

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA GEOMATIKY



Bakalárska práca

3D dokumentácia interiéru kostola sv. Jindřicha v Jindřišské ulici
v Prahe

3D documentation of the St. Henry church in Jindrisska Street, Prague

Peter Petrilla

prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petrilla** Jméno: **Peter** Osobní číslo: **439238**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra geomatiky**
Studijní program: **Geodézie a kartografie**
Studijní obor: **Geodézie, kartografie a geoinformatika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

3D dokumentace interiéru kostela sv.Jindřicha v Jindřišské ulici v Praze

Název bakalářské práce anglicky:

3D documentation of the St.Henry church in Jindriska street, Prague

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Karel Pavelka, Katedra geomatiky FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

prof. Dr. Ing. Karel Pavelka
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prehlásenie

Týmto prehlasujem, že celú bakalársku prácu som spracovával samostatne a len s použitím uvedených zdrojov v zozname bibliografie.

V Prahe dňa 22. 05. 2018

Podpis

Pod'akovanie

Rád by som sa touto cestou poďakoval pánu prof. Dr. Ing. Karelovi Pavelkovi za poskytnuté vybavenie a za jeho pomoc pri spracovávaní práce. Rovnako sa chcem poďakovať pánu Ing. Karelovi Pavelkovi a pánu Ing. Jaroslavovi Šedinovi za ich čas a cenné rady. Na záver sa chcem poďakovať svojej rodine za podporu počas celého štúdia na vysokej škole.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá vytvorením 3D modelu historickej pamiatky. Na začiatku bolo nutné urobiť meranie pomocou laserového skeneru – Surphaser 25HSX. Následne sa zamerané mračno bodov spracovalo v softvéri Geomagic Studio, kde sa upravovalo až do finálnej podoby.

Kľúčové slová

Kostol svätého Jindřicha, 3D skenovanie, laserové skenovanie, interiér kostola, 3D model, Geomagic Studio

Abstract

This bachelor's project deals with creating 3D model of historical sight. At the beginning, it was necessary to make measurement using laser scanner – Surphaser 25HSX. Then, the measured point cloud was processed in the Geomagic Studio software, where it was modified to the final form.

Keywords

Church of Saint Henry, 3D scanning, laser scanning, interior of church, 3D model, Geomagic Studio

Obsah

1 Úvod	7
2 Popis objektu	8
2.1 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty	8
2.1.1 Popis kostola	10
2.2 Jindřišská veža	12
3 Dokumentácia objektov pomocou laserového skenovania	13
3.1 Technológia merania laserovým skenovaním	13
3.2 Začiatky laserového skenovania v ČR	14
4 Meranie v teréne	16
4.1 Použitý prístroj	17
5 Postup spracovania dát	18
5.1 Import nameraných dát	18
5.2 Redukcia bodov	19
5.3 Transformácia skenov	20
5.3.1 Manuálna registrácia	20
5.3.2 Globálna registrácia	22
5.4 Vytvorenie polygónovej siete	23
5.5 Úprava polygónovej siete	24
5.6 Vytvorenie vrstevnicového plánu klenby	26
Záver	28
Bibliografia	29
Použité obrázky	31
Prílohy	32

1 Úvod

Táto bakalárska práca sa zaoberá 3D dokumentáciou historickej pamiatky. Jej hlavným zameraním je laserové skenovanie interiéru kostola svätého Jindřicha a následne vytvorenie priestorového modelu.

Laserové skenovanie je pomerne novou exaktnou metódou pre zber informácií o objektoch. Umožňuje automatické, bezkontaktné a neselektívne získavanie priestorových súradníc. Výsledkom skenovania je tzv. mračno bodov, ktoré môže byť podkladom pre tvorbu 3D modelov a ich vizualizácií. Oproti klasickému geodetickému zameraniu ma metóda laserového skenovania veľa výhod. V pomerne krátkom čase je možné získať komplexné a presné zameranie. Väčšinou ide o automatizovaný proces, kde po predošlom nastavení prístroj vykonáva meranie určenej oblasti. Medzi nastavované parametre patrí vymedzenie oblasti skenovania a hustota bodov, ktoré majú byť zamerané na povrchu objektu. Ďalším parametrom je presnosť určovania bodov, pretože aj malá nepresnosť spôsobí významné zmeny vo výslednej dokumentácii objektu. [2]

Úvodná kapitola práce sa venuje popisu kostola. Ďalej sa v práci nachádza podrobný postup merania a spracovania dát a na záver sú priložené obrazové výstupy, ktorými sú pôdorys kostola, rezy, vrstevnicový plán klenby a samotný 3D model celého objektu.



Obr. 1 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty [5]

2 Popis objektu

Kostol svätého Jindřicha a Kunhuty sa nachádza v centre Prahy na Jindřišskej ulici, ktorá vychádza z polovice Václavského námestia. Kostol je tak trochu nenápadný, schovaný mimo uličnú trasu. Hneď vedľa kostola stojí známa Jindřišská veža, ktorá slúži ako zvonica. Taktiež vedľa kostola sa nachádza fara a farská škola. Dnes sa na tomto mieste nachádzajú až tri farnosti – česká, slovenská a maďarská. [3]

2.1 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty

Kostol svätého Jindřicha a Kunhuty bol postavený v roku 1348 ako hlavný farský kostol Nového mesta Prahy. Bol vystavaný rádom Križovníkov s červenou hviezdou, ktorý ho taktiež mal v správe. Pár rokov potom bol kostol vysvätený arcibiskupom Arnoštom z Pardubic. V tej dobe sa v jeho okolí nachádzal cintorín, ktorý sa využíval hlavne pri morových ranách.



Obr. 2 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty z roku 1801 [1]

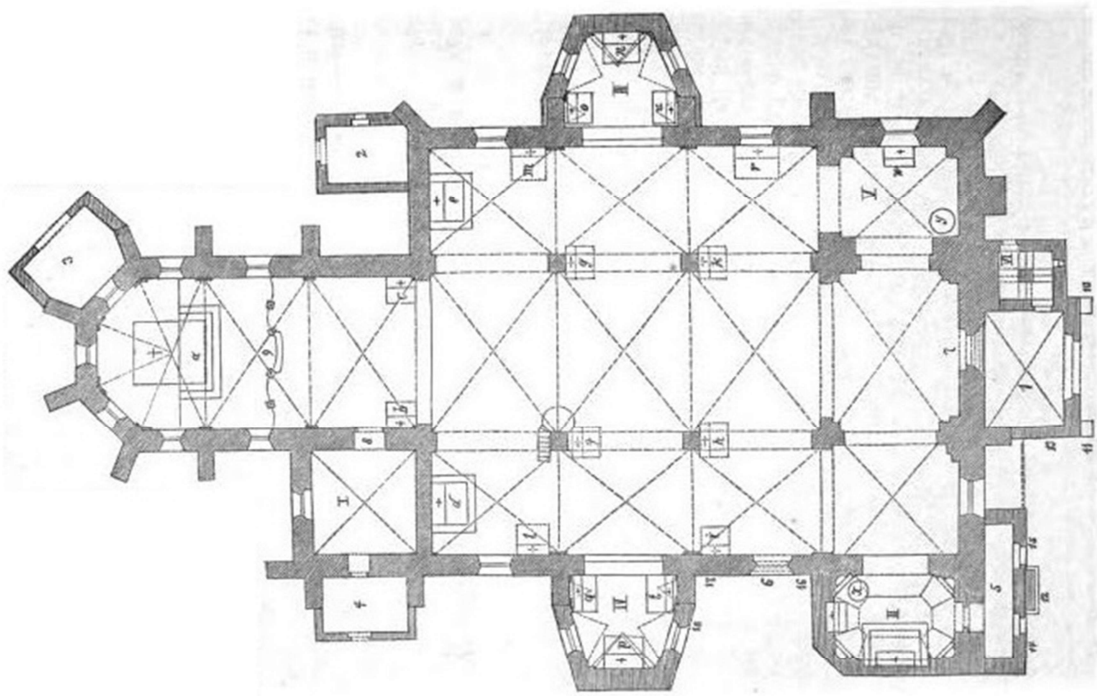
Následne sa chrám dostal do rúk husitom. V roku 1435 sa stal farárom v Jindřišskej farnosti Prokop z Plzne, ktorý bol umiernený a snažil sa o zmierenie medzi katolíckou cirkvou a husitmi. Za čias obliehania Prahy Švédmi v roku 1648 chrámu hrozilo zničenie, avšak Švédske vojská boli porazené. Na znak vďaky vtedajší kňaz Šimon Tichý dal postaviť ku kostolu kaplnku svätej Barbory. Takisto aj v polovici 18. storočia pri obliehaní Prahy Prusmi sa kostol otriasal v základoch a niektoré jeho časti boli poškodené počas bombardovania. V 19. storočí sa kostol zasiahla významná prestavba, ktorá bola vedená architektom Jozefom Mockerom. [7]



Obr. 3 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty dnes [5]

2.1.1 Popis kostola

Kostol je vysoký 46 metrov a je postavený z neomietnutého lomového muriva. Omietnuté sú len tri postranné barokové kaplnky a špalety okien. Kostol je pôvodne postavený v gotickom slohu, avšak interiér je zväčša barokový. Stavbu tvoria tri lode s rebrovou klenbou, ktorú podopierajú barokizované piliere. Na juhozápadnom rohu trojlodia je vztýčená hranolová veža, na vrchu ktorej je cibulová strecha. Pred vstupom do hlavnej lode je gotická predsieň. Hlavný oltár zdobí obraz zasvätený patrónom, kráľovským manželom, svätému Jindřichovi a svätej Kunhute od maliara J. J. Heintsche. Pred vstupom do kostola stoja dve sochy: a to socha svätého Jána Nepomuckého a socha svätého Júdu Tadeáša. Ako bolo spomenuté skôr, ku kostolu sú pripojené 3 barokové kaplnky. Je to kaplnka svätej Barbory, svätého Lukáša a Panny Márie. [8]



Obr. 4 Pôdorys kostola [1]



Obr. 5 Hlavný oltár

2.2 Jindřišská veža

Neskoro-gotická veža v blízkosti kostola je najvyššie voľne stojacou pražskou zvonnicou s výškou 65,7 metra. Dnes sa v tejto historickej pamiatke nachádza reštaurácia, múzeum a galéria. Ďalším unikátom je zvonkohra, ktorá je tvorená súborom desiatich liatych bronzových zvonov v podkroví veže.

Zvonica bola postavená na konci 70. rokov 16. storočia na mieste vtedajšieho cintorína. Mala dve poschodia a bola hranolová s vysokou ihlanovou strechou. V roku 1648 slúžila ako vojenská strážnica, avšak bola poškodená švédskou delostreľbou. Rovnako ako aj za pruského obliehania v roku 1757 a tiež v roku 1801, kedy bola počas silného vetra zničená jej strecha. K jej dôkladnej rekonštrukcii došlo v 19. storočí architektom Jozefom Mockerom, po ktorej sa stala najvyššou zvonnicou v Prahe.

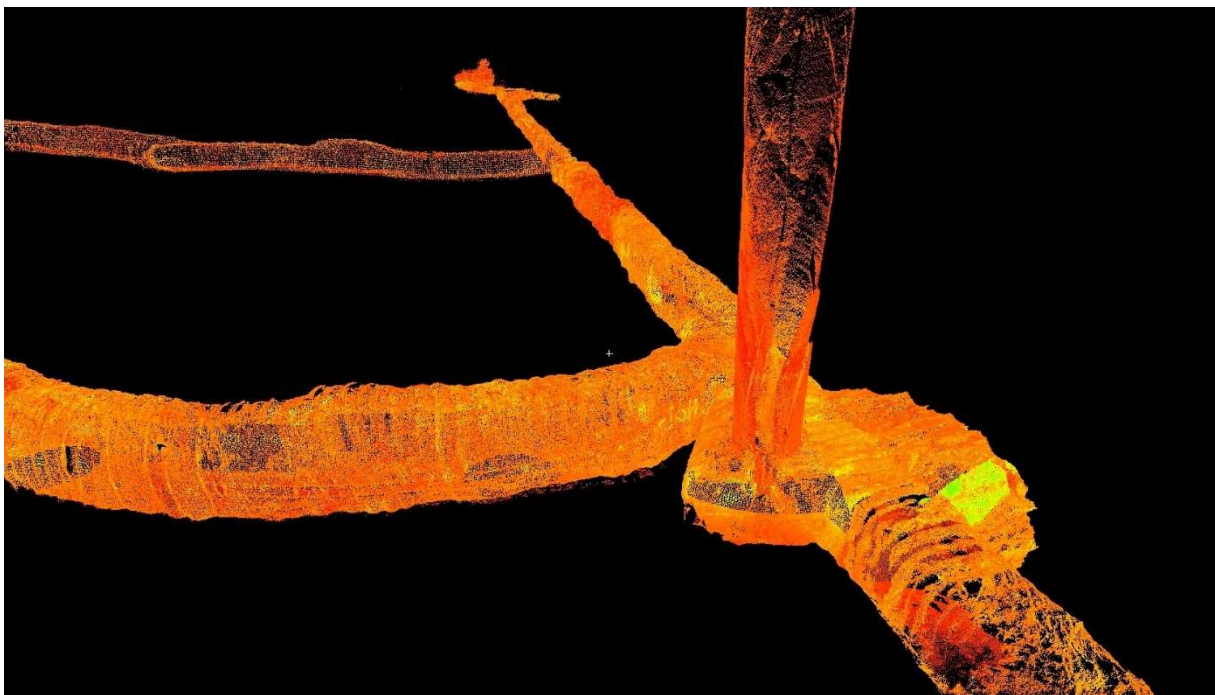
Zvonica bola za dobu svojej existencie postupne osadená desiatimi zvonmi, avšak do dnešného dňa sa dochoval len jeden a to ten najstarší. Je to zvon Mária, uliaty v roku 1518 o hmotnosti 723 kg a priemere 101 cm. [5]



Obr. 6 Jindřišská veža [5]

3 Dokumentácia objektov pomocou laserového skenovania

Metoda laserového skenovania je úplne jedinečná pri dokumentácii nepravidelných priestorov a objektov, ktoré sa len veľmi ťažko dajú definovať pomocou klasických geodetických metód. Sú to napríklad barokové sochy, veľmi zdobené objekty – portály, klenby, oltáre, atď. Rovnako sa táto metóda používa aj pri meraní podzemných priestorov – baní, štôlní alebo podzemných chodieb. Dnes už existuje niekoľko lokalít, kde je nasadenie laserového skenovania prakticky požívané ako primárne. [2]



Obr. 7 Laserový sken podzemnej bane na zlato [9]

3.1 Technológia merania laserovým skenovaním

Princíp laserového skenovania spočíva na meraní doby letu svetelného lúča, ktorý sa vyšle od prístroja smerom k objektu a následne sa vráti naspäť do prístroja. Taktiež je potrebné zmerať horizontálny a vertikálny uhol vysielaného lúča – polárne súradnice. Vysielač svetelného lúča a aj prijímač sa pritom otáčajú v dvoch na seba kolmých rovinách, čím dochádza k pravidelnému snímaniu priestorových informácií z objektu – skenovanie.

Existuje niekoľko typov skenerov, ktoré sa od seba líšia technológiou merania vzdialenosti bodu od prístroja. Delíme ich na pulzné a fázové skenery. U pulzných skenerov sa meria tranzitný čas vysielaného laserového lúča od zdroja k meranému povrchu a späť.

Z jednoduchého vzorca je potom možné vypočítať absolútna vzdialenosť. Čo sa týka fázových skenerov, tie môžu byť založené buď na amplitúdovej modulácii s použitím fázového rozdielu, alebo frekvenčnej modulácii s fázovou frekvenciou. Tá je daná súčtom nameraného fázového rozdielu a n-násobkom celých vlnových dĺžok. Poloha bodov je napokon výsledkom aplikácie priestorovej polárnej metódy. Presnosť a dosah týchto skenerov sú značne odlišné. Zatiaľ čo u pulzných skenerov je dosah počítaný v stovkách metroch, u fázových to nie je viac ako 50 metrov. V prípade presnosti je to práve naopak. Fázové skenery dosahujú presnosť pod 1 milimeter, zatiaľ čo tie pulzné okolo jedného centimetra. [2]

3.2 Začiatky laserového skenovania v ČR

Laserové skenovanie je dnes nepochybne technológiou, ktorá zmenila väčšinu dokumentačných metód. Jej masívny nástup vo svete a v Českej republike bol zaznamenaný po roku 2005. Historicky prvý laserový skener na vysokoškolskom pracovisku sa podarilo zostrojiť vlastnými silami na ČVUT v Prahe, Stavebnej fakulte, v laboratóriu fotogrametrie katedry mapovania a kartografie v roku 2002. Využité boli staršie mechanické diely z fotogrametrických prístrojov a laserová hlava Sick LMS. Už vtedy bolo jasné, že novú technológiu je potrebné študovať z dôvodu jej predpokladaného veľmi rýchleho rozvoja. Dnes môžeme povedať, že metódy priameho určovania priestorových súradníc vytlačili mnoho tradičných geodetických metód.

Prvý profesionálny laserový skener sa do Česka dostal v roku 2003. Bol ním skenovací systém Callidus CP 3200 verzie 1.1 od značky Trimble a bol zaobstaraný na základe grantu na ČVUT v laboratórií fotogrametrie. Bol ovládaný malým prenosným odolným počítačom so softvérom LMS. Tento skener je panoramatický a umožňuje merať v rozsahu $360^\circ \times 60^\circ$. Patrí do skupiny pulzných skenerov a je vybavený aj kamerou na snímanie textúry. Jeho využiteľný dosah je okolo 30 metrov a presnosť v meraných dĺžkach má 4 až 5 milimetrov. Snímanie bodov na povrchu robí rýchlosťou 1750 bodov za sekundu, čo je v dnešnej dobe už dosť pomalé. Jedno panoramatické skenovanie trvá približne 15 minút, avšak v prípade dosiahnutia najvyššej presnosti by sa to mohlo natiahnuť až na hodiny.

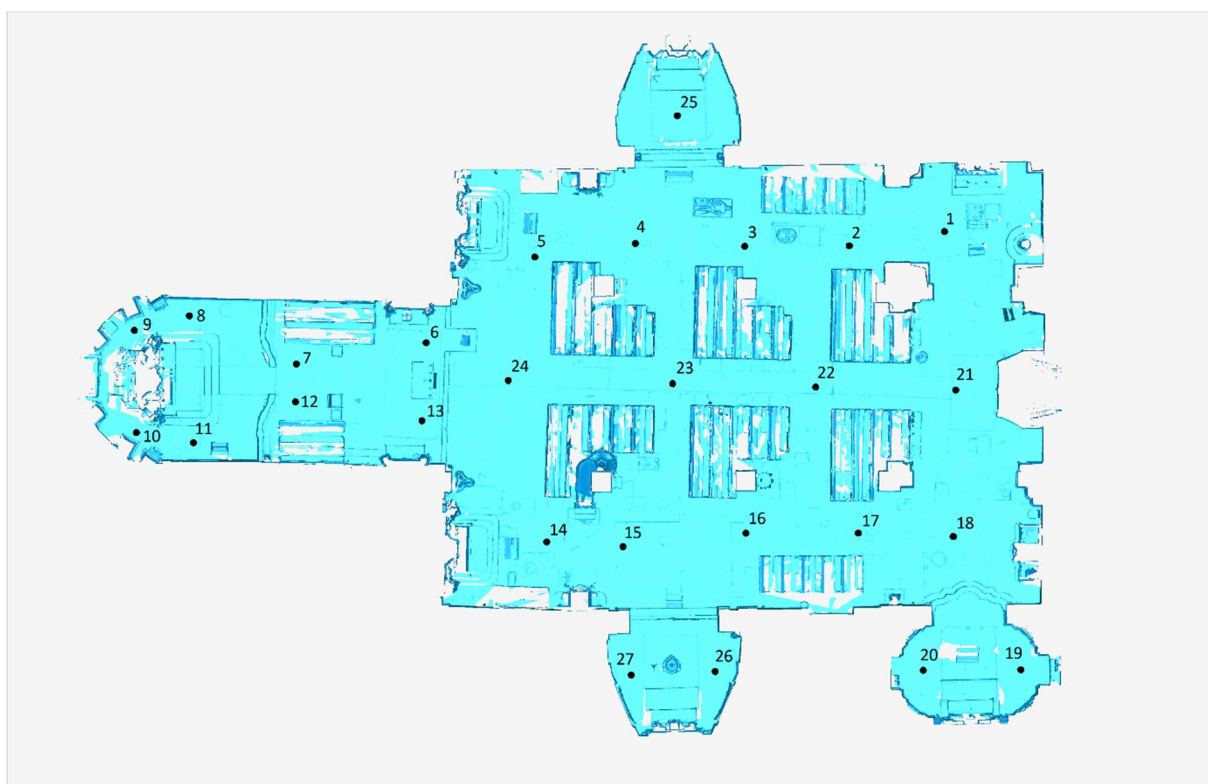
Približne 10 rokov sa prístroj používal v teréne a bolo ním skenované množstvo významných objektov. V roku 2013 bol pre zastaranosť, vysokú hmotnosť a nevyhovujúce technické parametre vyradený a nahradený novším typom. [2]



Obr. 8 Laserový skener Callidus CP 3200 [10]

4 Meranie v teréne

Skenovanie interiéru kostola bolo robené 19. marca 2018 a trvalo približne 5 hodín. Podmienky v kostole boli trochu nepriaznivé kvôli nízkej teplote (okolo 5° C), čo značne skracovalo výdrž batérií pri meraní. Nasnímaných bolo 27 panoramatických skenov na stanoviskách rovnomerne rozmiestnených po kostole. Zamerané boli všetky tri lode aj s oltárnou a taktiež všetky tri kaplnky po bokoch kostola. Jediné, čo sa nezameralo bol chór kostola.



Obr. 9 Pôdorys kostola s vyznačenými stanoviskami

4.1 Použitý prístroj

Na skenovanie interiéru kostola bol použitý prístroj Surphaser 25HSX typu IR_X. Je to fázový laserový skener s dosahom až 70 metrov, ale použiteľná vzdialenosť sa pohybuje od 0,4 metra do 30 metrov. Presnosť dosahuje pod jeden milimeter a má vysokú snímáciu schopnosť bodov (od 216 tisíc do 1,2 milióna bodov za sekundu). Zorné pole skeneru je $360^{\circ} \times 270^{\circ}$ a teda nemôže snímať oblasť, ktorá je priamo pod ním. Hustota zameraných bodov bola $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ na 10 metrov. Spolu s prístrojom bolo nutné mať zapojený aj malý prenosný notebook, do ktorého boli nahrávané dáta cez softvér *SurphExpres Standard*. Prístroj bol spočiatku zapojený na externú batériu, avšak vplyvom nízkej teploty sa batéria už pár hodinách vybila a tak bol zapojený do siete.



Obr. 10 Laserový skener Surphaser 25HSX [4]

5 Postup spracovania dát

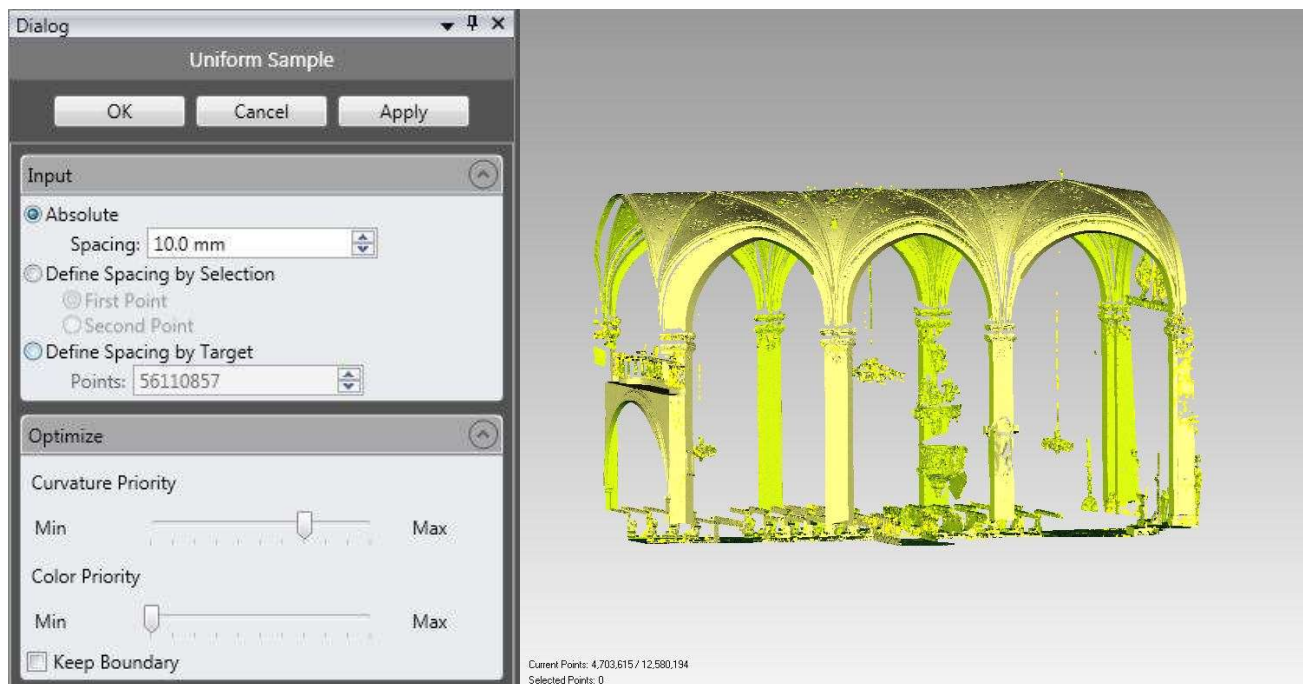
Pre spracovanie nameraných dát boli použité softvéry *Geomagic Studio 2013* a *AutoCAD 2017*. Softvér *Geomagic Studio* slúži na analýzu, úpravu, navrhovanie a vytváranie 3D modelov. Tento program dokáže pracovať s veľkým množstvom dát, ktoré boli výsledkom laserového skenovania. Samotný postup spočíva v tom, že sa do programu importuje mračno bodov o priestorových súradniciach a to sa ďalej upravujú vzhľadom na požiadavky užívateľa. Výsledkom toho je 3D model skenovaného objektu, s ktorým sa dá ďalej pracovať v iných aplikáciách. Softvér *AutoCAD 2017* bol použitý len pre zobrazenie vrstevníc klenby kostola.

5.1 Import nameraných dát

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, povrch objektu bol zameraný laserovým skenerom Surphaser. Jeho výstupom je súbor vo formáte **.c3d*, ktorý obsahuje polárne súradnice bodov povrchu objektu. Tieto súradnice sa následne museli previesť na kartézské (formát **.ptx*) a až tak sa mohli importovať do softvéru. Jeden sken vo formáte **.c3d* mal veľkosť okolo *1 GB* a po prevedení do formátu **.ptx* sa jeho veľkosť zdvojnásobila. Dokopy bolo urobených 27 skenov a do softvéru boli importované v milimetrových jednotkách.

5.2 Redukcia bodov

Každý sken, ktorý bol importovaný, obsahoval viac ako 50 miliónov bodov. Tieto body boli rozmiestnené v priestore s približnou hustotou $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ a museli byť zredukované, aby sa s nimi dalo lepšie a rýchlejšie pracovať. Vo funkcii *Uniform Sample* v sekcii *Spacing* bola pre všetky skeny nastavená východisková hodnota 10 mm . Tento krok síce umožnil lepšie manipuláciu s mračnom bodov, avšak model sčasti prišiel o svoju kvalitu. Ako bolo spomenuté v 2. kapitole, interiér kostola má veľmi bohatú barokovú výzdobu a týmto krokom sa nie všetky jej detaily zachovali. Z toho dôvodu bola osobitne spracovaná malá časť interiéru kostola a to presnejšie Kaplnka svätého Lukáša, pre ktorú sa v tomto kroku nastavila hodnota 5 mm .



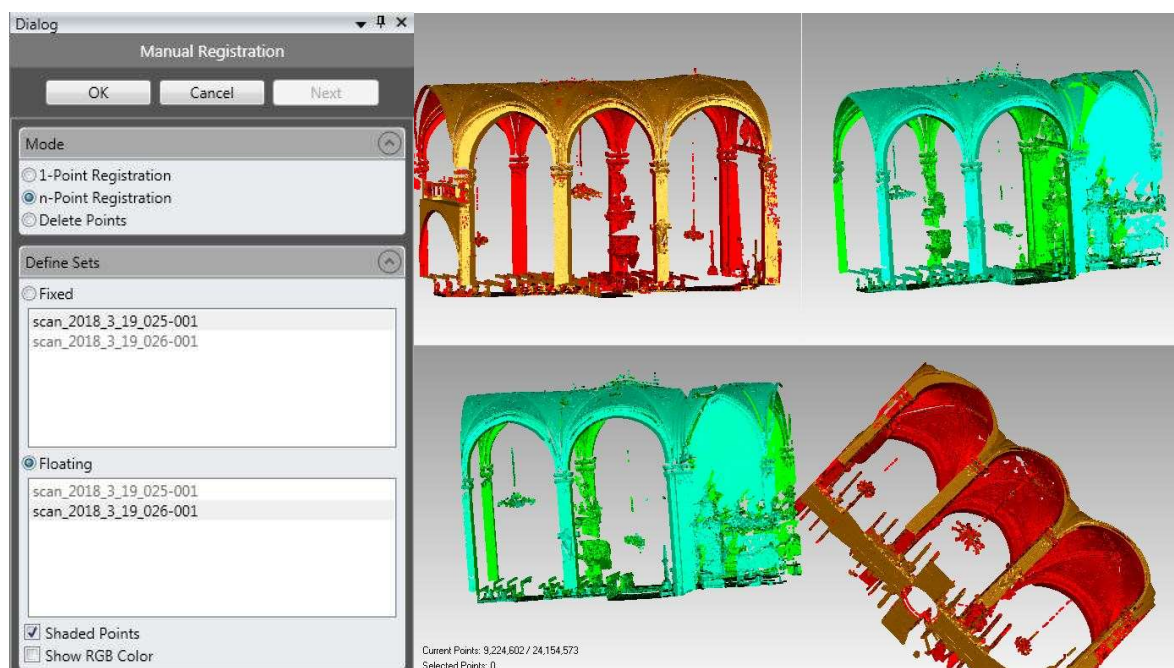
Obr. 11 Ukážka funkcie Uniform Sample

5.3 Transformácia skenov

Pri tomto kroku sa dvojice skenov transformovali do toho istého súradnicového systému. Pri transformácii nedochádzalo k zmene mierky, ale len k posunu a pootočeniu skenov. Transformácia prebiehala v dvoch etapách. Tou prvou bola manuálna registrácia a tou druhou globálna. Bolo nutné aby prebehli v tomto poradí. Obe funkcie sa v softvéri nachádzajú pod záložkou *Aligment*.

5.3.1 Manuálna registrácia

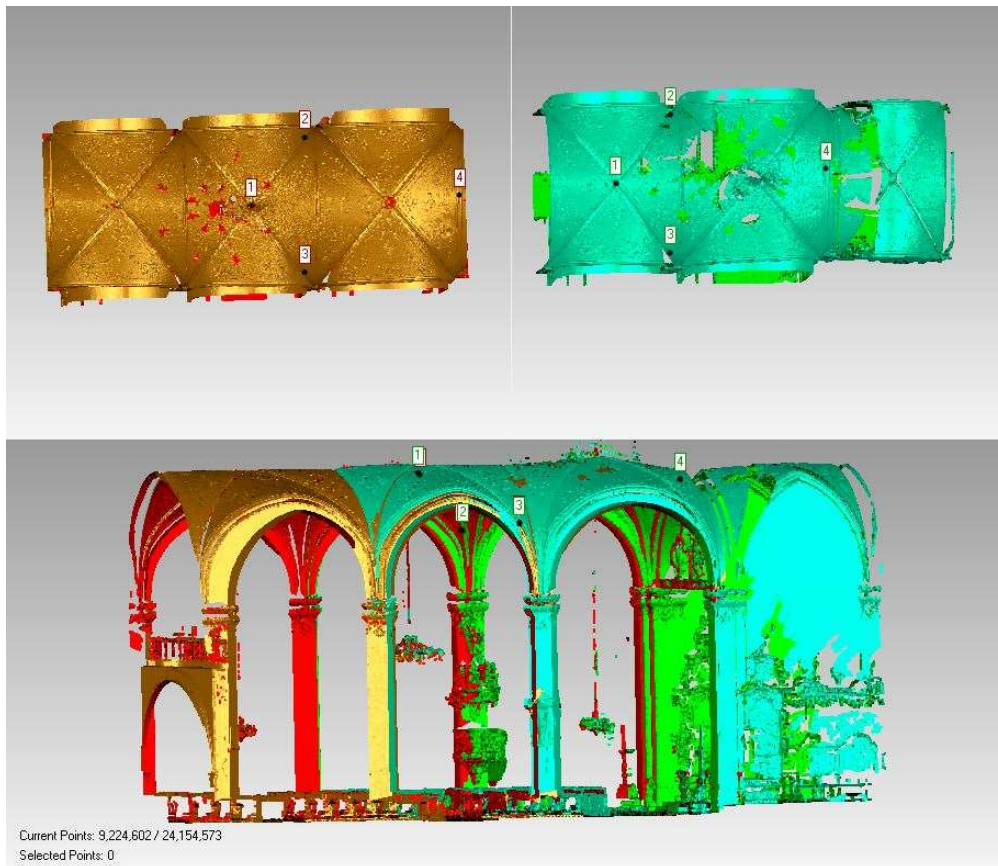
Pri začatí funkcie *Manual Registration* sa najprv vyberie sken, ktorý bude fixný. Potom sa označí sken, ktorý bude „plávajúci“, teda ten, s ktorým sa bude pohybovať.



Obr. 12 Ukážka funkcie Manual Registration (pred)

Následne sa vyberú aspoň tri identické body v každom skene. Ideálne je mať čo najviac identických bodov, ale prakticky stačí mať najviac päť.

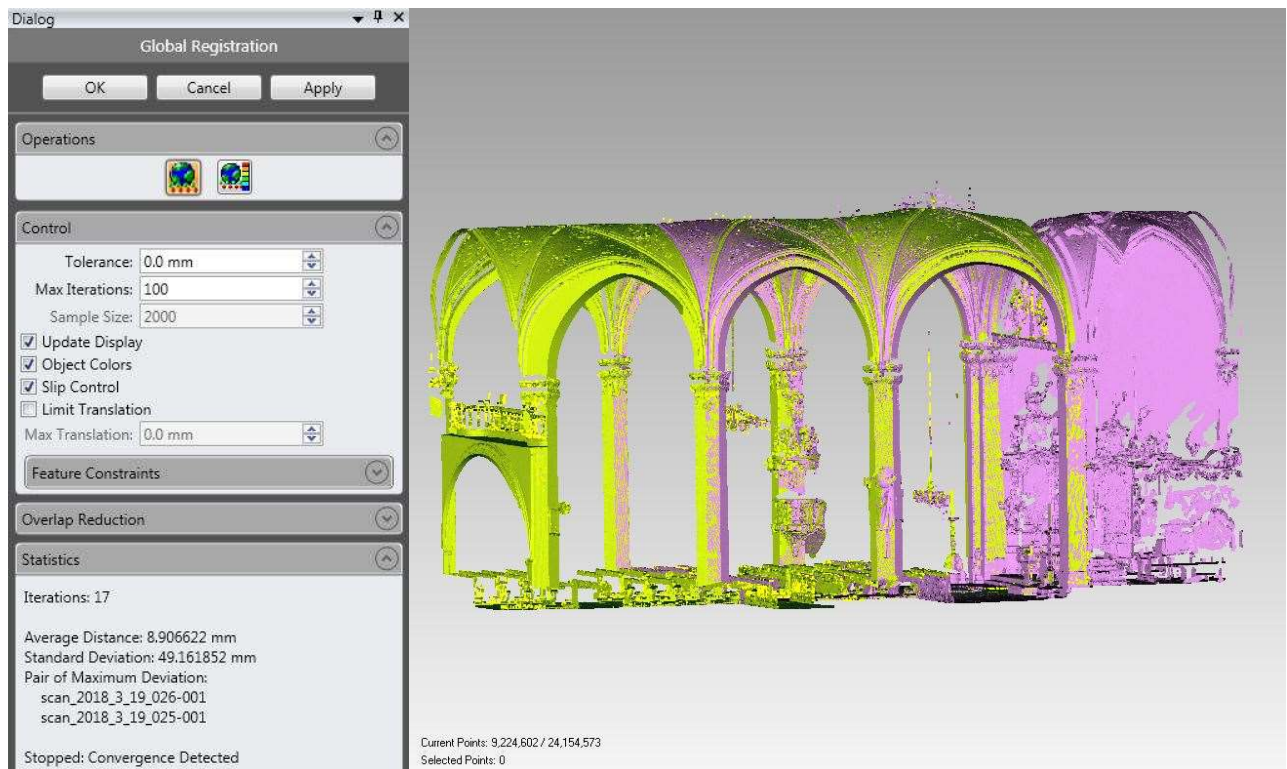
V tomto momente už program dokáže spojiť tieto dva mračná. Po transformácii je najlepšou kontrolou správnosti to, že farby oboch mračien spývajú dohromady. V prípade nesprávnej transformácie by bolo vidieť v mieste spojenia zlom.



Obr. 13 Ukážka funkcie Manual Registration (potom)

5.3.1 Globálna registrácia

Pri globálnej registrácii sa mračná bodov znovu transformujú, ale už nie podľa identických bodov, ale na základe minimálnej vzdialenosti medzi sebou. Funkcia *Global Registration* pracuje na princípe iterácií, pomocou ktorých sa hľadá konvergencia medzi mračnami bodov.



Obr. 14 Ukážka funkcie Global Registration

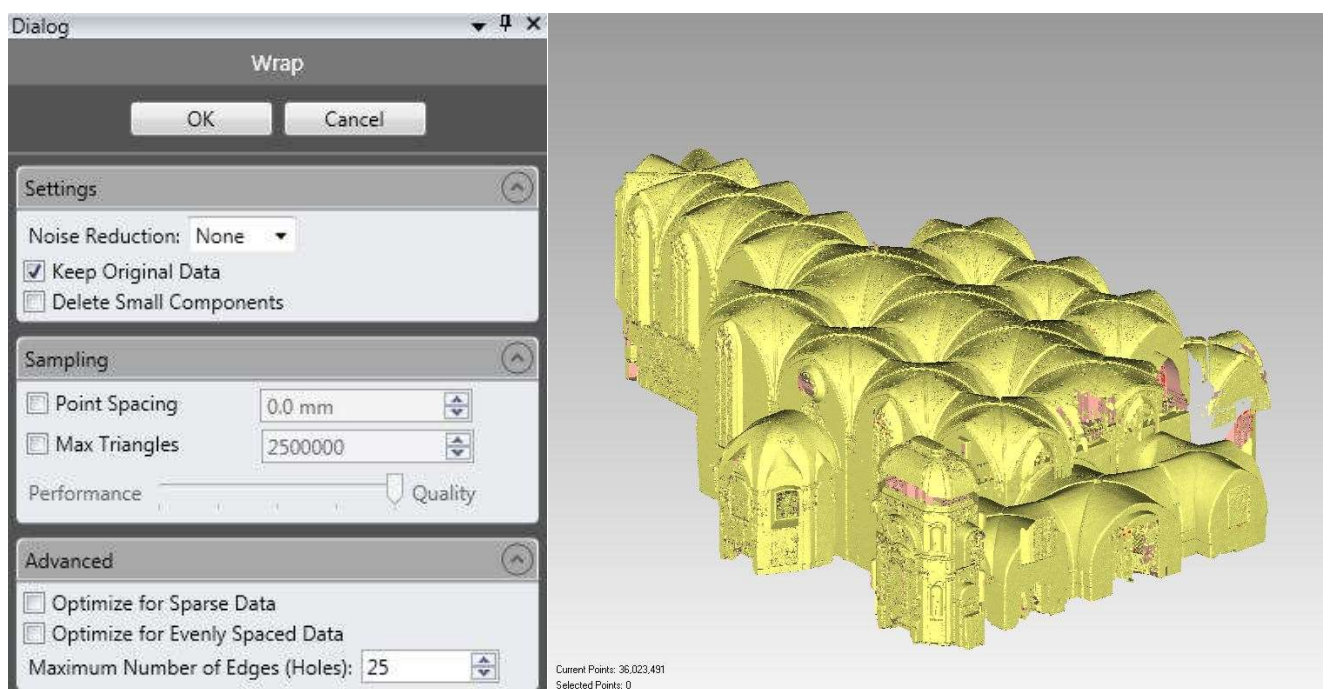
5.4 Vytvorenie polygónovej siete

Ešte pred samotným vytvorením je nutné, aby boli všetky skeny spojené do jedného celku. Na to slúži funkcia *Combine Point Objects*.

Následne je potrebná filtrácia šumu, pri ktorej sa vyhľadávajú body, ktoré sú príliš odľahlé. Akonáhle ich program vyhľadá, tak ich jednoducho vymaže z modelu. Túto funkciu je najlepšie spustiť niekoľkokrát a jej názov je *Select Outliers*.

Ďalšou potrebnou funkciou je redukcia šumu – *Reduce Noise*, ktorá slúži na znižovanie šumu v mračne bodov.

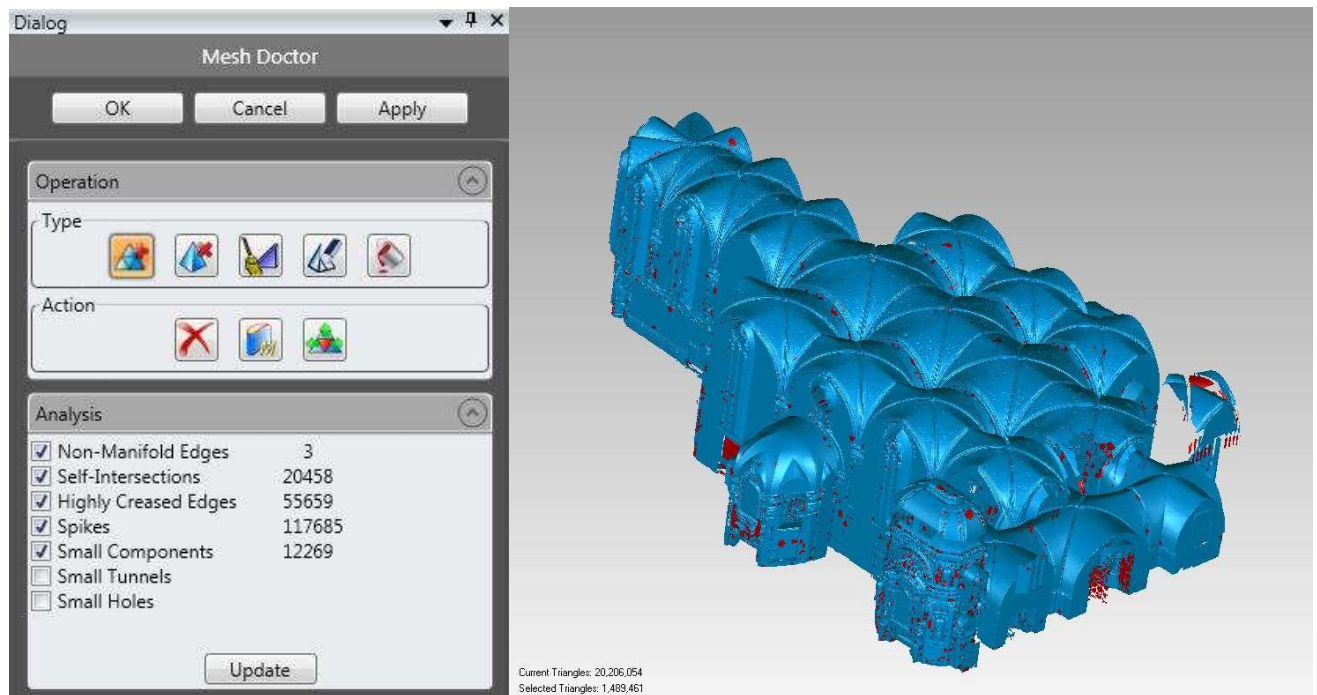
Až teraz sa dá prejsť k samotnému „wrapovaniu“, teda k vytvoreniu trojuholníkovej siete pomocou funkcie *Wrap*.



Obr. 15 Ukážka funkcie Wrap

5.5 Úprava polygónovej siete

Hlavnou funkciou pri spracovaní polygónovej siete je *Mesh Doctor*. Táto funkcia dokáže vyhľadať niekoľko druhov chýb ako napríklad ostré výstupky, malé tunely, kríženia a vymazať ich z modelu.



Obr. 16 Ukážka funkcie Mesh Doctor

Následne sa vyhľadali v modeli diery cez funkciu *Fill All*. V tomto prípade bolo nájdených okolo 18 000 dier, z ktorých väčšina mala len niekoľko centimetrov. Avšak bolo veľa aj takých, ktoré boli komplexné a nebolo možné ich vyplniť. Z toho dôvodu tieto diery boli ignorované (*Ignore Complex Holes*). Funkcia automaticky zaplnila tie najmenšie diery v modeli a zvyšok bol dokončený „ručne“ pomocou funkcie *Fill Single*. Avšak nebolo možné vytvoriť dokonale „vodotesný“ model, pretože sa v modeli nachádzalo veľa miest s prekrytom a na tých miestach neboli zamerané žiadne body. Jednalo sa hlavne o miesta pod stropom, na ktoré už skener nemal dosah zo žiadneho stanoviska.

Ďalej bola použitá funkcia *Relax Polygons*, ktorá slúži na vyhladenie trojuholníkovej siete podľa požiadaviek užívateľa. Nastavenie funkcie pre tento model bol nasledovný:

Curvature Priority – stupeň 9 (maximálny)

Smoothnes Level – stupeň 5

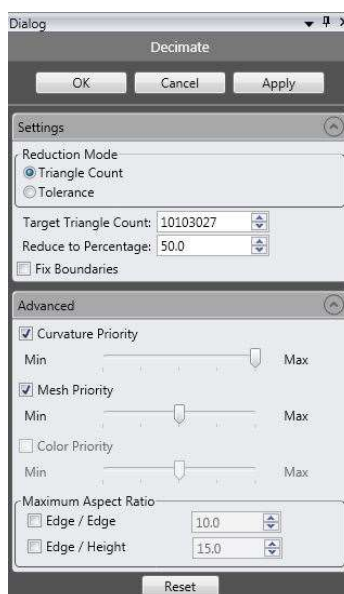
Strength – stupeň 5

Nastavenie pre parameter *Curvature Priority* bolo maximálne z toho dôvodu, aby v miestach s najväčšou krivosťou prebehlo vyhladenie minimálne až vôbec.



Obr. 17 Ukážka funkcie Relax Polygons

A nakoniec sa na polygónovú sieť použila funkcia *Decimate*, ktorá dokáže sieť trojuholníkov preriediť a tým znížiť jej veľkosť, čo umožní lepšiu manipuláciu s modelom. Vo funkcii bola nastavená redukcia trojuholníkov na 50 % a parameter pre *Curvature Priority* bol znovu maximálny.

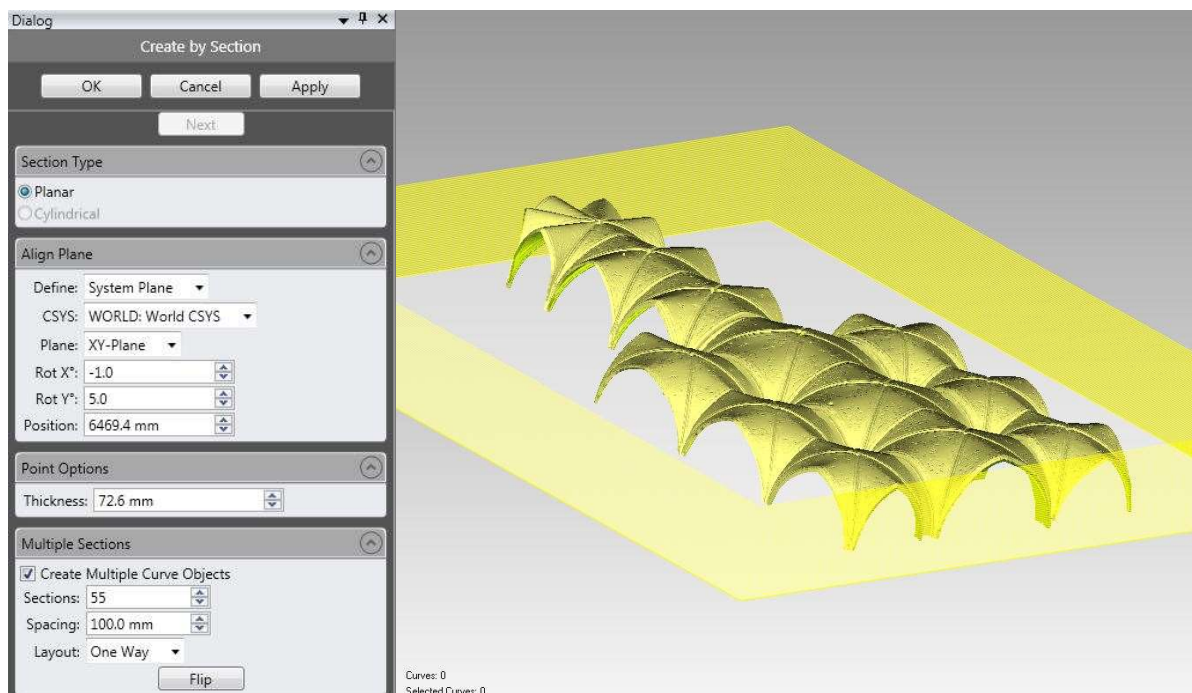


Obr. 18 Ukážka funkcie Decimate

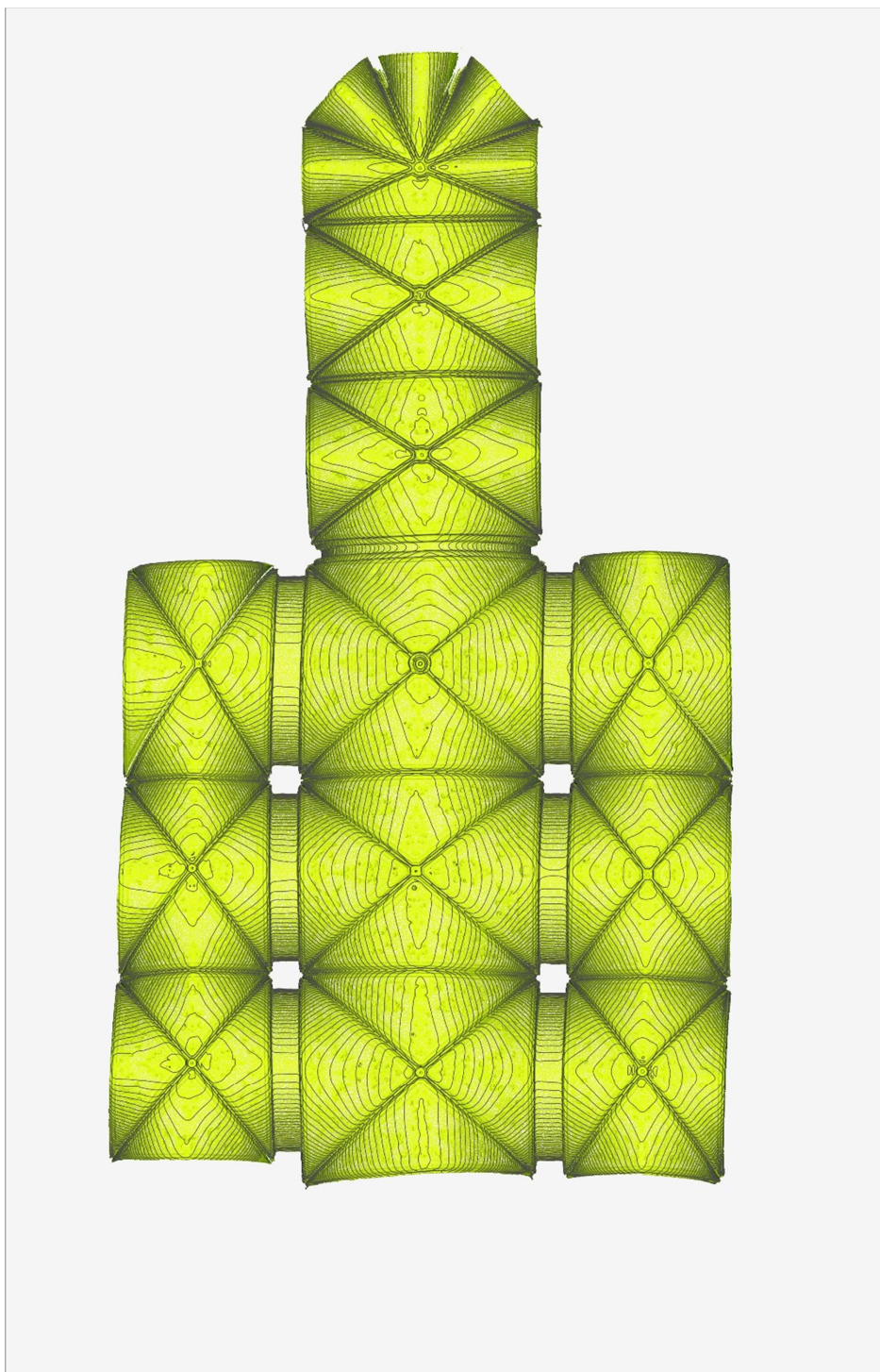
Tým sa skončila samotná tvorba a úprava 3D modelu kostola. Výslednými súbormi sú priestorový model a upravené mračno bodov objektu. Oba tieto súbory sú vo formáte *.wrp, ktorý sa používa ako hlavný formát pri práci v softvéri *Geomagic Studio*. Taktiež bol k nim pridaný aj model Kaplnky svätého Lukáša, ktorý bol spracovaný vo vyššej kvalite.

5.6 Vytvorenie vrstevnicového plánu klenby

Na vytvorenie vrstevnicového plánu klenby bolo nutné orezať výsledný model, aby zostala len samotná klenba kostola. Následne sa orezaný model konvertoval naspäť na mračno bodov pomocou funkcie *Convert To Points*, aby bolo možné vytvoriť vrstevnice. Ďalej bola použitá funkcia *Create By Section*, ktorá mračno bodov „presekala“ niekoľkými rovinami. Na mieste, kde rovina prechádzala mračnom bodov, vytvorila líniu. V parametroch tejto funkcie bolo nastavených 55 sekcií v intervaloch po 10 centimetroch, čím vznikol vrstevnicový plán. Tento plán bol exportovaný zo softvéru *Geomagic Studio* vo formáte *.igs do softvéru *AutoCAD*, kde sa k vrstevniciam pridala mierka a severka.



Obr. 19 Ukážka funkcie Create By Section



Obr. 20 Vykreslené vrstevnice na mračne bodov

Výstupom zo spracovania klenby je vrstevnicový plán vo formáte **.pdf*, výkres zo softvéru *AutoCAD* vo formáte **.dwg* a samotný model klenby vo formáte **.wrp*.

Záver

Táto bakalárska práca sa venovala dokumentácii historickej pamiatky. Na začiatku pri skenovaní objektu bolo získaných veľké množstvo dát, z ktorých po úpravách a redukcii nakoniec nezostalo ani 10 % z ich pôvodnej veľkosti. Kostol svätého Jindřicha bol skenovaný vo vysokej kvalite s presnosťou na milimetre, napriek tomu výsledný model tejto úrovne nedosahuje. Vplyvom riedenia mračna bodov a decimovania polygónovej siete môžeme hovoriť o presnosti na úrovni jedného centimetra. Na miestach, kde je povrch rovný a hladký je presnosť modelu pod jedným centimetrom. V prípade zakrivených plôch, ornamentov a inej výzdoby je to horšie – od jedného do troch centimetrov. Ak by sa mala zachovať rovnaká kvalita ako pri skenovaní, bolo by treba viac času na spracovanie dát.

Výsledkom tejto bakalárskej práce je teda 3D model tvorený polygónovou sieťou, ktorá bola vytvorená z mračna bodov. Tento model nie je úplne uzavretý z dôvodu zákrytov vo vyšších častiach kostola, kam skener už „nedovídel“. Asi tou najkrajšou časťou kostola je bohatá baroková výzdoba hlavne v oltárnej lodi a kaplnkách, ktorá nemohla byť zachytená úplne do detailov. Z toho dôvodu sa samostatne vyhotovila jedna z kaplniek, ktorá dosahuje presnosti niekoľkých milimetrov aj na zakrivených plochách. Model kaplnky ako aj model celého kostola sú priložené na DVD nosiči.

Ďalšou časťou práce bol vrstevnicový plán klenby. Vrstevnice, ktoré boli vytvorené na klenbe, lepšie zobrazujú jej skutočný tvar a taktiež aj nerovnosti, ktoré za normálnych okolností nie je vidieť. V pláne je vidieť veľa nepravidelností a aj to, že klenba nie je súmerná.

Bibliografie

- [1] NAVRÁTIL, Karel. *Paměti hlavního kostela farního, fary a školy sv. Jindřicha a sv. Kunhuty v Novém Městě Pražském* [online]. Praha, 1869 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=E1gAAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=sk#v=onepage&q&f=false>
- [2] PAVELKA, Karel. *Exaktní metody průzkumu památek: s využitím geodetických a geofyzikálních metod*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05260-0.
- [3] Luboš Rokos. *Jindřišská ulice a kostel svatého Jindřicha* [online]. 2016 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.e-stredovek.cz/view.php?cisloclanku=2016050003>
- [4] BASIS SOFTWARE, INC. *25 HSX Laser Scanners for Reverse Engineering, Dimensional Control, Historical Preservation, Architecture, and Forensics* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.surphaser.com/25hsx-scanner.html>
- [5] PRAGUE CITY TOURISM. *Kostel sv. Jindřicha a sv. Kunhuty - Prague.eu* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.prague.eu/cs/objekt/mista/1271/kostel-sv-jindrucha-a-sv-kunhuty>
- [6] MAGISTRÁT HL. M. PRAHY & PANORAMAS S.R.O. *Jindřišská věž a věž kostela sv. Jindřicha a sv. Kunhuty* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://stovezata.praha.eu/jindriska-vez-a-vez-kostela-sv-jindrucha-a-sv-kunhuty.html>
- [7] EKERT, František. *Posvátná místa král. hl. města Prahy: Dějiny a popsání chrámů, kaplí, posvátných soch, klášterů i jiných pomníků katolické víry a nábožnosti v hlavním městě království Českého* [online]. Praha, 1884 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://kramerius.mlp.cz/kramerius/handle/ABG001/489207>
- [8] Národní památkový ústav. *Památkový katalog - kostel sv. Jindřicha a sv. Kunhuty se Svatojindřišskou zvonící* [online]. 2015 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://pamatkovykatalog.cz/?element=15333022&action=element&presenter=ElementsResults>

[9] SIX-WEST. *High Definition Laser Scanning >> Six-West - Land Minerals & Hydrographic Surveyors - Planning Consultants* [online]. 2010 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.six-west.com/?page_id=739

[10] INTERNATIONAL NEMRUD FOUNDATION. Callidus << International Nemrud Foundation [online]. 2001 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://nemrud.nl/index.php/callidus/>

[11] ŠLAUFOVÁ, Zuzana. *Dokumentace historické klenby moderními geodetickými metodami*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka.

Zoznam použitých obrázkov

Obr. 1 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty [5].....	7
Obr. 2 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty z roku 1801 [1]	8
Obr. 3 Kostol svätého Jindřicha a svätej Kunhuty dnes [5]	9
Obr. 4 Pôdorys kostola [1]	10
Obr. 5 Hlavný oltár	11
Obr. 6 Jindřišská veža [5]	12
Obr. 7 Laserový sken podzemnej bane na zlato [9]	13
Obr. 8 Laserový skener Callidus CP 3200 [10]	15
Obr. 9 Pôdorys kostola s vyznačenými stanoviskami	16
Obr. 10 Laserový skener Surphaser 25HSX [4]	17
Obr. 11 Ukážka funkcie Uniform Sample	19
Obr. 12 Ukážka funkcie Manual Registration (pred)	20
Obr. 13 Ukážka funkcie Manual Registration (potom)	21
Obr. 14 Ukážka funkcie Global Registration	22
Obr. 15 Ukážka funkcie Wrap	23
Obr. 16 Ukážka funkcie Mesh Doctor	24
Obr. 17 Ukážka funkcie Relax Polygons	25
Obr. 18 Ukážka funkcie Decimate	25
Obr. 19 Ukážka funkcie Create By Section	26
Obr. 20 Vykreslené vrstevnice na mračne bodov	27

Zoznam príloh

Príloha A – Celý model kostola

Príloha B – Pôdorys kostola

Príloha C – Rez pravou loďou

Príloha D – Rez ľavou loďou

Príloha E – Rez strednou loďou

Príloha F – Pohľad spredu na oltárnu loď

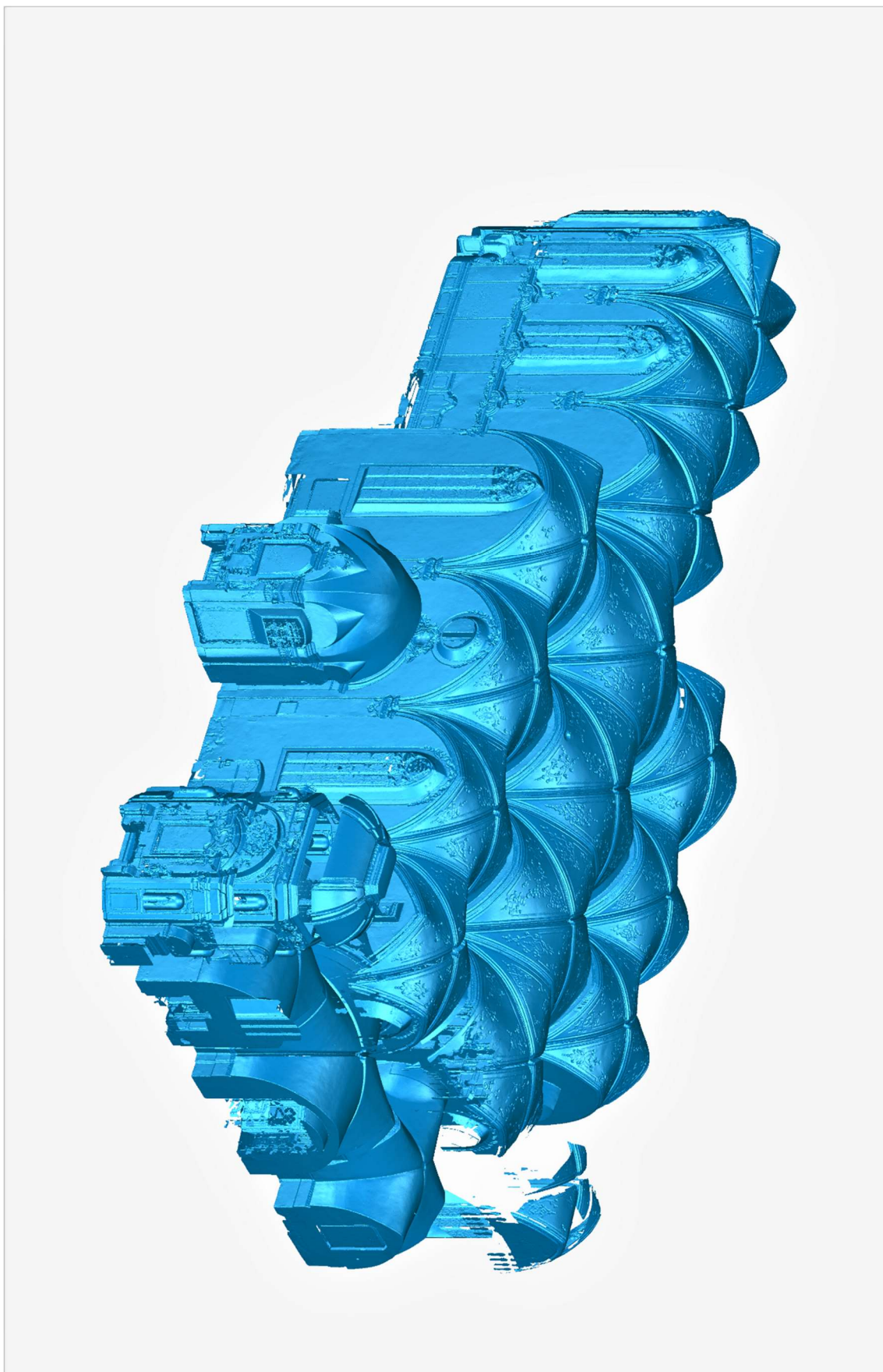
Príloha G – Kaplnka svätého Lukáša

Príloha H – Model klenby kostola

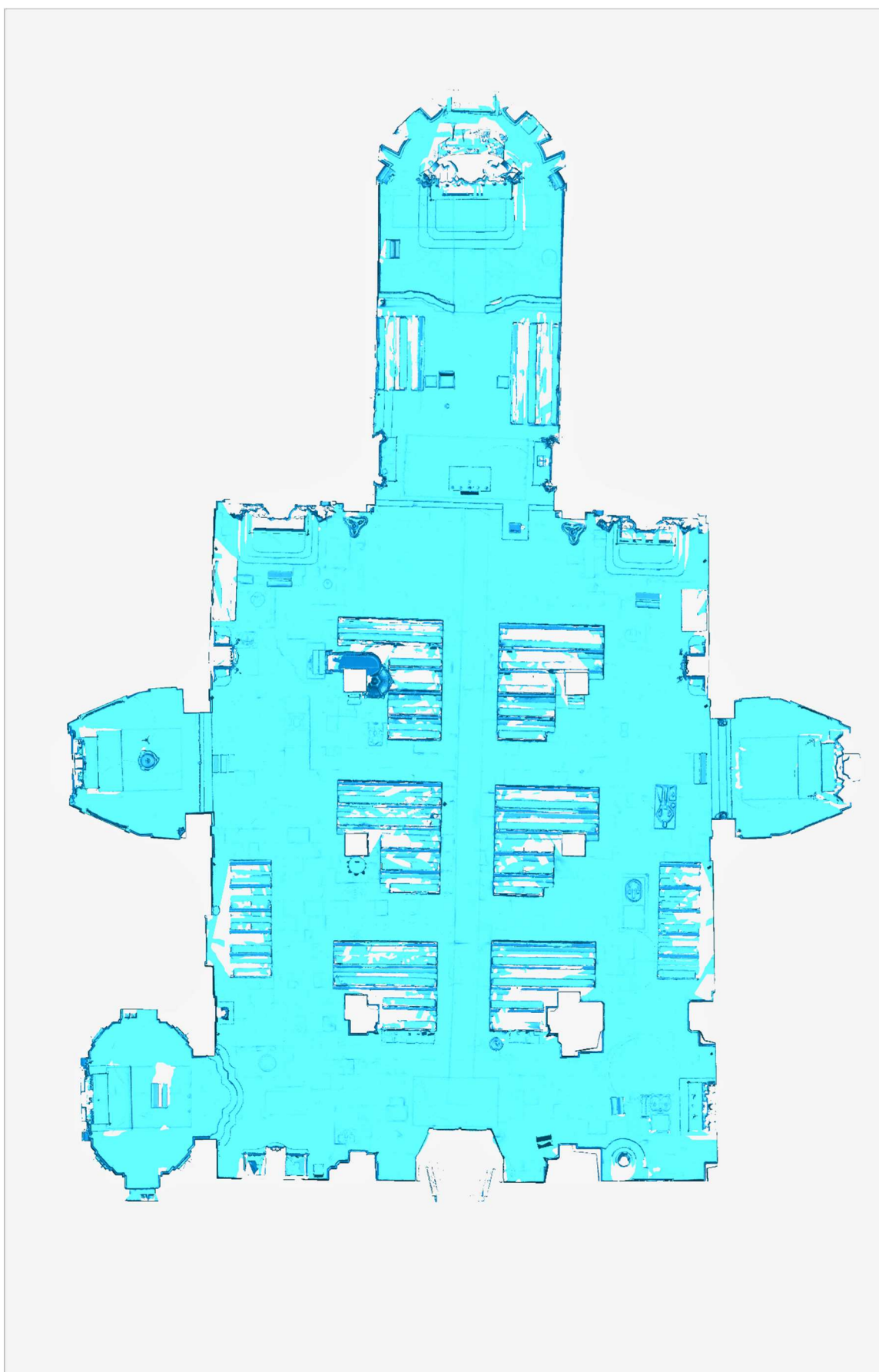
Príloha I – Vrstevnicový plán klenby

Príloha J – Obsah DVD

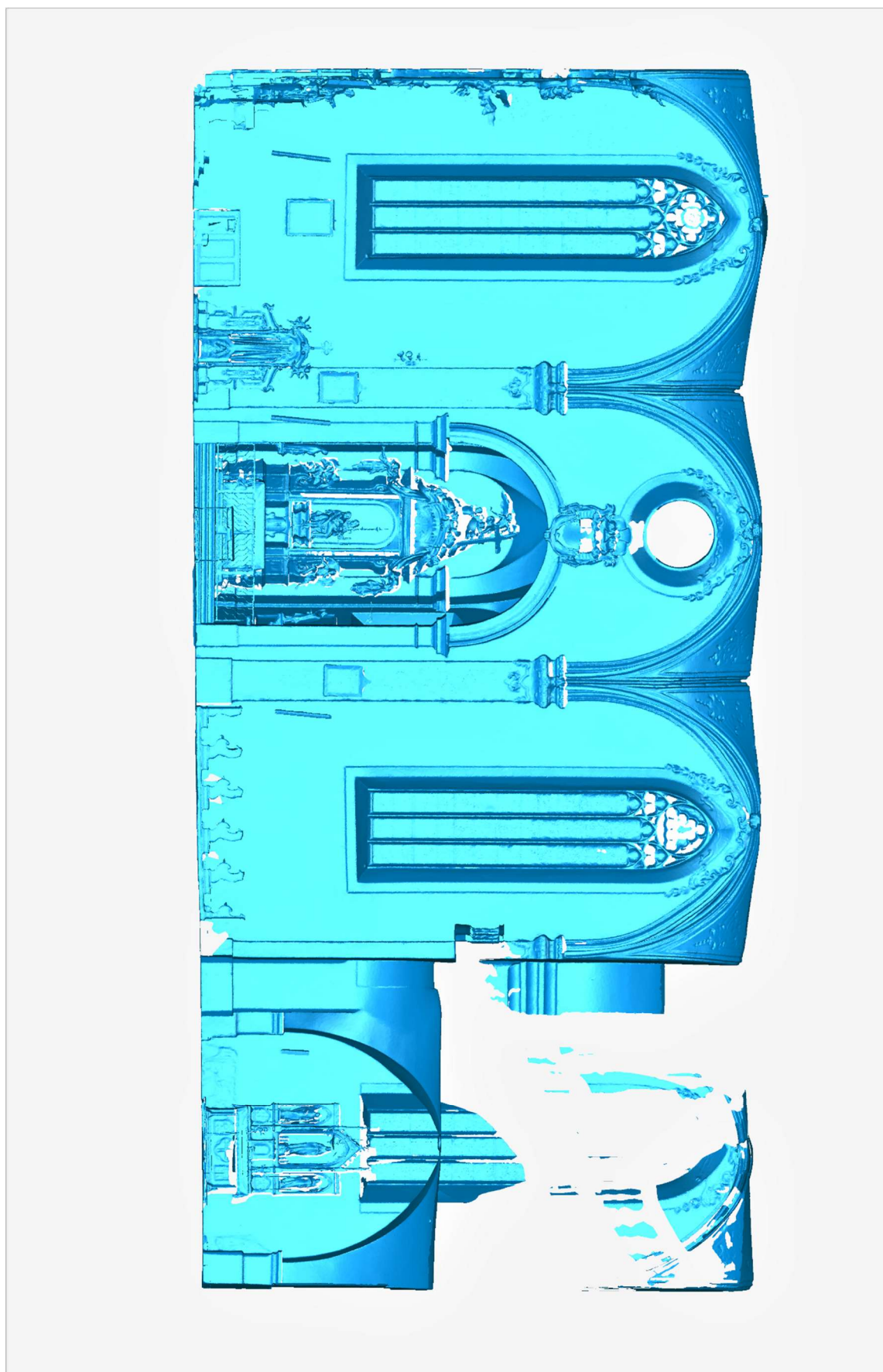
Príloha A – Celý model kostola



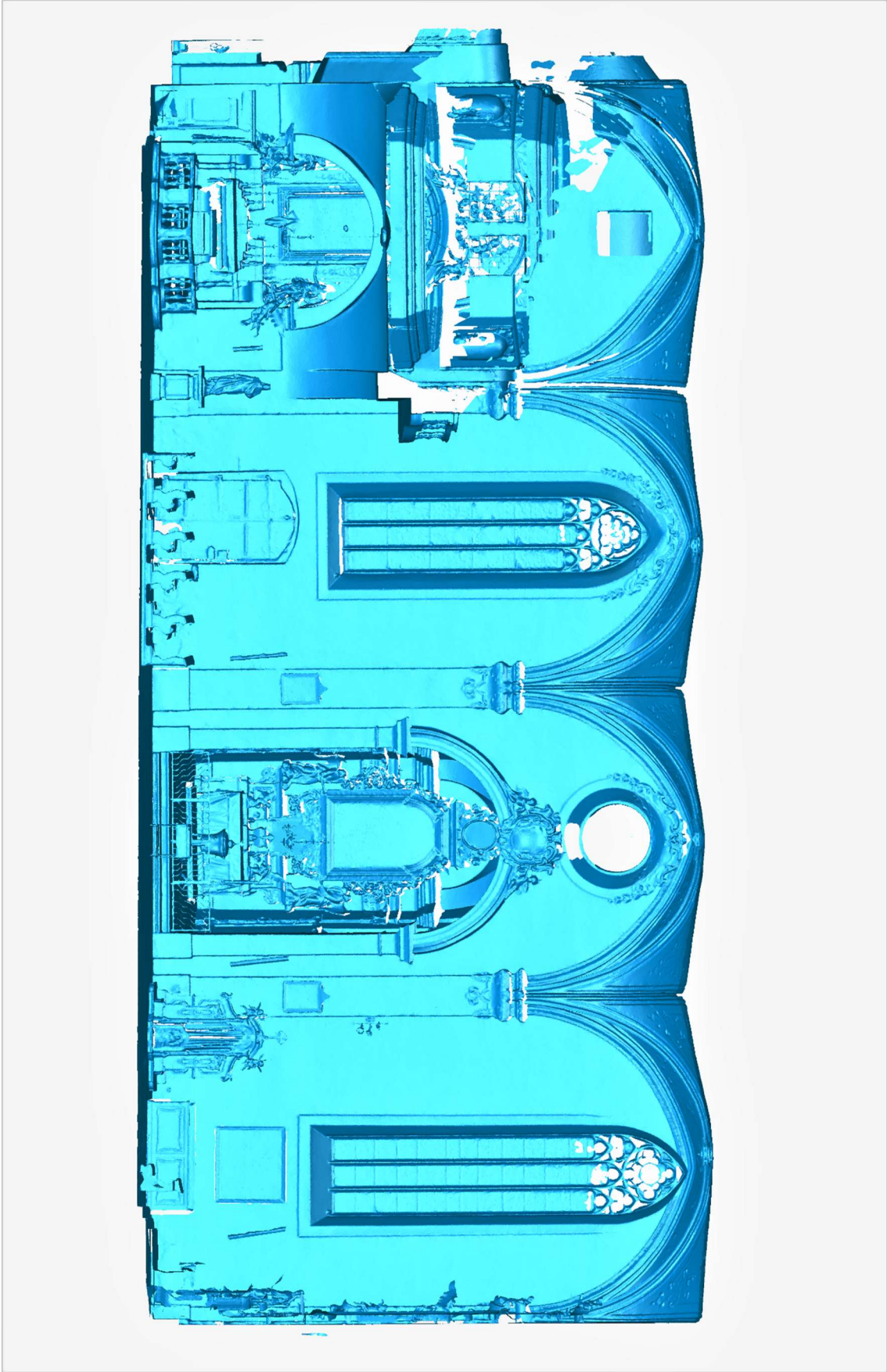
Príloha B – Pôdorys kostola



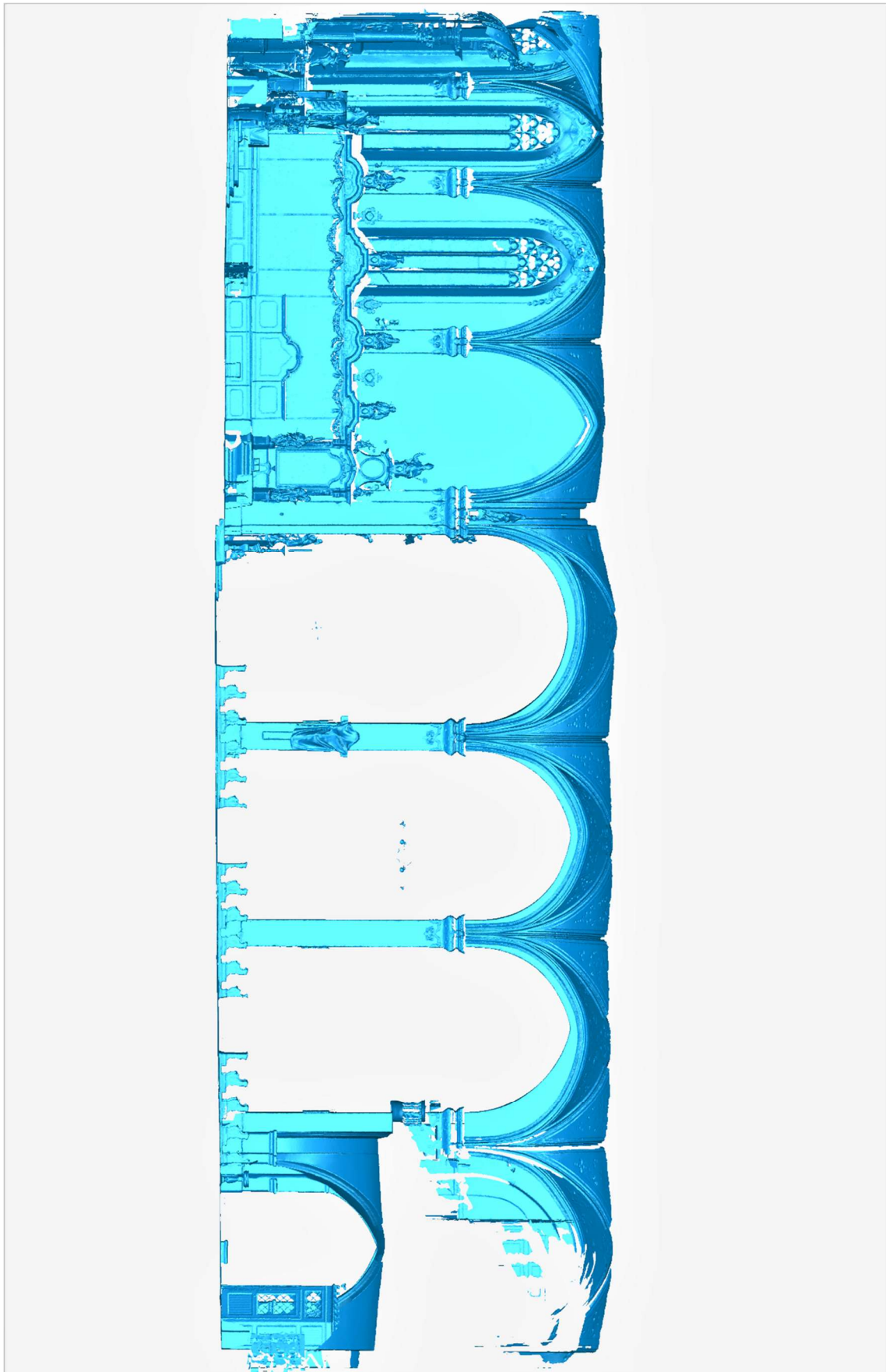
Príloha C – Rez pravou lod'ou



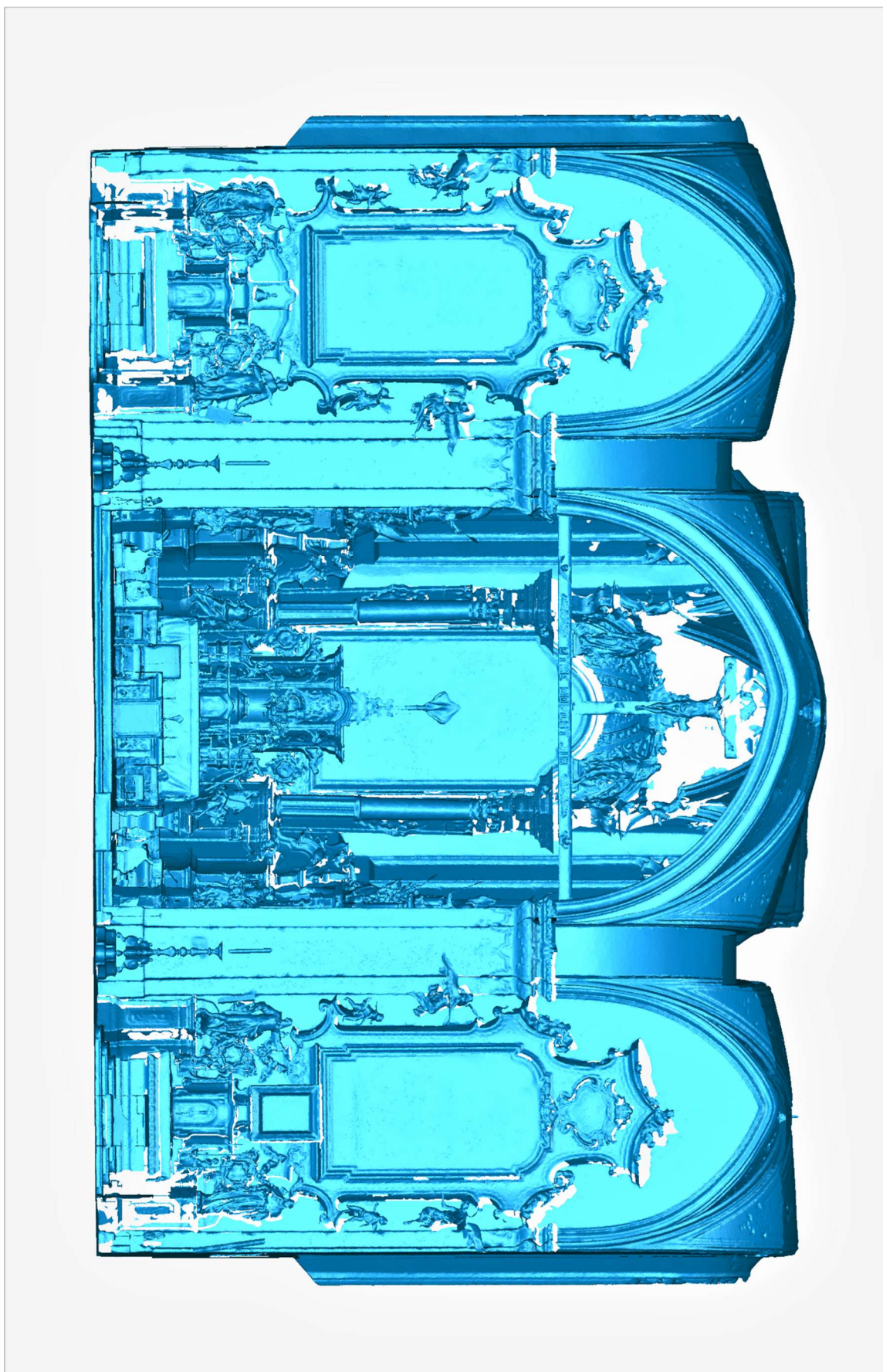
Príloha D – Rez ľavou lod'ou



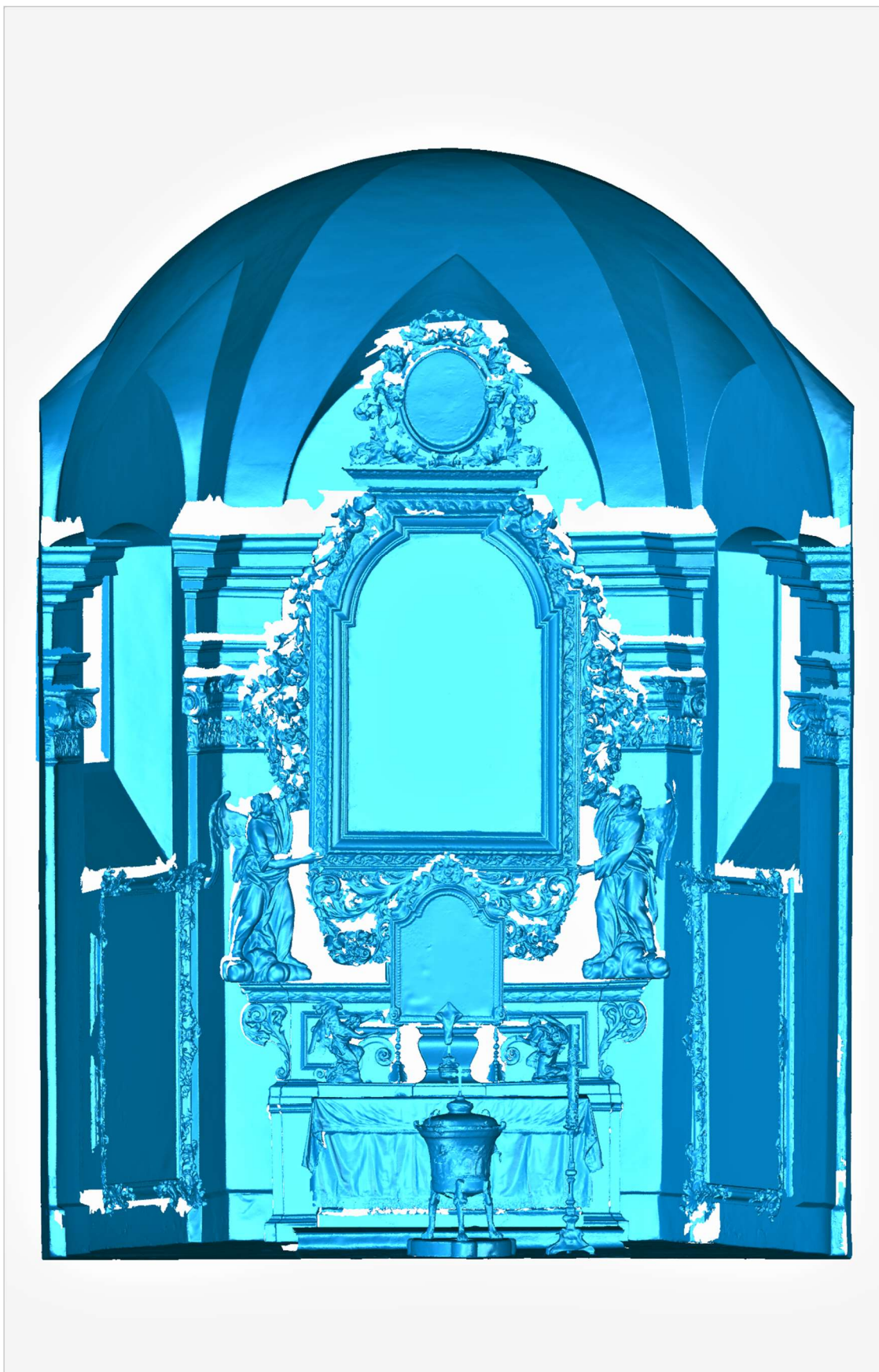
Príloha E – Rez strednou lod'ou



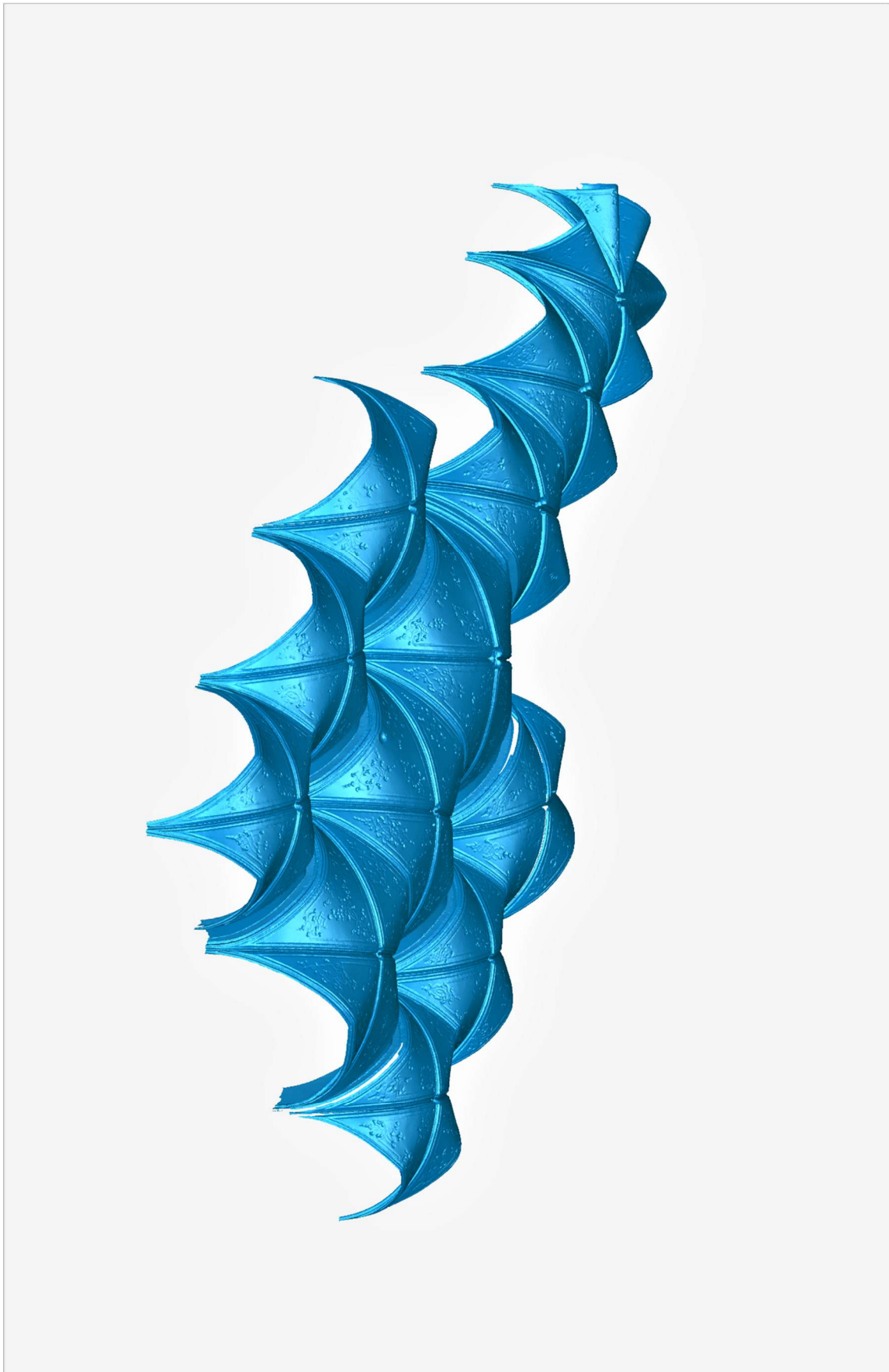
Príloha F – Pohľad spredu na oltárnu loď



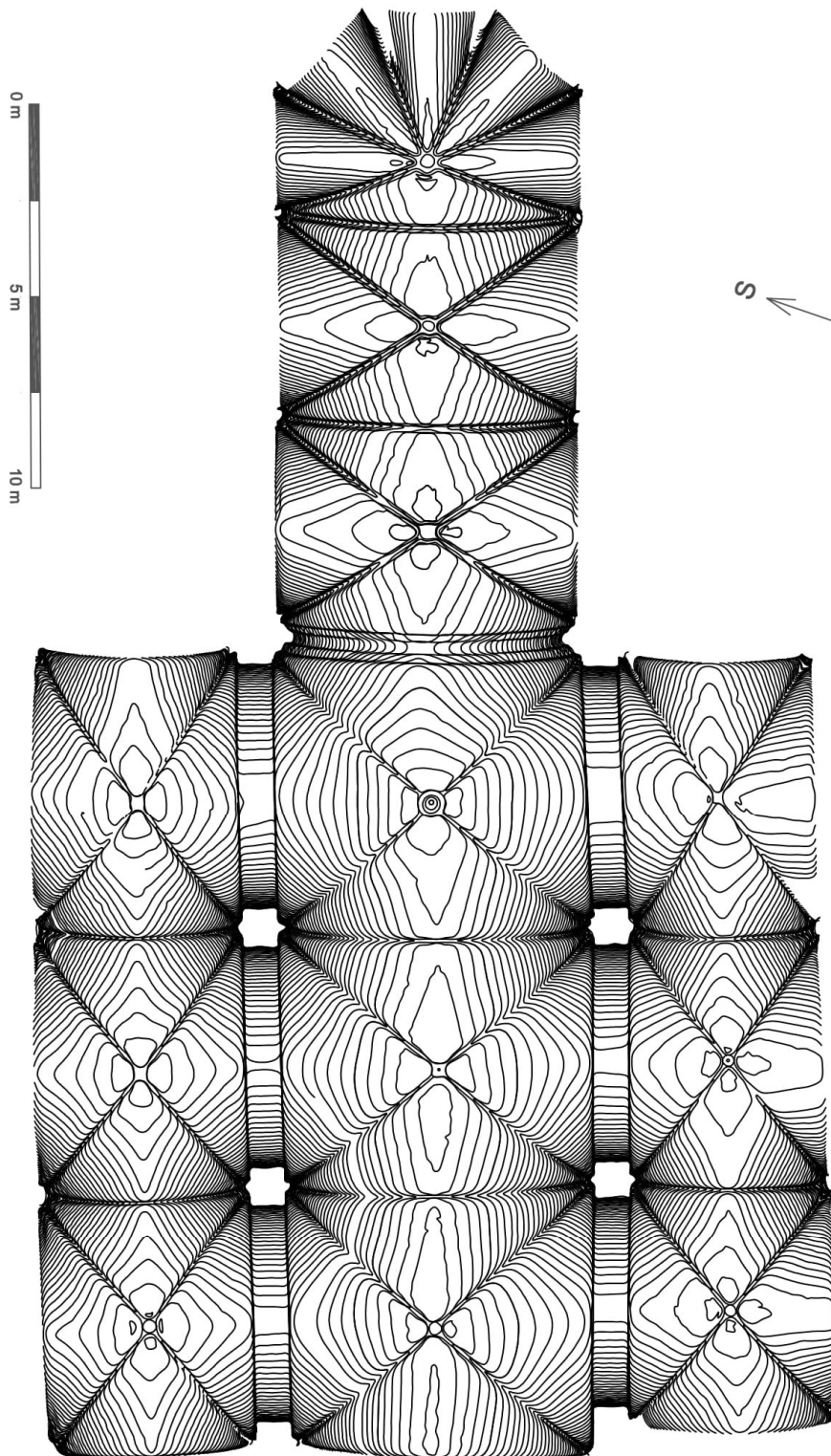
Príloha G – Kaplnka svätého Lukáša



Príloha H – Model klenby kostola



Príloha I – Vrstevnicový plán klenby



Príloha J – Obsah DVD

1. Cely_Kostol
 - Cely_Kostol_Body.wrp
 - Cely_Kostol_Model.wrp
 - Cely_model.png
 - Podorys.png
 - Pohlad_spredu_na_oltarnu_lod.png
 - Rez_lavou_lodou.png
 - Rez_pravou_lodou.png
 - Rez_strednou_lodou.png

2. Kaplnka_sv_Lukasa
 - Kaplnka_Lukas_Model.wrp
 - Kaplnka_Lukas.png

3. Klenba
 - Klenba_Model.wrp
 - Klenba.png
 - Vrstevnice.dwg
 - Vrstevnice.pdf