

Zkrácení procesu bezkontaktního skenování u tvarově komplikovaných dílců

Patrik Lukáš

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik Lukáš**
Osobní číslo: **T14109**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Zkrácení procesu bezkontaktního skenování u tvarově komplikovaných dílců**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na danou problematiku.
2. Vypracování a posouzení návrhů pro zkrácení procesu skenování.
3. Zhodnocení a závěr.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

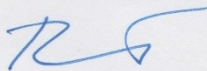
Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

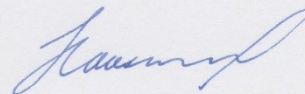
Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



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



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/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 ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/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 diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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 diplomové/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 diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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 17.5.2017

.....

¹⁾ 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.

²⁾ 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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). Odpirá-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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Moje práce se zabývá návrhem a výrobou skenovacího rámečku, který by měl zajistit zjednodušení skenování tenkostěnných a tvarově složitých dílců, vyráběných v malé sérii. V teoretické části jsou uvedeny jednotlivé druhy 3D skenerů a jejich využití. V praktické části se nachází výrobní postup rámečku a jeho samotné odzkoušení.

Klíčová slova: 3D skener, skenování, sken, zařízení, objekt, digitalizace, ATOS, referenční body

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and manufacturing of a scanning frame, which should ensure the simplification of scanning thin-walled and shape-complex parts in small series production. The theoretical part concerns on types of 3D scanners and their usage. The practical part focuses on the manufacturing process of the frame and its testing

Keywords: 3D scanner, scanning, scan, device, object, digitization, ATOS, reference points

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a pozornost, kterou mi věnoval při vypracovávání bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Stokláškoví, za odborné rady spojené s problematikou mé práce a pomocí při kompletaci praktické části. Také bych chtěl poděkovat rodině a kamarádům za podporu při studiu na vysoké škole.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 3D SKENOVÁNÍ	12
1.1 PRINCIP 3D SKENOVÁNÍ	12
1.2 VYUŽITÍ 3D SKENERŮ	12
1.2.1 Strojní průmysl.....	12
1.2.2 Lékařství.....	14
1.2.3 Archeologie a restaurátorství	17
2 OBECNÉ ROZDĚLENÍ 3D SKENERŮ	19
2.1 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU SNÍMÁNÍ	19
2.1.1 Destruktivní skenery	19
2.1.2 Nedestruktivní skenery.....	19
2.1.2.1 Dotykové mechanické skenery	20
2.1.2.2 Bezdotykové optické 3D skenery	21
2.1.2.3 Bezdotykové rentgenové 3D skenery	21
2.1.2.4 Bezdotykové ultrazvukové 3D skenery	22
2.1.2.5 Bezdotykové laserové 3D skenery.....	22
3 SYSTÉM ATOS	23
3.1 ÚVOD DO SYSTÉMU ATOS	23
3.2 SKENOVÁNÍ SE SENZOREM ATOS	24
3.2.1 Příprava měřeného objektu	24
3.2.2 Matnicí nástřiky	25
3.2.3 Kontrola zařízení	28
3.2.4 Kalibrace zařízení.....	28
4 SKENOVACÍ RÁMEČEK	29
5 NEJČASTĚJŠÍ PROBLÉMY PŘI SNÍMÁNÍ SKENU	31
5.1 POHYB PŘI SNÍMÁNÍ (MOVEMENT)	31
5.2 PŘEKROČENÁ ODCHYLKA TRANSFORMACE (THE DEVIATION IS TOO HIGH).....	31
5.3 NEMOŽNOST UMÍSTIT NASNÍMANÝ SKEN (UNABLE TO COMPUTE TRANSFORMATION)	31

II PRAKTICKÁ ČÁST	32
6 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	33
7 NÁVR SKENOVACÍHO RÁMEČKU	34
7.1 SKENOVACÍ OBJEM	34
7.2 MATERIÁL	35
7.3 BARVA	35
7.4 REFERENČNÍ BODY	36
7.5 VÝKRES SESTAVY	37
8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY RÁMEČKU	38
8.1 SOUČÁST 1 - (ZÁKLADNÍ DESKA)	38
8.2 SOUČÁST 2 – (VYMEZOVACÍ PODLOŽKA)	39
8.3 SOUČÁST 3 (HORNÍ DESKA)	40
8.4 SOUČÁST 4 (SVISLÁ ŠESTIHRANNÁ TYČ)	41
8.5 SOUČÁST 5 (SVISLÁ ČTYŘHRANNÁ TYČ)	42
8.6 SOUČÁST 6 (USTAVOVACÍ TRNY)	43
9 ODZKOUŠENÍ	48
9.1 VÝROBEK ČÍSLO 1	48
9.2 VÝROBEK ČÍSLO 2	50
9.3 VÝROBEK ČÍSLO 3	53
9.4 VÝROBEK ČÍSLO 4	55
9.5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	58
10 MODIFIKACE	59
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK	67
SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

V případě, že vezmeme v potaz dvě významné technologie 21. století – telekomunikace a výpočetní technika, dostaneme se k základním funkcím 3D skenování – akt zachycení dat z objektů v reálném světě a převedení do digitální podoby do světa virtuálního.

Za posledních deset let zažila technologie 3D skenování obrovský vývoj, a to v oblastech rychlosti, přesnosti a kvality. Díky těmto vlastnostem se staly skenery součástí mnoha průmyslových firem v oblastech designu, výroby, zdravotnictví a mnoha dalších.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 3D SKENOVÁNÍ

1.1 Princip 3D skenování

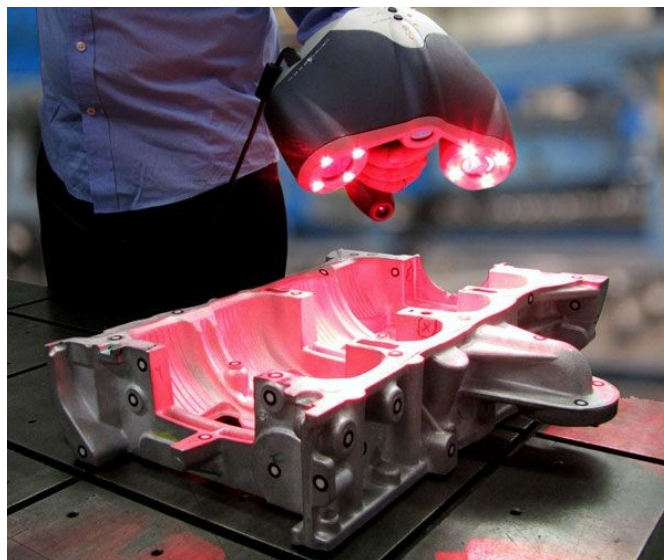
3D skenování se řadí mezi technologie, při nichž je fyzický tvar objektu převeden na digitální tvar pomocí triangulace. Toto skenování umožňuje vytvářet 3D modely daného výrobku bezkontaktním způsobem, kdy nedochází k hrozbě rizika poškození skenované součásti, současně je však zachována i vysoká přesnost a rychlost. [1], [2]

1.2 Využití 3D skenerů

3D skenery jsou v dnešní době velmi snadno ovladatelné a mohou být použity při skenování předmětů, jejichž rozměry lze považovat za velké a složité. Díky tomu dochází k využití dané technologie v řadě průmyslových aplikací, jako např. 3D tisk, kontrola kvality, letectví, filmový průmysl, archeologie, lékařství a strojínský průmysl. [2]

1.2.1 Strojní průmysl

Nejčastějším pojmem při výrobě je tzv. reverzní inženýrství, kdy je zapotřebí vytvořit co nejpodobnější kopii výrobku k jejímu dalšímu využití, jako je např. kontrola kvality a zjištění chyb. 3D skener vytvoří 3D model jednotlivých částí předmětu a výsledný model je pak ve specializovaných programech (např. Geomagic) upraven pro generování CAD modelu na základě existující polygonové sítě. [2]



Obr. 1. Ruční skenování části motoru

Skenování automobilů

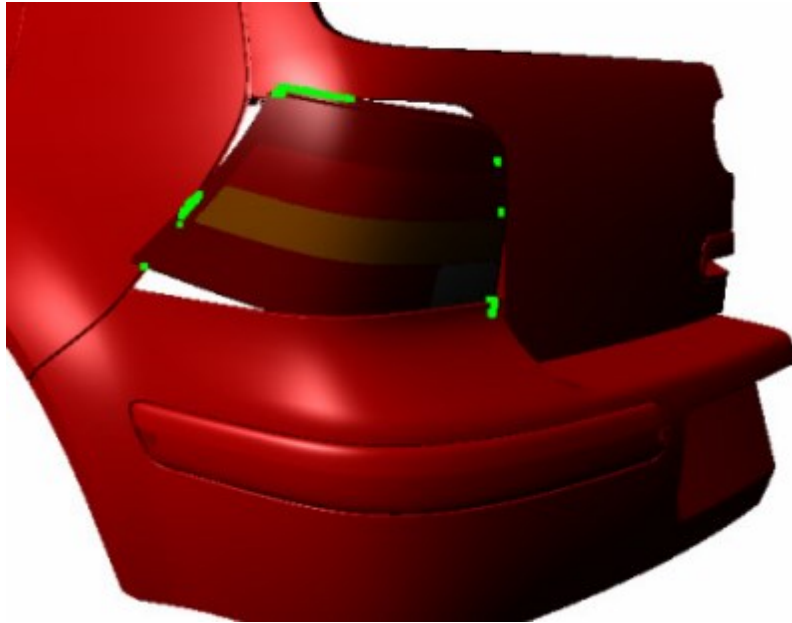
Důvodem skenování již existujících automobilů, bývají nejčastěji profesionální tuningové úpravy. Většinou se jedná o dodatečné namontování doplňků. Jmenovat můžeme kupříkladu zadní křídlo, průduchy vzduchu nebo mračítka na světlomety. Principem je naskenovat plochu, na které bude dodatečný díl upevněn a pomocí CAD systému na této ploše bude možno daný výrobek vymodelovat. Jako další princip skenování automobilů lze uvést výměnu původních dílů za díly karbonové pro dosažení maximálního odlehčení vozu. [3], [4]



Obr. 2. Tuningové mračítka na Škoda Octavia II [4]

Kontrola virtuální sestavy dílů

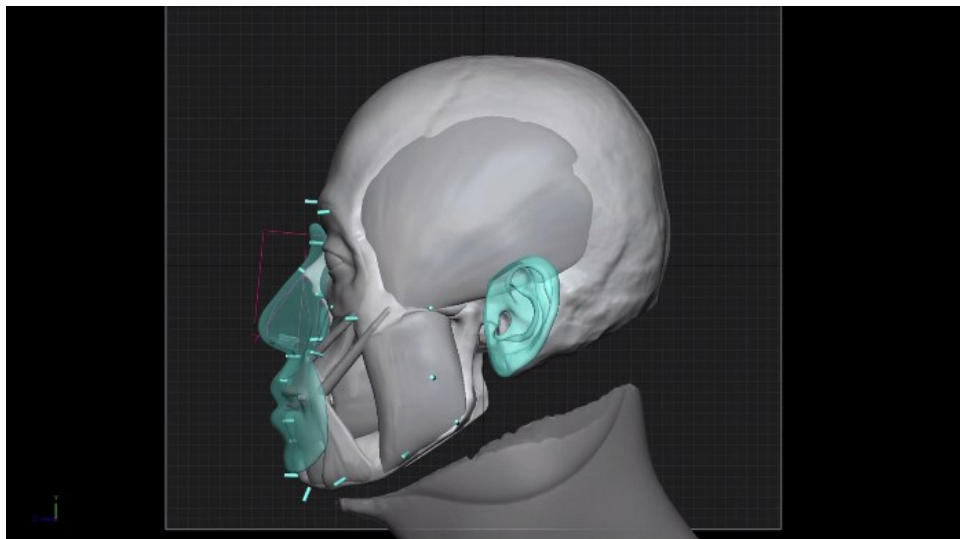
Při kontrole sestav dochází ke skenování dílů, které spolu později přijdou smontovat, přičemž se jejich výroba provádí v různých částech světa. Důvodem skenování je snaha předejít komplikacím při samotné kompletaci. Každý díl je samostatně naskenován v místě jeho výroby a virtuálně sestaven stejným postupem, jako se montují ve skutečnosti. Pokud je zajištěno, že všechny díly lze bez problému zkompletovat, odesílají se na místo montáže. V opačném případě je výrobek upraven přímo v místě výroby, bez dalších nákladů na zpětnou dopravu. Za hlavní faktor se však považuje čas, který se tímto ušetří. Zmíněným způsobem dochází ke kontrole výrobků převážně větších rozměrů, jako jsou např. části turbín, lodních motorů a listy větrných elektráren. [5], [6]



Obr. 3. Virtuální sestava naskenovaných dílů automobilu [6]

1.2.2 Lékařství

3D skenery jsou rovněž hojně využívány lékaři s cílem získat přesnou kopii lidského těla. Tím mohou vytvořit přesné protézy s minimálním úsilím a dokonalým přizpůsobením. Tyto skeny nepředstavují pro pacienty žádná rizika, a proto je lze použít i pro jakoukoliv jinou diagnózu, např. poruchy páteře, zlomeniny a mnohé jiné. [7]



Obr. 4. Využití skenování pro vytvoření protézy obličeje a ucha [8]

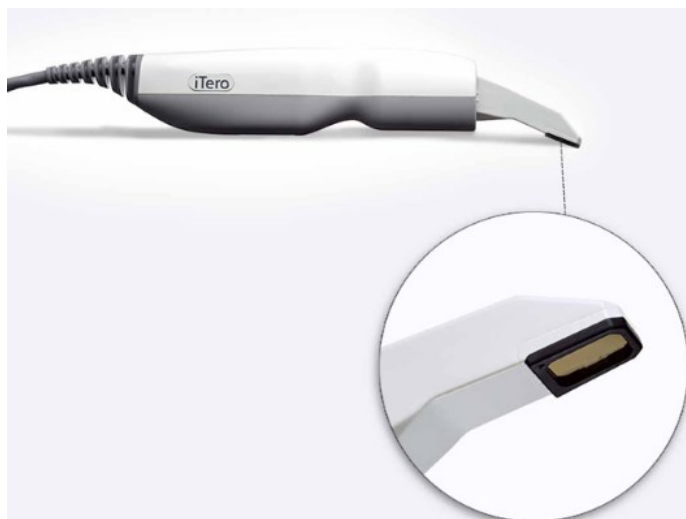
Dentální aplikace

Díky nově vyvíjeným se 3D skenerům získávají dentisté efektivní způsob, jak pacientům spravovat zuby. Nejdříve je nutné vytvořit otisk zubů do sádry, čímž se vytvoří forma pro získání odlitku. Následuje naskenování optickým 3D skenerem. Získaná polygonální síť se načte do softwaru, kde se do mezizubního prostoru vymodeluje implantát. [8]



Obr. 5. 3D optické skenování odlitku zubů [8]

Dále jsou vyvíjeny 3D skenery, u kterých není nutné vytvářet otisky a odlitky. Díky tomu je pacientovi ušetřeno velké množství času a také financí. Tyto skenery pracují na principu skenování s velmi krátkou měřicí vzdáleností. Skener stačí umístit do ústní dutiny a proskenovat požadovanou část. [7], [8]



Obr. 6. Dentální skener iTero [9]

Dále se v dentálních aplikacích používají skenery rentgenové. Na rozdíl od optických skenerů dokážou zjistit také tvar a stav kostí. Díky tomu se naplánování uchycení implantátu stává jednodušším. [9]



Obr. 7. Rentgenový 3D skener ProOne [9]



Obr. 8. Snímek vytvořený dentálním skenerem PreXion 3D [9]

Plastická chirurgie

Při poškození nebo amputaci párové části těla (ruka, noha, prsty apod.) lze pomocí 3D skeneru naskenovat zdravou část těla. Po zrcadlení a úpravách v daném programu lze vytvořit náhradu, která se bude co nejvíce podobat zdravé části těla. [10]



Obr. 9. Silikonová náhrada palce [10]

1.2.3 Archeologie a restaurátorství

Při opravě starožitných soch a jiných objektů umožňuje 3D skener jednu z nejlepších možností, kterou si restaurátoři mohli přát. Pomocí skeneru lze získat přesné kopie, a díky nim lze vytvořit chybějící části. [10]



Obr. 10. Digitalizace sochy [11]

Virtuální muzea

S rozvojem internetu a digitálních technologií se rozšiřuje počet multimediálních encyklopedií, které virtuálně zobrazují cenné a historické artefakty. Pomocí laserových 3D skenerů, které skenují s velkým dosahem a přesností v řádech milimetrů, jsou předměty naskenovány. Cílem tohoto skenování je poskytnout lidem reálný pohled na vzácné a umělecké předměty bez nutnosti cestování do míst, kde se předměty nacházejí. [11]



Obr. 11. Digitálně archivovaná nádoba

2 OBECNÉ ROZDĚLENÍ 3D SKENERŮ



Obr. 12. Rozdělení 3D skenerů [12]

2.1 Rozdělení podle způsobu snímání

2.1.1 Destruktivní skenery

Při skenování tohoto druhu dochází k zdeformování skenovaného objektu. Před vlastním skenováním je nutné objekt různě připravit. Dutiny objektu se vyplní kontrastním materiálem a poté se objekt vloží do komory. Z této komory je následně odčerpán vzduch, a tím kontrastní materiál dokonale vyplní všechny dutiny. Skenovaný objekt se upne na frézovací desku a odfrézováním tenké vrstvičky materiálu probíhá vlastní skenování. Získaná data se následně zpracovávají na počítači. Hlavní nevýhodou toho druhu skenování je již zmíněné zničení skenovaného dílce a nutná dobrá obrobiteľnosť materiálu, ze kterého je dílec vyroben.

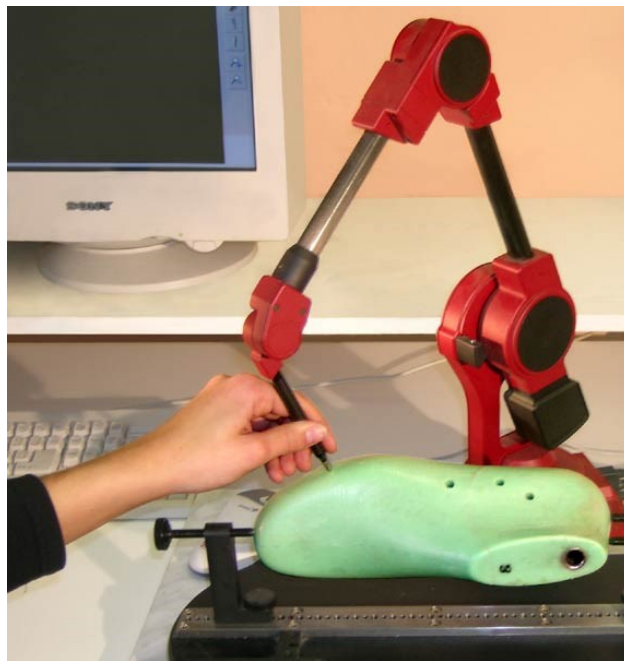
2.1.2 Nedestruktivní skenery

Nedestruktivní skenery se dále dělí na dotykové a bezdotykové.

2.1.2.1 Dotykové mechanické skenery

Dotykové skenery lze charakterizovat jako poměrně časově náročné, a to zejména z důvodu, že se speciální skenovací sonda musí dotýkat skenovaného objektu. Hlavní výhodou dané metody oproti bezkontaktnímu skenování je možnost skenovat neprůchozí díry a složitější tvary.

Nejpoužívanější mechanické skenery mají ruční polohování. Většinou jsou složeny z tříkloubového ramene, které je na konci opatřeno kontaktním hrotem, který se dotýká jednotlivých bodů skenovaného dílce. Tím, jak se pohybují klouby ramen, se získávají 3D souřadnice. Tento druh skenování dosahuje přesnosti v řádech desetin milimetru a z tohoto důvodu se ve strojírenství používají jen zřídka. Jako hlavní výhodu lze uvést nízkou pořizovací cenu.



Obr. 13. Mechanický 3D skener [13]

2.1.2.2 *Bezdotykové optické 3D skenery*

Principem tohoto skenování je vytváření 2D snímků pomocí fotoaparátů. Nafocení objektu z různých úhlů a stran je získán 3D digitalizovaný model. Počet snímků, které jsou zapotřebí k vizualizaci, závisí na povrchu skenovaného dílce a složitosti jeho tvaru. Ke zjednodušení a zkvalitnění celého procesu se na povrch dílce umisťují pomocné značky. Aby skenování bylo co nejdokonalejší, musí se vše správně osvětlit, popř. nanést difuzní barvu, která zabrání zkreslení výsledku. Tato metoda je vhodná pro skenování málo členitých povrchů.



Obr. 14. Optický 3D skener [13]

2.1.2.3 *Bezdotykové rentgenové 3D skenery*

Tento typ digitalizace pracuje na stejném principu jako rentgeny používané v lékařství, ovšem za vyšší intenzity. Kvůli dosahování nízké přesnosti nachází hlavní uplatnění při kontrole potrubí.

2.1.2.4 Bezdotykové ultrazvukové 3D skenery

Ultrazvukové skenery získávají 3D souřadnice pomocí ultrazvukového signálu, který je vysílán ultrazvukovou sondou. Signál je zachycován pomocí ultrazvukových čidel, který je dále dekódován do 3D souřadnic. Přesnost tohoto skenování dosahuje pouze 0,4 mm.

2.1.2.5 Bezdotykové laserové 3D skenery

Tato metoda využívá vlastností laserového paprsku, který je vysílán na skenovaný objekt. Podle směru odraženého paprsku a doby letu se určuje vzdálenost a poloha od skeneru. Laserové skenování a následné zpracování naskenovaných dat vyžaduje drahé přístrojové a programové vybavení, které ale rychle a přesně vyhodnotí velké množství informací. Na rozdíl od skenerů optických lze laserovými skenery skenovat i neprůchozí díry a složitější tvary. Nutno však podotknout, že pořizovací cena je podstatně vyšší. [14]



Obr. 15. Ruční laserový 3D skener [14]

3 SYSTÉM ATOS



Obr. 16. Optický 3D skener ATOS

3.1 Úvod do systému ATOS

Nejrůznější průmyslová odvětví, jako např. design, konstrukce, výroba a kontrola kvality, potřebují technologii měření pro digitalizaci povrchů, která následně umožní srovnání a vyhodnocování reálných dílů s příslušnými teoretickými údaji pomocí PC.

Systém ATOS především pracuje na principu triangulace. To znamená, že každý měřený 3D bod je získán pomocí dvou různých metod při kvazitriangulárním měření. V průběhu měření senzor ATOS promítá rastrový vzor, který je snímán na měřeném objektu pomocí dvou kamer. Každé jednotlivé měření generuje v případě senzorů ATOS I až 800 tisíc 3D bodů a v případě senzorů ATOS III Triple Scan až 8 milionů bodů. Aby byla zajištěna úplná digitalizace měřeného objektu, je ve většině případů vyžadováno několik samostatných měření z různých směrů. [15]

3.2 Skenování se senzorem ATOS

Senzor ATOS je zaměřen na volně umístěný objekt. Pro měření je na objekt ze senzoru promítnut vzor proužků, který je zaznamenán dvěma kamerami. Během několika málo sekund dochází k softwarovému výpočtu souřadnic 8 000 000 bodů pro jednotlivá měření. Pro celkové zachycení složitějších objektů je několik jednotlivých záběrů spojeno dohromady. Použitím referenčních bodů systém zjistí aktuální polohu senzoru a transformuje jednotlivé záběry do společného souřadného systému. Uživatel je schopen neustále sledovat digitalizační proces na obrazovce. V průběhu každého měření je zajišťována kontrola kalibrace systému, pohyb senzoru či objektu a vliv vnějšího osvětlení, aby byla zajištěna rychlost a přesnost měření i v případě špatných provozních podmínek.

Postup práce při digitalizaci:

1. Příprava měřeného objektu
2. Kontrola zařízení
3. Kalibrace zařízení
4. Vlastní měření
5. Úprava a export naměřených dat

3.2.1 Příprava měřeného objektu

Pokud budeme digitalizovat tvarově složitější nebo větší objekt, je nutné na jeho povrch umístit tzv. referenční body. Referenční bod je samolepicí nebo magnetická kruhová značka. Pozadí má černou barvu a kroužek je bílý. To zajišťuje vysoký kontrast mezi těmito barvami. Pro každý měřicí objem systému ATOS existuje doporučená velikost referenčních bodů. Body musí být umístěny na rovném nebo mírně zakřiveném povrchu. Nesmí být umístěny blízko hranám, jelikož mezery ve skenovaném povrchu již nelze automaticky vyplnit. Tyto body nejsou nutné pouze v případě, že budeme chtít realizovat měření pouze na jeden záběr. [16]



Obr. 17. Aplikace referenčních bodů na skenovaný dílec

3.2.2 Matnicí nástříky

Nanesení matnicího nástříku na skenovaný povrch představuje nejjednodušší možnost, jak si poradit s obtížně skenovatelnými povrchy. Obtížně se skenují povrchy lesklé, ale i velmi tmavé či průhledné. Nevýhodou je velká závislost kvality výsledného 3D skenu na parametrech vrstvy. Pokud je nanesená vrstva příliš tenká, může docházet k velkému množství náhodných chyb. Naopak příliš silná vrstva ovlivňuje přesnost měření, protože zkresluje rozměry a mění strukturu skenovaného povrchu.

Rozlišujeme tři základní matnicí nástříky: křídový prášek, prášek oxidu titaničitého a cyklo-dodekanový prášek. [17]

Křídový prášek

K nejpoužívanějším matnicím prostředkům patří křídový prášek ve formě uhličitanu vápenatého (CaCO_3), a to zejména díky cenové dostupnosti a hlavně jednoduchosti použití. Prášek je dostupný ve formě spreje, díky čemuž se nemusí připravovat žádná matnicí směs. Doporučená vzdálenost trysky od objektu se uvádí 10-15 cm. Za nevýhodu v případě porovnání s titanovým práškem, se považuje větší tloušťka matnicí vrstvy. [17]



Obr. 18. Zmatnění povrchu pomocí křídového spreje

Titanový prášek

Jedná se o oxid titaničitý v práškové formě (TiO_2). V přírodě se vyskytuje v podobě minerálů, jako např. rutil a anatas. Titanový prášek se používá v případě, kdy se požaduje větší přesnost při skenování. Nanáší se ve směsi s vhodným rozpouštědlem. Hlavní nevýhodou představuje vysoká cena titanového prášku. [18]

Cyklododekovaný prášek

Cyklododekan ($C_{12}H_{24}$) je hydrofobní sloučenina rozpustná v nepolárních rozpouštědlech, která patří do skupiny nasycených alkalických uhlovodíků. Jednou z nejužitečnějších vlastností cyklododekanu je schopnost samovolné sublimace. Doba odpařování nanesené vrstvy se pohybuje v rozmezí několika hodin až dní. Rychlost sublimace závisí např. na tloušťce vrstvy, na okolní teplotě nebo materiálu stříkaného objektu. [19]



Obr. 19. Cyklododekový sprej FLUCHTIG

Práce zabývající se matnicími prášky

Vlivem nástřiku křídovým a titanovým práškem na přesnost 3D skenování a rozdíly mezi těmito materiály se zabýval doc. Ing. David Paloušek. Byly zjištěny velké rozdíly zejména v tloušťce matnicí vrstvy, kde křídový sprej poskytoval zhruba desetinásobně širší vrstvu než sprej titanový. Ing. Dokoupil pak zjistil dvojnásobnou nejistotu měření oproti prášku titanovému. [17],[20]

3.2.3 Kontrola zařízení

- Nejdříve je vhodné zkontrolovat upevnění senzoru na stativu a taky samotnou stabilitu přístroje.
- Před zapnutím skeneru ATOS je dobré zkontrolovat, zda jsou připojeny všechny konektory mezi senzorem a ovládacím PC. Pokud by některý kabel nebyl připojen a došlo by k jeho dodatečnému připojení při běhu přístroje, mohlo by dojít k poškození zařízení.
- Před samotným zapnutím je nutné sejmout kryty čoček z objektivů a projektoru. V případě jejich ponechání by při zapnutí zdroje světla mohlo dojít k jejich zničení.

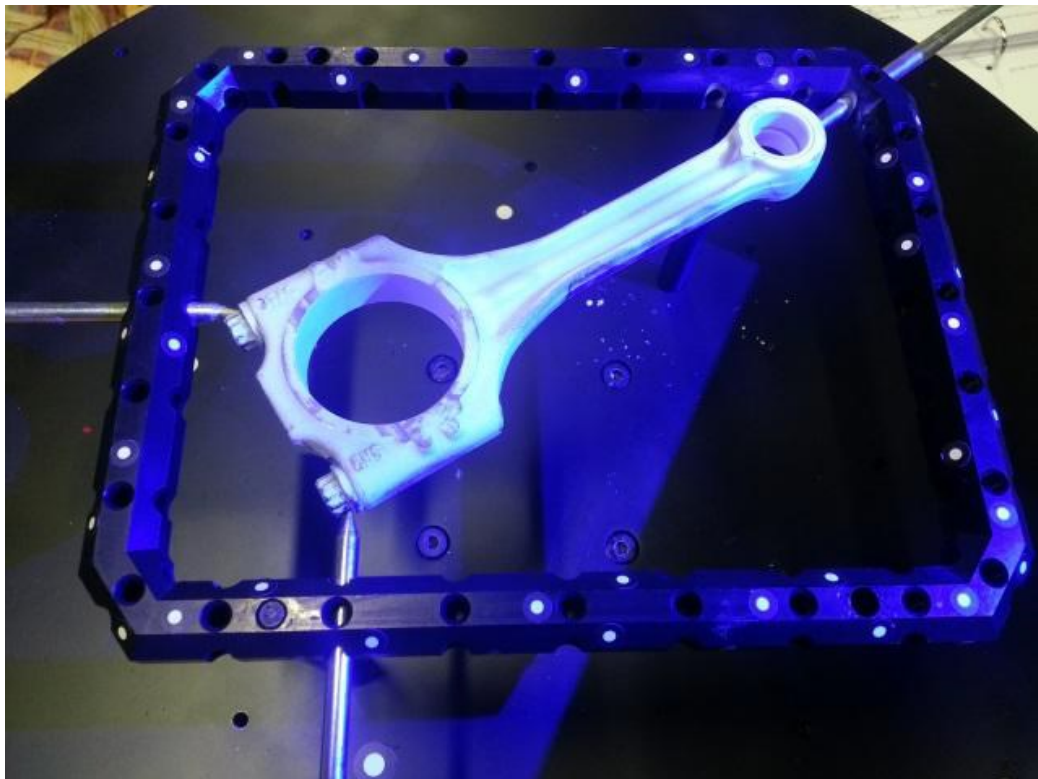
3.2.4 Kalibrace zařízení

Pokud bylo před zahájením měření zařízení transportováno nebo došlo k výměně měřicího objemu, je nutné zařízení kalibrovat.

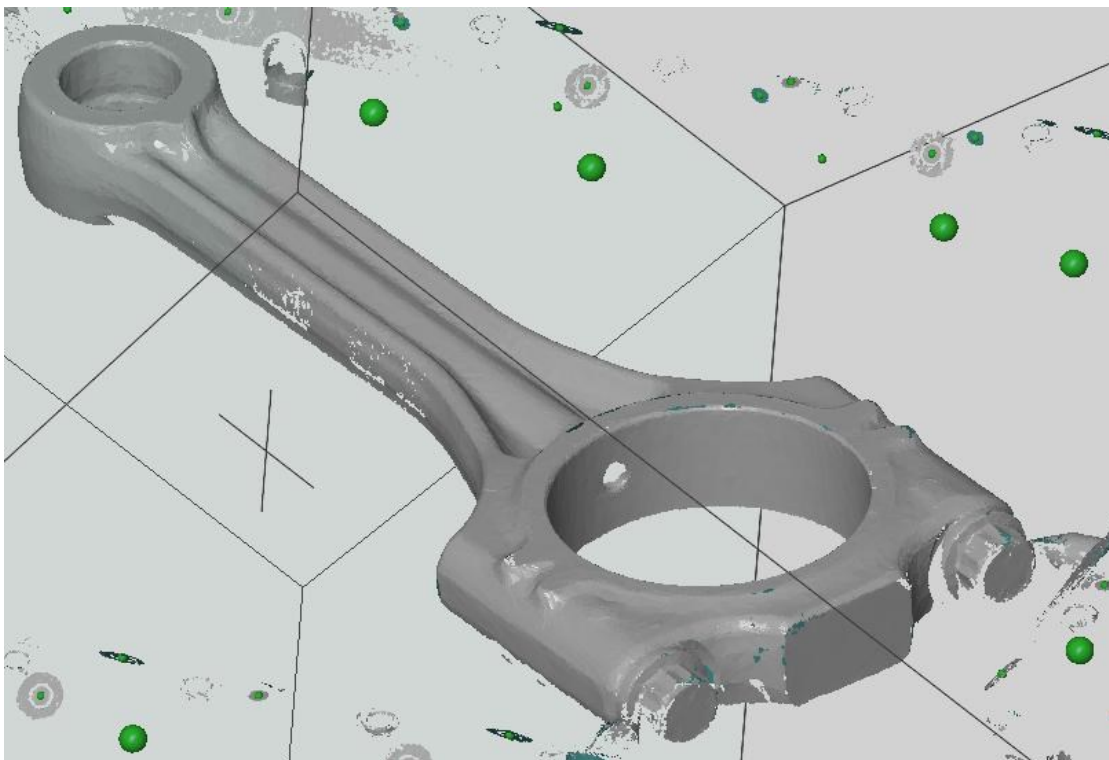
Před kalibrací se hlava senzoru nechá zahřát po dobu min. 5 minut, aby byla kalibrace prováděna za provozních podmínek. Ke kalibraci se používají dva typy kalibračních objektů (kříž a panel) dle použitého objemu. V roletovém menu se následně zvolí příkaz Project Mode. V tomto prostředí se poté vybere v horním menu příkaz sensor/calibration.

4 SKENOVACÍ RÁMEČEK

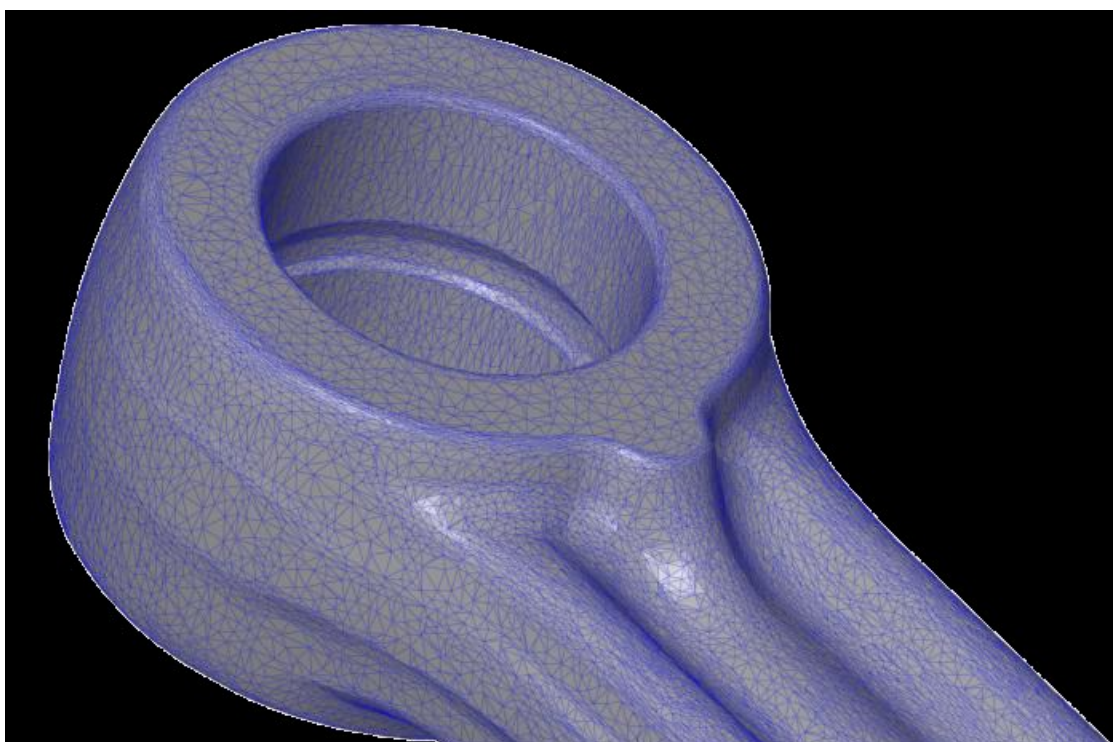
Skenovací rámečky jsou používány u součástí, které mají složitý tvar nebo se na ně obtížně nalepují referenční body. Dílec se upíná pomocí trnů, které je možno do rámečku usadit z více stran. Je důležité zajistit polohu dílce vůči skenovacímu rámečku. Při špatném ukotvení dílce by mohly vzniknout nepřesnosti.



Obr. 20. Skenovací rámeček [21]



Obr. 21. Dílec po sejmutí prvních snímků [21]



Obr. 22. Detail vytvořené sítě [21]

5 NEJČASTĚJŠÍ PROBLÉMY PŘI SNÍMÁNÍ SKENU

5.1 Pohyb při snímání (Movement)

U tohoto problému dochází k pohybu skenovací hlavy nebo měřeného objektu. Je často vyvolané chvěním přeneseným z okolí. Proto je důležité zabránit vzniku chvění, např. při chůzi kolem skeneru. Pokud program hlásí tuto chybu vícekrát, je zapotřebí zkontrolovat upevnění skenovací hlavy nebo zkontrolovat upevnění skenovaného dílce. [21],[22]

5.2 Překročená odchylka transformace (The deviation is too high)

Nejčastěji se vyskytuje u měkkých dílů, které se lehce deformují nebo při slabém upevnění měřených objektů. Je důležité, aby byl objekt upnutý tak, aby při skenování nedocházelo k poškození a změně polohy vůči referenčním bodům. Při deformaci objektu se sice geometrie naskenuje, ale bude mít velkou odchylku vůči ostatním skenům. Ne každou deformaci je program schopný zachytit, proto je důležitá i samotná vizuální kontrola. [21], [22]

5.3 Nemožnost umístit nasnímaný sken (Unable to compute transformation)

Znamená, že ve skenovaném zorném poli není dostačující počet kódovaných bodů. Tento problém lze vyřešit dvěma způsoby, a to upravením polohy hlavy skeneru, aby byl nasnímán větší počet bodů (minimálně 3), nebo samotným doplněním referenčních bodů do patřičných míst. [22]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

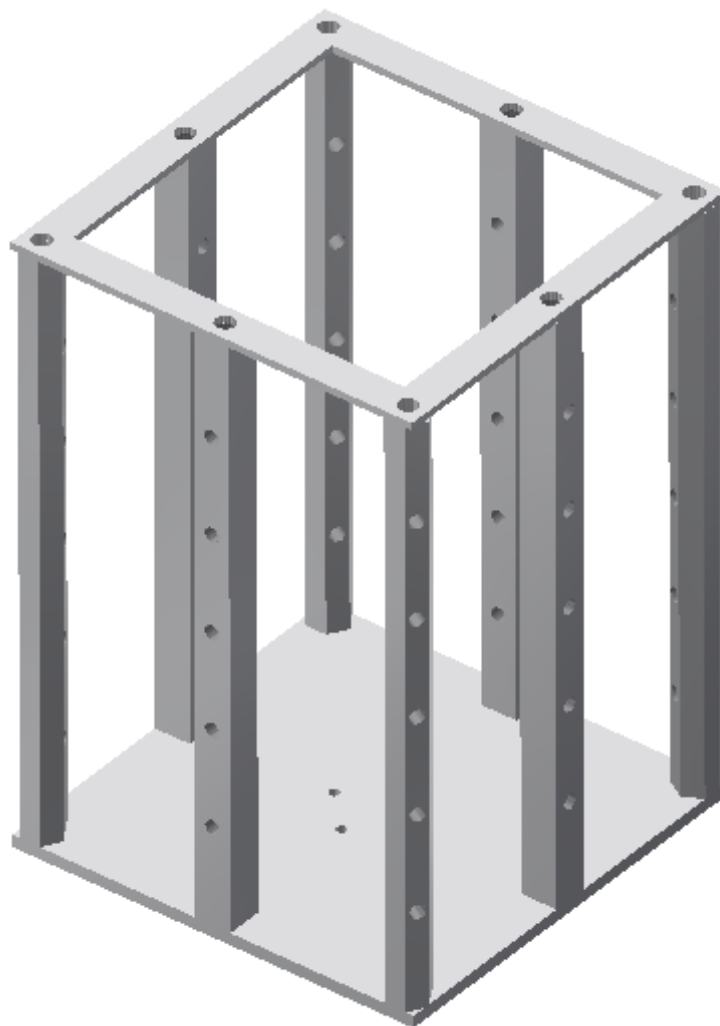
- vypracování literární rešerše na danou problematiku
- vypracování a posouzení návrhu pro zkrácení procesu skenování
- zhodnocení a závěr

V teoretické části bylo úkolem přiblížit princip 3D skenování a jejich rozdělení. V praktické části bylo cílem vytvoření 3D modelu rámečku, následná konstrukce a odzkoušení. Návrh rámečku byl realizován v programu Autodesk Inventro Profesional 2016.

7 NÁVRH SKENOVACÍHO RÁMEČKU

7.1 Skenovací objem

Rozměry skenovacího rámečku byly podmíněny velikostí skenovacího objemu systému ATOS, který je 320 x 240 x 240 mm. Další podmínkou pro návrh byly rozměry skenovaných dílců. Z tohoto důvodu jsou hlavní rozměry rámečku 170 x 170 x 240 mm, což umožňuje ideální prostor pro samotné skenování i pro upínání dílců.

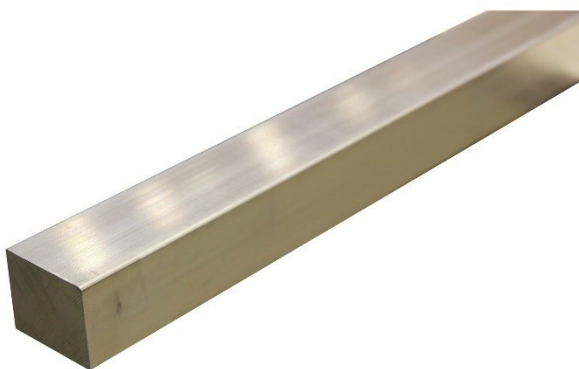


Obr. 23. Model rámečku v programu Inventor

7.2 Materiál

Výběr vhodného materiálu byl ovlivněn otočnou a naklápěcí jednotkou GOM-LIFT 890, na kterou bude rámeček upevněn. Maximální přípustná nosnost této jednotky je 5 kg, včetně skenovaného dílce. Jelikož jsou skenovány díly plastové i kovové, musela být celková váha rámečku co nejnižší. S ohledem na tyto zásadní podmínky, byl vybrán materiál hliník EN AW 2007, jehož hustota je 2750 kg/m^3 .

Na závitové jehly byla použita šroubovice DIN 975 pozinkovaná, velikosti M6.



Obr. 24. Hliníková tyč EN AW 2007, 12x12 mm

7.3 Barva

Většina skenerů nedokáže dostatečně naskenovat povrch neošetřeného hliníku. Z tohoto důvodu byla zvolena barva černá matná, kterou dokáže skener jednoduše zachytit. Jako první vrstva byla nanášena základní červená barva značky COLORLAK [4518]. Na finální povrchovou barvu byla použita již zmíněná barva černá matná [3502], také od firmy COLORLAK.



Obr. 25. Černý matný sprej COLORLAK [3502]

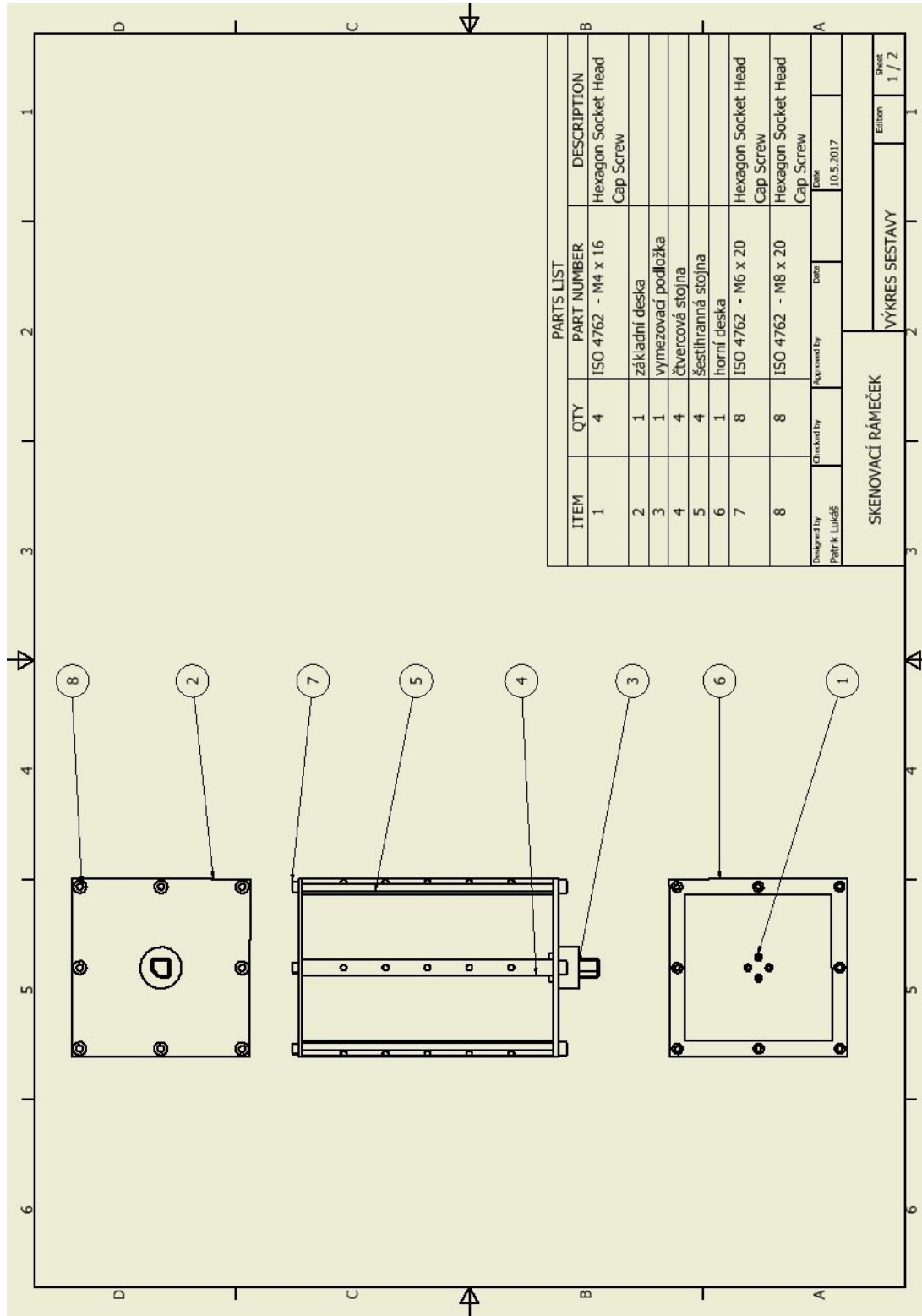
7.4 Referenční body

Nezbytnou součástí výroby bylo polepit hotový rám referenčními body. Počet těchto bodů byl 840. Jejich nutnost a postup nelapení najdeme v teoretické části. 3.2.1 Příprava měřného objektu.



Obr. 26. Referenční body

7.5 Výkres sestavy



Obr. 27. Výkres sestavy

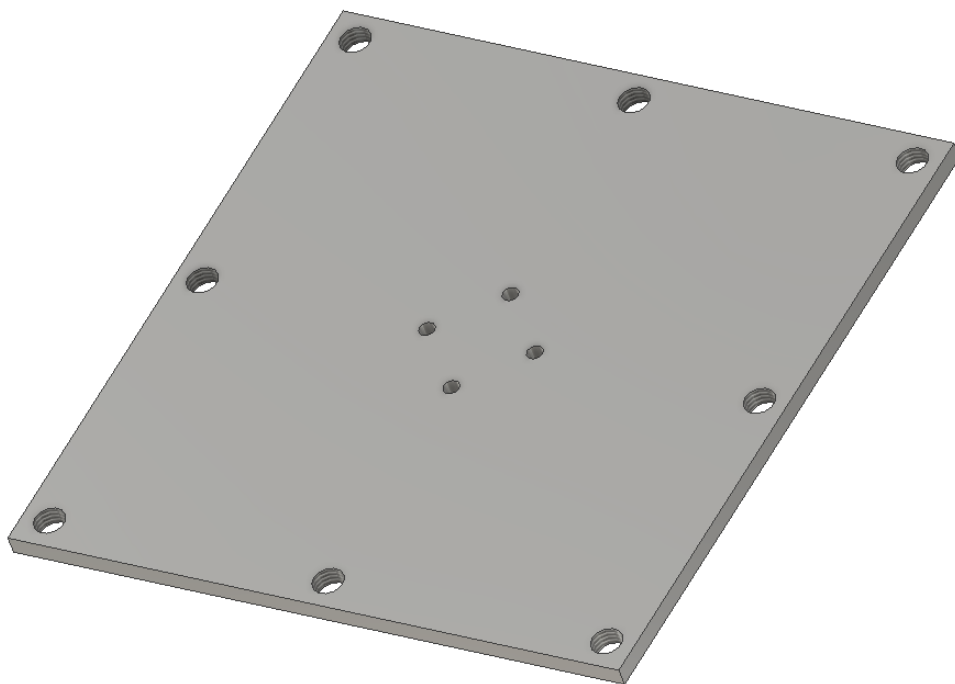
8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY RÁMEČKU

Technologický postup

Technologický postup je popis operací, kterými prochází obrobek při přeměně až v hotovou součást, pro co nejjednodušší výrobu a co nejmenší finanční náklady.

8.1 Součást 1 - (Základní deska)

Základní deska slouží k upevnění vymežovací podložky a obvodových tyčí pomocí šroubů.



Obr. 28. Model základní desky z programu Inventor

Polotovár: Hliníková deska 170x170x5 mm

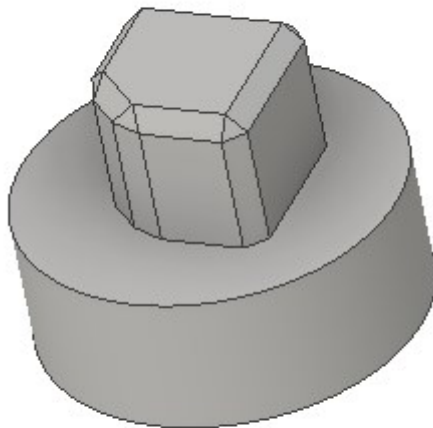
Název operace: Vrtat díru \varnothing 8,2 mm do hloubky 5 mm. Rozměry dle výkresu. (8x)

Vrtat díru \varnothing 4,2 mm do hloubky 5 mm. Rozměry dle výkresu. (4x)

Stroj: Frézka TOS FNK 25 A FINESA

8.2 Součást 2 – (Vymezovací podložka)

Vymezovací podložka slouží k zajištění rámečku do otočné jednotky GOM-LIFT 890.



Obr. 29. Model vymezovací podložky z Programu Inventor

Polotovár: Hliníková plná tyč \varnothing 40 mm, délka 40 mm.

Název operace: Řezat tyč na délku 35 mm.

Vrtat díru \varnothing 3,3 mm pro závit M4. Rozměry dle výkresu. (4x)

Frézovat tvar upínače. Rozměry dle výkresu.

Frézovat díru pro zajišťovací šroub. Rozměry dle výkresu.

Řezat závit M4 x 15 mm. Rozměry dle výkresu.

Stroj: Pásová pila PP300H

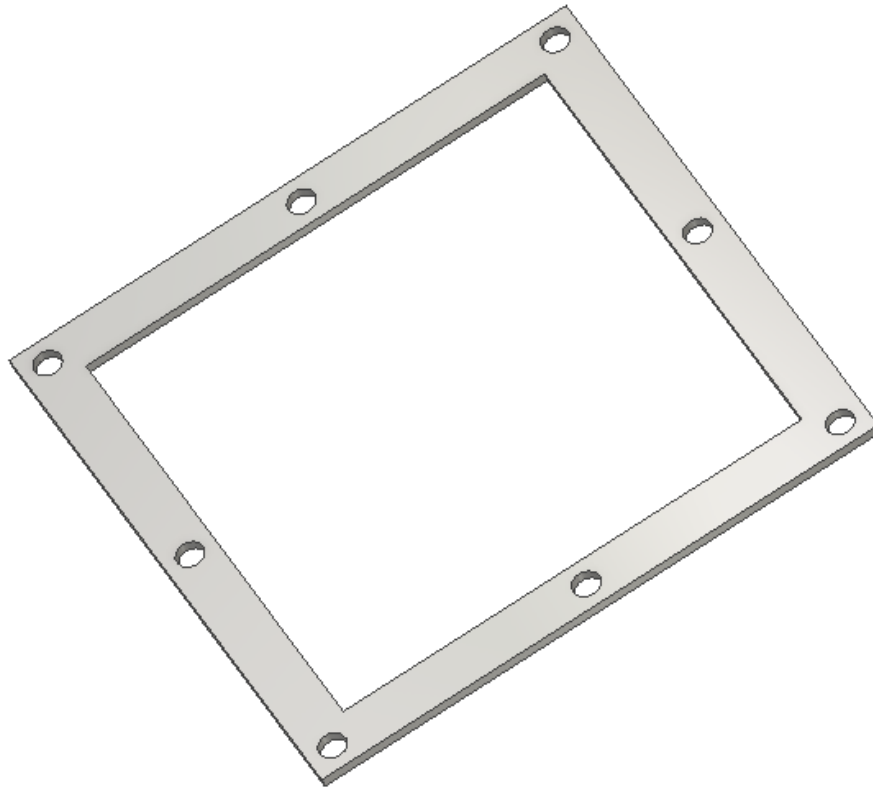
Svislá fréza FCR 50 CNC

Frézka TOS FNK 25 A FINESA

Hrotový soustruh SUS 80

8.3 Součást 3 (Horní deska)

Otvorem v horní desce se do rámečku vkládají skenované dílce.



Obr. 30. Model horní desky z programu Inventor

Polotovár: Hliníková deska 170x170x5 mm

Název operace: Frézovat otvor 130x130 mm. Rozměry dle výkresu.

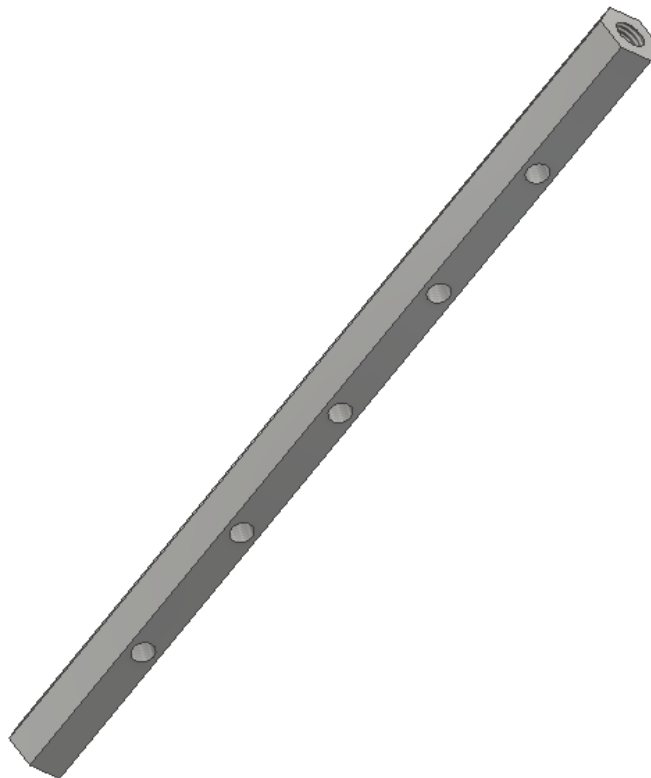
Vrtat díru \varnothing 6,2 mm do hloubky 5 mm. Rozměry dle výkresu. (8x)

Stroj: Frézka TOS FNK 25 A FINESA

Svislá fréza FCR 50 CNC

8.4 Součást 4 (Svislá šestihránná tyč)

Svislá šestihránná tyč slouží s upevnění základní a horní desky. Dále je využívána pro ustavení kotvících trnů.



Obr. 31. Model svislé šestihránné tyče z programu Inventor

Polotovár: Šestihránná plná tyč 13x1000 mm.

Název operace: Řezat tyč na délku 240 mm. (4x)

Vrtat díru \varnothing 4,8 mm pro závit M6. Rozměry dle výkresu. (6x)

Vrtat díru \varnothing 6,8 mm pro závit M8. Rozměry dle výkresu.

Řezat závit M6. Rozměry dle výkresu.

Řezat závit M8. Rozměry dle výkresu.

Stroj: Pásová pila PP300H

Frézka TOS FNK 25 A FINESA

Hrotový soustruh SUS 80

8.5 Součást 5 (Svislá čtyřhranná tyč)

Svislá čtyřhranná tyč slouží s upevnění základní a horní desky. Dále je využívána pro ustavení kotvicích trnů



Obr. 32. Model svislé čtyřhranné tyče z programu Inventor

Polotovár: Čtyřhranná plná tyč 12x12x1000 mm

Název operace: Řezat tyč na délku 240 mm. (4x)

Vrtat díru Ø 4,8 mm pro závit M6. Rozměry dle výkresu. (6x)

Vrtat díru Ø 6,8 mm pro závit M8. Rozměry dle výkresu.

Řezat závit M6. Rozměry dle výkresu.

Řezat závit M8. Rozměry dle výkresu.

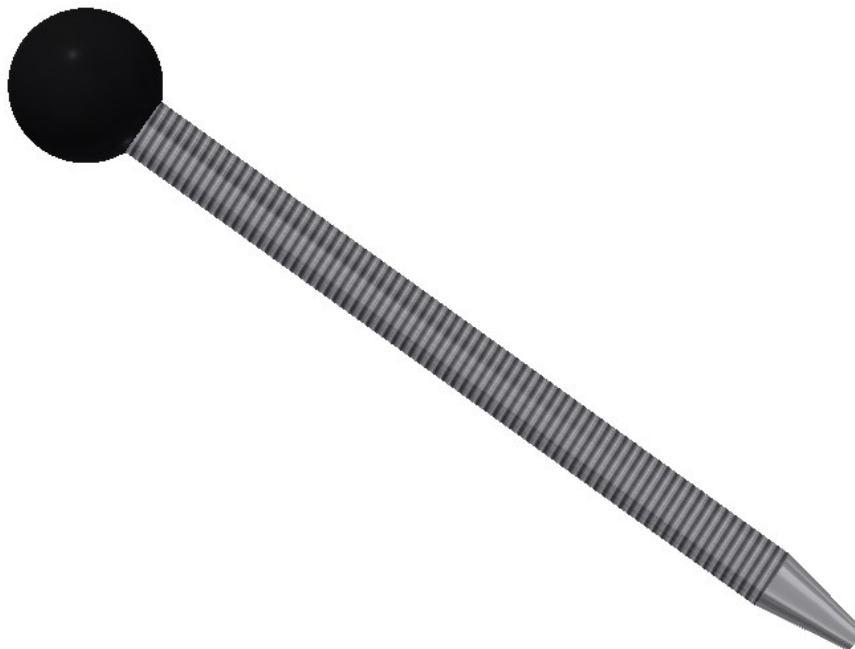
Stroj: Pásová pila PP300H

Frézka TOS FNK 25 A FINESA

Hrotový soustruh SUS 80

8.6 Součást 6 (Ustavovací trny)

Ustavovací trny slouží k pevnému upnutí skenovacího dílce v prostoru skenovacího rámečku.



Obr. 33. Model ustavovacího trnu z programu Inventor

Polotovary: Závitová tyč M6*1000 mm. (2 ks)

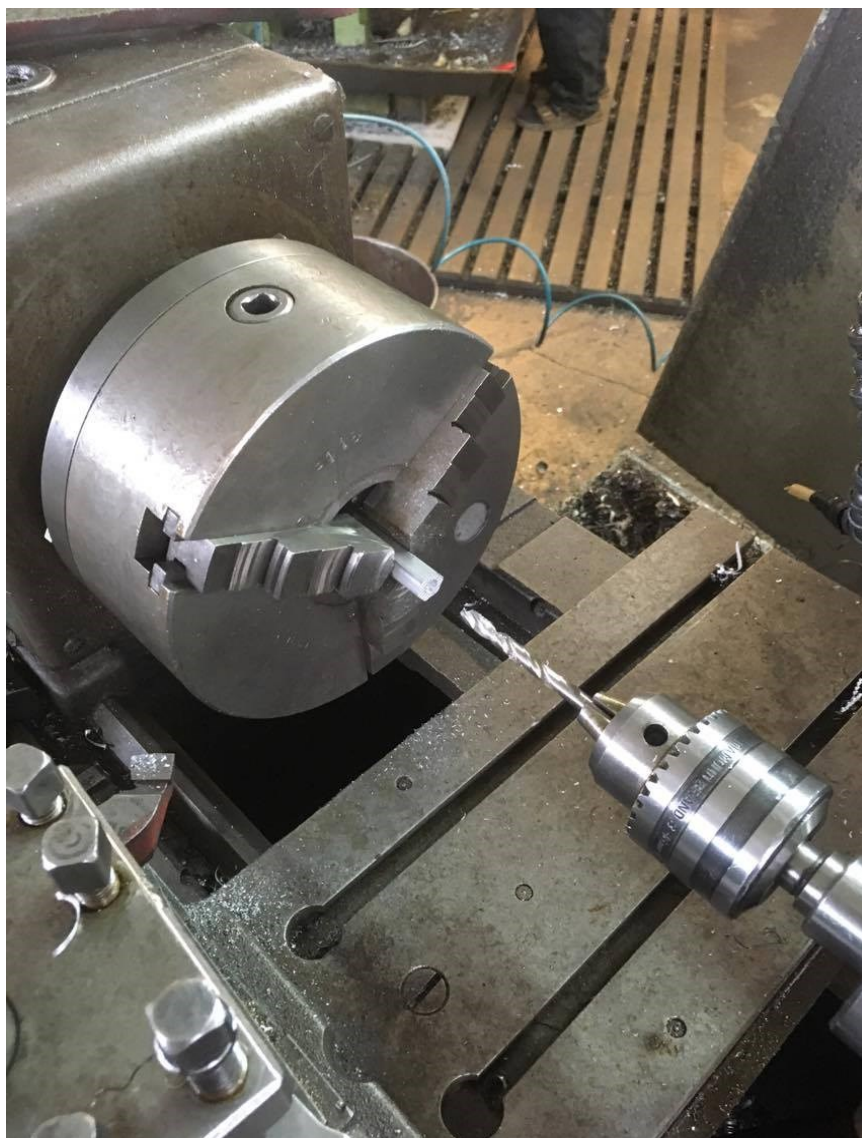
Název operace: Řezat závitovou tyč na délku 170 mm. (10x)

Soustružit hrot tyče. Rozměry dle výkresu.

Stroj: Pásová pila PP300H

Hrotový soustruh SUS 80

Fotografie z výroby:



Obr. 34. Vrtání díry do svislé šestihřanné tyče



Obr. 35. Předvrtávání díry



Obr. 36. Řezání šestihranné tyče na délku 240 mm



Obr. 37. Sestavení rámečku před povrchovou úpravou + zkouška upnutí



Obr. 38. Rámeček po povrchové úpravě a polepení referenčními body



Obr. 39. Pohled na rámeček ze spodní strany

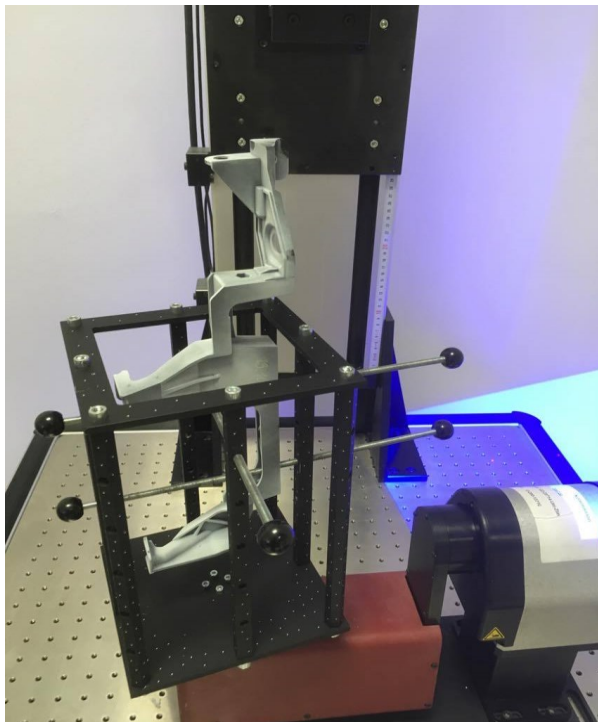
9 ODZKOUŠENÍ

Principem měření bylo porovnat čas potřebný k naskenování dílců s rámečkem a bez jeho použití. K porovnání byly použity čtyři tvarově komplikované dílce. Tři z nich byly vyrobeny z plastu a jeden z kovu. Byly měřeny tyto veličiny:

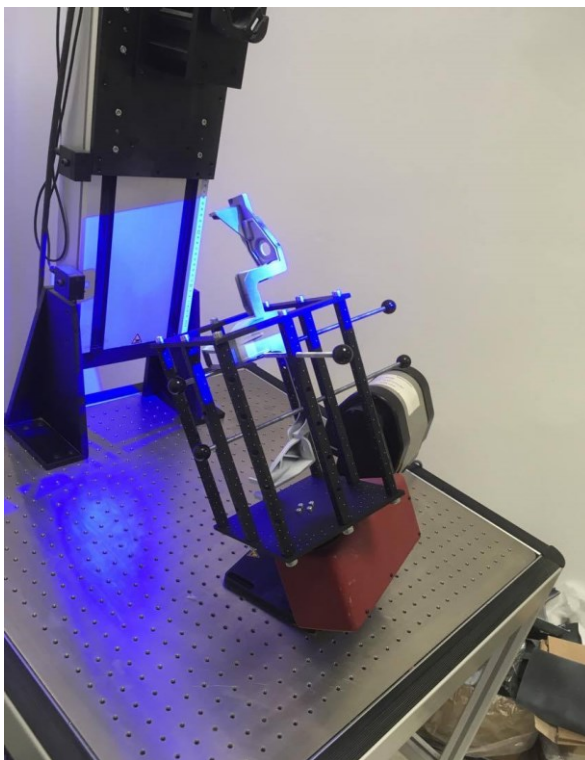
1. Doba nutná k polepení dílce referenčními body
2. Doba nástřiku křídovým sprejem
3. Doba upnutí
4. Samotné skenování
5. Doba potřebná k odstranění šumu (nepotřebné skeny zachycené kolem dílce)
6. Doba polygonizace
7. Finální doladění
8. Počet referenčních bodů

9.1 Výrobek číslo 1

Pro první měření byl použit plastový díl, vyráběný nejmenovanou automobilovou společností.



Obr. 40. Upnutí prvního měřeného dílce



Obr. 41. Skenování prvního dílce

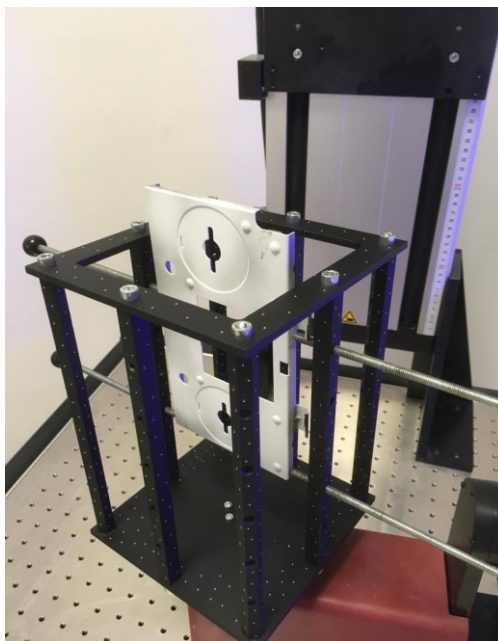
Skenování prvního dílce bylo obtížné, jelikož jeho tvar je velice složitý. Při skenování bez použití rámečku bylo nutné nalepit 46 referenčních bodů, což zabralo 6 minut z celkového času. Nástřik matnicího prášku je v obou případech shodný, jelikož rámeček na tuto úpravu vliv nemá. Upnutí daného výrobku nebylo nijak obtížné a celkově zabralo 2 minuty. Samotné skenování bez rámečku trvalo o 7 minut déle, oproti skenování s rámečkem. Čas potřebný k odstranění šumu je závislý na způsobu skenování. Při skenování bez rámečku, skener zachycuje plochu, na které je díl skenován, což má za následek prodloužení času potřebném k úpravám. Použití rámečku má také značný vliv na množství a kvalitu zachycených skenů a tím se zkracuje čas potřebný k doladění obrazu. Použití rámečku zrychlilo proces skenování o 15 minut, což představuje třetinu času potřebného ke skenování bez něj.

Tab. 1. Naměřené hodnoty pro první díl

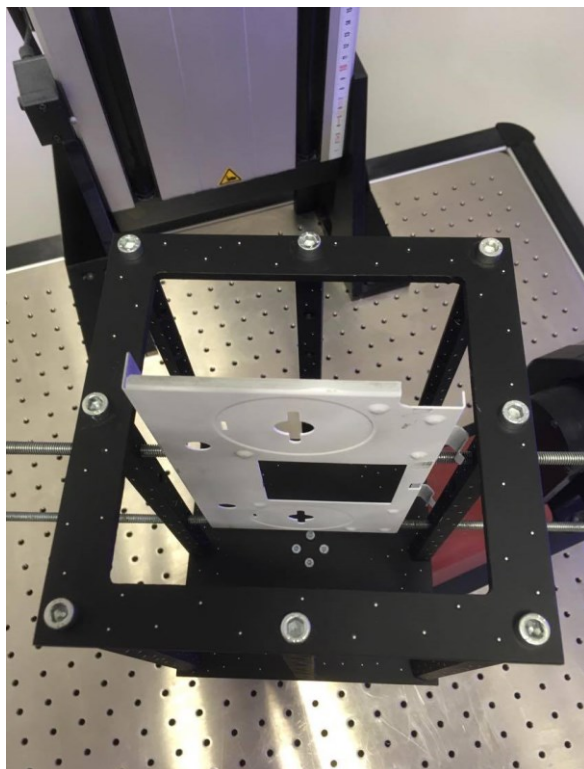
	S rámečkem	Bez rámečku
<i>Polepení [min]</i>	0	6
<i>Nástřik [min]</i>	1	1
<i>Upnutí [min]</i>	2	0
<i>Skenování [min]</i>	14	21
<i>Odstranění šumu [min]</i>	6	8
<i>Polygonizace [min]</i>	5	5
<i>Doladění [min]</i>	4	6
<i>Celkem [min]</i>	32	47
<i>Počet ref. bodů</i>	0	46

9.2 Výrobek číslo 2

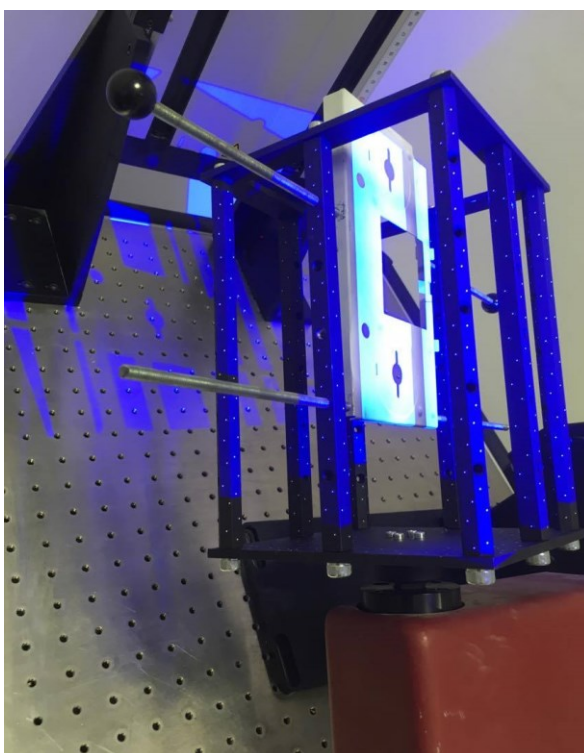
Pro druhé měření byl použit tenkostěnný díl vyrobený z kovu. Jedná se o vložku zámku.



Obr. 42. Upnutí druhého měřeného dílce



Obr. 43. Upnutí druhého měřeného dílce



Obr. 44. Skenování druhého dílce

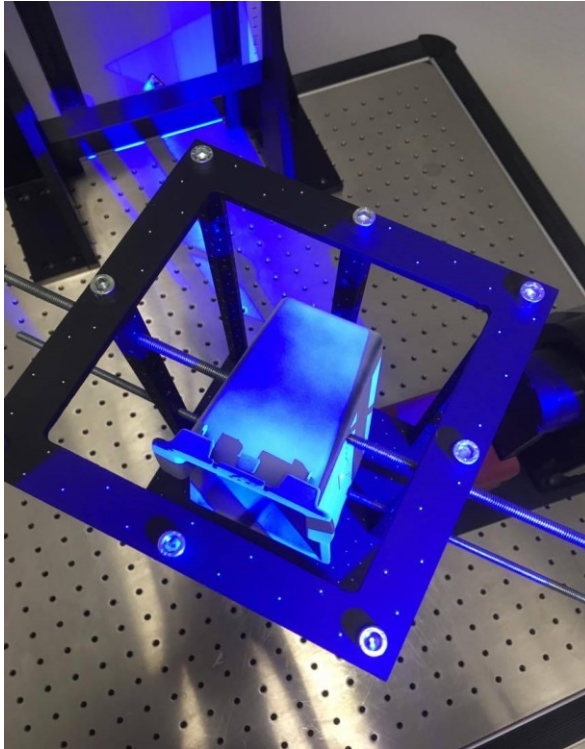
Pro měření druhého dílce, bylo potřeba nalepit 37 referenčních bodů. Způsob upnutí byl závislý na tloušťce stěny výrobku. Ta nepřesahovala 2 mm, a proto musela být přítlačná síla menší, aby nedošlo k zdeformování výrobku. Díky velkým plochám, které dokázal skener zachytit, netrvalo skenování tak dlouho oproti jiným dílcům. Úspora celkového času při použití rámečku dosáhla 10 minut.

Tab. 2. Naměřené hodnoty pro druhý díl

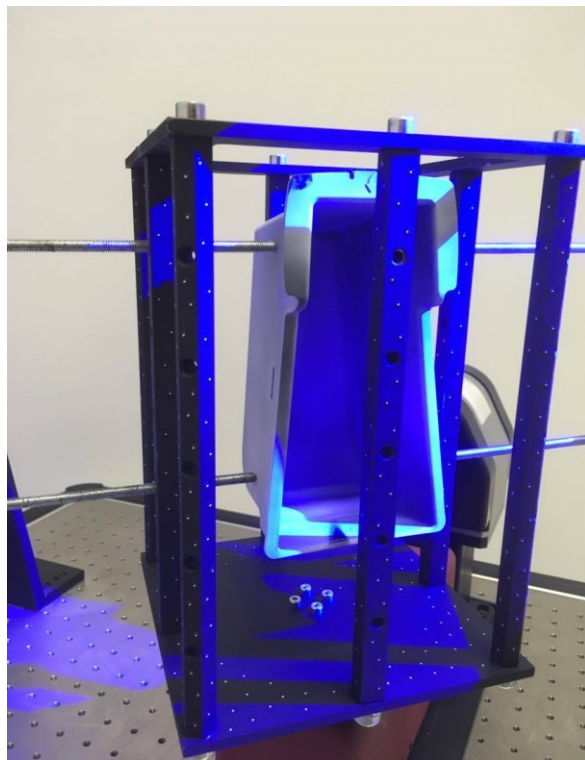
	S rámečkem	Bez rámečku
<i>Polepení [min]</i>	0	4
<i>Nástřik [min]</i>	1	1
<i>Upnutí [min]</i>	2	0
<i>Skenování [min]</i>	9	11
<i>Odstranění šumu [min]</i>	1	5
<i>Polygonizace [min]</i>	2,5	2,5
<i>Doladění [min]</i>	2	2
<i>Celkem [min]</i>	17,5	25,5
<i>Počet ref. bodů</i>	0	37

9.3 Výrobek číslo 3

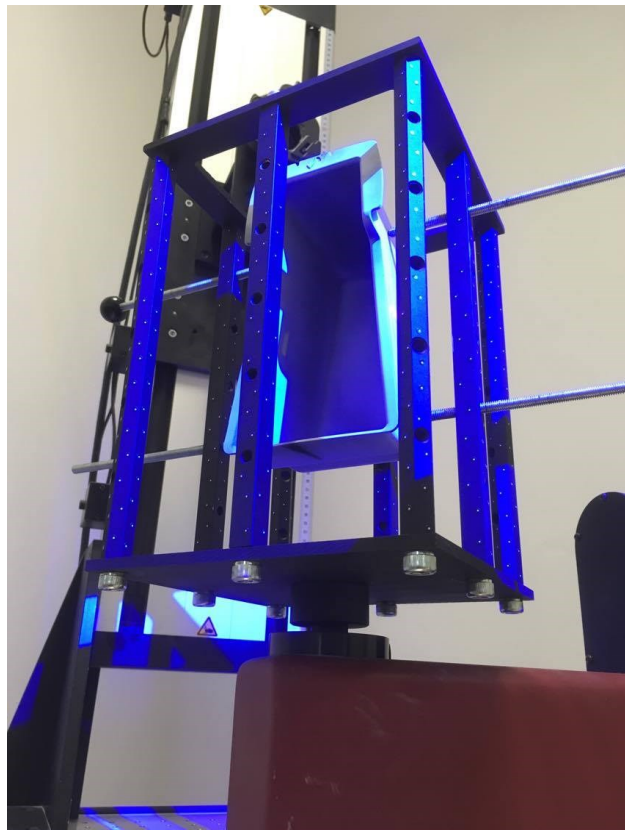
Pro třetí měření byl použit dutý plastový díl, který je součástí automobilu.



Obr. 45. Upnutí třetího měřeného dílce



Obr. 46. Upnutí třetího měřeného dílce



Obr. 47. Skenování třetího dílce

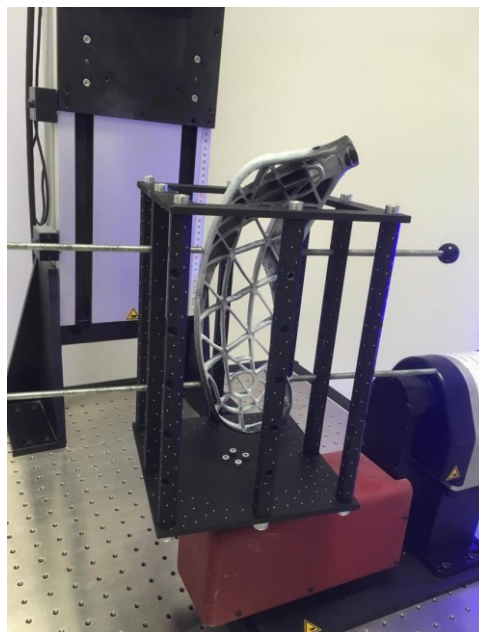
K naskenování třetího dílu bylo potřeba největšího množství referenčních bodů a to z důvodu skenování vnitřních ploch. U skenování bez rámečku bylo obtížné provázat naskenované plochy. Při použití rámečku lze výrobek natočit tak, aby skener mohl zachytit doposud naskenovanou část a zároveň viděl i část naskenovanou. Tím dojde k automatickému provázání, což má za následek výraznou úsporu času jak při samotném skenování, ale také při dalších úpravách. Použití rámečku zrychlilo celý proces skenování o 18,5 minut.

Tab. 3. Naměřené hodnoty pro třetí díl

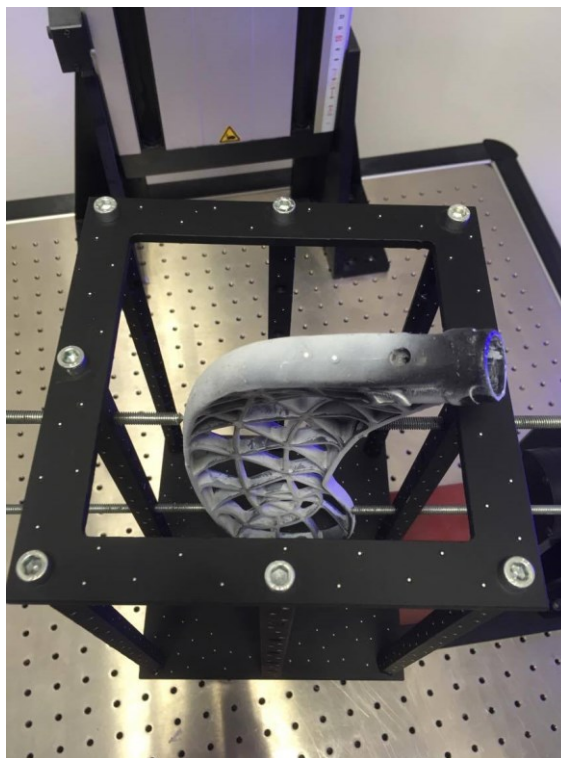
	S rámečkem	Bez rámečku
<i>Polepení [min]</i>	0	6,5
<i>Nástřik [min]</i>	1	1
<i>Upnutí [min]</i>	2	0
<i>Skenování [min]</i>	11	20
<i>Odstranění šumu [min]</i>	4	9
<i>Polygonizace [min]</i>	4,5	4,5
<i>Doladění [min]</i>	2,5	2,5
<i>Celkem [min]</i>	25	43,5
<i>Počet ref. bodů</i>	0	54

9.4 Výrobek číslo 4

Pro čtvrté měření byl použit opět plastový díl, konkrétně čepel florbalové hole.



Obr. 48. Upnutí čtvrtého měřeného dílce



Obr. 49. Upnutí čtvrtého měřeného dílce



Obr. 50. Skenování čtvrtého dílce

Při skenování florbalové čepelce docházelo k podobným problémům jako u skenování třetího dílce. Velké množství otvorů, které čepel obsahuje, ztěžuje postup skenování. Množství referenčních bodů byl poněkud menší, jelikož otvory v čepeli jsou průchozí, a tak je dokáže skener zachytit z obou stran. Při skenování bez rámečku, skener v otvorech v čepeli zachycuje vše, co je za nimi vidět. To má za následek prodloužení času potřebného k dalším úpravám. Při použití rámečku jsou tyto problémy eliminovány. Celková úspora času dosáhla 20,5 minut, což je téměř 50% z času potřebného k naskenování bez použití rámečku.

Tab. 4. Naměřené hodnoty pro čtvrtý díl

	S rámečkem	Bez rámečku
<i>Polepení [min]</i>	0	3
<i>Nástřik [min]</i>	1	1
<i>Upnutí [min]</i>	1,5	0
<i>Skenování [min]</i>	4	12
<i>Odstranění šumu [min]</i>	4	11
<i>Polygonizace [min]</i>	7	7
<i>Doladění [min]</i>	11	15
<i>Celkem [min]</i>	28,5	49
<i>Počet ref. bodů</i>	0	29

9.5 Výsledky měření

Po vyhodnocení naměřených hodnot bylo dosaženo následujících výsledků:

Čas potřebný ke skenování

Tab. 5. Tabulka výsledných hodnot [min]

Skenování	Díl č. 1	Díl č. 2	Díl č. 3	Díl č. 4	Celkem
S rámečkem	32	17,5	25	28,5	103
Bez rámečku	47	25,5	43,5	49	165

Tabulka č. 5 dokazuje, že skenování s použitím rámečku je u uvedených dílů časově efektivnější. Časová úspora dosahuje 37,6 %.

Počet referenčních bodů

Tab. 6. Tabulka počtu referenčních bodů

	Díl č. 1	Díl č. 2	Díl č. 3	Díl č. 4	Celkem
Ref. body	46	37	54	29	166

Počet referenčních bodů potřebný k naskenování uvedených dílů dosáhl počtu 166 ks. Při použití skenovacího rámečku není nutné součásti body polepovat, jelikož body jsou nalepeny přímo na rámu. Tím dochází k úspoře času potřebného na polepení dílce, ale také k úspoře finanční. Při průměru čtyřiceti bodů na jeden díl, se body spotřebované na rámečku vrátí po naskenování 21 dílů.

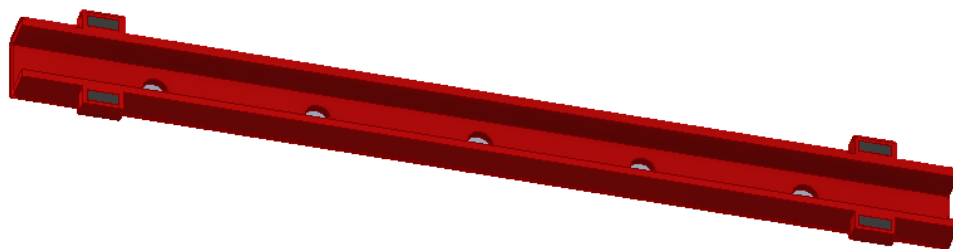
10 MODIFIKACE

Plastová krytka

Na většinu skenovaných dílů je nutné nanést vrstvu matnicího prášku. V tomto případě byl použit prášek křídový. Při situaci, kdy je nutné již upnutý díl na některých místech zmatnit, dochází k nanesení prášku také na skenovací rámeček. Z tohoto důvodu byla navržena plastová krytka, která se pomocí magnetů připevní na rám. Díky této modifikaci je zamezeno nanesení prášku na součásti rámečku.



Obr. 51. Plastová krytka



Obr. 52. Vnitřní strana plastové krytky

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo, navrhnout a vyrobit přípravek, který by zjednodušil skenování tvarově komplikovaných a tenkostěnných dílů. V teoretické části jsem se zabýval vypracováním literární rešerše v dané oblasti. Hlavní cílem této části bylo seznámení s využitím 3D skenerů a jejich rozdělení.

V praktické části bylo hlavní náplní vytvoření návrhu a technologického postupu všech součástí, které patří do celku skenovacího rámečku. Dalším úkolem byla samotná výroba a odzkoušení. Materiál zvolený pro výrobu těchto součástí byl zvolen hliník EN AW 2007. Každá součást je podložena výrobním výkresem. U každé součásti jsem doporučil stroj, kterým se bude daná součást vyrábět. Další náplní byla nutnost naučit se používat v praxi skenovací systém ATOS.

Dle výše uvedených hodnot bylo zjištěno, že skenování pomocí navrhnutého přípravku bylo z časového hlediska efektivnější o 37,6%, což v praxi představuje velkou časovou úsporu. Další výhodou tohoto skenování bylo snížení nákladů představující nutnost lepení referenčních bodů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOEHLER, Wolfgang; MARBS, Andreas. 3D scanning instruments. *Proceedings of the CIPA WG*, 20010, 6: 9-18.
- [2] WULF, Oliver; WAGNER, Bernardo. Fast 3D scanning methods for laser measurement systems. In: *International conference on control systems and computer science (CSCSI4)*. 2011.
- [3] NEUMANN, Rainer, et al. *High Efficient LED Headlamp Design-Styling versus Light Performance*. SAE Technical Paper, 2007.
- [4]] VOJTISEKk-Lom, M., Cobb, J.T.: On-road light-duty vehicle emission measurements using a novel inexpensive on-board portable system. Presented at the 8th CRC On-road vehicle emissions workshop, San Diego, California, USA, 2014
- [5] HSIEH, Jun-Wei, et al. Automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2006,
- [6] HIRSCH, Jürgen. Aluminium in innovative light-weight car design. *Materials Transactions*, 2011, 52.5: 818-824.
- [7] SANSONI, Giovanna; TREBESCHI, Marco; DOCCHIO, Franco. State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. *Sensors*, 2009, 9.1: 568-601.
- [8] THALI, Michael; DIRNHOFER, Richard; VOCK, Peter (ed.). *The virtopsy approach: 3D optical and radiological scanning and reconstruction in forensic medicine*. CRC Press, 2009.
- [9] DURBIN, Duane, et al. *3D dental scanner*. U.S. Patent No 7,494,338, 2013.
- [10] TRELEAVEN, Philip; WELLS, Jonathan. 3D body scanning and healthcare applications. *Computer*, 2007, 40.7.
- [11] GAISECKER, T. Pinchango Alto–3D archaeology documentation using the hybrid 3D laser scan system of RIEGL. In: *Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage: Proceedings of the International Workshop, Centro Stefano Franscini, Monte Verita, Ascona, Switzerland, May 22-27, 2005*. CRC Press, 2005. p. 459.
- [12] FITTS, John M. *Hidden change distribution grating and use in 3D moire measurement sensors and CMM applications*. U.S. Patent No 5,319,445, 1994.

- [13] PEIRAVI, Ali; TAABBODI, Behrai. A reliable 3D laser triangulation-based scanner with a new simple but accurate procedure for finding scanner parameters. *Journal of American Science*, 2010
- [14] RIOUX, Marc. Laser range finder based on synchronized scanners. *Applied optics*,
- [15] ALVAREZ, Jorge, et al. Development and evaluation of the ATOS spontaneous speech conversational system. In: *Acoustics, Speech, and Signal Processing*
- [16] MOROVIČ, Ladislav; POKORNÝ, Peter. Optical 3D scanning of small parts. In: *Advanced Materials Research*.
- [17] PALOUSEK, David, Milan OMASTA, Daniel Koutny, Josef Bednar. Effect of matte coating on 3D optical measurement accuracy
- [18] GUSEL, Andrej; ACKO, Bojan; MUDRONJA, Vedran. Measurement uncertainty in calibration of measurement surface plates flatness
- [19] Cyclododecane Spray. Kremer Pigmente [online]. [cit.2016-08-05]. Dostupné z : http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/87099c.pdf
- [20] DOKOUPIL, F. Stanovení odchylek měření 3D optického skeneru. Brno, 2013.
- [21] ÚSTAV AUTOMOBILOVÉHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ [ONLINE] dostupné z : <http://www.iae.fme.vutbr.cz>, skenování s 3D skenerem
- [22] LASER-TEORIE.3D, [online]. [cit.2016-04-12], dostupné z: <http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/vvt/s1/laserteorie3d.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DIN Německá národní norma

M Metrický závit

D Průměr (mm)

3D Trojrozměrný

mm Milimetr

hod Hodina

% Procento

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1. RUČNÍ SKENOVÁNÍ ČÁSTI MOTORU	12
OBRÁZEK 2. TUNINGOVÉ MRAČÍTKO NA ŠKODA OCTAVIA II [4].....	13
OBRÁZEK 3. VIRTUÁLNÍ SESTAVA NASKENOVANÝCH DÍLŮ AUTOMOBILU [6]	14
OBRÁZEK 4. VYUŽITÍ SKENOVÁNÍ PRO VYTVOŘENÍ PROTÉZY OBLIČEJE A UCHA [8]	14
OBRÁZEK 5. 3D OPTICKÉ SKENOVÁNÍ ODLITKU ZUBŮ [8].....	15
OBRÁZEK 6. DENTÁLNÍ SKENER ITERO [9].....	15
OBRÁZEK 7. RENTGENOVÝ 3D SKENER PROONE [9]	16
OBRÁZEK 8. SNÍMEK VYTVOŘENÝ DENTÁLNÍM SKENEREM PREXION 3D [9].....	16
OBRÁZEK 9. SILIKONOVÁ NÁHRADA PALCE [10]	17
OBRÁZEK 10. DIGITALIZACE SOCHY [11]	18
OBRÁZEK 11. DIGITÁLNĚ ARCHIVOVANÁ NÁDOBA.....	18
OBRÁZEK 12. ROZDĚLENÍ 3D SKENERŮ [12]	19
OBRÁZEK 13. MECHANICKÝ 3D SKENER [13].....	20
OBRÁZEK 14. OPTICKÝ 3D SKENER [13].....	21
OBRÁZEK 15. RUČNÍ LASEROVÝ 3D SKENER [14]	22
OBRÁZEK 16. OPTICKÝ 3D SKENER ATOS	23
OBRÁZEK 17. APLIKACE REFERENČNÍCH BODŮ NA SKENOVANÝ DÍLEC	25
OBRÁZEK 18. ZMATNĚNÍ POVRCHU POMOCÍ KŘÍDOVÉHO SPREJE.....	26
OBRÁZEK 19. CYKLODODEKOVÝ SPREJ FLUCHTIG.....	27
OBRÁZEK 20. SKENOVACÍ RÁMEČEK [21].....	29
OBRÁZEK 21. DÍLEC PO SEJMUTÍ PRVNÍCH SNÍMKŮ [21].....	30
OBRÁZEK 22. DETAIL VYTVOŘENÉ SÍTĚ [21].....	30
OBRÁZEK 23. MODEL RÁMEČKU V PROGRAMU INVENTOR	34
OBRÁZEK 24. HLINÍKOVÁ TYČ EN AW 2007, 12X12 MM.....	35
OBRÁZEK 25. ČERNÝ MATNÝ SPREJ COLORLAK [3502]	36
OBRÁZEK 26. REFERENČNÍ BODY	36
OBRÁZEK 27. VÝKRES SESTAVY	37
OBRÁZEK 28. MODEL ZÁKLADNÍ DESKY Z PROGRAMU INVENTOR	38
OBRÁZEK 29. MODEL VYMEZOVACÍ PODLOŽKY Z PROGRAMU INVENTOR	39
OBRÁZEK 30. MODEL HORNÍ DESKY Z PROGRAMU INVENTOR	40
OBRÁZEK 31. MODEL SVISLÉ ŠESTIHRANNÉ TYČE Z PROGRAMU INVENTOR.....	41
OBRÁZEK 32. MODEL SVISLÉ ČTYŘHRANNÉ TYČE Z PROGRAMU INVENTOR	42
OBRÁZEK 33. MODEL USTAVOVACÍHO TRNU Z PROGRAMU INVENTOR	43
OBRÁZEK 34. VRTÁNÍ DÍRY DO SVISLÉ ŠESTIHRANNÉ TYČE	44
OBRÁZEK 35. PŘEDVRTÁVÁNÍ DÍRY.....	45
OBRÁZEK 36. ŘEZÁNÍ ŠESTIHRANNÉ TYČE NA DÉLKU 240 MM	45

OBRÁZEK 37. SESTAVENÍ RÁMEČKU PŘED POVRCHOVOU ÚPRAVOU + ZKOUŠKA UPNUTÍ.....	46
OBRÁZEK 38. RÁMEČEK PO POVRCHOVÉ ÚPRAVĚ A POLEPENÍ REFERENČNÍMI BODY	46
OBRÁZEK 39. POHLED NA RÁMEČEK ZE SPODNÍ STRANY	47
OBRÁZEK 40. UPNUTÍ PRVNÍHO MĚŘENÉHO DÍLCE	48
OBRÁZEK 41. SKENOVÁNÍ PRVNÍHO DÍLCE	49
OBRÁZEK 42. UPNUTÍ DRUHÉHO MĚŘENÉHO DÍLCE	50
OBRÁZEK 43. UPNUTÍ DRUHÉHO MĚŘENÉHO DÍLCE	51
OBRÁZEK 44. SKENOVÁNÍ DRUHÉHO DÍLCE	51
OBRÁZEK 45. UPNUTÍ TŘETÍHO MĚŘENÉHO DÍLCE	53
OBRÁZEK 46. UPNUTÍ TŘETÍHO MĚŘENÉHO DÍLCE	53
OBRÁZEK 47. SKENOVÁNÍ TŘETÍHO DÍLCE	54
OBRÁZEK 48. UPNUTÍ ČTVRTÉHO MĚŘENÉHO DÍLCE	55
OBRÁZEK 49. UPNUTÍ ČTVRTÉHO MĚŘENÉHO DÍLCE	56
OBRÁZEK 50. SKENOVÁNÍ ČTVRTÉHO DÍLCE	56
OBRÁZEK 51. PLASTOVÁ KRYTKA	59
OBRÁZEK 52. VNITŘNÍ STRANA PLASTOVÉ KRYTKY	60

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1. NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO PRVNÍ DÍL.....	50
TABULKA 2. NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO DRUHÝ DÍL	52
TABULKA 3. NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO TŘETÍ DÍL.....	55
TABULKA 4. NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO ČTVRTÝ DÍL	57
TABULKA 5. TABULKA VÝSLEDNÝCH HODNOT [MIN].....	58
TABULKA 6. TABULKA POČTU REFERENČNÍCH BODŮ	58

SEZNAM PŘÍLOH

Všechny přílohy jsou uloženy na přiloženém CD – ROM.

Příloha PI: výkresová dokumentace