VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ
FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU
INSTITUTE OF MANAGEMENT

APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO NÁVRH VÝROBY 3D MODELU OBLIČEJE
APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES ON PRODUCTION CONCEPT OF 3D FACE MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Eliška Obytová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA PODNIKATELSKÁ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav managementu
Studentka:	**Eliška Obytová**
Studijní program:	Ekonomika a management
Studijní obor:	Ekonomika a procesní management
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Aplikace moderních technologií pro návrh výroby 3D modelu obličeje

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Charakteristika a význam pojmů technologií Reverse Engineering a Rapid Prototyping
Praktická část (digitalizace, editace dat, reálná výroba modelu obličeje)
Technicko–ekonomické zhodnocení
Závěr
Seznam použité literatury
Seznam příloh

Cíle, kterých má být dosaženo:

Cílem bakalářské práce bude návrh a výroba 3D modelu obličeje s využitím moderní technologie Reverse Engineering, včetně editace a zpracování získaných dat. Součástí práce bude rovněž charakteristika moderních technologií Reverse Engineering a Rapid Prototyping, spojená s popisem komerčně dostupných aditivních materiálů a jejich aplikačním využitím. Následujícím postupem bude ověření výroby 3D modelu obličeje pomocí aditivní metody Fused Deposition Modeling s využitím komerčně dostupné 3D tiskárny. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením, které bude spojeno s rozborem navržených (možných) variant výroby 3D modelu obličeje.

Základní literární prameny:

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. United Kingdom : Professional Engineering Publishing, 2004. 112 pp. ISBN 1860584659.

PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH. Bratislava : STU, 2004. 160 s. ISBN 80-227-2121-2.

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. Vydání. Brno : CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference. Ostrava : VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 2005. 30 s. ISBN 80-248-0895-1.

TMS (The Minerals, Metals & Materiále Society): Rapid Prototyping of Materials. USA : The Minerals, Metals & Materials Society. 2002. 615 pp. ISBN 0873395301.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně dne 28.2.2018

L. S.

doc. Ing. Robert Zich, Ph.D. ředitel	doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D. děkan

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá realizací 3D modelu obličeje za využití moderních metod, mezi něž řadíme Reverse Engineering a Rapid Prototyping. Bakalářská práce detailně vysvětluje základní pojmy, které jsou důležité pro porozumění dané problematiky. V praktické části bakalářská práce popisuje podrobně postup, jakým byl obličej vyhotoven. Čtenáře seznamuje s procesem digitalizace obličeje, s úpravami skenu a s následným tiskem na 3D tiskárně uPrint.

Abstract

Bachelor thesis deals with realization of 3D face model using modern methods, including Reverse Engineering and Rapid Prototyping. The bachelor thesis explains in detail the basic concepts that are important for the understanding of the issue. In the practical part, the bachelor thesis describes in detail the process by which the face was made. Readers familiarize with the process of face digitization, scanning and subsequent printing on the uPrint 3D printer.

Klíčová slova

Reverse Engineering, digitalizace, Rapid Prototyping, model, obličej

Key words

Reverse Engineering, digitization, Rapid Prototyping, model, face

Bibliografická citace

OBYTOVÁ, E., Aplikace moderních technologií pro návrh výroby 3D modelu obličeje. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2018. 77 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 20. 5. 2018

Podpis studenta

Poděkování

Poděkování patří především mému vedoucímu práce panu doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D., za jeho cenné rady, připomínky a pomoc při realizaci obličeje. Dále panu Martinu Hlavoňovi z firmy SolidVision, s.r.o. za vysvětlení problematiky 3D skenování, praktické ukázky 3D skenování a výsledný sken obličeje. Další poděkování patří mé rodině a přátelům, kteří mi byli oporou už od samého začátku, za jejich trpělivost a pochopení v těžkých chvílích.

OBSAH

ÚVOD 10

CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ 11

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE 12

1.1 REVERSE ENGINEERING 12

1.1.1 Oblasti využití RE 13

1.2 Digitalizace 14

1.2.1 Metody digitalizace 15

1.3 Skenery 16

1.3.1 Go!SCAN 50™ 19

1.3.2 ATOS Compact Scan 20

2 RAPID PROTOTYPING 22

2.1 Data pro výrobu modelu 23

2.2 Dostupné technologie RP 24

2.2.1 Stereolithography 24

2.2.2 Solid Ground Cutting 25

2.2.3 Selective Laser Sintering 26

2.2.4 Fused Deposition Modeling 27

2.2.5 Laminated Object Manufacturing 28

2.3 Tiskárna uPrint 29

3 PRAKTICKÁ ČÁST 31

3.1 ATOS Compact Scan 31

3.1.1 Příprava pro skenování 31

3.1.2 Průběh skenování 32

3.1.3 Úprava dat skenu 38
3.2 Go!SCAN 50™ 39
3.2.1 Příprava pro skenování 39
3.2.2 Průběh skenování 39
3.2.3 Úprava dat 42
3.3 Příprava a 3D tisk obličeje 43
3.4 Úprava povrchu modelu vytisknutého obličeje 54
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 59
4.1 Finanční náklady na vytisknutí modelu pomocí tiskárny uPrint 59
4.2 Finanční náklady na sken modelu obličeje 59
4.3 Finanční náklady ve firmě „X“ 60
4.4 Finanční náklady ve firmě „Y“ 60
4.5 Finanční náklady v dílně FabLab Brno 60
4.6 Finanční náklady domácí 3D tiskárny 61
4.7 Finanční náklady na úpravu povrchu modelu obličeje 62
4.8 Finanční náklady na mzdu pracovníka 62
4.9 Celkové finanční náklady všech variant 63
ZÁVĚR 68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 69
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK 72
SEZNAM GRAFŮ 73
SEZNAM OBRÁZKŮ 74
SEZNAM TABULEK 77

ÚVOD

V dnešní době se často mluví o moderních technologiích. Pod tímto širokým pojmem se skrývá nesčetné množství využívaných technologií, které mají důležitou roli nejen pro celý výrobní cyklus. Tyto technologie využíváme již na vývoj a návrh výrobku, jeho samotnou konstrukci a v neposlední řadě i na výrobu výrobků. Při realizaci výrobků v běžném postupu konstruktér převádí své nápady do programů, kde vytváří návrhy a modely, které slouží jako zdroj dat pro další zpracování a vytváří tak postup výroby. Tento proces bývá kolikrát zdlouhavý, z tohoto důvodu vznikla technologie Rapid Prototyping, neboli rychlá výroba prototypů. U prototypových součástek se ověří funkčnost a objeví se případné chyby v dokumentaci, než se výrobek vypustí na trh. Díky této technologii se výrazně ušetří výrobní čas, snižují se značně výrobní náklady, jelikož se nanáší přesně potřebný materiál, a tím se tedy snižuje i odpad. Zdrojem dat pro technologii Rapid Prototyping může být model vytvořený konstruktérem v CAD programu, nebo moderní metoda, která se nazývá Reverse Engineering. Jedná se o převedení reálného výrobku do digitální podoby. Základní funkcí technologie Reverse Engineering je zmapování struktury a tvaru hotového výrobku pomocí různých postupů. Díky nasbíraným datům lze následně vyrobit kopii, nebo výrobek vylepšit. Toto lze využít v různých oborech jako je například design, architektura, lékařství atd.

V následujících kapitolách jsou podrobněji vysvětleny právě výše uvedené technologie, které byly využity pro návrh výroby 3D modelu obličeje. Praktická část bakalářské práce se věnuje konkrétním skenerům, které byly pro účely skenu použity, úpravě modelu v příslušném programu a tisku obličeje na tiskárně uPrint. Na závěr se ekonomicky porovnají náklady tisku na Fakultě strojního inženýrství VUT, domácí 3D tiskárně a v tiskárnách v externích firmách.

CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

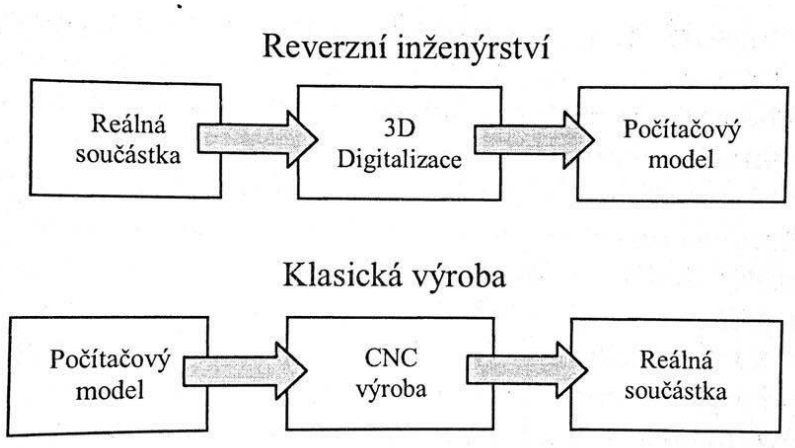
Cílem bakalářské práce bude návrh a výroba 3D modelu obličeje s využitím moderní technologie Reverse Engineering, včetně editace a zpracování získaných dat. Součástí práce bude rovněž charakteristika moderních technologií Reverse Engineering a Rapid Prototyping, spojená s popisem komerčně dostupných aditivních materiálů a jejich aplikačním využitím. Následujícím postupem bude ověření výroby 3D modelu obličeje pomocí aditivní metody Fused Deposition Modeling s využitím komerčně dostupné 3D tiskárny. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením, které bude spojeno s rozborem navržených (možných) variant výroby 3D modelu obličeje.

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány nejprve teoretické poznatky, které jsou potřebné pro pochopení dané problematiky. Teoretická část bakalářské práce se důkladně věnuje pojmům Reverse Engineering, Rapid Prototyping a následnému použití těchto technologií.

1.1 REVERSE ENGINEERING

Reverse Engineering (dále jen RE), neboli v českém jazyce Reverzní inženýrství, je jednou z rozvíjejících se oblastí strojírenství. Jak se můžeme dočíst v publikaci Píšky a kol. (2009, s. 215), cílem RE je odhalit princip zkoumaného předmětu. RE je metoda, která je charakteristická opačným sledem operací procesu, na rozdíl od klasické výroby. Nejdříve je fyzický model, který se naskenuje pomocí skenerů neboli digitizérů. Dále probíhá digitalizace, kde se v příslušném programu převádí fyzický model do 3D modelu. Kdežto klasická výroba se vyznačuje tím, že máme danou technickou dokumentaci, či 3D model, který se nahraje do softwaru stroje (CNC obráběcí stroje, 3D tiskárna) a vyrobí se výrobek.

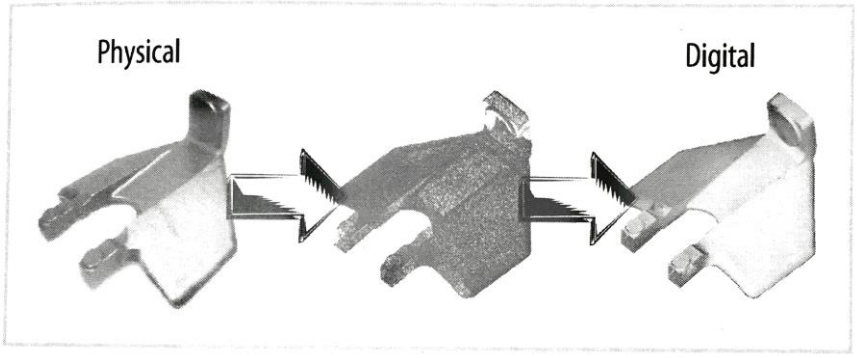


Obrázek č. 1: Proces RE (Zdroj: Píška a kol. 2009, s. 215)

Štulpa (2015, s. 196) vysvětluje RE jako „*zpětné inženýrství; provádí se zpětná analýza výrobku (po skenování poškozeného výrobku) pro získání platné softwarové dokumentace, v tomto případě je to získání modelu ve 3D v CAD (poškozené, chybějící*

části je nutné doplnit – modelovat). Je tak umožněna následná výroba náhradní součástky, nástroje, formy, zápustky, výrobku.“.

Vinesh Raja a Kiran J. Fernandes (2008, s. 2) prezentuje ve svém uveřejnění RE jako proces duplikace existující části, podsestavy nebo produktu bez výkresů, dokumentace nebo počítačového modelu. RE se taktéž může nazývat procesem, který se získává z geometrického CAD modelu z 3D bodů pomocí skenováním / digitalizací stávajících částí, nebo produktů.



.

Obrázek č. 2: Proces skenování součásti z podoby fyzické do podoby digitální (Zdroj: Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes 2008, s. 3)

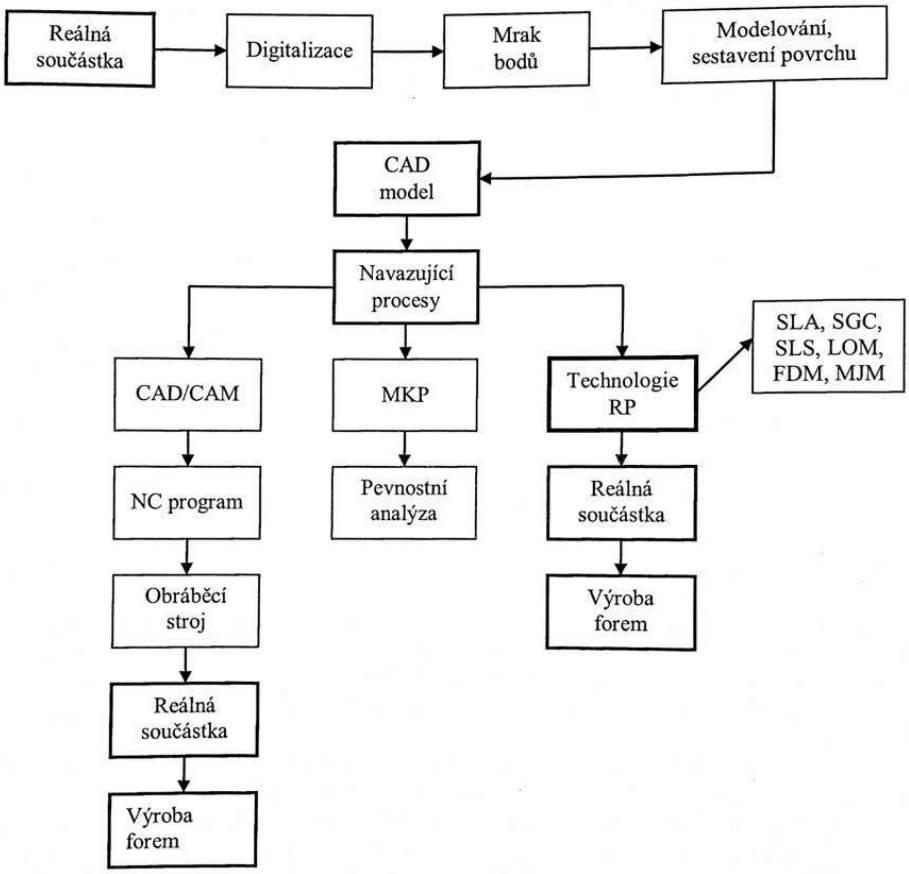
1.1.1 Oblasti využití RE

RE získává 3D model z reálné součástky, který je používán k dalšímu zpracování. Vytvořená digitální verze součástky, či objektu se pak porovnává, nebo upravuje. Oblasti využití RE jsou široké. S příklady využití RE nás seznamuje Píška a kol. (2009, s. 200). Pole působnosti RE je široké a neustále se rozrůstá, jelikož umožňuje získání digitálního modelu z reálné součásti, bez ohledu na její velikost či tvar. RE se využívá zejména v automobilovému a leteckém průmyslu, kde jsou vyráběny různé potřebné součástky. Dále nachází RE uplatnění v architektuře, kde slouží k získávání digitální podoby různých objektů nebo konstrukcí. V oblasti archeologie se tato metoda uplatňuje např. k archivaci skenů vzácných předmětů. Takto získaná data bývají pak nadále upravována a uchovávána, buď mohou sloužit jako 3D vizualizace, nebo k výrobě kopií. Se stále vzrůstajícími požadavky v oblasti průmyslu, medicíny a jiných vědních oborů na design, kvalitu, přesnost, rychlost a cenu vzrůstá, podle Sloty, J., Mantiče, M., Gajdoše, I. (2010, s. 53 - 56) význam pojmu RE.

O možnostech využití RE v medicíně pojednává článek autorů Lin, Shi a Wang (2016, s. 15-23). Možnosti 3D tisku se v medicíně dají využít při výrobě ortopedických odlitků, které budou splňovat hygienické podmínky a budou vyráběny pacientovi „na míru“. Samotný proces zahrnuje několik algoritmů, které se dají rozčlenit do několika kroků. Nejprve na základě rentgenových snímků pacienta vytvoří základní model, který se zdokonaluje za pomoci počítačových programů, na základě kterých se poté vytvoří samotný odlitek.

1.2 Digitalizace

Tato technologie se stává stále dostupnější, čímž je stále častěji využívána mnoha obory. Digitalizací podle Píšky a kol. (2009, s. 200 - 216) rozumíme proces (fázi) převodu, kdy se převádí z fyzického modelu pomocí digitizérů, skenerů na 3D model. Tento proces se nazývá digitalizace neboli skenování. Během digitalizace (skenování) dochází ke snímání jednotlivých bodů na skenovaném objektu tzv. mrak bodů. Dále je tento mrak bodů převeden na trojúhelníkovou síť polygonů a poté vyhlazen. Jednotlivé typy digitalizovaných modelů se od sebe liší přesností, hladkostí a napojením. Z obrázku č. 3, můžeme vyčíst, že získaná data lze upravovat a následně použít v následujících navazujících procesech.



Obrázek č. 3:Proces vzniku reálné součásti pomocí digitalizace (Zdroj: Píška a kol. 2009, s. 202)

Brejcha Marcel (2015, s. 10) vysvětluje digitalizaci jako proces, při kterém zařízení zvané skener, nebo digitizér převádí vizuální stránku objektu do virtuální podoby. Výsledkem je vždy mračno bodů, tzv. point clouds. Každý bod z mračna bodů má známou polohu vůči skenované pozici (poloha ohniska skeneru). Jeden sken z jedné pozice není postačující pro úplné 3D zobrazení celého snímaného objektu, jelikož z ohniska je viditelná pouhá část povrchu objektu, zatímco jiná část je v zákrytu.

1.2.1 Metody digitalizace

V současné době můžeme rozdělit metody digitalizace na tyto dvě skupiny:

- 2D digitalizace – výsledkem 2D digitalizace dostaneme digitální obraz v rastrovaném formátu, je to např. naskenovaný výkres, či fotografie strojní

součásti. Tento formát můžeme přímo použít na animace, prezentace, dokumentace (Píška a kol., 2009, s. 216)

- 3D digitalizace – finální operací je soubor dat se souřadnicemi jednotlivých bodů. Vizualizací tohoto souboru dat lze vytvořit digitální model původní předlohy, ale na rozdíl od modelů vytvořených pomocí CAD systémů, neobsahují tyto datové soubory informace o žádném jiném geometrickém primitivu, i kdyby digitalizovanou předlohou bylo i jednoduché geometrické těleso. (Píška a kol., 2009, s. 216)

1.3 Skenery

Princip převážné většiny těchto skenerů využívaných v RE je založen na snímání povrchu objektu v diskrétních bodech. Plyne z toho, že digitalizovaný objekt je v počítači prezentován jako velký počet bodů v prostoru, jak již bylo řečeno, tzv. mrak bodů. Každý skener je určený pro jisté rozmezí, překročením tohoto rozmezí se zmenší přesnost skenování. Skenovat lze buď s texturou, nebo bez textury, tzn. skenování s barvou, nebo bez barvy. Naskenovaná data naleznou využití např. v již zmíněném RE, v 3D tisku (realizace modelu), dále jako kontrola s reálnou součástkou oproti modelu, atd. (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 58).

Jak již bylo výše zmíněno, princip 3D skenerů je založen na snímání povrchu objektů v diskrétních bodech. Dle Sloty, J., Mantiče, M., Gajdoše, I., (2010, s. 58), se skenery od sebe liší hlavně tím, jakým způsobem dochází ke snímání bodů z povrchu objektu.

Dle způsobu snímání bodů se 3D skenery rozdělují na:

- destruktivní,
- nedestruktivní (Píška a kol, 2009, s 218).

Destruktivní skenery se vyznačují tím, že dojde ke zničení skenované součásti. Tím však lze přesně naskenovat i složitou vnitřní geometrii (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 59).

Destruktivní skenery jsou zařízení, která mají schopnost zdigitalizovat jak vnější povrch skenované součástky, tak i vnitřní geometrii. Před samostatným procesem je součástka

umístěna na nastavitelný rám a je pokryta speciálním materiálem, který při zpracovávání naskenovaných snímků poskytne vysoký kontrast mezi součástkou a výplňovým materiálem. Poté se z prostoru vysaje vzduch a vznikne vakuum, které způsobí, že se tento speciální materiál dostane do všech dutin součástky. Takto připravený blok se umístí do skenovacího zařízení, kde se upne k frézovacímu stolu. Samotné skenování proběhne v okamžiku odfrézování ultratenké vrstvy materiálu z bloku. Každý takto nově vzniklý povrch se naskenuje použitím optického skeneru a získaná data se odešlou k dalšímu zpracování (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 87 - 89).

Nedestruktivní skenery pracují tak, že při probíhající digitalizaci nedochází k žádnému poškození objektu (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 59).

Nedestruktivní skenery se dále pak dělí na:

- kontaktní,
- bezkontaktní (Píška a kol., 2009, s. 218 - 226).

Princip kontaktních skenerů spočívá v tom, že skenovaný objekt je ručně kontaktovaný hrotem. Tento hrot lze zavěsit na mechanické rameno přístroje, nebo je hrot součástí sondy, která zajišťuje bezdrátový přenos dat. U dotykových skenerů, které mají hrot připevněný na rameni, je v každém kloubu umístěný senzor, který zaznamenává natočení ramene. Poloha skenovaného bodu se získává vyhodnocením údajů ze všech kloubů ramene. Přenos dat a údajů o skenovaném objektu se přenáší prostřednictvím základny, která zaznamenává polohu sondy. Před skenováním je vhodné si na objekt vyznačit body, tzv. referenční body, které se musí naskenovat, aby se získal přesný digitální obraz fyzického objektu. Od složitosti tělesa a od požadované přesnosti se odvíjí počet těchto bodů. Výstupem je velké množství bodů definovaných třemi souřadnicemi (x, y, z). Bohužel touto metodou není možné získat informace o textuře povrchu objektu. Jako další nevýhoda těchto mechanických skenerů je vysoká pracnost při získávání dat, která vyplývá z toho, že se objekty musí skenovat ručně hrotem. Z výše uvedených důvodů je zřejmé, že tento způsob získávání 3D modelu je nejvíce časově náročný. Mechanické skenery proto nejsou vhodné pro skenování relativně složitých těles s dutinami i těles s nerovnoměrným povrchem (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 59 - 60).

Bezkontaktní skenery získaly název podle toho, že snímaný předmět není potřeba umisťovat do ramene – nedochází k dotyku snímací sondy. Bezkontaktní skenery mají spoustu výhod, jako např. přesnost, rychlost a jsou uživatelsky nenáročné a kolikrát jsou i přenosné. Skenovaný objekt může být vzdálen až několik metrů od snímací sondy (Píška a kol., 2009, s. 223).

Dle způsobu snímání bodů lze rozdělit bezkontaktní skenery jako:

- optické,
- laserové,
- ultrazvukové (Píška a kol., 2009, s. 217).

Optické skenery mají možnost skenovat objekt z několika úhlů pomocí optického zařízení. Jedná se o bezkontaktní metodu, kde neprobíhá žádný kontakt mezi snímací sondou a objektem. Snímání je provedeno ručně nebo prostřednictvím polohovacího zařízení. Objekt se skenuje z několika pozic a fotky se pak odesílají do počítače pro další zpracování. Po získání všech potřebných snímků se data zpracují a vytvoří se digitální model (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 65 - 66).

Laserové skenery pracují tak, že využívají vlastnosti laserového paprsku. Samotné skenování spočívá v tom, že se kolmo proti předmětu vyšle paprsek, který se od něho odrazí a vrátí se zpět do skenovacího zařízení, kde se vyhodnotí. Vyhodnocením doby, která uplyne od vyslání do vrácení paprsku, získáme informace o rozměrech předmětu ve směru letu paprsku. Informace o zakřivení povrchu plyne z úhlu, pod kterým se paprsek vrátí zpět do zařízení. Spojením obou základních informací skener získá přesnou polohu bodu, který odešle do počítače. Tímto způsobem se skenerem pomocí laserového paprsku naskenuje celé těleso po celém obvodě, případně se těleso otáčí a skenovací zařízení stojí pevně. Výhodou těchto skenerů je jejich vysoká přesnost a nenáročnost na obsluhu v průběhu skenování. Mají nejlepší předpoklady pro široké využití v praxi, bohužel jejich cena je v porovnání s ostatními skenery několikrát vyšší (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 73 - 74).

Ultrazvukové skenery pracují na způsobu 3D digitalizace bezkontaktního snímání povrchu objektu ultrazvukovou sondou. Jedná se o jedno z cenově nejméně náročných

řešení problematiky prostorového snímání povrchu. Skenování se vykonává manuálně pomocí ultrazvukové sondy ve tvaru pistole s kovovým hrotem, který se přikládá k povrchu skenovaného objektu a stiskem spouště dojde k vyslání ultrazvukového signálu. Tento signál je pomocí speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekódován do prostorových souřadnic, které je možné vkládat přímo do systému, nebo do datového souboru. Nevýhodou těchto zařízení je jejich relativně malá přesnost (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 89).

1.3.1 Go!SCAN 50™

Pro účely této bakalářské práce byl použit Skener Go!SCAN 50TM. Tento skener patří mezi bezkontaktní laserové skenery, konkrétně mezi HandyScany. Tyto skenery jsou ruční a dovolí během skenování vzájemný pohyb skeneru a tělesa. Pomocí několika kamer, které vysílají laserový QR kód, na připojeném počítači se pak reálně zobrazuje snímaný objekt, načež se i automaticky generuje polygonová síť. (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 84).

Obrázek č. 4: Skener Go!SCAN 50TM (Zdroj: TIM CRENNEN, Computer Aided Technology, 2018)

Technické parametry skeneru jsou znázorněny v Tabulce č. 1.:

Tabulka č. 1: Parametry skeneru (Zdroj: SolidVision, s.r.o.)

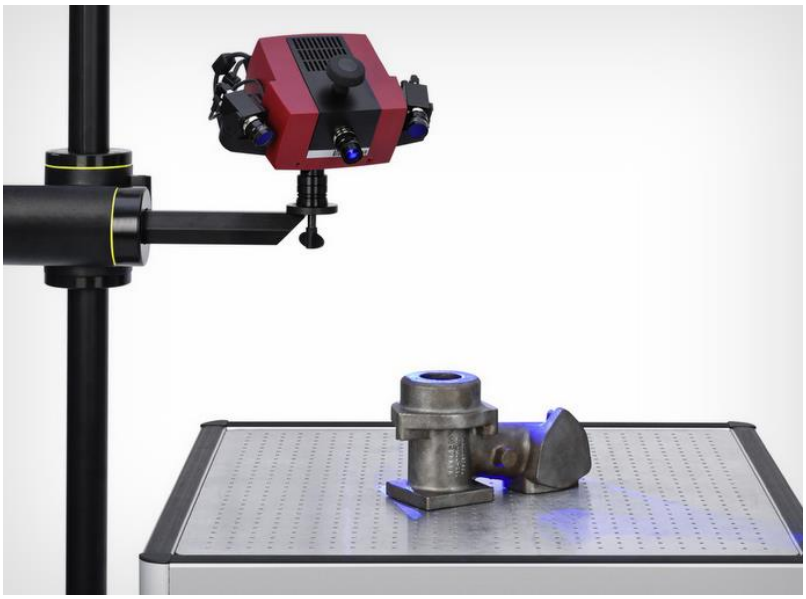
Váha [g]	950
Rozměry [mm]	150 x 171 x 251
Rychlost měření [měření/s]	550 000
Rozlišení [mm]	0.500
Přesnost [mm]	od 0.100
Vzdálenost skeneru od objektu [mm]	400
Provozní teplota [°C]	15 – 40

1.3.2 ATOS Compact Scan

Pro porovnání skenování byl pro účely bakalářské práce použit i optický skener ATOS Compact Scan. Jedná se o bezkontaktní skener, který pracuje na technologii strukturovaného světla GOM Blue Light. Je to úzkopásmová technika, která umožňuje projekci modrého světla pro přesné měření bez ohledu na světelné podmínky v daném prostředí. Dokáže poměrně rychle proměřit odlitky, modely a formy. 3D skenery ATOS jsou využívány v mnoha průmyslových odvětvích a dokáží oskenovat objekty různých velikostí s nejrůznějším povrchy, nejrůznějšího tvaru (Slévárna Kuřim, 2016).

Tabulka č. 2: Technické parametry ATOS Compact Scan (Zdroj: Mcae, ATOS Compact Scan)

ATOS Compact Scan 2M	
Hustota bodů [mm]	0,02 – 0,62
Naměřené body	2000000
Měřící rozsah [mm^2]	40 x 30 – 1000 x 800
Technologie modrého světla	ANO
Laserové odměřování	NE
Triple Scan	NE



Obrázek č. 5: ATOS Compact Scan (Zdroj: Industrial measuring techniques, 3D scanning and digitization, ATOS Compact Scan)

2 RAPID PROTOTYPING

Technologie Rapid Prototyping (dále jen RP) se dá přeložit jako rychlá výroba prototypových součástek a modelů. Jedná se o moderní metodu převodu virtuálních modelů vytvořených v CAD systémech do fyzické podoby. Od roku 1987, kdy byla zavedena Stereolithografie (což je vlastně první komerčně využívaná metoda RP), byly vyvinuty spousty dalších metod, které používají stejný princip vytváření výrobků po vrstvách. Využitím technologických metod RP je možné získat reálný výstup (jedná se většinou o prototypovou součást) k řešenému projektu v poměrně krátkém čase (v porovnání s použitím klasických metod výroby prototypů). Na vyrobené součásti (tzn. prototypu) je možné provádět vizuální zkoušky, testy smontovatelnosti, případně testování funkčních vlastností budoucího výrobku (Veselka F., Mikulčík A., 2008, s. 127).

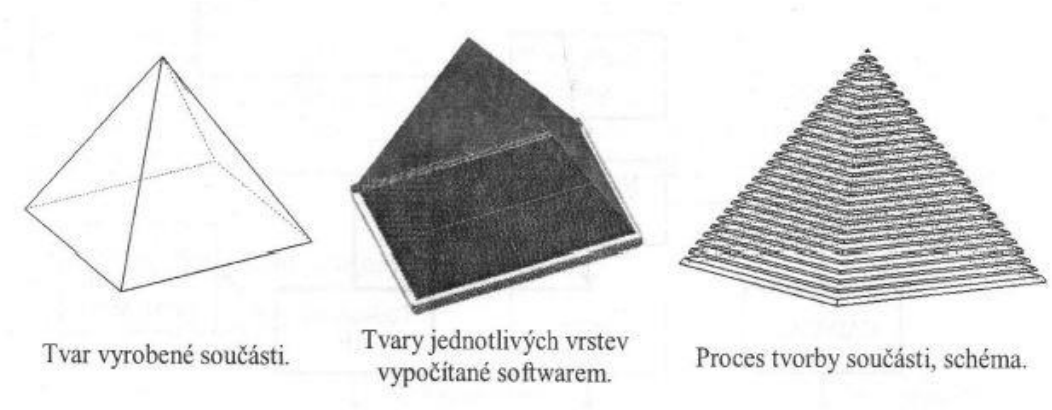
Prototyp tedy slouží hlavně k ověření jeho funkčnosti, technických parametrů a eliminaci chyb různého charakteru. Je žádoucí vyloučit převážnou většinu nedostatků v čase ještě před zahájením přípravy sériové výroby s minimálními finančními náklady. Právě proto tyto snahy vedly k zavádění různých netradičních metod a technologických postupů do technické praxe (Veselka F., Mikulčík A., 2008, s. 127).

Jak již bylo řečeno, RP je všestranná metoda pro výrobu prototypových součástí nebo modelů, která je využitelná pro každé výrobní odvětví, protože je schopná vyrobit prakticky jakýkoliv tvar. Charakteristickým rysem všech technologických metod RP je rychlá a náklady šetřící výroba prototypových součástí, modelů, a to na základě dat vytvořených v konstrukčních systémech bez použití forem a nástrojů. Tvarování obrobku se nevykonává odebíráním materiálu jako u třískového obrábění, nýbrž postupným přidáváním materiálu ve formě prášku nebo taveniny, takže se prototypová součástka vytváří po vrstvách. Tímto způsobem je tedy možné vyrobit v poměrně krátké době i tvarově složité součástky s dutými vnitřními prostory, šikmými i vodorovnými spodními stěnami, žebry apod. (Veselka F., Mikulčík A., 2008, s. 127).

Píška a kol. (2009, s. 200) vysvětluje technologii RP jako opakované nanášení materiálu, a to po vrstvách konstantní tloušťky (technologie aditivní), na rozdíl od obrábění, kdy se materiál naopak odebírá ve formě třísky. Pokud jsou k dispozici data z příslušného

programu a je zapotřebí vytvořit fyzický model, RP se nabízí jako možnost pro rychlé vytvoření prototypové součásti. Výhodou RP jsou nízké náklady na výrobu, rychlost výroby prototypu a úspora materiálu díky nanášení přesně potřebného materiálu. Prototypová součást může být podle typu použité technologie vytvořena například z pryskyřice, termoplastu, vosku, nebo kovového prášku.

„Technologie Rapid Prototyping umožňuje zkrácení etapy vývoje výrobku, což se příznivě projevuje při zvyšování konkurenceschopnosti výroby na trhu.“ (Píška a kol., 2009, s. 200)



Obrázek č. 6: Obecná podstata technologie RP (Zdroj: Píška a kol. 2009, s. 201)

2.1 Data pro výrobu modelu

Data pro výrobu modelu je možné získat ze dvou zdrojů:

- z fyzické součásti,
- z virtuálního modelu (Píška a kol., 2009, s. 201).

Pokud je zdrojem fyzická součást, která je naskenována metodou RE, je výsledkem kompletního procesu skenování mrak bodů, který se převádí na trojúhelníkovou síť polygonů a následně je vyhlazen. Síť polygonů se může ukládat do libovolného formátu dat a tato data mohou být pak následně použita v odpovídajícím programu k dalšímu zpracování (Píška a kol., 2009, s. 201).

Dalším zdrojem dat je virtuální model, který je nakreslen v kterémkoliv systému CAD, který umožňuje vytvářet 3D modely. Model je ze systému CAD exportován nejčastěji ve formátu STL, ale mohou být použity i jiné formáty (Píška a kol., 2009, s. 201).

STL (Standard Tessellation Language) je standardní výstupní formát ve většině CAD softwarů a požadovaný vstupní formát pro další procesy, včetně rychlého prototypování. STL soubor reprezentuje povrch modelu jako síť trojúhelníků. Množství a velikost trojúhelníků určují, jak přesně takto vytvořená síť reprezentuje povrch modelu. STL formát popisuje hrubý nestrukturovaný trojúhelníkový povrch tělesa pomocí trojdimenzionálního – kartézského souřadnicového systému. Soubory STL opisují jen povrch geometrie trojrozměrného objektu bez zastoupení barvy, textury, nebo jiných společných atributů (Slota, J., Mantič, M., Gajdoš, I., 2010, s. 17).

Tabulka č. 3: Porovnání základních technologií RP (Zdroj: Vlastní zpracování dle: Píška a kol., 2009, s. 203)

Základní technologie RP	Zkratka	Materiál modelu
Stereolithography	SLA	Fotopolymer
Solid Ground Cutting	SGC	Fotopolymer, nylon
Selective Laser Sintering	SLS	Polyamid, nylon, vosk, kovové prášky
Laminated Object Manufacturing	LOM	Papír s jednostranným pojivem
Fused Deposition Modeling	FDM	ABS, vosk, polykarbonát

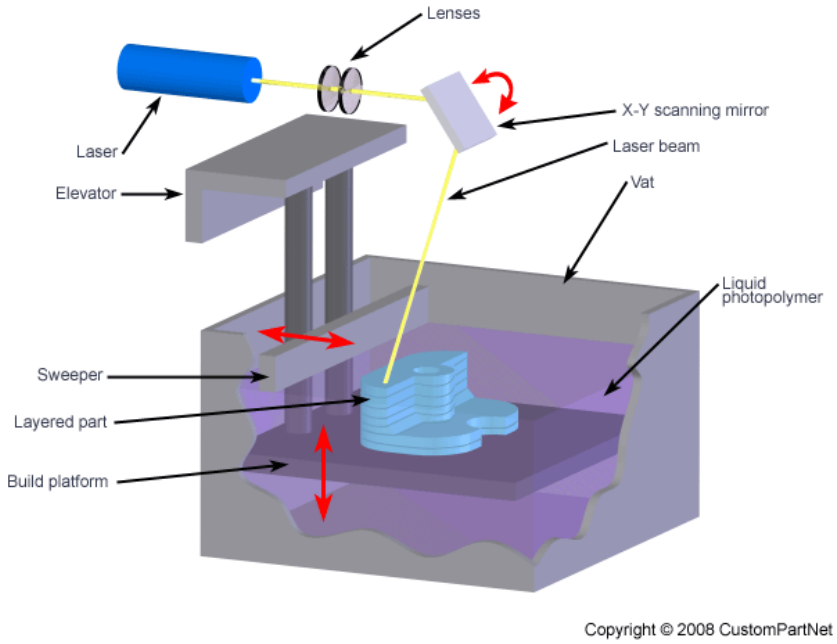
2.2 Dostupné technologie RP

2.2.1 Stereolithography

Stereolithography (dále jen SLA) je jedna z nejstarších komerčních technologií RP, která byla vyvinuta už roku 1986 Charlesem W. Hullem, zakladatelem firmy 3D Systems.

Princip této metody je založen na vytvrzování fotopolymerní pryskyřice laserem řízeným přes optickou soustavu ve dvou osách. Po vytvrzení jedné vrstvy se základna sníží a vrstva je čepelí seříznuta na požadovanou tloušťku. Po skončení celého výrobního procesu je zbytek pryskyřice odveden a model může být použit pro další operace. Tato metoda nachází uplatnění převážně v automobilovém průmyslu při výrobě modelů aut, na kterých se zkouší technologické přípravky, nástroje atd. (Píška a kol., 2009, s. 203).

Mezi výhody SLA technologie se může řadit např. jednoduché ovládání systémů, vysoká přesnost vyrobených modelů, vysoká kvalita povrchu, široká škála použitelných materiálů. Nevýhodami této technologie jsou potřeby podpůrného materiálu a podporných struktur, požadovaná dodatečná úprava modelů, potřebné dodatečné vytvrzování modelů (Beniak J., 2014, s. 85).

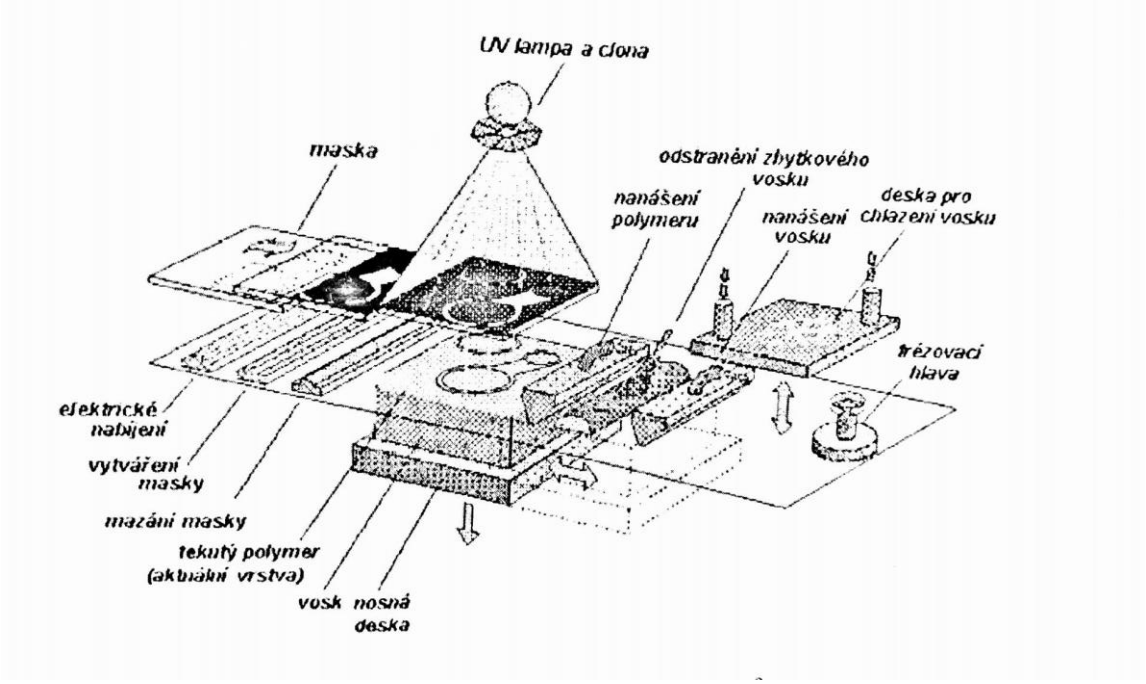


Obrázek č. 1: Metoda Stereolithography (Zdroj: Custompart.net, 2018a)

2.2.2 Solid Ground Cutting

Solid Ground Cutting (dále jen SGC) je technologie, která byla zavedena firmou Cubital a je založena na principu osvitu fotopolymerní pryskyřice pomocí silného impulzu UV záření přes negativní masku. Tato maska je generována xerografickou metodou. Nevytvrzená pryskyřice je odsáta a volné místo je zaplněno voskem, který slouží jako podpora pro další vrstvy. Vrstva s voskem je následně odfrézována na požadovanou

tloušťku. Oblast použití této metody je v ověřování designu, funkce a smontovatelnosti strojních součástí, nebo se využívá pro prezentace nových výrobků (Píška a kol., 2009, s. 204-205).



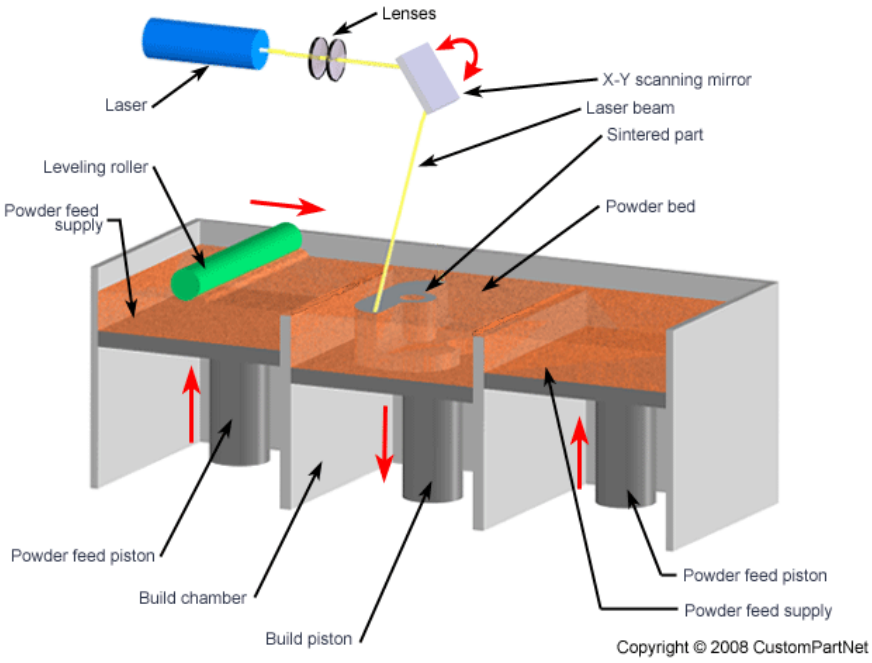
Obrázek č. 7: Metoda Solid Ground Cutting (Zdroj: Píška a kol., 2009, s. 205)

Výhody této technologie jsou následující: díly mají dobrou přesnost, jsou pevné, spolehlivé a mohou být dále mechanicky obráběné. Není potřeba jiná forma podpory mimo aplikovaného vosku, proces je relativně rychlý, i když je celá vrstva exponována UV světlem najednou, atd. Mezi nevýhody technologie patří omezená dostupnost vhodného materiálu, použitý materiál vyžaduje utěsněnou komoru a je nutné s ním bezpečně nakládat. Další nevýhodou je potřeba odstraňování vosku z modelu (Beniak J., 2014, s. 92-93).

2.2.3 Selective Laser Sintering

Selective Laser Sintering (dále jen SLS) je technologie založená na roztavení materiálu pomocí laserového paprsku. Vrstvy prášku nanáší válec, který tyto vrstvy zároveň stlačuje. Následně je průřez ve vrstvě vytvrzen. Základna se sníží o tloušťku vrstvy níž a válec s aplikátorem nanese novou vrstvu práškového materiálu. Okolní nevytvrzený prášek slouží jako podpora pro model a po dokončení tisku je mechanicky odstraněn. SLS

metoda nabízí široké uplatnění v oblasti výroby forem a nástrojů pro výrobu plastových, keramických nebo kovových výrobků (Píška a kol., 2009, s. 205-206).



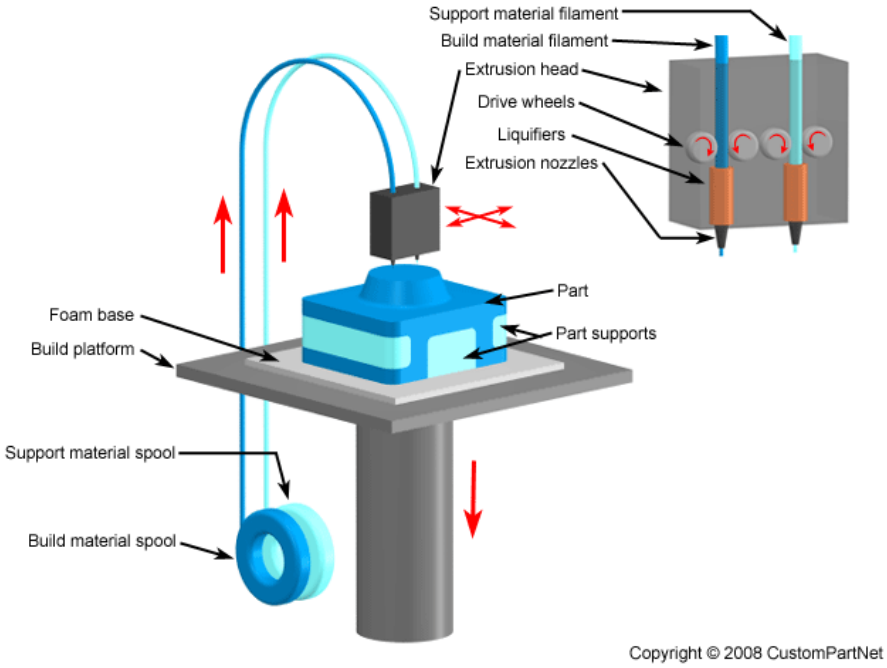
Obrázek č. 8: Metoda Selective Laser Sintering (Zdroj: Custompart.net, 2018b)

Součásti, které jsou vyrobené metodou SLS vynikají svou pevností, SLS dovoluje vyrábět z velkého množství použitelných materiálů. Vyráběné díly nepotřebují podpory a nevyžadují velké „povýrobní“ zpracování. Do nevýhod patří kvalita povrchu, která je oproti ostatním metodám nízká a je vyžadováno prostorově a energeticky náročné zařízení (Píška a kol., 2009, s. 207).

2.2.4 Fused Deposition Modeling

Fused Deposition Modeling (dále jen FDM) je technologie založená na drátu z termoplastického materiálu, který se odvíjí z cívky a je vtlačován do vyhřívané trysky pomocí kladek, kde působí jako píst na roztavený materiál. Tavenina se po opuštění trysky ochlazuje a tuhne – nastává spojení s předcházející vrstvou. Po vytvoření vrstvy se základna sníží o její tloušťku. Pro podepření převislých ploch součásti je nutné použít podpor. Díky pevnosti používaných materiálů, lze součástky vyrobené touto metodou

následně obrábět, povrchově upravovat a vystavovat zatížení, které odpovídá realitě (Píška a kol., 2009, s. 211).



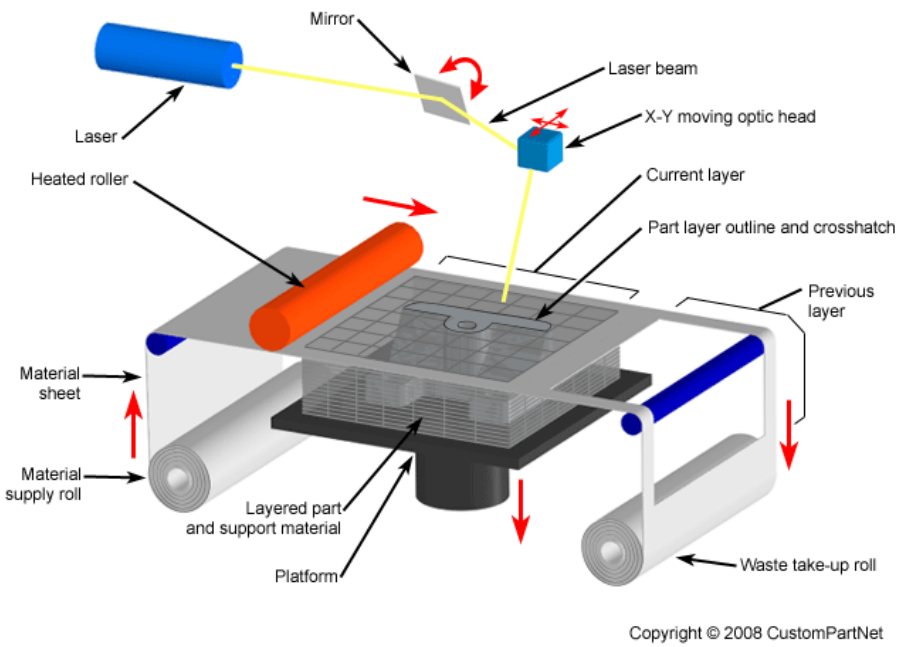
Obrázek č. 9: Metoda Fused Deposition Modeling (Zdroj: Custompart.net, 2018c)

Výhodami této metody jsou modely, které je možné vyrobit již funkční. Při výrobě určité součásti vzniká minimální odpad, jelikož přes trysku se vytlačuje pouze takové množství materiálu, které je potřebné na vytvoření modelu. Prakticky neexistuje žádný odpadový materiál, mimo odpadu pro podpory. Další výhodou je lehké odstranění podpůrné struktury. Mezi nevýhody patří pomalý proces modelování - z důvodu výstavby modelu po vrstvách zespodu nahoru. Mezi nevýhody patří i smršťování modelu. Z trysky vychází materiál, který má vyšší teplotu a po opuštění trysky materiál velmi rychle chladne, což způsobuje napětí ve vytvořeném modelu, a to se projevuje smršťováním a zkroucením modelu (Beniak J., 2014, s. 27-28).

2.2.5 Laminated Object Manufacturing

Laminated Object Manufacturing (dále jen LOM) - model je vyřezáván laserovým paprskem z papíru opatřeného tavným pojivem. Papír se odvíjí ze svitku (role) na pracovní desku a s předcházejícím řezem je spojen přitlačením nažehlovacího válce. Po

vyřezání tvaru součástky a křížovém „šrafování“ se zbylý papír navíjí na válec s odpadem. Křížové šrafování umožní lehké odstranění podporné struktury. Součástky, které vznikají touto metodou, se používají pro účely vizualizace, marketing a prezentaci nových výrobků zákazníkům (Píška a kol. 2009, s. 210).



Obrázek č. 10: Metoda Laminated Object Manufacturing (Zdroj: Custompart.net, 2018d)

Výhody LOM technologie: široká škála materiálu (papír, plasty, kovy, keramika apod.), rychlost zařízení (laser je v činnosti pouze minimální dobu a to po dobu řezu kontury modelu), nejsou nutné podpory modelu, minimální smršťování a deformace materiálu. Nevýhody: náročné odstranění přebytečného materiálu, velký objem použitého materiálu se stává odpadem a je nepoužitelný, metoda není vhodná pro modely s tenkou stěnou – pevnost modelu je omezena (Beniak J., 2014, s. 42-43).

2.3 Tiskárna uPrint

Tiskárna uPrint je určena pro rychlou výrobu přesných a pevných modelů přímým „tiskem“ 3D digitálního počítačového CAD modelu. Tyto tiskárny najdou uplatnění v mnoha oblastech průmyslu, architektury, medicíny, umění apod. Celý proces výroby probíhá zcela automaticky bez dohledu operatéra. 3D CAD model ve formátu STL se načte do softwaru CatalystEX a prostřednictvím počítačové sítě se pošle do 3D tiskárny,

kde se okamžitě zahájí proces výroby. Vyrobený model lze obratem použít pro danou aplikaci (Mcae Systems, 2017).

Obrázek č. 11: Tiskárna uPrint (Zdroj: Dimension uPrint Personal 3D Printers, 2017)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Předmětem praktické části bakalářské práce je průběh skenování, úprava skenu a příprava tisku - preprocessing, dále pak tisk obličeje - processing a postprocessing, tzv. „povýrobní“ zpracování. V první fázi bude představena příprava a průběh skenování pomocí skeneru ATOS Compact Scan. Pro srovnání skenování bude v další fázi naprosto stejně představen „handyskener“ Go!SCAN 50^{TM} spolu s úpravou skenu. Bakalářská práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením.

3.1 ATOS Compact Scan

Skenování obličeje skenerem ATOS bylo pro účely bakalářské práce nevhodné, jelikož příprava byla zdlouhavá a samotné skenování bylo velmi náročné, protože skener zachycoval i sebemenší pohyby. Úprava dat byla také obtížná, jelikož skener nezachytil všechny body na obličeji. Pro tento způsob skenování se skener nehodil. Skener ATOS Compact Scan se hodí pro skenování součástek, které se žádným způsobem nehýbou.

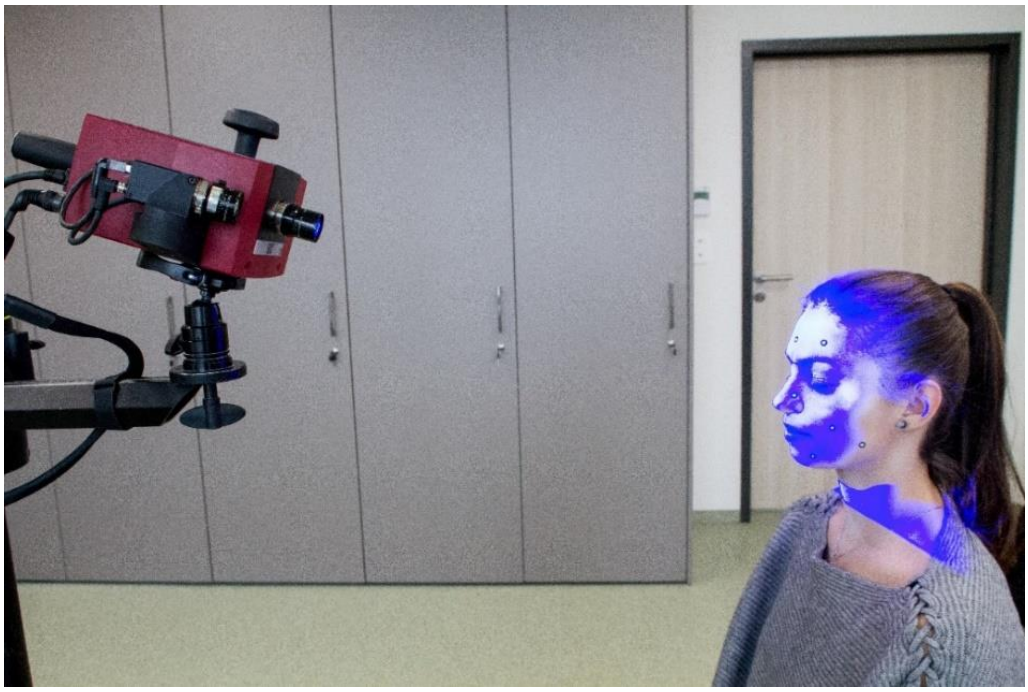
3.1.1 Příprava pro skenování

Obličej musel být polepen referenčními značkami. Ty se umisťují na místa, kde se potřebuje zaměřit 3D bod, jelikož je možné objekt skenovat pouze v danou dobu z jednoho úhlu. Skener musí vidět minimálně čtyři referenční body. Po zkompletování všech skenů obličeje z různých úhlů se stane model obličeje kompletní. Obličej bylo potřeba zmatnit pomocí křídového spreje.

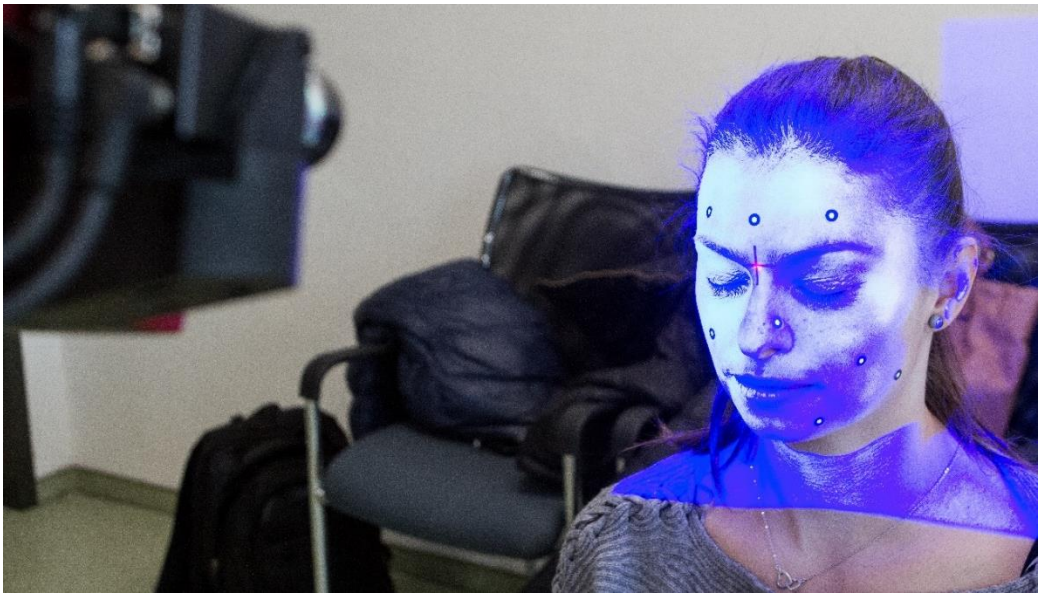
Obrázek č. 12: Nalepení značek a zmatnění obličeje (Zdroj: Vlastní zpracování)

3.1.2 Průběh skenování

V průběhu skenování se skenovaný objekt nesměl nijak hýbat. V tomto případě se obličej musel skenovat několikrát, jelikož skener zaznamenával i nepatrné pohyby obličeje.



Obrázek č. 13: Průběh skenování (Zdroj: Vlastní zpracování)

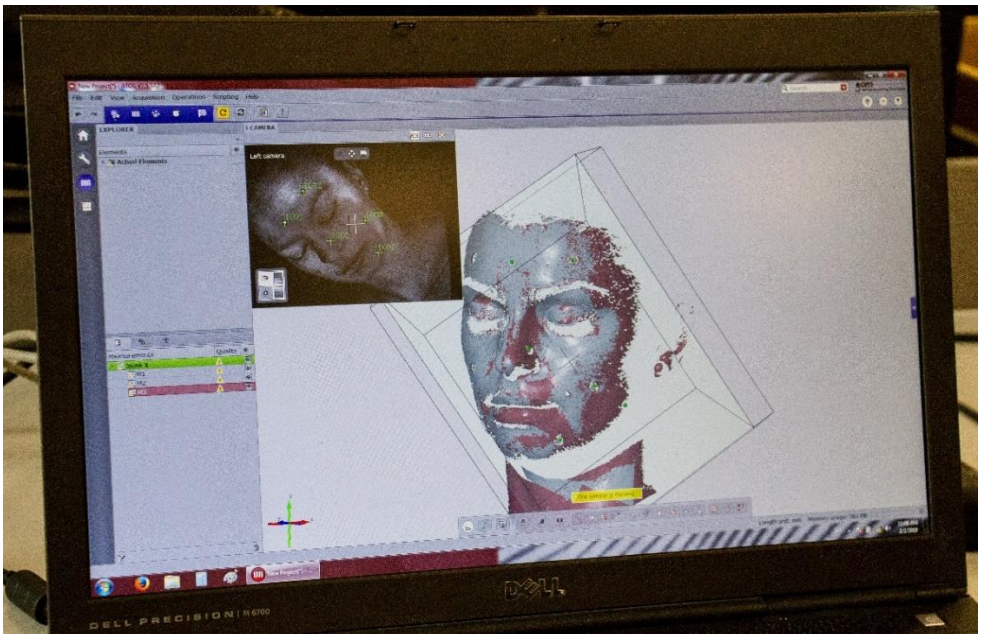


Obrázek č. 14: Průběh skenování – detail (Zdroj: Vlastní zpracování)

Jak již bylo zmíněno, skener zaznamenával i nepatrné pohyby, tudíž se hlava musela podepřít, aby se eliminoval pohyb.

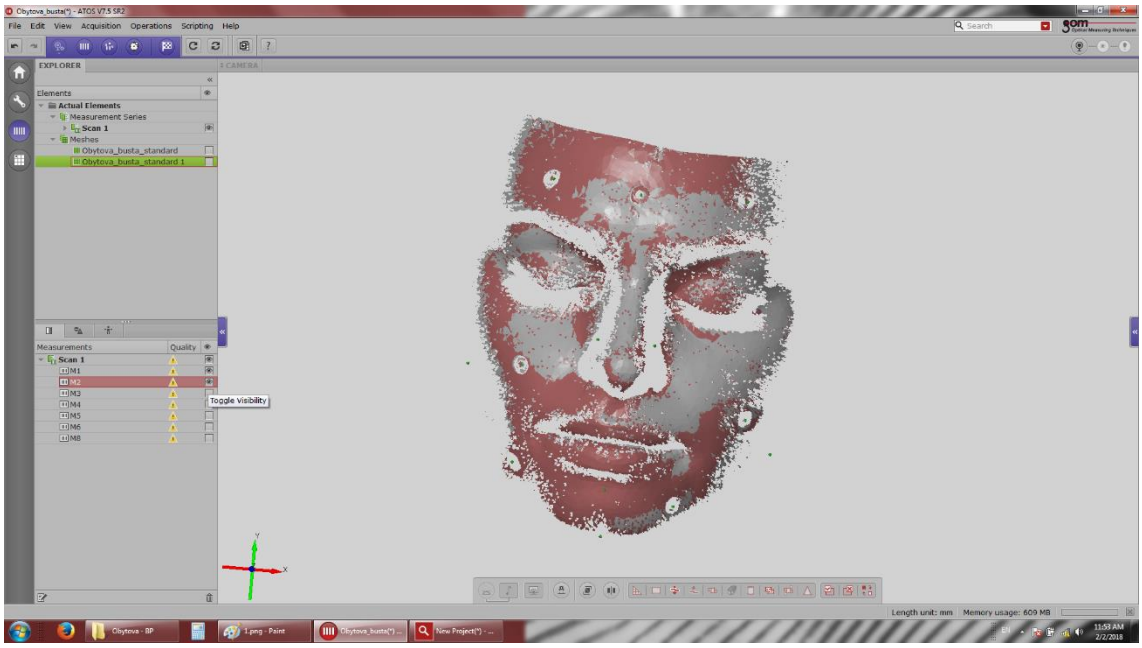
Obrázek č. 15: Průběh skenování – eliminace pohybu (Zdroj: Vlastní zpracování)

Skener byl propojen s počítačem, kam se automaticky přenášela podoba obličeje. (viz Obrázek č. 16). Červená barva značí nově oskenovaný obličej z určitého úhlu. V černém okénku je vidět obličej tak, jak ho snímá ATOS Compact Scan. V případě této bakalářské práce, ATOS viděl obličej spolu s 5 referenčními body, které jsou zeleně označeny.

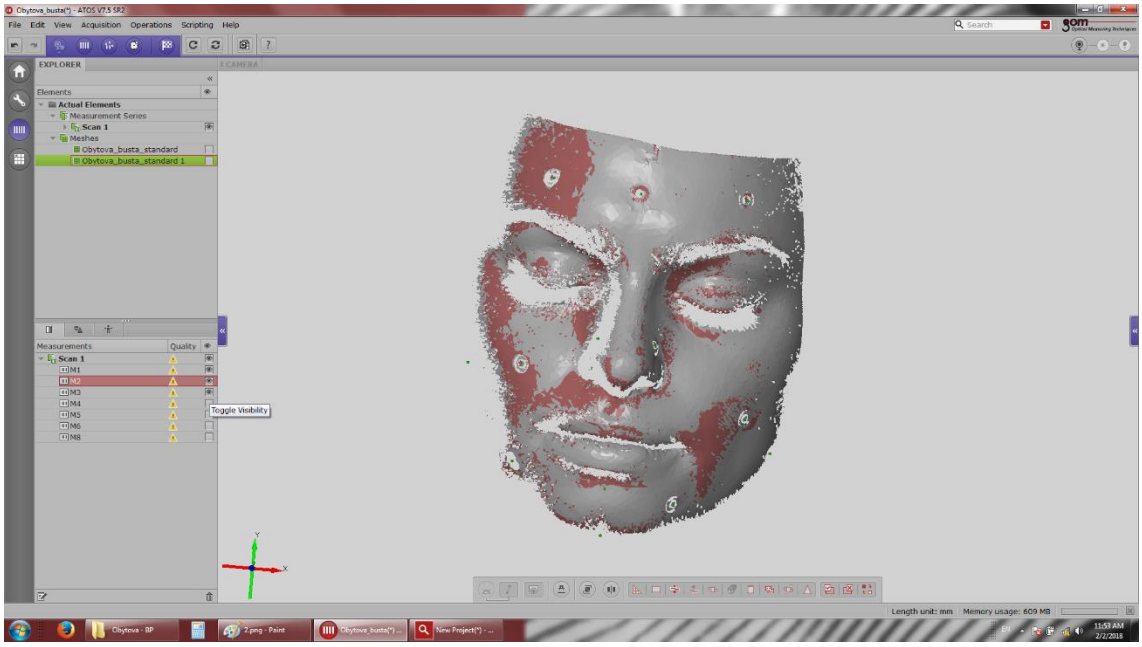


Obrázek č. 16: Převedení do elektronické podoby (Zdroj: Vlastní zpracování)

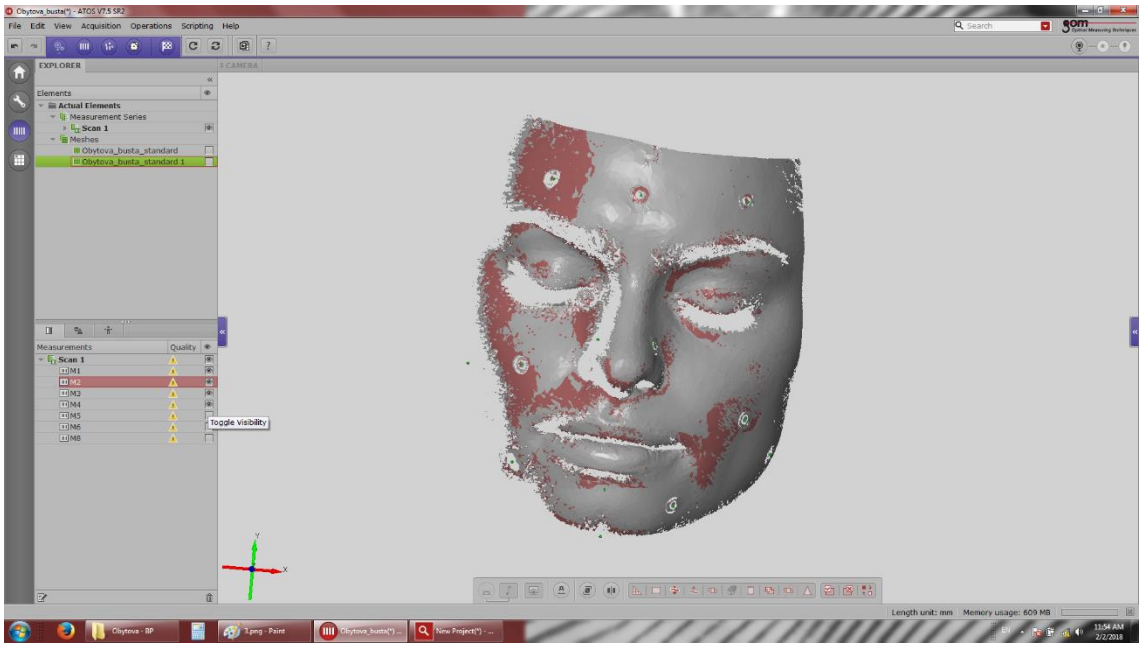
Například Obrázek č. 17 ukazuje situaci, kdy se snímaný objekt hýbal. Značí to žlutý trojúhelník v panelu na levé straně obrazovky. Jednotlivé řádky ukazují, kolik se muselo udělat skenů. Na následujících dalších obrázcích je vidět, jak se se zvyšujícím počtem skenů postupně doplňoval model obličeje, viz Obrázky č. 17 - 22.



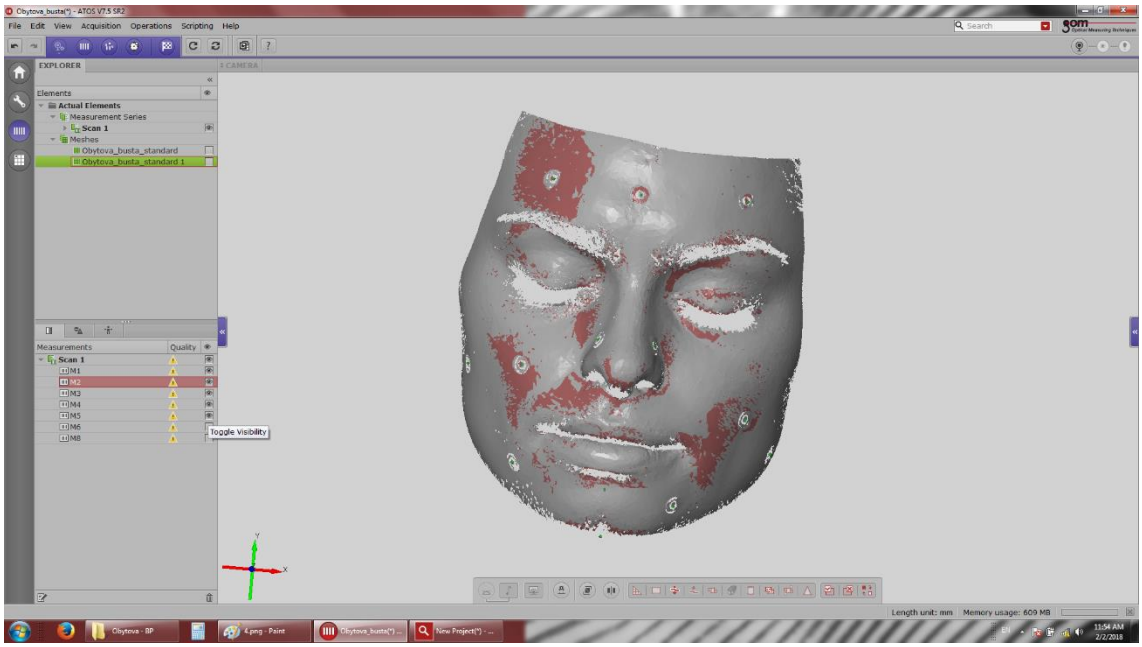
Obrázek č. 17: Sken č. 1 (Zdroj: Vlastní zpracování)



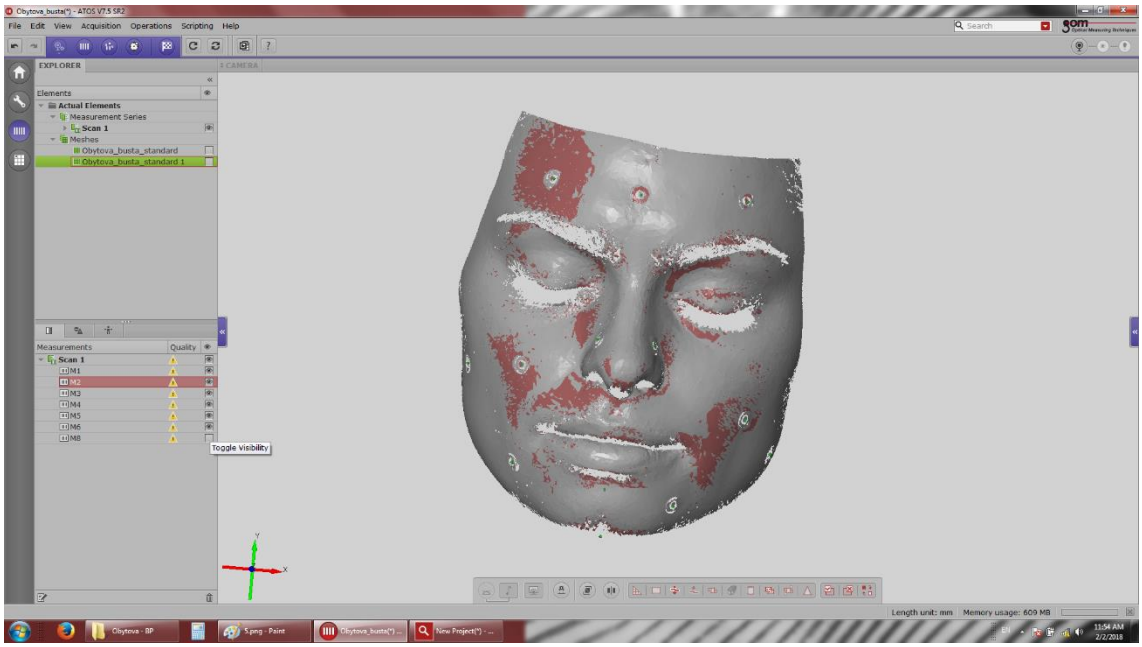
Obrázek č. 18: Sken č. 2 (Zdroj: Vlastní zpracování)



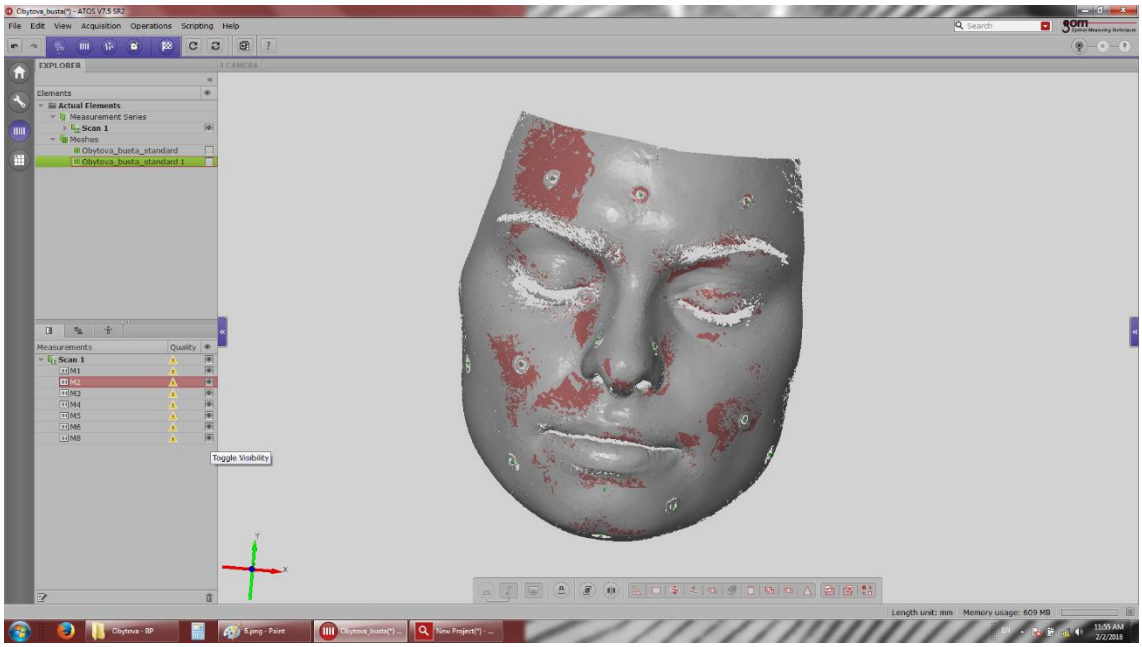
Obrázek č. 19: Sken č. 3 (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek č. 20: Sken č. 4 (Zdroj: Vlastní zpracování)

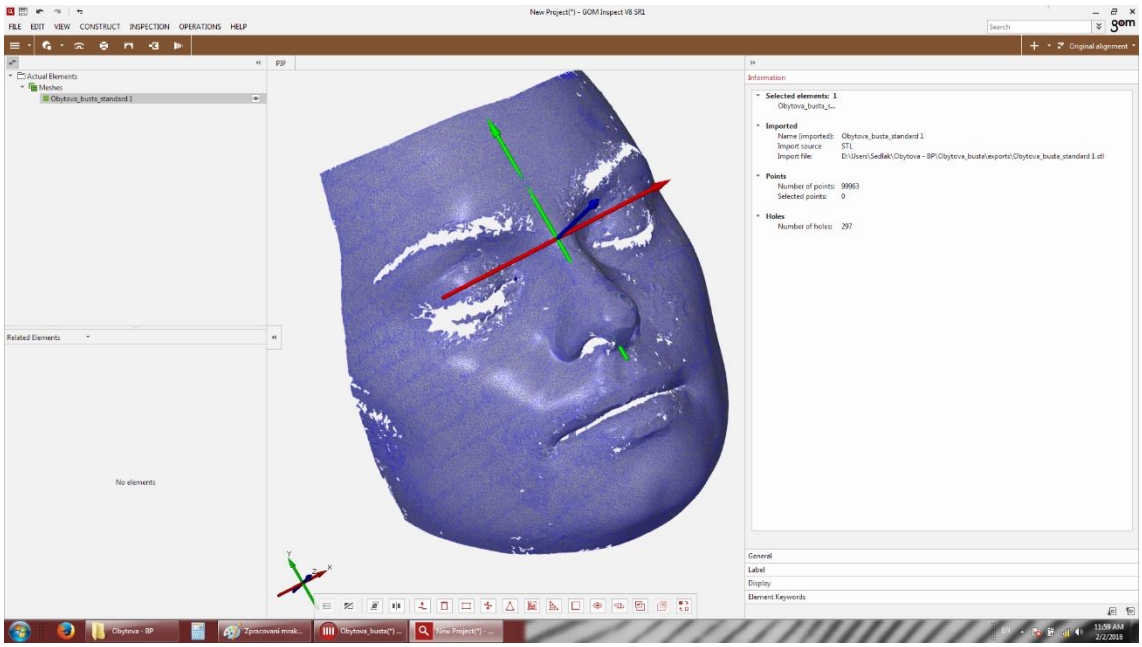


Obrázek č. 21: Sken č. 5 (Zdroj: Vlastní zpracování)



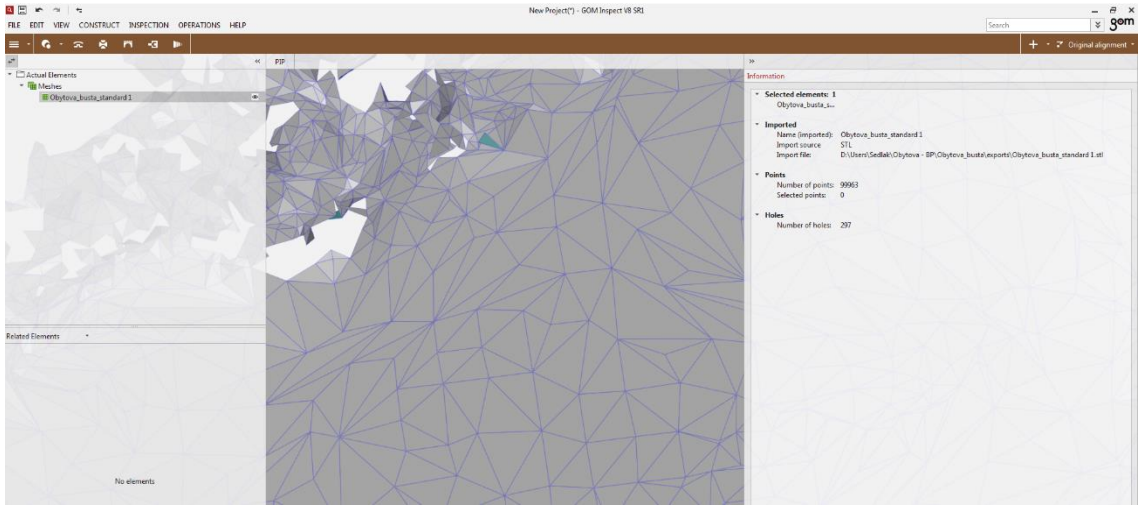
Obrázek č. 22: Sken č. 6 (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obličej se dá převést do polygonové sítě, kterou je vidět na Obrázku č. 23 a č. 24. V pravé části obrazovky se dají nalézt informace o počtu částí, ze kterých se obličej skládá. V tomto případě se obličej skládá z 99 963 ks „trojúhelníčků“ a na obličeji je 297 děr, které se nenaskenovaly.



Obrázek č. 23: Polygonová síť (Zdroj: Vlastní zpracování)

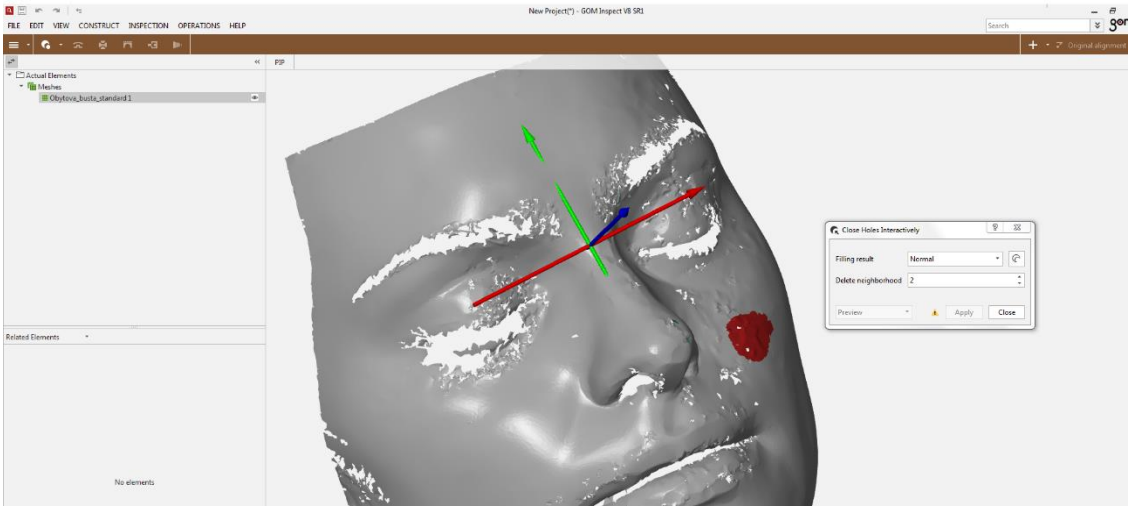
Po prohlédnutí detailu na Obrázku č. 24 je vidět polygonová síť. Polygonová síť je aproximací reálné plochy. Polygonová síť je vlastně souborem plochých trojúhelníků, které se snaží reálnou plochu aproximovat, i když je plocha zakřivená (čím menší jednotlivé polygony jsou, tím lépe se vystihne zakřivení), je prezentována stále jako síť plošek - nejčastěji trojúhelníků a čtyřúhelníků.



Obrázek č. 24: Detail polygonové sítě (Zdroj: Vlastní zpracování)

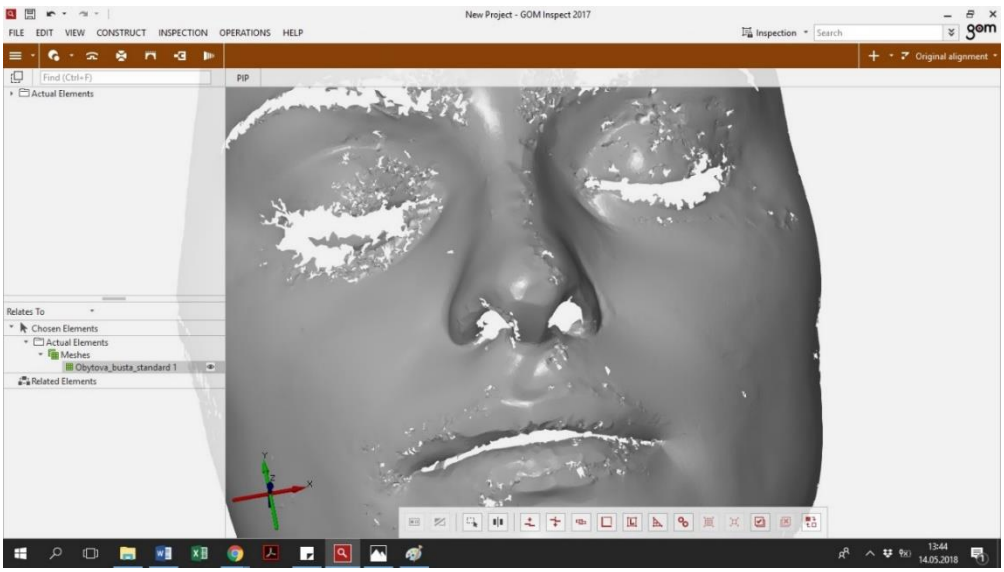
3.1.3 Úprava dat skenu

Úprava obličeje probíhala v programu GOM Inspect 2017, který je volně ke stažení.



Obrázek č. 25: Výběr nerovnosti na obličeji (před úpravou) (Zdroj: Vlastní zpracování)

Na výše uvedeném obrázku (Obrázek č. 25) je znázorněno vybrání příslušné části, která se má vyhladit, v panelu se pomocí příkazu „Mesh“ a následně přes příkaz „Repair“ vyhladí nesrovnalosti. Díry, které se nenaskenovaly a zůstaly v modelu, se doladí přes příkaz „Mesh“, a dále přes příkaz „Close holes“ →„Interactively“. Na Obrázku č. 27 lze vidět, jak je pravá tvář již hezky vyhlazená a upravená, oproti Obrázku č. 26.



Obrázek č. 26: Vyhlazený model (Zdroj: Vlastní zpracování)

Úprava takto naskenovaného obličeje by zabrala hodiny mravenčí práce, než by byla předloha vhodná pro 3D tisk.

3.2 Go!SCAN 50™

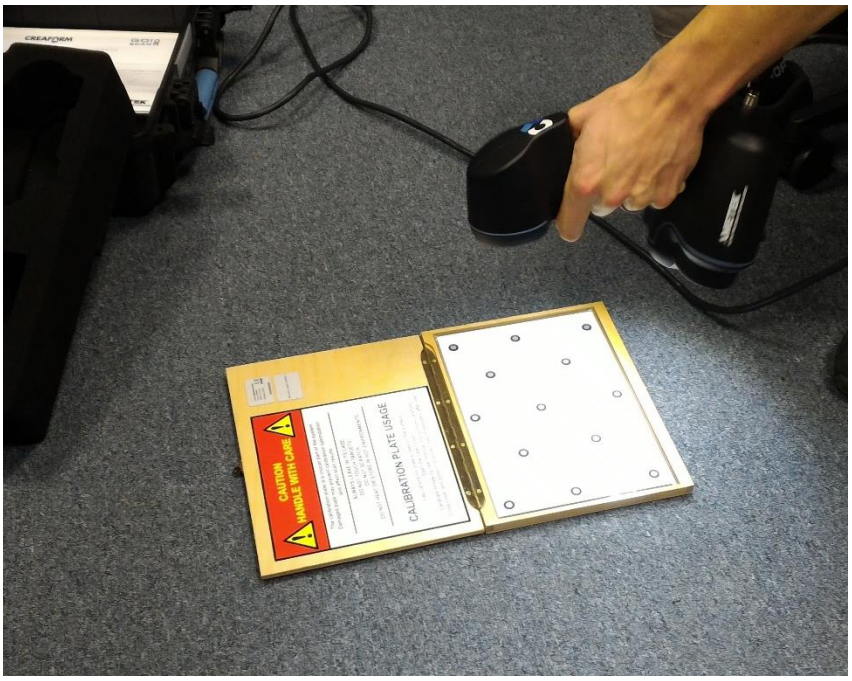
V předchozích kapitolách bylo již zmíněno, že skenování obličeje probíhalo ve firmě SolidVision, s.r.o., jejíž zaměření je převážně autorizovaný prodej 3D CAD systému SolidWorks (CAD modelář pro tvorbu dílů a analýzy) a CAM systému SolidCAM (systém pro řízení obráběcích CNC center). Jejich další významnou oblastí působnosti je také problematika RE, bezkontaktní digitalizace a 3D skenování.

3.2.1 Příprava pro skenování

Příprava na skenování tímto skenerem je oproti předchozí variantě mnohem jednodušší. Nebylo zapotřebí lepení referenčních bodů na obličej, ani zmatnění obličeje.

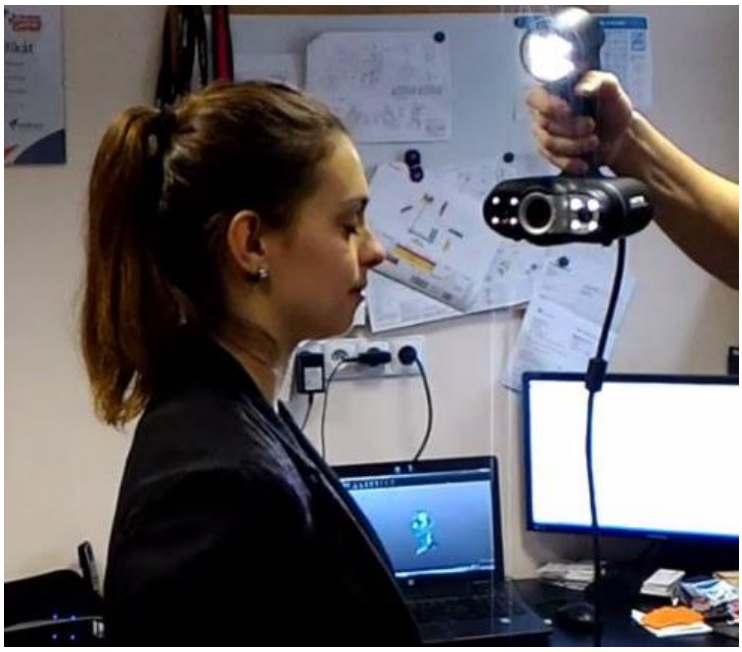
3.2.2 Průběh skenování

Před samotným skenováním je zapotřebí zkalibrovat ruční skener. Na Obrázku č. 27 je vidět deska, podle které se přístroj kalibruje. Díky těmto referenčním bodům, které mají přesný průměr, se skener orientuje v prostoru a zaručuje výslednou přesnost. Kalibrace zajišťuje, aby skener skenoval s předepsanou přesností. Ke každému 3D skeneru je dodávána skleněná destička, která je jedinečná pro každý 3D skener a nelze ji zaměnit s jinou destičkou. Tato destička je skleněná z důvodu roztažné odolnosti při změně teplot. Každá destička má strojově nalepené referenční body a po každé takto vyrobené kalibrační destičky vzniká konfigurační soubor, který se dodává s 3D skenerem. Průvodce uživatele skeneru přinutí k provedení deseti měření kolmo na desku a čtyř měření ze stran pod úhlem ke kalibrační desce. Po kalibraci přístroje, je skener připraven k měření (skenování). U měření přesných součástí je nutné jednou ročně 3D skener zaslat do kalibračního centra, kde zkontrolují správnost přístroje a kalibrační desky.



Obrázek č. 27: Kalibrace přístroje (Zdroj: Vlastní zpracování)

Skenování skenerem Go!SCAN 50^{TM} bylo jednoduché a hlavně rychlé. Samotné skenování trvalo zhruba 10 minut. Obsluha skeneru sledovala přímý průběh skenování v PC, tudíž viděla, která místa ještě nebyla naskenována a která ano. Z důvodů online zobrazení skenovaného modelu je v PC vyžadována velmi výkonná grafická karta. Po naskenování celého obličeje se nechala data přepočítat do výsledného polygonového objektu. Výsledek 3D modelu je tvořen polygonovou sítí, která se exportovala do STL formátu. Níže na Obrázku č. 28 je vidět, jak se skenovaný obličej rovnou načítá do počítače propojeného s ručním skenerem.



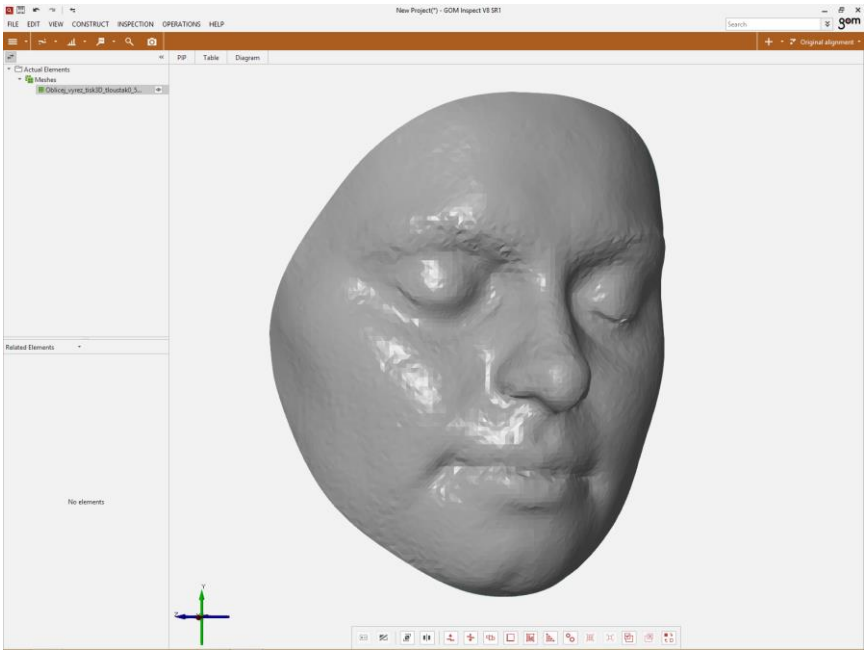
Obrázek č. 28: Průběh skenování handyscanerem (Zdroj: Vlastní zpracování)

Na Obrázku č. 29 je vidět zmíněný QR kód vysílaným skenerem, viz kapitola 1.3.1.

Obrázek č. 29: Ukázka QR kódu (Zdroj: Vlastní zpracování)

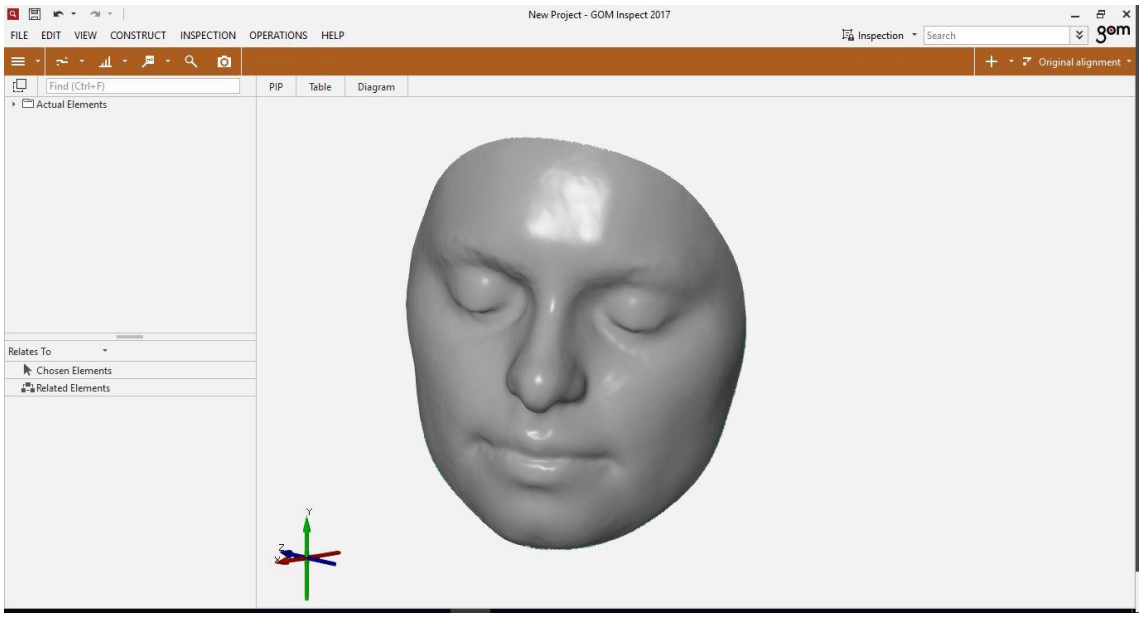
3.2.3 Úprava dat

Sken obličeje prostřednictvím tohoto skeneru se upravoval také složitě, pomocí stejných příkazů jako u skeneru ATOS. Proto je v bakalářské práci přiložen pouze sken před úpravou a po úpravě. Už nyní lze vidět, že díky skeneru Go!SCAN 50^{TM} je model obličeje kvalitnější, než ze skeneru ATOS a úprava dat nebyla tedy vzhledem k menšímu množství nerovností a děr časově tak náročná. Úprava modelu obličeje probíhala také v modelovacím programu GOM Inspect 2017.



Obrázek č. 30: Neupravený model (Zdroj: Vlastní zpracování)

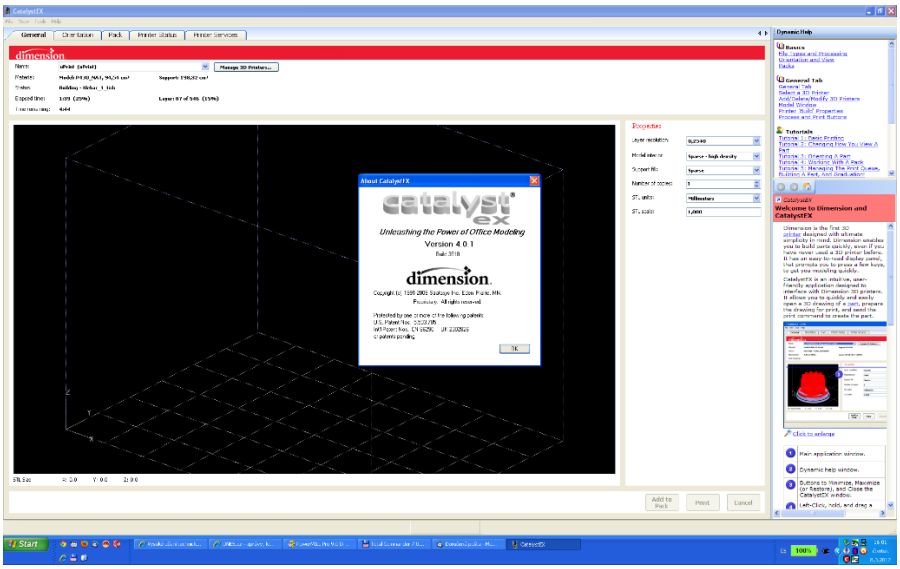
Na obrázku č. 31 je vidět upravený a vyhlazený sken 3D modelu obličeje, který byl předlohou pro tisk na 3D tiskárně uPrint.



Obrázek č. 31: Upravený model - předloha pro 3D tisk (Zdroj: Vlastní zpracování)

3.3 Příprava a 3D tisk obličeje

Hotový obličej ze skeneru Go!SCAN 50^{TM} ve formátu STL se načetl do programu CatalystEX. CatalystEX je řídicí program tiskárny uPrint, který je dodáván jako obslužný program při koupi tiskárny. V tomto programu se provádí veškerá další potřebná nastavení tisku. Tiskárna uPrint komunikuje s programem prostřednictvím IP adresy, proto je možné nainstalovat program na kterýkoliv počítač. Jediné, co není v programu možné, je samotné spuštění tisku. To se uskutečňuje tlačítkem přímo na ovládacím panelu tiskárny.



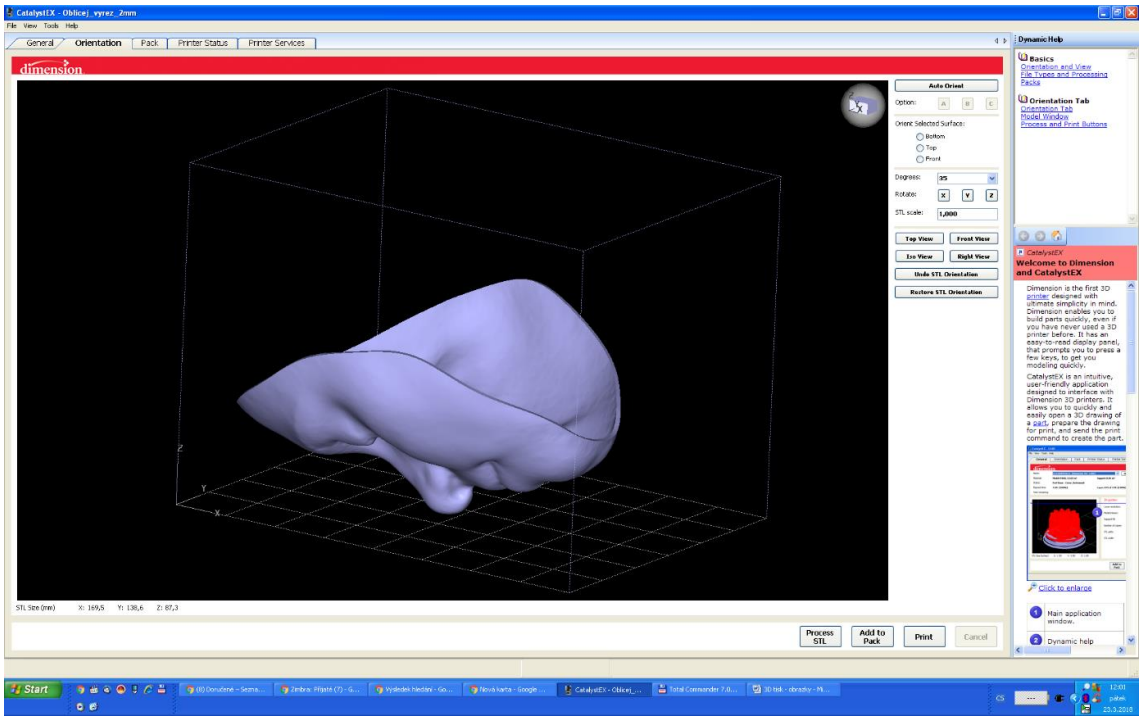
Obrázek č. 32: Úvod v programu CatalystEX (Zdroj: Vlastní zpracování)

Po načtení modelu obličeje do programu CatalystEX se model zobrazí v pracovním prostředí programu. Na Obrázku č. 32 lze vidět malé čtverečky, které znázorňují podložku, na kterou se model obličeje tiskne. První nastavení, které je potřeba udělat po načtení modelu je nastavení tloušťky vrstvy, způsob vyplnění modelu a podpor, počet kopií, a měřítko tisknutého dílu, obličeje.

Pro potřeby této bakalářské práce byly zvoleny tyto hodnoty:

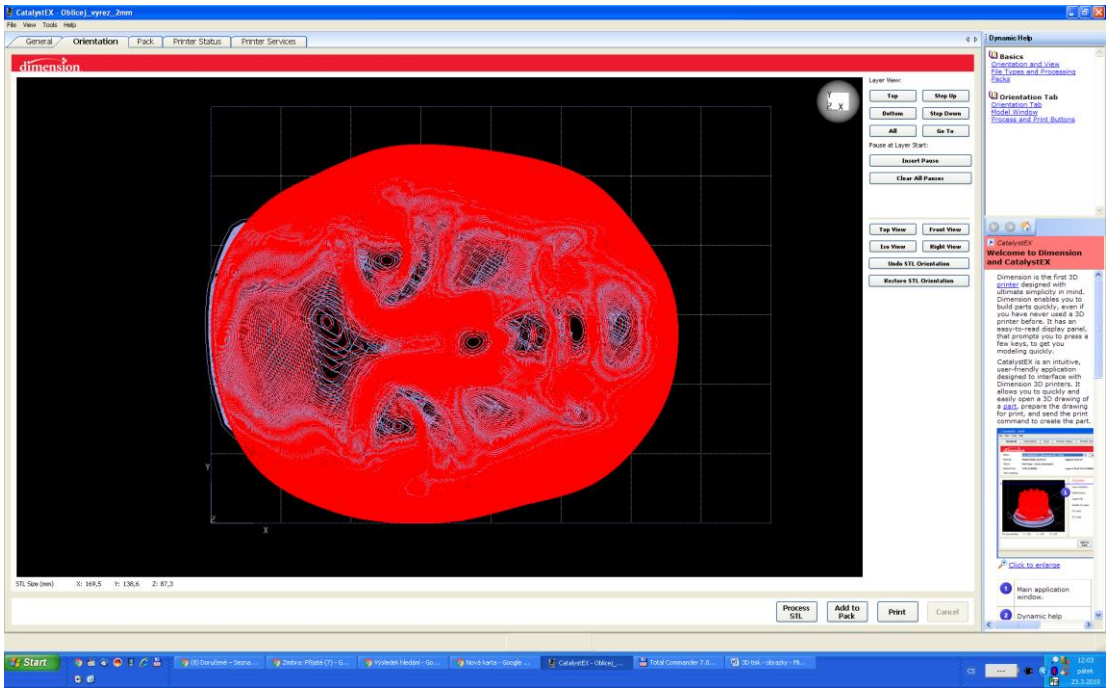
- tloušťka vrstvy byla zvolena 0,254 mm (jelikož obličej má tloušťku 2 mm, bylo vytištěno 8 vrstev po 0,254 mm),
- vyplnění modelu bylo zvoleno pevné a vyplnění podpory řídké,
- počet kopií 1 ks,
- jelikož byl model vytisknutý ve skutečné velikosti 1:1, byly zvoleny jednotky v mm.

Po nastavení všech těchto hodnot následuje volba orientace modelu na podložku uvnitř 3D tiskárny. Pokud se model vhodně umístí v pracovním prostoru, sníží se spotřeba tisknutého materiálu podpor. Model se může pohybovat v ose X, Y, Z a může se i kolem těchto os provádět natáčení.

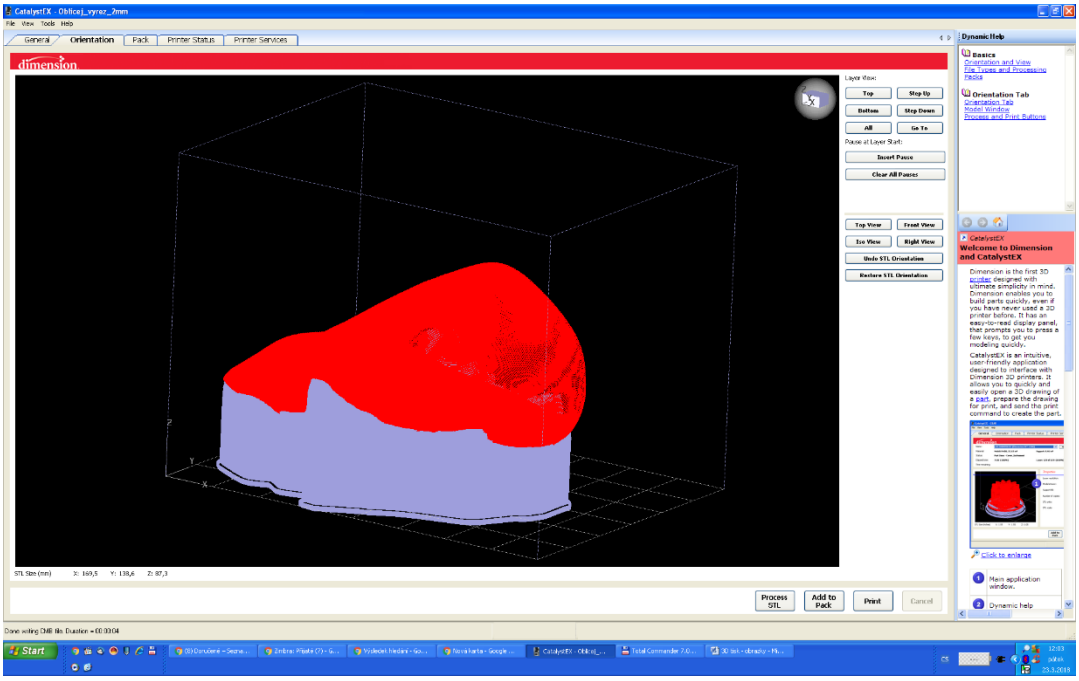


Obrázek č. 33: Nastavení orientace modelu v pracovním prostoru (Zdroj: Vlastní zpracování)

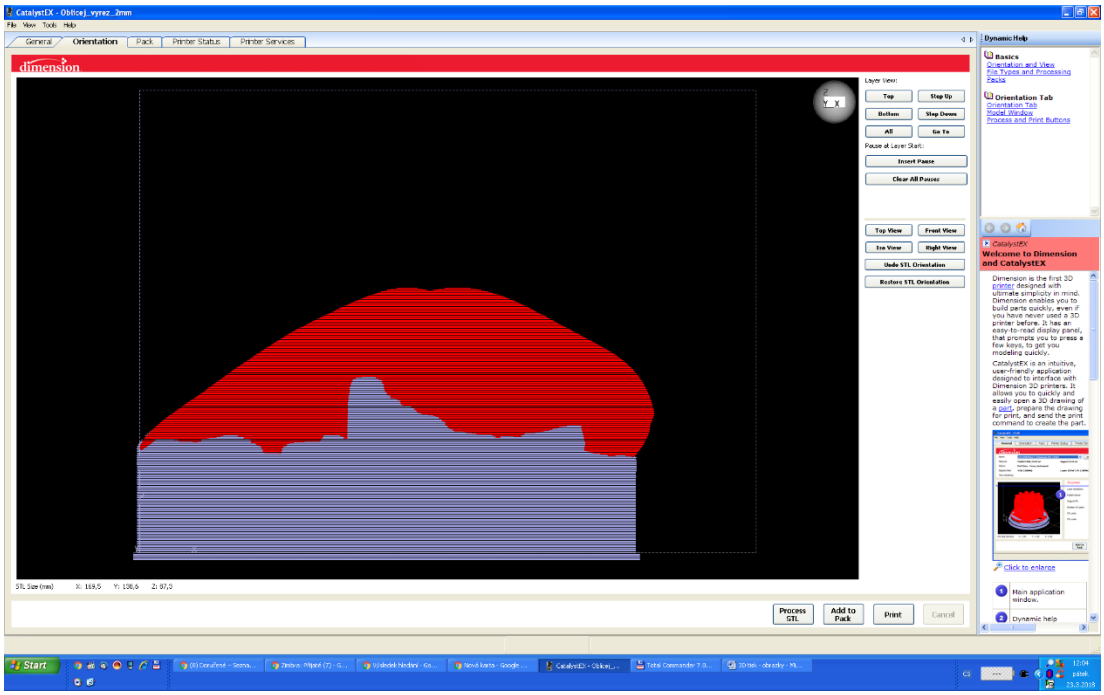
Po zvolené vyhovující orientaci modelu, která byla nastavena na 35 stupňů, program automaticky rozřeže model na jednotlivé vrstvy konstantní tloušťky a sám navrhne stavbu podpůrné konstrukce. Jak je na Obrázku č. 34 zobrazeno, červenou barvou je označen model a šedou barvou je zobrazena podpůrná konstrukce.



Obrázek č. 34: Model rozřezaný na jednotlivé vrstvy konstantní tloušťky (Zdroj: Vlastní zpracování)

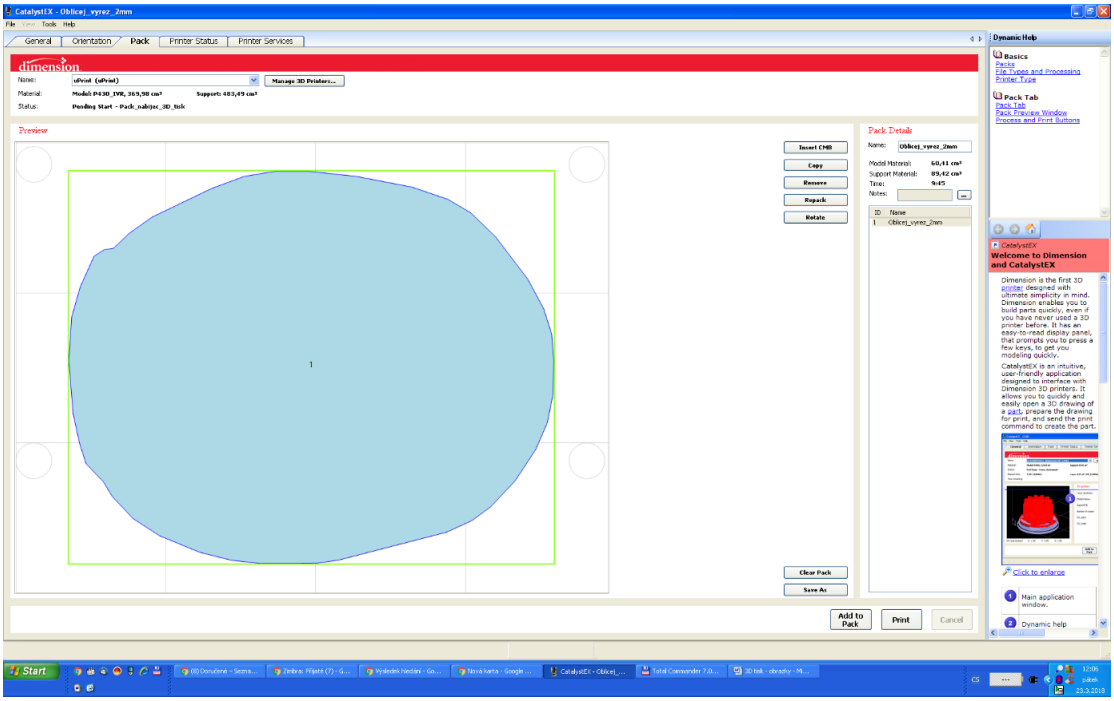


Obrázek č. 35: Zobrazení modelu a podpůrné konstrukce (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek č. 36: Pohled z boku (Zdroj: Vlastní zpracování)

Na Obrázku č. 37 je znázorněn model na pracovní podložce, pohled ze shora.



Obrázek č. 37: Model zobrazený na pracovní podložce (zeleně zvýrazněná) (Zdroj: Vlastní zpracování)

Pomocí tohoto kroku program vypočítal spotřebu materiálu, který je potřebný pro 3D tisk, včetně času tisku. V tomto případě, program vypočítal hodnoty, které jsou uvedené v následující tabulce:

Tabulka č. 4: Hodnoty vypočítané programem CatalystEX (Zdroj: Vlastní zpracování)

Spotřeba materiálu pro podporu [cm^3]	Spotřeba materiálu pro model [cm^3]	Spotřeba celkem [cm^3]	Doba tisku [hod]
89,419	60,409	149,828	9:45

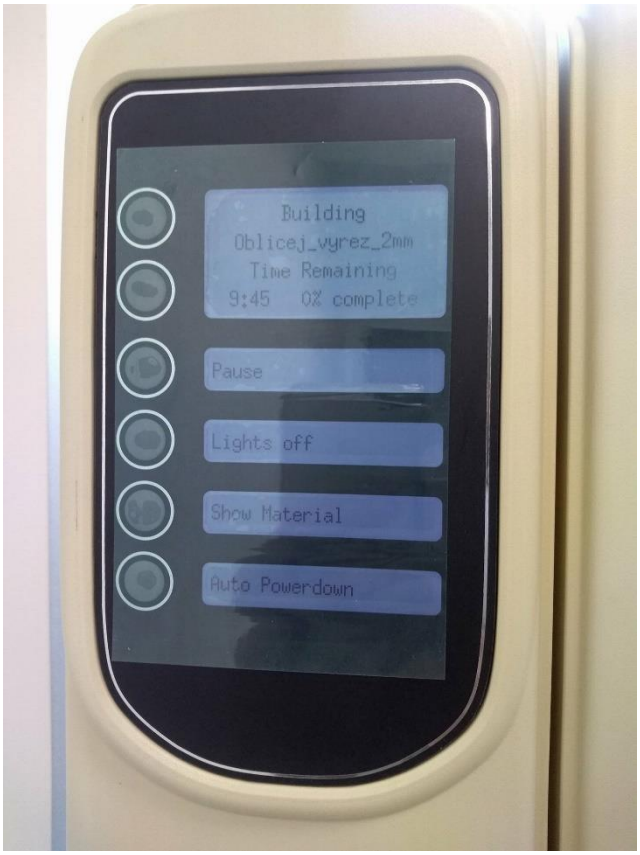
Následuje fáze tzv. processingu, tedy tisku v 3D tiskárně, která tiskne na základě technologie FDM od firmy Stratasys. Jak bylo zmíněno v teoretické části, viz kapitola 2.2.4, modely spolu s podporami jsou tisknuty po jednotlivých vrstvičkách od spodu nahoru. Obličej byl vyroben z modelovacího materiálu ABS*plus* (Akrylonitrilbutadienstyren), který je odolný vůči mechanickému namáhání. Mechanické vlastnosti materiálu jsou popsány v Tabulce č. 5:

Tabulka č. 5: Mechanické vlastnosti ABS*plus* (Zdroj: MCAE, 3D technologie)

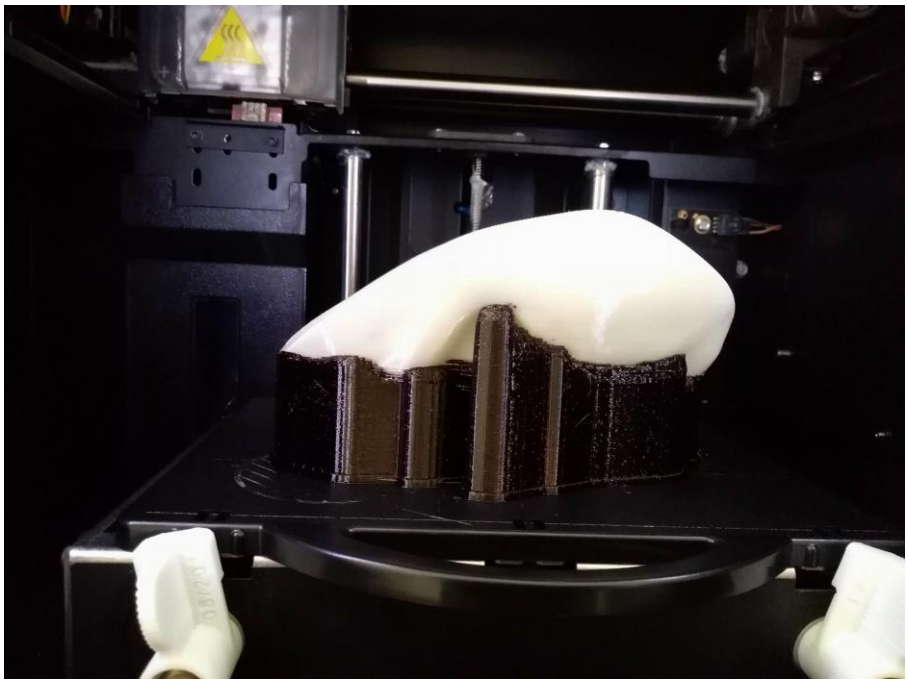
Pevnost v tahu [MPa]	37
Modul pružnosti v ohybu [MPa]	1,820
Modul pružnosti v tahu [MPa]	1,915
Pevnost v ohybu [MPa]	61
Poměrné prodloužení [%]	3,1

Než byl samotný 3D tisk zahájen, vložila se do tiskárny podložka, na kterou se model tisknul. Po vložení podložky do 3D tiskárny se na ovládacím panelu zmáčkne tlačítko pro začátek tisku. Po startu tisku na ovládacím panelu si tiskárna sama zkalibruje podložku a zahřeje pracovní prostor uvnitř tiskárny na teplotu cca 73°C. Jako první tisková hlava nanese materiál podpory, na tuto vrstvu nanese vrstvu modelu, která slouží poté pro

snadnější odstranění modelů z modelovací desky. 3D tiskárnu není třeba obsluhovat, pracuje zcela sama. Po 9 hodinách a 45 minutách tisku byl model hotový.



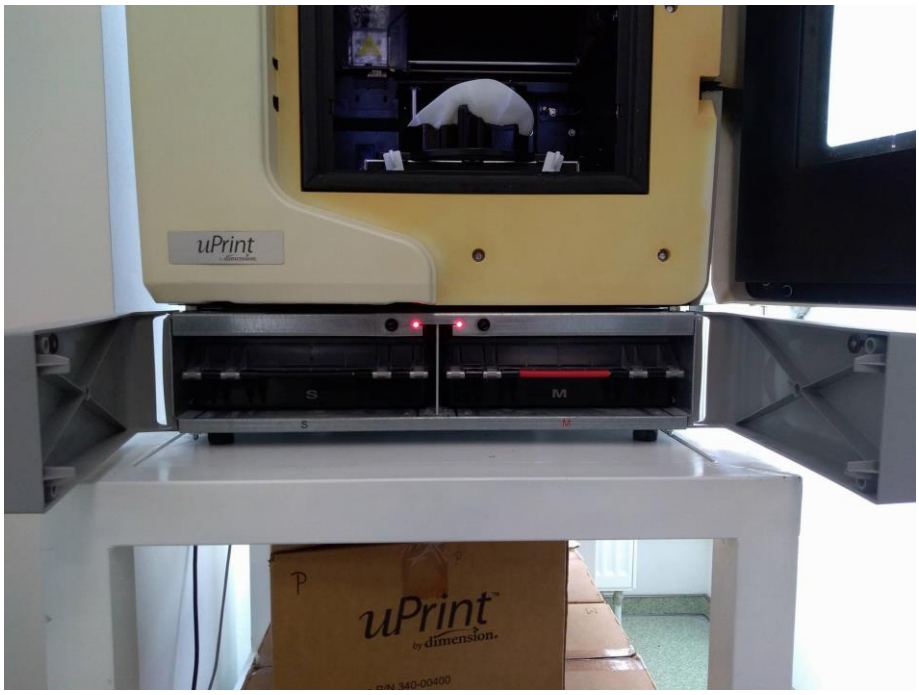
Obrázek č. 38: Řídicí panel 3D tiskárny uPrint (Zdroj: Vlastní zpracování)



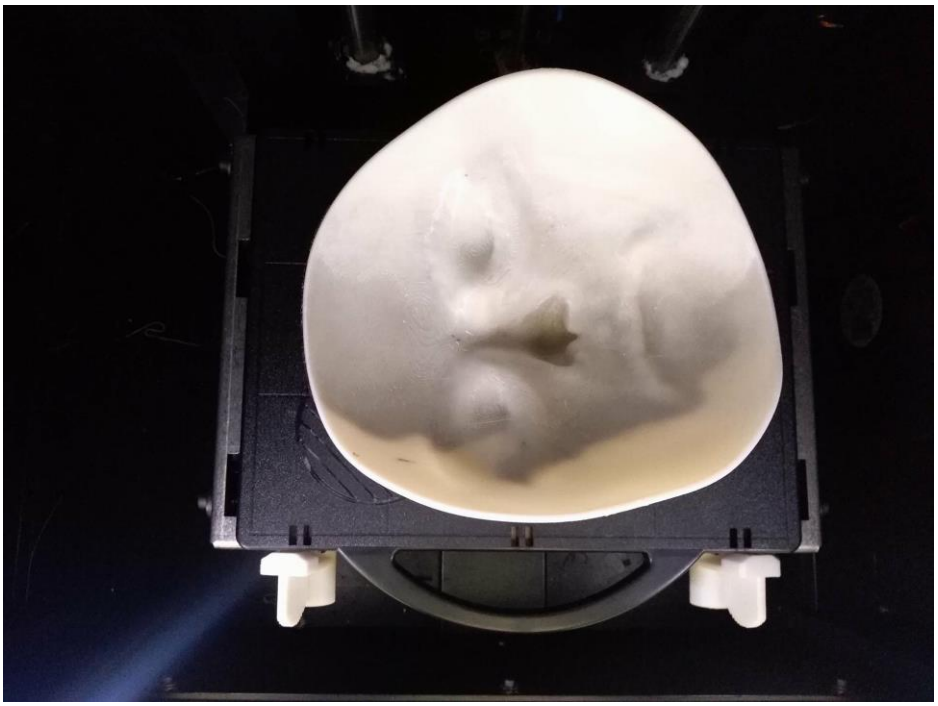
Obrázek č. 39: Model z boku po dokončení tisku (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obrázek č. 40: Ukázka celého pracovního prostoru 3D tiskárny (Zdroj: Vlastní zpracování)

Tiskárna ve spodní části disponuje zásuvkami, kam se doplňuje materiál. V levé přihrádce, kde je napsáno „S“ se doplňuje materiál pro podporu (S = support). V pravé části se doplňuje materiál pro model „M“ (M = model), viz Obrázek č. 41.

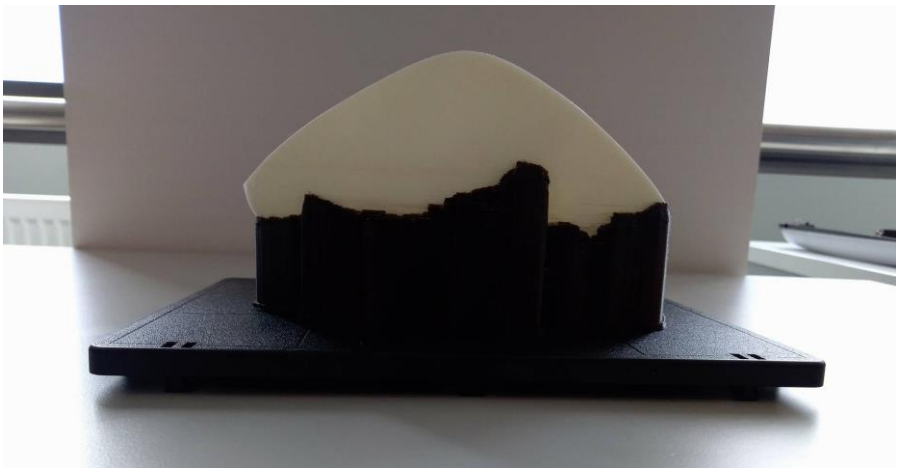


Obrázek č. 41: Zásuvky pro doplnění materiálu (Zdroj: Vlastní zpracování)

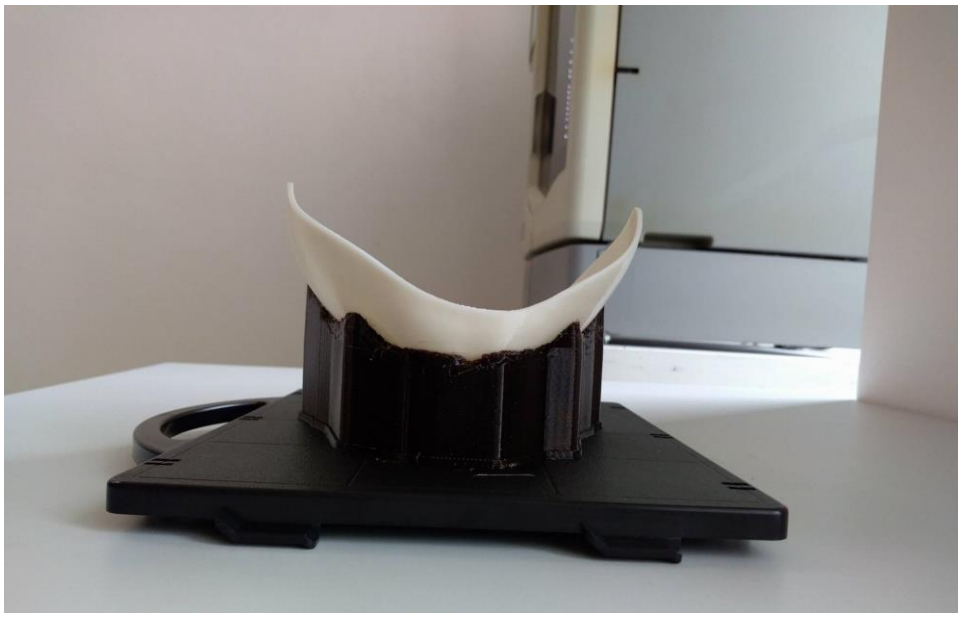


Obrázek č. 42: Vytisknutý model obličeje - pohled ze shora (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obrázek č. 43: Pohled z levé strany obličeje (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek č. 44: Pohled z pravé strany obličeje (Zdroj: Vlastní zpracování)



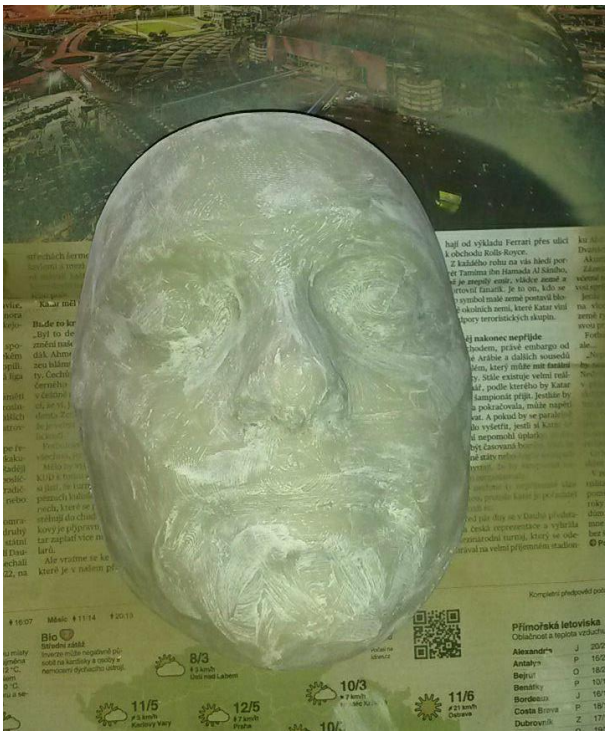
Obrázek č. 45: Pohled na model ze spodu (Zdroj: Vlastní zpracování)

Po dokončení tisku byl model umístěný na podložce zbaven podpory pomocí nože. Následně zůstal jen vytisknutý model (Obrázek č. 46).

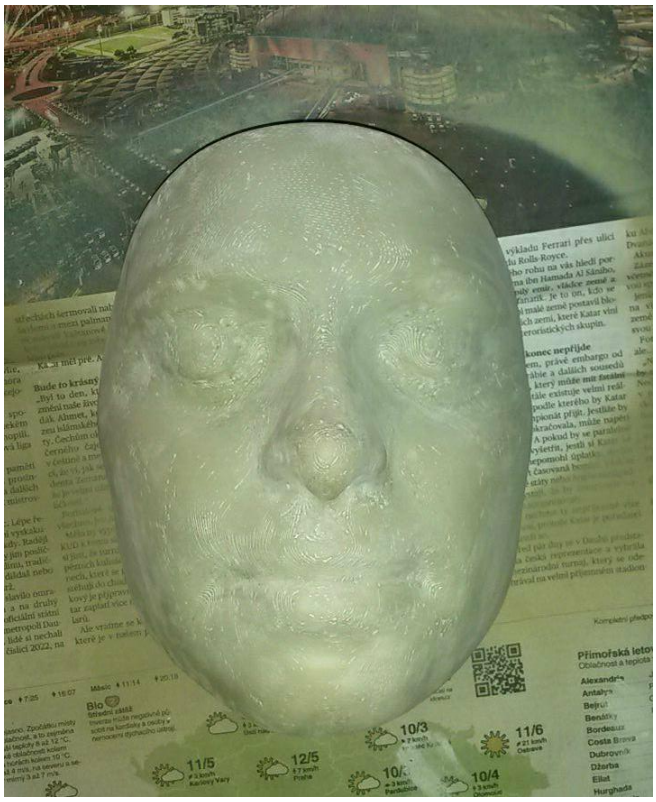
Obrázek č. 46: Hotový model obličeje - po odstranění podpůrné konstrukce (Zdroj: Vlastní zpracování)

3.4 Úprava povrchu modelu vytisknutého obličeje

Jako poslední fáze RP je „povýrobní“ úprava, tzv. postprocesing. Úprava povrchu obličeje byla prováděna pomocí modelářské ruční brusky s miniaturními brusnými kotoučky o hrubosti 900 a poté probíhalo dočištění pomocí brusných papírů o hrubosti 400, 600 a 800 vždy pod vodou. Dále byl obličej nastříkán barevným plnidlem, aby se vyplnily nerovnosti, poté přebroušen a jako další postup, byl nanesení modelářského tmelu, přebroušení a opět přestříkání plnidlem. Celý postup se opakoval do té doby, než z obličeje byly vybroušeny všechny vrstvy do hladka.



Obrázek č. 47: Model obličeje po nanesení tmelu (Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek č. 48: Model obličeje po přebroušení (Zdroj: Vlastní zpracování)

Nastříkaný model musel řádně uschnout, aby se neporušila čerstvě nanesená vrstva. Model musel schnout vždy 24 hodin.

Obrázek č. 49: Model obličeje nastříkaný plnidlem (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obrázek č. 50: Model obličeje přebroušený brusným papírem (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obrázek č. 51: Detail přebroušení modelu obličeje (Zdroj: Vlastní zpracování)

3D model obličeje byl hotový po nanesení poslední vrstvy spreje a řádném zaschnutí.

Obrázek č. 52: Hotový model obličeje - pohled zleva (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obrázek č. 53: Hotový model obličeje - pohled zprava (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obrázek č. 54: Hotový model obličeje - pohled ze předu (Zdroj: Vlastní zpracování)

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Předmětem této kapitoly je ekonomické srovnání nabízených variant výroby modelu obličeje a vyčíslení vybrané varianty výroby. Výroba obličeje probíhala na Fakultě strojního inženýrství v Brně, k nacenění skenu došlo ve firmě SolidVision, s.r.o. Pro srovnání nákladů na 3D tisk byly osloveny externí firmy „X“, „Y“, které se zabývají 3D tiskem, později byla objevena a oslovena i dílna FabLab v Brně, která nabízí zapůjčení přístrojů ve své dílně a v zastoupení domácí tiskárny byl osloven pan Ing. Oskar Zemčík, Ph.D., který vlastní 3D tiskárnu. Dále je v kapitole popsána spotřeba materiálu potřebného na dokončovací práce obličeje a náklady na mzdy.

4.1 Finanční náklady na vytisknutí modelu pomocí tiskárny uPrint

Náklady na výrobu vytisknutého modelu byly tvořené pouze materiálem, který byl potřebný na jeho vytisknutí. Jak již bylo zmíněno, model obličeje byl vytisknutý z materiálu ABS*plus*, jehož objem byl spočten pomocí programu CatalystEX. Cena základního materiálu a podpůrného materiálu byla vyčíslena na 14,40 Kč/cm^3. Finální cena za 3D tisk byla vypočítána dle vztahu:

$$F_T = V_{ZM} * P + V_{PM} * P \qquad [Kč]$$

Kde: F_T [Kč] - celkové finanční náklady na tisku

V_{ZM} [cm^3] - objem základního materiálu

V_{PM} [cm^3] - objem podpůrného materiálu

P [Kč] - cena/cm^3

F_T = 60,409 * 14,40 + 89,419 * 14,40 = **2 157 Kč.**

4.2 Finanční náklady na sken modelu obličeje

Jak již bylo zmíněno, skenování obličeje ve firmě SolidVision, s.r.o. v Brně. Dle získaných informací, skenovací práce vyšly tedy na **2000 Kč**.

4.3 Finanční náklady ve firmě „X“

Požádaná externí firma „X“, poskytla informace na základě zaslaného skenu. 3D tisk modelu obličeje pomocí stejné metody, jako byl vytisknut model obličeje na Fakultě strojní, tedy metodou FDM, byl 3D tisk modelu obličeje vyčíslen na **3000 Kč.**

4.4 Finanční náklady ve firmě „Y“

Naopak ve firmě „Y“, dle získaných informací neprovádí tisk metodou FDM, nýbrž 3D tisk provádí metodou SLS. 3D tisk modelu obličeje touto metodou byl vyčíslen na částku **6600 Kč.**

4.5 Finanční náklady v dílně FabLab Brno

FabLab je otevřená digitální dílna. Jedná se o celosvětový koncept komunitních prostor, kde se mohou zájemci registrovat a poté tyto prostory využívat. V dílnách FabLabu členové mohou najít 3D tiskárny od Průši, ruční 3D skener, CNC frézku, laserové řezačky a další techniku. První FabLab vznikl v roce 2001 na univerzitě MIT. Proto, aby si zájemce v dílně mohl vyrobit svůj výrobek, má možnost vybrat si ze tří možných měsíčních tarifů:

Učedník – tento tarif je určen pro nováčky, je zapotřebí, aby byl přítomen asistent (cena 149 Kč/měsíc);

Tovaryš – tarif, který je určen pro zkušenější (cena 499 Kč/měsíc);

Mistr – tarif, kde má dotyčný volný přístup (cena je 999 Kč/měsíc).

Po přihlášení musí nový člen projít zaškolením na jednotlivé přístroje, které jsou v dílně k dispozici. Dostane vlastní kartu s identitou, kterou pomocí bezkontaktní čtečky daný stroj aktivuje. Pro srovnání variant byla použita tiskárna i3 MK2 od Průši, jejíž technické parametry uvádí Tabulka č. 6.

Tabulka č. 6: Parametry 3D tiskárny Prusa i3 MK2 (Zdroj: FabLab Brno, 3D tiskárny)

Typ technologie	FDM
Rozlišení vrstev	Až 0,5 mm
Konstrukční prostor	Až 40 x 60 x 80
Rychlost pohybu tiskové hlavy	30 až 3000 mm/s
Podporované materiály	PLA, ABS, PET, HIPS, Flex PP, Nylon, atd.
Průměr tiskové struny	1,75 (PRUSA, DeeRed) a 2,85 Ultimaker

Níže jsou uvedeny získané informace potřebné pro výpočet nákladů:

- Cena skenování = zdarma *
- Cena tisku = 5 Kč/m filamentu
- Spotřeba materiálu = 40 m filamentu
- Cena registrace = 149 Kč/měsíc

*(pokud by se využilo skeneru, který je v dílně přítomen, skenování obličeje by vyšlo na 0 Kč, jelikož se v dílně platí pouze za spotřebovaný materiál)

4.6 Finanční náklady domácí 3D tiskárny

V zastoupení domácí tiskárny, kterou vlastní pan Ing. Oskar Zemčík, Ph.D. z Fakulty strojního inženýrství v Brně, byly získány naopak tyto informace:

- Doba tisku = 24 h, 6 m
- Cena = 25 Kč/hod
- Spotřeba materiálu = 0,30882 kg
- Cena = 400 Kč/kg

Vzorec: $F_{T2} = Tt * P_h + M * P_M$ [Kč]

Kde: F_{T2} = celkové náklady na tisk č.2

T_T [hod] – doba tisku

P_h [Kč] – cena/h

M [kg] - spotřebovaný materiál

P_M [Kč] - cena/kg

F_{T2} = 24,6*25 + 400*0,308802 = **738,5 Kč (zaokrouhleno na 739 Kč).**

4.7 Finanční náklady na úpravu povrchu modelu obličeje

Povrchová úprava modelu obličeje, která byla popsaná v podkapitole 3.4, se skládala z opakovaného broušení, nastříkání plnidla a nanášení tmelu. To vše bylo opracováváno tak dlouho, dokud povrch modelu nedosáhl hladkosti. Při tomto opracovávání byly použity 3 brusné papíry o hrubosti 400, 600 a 800, plnidlo ve spreji a tmel. Z plnidla v hodnotě 149 Kč a o celkovém objemu 400 ml, bylo vypotřebováno cca 200 ml. Množství tmelu, vypotřebovaného na zarovnání nerovností, bylo ohodnoceno na 50 Kč.

Shrnutí kalkulace je vypsána níže:

- Brusné papíry 3 ks * 5 Kč = **15 Kč**
- Plnidlo ve spreji 149/2 = **74,5 Kč**
- Tmel ohodnocen na **50 Kč**

Celková spotřeba materiálu na úpravu povrchu modelu obličeje byla **139,5 Kč (zaokrouhleno na 140 Kč).**

4.8 Finanční náklady na mzdu pracovníka

Tyto náklady představují mzdu za vykonanou práci při jednotlivých technologických postupech, přičemž hodinová mzda pracovníka byla stanovená na 100 Kč/h. Níže jsou vypsány jednotlivé pracovní úkony spolu s dobou trvání. Celková časová doba všech

pracovních úkonů byla vypočtena na 10 hodin a následně vynásobená hodinovou mzdou pracovníka:

- tvorba modelu – 6 hodin,
- broušení – 3 hodiny,
- tmel – 0,5 hodiny,
- přestříkání – 0,5 hodiny.

Celkem čas strávený nad úpravou vytisknutého modelu: 10 hodin * 100 Kč = **1000 Kč.**

4.9 Celkové finanční náklady všech variant

Nejprve byla nejlevnější varianta výroby 3D modelu obličeje tisk na domácí tiskárně. Tato možnost má svá negativa a úskalí – pořizovací cena 3D tiskárny je značně vysoká a kupovat si tiskárnu kvůli tisku jednoho výrobku se rozhodně nevyplatí. V dnešní době se nabízí i varianta zapůjčení 3D tiskárny, přičemž se cena zapůjčení pohybuje okolo 1000 Kč/den, tato cena byla zahrnuta do Ostatních nákladů, ale je zde povinnost, pokud jde o fyzickou osobu, uhradit poměrně vysokou vratnou kauci. Vzhledem k tomu, že cena při zapůjčení 3D tiskárny by se blížila ceně tisku na Fakultě strojní, byla vybrána varianta tisku na 3D tiskárně na Fakultě strojní VUT v Brně.

Na rozdíl od domácí 3D tiskárny, u firmy „X“ a „Y“ nejsou žádné další potřebné výdaje (kauce) a tisk provádí odborník, který je za 3D tisk zodpovědný. Avšak ceny za 3D tisk jsou příliš vysoké.

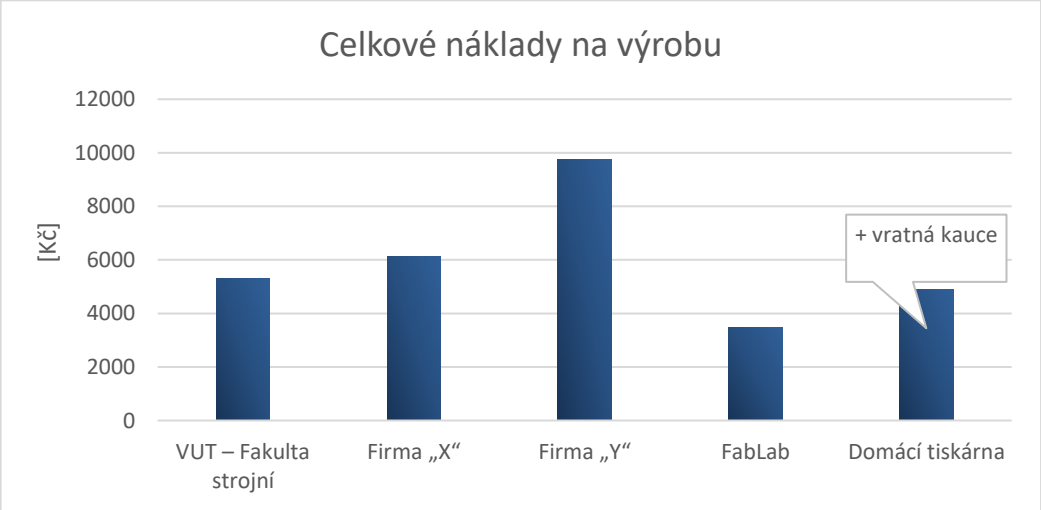
Posléze byla objevena domácí dílna FabLab v Brně, která předběhla všechny varianty, které byly předmětem srovnání variant. Byla zvolena základní možnost členství za 149 Kč/měsíc.

U všech variant byl použitý stejný model obličeje ve formátu STL oceněný na 2000 Kč, viz kapitola 4. 2., dále stejné náklady na spotřebu materiálu potřebného k úpravě modelu a stejné mzdové náklady na pracovníka, který by práci vykonal.

Celkové náklady zobrazuje níže uvedená tabulka:

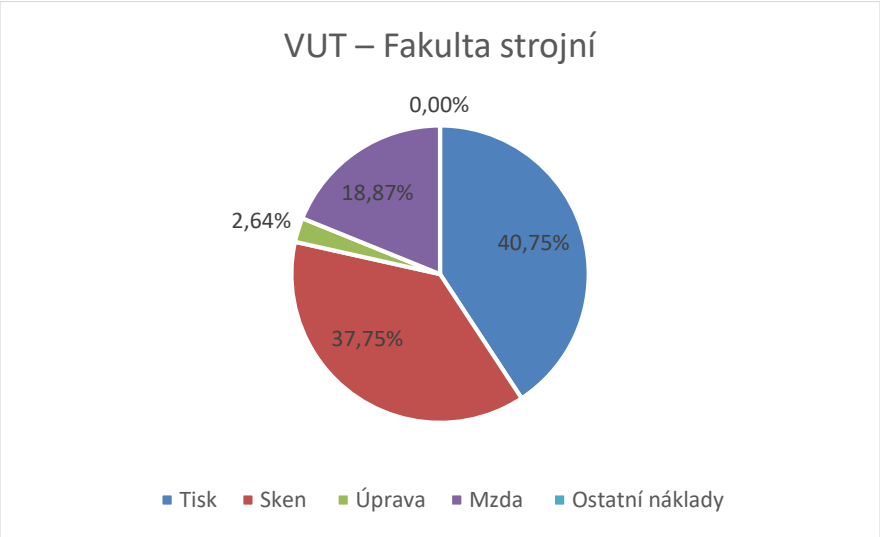
Tabulka č. 7: **Srovnání variant** (Zdroj: Vlastní zpracování)

Varianta	Tisk [Kč]	Sken [Kč]	Úprava [Kč]	Mzda [Kč]	Ostatní náklady [Kč]	Celkem [Kč]
VUT – Fakulta strojní	2157	2000	140	1000	0	**5297**
Firma „X“	3000	2000	140	1000	0	**6140**
Firma „Y“	6600	2000	140	1000	0	**9740**
FabLab	200	2000	140	1000	149	**3480**
Domácí tiskárna	739	2000	140	1000	1000 (+ vratná kauce)	**4879** (+ vratná kauce)

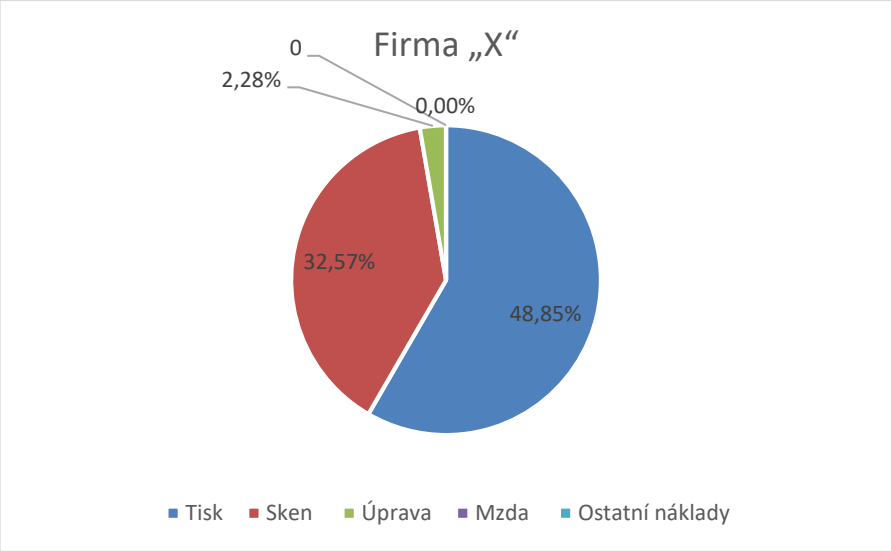


Graf č. 1: Celkové náklady na tisk obličeje (Zdroj: Vlastní zpracování)

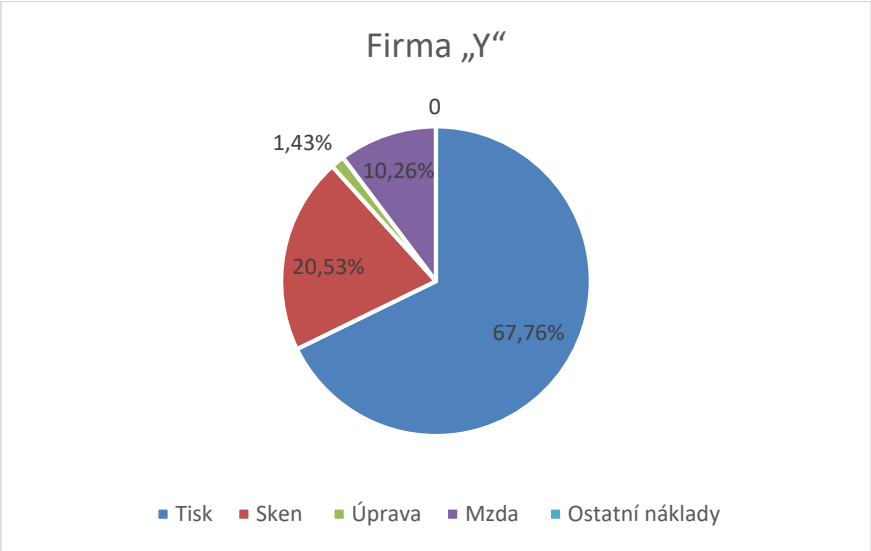
Položky, které tvořily celkové náklady (tisk jednotlivých variant, skenování, úprava, mzda, ostatní náklady) byly převedeny do procentuálních přehledů, které znázorňují grafy jednotlivých firem níže:



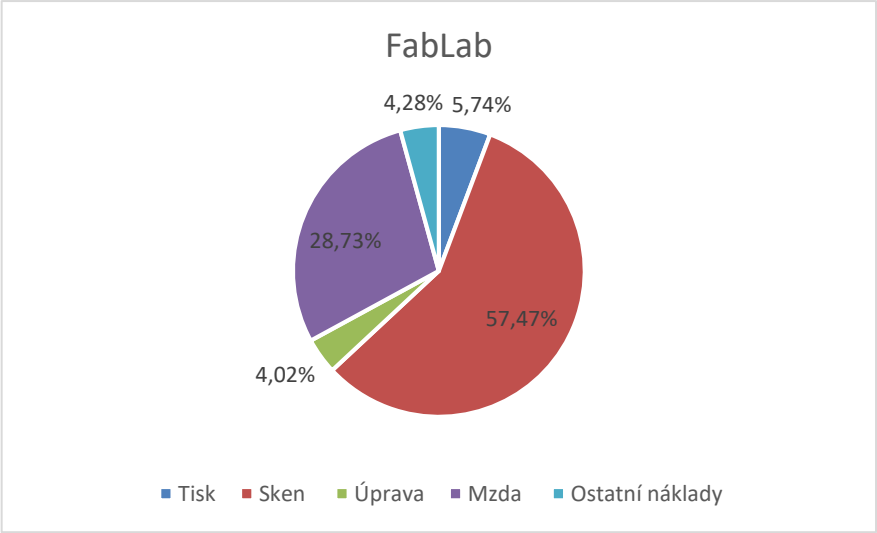
Graf č. 2: Procentuální zobrazení - VUT FSI (Zdroj: Vlastní zpracování)



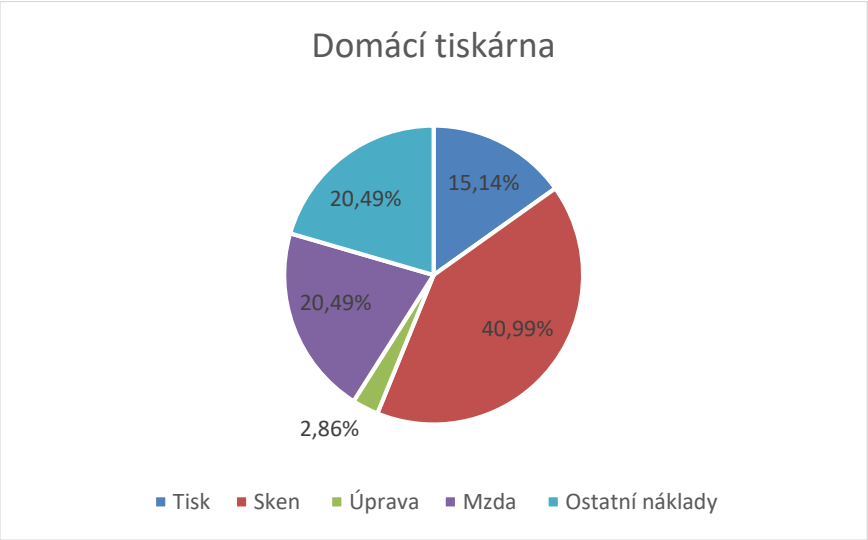
Graf č. 3: Procentuální zobrazení - firma "X" (Zdroj: Vlastní zpracování)



Graf č. 4: Procentuální zobrazení - firma "Y" (Zdroj: Vlastní zpracování)

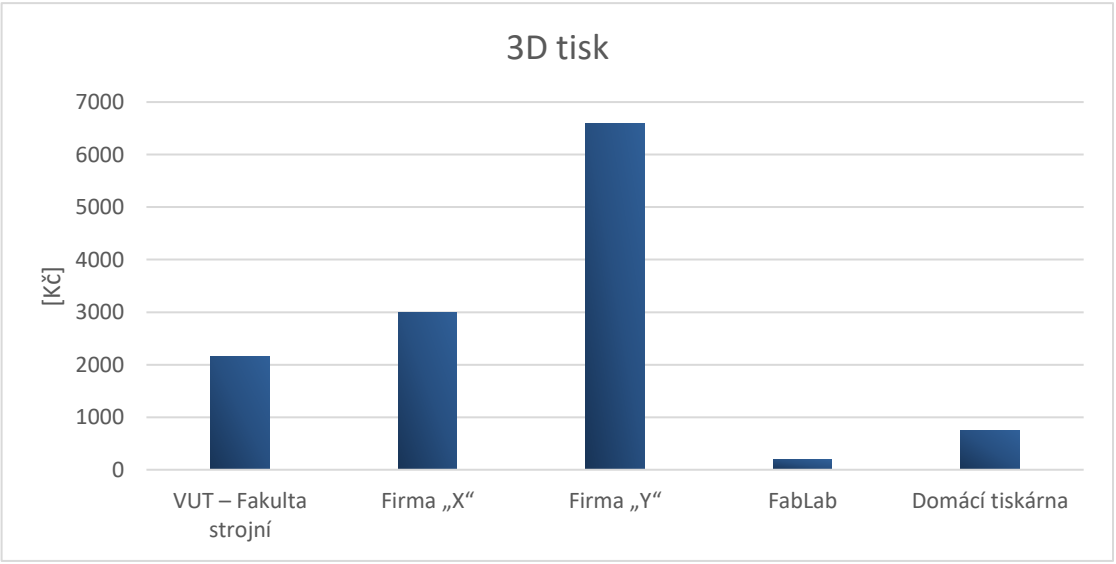


Graf č. 5: Procentuální zobrazení - FabLab (Zdroj: Vlastní zpracování)



Graf č. 6: Procentuální zobrazení - domácí tiskárna (Zdroj: Vlastní zpracování)

Do Grafu č. 7 byly zahrnuty pouze náklady na 3D tisk v jednotlivých firmách. Z grafu lze vyčíst, že FabLab je bezkonkurenční nejen v celkových nákladech na zhotovení 3D modelu obličeje, ale i v samotném 3D tisku.



Graf č. 7: Grafické zobrazení 3D tisku v jednotlivých institucích (Zdroj: Vlastní zpracování)

ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o aplikaci moderních technologií pro návrh výroby 3D modelu obličeje. Práce byla rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byla rozebrána problematika technologie Reverse Engineering a Rapid Prototyping spolu se základními principy fungování a základní technologie, které předcházely výrobě (tisku) modelu obličeje pomocí 3D tiskárny uPrint. V praktické části byl detailně popsán průběh skenování laserovým skenerem Go!SCAN 50TM a optickým skenerem ATOS Compact Scan s následným popisem úpravy dat. Připravený model byl odeslaný přímo do 3D tiskárny a pomocí ovládacího panelu spuštěn 3D tisk modelu z ABS*plus* materiálu. Po vytisknutí modelu obličeje se odstranily podpory a model byl připraven pro „povýrobní“ zpracování. Obličej se opracovával až do chvíle, kdy byl povrch hezky hladký a bez povrchových nerovností.

Mimo popisu výroby se práce zaměřuje na ekonomické zhodnocení výroby 3D modelu obličeje. Byly osloveny nejprve dvě externí firmy zabývající se 3D tiskem, které daly podklady pro výpočet celkových nákladů. Pro porovnání nákladů byla použita i domácí tiskárna a také fakultní 3D tiskárna. Náklady na sken a povýrobní úpravy byly u všech variant stejné a tak rozhodovala cena 3D tisku. Z nabízených variant výroby, které byly uvedeny v Tabulce č. 7, se jeví jako nejlepší možné řešení varianta 3D tisku v prostorách FabLabu, jelikož náklady na výrobu 3D modelu obličeje jsou nejnižší.

Na závěr lze tedy říci, že cíl bakalářské práce, který byl stanoven, byl splněn.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

BENIAK, Juraj, 2014. *Systémy Rapid Prototyping*.. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 134 s. ISBN 978-80-227-4287-0.7.

BREJCHA, Marcel, Vladimír BRŮNA, Zdeněk MAREK a Bára VĚTROVSKÁ, 2015. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek: certifikovaná metodika*. Ústí nad Labem: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Ústí nad Labem. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav) 60 s. ISBN 978-80-85036-61-9.

Custompart.net, 2018a, *Stereolithography* [online]. Dostupné z: http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography

Custompart.net, 2018b, *Selective Laser Sintering* [online]. Dostupné z: http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering.

Custompart.net, 2018c, *Fused Deposition Modeling* [online]. Dostupné z: http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling.

Custompart.net, 2018d, *Laminated Object Manufacturing* [online]. Dostupné z: http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing.

Dimension uPrint *Personal 3D Printers,* 2017 [online]. Dostupné z: http://inov3d.ca/fr/imprimantes-3d/dimension/imprimantes-3d/uprint-plus/.

FabLab Brno, 2018 [online]. Dostupné z: https://www.fablabbrno.cz/vybaveni/3d-tiskarny/

Industrial measuring techniques, 3D scanning and digitization, *ATOS Compact Scan,* 2018 [online]. Dostupné z: http://zebicon.com/en/metrology-systems/3d-scanner/atos-compact-scan.html.

LIN, H.; SHI, L. a WANG D., 2016. A rapid and intelligent designing technique for patient-specific and 3D-printed orthopedic cast. *3D printing in medicine* [online].

Springer open. [cit. 2016-10-30]. DOI: 10.1186/s41205-016-0007-7. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1186/s41205-016-0007-7.

MCAE System – *ATOS Compact Scan* [online]. Dostupné z: https://www.mcae.cz/cs/produkty/kompaktni-trida-3d-mereni/.

MCAE System - *3D Digitální technologie* [online]. c 2012 [vid. 2012-02-04]. Dostupné z: http://www.mcae.cz/.

MCAE Systém - *uPrint SE Plus* [online]. Dostupné z: https://www.mcae.cz/cs/produkty/uprint-se-plus/-0007-7.

PÍŠKA, M. a kol., 2009. *Speciální technologie obrábění.* 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

RAJA, Vinesh. a Kiran J. FERNANDES. c2008. *Reverse Engineering: an industrial perspective*. London: Springer, 242 s. ISBN 978-1-84628-855-5.

Slévárna Kuřim, 2016*, Nový 3D skener ATOS COMPACT SCAN 5M* [online]. Dostupné z: http://www.slevarna-kurim.cz/novy-3d-skener-atos-compact-scan-5m.

SLOTA, Ján, Martin MANTIČ a Ivan GAJDOŠ, 2010. *Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve*. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 198 s. ISBN 978-80-553-0548-6.

HLAVOŇ, M. *Parametry skeneru* [ústní sdělení]. Kancelář. Josefy Faimonové 2409/11a, Brno - Líšeň 10. 3. 2017.

ŠTULPA, M., 2015. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 244 s. ISBN 978-80-247-5269-3.

TIM CRENNEN, 2018. *Creaform 3D Scanning: How to Scan the Human Body With the GoScan50* [online]. Computer Aided Technology, [cit. 2017-09-04]. Dostupné z: https://www.cati.com/blog/2017/09/how-to-scan-the-human-body-with-the-creaform-goscan50/.

VESELKA, František a Aleš MIKULČÍK, 2008. *Speciální technologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 146 s. ISBN 978-80-7204-621-8.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3D	3-Dimenzionální/trojrozměrný
RE	Reverze Engineering – Reverzní inženýrství
CNC	Computer Numerical Control – počítačem řízený stroj
CAD	Computer Aided Design – počítačová podpora projektování
RP	Rapid Prototyping – rychlá výroba prototypů
STL	Standard Tessellation Language - formát souboru
SLA	Stereolithography
SGC	Solid Ground Cutting
SLS	Selective Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
LOM	Laminated Object Manufacturing
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Celkové náklady na tisk obličeje 64

Graf č. 2: Procentuální zobrazení - VUT FSI 65

Graf č. 3: Procentuální zobrazení - firma "X" 65

Graf č. 4: Procentuální zobrazení - firma "Y" 66

Graf č. 5: Procentuální zobrazení - FabLab 66

Graf č. 6: Procentuální zobrazení - domácí tiskárna 67

Graf č. 7: Grafické zobrazení 3D tisku v jednotlivých institucích 67

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Proces RE 12

Obrázek č. 2: Proces skenování součásti z podoby fyzické do podoby digitální 13

Obrázek č. 3:Proces vzniku reálné součásti pomocí digitalizace 15

Obrázek č. 4: Skener Go!SCAN 50TM 19

Obrázek č. 5: ATOS Compact Scan 21

Obrázek č. 6: Obecná podstata technologie RP 23

Obrázek č. 7: Metoda Solid Ground Cutting 26

Obrázek č. 8: Metoda Selective Laser Sintering 27

Obrázek č. 9: Metoda Fused Deposition Modeling 28

Obrázek č. 10: Metoda Laminated Object Manufacturing 29

Obrázek č. 11: Tiskárna uPrint 30

Obrázek č. 12: Nalepení značek a zmatnění obličeje 31

Obrázek č. 13: Průběh skenování 32

Obrázek č. 14: Průběh skenování – detail 32

Obrázek č. 15: Průběh skenování – eliminace pohybu 33

Obrázek č. 16: Převedení do elektronické podoby 33

Obrázek č. 17: Sken č. 1 34

Obrázek č. 18: Sken č. 2 34

Obrázek č. 19: Sken č. 3 35

Obrázek č. 20: Sken č. 4 35

Obrázek č. 21: Sken č. 5 36

Obrázek č. 22: Sken č. 6 36

Obrázek č. 23: Polygonová síť 37

Obrázek č. 24: Detail polygonové sítě 37

Obrázek č. 25: Výběr nerovnosti na obličeji (před úpravou) 38

Obrázek č. 26: Vyhlazený model 38

Obrázek č. 27: Kalibrace přístroje 40

Obrázek č. 28: Průběh skenování handyscanerem 41

Obrázek č. 29: Ukázka QR kódu 41

Obrázek č. 30: Neupravený model 42

Obrázek č. 31: Upravený model - předloha pro 3D tisk 43

Obrázek č. 32: Úvod v programu CatalystEX 44

Obrázek č. 33: Nastavení orientace modelu v pracovním prostoru 45

Obrázek č. 34: Model rozřezaný na jednotlivé vrstvy konstantní tloušťky 46

Obrázek č. 35: Zobrazení modelu a podpůrné konstrukce 46

Obrázek č. 36: Pohled z boku 47

Obrázek č. 37: Model zobrazený na pracovní podložce (zeleně zvýrazněná) 47

Obrázek č. 38: Řídicí panel 3D tiskárny uPrint 49

Obrázek č. 39: Model z boku po dokončení tisku 50

Obrázek č. 40: Ukázka celého pracovního prostoru 3D tiskárny 50

Obrázek č. 41: Zásuvky pro doplnění materiálu 51

Obrázek č. 42: Vytisknutý model obličeje - pohled ze shora 51

Obrázek č. 43: Pohled z levé strany obličeje 52

Obrázek č. 44: Pohled z pravé strany obličeje 52

Obrázek č. 45: Pohled na model ze spodu 53

Obrázek č. 46: Hotový model obličeje - po odstranění podpůrné konstrukce 53

Obrázek č. 47: Model obličeje po nanesení tmelu 54

Obrázek č. 48: Model obličeje po přebroušení 55

Obrázek č. 49: Model obličeje nastříkaný plnidlem 55

Obrázek č. 50: Model obličeje přebroušený brusným papírem 56

Obrázek č. 51: Detail přebroušení modelu obličeje 56

Obrázek č. 52: Hotový model obličeje - pohled zleva 57

Obrázek č. 53: Hotový model obličeje - pohled zprava 57

Obrázek č. 54: Hotový model obličeje - pohled ze předu 58

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Parametry skeneru 20

Tabulka č. 2: Technické parametry ATOS Compact Scan 21

Tabulka č. 3: Porovnání základních technologií RP 24

Tabulka č. 4: Hodnoty vypočítané programem CatalystEX 48

Tabulka č. 5: Mechanické vlastnosti ABS*plus* 48

Tabulka č. 6: Parametry 3D tiskárny Prusa i3 MK2 61

Tabulka č. 7: Srovnání variant 64