tradiční řemesla.

2.2. Seznámení s objektem

Roubená hospodářská usedlost „U Vavrušků“ [3] se nachází v severovýchodní části obce Trstěnice u Litomyšle. Celá stavba je tvořena starší roubenou částí a mladší zděnou obytnou částí, které spolu obkreslují hranice obdélníkového dvora.



Obrázek 1: Náskres situace, autor: Bc. Richard Ott

Nejstarší zaznamenanou částí je dnes již zaniklá podstáj, která se nacházela v jihozápadní části objektu u starých chlévů, a na níž byl nalezen letopočet 1597 zachycený Aloisem Jiráskem. Tento rok potvrzuje také dendrochronologické datování trámů, které byly druhotně použity na stavbu severozápadní části traktu. Nejstarší dochovanou částí je pravděpodobně světnice, jejíž stáří se datuje do poloviny 18. století. Spolu se zbytkem roubené konstrukce byla v roce 1827 zpevněna podstávkou. V současné době je ve světnici propadlý strop a ve skladech strop chybí. V roce 1913 byly k objektu v jihovýchodní části přistavěny chlévy. Nejstarší zástavba datovaná do konce 16. století zanikla v roce 1930, kdy byla nahrazena patrovým zděným domem, chlévy a novou podstájí.



Obrázek 2: Pohled na roubenou část usedlosti, autor: J. Kmošek

Již od roku 1994 je především roubená část v ohroženém stavu, usedlost je nevyužívaná a chátrá. Objekt je v současné době zapsán v Ústředním seznamu kulturních památek.



3. Vstupní data a použité přístroje

Kapitola pojednává o měřených datech a o tom, jakou technologií a jakými přístroji tato data byla získána. Veškerá fakta o přístrojích a průběhu měření byla převzata od odborníků z firmy Gefos, která měření pro projekt zajistila.

3.1. Měřená data

Podkladovými daty pro bakalářskou práci bylo naměřené bodové mračno, které bylo získáno 3D skenováním stavebního objektu. Data byla velmi objemná, proto pro práci s nimi byla použita zředěná verze, která obsahuje na jednu místnost cca 7 milionů bodů.

Laserové skenování se v současné době rozvíjí především za účelem digitalizace stavebních objektů. Rostoucí zájem o tuto metodu je zapříčiněn především vysokou efektivitou a rychlostí snímání laserových přístrojů. Nevýhodou jsou velké náklady na náklady a software.

Pro skenování byl použit stacionární laserový skener ScanStation P30/P40 od společnosti Leica Geosystems, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 1: Parametry použitého laserového skeneru

Parametr	Leica ScanStation P30/40	
Výrobce	Leica Geosystems	
Přesnost měření	úhlová přesnost	8" (horizontální i vertikální)
	3D přesnost	3 mm/50 m
Rozlišení	1,2 mm + 10 ppm	
Světelný zdroj	laser I. třídy	
Rychlost snímání	1 milion bodů/s	
Rozsah snímání	0,4 m - 270 m	
Zorné pole	horizontální	360°
	vertikální	270°



Textura	snímání textury	ano
	rozlišení textury	4 mp 700 mp (panoramaticky)
Napájení	24 V	
Baterie	interní (2 baterie)	výdrž 5,5 h
	externí	výdrž 7,5 h
Teploty	pracovní	-20°C až +50°C
	skladovací	-40°C až +70°C
Rozměry	238 mm × 358 mm × 395 mm	
Váha	12,25 kg + 0,4 kg interní baterie	

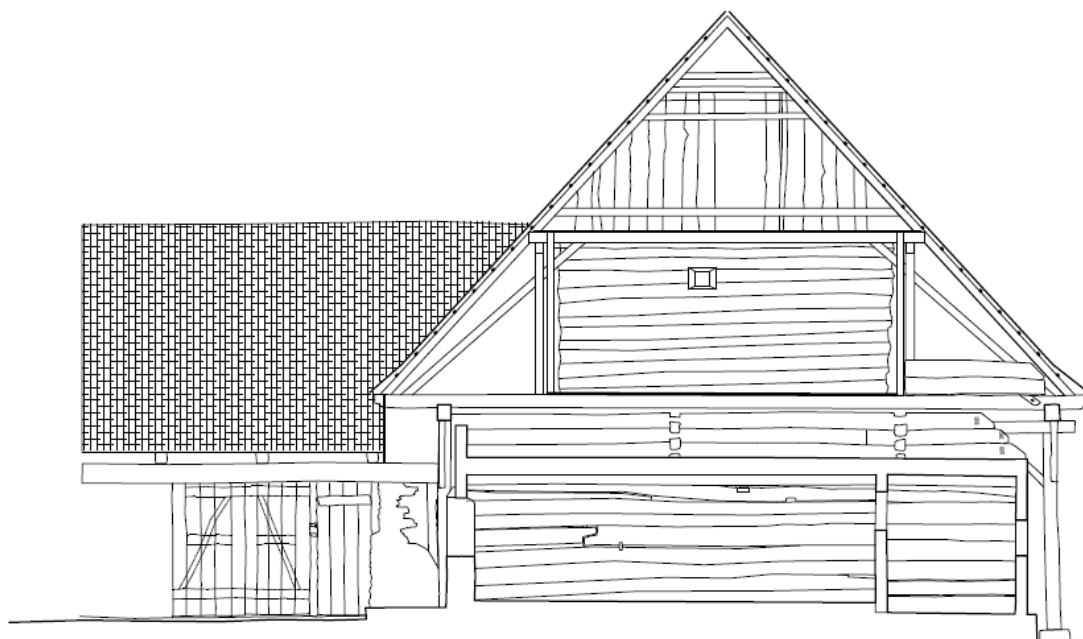
Čerpáno z [4]

Pro tvorbu 3D bodového mračna byly vhodně zvoleny stanoviška tak, aby byl vytvořen kompletní model. Celkem bylo měřeno z 27 stanovišek a měření probíhalo přibližně po dobu 33 hodin včetně příprav sítě referenčních bodů pro skenování.

Pro účely tohoto projektu byla snímána i informace o barvě skenovaného povrchu pro lepší přehlednost a komplexnější informaci výsledného prostorového modelu.

Následné zpracování dat do podoby mračna bodů bylo provedeno pomocí systému Leica Gyosystems. Tento systém umožňuje prohlížení obarveného mračna bodů prakticky okamžitě pomocí softwarů Cyclone nebo TruView.

Pomocnými daty pro bakalářskou práci byly řezy, pohledy a půdorysy vytvořené architekty z Institutu lidového kulturního dědictví [2], které byly vytvořeny vektorizací řezů prostorových modelů v softwaru AutoCAD s nadstavbou Leica CloudWorx.



Obrázek 3: Podélný řez, autor: Bc. Richard Ott

3.2. Sběr dat v terénu – alternativy

Pro účely tvorby 3D modelu mohou být použity mimo laserové skenování i jiné metody zaměření bodů. V této kapitole jsou uvedeny některé z nejpoužívanějších a nejvhodnějších metod z oborů geodézie a fotogrammetrie.

3.2.1. Geodetické zaměření

Jednou z alternativních možností pro měření stavebního objektu za účelem tvorby 3D modelu by mohlo být geodetické zaměření totální stanicí metodou podrobného měření – prostorová polární metoda.

Měřická síť by mohla být tvořena uzavřeným polygonovým pořadem s rozmístěním stanovisek okolo usedlosti a s připojením volných polygonových pořadů dovnitř objektu. Pořady by mohly být doplněny rajóny do vybraných místností.

Zmíněná metoda by v tomto případě byla časově velmi náročná (především při zaměřování průběhu a tvaru jednotlivých trámů za účelem následné tvorby jejich modelů) a v některých částech prakticky nerealizovatelná. Například



v místnosti s propadlým stropem by bylo velmi obtížné zaměřit veškeré komponenty a detaily.

3.2.2. Fotogrammetrické zaměření

Vhodnou metodou by mohla být průseková fotogrammetrie s případným doplněním o stereodvojice pro vybrané části objektu. Výhodou této metody by bylo snadné (exteriér) a rychlé zaměření, resp. snímkování stavby.

Při průsekové fotogrammetrii bychom měli dbát na nastavení fotoaparátu. Sada snímků by měla být ideálně pořízena se stejným nastavením objektivu, tzn. nepoužívat zoom, snímkování provádět z přibližně neměnné vzdálenosti, neměnit zaostření. Dále by měl být kladen důraz na dostatečné překrytí pořizovaných snímků tak, aby byl dostatečný počet bodů identifikovatelných na více snímcích. Mohou být použity přirozeně signalizované body na objektu a ideálně také body uměle signalizované, což by mohlo přispět ke zpřesnění této metody při jejím vyhodnocování.

Použití této metody by bylo špatně aplikovatelné ve vnitřních prostorech stavby, proto tato metoda není za účelem vyhotovení 3D modelu se zachycením vnitřní i vnější situace vhodná.

Takto získaná data by mohla být zpracována pomocí programu PhotoModeler. Nebylo by však možné vyhotovit jeden celistvý model, protože na zájmovou roubenou část navazuje z obou stran zděná stavba, tudíž by nebylo možné provést snímkování ze všech stran tak, aby na sebe snímky plynule navazovaly. Přední roubená část a zadní část orientovaná do dvora by musely být vyhotoveny zvlášť.

3.2.3. Kombinace zmíněných metod

Jednotlivě by metody geodetického nebo fotogrammetrického zaměření nebyly pro požadované účely příliš vhodné, proto by bylo lepší použít kombinaci obou metod. Před samotným měřením by byl proveden pečlivý průzkum oblasti a zájmového objektu a bylo by rozhodnuto, pro které části by byla použita která metoda.

4. Použitý software a jeho funkce

Tato kapitola je věnována použitému softwaru MicroStation a možným alternativám, které se v rámci zpracování dat laserového skenování nabízí.

4.1. Použitá verze software

Pro vyhotovení 3D modelu byl použit CAD systém MicroStation, který umožňuje práci ve 2D i ve 3D. Pro práci s bodovým mračnem bylo nutné použít verzi MicroStation V8i SELECTseries 2 nebo vyšší SS3, které mají na rozdíl od základních verzí V8 a V8i také nastavbu pro práci s bodovým mračnem.



Obrázek 4: Bodové mračno zobrazené pomocí software MicroStation

Bakalářská práce byla vyhotovena ve studentské verzi software MicroStation V8i SS3.

Základním formátem, se kterým MicroStation pracuje, je DGN. Novější verze jsou již schopny pracovat se standardními formáty vektorových dat DWG a DXF.

Přehled verzí programu MicroStation vyvíjeného společností Bentley Systems je dostupný z [5].



4.2. Možné alternativy

Pro vypracování 3D modelu by mohlo být využito různých CAD systémů i jiných softwarů. Výběr systému závisí na použité technologii sběru dat a požadovaném výstupu. Hlavním faktorem pro výběr programu bylo především bodové mračno, jež bylo výstupem z laserového skenování.

a) Cyclone

Jedním z rozšířených softwarů pro zpracování 3D bodového mračna v geodézii je Cyclone [6] od firmy Leica Geosystems. Tento systém poskytuje širokou nabídku softwarových modulů pro různé potřeby.

b) AutoCAD

Práci s mračnem bodů, jeho zpracování a vizualizaci nabízí i různé verze programu AutoCAD [7] vyvíjeného společností Autodesk. Bodové mračno je tak možno připojit ve verzi využívané například pro architektonické, elektrotechnické nebo strojírenské účely. Pro načtení bodů je nutné naměřené mračno nejprve konvertovat pomocí Autodesk ReCap do souborů ve formátu RCS a RCP, které mohou být následně připojeny k výkresu.


c) SketchUp

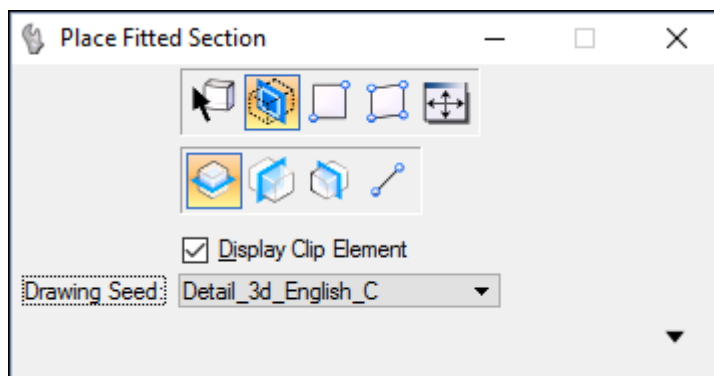
V neposlední řadě by mohl být použit software SketchUp vyvíjený společností Trimble. Výhodou jsou vestavěné funkce, které umožňují intuitivní modelování budov, neboť tento software byl navržen a vyvíjen především pro architekty.

4.3. Výhody a nevýhody zvoleného software

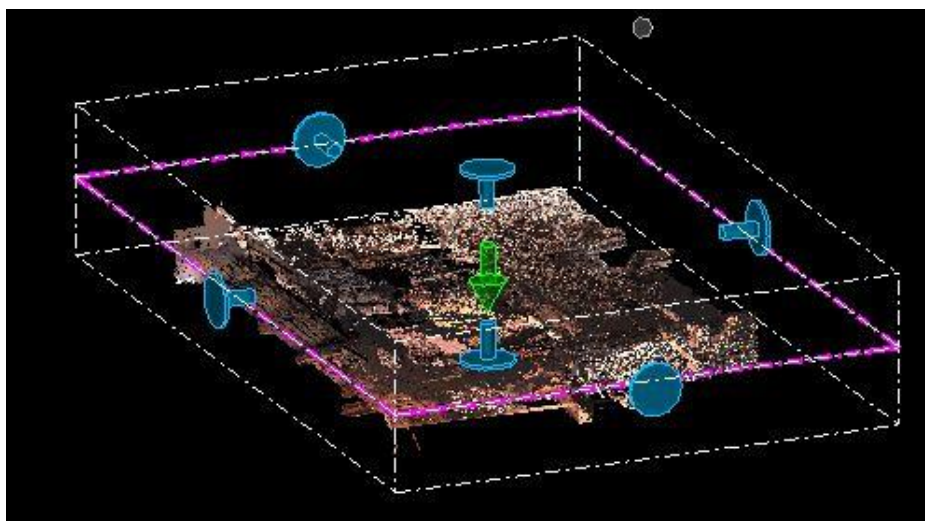
Posouzení použitého softwaru a jeho srovnání s možnými alternativami je poměrně subjektivní. V následujících příkladech jsou uvedeny některé funkce, které mi práci ve zvoleném programu zjednodušily, a dále je zmíněno několik poznatků, které by potenciálně mohly vést ke zvážení tvorby modelu v jiných systémech.

4.3.1. Výhody software MicroStation

- a) Práce s programem MicroStation byla zjednodušena díky využití ořezávacího nástroje. Ten byl vyvolán pomocí ikony „Clip volume“ .



Obrázek 5: Tabulka nástroje pro ořezávání pohledu okna



Obrázek 6: Využití ořezávacího nástroje

- b) Další výhodou byla možnost použití místních souřadnicových systémů, což vedlo k postupné automatizaci při tvorbě modelů trámů.

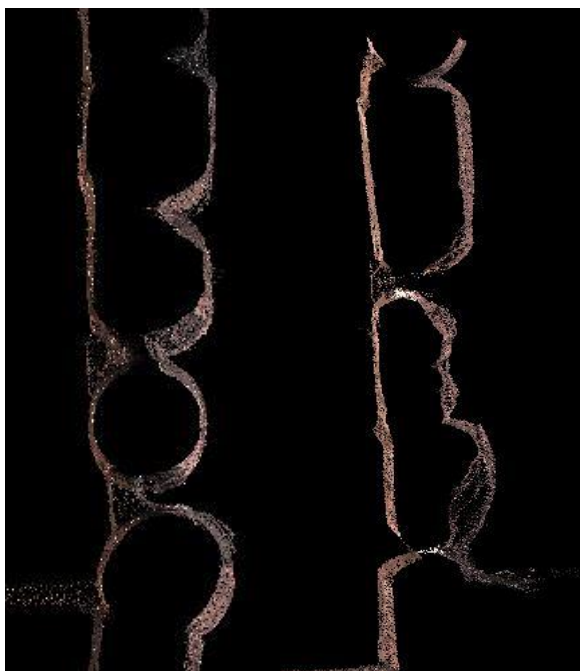
4.3.2. Nevýhody software Microstation

- a) Například software SketchUp nabízí více architektonických funkcí, které by při tvorbě modelu byly využity, a tím by práce byla urychlena.
- b) Nevýhodou zvoleného programu MicroStation ve srovnání se systémem Cyclone byla přehlednost a orientace v bodovém mračnu. V některých částech stavby byla orientace v mračnu obtížná, protože

mezi některými trámy byl použit výplňový materiál, což vedlo ke zkreslení tvaru trámů v jejich příčném řezu.



Obrázek 7: Zed' tvořená trámy s použitím výplňového materiálu, autor: J. Kmošek



Obrázek 8: Srovnání zřetelného (vlevo) a hůře identifikovatelného profilu (vpravo)



5. Postup zpracování v CAD systému

Na následujících řádcích je popsán postup tvorby modelu v software MicroStation. Jednotlivé podkapitoly se věnují částem problematiky zpracování dat laserového skenování od importu dat až po výslednou vizualizaci modelu.

5.1. Import dat

Nejprve musel být do MicroStationu připojen POD soubor, který byl vyexportován pomocí programu Cyclone. Připojení bylo provedeno pomocí funkce „Attach“ v nabídce nástroje „Point Clouds“. Tím bylo bodové mračno automaticky načteno do aktuální vrstvy, která byla předem vytvořena a mračno tak bylo v samostatné vrstvě.

5.2. Tvorba modelu

5.2.1. Vrstvy

Obecně řečeno byl model do vrstev rozčleněn po jednotlivých zdech, do samostatné vrstvy byl vložen i strop tak, aby bylo možné zobrazení jednotlivých zdí vypínat a zapínat dle potřeby.

V některých případech bylo pro jednu zeď použito více vrstev, což napomáhalo ke zpřehlednění a lepší orientaci v liniových prvcích, jimiž byly tvořeny trámy, které byly následně modifikovány na tělesa. Takto rozdělená zeď do vrstev byla na závěr převedena do jedné vrstvy, aby se s modelem dalo ve formě výstupu snadno a přehledně manipulovat.

Volba vrstev tedy byla podmíněna potřebám tak, aby byla tvorba modelu co nejvíce usnadněna. Vrstvy nebyly předem stanoveny, jejich počet byl postupně navyšován podle potřeby a využití.

Jak již bylo výše zmíněno, bodové mračno bylo při importu dat načteno do samostatné vrstvy, do níž nebyly při tvorbě modelu vkládány žádné prvky.

Přehled použitých vrstev v softwaru Microstation je uveden v tabulce 2.



Tabulka 2: Přehled vrstev

Data	Umístění	Název vrstvy	Popis vrstvy
Vstupní data	1. místnost	mracno1	Části mračna zobrazující jednotlivé místnosti
	2. místnost	mracno2	
Vektorizovaná data	1. místnost	m1_roubena1	Zdi tvořené trámy
		m1_roubena2	
		m1_strop	Nosné stropní trámy
		m1_strop_tramy	Stropní trámy
		m1_zdena1	Zděné zdi
		m1_zdena2	
		m1_zleby	Koryta
	2. místnost	m2_roubena1	Zdi tvořené trámy
		m2_roubena2	
		m2_roubena3	
		m2_strop1	Nosné stropní trámy
		m2_strop2	Generalizované stropní trámy
		m2_zdena1	Zděná zeď
		m2_zdena2	
	Prvky v obou místnostech	m12_otvory	Okna, dveře
		m12_podlaha	Podlaha
		m12_tramy	Jednotlivé trámy/sloupky

5.2.2. Pomocné souřadnicové systémy

Pro snadnější orientaci v prostoru byly při tvorbě modelu využívány místní souřadnicové systémy. Díky nim uživatel může snadno ovlivnit, v jaké výšce se bude požadovaná kresba tvořit.



... ikona pro volbu souřadnicových systémů


Při volbě nového souřadnicového systému bylo nejprve zhodnoceno, do kterých rovin budou vloženy osy X, Y a Z, podle toho byl zvolen pohled. Micro-Station nabízí široký výběr předvolených pohledů (např. rotate view, top view, front view).



... ToolBox pro volbu pohledu

Když byl zvolen například „Top view“ – pohled shora, osy X a Y byly vloženy do horizontální roviny a osa Z tedy byla svisle vůči objektu. Takto vytvořený souřadnicový systém byl využíván pro tvorbu svislých trámů, resp. sloupů. Byla zjištěna výška řezu dole a nahoře konstruovaného sloupu a následně byly postupně vloženy do osy Z a nakreslen profil trámu.

Tato funkce nabízí i ukládání vytvořených souřadnicových systémů, což bylo využito pro tvorbu některých zdí. Pro jednu zeď byly uloženy 2 souřadnicové systémy, každý pro jeden konec zdi, kde byly vždy tvořeny profily trámů.

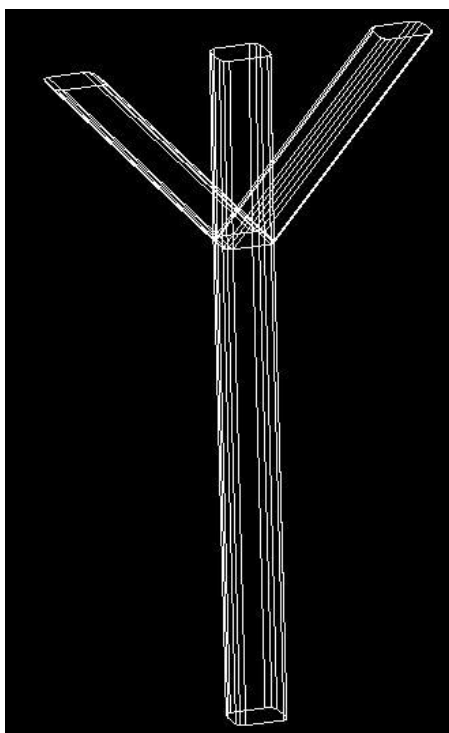
Když byly pomocné souřadnicové systémy využívány, musel být zapnutý ACS Plane (aktivní místní systém). Zapnutí je možné kontrolovat a přepínat pomocí ikony aktivních zámků,  „Active Locks“.

5.2.3. Tvorba trámů

Trámy byly tvořeny více způsoby, které byly voleny v závislosti na průběhu, tvaru a deformaci trámů. Při umístování profilů byla křivka kreslena tak, aby bylo použito co nejméně bodů a zároveň, aby se křivka co nejvěrněji přimykala skutečnosti.

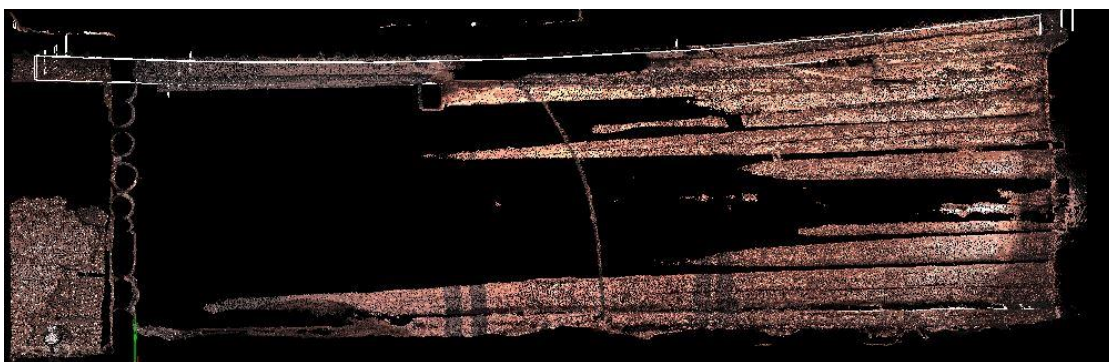
- a) Nejjednodušším způsobem byla tvorba pomocí extruze. Na jednom konci trámu byl vytvořen profil, který byl zkopírován a vložen na druhý konec trámu. Poté byla použita funkce pro tvorbu povrchu pomocí vytlačování a tím byly oba koncové profily spojeny. V nabídce, která se výběrem této funkce otevře, muselo být odškrtnuto ortogonální modelování, aby bylo možné trám protáhnout jakýmkoli směrem.

Tento postup mohl být použit pouze u trámů, jejichž průřez byl neměnný a průhyb prakticky nulový nebo zanedbatelný. Obecně lze říci, že takto byly konstruovány trámy, jejichž poškození nebylo nijak značné.



Obrázek 9: Trám vytvořený pomocí extruze

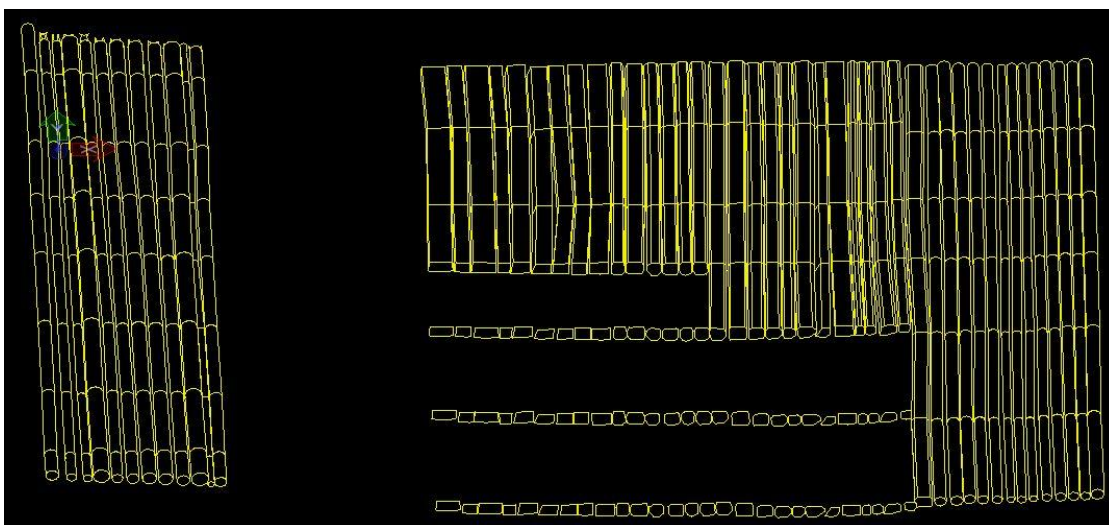
- b) Obdobného výsledku lze dosáhnout pomocí funkce „Surface by extrusion along“. Při této volbě se určuje profil a trasa, po které má být daný profil protažen. Výhodou oproti předešlému příkladu je, že tímto způsobem mohou být zkonstruovány i prohnuté trámy, když zvolená trasa byla nakreslena jako oblouk.



Obrázek 10: Pohled na roubenou zeď s vykreslením průběhu trámu pomocí volby profilu a trasy

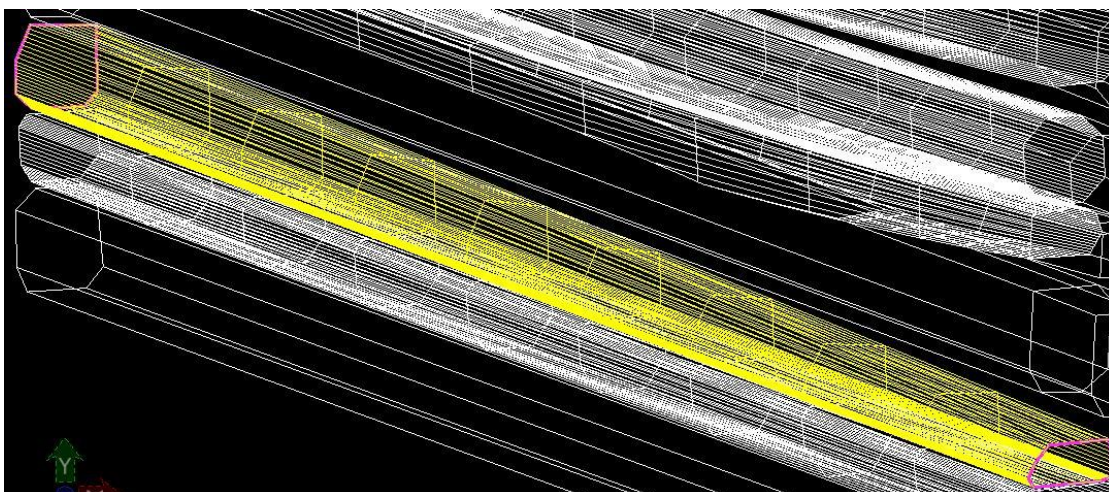


- c) Další alternativou pro prohnuté trámy bylo vytvoření profilu, který byl následně zkopírován a postupně několikrát (přibližně po 2 metrech) vkládán po délce celého trámu. Profily vytvořené tímto způsobem byly následně spojovány pomocí extruze jako v prvním případě (ad a). Tento postup byl využit například pro tvorbu stropních trámů, které jsou prohnuté s neměnným profilem.



Obrázek 11: Tvorba stropních trámů

- d) Dalším způsobem byla tvorba pomocí linií a následné vytvoření ploch. Na obou koncích trámů byly opět vytvořeny profily obdobně jako u prvního způsobu konstrukce, avšak v tomto případě nemusel být jejich tvar totožný, záleželo pouze na počtu vrcholů. Takto vytvořené profily byly spojovány liniemi po jednotlivých vrcholech. Poté byla v nabídce „Create freeform surface“ vybrána funkce „Loft surface“, pomocí níž byly vytvořeny jednotlivé plochy vždy ze dvou linií tvořící sousední hrany. Na závěr byly plochy spojeny do jednotného trámu pomocí funkce „Stitch surface“ z nabídky „Modify surface“.
- Tento postup je poměrně univerzální a dá se použít na jakýkoli tvar trámu. U prohnutých trámů nebyly profily spojovány obyčejnou linií nýbrž obloukem. Nevýhodou tohoto postupu byla časová náročnost.



Obrázek 12: Pohled na trám s různými profily na obou koncích

Porovnání časové náročnosti tvorby trámů jednotlivými postupy je uvedeno v tabulkách v kapitole 6.1.

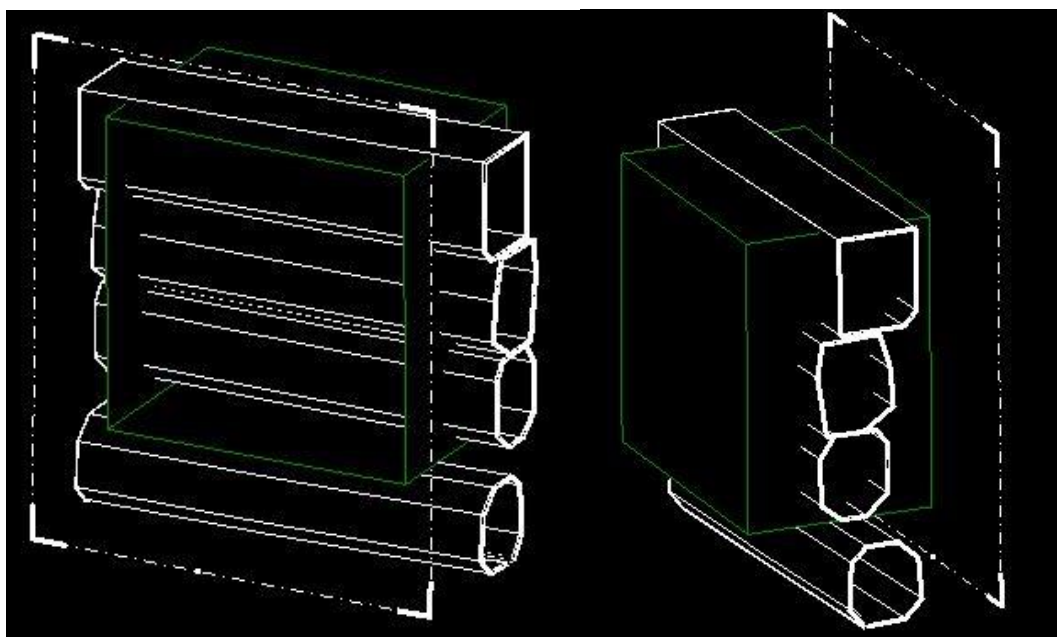
5.2.4. Modelování zdí

Zděné části objektu byly více generalizovány, proto mohla být celá zeď vymodelována jako jedno těleso.

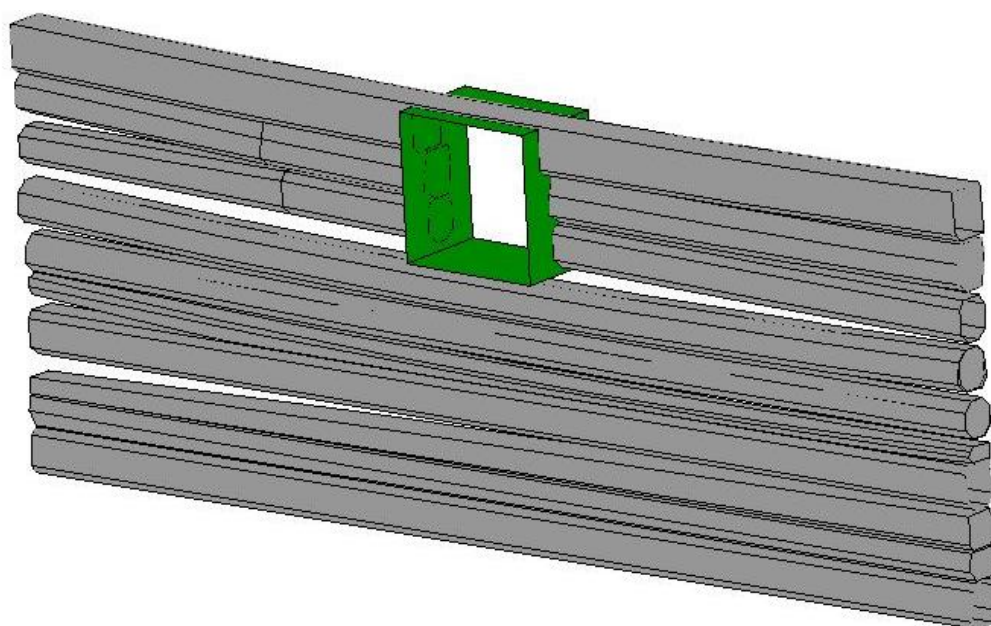
Volba použité funkce a způsob modelování zdí probíhali obdobně jako u jednotlivých trámů, mohl být například obkreslen průběh zdi nahoře a dole a následně pomocí extruze tyto profily propojeny. Nebo mohl být po metru vykreslován řez a následně všechny řezy propojeny, čímž by zakřivení zdi bylo více zřetelné.

5.2.5. Tvorba otvorů

Při tvorbě jednotlivých oken (resp. dveří) byla nejprve vytvořena zeď bez ohledu na otvory a poté byl proveden výřez. V rovině zdi byl obkreslen obvod okna, který byl vložen do dvou rovin z obou stran zdi – přední a zadní rovina. Při posunu okna musely být ostatní osy zachovány. Oba profily byly spojeny pomocí extruze, čímž bylo vytvořeno těleso, podle kterého byl následně vyřezán otvor do zdi pomocí funkce „Trim surfaces“ v toolboxu „Modify surfaces“.

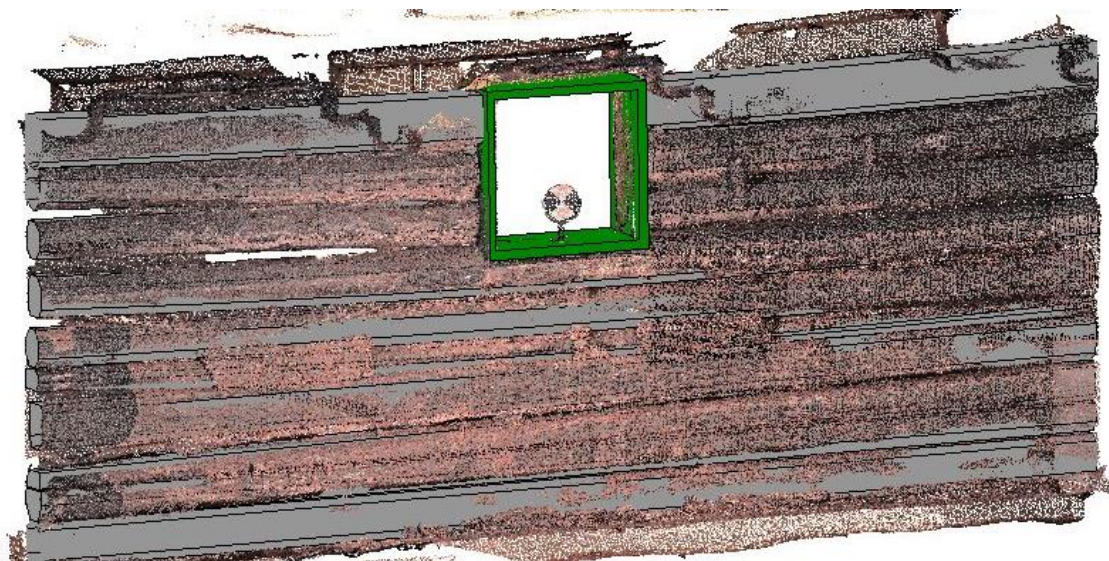


Obrázek 13: Těleso protínající zed' v místě řezu



Obrázek 14: Pohled na zed' s vyříznutým oknem

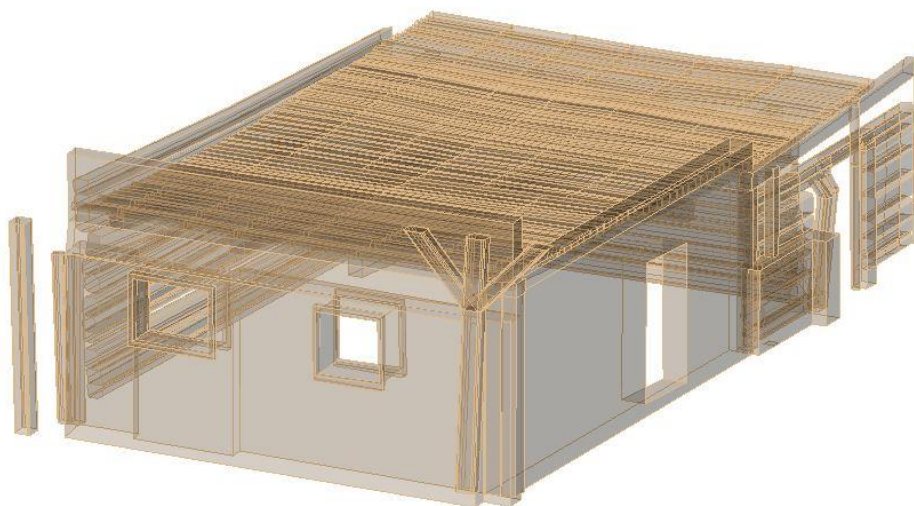
Po vyřezání bylo okno vymodelováno do vhodné formy vizualizace tak, aby nejlépe vystihovalo bodové mračno a zároveň tedy i skutečnost, což je patrné z následujícího obrázku 15.



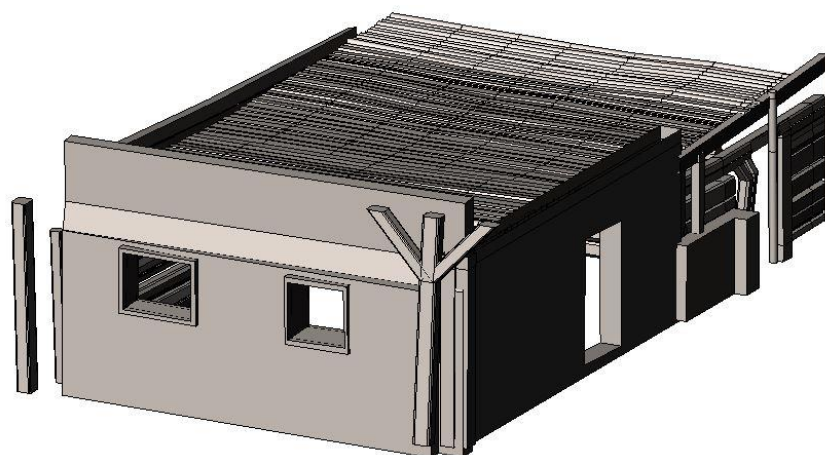
Obrázek 15: Pohled na vymodelované okno se zobrazením mračna bodů

5.3. Možnosti vizualizace

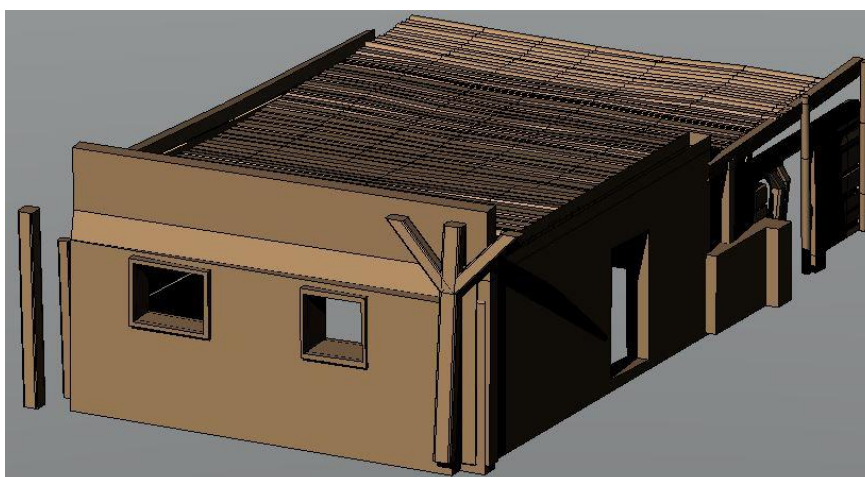
Po samotném vypracování modelu bylo nutné nastavit zobrazení displeje. Software MicroStation nabízí více stylů vizualizace, které kombinují změnu barvy pozadí a styl zobrazení vymodelových prvků. Změna stylu je umístěna pod funkcí „View attributes“ a je možné ji měnit pomocí combo boxu „Display style“. Následující obrázky demonstrují některé z dostupných stylů.



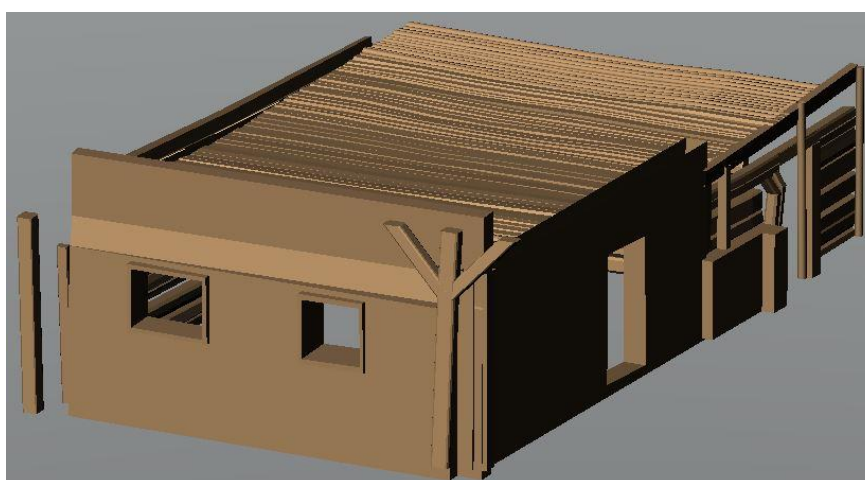
Obrázek 16: Transparentní zobrazení



Obrázek 17: Monochromatické zobrazení



Obrázek 18: Zobrazení pomocí ilustrace



Obrázek 19: Zobrazení modelu s vyhlazením těles („Smooth: Modeling“)



6. Zhodnocení použité technologie

Pro zpracování projektu byl zvolen CAD systém MicroStation (viz kap. 4). Tento systém nabízí mnoho funkcí, které napomáhaly automatizaci a zefektivnění tvorby stavebních prvků objektu. Proto je pro tento účel vhodným programem. Práce s bodovým mračnem by byla pravděpodobně přehlednější v programu Cyclone, ale z hlediska dostupnosti programu a možnostem byl zvolen software MicroStation.

V další části textu bude využitá technologie zhodnocena podle následujících kritérií – časová náročnost, přesnost výstupu. Kritéria byla volena s ohledem na průběh zpracování a byla do jisté míry ovlivněna i zkušenostmi, které byly během tvorby modelu prohlubovány a dovednosti byly zdokonalovány.

6.1. Časová náročnost zpracování

Časová náročnost je značně ovlivněna mírou generalizace, která je podmíněna požadavky zadavatele a účelem tvorby modelu. Pro vytvoření modelu objektu v rámci projektu Záchrany a prezentace lidového kulturního dědictví východních Čech [1] byl důraz kladen především na roubené prvky. Zděné části objektu byly po dohodě se zadavatelem více generalizovány.

Modelování geometrického průběhu jednotlivých trámů byla věnována největší pozornost, tudíž jejich tvorba zabrala nejvíce času. Trámy, jejichž průběh byl pravidelný bez větších deformací, byly vymodelovány za kratší dobu než složitě prohýbané a deformované trámy, jak je dokumentováno na obrázku 20. Pracnost modelování deformovaného trámu byla o 60 až 70 procent větší (vzhledem ke zvolené metodě tvorby) než u rovného trámu pravidelného tvaru, jehož řez byl na obou koncích shodný.

Trámy tvořící přibližně dvě třetiny objektu lze rozdělit z hlediska jejich deformace na několik skupin. Odhad zastoupení různě deformovaných trámů je uveden v tabulce 3, kde je dále uveden průměrný čas potřebný na vymodelování jednoho trámu.

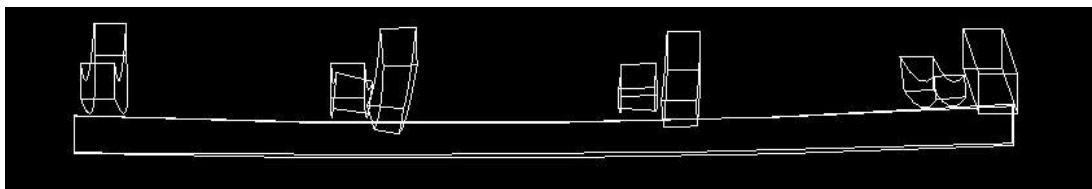
**Tabulka 3: Odhad procentuálního zastoupení trámů a průměrné časové náročnosti zpracování jednoho trámu**

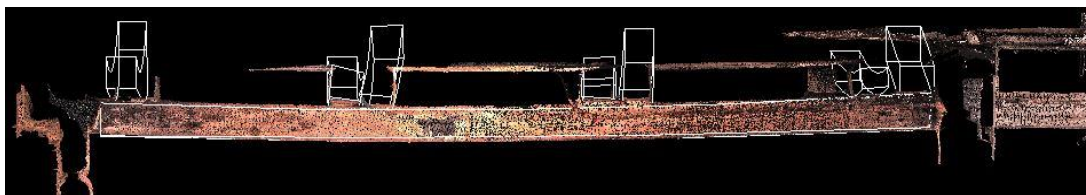
Míra deformace trámu	Zastoupení v %	Časová náročnost
Rovný trám s neměním se profilem	25	2 - 4 minuty
Rovný trám s měnícím se profilem	25	4 - 6 minut
Prohnutý trám s neměním se profilem	40	5 - 10 minut
Prohnutý trám s měnícím se profilem	10	8 a více minut

Tabulka 4: Odhad časové náročnosti jednotlivých metod postupu včetně procentuálního využití

Postup tvorby trámu		Zastoupení v %	Časová náročnost
Ad a	pomocí extruze	20	2 – 4 minuty
Ad b	profilem a trasou	35	2 – 6 minut
Ad c	extruzí po kratších úsecích	30	5 – 10 minut
Ad d	tvorbou ploch z jednotlivých linií	15	8 a více minut

Nejzachovalejší a nejméně deformované trámy se nacházely převážně u země. Stropní nosné trámy jsou značně prohnuté, což je patrné z následujících obrázků 20, 21, 22.

**Obrázek 20: Pohled na stropní trám, bodové mračno****Obrázek 21: Pohled na stropní trám, liniová kresba**



Obrázek 22: Pohled na stropní trám se zobrazením mračka i liniové kresby

Časová náročnost byla značně ovlivněna mými vlastními zkušenostmi nabytými během zpracování. Například první místnost zabrala asi o 50 procent více času než místnost druhá.

Přibližně čtvrtina času tvorby modelu byla strávena zkoumáním tvarů jednotlivých trámů vykreslených pomocí bodového mračka.

6.2. Posouzení přesnosti modelu

Přesnost výsledného modelu byla závislá především na dvou faktorech – vstupní data a míra generalizace.

6.2.1. Vliv vstupních dat na výsledný model

Prvním faktorem jsou vstupní data. Veškeré výstupy jsou podmíněny způsobem, jakým byla data získána. Jaká byla použita technologie sběru dat, použité přístroje a pomůcky.

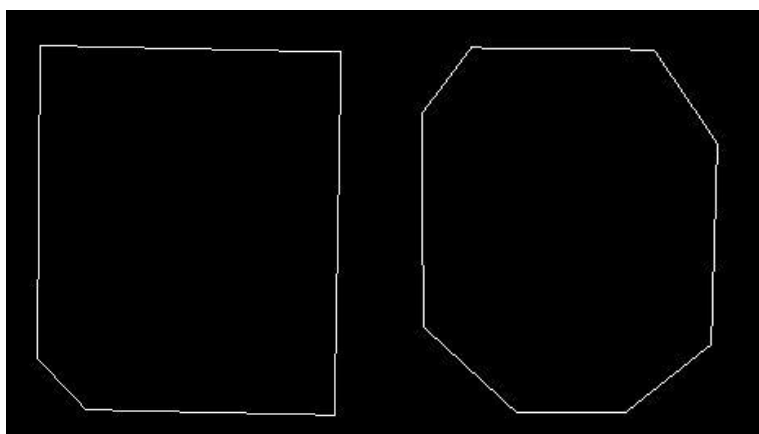
Technologie – výsledný model je ovlivněn zvolenou metodou sběru dat. Možné technologie jsou uvedeny v kapitole 3.2.

Vliv použitého přístroje – přesnost měřených dat je dána přesností použitého přístroje a pomůcek. Přesnost a parametry přístroje, kterým bylo bodové mračko skenováno, jsou uvedeny v tabulce 1 v kapitole 3.1.

6.2.2. Míra generalizace

Druhým faktorem, který byl na rozdíl od prvního ovlivnitelný, byla míra generalizace při tvorbě 3D modelu. Čím méně jsou deformace generalizovány a zanedbávány, tím roste časová náročnost tvorby modelu.

Vzhledem k tomu, že při vektorizaci nebylo povoleno dochtávání na body naměřeného mračna, přesnost byla do jisté míry ovlivněna i pečlivostí při tvorbě profilů jednotlivých trámů podle řezu bodovým mračnem. Například když profil trámu bude tvořen nepravidelným n -úhelníkem (příklady jsou zobrazeny na obrázku 23), můžeme použít třeba 5 bodů, čímž se tvar trámu zgeneralizuje více, než kdyby bylo použito 8 bodů. Pět bodů zabere méně času a od toho se odvíjí také tvorba ploch a následné spojení do jednoho tělesa, které při použití pěti bodů na profil bude obnášet vytvoření pěti ploch, kdežto z profilu tvořeného osmi body je nutno vytvořit osm ploch.



Obrázek 23: Porovnání profilů

Nejvíce byl generalizován strop ve druhé místnosti, což bylo zapříčiněno tím, že trámy na sebe dobře navazují a prakticky mezi nimi nejsou žádné mezery, díky kterým by se daly určit profily jednotlivých trámů podle bodového mračna. Proto byl celý strop vytvořen jako jedno těleso, ze kterého je patrný průhyb a deformace stropu.

Následující obrázky 24 a 25 zobrazují jednotlivé řezy stropními trámy. Z těchto obrázků je patrné, že v první místnosti byl profil trámů zřetelný a snadno určitelný, kdežto ve druhé místnosti je v řezu bodovým mračnem vidět pouze linie, takže profily trámů by bylo obtížné určit.



Obrázek 24: Řez stropními trámy v první místnosti



Obrázek 25: Řez stropními trámy ve druhé místnosti



7. Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření 3D modelu rubené usedlosti čp. 2 v obci Trstěnice u Litomyšle.

Z dat laserového skenování bylo možné vyhotovit detailní model zachycující vnější i vnitřní část roubenky. Součástí byly zděné prvky a především roubené části tvořené jednotlivými trámy, jejichž průběh byl pečlivě vykreslen. Například na stropních trámech je zřetelně znázorněn průhyb a deformace, což vypovídá o pečlivě provedené práci na modelu za účelem vizualizace charakteru stavby, která je ve značně chátrajícím stavu.

Posoudit přesnost výsledného modelu je velmi obtížné, neboť se odvíjí od více faktorů. Hlavními faktory zahrnutými v bakalářské práci byla vstupní data a míra generalizace. Přesnost vstupních dat je závislá na použitých přístrojích a pomůckách. Jejich volba nebyla předmětem mé práce a byla podřízena požadavkům zadavatele a možnostem zprostředkovatele. Přesnost dána mírou generalizace byla značně ovlivněna lidským faktorem. Z mojí strany se jednalo o maximální snahu vystihnout průběh trámů a deformace objektu. Byla volena míra generalizace taková, aby model co nejlépe vystihoval skutečnost a zároveň aby byla práce časově efektivní. Při tvorbě jednotlivých trámů jsem postupovala dle vlastního uvážení s ohledem na požadované výstupy stanovené zadavatelem.

Na druhou stranu pro mne orientace v bodovém mračnu byla často obtížná, protože při laserovém skenování nejde vždy zřetelně naskenovat a znázornit přesný průběh trámů. V těchto případech mi byly nápomocny fotky a výkresová dokumentace, které mi byly poskytnuty zadavatelem.

Hlavní přínosem pro mne bylo přiblížení se lidové kultuře a stavitelství. Vyzkoušela jsem si práci s mračnem bodů a především jsem si osvojila práci v software MicroStation. Své znalosti a dovednosti bych chtěla dále prohlubovat a zdokonalovat.

Na závěr ještě několik slov k problematice 3D dokumentace staveb, která je v současné době vzhledem k časové náročnosti zpracování a nárokům na náklady stále ve fázi svého rozvoje. 3D dokumentace umožňuje názornější a přehlednější vizualizaci ve srovnání s 2D výkresy. Rozvoj techniky v oblasti 3D



dokumentace vzbuzuje zájem nejen u lidí z řad odborné praxe, ale také na akademické půdě u pedagogů a studentů. Propojením a navázáním spolupráce těchto odvětví se celkové náklady snižují a tím se zlepšují podmínky pro vznik projektů s využitím 3D dokumentace.



Seznam obrázků

Obrázek 1: Náskres situace, autor: Bc. Richard Ott.....	10
Obrázek 2: Pohled na roubenou část usedlosti, autor: J. Kmošek	11
Obrázek 3: Podélný řez, autor: Bc. Richard Ott.....	14
Obrázek 4: Bodové mračno zobrazené pomocí software MicroStation.....	16
Obrázek 5: Tabulka nástroje pro ořezávání pohledu okna	18
Obrázek 6: Využití ořezávacího nástroje	18
Obrázek 7: Zeď tvořená trámy s použitím výplňového materiálu, autor: J. Kmošek.....	19
Obrázek 8: Srovnání zřetelného (vlevo) a hůře identifikovatelného profilu (vpravo)	19
Obrázek 9: Trám vytvořený pomocí extruze.....	23
Obrázek 10: Pohled na roubenou zeď s vykreslením průběhu trámů pomocí volby profilu a trasy	23
Obrázek 11: Tvorba stropních trámů	24
Obrázek 12: Pohled na trám s různými profily na obou koncích.....	25
Obrázek 13: Těleso protínající zeď v místě řezu	26
Obrázek 14: Pohled na zeď s vyříznutým oknem.....	26
Obrázek 15: Pohled na vymodelované okno se zobrazením mračna bodů	27
Obrázek 16: Transparentní zobrazení	27
Obrázek 17: Monochromatické zobrazení.....	28
Obrázek 18: Zobrazení pomocí ilustrace.....	28
Obrázek 19: Zobrazení modelu s vyhlazením těles („Smooth: Modeling“).....	28
Obrázek 20: Pohled na stropní trám, bodové mračno	30
Obrázek 21: Pohled na stropní trám, liniová kresba.....	30
Obrázek 22: Pohled na stropní trám se zobrazením mračna i liniové kresby.....	31
Obrázek 23: Porovnání profilů	32
Obrázek 24: Řez stropními trámy v první místnosti.....	33
Obrázek 25: Řez stropními trámy ve druhé místnosti	33



Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry použitého laserového skeneru	12
Tabulka 2: Přehled vrstev.....	21
Tabulka 3: Odhad procentuálního zastoupení trámů a průměrné časové náročnosti zpracování jednoho trámu	30
Tabulka 4: Odhad časové náročnosti jednotlivých metod postupu včetně procentuálního využití	30

Seznam příloh

- CD s daty v elektronické podobě
- Vizualizace – výstupy ze softwaru Microstation, model, 3D PDF

Obsah CD

- Bakalářská práce – text ve formátu PDF
- CAD výstupy – Model ve formátech DGN a DWG
- Vizualizace – 3D PDF



Zdroje informací a použitá literatura

- [1] Záchrana a prezentace lidového kulturního dědictví Českomoravského pomezí. *INSTITUT LIDOVÉHO KULTURNÍHO DĚDICTVÍ* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.ilkd.cz/zachrana-a-prezentace-lidoveho-kulturniho-dedictvi-ceskomoravskeho-pomezi/>
- [2] *Institut lidového kulturního dědictví* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.ilkd.cz/>
- [3] USEDLOST TRSTĚNICE Č.P.2: Roubený dům v usedlosti č. p. 2 v obci Trstěnice u Litomyšle. *Institut lidového kulturního dědictví* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.ilkd.cz/pamatky/usedlost-trstenice-c-p-2/>
- [4] GEFOS: Výhradní obchodní zastoupení a autorizovaný servis firmy Leica Geosystems pro Českou republiku. *Gefos* [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produkty/202/scanstation-p30-p40>
- [5] GISoft: Přehled verzí MicroStation. *GISOFT* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/MicroStation/PrehledVerzi>
- [6] Leica Geosystems: High-Definition Surveying. *Leica Geosystems* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm
- [7] Autodesk: Autodesk knowledge network. *AUTODESK* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/AutoCAD-Core/files/GUID-C0C610D0-9784-4E87-A857-F17F1F7FEEBE-htm.html>