

# Výroba busty Tomáše Bati pomocí reverzního inženýrství

Tomáš Petruskóvský

---

Bakalářská práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Petřkovský**  
Osobní číslo: **T16102**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výroba busty Tomáše Bati pomocí reverzního inženýrství**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Naskenujte bezkontaktním způsobem bustu
3. Provedte reverse engineering
4. Vyrobtě bustu

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2018**

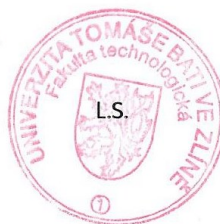
Termín odevzdání bakalářské práce:

**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 28. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Petrskovský Tomáš

Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15.5.2018

Petrskovský Tomáš

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Úkolem této bakalářské práce je výroba busty Tomáše Bati pomocí reverzního inženýrství, a s tím spojené seznámení se s moderními technologiemi, jako jsou 3D skenování a 3D tisk.

V teoretické části je vysvětleno, na jakém principu zmíněné technologie pracují. Dále je v ní popsána metoda reverzního inženýrství a jeho využití.

Praktická část je zaměřena na samotný postup výroby busty. Nejdříve je nutné provést naskenování předlohové busty. Tato data jsou následně upravena v modelovacím softwaru. Poté je busta vytištěna na 3D tiskárně. Následně je vytištěná busta použita pro výrobu formy pro následné odlévání.

Klíčová slova: busta, reverzní inženýrství, 3D skenování, 3D tisk, software

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to produce bust of Tomáš Baťa using reverse engineering and to familiarize readers with modern technologies such as 3D scanning and 3D printing.

In the theoretical part, it explains the principle of the technology in question. The reverse engineering method and its use are described below.

The practical part focuses on the actual bust production process. First you need to scan the bust. This data is subsequently modified in the modeling software. Then the bust is printed on a 3D printer. Subsequently, a printed bust is used to produce a mold for subsequent casting.

Keywords: bust, reverse engineering, 3D scanning, 3D printing, software

**Poděkování:**

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vojtěchovi Šenkeříkovi Ph.D. za cenné rady a poznatky, které jsem využil při psaní bakalářské práce, a také za odbornou asistenci během celého procesu výroby bust. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu a trpělivost při tvorbě bakalářské práce a studiu.

Motto:

*„Pro život, ne pro školu se učíme.“*

Seneca

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ.....</b>	<b>11</b>
1.1 VYUŽITÍ REVERZNÍHO INŽENÝRSTVÍ.....	11
<b>2 3D SKENOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 VYUŽITÍ 3D SKENOVÁNÍ .....	13
2.1.1 Průmysl .....	13
2.1.2 Lékařství.....	14
2.2 ROZDĚLENÍ 3D SKENOVÁNÍ.....	14
2.2.1 Dotykové skenování.....	15
2.2.2 Bezdotykové skenování .....	15
2.2.3 Stacionární a mobilní snímací systémy.....	16
2.3 TYPY 3D SKENERŮ .....	16
2.3.1 Dotykové .....	16
2.3.2 Optické 3D skenery .....	17
2.3.3 Laserové 3D skenery.....	18
2.3.4 Destruktivní 3D skenery .....	18
2.3.5 Ultrazvukové 3D skenery.....	19
2.3.6 Rentgenové 3D skenery .....	19
2.4 3D SKENOVÁNÍ OBLIČEJE .....	20
2.4.1 Ruční laserový skener .....	21
<b>3 3D TISK.....</b>	<b>22</b>
3.1 HISTORIE.....	22
3.2 TECHNOLOGIE .....	22
3.2.1 SLA – Stereolithography.....	23
3.2.2 SLS – Selective laser sinterin.....	23
3.2.3 FDM – Fused Deposition Modeling .....	25
<b>4 TOMÁŠ BAŘA .....</b>	<b>26</b>
4.1 DĚTSTVÍ.....	26
4.2 HISTORIE FIRMY BAŘA .....	26
4.3 INFRASTRUKTURA .....	27
4.4 TRAGICKÉ ÚMRTÍ .....	27
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>28</b>
<b>5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>29</b>
<b>6 SKENOVÁNÍ BUSTY .....</b>	<b>30</b>



6.1	SKENOVACÍ ZAŘÍZENÍ ATOS .....	30
6.2	KALIBRACE .....	31
6.3	SKENOVÁNÍ .....	32
<b>7</b>	<b>ÚPRAVA ZÍSKANÝCH DAT .....</b>	<b>33</b>
7.1	GOM INSPECT PROFESSIONAL .....	33
7.2	ÚPRAVA ZÍSKANÝCH DAT .....	33
7.3	PŘEVEDENÍ PLOŠNÝCH DAT NA OBJEMOVÉ .....	36
7.4	PODSTAVEC BUSTY .....	37
<b>8</b>	<b>3D TISK.....</b>	<b>38</b>
8.1	FORTUS 900MC.....	38
8.2	ZORTRAX M200 .....	39
8.3	MATERIÁL.....	39
8.4	POVRCHOVÁ ÚPRAVA VYTISKNUTÝCH BUST .....	40
<b>9</b>	<b>VÝROBA FOREM.....</b>	<b>43</b>
9.1	SORTA-CLEAR 40 .....	43
9.2	REBOUND 25 .....	46
<b>10</b>	<b>ODLÉVÁNÍ BUST .....</b>	<b>49</b>
10.1	SMOOTH-CAST 300.....	49
10.2	SMOOTH-CAST 65D (ROTO).....	51
10.3	MODELÁŘSKÁ SÁDRA.....	54
<b>11</b>	<b>EKONOMIČNOST VÝROBY.....</b>	<b>55</b>
11.1	3D TISK .....	55
11.2	VÝROBA FOREM .....	55
11.3	ODLÉVÁNÍ FOREM .....	56
11.4	POROVNÁNÍ VÝROBY BUSTY .....	56
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>66</b>

## ÚVOD

Předmětem bakalářské práce bylo vyrobit zmenšenou verzi busty Tomáše Bati pomocí reverzního inženýrství. Což znamenalo seznámení se s technologiemi zahrnující reverzní inženýrství a následně ekonomicky vyhodnotit výrobu busty pomocí odlévání do vyrobených forem.

Teoretická část byla zaměřena na technologie, které k reverznímu inženýrství patří. Mezi tyto technologie patří 3D skenování a 3D tisk. V rámci skenování byly probrány různé typy 3D skenerů a principy, na kterých pracují, nebo také odvětví, ve kterých je skenování využíváno. Dále byly popsány nejzákladnější technologie 3D tiskáren, jako například SLS, SLA nebo FDM.

V praktické části byl popsán postup výroby busty Tomáše Bati. Nejdříve bylo nutné naskenovat originální bustu pomocí zařízení Atos. Poté byl proveden 3D tisk dvou typů modelů, které posloužily pro výrobu forem pro následné odlévání. Na závěr praktické části bylo provedeno ekonomické zhodnocení výroby.

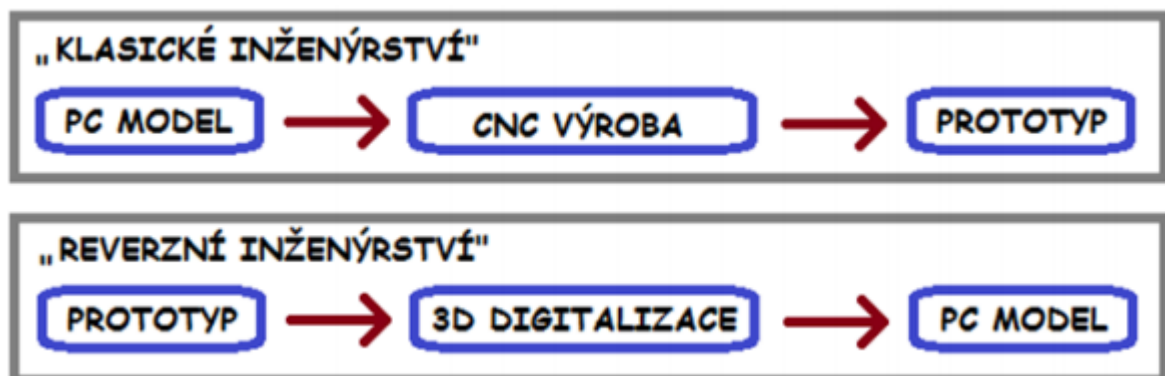
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

Reverzní inženýrství bývá často označováno jako proces opačný proti běžnému inženýrskému procesu. U běžného procesu je nejdříve vytvořena dokumentace, ta je ve dvou podobách buďto digitální nebo papírová. Poté je navržen postup výroby, podle kterého je součást vyrobena. Na rozdíl od reverzního inženýrství, kdy součást musí být vyrobena, než proces reverzního inženýrství začne.

Ve strojírenské oblasti je reverzní inženýrství spojováno s technologiemi trojrozměrné digitalizace a také označováno jako proces, jehož cílem je odvodit z měřeného fyzického objektu digitální model použitelný v běžných CAD systémech.

Reverzní inženýrství využívající 3D digitalizaci je nejefektivnější způsob jak získat CAD model z fyzického objektu komplexního tvaru. Digitální data mohou být využita k odstranění problémů originálního dílu, k optimalizaci designu, analýzám, inspekcím nebo pro další softwarové aplikace. [1,2]



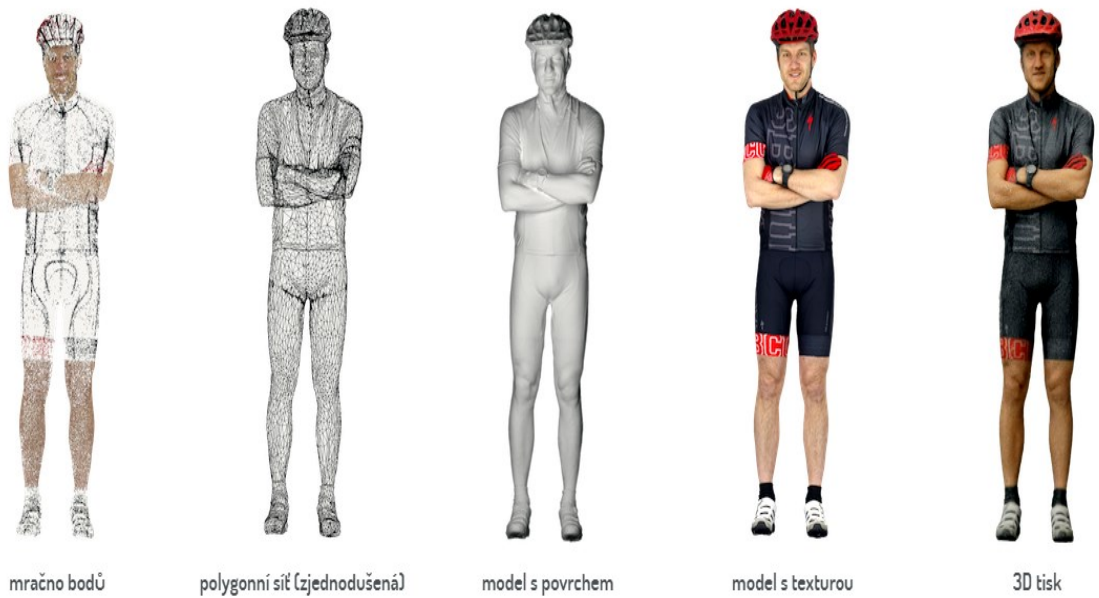
Obr. 1 Rozdíl mezi klasickým a reverzním inženýrstvím [3]

### 1.1 Využití reverzního inženýrství

S tímto typem výroby je spojeno mnoho odvětví. Jedním z nich může být například vytvoření nebo znovuobnovení technické dokumentace již vyrobené součásti. To se provádí naskenováním a následným digitalizováním naskenovaných dat. K vytvoření výkresů lze použít například CAD software.

Je ovšem možné se setkat i se situacemi, kdy dochází díky reverznímu inženýrství k plagiátorství. Příkladem toho může být situace, kdy si firma zakoupí od konkurence výrobek, který je následně naskenován a pomocí těchto dat je vytvořena výrobní dokumentace zakoupeného výrobku.

Reverzní inženýrství je také vhodné k tzv. rekonstrukci poškozené součásti, ke které není zhotovena výkresová dokumentace. [2,4]



Obr. 2 Postup zpětné analýzy [5]

## 2 3D SKENOVÁNÍ

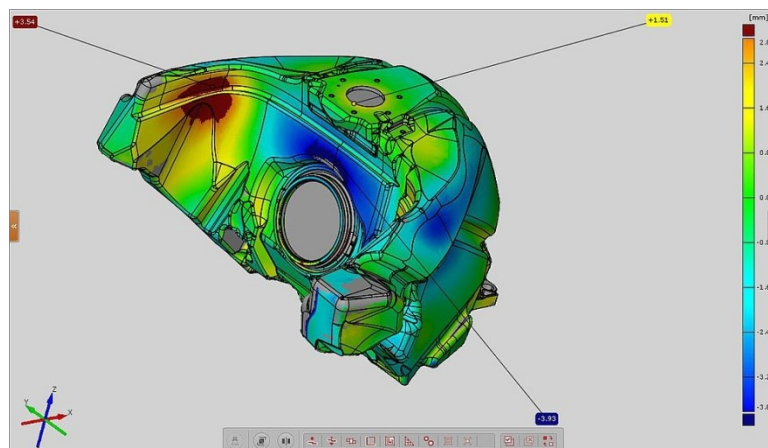
Skenování je nedílnou částí procesu reverzního inženýrství, kdy jde o počáteční fázi, před započítím celého procesu. Je to fáze digitalizace, v které dochází k přenosu reálných fyzických tvarů tělesa do 3D počítačových dat. Před samotným skenováním je třeba vybrat vhodné technické vybavení, při výběru se musí brát v úvahu velikost, složitost a požadovaná přesnost vyráběného tělesa. Povrch tělesa musí být očištěn od nečistot. Tato technologie patří mezi zcela běžný způsob, jak se získávají data v dnešním výrobním procesu. Existuje několik druhů 3D skenerů, ať už to jsou laserové, dotykové, destruktivní nebo nedestruktivní. [6,7]

### 2.1 Využití 3D skenování

3D digitalizace je v mnoha aspektech velmi přínosná, využívá se téměř ve všech oblastech našeho života počínaje průmyslem, architekturou a zdravotnictvím konče. [6]

#### 2.1.1 Průmysl

V průmyslové výrobě je častým pojmem reverzní inženýrství, kdy je potřeba například zhotovit přesnou kopii výrobku. Výstupem tohoto procesu je technická dokumentace 3D modelu, která poslouží k zdokonalení designu, vytvoření nového prototypu nebo ke kontrole kvality. V automobilovém průmyslu je tato technologie hojně využívána, protože skenery umožňují vytvořit 3D model i u nejsložitějších objektů, jako jsou automobily a jejich součásti. Tyto 3D modely se následně využívají k jejich inovacím a dalšímu vývoji. [8]



Obr. 3 Proložení skenu vůči modelu [9]

### 2.1.2 Lékařství

3D skenery lze úspěšně používat v lékařství, zejména v oblasti ortopedie a protetiky. Ortopedi a protetici získávají pomocí skenerů přesný sken části lidského těla, což znamená, že mohou být vytvořeny přesné a dobře přizpůsobené protézy s minimálním úsilím. Výhodou je snížení nákladů a času, který se stráví modelováním protézy. Jelikož 3D skenování nepředstavuje žádná zdravotní rizika pro pacienty, využívají se také pro diagnostiku. [10]



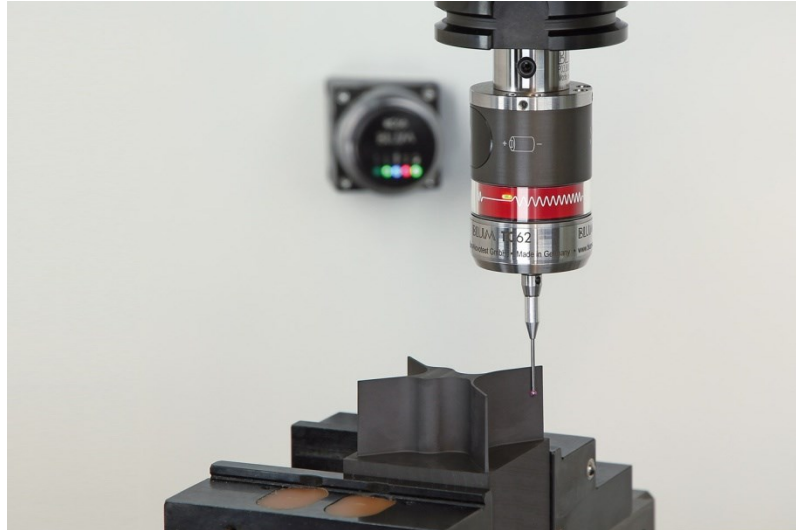
Obr. 4 Prototyp protézy ruky [11]

## 2.2 Rozdělení 3D skenování

Ve výrobním procesu je možno se setkat s mnoha typy skenerů, každý z těchto typů má své výhody a nevýhody. Ve většině případů se jedná o nedestruktivní typy skenerů, protože skenovaný předmět je ponechán v originálním stavu. Velmi často je požadována také znalost vnitřní struktury předmětu, čehož lze dosáhnout různými způsoby, mezi které patří rentgenové nebo CT skenování. Tyto metody se řadí také mezi nedestruktivní typy. Ovšem vnitřní strukturu lze zjistit i pomocí tzv. destrukce objektu, což se provádí rozdělením objektu na dvě a více částí. [13]

### 2.2.1 Dotykové skenování

Jak již z názvů vyplývá, jedná se o rozdělení, kde hraje hlavní roli kontakt se samotným skenovaným objektem. Dotykové skenování je založeno na hmotném dotyku snímacího systému se samotným snímaným předmětem pomocí mechanické sondy. [14]



Obr. 5 Ukázka dotykového skenování [15]

### 2.2.2 Bezdotykové skenování

Naopak bezdotykové snímací systémy nevyžadují ke své funkci hmotný dotyk s povrchem součásti. Tyto systémy fungují na laserovém nebo optickém principu. Jejich největší výhodou je vysoký stupeň detailu ploch, které jsou těžce přístupné mechanickým sondám.[14]



Obr. 6 Ukázka bezdotykového skenování [16]





Obr. 7 Detail bezdotykového skeneru [17]

### 2.2.3 Stacionární a mobilní snímací systémy

U stacionárních systémů je nutné dopravit měřené těleso k měřicímu zařízení, kdežto u mobilních systémů tato povinnost není, tudíž je pro samotné využití mnohem výhodnější. [14]

## 2.3 Typy 3D skenerů

### 2.3.1 Dotykové

Hlavní charakteristická vlastnost těchto skenerů spočívá v dotyku se skenovaným povrchem objektu. Před zahájením samotného skenování je nutné vyznačit si body na povrchu objektu, které musí být naskenovány. Díky těmto bodům bude zajištěn přesný digitální obraz objektu. Čím je tento obraz složitější, tím více bodů musí být vyznačeno. Dotykové skenování lze provádět i pomocí zařízení, které je svou konstrukcí založené na principu frézky s inverzním tokem dat. Ovšem místo frézky je zde připevněna snímací sonda, která je v přímém kontaktu se snímaným povrchem a tím vytváří digitalizaci objektu. [14]



Obr. 8 Detail snímací sondy [18]

### 2.3.2 Optické 3D skenery

Skenování je prováděno z několika úhlů pomocí optického zařízení. Při každém natočení (buďto ručně nebo pomocí motorku) se provede vyfocení objektu a následné odeslání dat do počítače. Po získání snímků ze všech úhlů pohledu se provede zpracování dat a jejich následné vyhodnocení. Následně pomocí aproximace dat se vytvoří digitalizovaný model. Optické skenery jsou uplatněny nejenom v 3D skenování, ale také se dají použít jako souřadnicové měřicí zařízení, které najde využití hlavně při výrobě strojírenských součástí. [14]

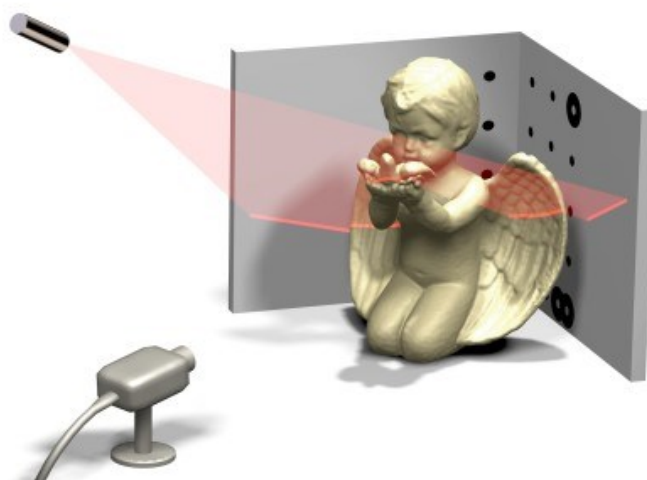


Obr. 9 Ukázka optického 3D skeneru [19]

### 2.3.3 Laserové 3D skenery

Laserové skenování spočívá ve vyslání laserového paprsku ze skeneru kolmo proti předmětu, který je následně odražen zpět do skenovacího zařízení. V tom se tato akce vyhodnotí. Vyhodnocením doby mezi vysláním a zpětným odrazem paprsku je získána informace o rozměru předmětu ve směru tohoto paprsku. Úhel, pod kterým se paprsek do skeneru vrací, vypovídá o zakřivení předmětu. Tímto způsobem je naskenován laserovým paprskem celý objekt.

Kvalita digitalizovaného obrazu je tím větší, čím větší je hustota pokrytí plochy reálného tělesa laserovým paprskem. Často bývá součástí zařízení i barevná kamera, která snímá barevnou texturu. Výsledný obraz bude tedy nejenom přesnou geometrickou napodobeninou, ale bude mít i stejnou texturu. [14]



Obr. 10 Princip laserového skeneru [20]

### 2.3.4 Destruktivní 3D skenery

Tento typ zařízení je schopno digitalizovat nejenom vnější povrch součásti, ale i vnitřní strukturu. Nevýhodou ovšem je, že součást bude při použití této metody zničena. Tato technologie se hlavně využívá v oblasti reverzního inženýrství při digitalizaci součásti se složitou vnitřní geometrií.

Před procesem digitalizace je skenovaná součást umístěna na nastavitelný rám a pokryta speciálním materiálem. Ten při zpracování naskenovaných snímků poskytne vysoký kontrast mezi součástí a výplňovým materiálem. Poté se z prostoru vyčerpá vzduch a vznikne vakuum, které způsobí, že se tento speciální materiál dostane do všech dutin

součástí. Takto připravený blok se přemístí do skenovacího zařízení, kde se připevní ke frézovacímu stolu.

Vlastní skenování proběhne v okamžiku odfrézování tenké vrstvy materiálu z bloku. Každý takto nově vzniklý povrch se naskenuje použitím optického skeneru a získaná data se odešlou k dalšímu softwarovému zpracování. [14,21]

### 2.3.5 Ultrazvukové 3D skenery

Tento způsob digitalizace je založen na principu bezkontaktního snímání povrchu součásti pomocí ultrazvukové sondy. Tato varianta je cenově nejvýhodnějším řešením problematiky snímání povrchu těles a jejich vnitřní struktury.

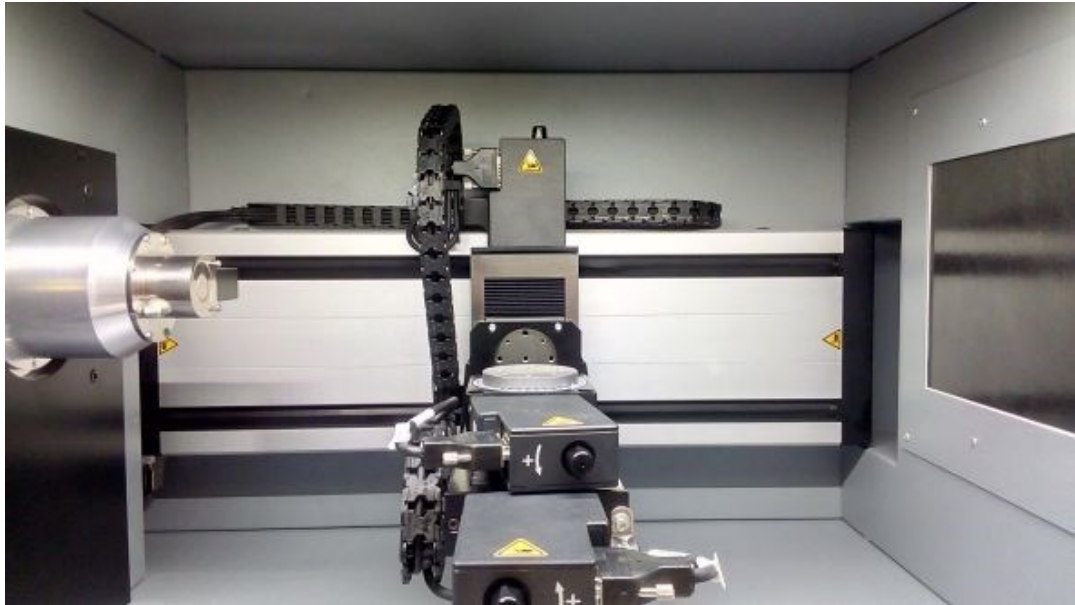
Samotné skenování se provádí manuálně, a to ultrazvukovou sondou. Tato sonda vysílá ultrazvukový signál, který je poté pomocí speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekodován do prostorových souřadnic. Nešvarem tohoto zařízení je relativně malá přesnost, která se pohybuje v rozmezí 0,3 – 0,5 mm. [14,22]

### 2.3.6 Rentgenové 3D skenery

Tento skener se používá v podobných případech jako destruktivní 3D skener, což jsou objekty se složitou vnitřní geometrií. Rozdíl je pouze v tom, že nedojde ke zničení snímaného objektu. Princip těchto zařízení je stejný jako u rentgenů používaných ve zdravotnictví s tím rozdílem, že ve zdravotnictví je intenzita záření ze zdravotních důvodů nižší. Zařízení bývají zpravidla mobilní a používají se ke kontrole potrubí, kotlů nebo jiných uzavřených nádob. [14]



Obr. 11 Rentgenový skener [23]



Obr. 12 Pohled do pracovní komory CT skeneru [23]

## 2.4 3D Skenování obličeje

Skenování obličeje je hlavně využíváno v lékařském odvětví nebo pro identifikaci osob tzv. biometrie. Ale je možné se s tímto skenováním setkat i v archeologii, kde se pomocí této technologie rekonstruuje tváře našich předků. Jedná se o rychlou metodu, samotný sken obličeje lidské tváře trvá v řádech sekund. Ke skenování tváří jsou využívány ruční skenery, jejichž technologie jsou různé.

### Technologie obličejových skenerů:

- a) Laser
- b) Strukturované světlo (multi-shot)
- c) Strukturované světlo (single shot – stereo)
- d) Strukturované světlo (single shot – mono)
- e) Stereo – Fotogrammetrie

Laserová technologie se převážně využívá ve zdravotnictví a u pohyblivých objektů (například pacientů), protože laser nám umožní dokonalé naskenování všech záhybů a kontur obličeje. U technologie strukturovaného světla, je výhodnější, pokud skenovaný objekt je nehybný, protože skenování je prováděno pomocí snímků, které by v případě pohybu skenovaného objektu nemusely zachytit potřebné detaily. [32]

### 2.4.1 Ruční laserový skener

Práce s ručním laserovým skenerem nevyžaduje příliš mnoho úsilí, ale je nutné dodržet dvě pravidla:

- a) **Obličej je skenován pouze 1x** – Důvodem je to, že výraz tváře se mění, což znamená, že výsledné skeny by se nemusely shodovat.
- b) **Zachycení části ramen a zad** – Ramena a záda slouží k ukotvení každého záběru, díky čemuž na sebe budou jednotlivé snímky správně navazovat. Posléze jsou tyto části těla vymazány v editačním módu. [32]



Obr. 13 Ruční 3D skener Artec Eva [12]

### 3 3D TISK

3D tisk neboli Rapid Prototyping je řazen mezi aditivní technologie, což znamená, že postupným přidáváním materiálu dojde ke vzniku výrobku. Jde o tisk ve speciálním zařízení, které je nazýváno 3D tiskárna. V 3D tiskárnách dochází ke vzniku trojrozměrného objektu. Díky tomu, že ve srovnání s ostatními výrobními technologiemi, jsou náklady na výrobu prototypů nižší, je 3D tisk stále populárnější. [24,25]

#### 3.1 Historie

V roce 1986 byla Charlesem Hullem patentována technologie s názvem stereolitografie, která je považována za předchůdce dnešního 3D tisku. Tato technika spočívala v trojrozměrném laserovém tisku s využitím UV laseru a tekutého fotopolymeru. Před koncem 90. let byla Hullem vytvořena, pod záštitou jeho nové firmy 3D Systems, první zařízení tisknoucí ve formátu 3D pro širokou veřejnost nazývaný SLA-1. Tyto zařízení se staly základem pro dnešní 3D tiskárny. [24,25]



Obr. 14 3D tiskárna SLA-1, vytvořená Charlesem Hullem [26]

#### 3.2 Technologie

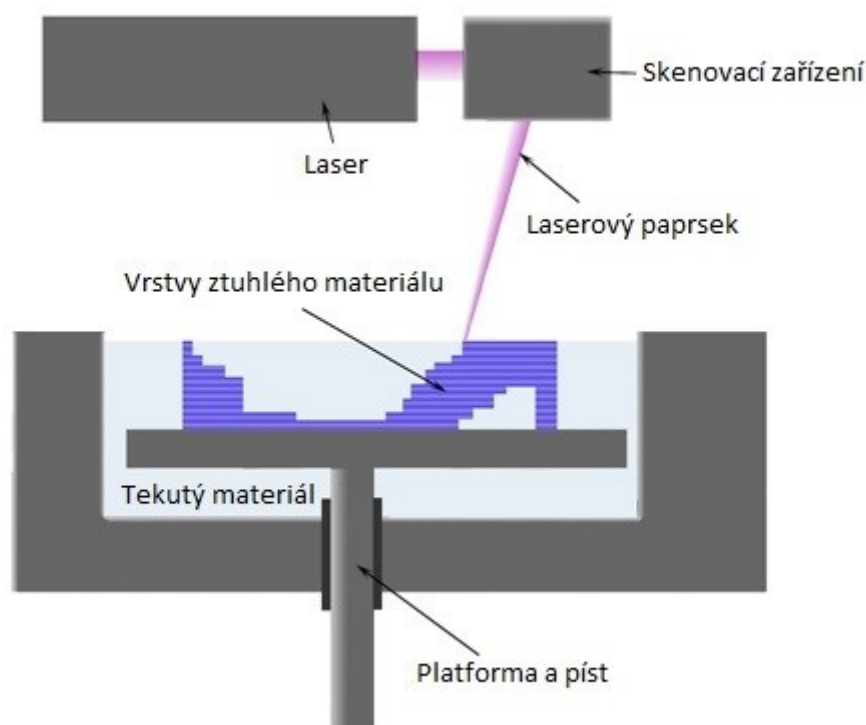
K samotnému vytištění výrobku je potřeba splnit několik bodů. Prvním bodem je vytvoření 3D modelu. Existuje několik možných způsobů jak 3D model získat, nejjednodušší a nejrozšířenější je vymodelování modelu (například v CAD softwaru), další způsob spočívá v použití 3D skeneru. Dalším bodem je převedení 3D modelu do příslušného formátu, aby ho software tiskárny dokázal zpracovat. Následně je nutné

vytvořit samotné instrukce pro tiskárnu tzv. G-Code, který se pošle do tiskárny. Poté dochází k samotnému tisku. Nakonec se provádí úprava vytištěného objektu. [24,27]

### 3.2.1 SLA – Stereolitography

Stereolitografie je řazena mezi technologie pro výrobu trojrozměrných objektů. Jednotlivé vrstvy objektu se vytváří pomocí ultrafialového laserového paprsku, který vykresluje vrstvu na hladinu polymerové tekutiny, vytvrzované UV světlem. Poté se tištěný objekt ponoří do polymeru a začne se tvořit další vrstva.

Technologie byla vynalezena Charlesem Hullem. Základním nedostatkem je nemožnost výběru materiálu. V porovnání s SLS je běžnému uživateli nedostupná. Nejznámějším výrobcem SLA zařízení je 3D Systems, založená Charlesem Hullem. [28]



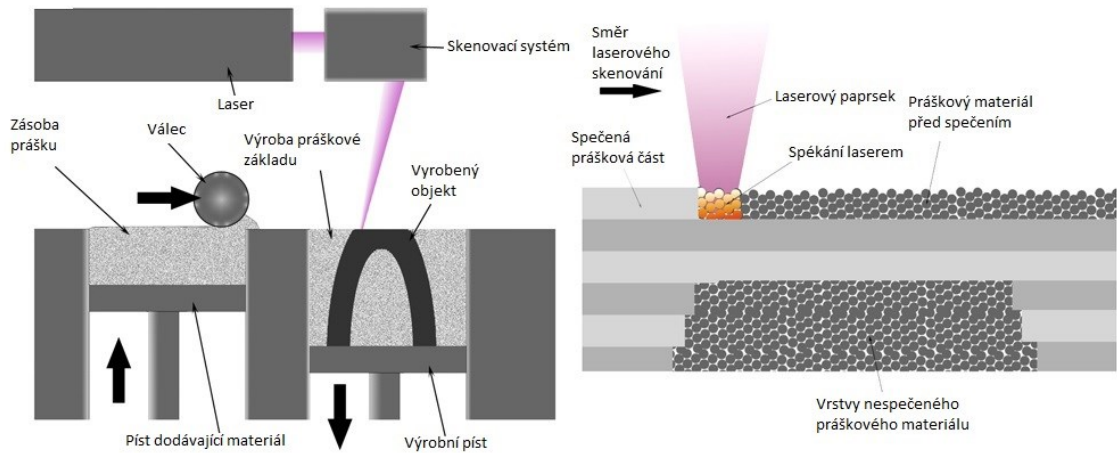
Obr. 15 Technologie SLA [28]

### 3.2.2 SLS – Selective laser sinterin

SLS je velmi efektivní metoda výroby prototypů. Využívá velmi výkonný laserový paprsek, kterým jsou tavena a spékána jemná zrnka tiskového materiálu do námi požadovaného tvaru.



Výhoda této technologie je široké spektrum komerčních materiálů dodávaných v práškové formě, které jsou použity pro tisk. Mezi tyto materiály patří plasty, kov, sklo nebo keramika. Naopak nevýhodami jsou vysoká energetická náročnost a vysoká cena samotného zařízení, které je zpravidla vybavené karbon-dioxidovým zdrojem paprsku nebo nemožnost tisku uzavřených dutin. [28,29]



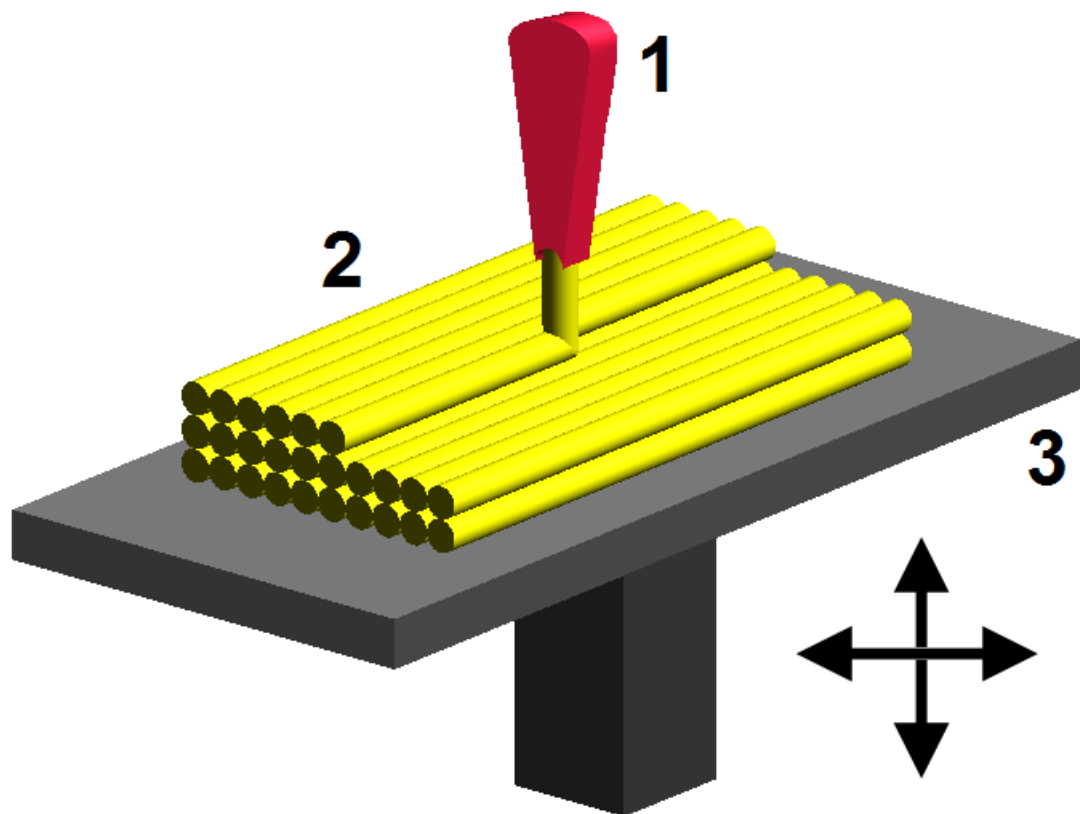
Obr. 16 Schéma tvorby objektů pomocí SLS metody [28]



Obr. 17 Zařízení pracující na principu SLS [30]

### 3.2.3 FDM – Fused Deposition Modeling

V současné době je FDM jednou z nejpoužívanějších technologií pro 3D tisk, výrobu prototypů a funkčních vzorků výrobků. Podobně jako u SLS není princip příliš složitý. Do tiskové hlavy je pod tlakem zaváděn tiskový materiál, nejčastěji termoplast. Tisková hlava termoplast roztaví a ten je vytlačen pomocí tenké trysky ven. Celá soustava se pohybuje nad tiskovým stolem a z vytlačovaného termoplastu se po jednotlivých vrstvách vytváří výsledný objekt. [28,31]



Obr. 18 Schéma principu metody FDM [28]

1- tisková hlava 2-vrstvený materiál 3-tiskový stůl

## 4 TOMÁŠ BAŤA



Obr. 19 Tomáš Baťa [35]

### 4.1 Dětství

Tomáš Baťa se narodil 3. dubna 1876 ve Zlíně do početné rodiny ševce Antonína Bati. Měl dva starší sourozence, a to sestru Annu a bratra Antonína a mladšího nevlastního bratra Jana Antonína z druhého otcova manželství. V pouhých 5 letech Tomášovi zemřela matka. Jeho rodina ale dlouho neúplná nezůstala, protože o 2 roky později se jeho otec oženil znovu a rozhodl se, že svou živnost přestěhuje do Uherského Hradiště. [35]

### 4.2 Historie firmy Baťa

21. září 1884 založil ve Zlíně Tomáš Baťa se svými sourozenci Annou a Antonínem firmu Baťa. Jejich firmu tvořila z počátku malá skupinka ševců a šiček, kteří šili boty nejenom pro své sousedy, ale i pro vzdálenější obchodníky.

O necelých 10 let později vyráběla firma Baťa 2200 párů denně, pro výrobu obuvi byly využívány moderní stroje, které urychlovaly výrobu. Navzdory hospodářskému poklesu za I. světové války se v roce 1917 zvýšil odběr zboží na dva milióny párů ročně.

Na počátku II. světové války Baťa zaměstnával 42 000 lidí. Po válce ovšem komunistické vlády znárodnily všechny Baťovy společnosti ve východní Evropě. Navzdory tomu Baťa přetrval díky zbývajícím organizacím mimo východní Evropu. [35]

### 4.3 Infrastruktura

Tomáš Baťa spolu s budováním areálu továrny dokázal podle svých představ přebudovat i město Zlín. Hlavním znakem přebudovaného města jsou baťovy domy, které Baťa svým zaměstnancům pronajímal. Jako starosta města Baťa zajistil stavbu nemocnice, aby měli jeho zaměstnanci perfektní zdravotní péči. Mimo to se také podílel na vylepšení železniční, dopravní, letecké a říční dopravy, která zajistila lepší komunikaci nejenom v rámci zlínského regionu ale také v rámci celého Československa. [35]

### 4.4 Tragické úmrtí

Dne 12. července 1932 byl naplánován Baťův let jeho osobním letadlem na slavnostní otevření nové pobočky v městě Möhlin ve Švýcarsku. Letadlo krátce po startu z firemního letiště v Otrokovicích spadlo z výšky 20-30 metrů poblíž továrny na Bahňáku. Tomáš Baťa tragicky zahynul spolu se svým pilotem Jindřichem Broučkem. [35]



Obr. 20 Baťovy domy pro zaměstnance firmy [35]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této práce bylo zhotovit pomocí reverzního inženýrství bustu Tomáše Bati. Nejdříve bylo provedeno skenování busty pomocí skenovacího zařízení Atos, poté následovalo převedení získaných mračen bodů na objemový objekt. Po získání objemových dat byly busty dále upravovány, konkrétně v programu Catia. Tam byly vytvořeny podstavce pro busty.

Po navržnutí podstavců se pokračovalo výrobou bust. Výroba probíhala dvěma způsoby. Prvním způsobem byl 3D tisk a druhým způsobem bylo odlévání materiálu do formy. Modely, které byly vytisknuty, také posloužily pro zhotovení dvou forem. K odlévání byly použity různé materiály a barevné kombinace. Práce byla tedy rozdělena do několika bodů:

- Naskenování busty zařízením Atos
- Převedení na objemový objekt
- Navržnutí podstavců
- 3D tisk
- Výroba forem
- Výroba bust pomocí odlévání

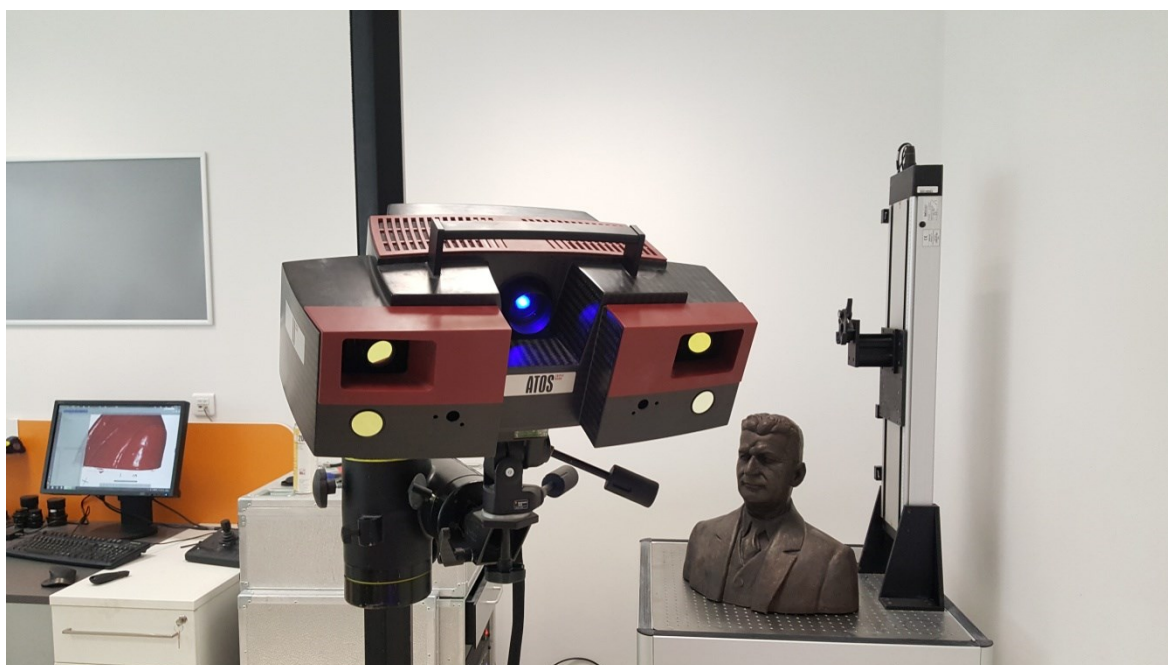


Obr. 21 Busta Tomáš Bati

## 6 SKENOVÁNÍ BUSTY

Povrch busty Tomáše Bati není pro skenování ideální, protože je tmavý a lesklý, což by mohlo způsobit značné problémy. Obvykle jsou součásti s tímto typem povrchu postříkány bílým práškem, který zajistí lepší kvality snímků pořízených skenerem. Ovšem busta tímto přípravkem nemohla být upravena, aby nedošlo k jejímu poškození. Navzdory této skutečnosti samotné skenování probíhalo nad očekávání dobře a kvalita pořízených snímků byla dostačující.

### 6.1 Skenovací zařízení Atos



Obr. 22 Skenovací zařízení Atos Triple Scan II

Součástí skenovacího zařízení Atos Triple Scan II je speciální optika, která je vybavena kamerami s rozlišením až 16 megapixelů, což zaručuje velmi přesné měření.

Díky široké škále možných nastavení přesnosti, rozlišení a velikosti měřené oblasti nám Atos Triple Scan II zaručuje nejvyšší rozlišení pro 3D digitalizaci menších, složitějších součástí, jejichž rozměry se mohou pohybovat od 38 mm. Nebo naopak 3D digitalizaci rozměrných dílů s objemem do 2 m<sup>3</sup>.

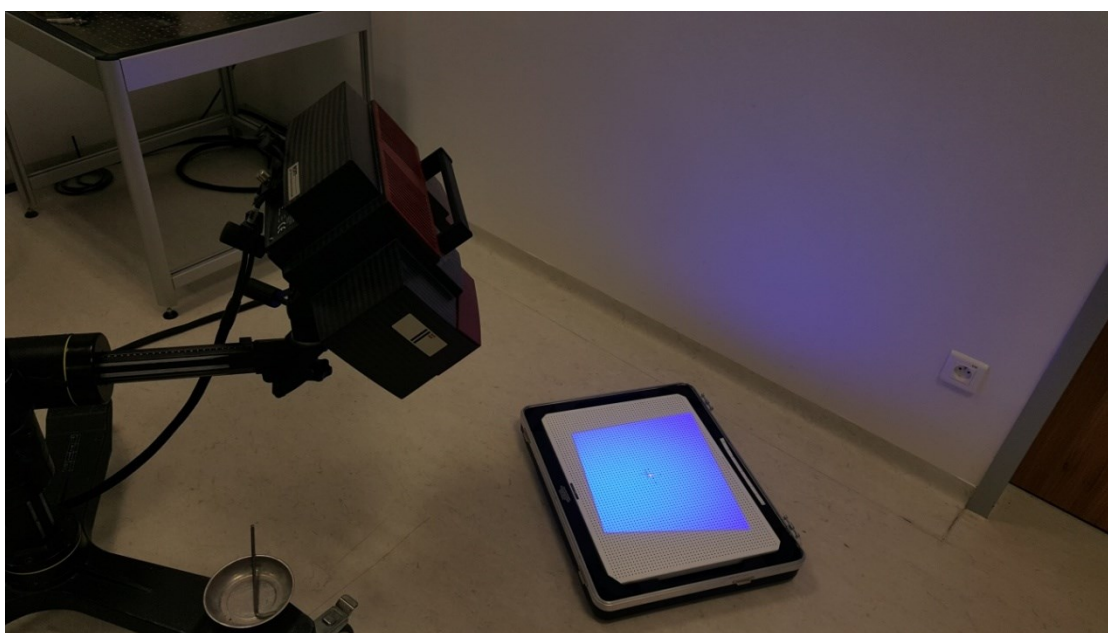
Díky tomu, že skener je vybaven technologií modrého světla, je zaručena nezávislost na okolním osvětlení. To je zapříčiněno jeho vlnovou délkou, která je menší než u světla viditelného.

Název systému	Atos Triple Scan II
Použitá konfigurace zařízení	MV 320
Měřicí objem (MV) – (D x Š x V)	320 x 240 x 240 [mm]
Vzdálenost mezi naměřenými body	0,13 [mm]
Doporučené referenční body	Ø 1,5 [mm]
Měřicí vzdálenost	830 [mm]
Úhel mezi kamerami	27 [°]
Ohnisková vzdálenost objektivu kamery	23 [mm]
Ohnisková vzdál. objektivu u projektoru	50 [mm]
Rozlišení kamer	5 [MPix]

Tab. 1 Parametry skenovacího zařízení Atos

## 6.2 Kalibrace

Před samotným skenováním je potřeba skenovací zařízení kalibrovat. Ke kalibraci se používá speciální destička, která je k zařízení dodávána výrobcem.

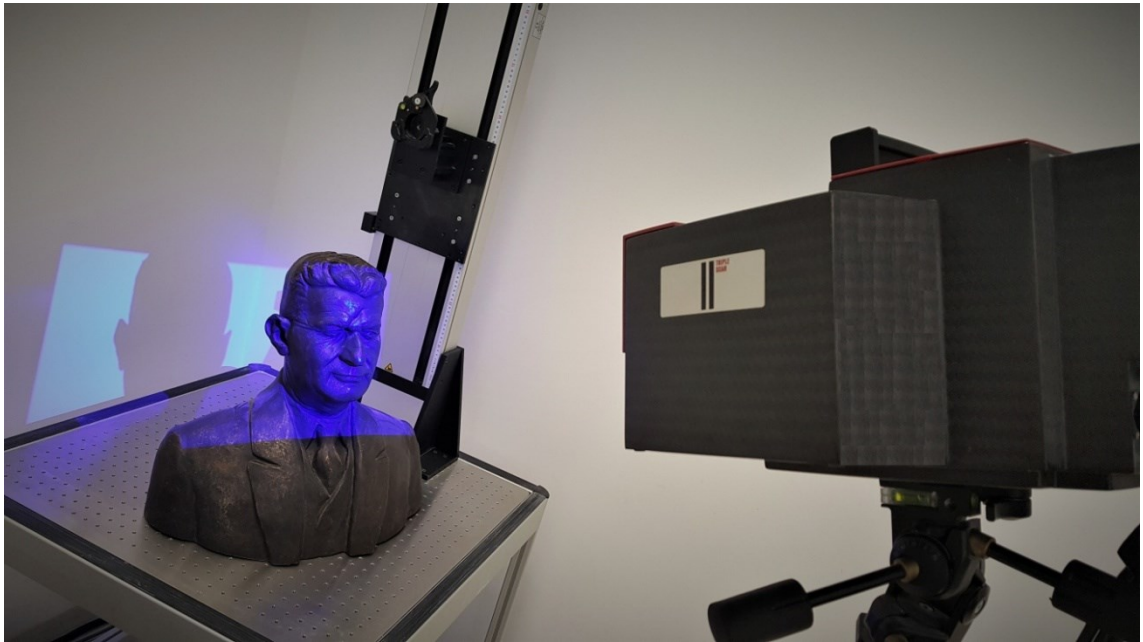


Obr. 23 Kalibrace



### 6.3 Skenování

Samotné skenování busty nebylo příliš dlouhé ani složité. Bylo pouze zapotřebí bustu naskenovat ze všech možných úhlů, aby získaná data byla co nejkvalitnější a nejcelistvější. To znamená, aby byl naskenován každý detail busty a nebylo mnoho vynechaných míst, do kterých se modré světlo skeneru nedostalo. Těmito problematickými místy byly například záhyby v oblasti kravaty nebo za ušima.



Obr. 24 Skenování busty



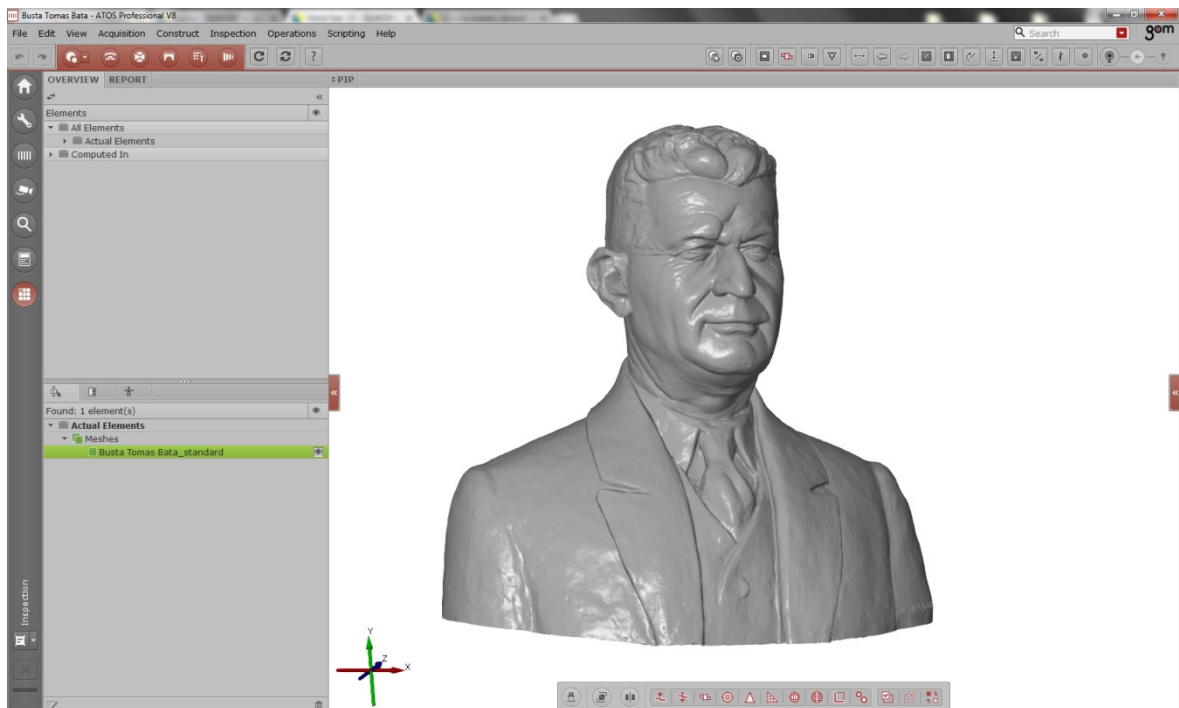
Obr. 25 Detail průběhu skenování

## 7 ÚPRAVA ZÍSKANÝCH DAT

Celkově bylo provedeno pomocí skeneru 64 snímků, které byly postupně nahrávány do programu GOM Inspect Professional, ve kterém se vytvářel tvar skenované busty. Dále bylo nutné převést data na objemová.

### 7.1 GOM Inspect Professional

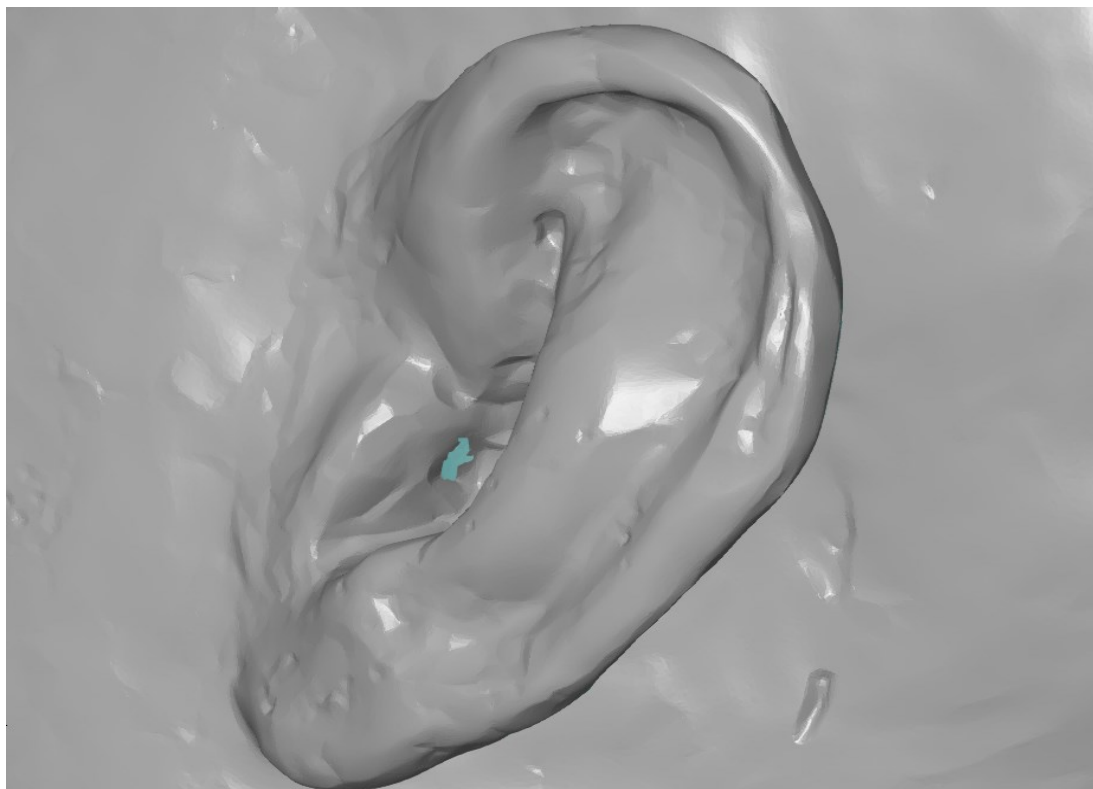
Jedná se o software, který analyzuje 3D data získána z GOM systémů, 3D nebo laserových skenerů. Tento software je využíván především v oblasti kontroly kvality, ale také v oblasti vývoje nebo například produkce.



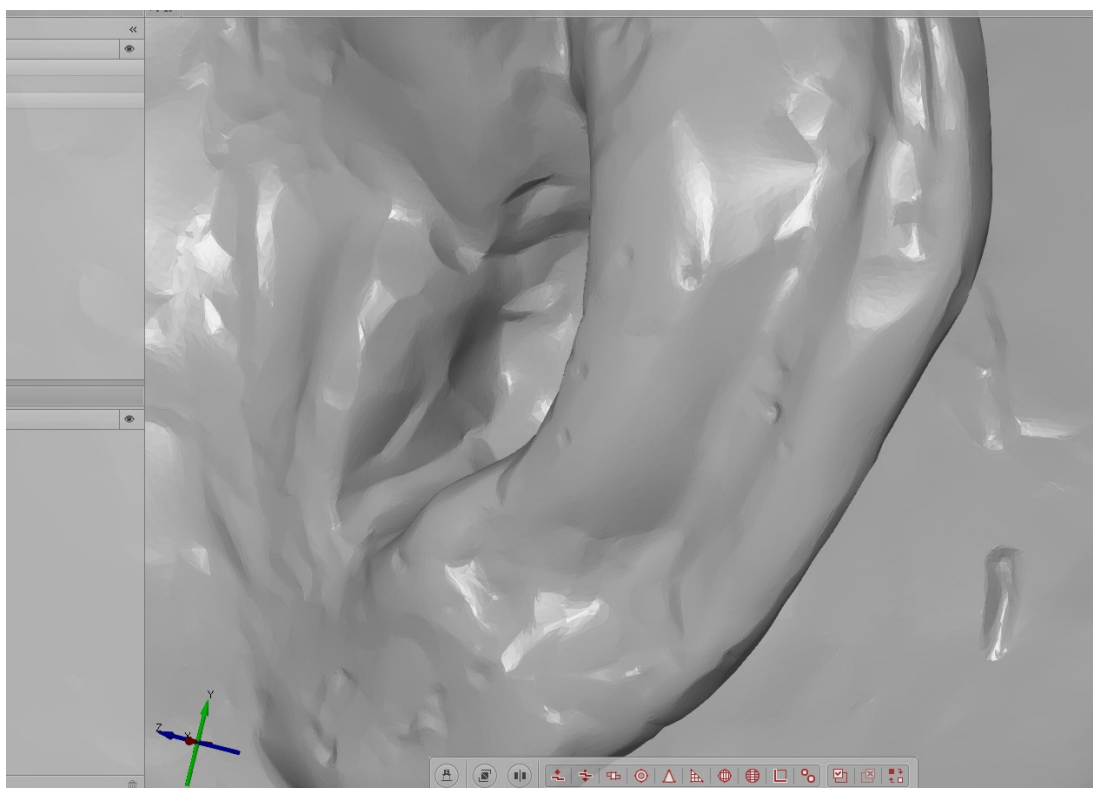
Obr. 26 Prostředí softwaru GOM Inspect Professional

### 7.2 Úprava získaných dat

Z důvodu nedostatečného proniknutí modrého světla do všech zákoutí busty, bylo nutné tyto “díry” upravit v softwaru tzv. pomocí “záplat“, ty lze provést dvěma způsoby. To buď automaticky, kdy si program sám najde nedokonalosti a zaplní je, nebo manuálně, kdy se tyto nedostatky musí vyhledávat na získaných datech a následně upravovat.

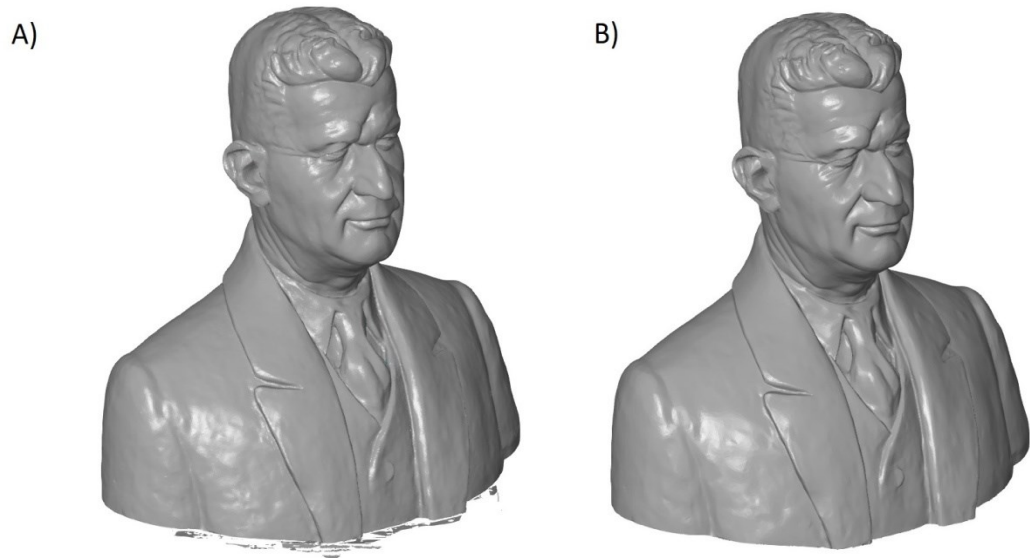


Obr. 27 Detail “díry“ za uchem, kam modré světlo skeneru nedokázalo proniknout



Obr. 28 Detail ucha po upravení “díry“

Po upravení všech “děr“ bylo nutné zredukovat počet bodů, ze kterých byla vytvořena síť naskenované busty. Původních 2,5 milionu bodů bylo zredukováno na 150 000 bodů. Důvodem této redukce bylo to, že pro výrobu zmenšené kopie busty nebylo zapotřebí znát povrch příliš detailně. Tyto detaily by následným 3D tiskem nebyly vyrobitelné.



Obr. 29 Vliv počtu bodů na detail povrchu

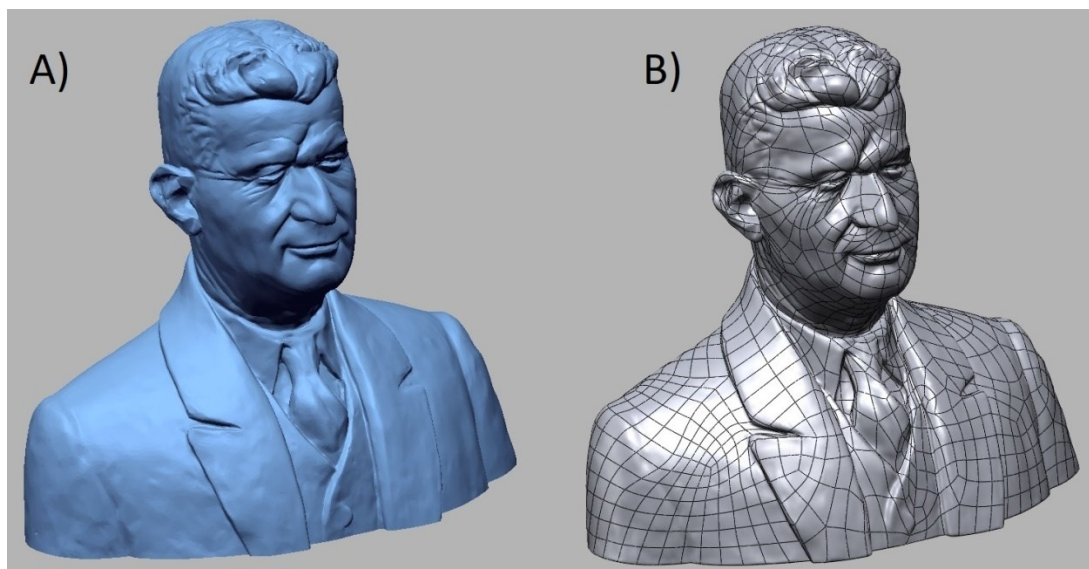
A- 2,5 milionu bodů B- 150 000 bodů



Obr. 30 Znárodnění síť vytvořené z 150 000 bodů

### 7.3 Převedení plošných dat na objemové

Pro budoucí práci s modelem busty bylo nutné převést plošná data na objemová, což se provedlo pomocí softwaru Geomagic Design.



Obr. 31 A – Plošná data B – Objemová data



Obr. 32 Proložení plošných dat objemovými daty

## 7.4 Podstavec Busty

Následně bylo navrženo několik variant podstavců pro bustu. Z nich byly vybrány dvě, z toho jedna byla opatřena i nápisem Tomáš Baťa. Navrhování bylo prováděno v softwaru Catia V5R20.



Obr. 33 Finální podoby bust

## 8 3D TISK

Po úpravě dat ze skeneru se dále pokračovalo 3D tiskem. K tisku byly využity dvě tiskárny, jednou z nich byla Fortus 900mc, a druhá Zortrax M200.

### 8.1 Fortus 900mc

Tato tiskárna patří mezi nejvýkonnější výrobní systém na technologii FDM (Fused Deposition Modeling), zaručuje vysokou přesnost a návratnost investic. Výhodou Fortus 900mc je schopnost tisknout pomocí dvanácti průmyslových termoplastů, mezi které patří například ABS, PC-ABS, PC-ISO, PC, FDM nylon.

Tiskárna disponuje velkým pracovním objemem, ve kterém je schopna zhotovit výrobky s rozměry až 914 x 610 x 914 mm. Hojně je využívána pro výrobu prototypů a díky dvěma materiálovým zásobníkům je schopna dlouhého nepřerušného provozu.

Přesnost vytisknutých dílů je  $\pm 0,09$  mm nebo  $\pm 0,0015$  mm, což je závislé na geometrii tisknuté součásti. Tiskárna také disponuje třemi možnostmi výšky vrstvy (0,178 mm, 0,254 mm, 0,33 mm).

Modely bust vytisknuté tiskárnou Fortus 900mc byly použity pro následnou výrobu forem. Důvodem byla především lepší kvalita tisku ve srovnání s tiskárnou Zortrax M200. Čímž je myšleno lepší kvalita detailů nebo také stopy, které po průběhu 3D tisku byly méně patrné než u tiskárny Zortrax M200.

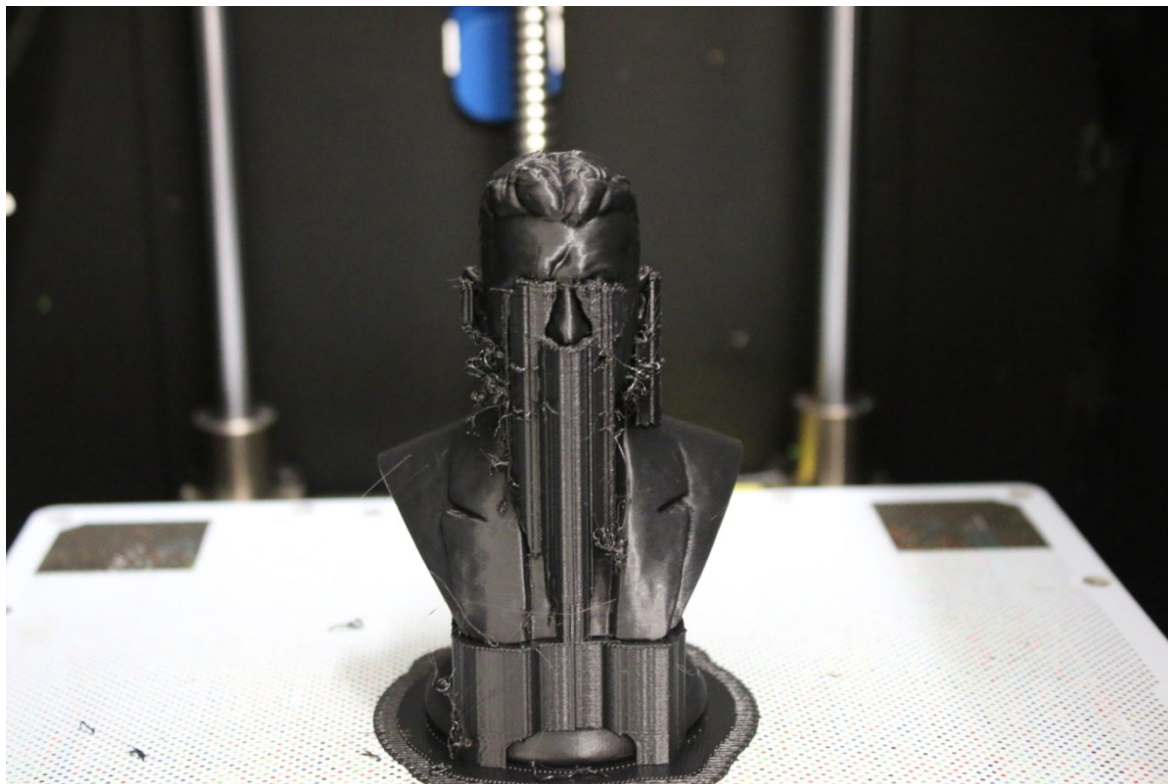


Obr. 34 Tiskárna Fortus 900mc

## 8.2 Zortrax M200

Ve své cenové relaci, která se pohybuje v řádech desetitisíců, patří tiskárna Zortrax M200 k nejprodávanějším. Díky bočním krytům je zajištěna konstantní kvalita tisku. Pro tisk bust, jejichž rozměry byly 100 x 70 x 50 mm, byla tato tiskárna dostačující.

Tiskárna Zortrax M200 disponuje stavebním prostorem 200 x 200 x 180 mm. Tloušťka vrstev jde nastavit v rozmezí 0,090 – 0,300 mm. Minimální tloušťka stěny tisknutého objektu je 0,8 mm.



Obr. 35 Detail busty vytisknuté tiskárnou Zortrax M200

## 8.3 Materiál

Pro 3D tisk v obou tiskárnách byl použit materiál ABS-M30, který patří mezi cenově dostupnější materiály. Lze volit z 6 barevných kombinací (přírodní, bílá, černá, tmavě šedá, červená, modrá). V případě tiskárny Zortrax byla použita barva černá, kdežto v případě tiskárny Fortus barva přírodní.



## 8.4 Povrchová úprava vytisknutých bust

Vytisknuté busty bylo nutné povrchově upravit. Nejdříve pomocí pískovacího boxu Unicraft. Díky písku byly odstraněny nedokonalosti po 3D tisku, například v okolí očí a uší. Následně byl nalit aceton do speciální aparatury, kde došlo k jeho zahřátí, a vytvoření par. Do prostoru této aparatury s acetonovými parami, nikoliv do acetonu samotného, byly dávány busty, které byly parami povrchově naleptány. To mělo za následek vyhlazení povrchu busty.



Obr. 36 Pracovní prostor pískovacího boxu Unicraft



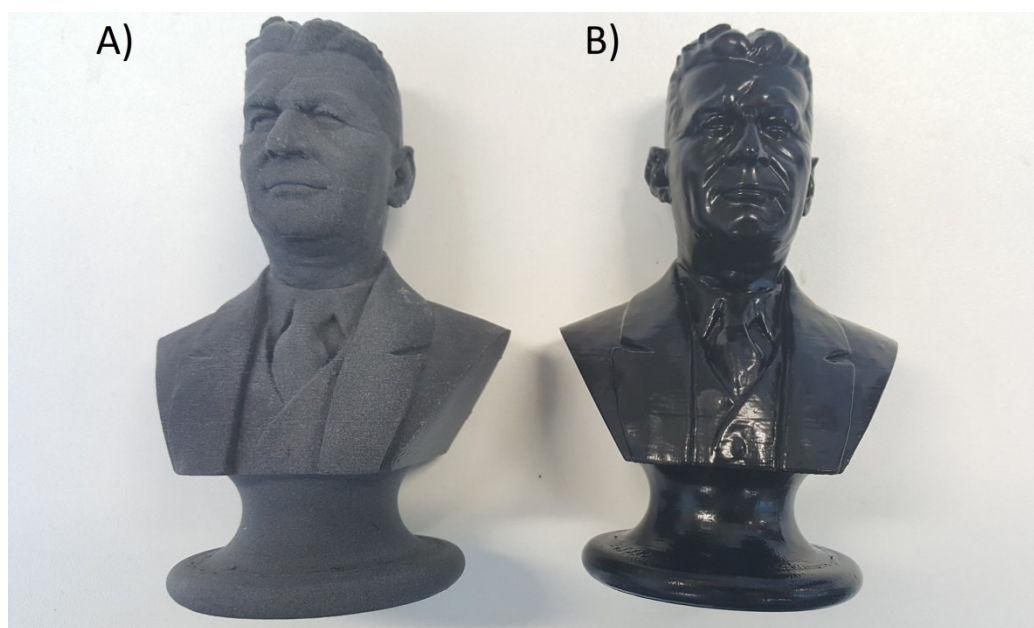
Obr. 37 Pískovací box Unicraft



Obr. 38 Aparatura pro vytvoření acetonových výparů



Obr. 39 Busta před povrchovými úpravami



Obr. 40 Porovnání busty

A) Busta po úpravě pískováním B) Busta po úpravě acetonovými parami

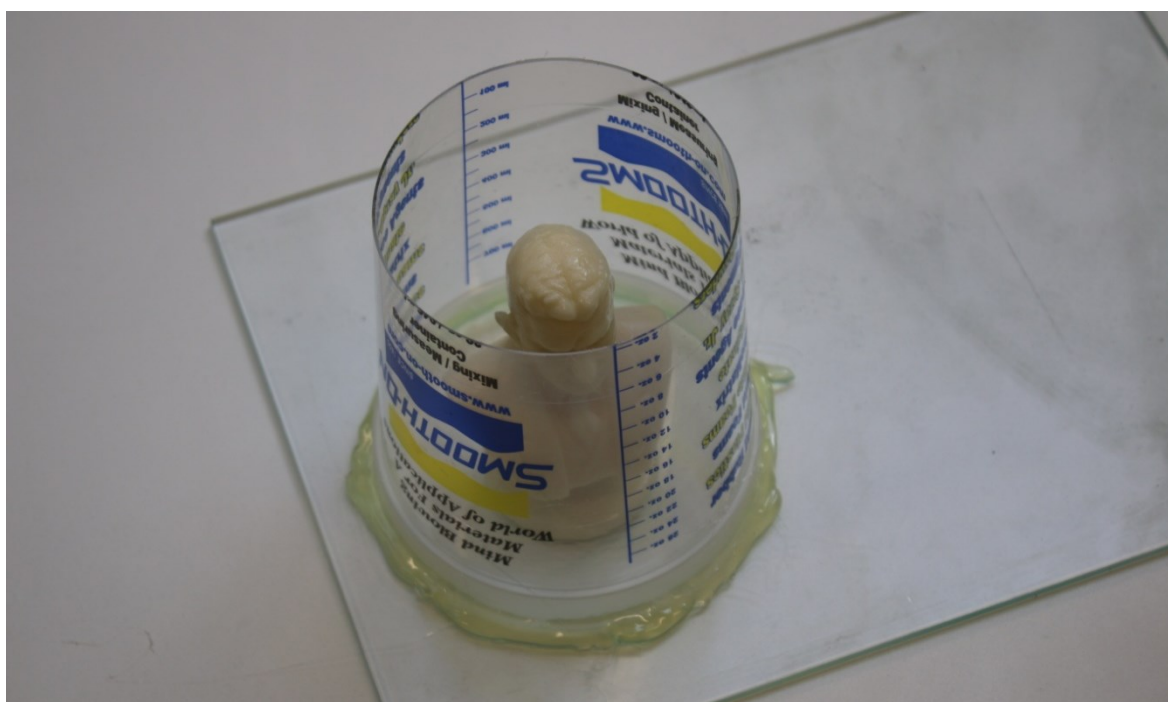
## 9 VÝROBA FOREM

### 9.1 Sorta-Clear 40

První forma byla vyrobena z aditivního silikonu Sorta-clear. Jedná se o velmi stabilní a kvalitní silikon. Tento materiál je výhodný pro výrobu forem, které lze dělit pomocí řezu. Materiál je dodáván ve dvou složkách, které je potřeba před zpracováním zamíchat v poměru, který udává výrobce.

Sorta-Clear 40	
Barva	čirá
Zpracování	60 min
Odformování	16 hod
Tvrдость	40 Shore A
Smrštění	<0,1%
Poměr míchání	100A : 10B

Tab. 2 Vlastnosti Sorta-Clear 40

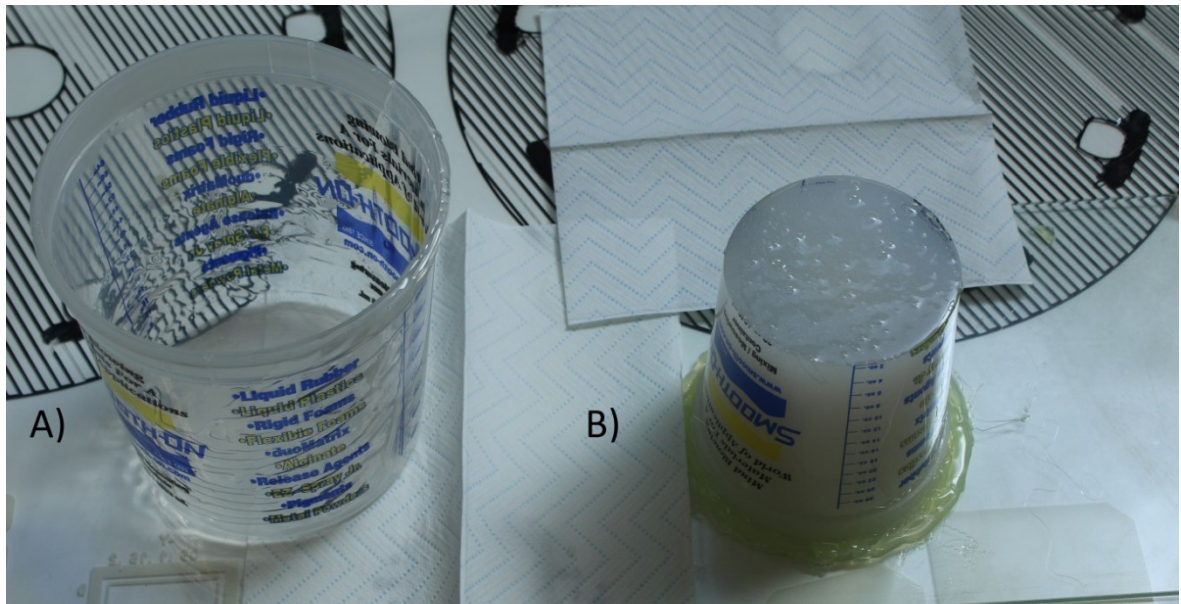


Obr. 41 Podpůrná konstrukce

Nejdříve bylo zapotřebí vyrobit si podpůrnou konstrukci, která byla následně naplněna promíchanou směsí Sorta-clear. Konstrukce byla vyrobena pomocí kelímku, který byl přilepen tavící pistolí k podložce, aby nedošlo k úniku vlévané směsi a byla zaručena nehnutelnost konstrukce. Doprostřed kelímku byla vložena vytisknutá busta. Před samotným naléváním směsi bylo nutné naseparovat vnitřní stranu kelímku společně s vloženou bustou, pro následné lepší odformování.

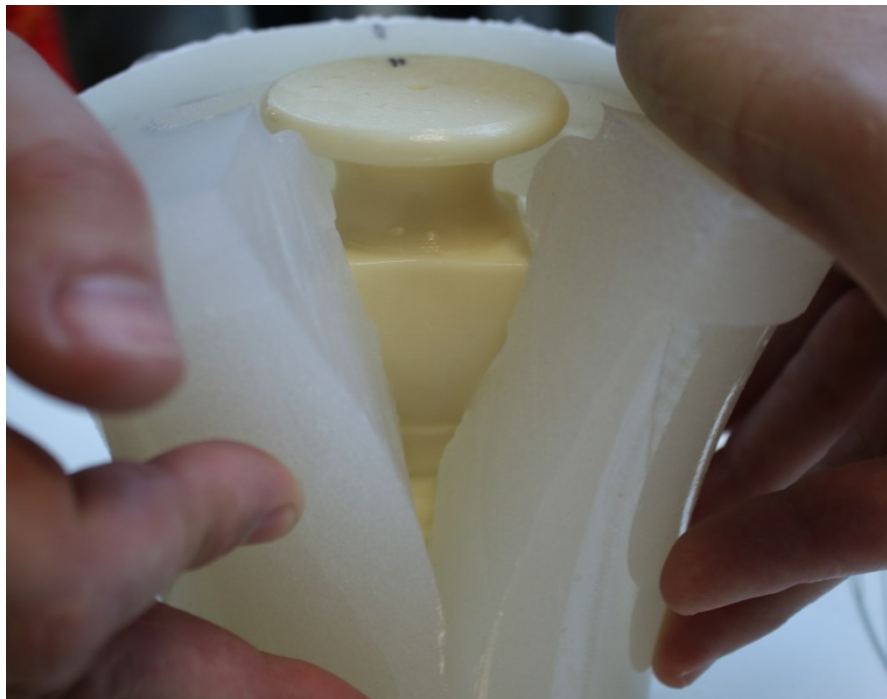


Obr. 42 Zalévání podpůrné konstrukce



Obr. 43 A) Podpurná konstrukce B) Forma ze Sorta-Clear 40

Barva zatvrdnutého silikonu měla být průhledná, což ovšem nebyla. Důvodem tohoto nedostatku bylo větší množství bublinek, které vznikly při míchání směsi před odlitím do podpurné konstrukce. A větší tloušťka materiálu kolem busty, ta je výrobcem doporučena na 1 cm, ale tloušťka ve skutečnosti byla přes 2 cm. Následně byla forma na zadní straně rozříznuta, za účelem odformování.



Obr. 44 Detail rozříznutí formy

## 9.2 Rebound 25

Jedná se o adiční silikon, pro který je charakteristické malé smrštění, samoseparace a jednoduché zpracování. Lze jej použít i pro vertikální formování. Materiál je taktéž jako předchozí Sorta-clear dodáván ve dvou složkách, které je potřeba před zpracováním zamíchat v poměru daném výrobcem.

Rebound 25	
Barva	Oranžová
Zpracování	20 min
Odformování	6 hod
Tvrдость	25 Shore A
Smrštění	<0,1 %
Míchací poměr	1A : 1B

Tab. 3 Vlastnosti Rebound 25

Nejdříve bylo nutné zajistit bustu proti pohybu během aplikace materiálu na bustu. To bylo provedeno pomocí tavné pistole, kterou byla připevněna busta k umělohmotné destičce a ta následně ke skleněné základně.



Obr. 45 Upevnění busty před aplikací materiálu

Následně byla busta naseparována a nanese první tenká vrstva Rebound 25. Bylo velmi důležité, aby vrstva pronikla do všech zákoutí busty a nápisu. Na základě této vrstvy se odvíjí kvalita vzniklé formy.



Obr. 46 Nanášení 1. vrstvy Rebound 25

První a druhá nanášená vrstva byla namíchána tekutější, aby byla zaručena dostupnost do všech míst busty. Nanášení bylo prováděno pomocí štětce. Při míchání poslední vrstvy materiálu Rebound 25 byl do směsi přidán zahušťovač Thi-vex, který zajistil větší viskozitu směsi. První dvě vrstvy schnuly hodinu, ovšem poslední vrstva byla i po hodině měkká. Tento problém byl vyřešen umístěním busty do horkovzdušné sušárny Memmert. V sušárně strávila busta 20 minut při 60 °C.



Obr. 47 Busta obalená Rebound 25



Dále byla vytvořena podpůrná forma, která zajistila, aby během odlévání nedocházelo k promačkávání formy vzniklé vrstvením Rebound 25. K vyrobení podpůrné formy byly použity dva umělohmotné kelímky, do kterých byla vložena busta a následně zalita sádro. Při výrobě podpůrné formy byly vyrobeny i zámky. Ty zajistily, aby forma byla vždy dokonale zaformována a zamezilo se tak deformaci výrobku při odlévání.



Obr. 48 Spodní díl podpůrné formy ze sádry



Obr. 49 Kompletní podpůrná forma ze sádry

## 10 ODLÉVÁNÍ BUST

Pro odlévání bust byly použity tři materiály Smooth-cast 300, Smooth-cast 65D a bílá modelářská sádra. Při samotném odlévání se vyskytlo několik problémů, které bylo nutné určitým způsobem odstranit nebo co nejvíce eliminovat. Mezi tyto problémy patřilo například špatné odvětrání formy, což mělo za následek vznik bublinek na povrchu busty. V případě odlévání sádrou nebyly bublinky jediným problémem, hlavním problémem bylo špatné vytvrzení sádry, to způsobovalo značné problémy při odformování.

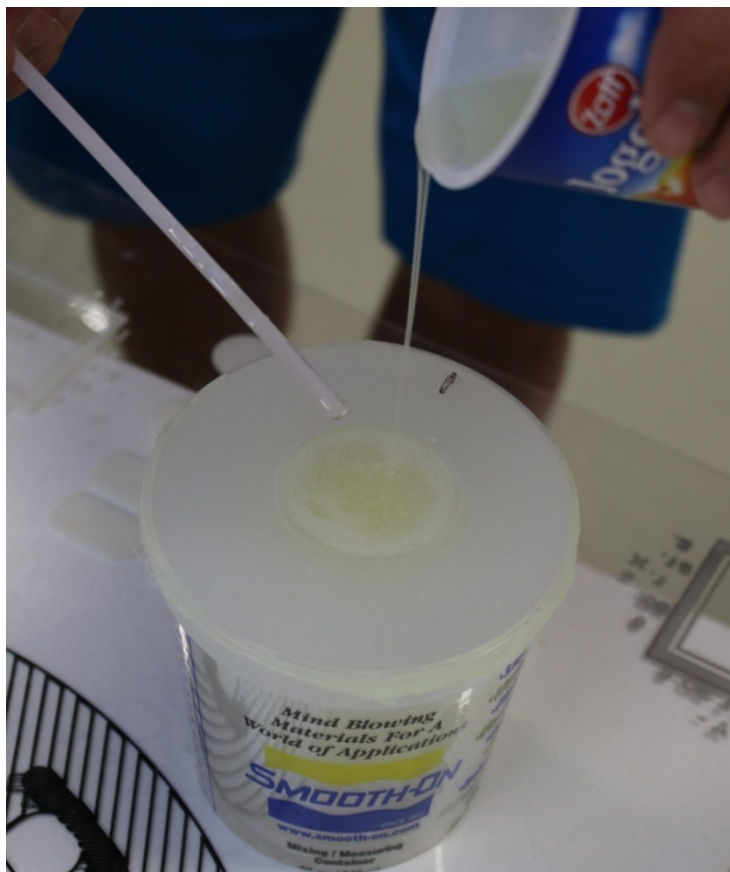
### 10.1 Smooth-cast 300

Jedná se o materiál s vysokou zatékavostí a nízkou viskozitou. Odlitky ze Smooth-cast jsou tvrdé, stabilní a odolné proti vlhkosti a některým rozpouštědlům. Od výrobce jsou dodávány dvě složky, které se nejdříve musí smíchat v daném poměru. Po smíchání lze směs použít pro odlití.

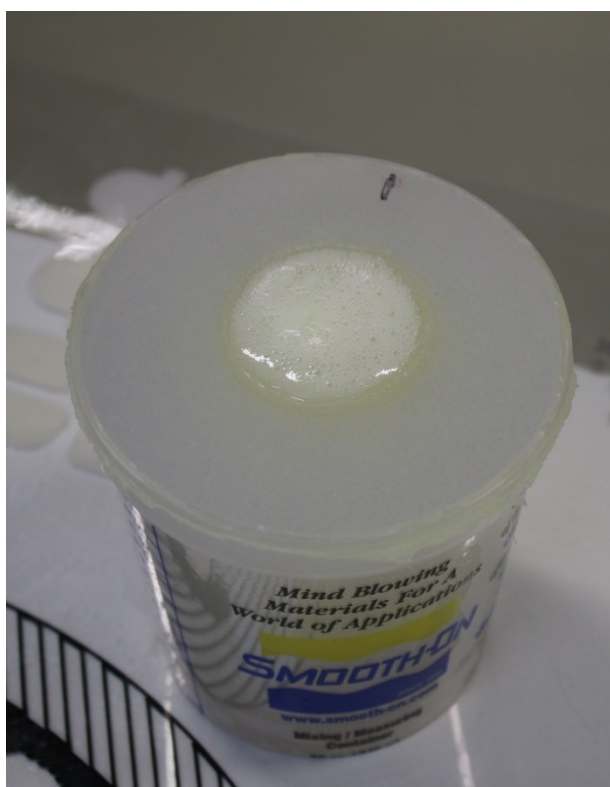
Smooth-cast 300	
Barva	Bílá
Zpracování	3 min
Odformování	10 min
Tvrдость	70 Shore D
Smrštění	1%
Míchací poměr	100A : 90B

Tab. 4 Vlastnosti Smooth-cast 300

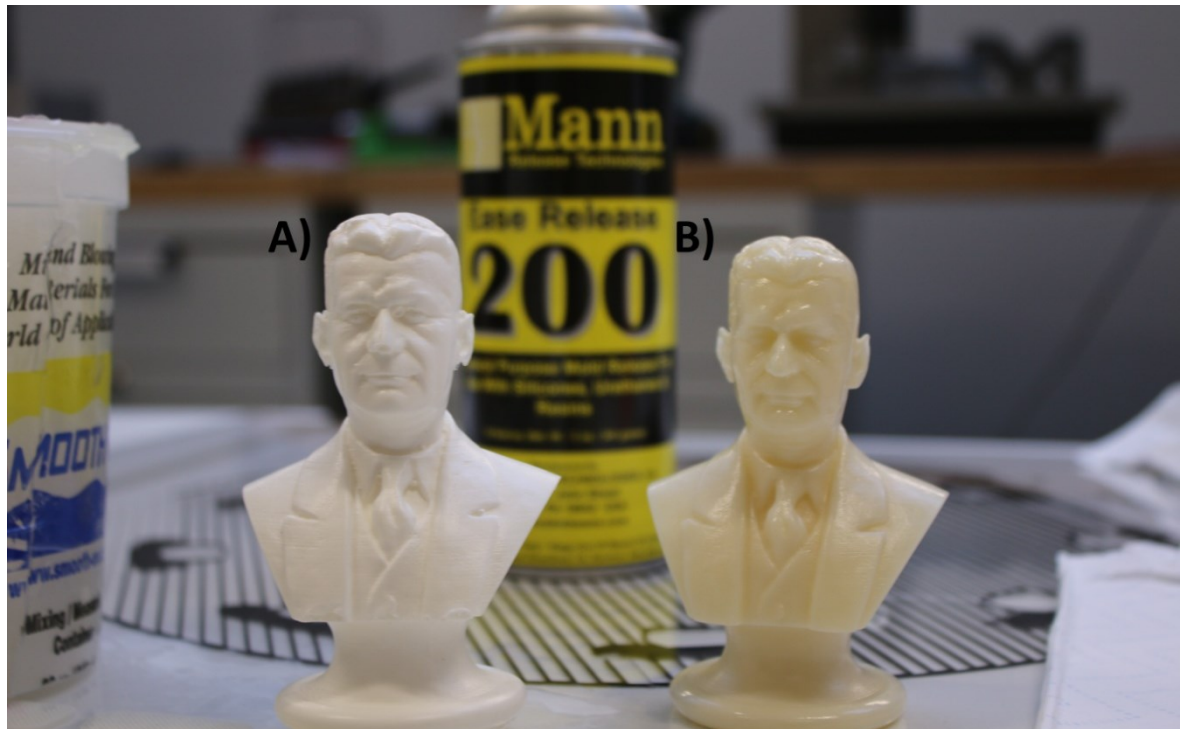
Při odlévání pomocí Smooth-castu se vyskytly chyby v podobě bublinek na místech, kde bylo špatné odvětrání. Těmito místy byly například konce obou uší nebo špička nosu. K eliminaci tohoto nedostatku byly použity mírné nárazy do stěn formy po odlití, za účelem úniku bublinek z problematických míst formy směrem ven z formy.



Obr. 50 Průběh lití smíchané směsi do neseparované formy



Obr. 51 Únik vzduchu z formy po odlití



Obr. 52 Porovnání busty vytisknuté a busty vyrobené odlitím

A) Busta vyrobená odlitím

B) Vytisknutá busta

## 10.2 Smooth-cast 65D (ROTO)

Jedná se o polyuretanovou pryskyřici, jejíž charakteristickou vlastností je postupné vytvrzování, což umožňuje rotační lití dutých forem. Má také vynikající odolnost proti nárazu i proti oděru.

Smooth-cast 65D (ROTO)	
Barva	Bílá
Zpracování	2,5 min
Odformování	15 min
Tvrдость	65 Shore D
Smrštění	1 %
Míchací poměr	1A : 1B

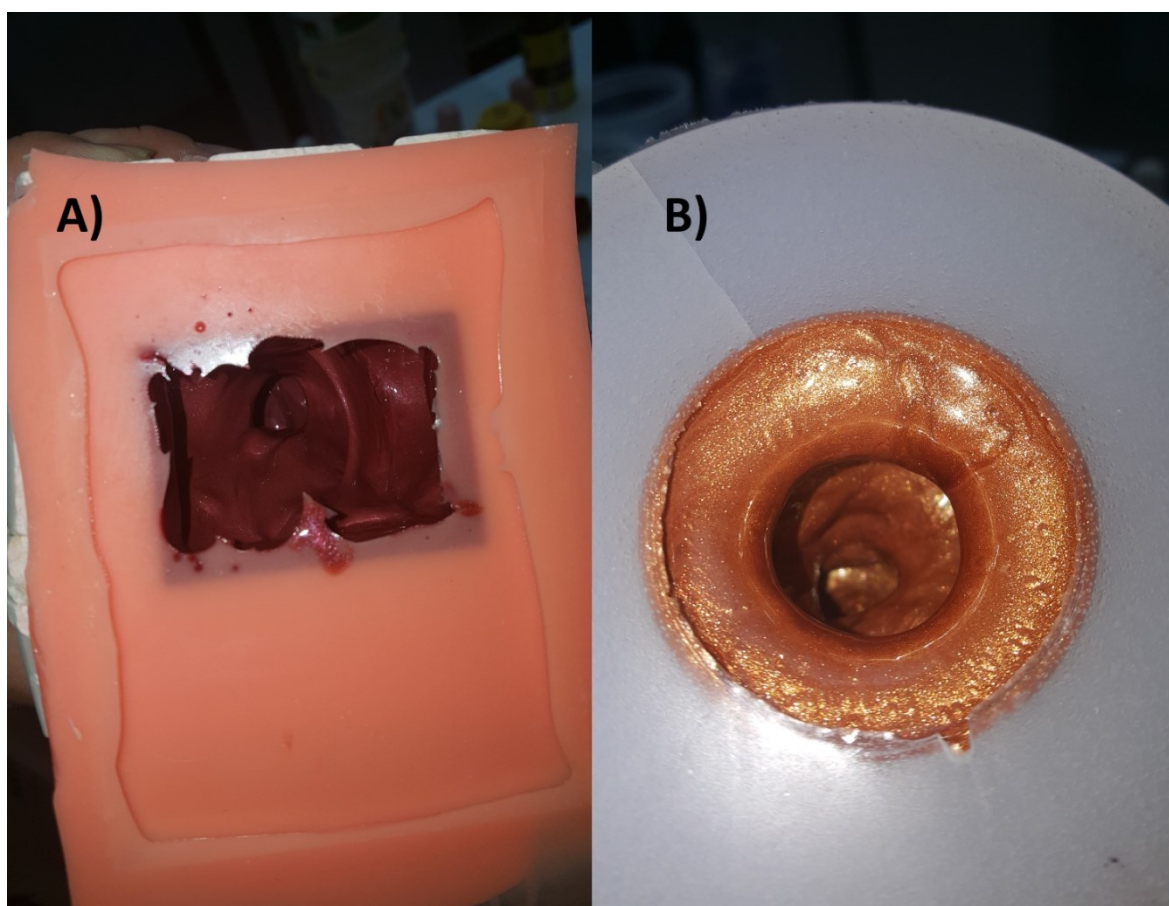
Tab. 5 Vlastnosti Smooth-cast 65D (ROTO)

Busty vyrobené z Smooth-castu 65D (ROTO) byly nejkvalitnější. A to díky dokonalému okopírování dutiny formy, a také díky postupnému vytvrzování materiálu, které zamezilo vzniku bublinek.

Po nalití poloviny namíchané směsi do formy bylo formou pootáčeno tak, aby se směs dostala do všech zákoutí. Posléze byl dodán zbytek směsi. Formou bylo neustále pootáčeno, aby byla vytvořena celistvá vrstva materiálu kopírující dutinu formy.

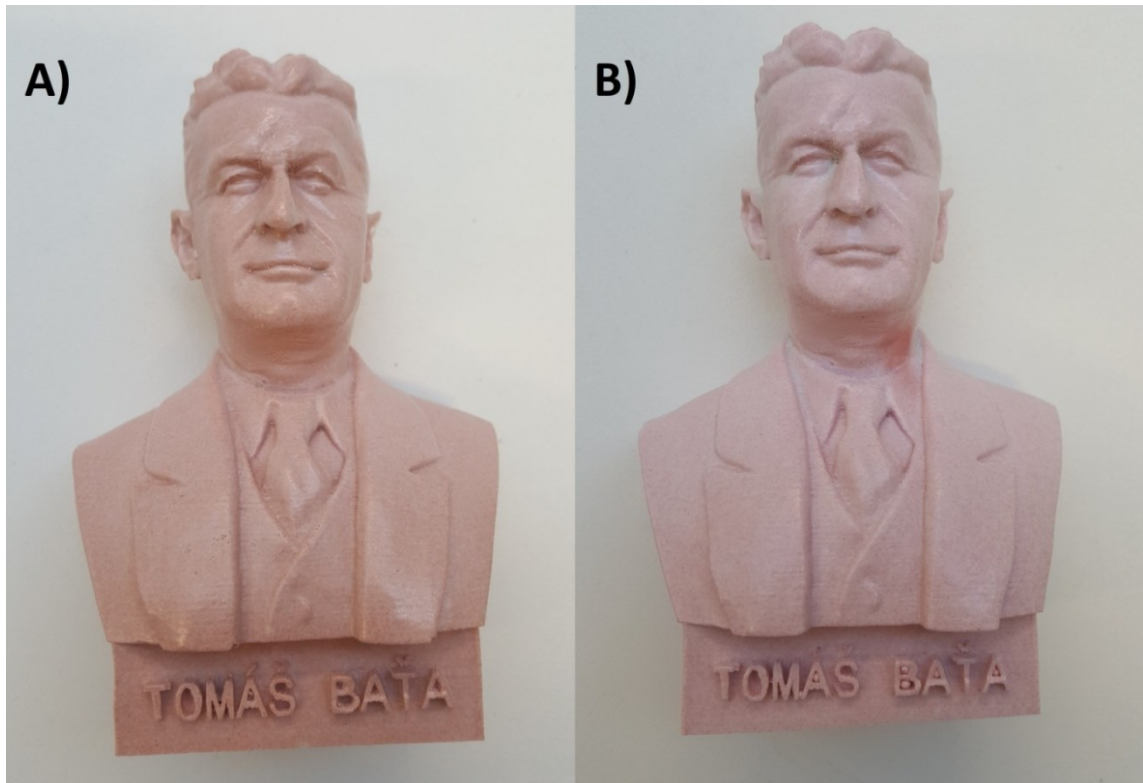
Po zatvrdnutí vrstvy materiálu, byla zbývající část dolita sádrou z důvodu zpevnění výrobku. Pokud by sádra nebyla přidána, hrozilo by zborcení výrobku při odformování.

Z tohoto materiálu bylo zhotoveno celkem 5 bust. První busta byla namíchána bez pigmentu, tudíž barva vytvrzené pryskyřice byla bílá. Do zbývajících směsí byl přidán pigment. Byly použity dva druhy pigmentu, bronzový a měděný.



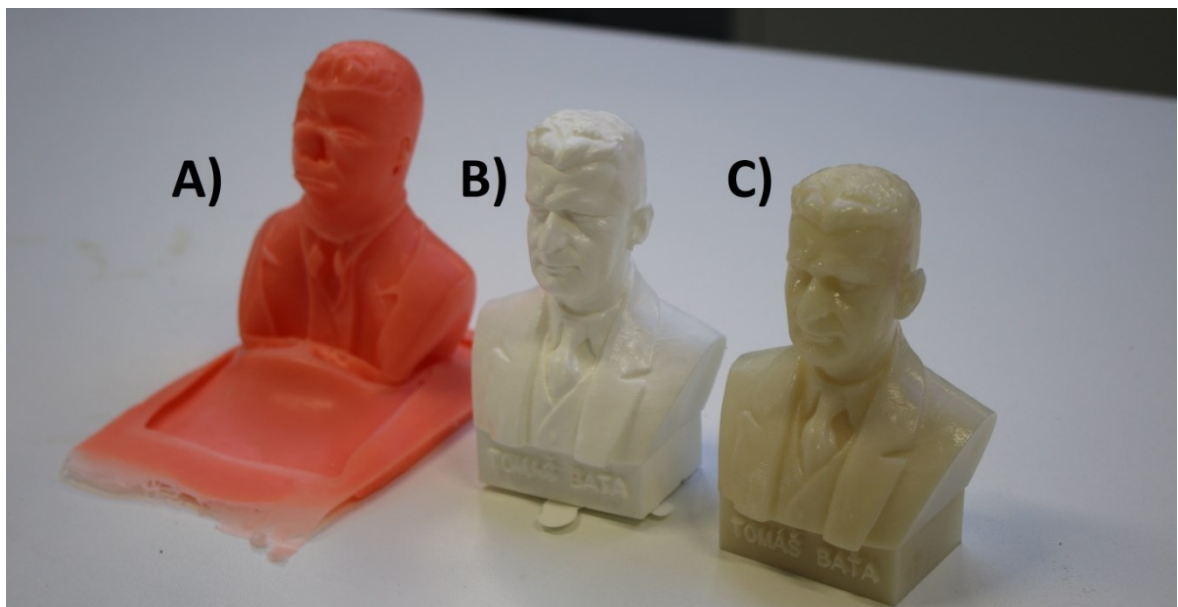
Obr. 53 Detail celistvé vrstvy kopírující dutinu formy

A) Měděný pigment      B) Bronzový pigment



Obr. 54 Busty vyrobené z Smooth-cast 65D (ROTO)

A) Bronzový pigment      B) Měděný pigment



Obr. 55 Porovnání busty vytisknuté a busty vyrobené z Smooth-cast 65D

A) Pohled na vnitřní stěnu formy

B) Busta z Smooth-cast 65D

C) Vytisknutá busta

### 10.3 Modelářská sádra

Busty zhotovené pomocí sádry nebyly příliš povedené. Příčinou bylo nedostatečné vytvrzení sádry z důvodu špatného odvodu vzduchu a vlhkosti z formy během vytvrzování. Nejčastější deformací bylo odlomení uší a špičky nosu při odformování v případě formy z Smooth-cast 300. Při odformování formy z Rebound 25 došlo dokonce i k odlomení hlavy od zbytku busty.

Tento typ materiál byl vyhodnocen jako nevhodný pro výrobu busty odléváním. Byl převážně použit jako pomocný materiál, kdy například plnil funkci podpůrné formy u Rebound 25 nebo vyplňoval dutinu busty u odlévání Smooth-castem 65D.



Obr. 56 Nedostatky busty při odlévání sádrou

## 11 EKONOMIČNOST VÝROBY

Tato část se zabývá finančním hlediskem výroby bust. Aby bylo zjištěno, která metoda vyšla ekonomicky nejvýhodnější.

### 11.1 3D tisk

3D tiskárna	Množství mat. [g]	Cena [Kč]	Doba tisku [min]
Zortrax M200	55	61,-	668
Fortus 900mc	88	704,-	520

Tab. 6 Finanční srovnání 3D tisku

Modely pro výrobu forem byly vytisknuty na dvou typech tiskáren. Tisk modelu na Zortrax M200 finančně vyšel na 61 Kč. V této ceně je zahrnuta pouze cena materiálu, který se při tisku spotřeboval. Tisk trval celkem 668 minut. V případě tiskárny Fortus 900mc vyšel výtisk jedné busty na 704 Kč a tisk trval 520 minut. V této situaci nejde přímo určit, která varianta je výhodnější. Tato volba je závislá na mnoha faktorech, například kolik kusů bust by bylo potřeba vytisknout. V případě většího počtu kusů by výhodnější byla volba tiskárny Fortus 900mc, protože by bylo možné tisknout i více bust během jedné akce v důsledku velké pracovní plochy.

### 11.2 Výroba forem

Materiál	Množství [g]	Cena [Kč]
Sorta clear 40	1000	1382,-
Rebound 25	300	331,-
Sádra	250	10,-

Tab. 7 Finanční srovnání forem pro výrobu

Z tabulky vyplývá, že forma z materiálu Sorta-clear 40 stála 1382 Kč. Kdežto forma z Rebound 25 a sádry, která vytvořila podpurnou formu, stála 341 Kč. Z těchto výsledků vyplývá, že výroba formy pomocí sádry a Rebound 25 byla ekonomicky výhodnější. Přestože z hlediska výroby, byla tato forma pracnější než forma z Sorta-clear



40, byla tato skutečnost posléze vykompenzována lepší kvalitou výrobků zhotovených odlitím do této formy.

### 11.3 Odlévání forem

Materiál	Množství [g]	Cena [Kč]
Smooth-cast 300	125	93,-
Smooth-cast 65D (ROTO)	50	38,-
Sádra (jako výplň ROTO)	50	2,-
Sádra	110	4,-

Tab. 8 Finanční srovnání odlévacích materiálů

Cena busty vyrobené z Smooth-cast 300 byla 93 Kč. Busta vyrobená pouze ze sádry vyšla na pouhé 4 Kč, ovšem takto vyrobená busta nebyla dostatečně kvalitní, její povrch byl příliš znehodnocen bublinkami. Cenově nejlépe vyšla busta, která byla kombinací Smooth-castu 65D a sádry, tato busta stála 40 Kč. I vzhledem ke kvalitě vyrobené busty byla tato kombinace materiálů nejvýhodnější.

### 11.4 Porovnání výroby busty

	Finance [Kč]	Časová náročnost [min]
Zortrax M200	61,-	668
Fortus 900mc	704,-	520
Smooth-cast 65D (ROTO)	40,-	18
Smooth-cast 300	93,-	13

Tab. 9 Porovnání výroby busty 3D tiskem a odléváním

Busty byly vyrobeny dvěma způsoby 3D tiskem a pomocí odlévání. 3D tisk probíhal na dvou typech tiskáren, a přestože k odlévání byly použity tři druhy materiálu, tak pro toto porovnání nebyla zahrnuta sádra, a to z důvodu nedostatečné kvality výroby.

Busty vyrobené 3D tiskem byly detailnější a kvalitnější. Například v případě textu byla tato metoda zcela nejlepší. Ovšem časová náročnost u tohoto způsobu výroby byla velká, a v případě Fortus 900mese navíc projevila i její finanční nákladnost.

Kdežto u výroby bust pomocí odlévání nebyla časová ani finanční náročnost příliš velká. V případě odlévání se musí také počítat s výrobou formy, což finanční i časovou stránku této výroby také navýší. U nejlépe odlitých bust byla kvalita srovnatelná s bustami zhotovenými pomocí tiskárny Zortrax M200.

Pokud by se tedy jednalo o kusovou výrobu, lepší variantou výroby bust by bylo odlévání nebo tisk na tiskárně Zortrax M200.



Obr. 57 Vyhotovené busty

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla výroba busty Tomáše Bati pomocí reverzního inženýrství. Nejdříve bylo provedeno naskenování busty, které proběhlo nad očekávání dobře. Naskenovaná data byla potřeba upravit, například okolí uší nebo kravaty, kam modré světlo skeneru nedokázalo proniknout a vytvořit tak obraz těchto oblastí. Úprava proběhla v programu GOM Inspect Professional.

Po úpravě dat se pokračovalo převedením mračen bodů na objemová data, se kterými se dále mohlo pracovat v softwaru Catia, ve kterém byly vytvořeny dva typy podstavců pro bustu.

Dále se postupovalo 3D tiskem. Ten byl prováděn na dvou typech tiskáren a to konkrétně Zortrax M200 a Fortus 900mc. Vytisknuté busty byly poté povrchově upraveny. Jako první směřovaly do pískovacího boxu, kde byly odstraněny stopy po tisku, a povrch byl vyhlazen. Poté byly ponořovány do acetonových par, kde docházelo k naleptání povrchu, což mělo za následek lesklý a celistvý vzhled bust.

Poté byla provedena výroba dvou forem pro následné odlévání. Pro výrobu forem byly použity materiály Rebound 25 a Sorta-clear. Oba materiály byly dodány výrobcem ve formě dvou složek, které bylo nutné smíchat v určitém míchacím poměru daným výrobcem. Pro formu z materiálu Rebound 25 bylo potřeba vyrobít podpůrnou formu, která zamezila jakýmkoliv znehodnocení výroby během odlévání. Tímto znehodnocením mohlo být například promáčknutí.

Po dostatečném zatvrzení forem se pokračovalo odléváním. Byly použity tři druhy materiálů a to sádra, Smooth-clear 300 a Smooth-clear 65D (ROTO). Nejvyšší kvality výrobky vznikly výrobou pomocí Smooth-clear 65D (ROTO). U dvou dalších materiálů vznikaly problémy v podobě bublinek v důsledku špatného odvětrání forem. Při odlévání byl využit i měděný a bronzový pigment, který zlepšil estetiku busty.

Na závěr bylo provedeno ekonomické vyhodnocení, které mělo za úkol popsat finanční stránku výroby. A také porovnání výroby bust 3D tiskem a odléváním.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] 3D skenování součástek – kontrola kvality, reverzní inženýrství | G4D.cz. G4D – blíže k realitě | G4D.cz[online]. Copyright © G4D, s. r. o., 2013 [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.g4d.cz/laserove-skenovani/3d-skenovani-soucastek>
- [2] Reverse engineering Reverzní inženýrství a aditivní technologie. 3dlaboratory [online]. Dostupné z: <http://3dlaboratory.cz/reverse-engineering/>
- [3] 3D Scan: Reverzní inženýrství v důlní praxi [online]. 708 33, Ostrava - Poruba: Solid Vision, 2015 [cit. 29-01-2018]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/images/aktuality/1.png>
- [4] MCAE: Reverzní inženýrství [online]. 664 34 Kuřim, Brno - venkov: MCAE SYSTEMS, 2017 [cit. 29-01-2018]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/reverzniinzenyrstvi>
- [5] 3D skenování - Duplicity by 3D Gang - Zachycujeme realitu[online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.duplicity.cz/3d-skenovani/#3d-skenovani>
- [6] Co to je 3D skenování. Zajímavé články o 3D skenování | 3d-sken.cz [online]. Copyright © 2018 3D skenování [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.3d-sken.cz/9-clanky/13-co-to-je-3d-skenovani.html>
- [7] Solid Vision [online]. Copyright © 2018 3D skenování [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/3d-skenovani-sluzby>
- [8] Skenování ve 3D - Využití 3D skenování v průmyslu. Skenování ve 3D – 3D skenery a 3D skenování objektů[online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.skenovanive3d.cz/aktuality/vyuziti-3d-skenovani-v-prumyslu/>
- [9] Skenování ve 3D - Využití 3D skenování v průmyslu. Skenování ve 3D – 3D skenery a 3D skenování objektů [online]. Copyright © [cit. 06.02.2018]. Dostupné z: <http://www.skenovanive3d.cz/aktuality/vyuziti-3d-skenovani-v-prumyslu/>
- [10] Skenování ve 3D - Lékařství. Skenování ve 3D – 3D skenery a 3D skenování objektů [online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.skenovanive3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/lekarstvi/>

- [11] STUDENTSKÉ PROJEKTY | Reverzní inženýrství a aditivní technologie. 3dlaboratory [online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://3dlaboratory.cz/projekty-a-zaverecne-prace/>
- [12] Skenování ve 3D - Artec EVA 3D skener. Skenování ve 3D – 3D skenery a 3D skenování objektů [online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.skenovani3d.cz/skenery/artec-m-3d-skenery/artec-eva-3d-skener/>
- [13] Co to je 3D skenování. Zajímavé články o 3D skenování | 3d-sken.cz [online]. Copyright © 2018 3D skenování [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.3d-sken.cz/9-clanky/13-co-to-je-3d-skenovani.html>
- [14] Digitalizace - její princip a rozdělení. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2018 www.mmspektrum.com [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>
- [15] Werkstück messung in CNC Bearbeitung szentren. Blum-Novotest GmbH | Messtechnik&Prüftechnik | Messtaster | Lasermesssysteme | Messmaschinen | Prüfstände [online]. Copyright © Blum [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.blum-novotest.com/produkte/messkomponenten/messtaster/tc52-tc62.html>
- [16] 3D skenování - Ekovovyroba.cz. Ekovovyroba - zámečnictví a kovovýroba [online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.ekovovyroba.cz/3d-skenovani-2/>
- [17] Obr. 1 Skener Handy Scan 3D EXAscan [1] - PDF. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/40703650-Obr-1-skener-handyscan-3d-exascan-1.html>
- [18] Reni shaw prober systemer | Find den retteløsning. Fron-Tech for handler RENISHAW, MONTECH og MONTRATEC [online]. Dostupné z: <https://fron-tech.dk/renishaw/probersystemer>
- [19] Geomagic Capture | Neo Metrix. Neo Metrix | 3D Scanning Services | 3D Printing | 3D Scanner and Printers [online]. Dostupné z: <http://3dscanningservices.net/geomagic-reverse-engineering/geomagic-capture/>

- [20] Low-Cost 3d Laser Scanner and Fast Surface Registration<- Research Projects<- Research<- Institute for Robotics and Process Control<- Technical University of Braunschweig. Institut für Robotik und Prozess informatik<- Technische Universität Braunschweig [online]. Dostupné z: <http://www-old.rob.cs.tu-bs.de/en/research/projects/3dscanner/>
- [21] SPŠKS Hořice [online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie-skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>
- [22] CT skenování – 3D Skenování. 3D Skenování [online]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/ct-skenovani/>
- [23] Systém pro digitální radioskopii a 3D CT skenování (rozhovor) » Konstrukter.cz. Konstrukter.cz [online]. Copyright © 2014, Vydavatelství Nová média, s. r. o. [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/2016/11/11/system-pro-digitalni-radioskopii-a-3d-ct-skenovani-rozhovor/>
- [24] 3D novinky, co je to 3D tisk, představení 3D tiskárny K8200. Conrad Electronic – obchod s elektronikou a technikou [online]. Copyright © [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/3d-novinky-co-je-to-3d-tisk-predstaveni-3d-tiskarny-k8200.t81>
- [25] O 3D tisku - Josef Prusa - 3D tisk a tiskárny Josef Prusa – 3D tisk a tiskárny. O mně - Josef Prusa - 3D tisk a tiskárny Josef Prusa – 3D tisk a tiskárny [online]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>
- [26] You Can Now See the First Ever 3D Printer — Invented by Chuck Hull — In the National Inventors Hall of Fame | 3DPrint.com | The Voiceof 3D Printing / Additive Manufacturing. 3DPrint.com | The Voiceof 3D Printing / Additive Manufacturing | TheVoiceof 3D Printing / Additive Manufacturing [online]. Copyright © 2018. 3DR Holdings, LLC, AllRightsReserved. [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>

- [27] Nekonvenční metody obrábění 9. díl. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2018 www.mmspektrum.com [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
- [28] Informace o technologiích 3D tisku. Nový inovovaný FabbsterG [online]. Copyright © 2018 4ISP spol. s.r.o. [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <https://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
- [29] Selective Laser Sintering » 3D tisk. 3D tisk [online]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>
- [30] EOSINT P 800 - plastic laser sintering plant for Additive Manufacturing - EOS. EOS Electro Optical Systems: Industrieller 3D Druck [online]. Dostupné z: [https://www.eos.info/systems\\_solutions/plastic/systems\\_equipment/eosint\\_p\\_800](https://www.eos.info/systems_solutions/plastic/systems_equipment/eosint_p_800)
- [31] Fused Deposition Modeling » 3D tisk. 3D tisk [online]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
- [32] Skenování ve 3D - Plastická chirurgie představuje budoucí vzhled pomocí 3D modelů. Skenování ve 3D – 3D skenery a 3D skenování objektů [online]. Copyright © [cit.07.02.2018]. Dostupné z: <http://www.skenovanive3d.cz/aktuality/plasticka-chirurgie-predstavuje-budouci-vzhled-pomoci-3d-modelu/>
- [33] Biometrie - 3D čtečky obličejů. Biometrie [online]. Copyright © [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <http://www.biometricke-ctecky.cz/produkty/3d-ctecky-obliceju/>
- [34] Svět Androida | Recenze, novinky, denní zpravodajství ze světa open source operačního systému Android od společnosti Google pro chytré mobilní telefony [online]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/huawei-lte-ctecka-otisku-201505>
- [34] Tomáš Baťa – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tomáš\\_Baťa](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tomáš_Baťa)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojdimenzionální (trojrozměrný)
SLS	Selective Laser Sintering
SLA	Stereolitografie
FDM	Fused Deposition Modeling
CAD	Computer Aided Design
CT	Computed Tomography
UV	Ultra Violet
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PC	Polykarbonát



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Rozdíl mezi klasickým a reverzním inženýrstvím [3].....	11
Obr. 2 Postup zpětné analýzy [5].....	12
Obr. 3 Proložení skenu vůči modelu [9].....	13
Obr. 4 Prototyp protézy ruky [11] .....	14
Obr. 5 Ukázka dotykového skenování [15] .....	15
Obr. 6 Ukázka bezdotykového skenování [16].....	15
Obr. 7 Detail bezdotykového skeneru [17].....	16
Obr. 8 Detail snímací sondy [18].....	17
Obr. 9 Ukázka optického 3D skeneru [19] .....	17
Obr. 10 Princip laserového skeneru [20] .....	18
Obr. 11 Rentgenový skener [23].....	19
Obr. 12 Pohled do pracovní komory CT skeneru [23] .....	20
Obr. 13 Ruční 3D skener Artec Eva [12].....	21
Obr. 14 3D tiskárna SLA-1, vytvořená Charlesem Hullem [26].....	22
Obr. 15 Technologie SLA [28] .....	23
Obr. 16 Schéma tvorby objektů pomocí SLS metody [28].....	24
Obr. 17 Zařízení pracující na principu SLS [30] .....	24
Obr. 18 Schéma principu metody FDM [28].....	25
Obr. 19 Tomáš Baťa [35].....	26
Obr. 20 Baťovy domy pro zaměstnance firmy [35].....	27
Obr. 21 Busta Tomáš Bati.....	29
Obr. 22 Skenovací zařízení Atos Triple Scan II .....	30
Obr. 23 Kalibrace.....	31
Obr. 24 Skenování busty.....	32
Obr. 25 Detail průběhu skenování .....	32
Obr. 26 Prostředí softwaru GOM Inspect Professional .....	33
Obr. 27 Detail “díry“ za uchem, kam modré světlo skeneru nedokázalo proniknout .....	34
Obr. 28 Detail ucha po upravení “díry“ .....	34
Obr. 29 Vliv počtu bodů na detail povrchu .....	35
Obr. 30 Znárodnění sítě vytvořené z 150 000 bodů.....	35
Obr. 31 A – Plošná data B – Objemová data .....	36
Obr. 32 Proložení plošných dat objemovými daty .....	36

Obr. 33	Finální podoby bust .....	37
Obr. 34	Tiskárna Fortus 900mc .....	38
Obr. 35	Detail busty vytisknuté tiskárnou Zortrax M200.....	39
Obr. 36	Pracovní prostor pískovacího boxu Unicraft .....	40
Obr. 37	Pískovací box Unicraft .....	41
Obr. 38	Aparatura pro vytvoření acetonových výparů .....	41
Obr. 39	Busta před povrchovými úpravami.....	42
Obr. 40	Porovnání busty .....	42
Obr. 41	Podpůrná konstrukce .....	43
Obr. 42	Zalévání podpůrné konstrukce.....	44
Obr. 43	A) Podpůrná konstrukce B) Forma ze Sorta-Clear 40 .....	45
Obr. 44	Detail rozříznutí formy .....	45
Obr. 45	Upevnění busty před aplikací materiálu .....	46
Obr. 46	Nanášení 1. vrstvy Rebound 25 .....	47
Obr. 47	Busta obalená Rebound 25 .....	47
Obr. 48	Spodní díl podpůrné formy ze sádry.....	48
Obr. 49	Kompletní podpůrná forma ze sádry .....	48
Obr. 50	Průběh lití smíchané směsi do neseparované formy.....	50
Obr. 51	Únik vzduchu z formy po odlití.....	50
Obr. 52	Porovnání busty vytisknuté a busty vyrobené odlitím.....	51
Obr. 53	Detail celistvé vrstvy kopírující dutinu formy.....	52
Obr. 54	Busty vyrobené z Smooth-cast 65D (ROTO).....	53
Obr. 55	Porovnání busty vytisknuté a busty vyrobené z Smooth-cast 65D .....	53
Obr. 56	Nedostatky busty při odlévání sádrrou .....	54
Obr. 57	Vyhotovené busty .....	57

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Parametry skenovacího zařízení Atos.....	31
Tab. 2 Vlastnosti Sorta-Clear 40.....	43
Tab. 3 Vlastnosti Rebound 25.....	46
Tab. 4 Vlastnosti Smooth-cast 300.....	49
Tab. 5 Vlastnosti Smooth-cast 65D (ROTO).....	51
Tab. 6 Finanční srovnání 3D tisku.....	55
Tab. 7 Finanční srovnání forem pro výrobu.....	55
Tab. 8 Finanční srovnání odlévacích materiálů.....	56
Tab. 9 Porovnání výroby busty 3D tiskem a odléváním.....	56