

Využití reverzního inženýrství ve strojírenské technologii

Zbyněk Havel

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zbyněk Havel**
Osobní číslo: **T11227**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Využití reverzního inženýrství ve strojírenské technologii**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma
2. Modelování součásti s využitím technologie Reverzního inženýrství
3. Úprava modelu a programování v programu NX
4. Výroba součásti na tříosé frézce HWT C-442

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013, XV, 1101 s. ISBN 978-1-118-23146-3.

GEBHARDT, Andreas. Rapid Prototyping [online]. 1st ed. Munich: Hanser Publishers, 2003 [cit. 2013-10-25].

ADITHAN, M a B PABLA. CNC Machines. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, xi, 127 s. ISBN 81-224-2019-2.

KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

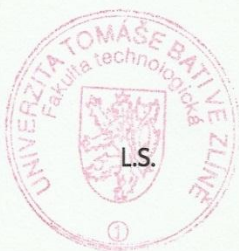
Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Havel Zbyněk

Obor: TZ

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ 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 15.5.2014


.....

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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku 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 přihlídí k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo, pomocí procesu Reverzního inženýrství (zkratka RE), vytvořit zpětnou analýzu dané součásti, v tomto případě (kolejničky pro vláčky). Při práci bylo použito moderních technologií k zhotovení požadované součásti, pomocí 3D skeneru, přístroje Atos II Triple scan a také softwarové technologie CAD/CAM/CAE a softwaru GOM Inspect Professional od firmy MCAE systems, která v průmyslu aplikuje nejmodernější 3D digitální technologii. Kde docházelo od počáteční digitalizace součásti (kolejničky) v podobě digitálního 3D modelu až po jeho kompletní zhotovení a výrobu. Nejprve je tvořena technická dokumentace z již už vytvořené součásti. Postup je otočen, vůči klasické výrobě. Z technické dokumentace je potom vytvořen postup pro výrobu a CNC kód. Reverzní inženýrství má velký potenciál! Díky RE jsme schopni zpětně zpracovat jakýkoliv objekt nebo softwarovou dokumentaci.

Klíčová slova: Reverzní inženýrství, digitalizace, 3D scan, zpětná analýza

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis was with the help of the reverse engineering process (abbreviation RE) create a back analysis of the particular component – in this case rails for the little trains. The modern technologies as a 3D scanner, device Atos II Triple scan and software technology CAD / CAM / CAE and software GOM Inspect Professional by MCAE systems. that applies the latest digital 3D technology, has been used for to manufacture required components. This has been used form the initial digitalization of the 3D component (rail) to the complete fabrication and manufacturing. First the technical documentation is made up based on already manufactured component. The procedure is reversed comparing to the conventional production. The production process and the CNC code are then created from the technical documentation. Reverse engineering has great potential! Thanks to RE we are able to re-process any object or software documentation.

Keywords: Reverse Engineering, digitalization, 3D scan, Reverse analysis

Tímto chci moc poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení a přípravu k bakalářské práci. A chci také poděkovat své rodině za podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 REVERZNÍ IŽENÝRSTVÍ	12
1.1 VYUŽITÍ REVERZNÍHO INŽENÝRSTVÍ	13
1.2 DIGITALIZACE	1 CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
2 SKENOVÁNÍ	15
2.1 KONTAKTNÍ SKENERY	16
2.2 BEZKONTAKTNÍ SKENERY	18
2.2.1 Rentgenové skenery	18
2.2.2 Ultrazvukové skenery	20
2.2.3 Destruktivní skenery	20
2.2.4 Laserové skenery	21
2.2.5 Optické skenery	24
3 RAPID PROTOTYPING	28
3.1 STEREOLITOGRAFIE (SL)	30
3.2 FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)	31
3.3 LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)	32
3.3 THREE DIMENSIONAL PRINTING (3DP)	33
3.4 OSTATNÍ TECHNOLOGIE	34
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
5 KOLEJNÍČKA PRO VLÁČKY	37
6 SKENOVACÍ ZAŘÍZENÍ ATOS... CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	8
6.1 SKENOVÁNÍ SOUČÁSTI	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.9
6.2 GOM INSPECT PROFESSIONAL	42
7 CATIA V5R18	45
7.1 POSTUP ZPRACOVÁNÍ BODŮ	45
8 SOLID EDGE ST3	51
8.1 POSTUP VYTVOŘENÍ MODELU	51
9 SIEMENS PLM NX 8.0	55
9.1 NAPROGRAMOVÁNÍ CNC KÓDU	55
10 VÝROBA SOUČÁSTI	58
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
SEZNAM OBRÁZKŮ	66
SEZNAM TABULEK	69

ÚVOD

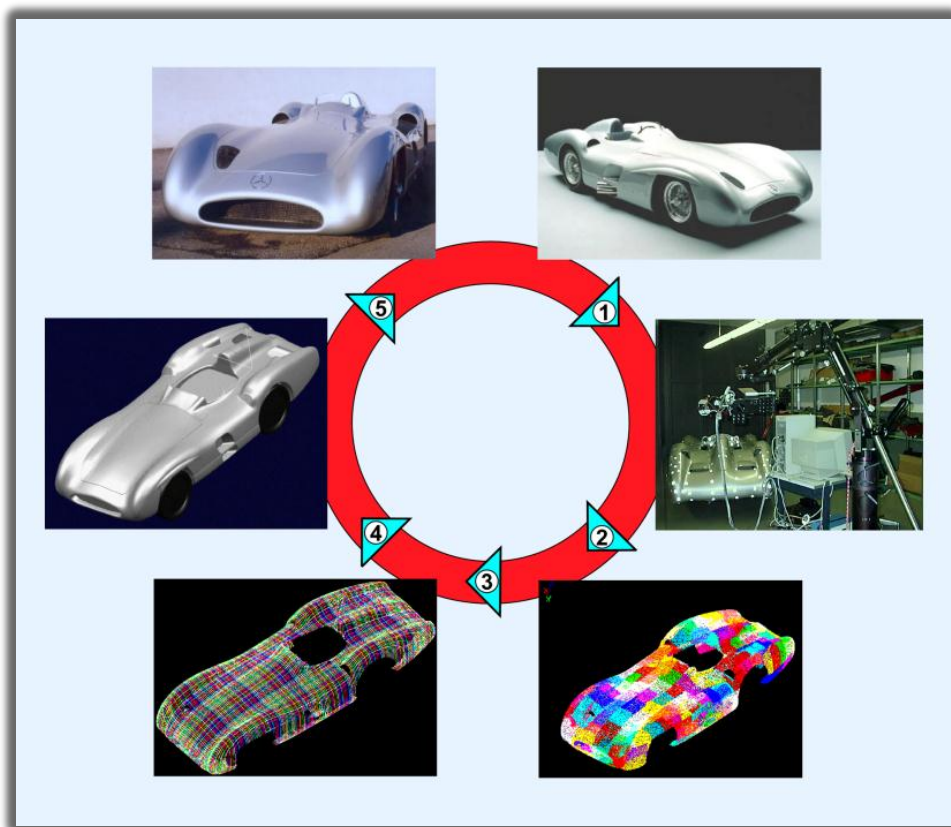
Reverzní inženýrství je to v podstatě proces objevení technologických principů zařízení přes analýzu jeho struktury, funkce a operace. Má původy v analýze hardwaru pro reklamu nebo vojenské převahy. Bylo často používáno armádou, aby získávaly jiné technologie národů, zařízení nebo informace, které byly získávány vojskem v polích nebo špionáží především za 2. sv. války. Reverzní inženýrství je i hrozbou, v dnešní kyberkultuře je zneužívána k tvorbě škodlivého softwaru, kopírování zdrojových kódů a vytváření softwaru v podobě počítačových virů, malwaru, spywaru a trojských koňů. Jedinou obranou je zase nasazení reverzního inženýrství. Reverzní inženýrství se používá i v současnosti ve strojírenství (např. k odstranění problémů originálního dílu) dá se používat skoro ve všech oborech pro jakékoliv složitější těleso, přístroj, software i hardware. Díky mobilnímu provedení 3D skenerů, je možné převádět součásti do softwarové podoby téměř kdekoli bez ohledu na prašnost, teplotu, vlhkost, stabilitu a další podmínky. Velkými výhodami RE je např. měření daných součástí i složitějších tvarů, realizace jakékoliv součásti, výroba anebo úprava už hotové součásti ke zlepšení jeho vlastností. Taky časová stránka, která je úsporou. 3D skenování má také své nevýhody, každá součást není tak dobře skenovatelná např. součásti s lesklým povrchem anebo součásti neočistěné od nečistot a také součásti s různými typy záhybů. Metoda skenování je taky zdoluhavá, ale záleží na složitosti součásti a použitém přístroji.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

Z anglického Reverse Engineering (RE) je proces, jehož cílem je odkrýt princip fungování zkoumaného předmětu, za účelem sestrojení stejně či podobně fungujícího předmětu. Nemusí se zrovna jednat o stejný předmět nebo kopii ale také o upravený předmět s jinými náležitostmi podle potřeby. [2]

Termín reverzní inženýrství označuje tzv. zpětnou analýzu, což je opačný postup oproti klasickému postupu výroby. [2]



Obr. 1. RE postup zpětné analýzy. [1]

- 1.) Součást nebo model požadované objektu.
- 2.) 3D skenování objektu (pomocí bezdotykových optických skenerů).
- 3.) Digitalizace (převod fyzického předmětu do digitální podoby 3D objemového tělesa).
- 4.) Vytvoření 3D objemového tělesa (lze model duplikovat a upravovat, vytvoření výkresové dokumentace), CA technologie (Computer Aided), česky počítačová podpora.
- 5.) Výroba reálné součásti nebo objektu (navržení správného procesu výroby).

U klasického inženýrského postupu je nejprve vytvoření dokumentace buďto papírové nebo digitální pomocí např. CAD softwaru (Computer Aided Design), česky počítačová podpora navrhování. Navržený postupu výroby a následné vyrobení součásti. Kdežto u reverzního inženýrství musí být reálný předmět, než započne proces. RE je využíváno k přesné digitální kopii daného předmětu, jeho optimalizaci a zdokonalení, které je mnohem efektivnější oproti klasickému postupu. Hlavním problémem může být cena 3D skenerů a speciálního softwaru. [3]

1.1 Využití reverzního inženýrství

Se stoupajícím zájmem o počítačově podporované konstruování se reverzní inženýrství stalo realizovatelnou k vytváření 3D digitálních objemových objektů existujících fyzických součástí v nejrůznější 3D modelovacích programech (např. Catia, Pro/ENGINEER, SolidWorks). Reverzní inženýrství má historii v armádě kde bylo využíváno ke kopírování technologií druhých národů, využívalo se hlavně za 2. sv. války. Podklady pro kopírování byly sbírány na bojištích anebo pomocí špionáže. Příkladem je americký bombardér B-29, který je pak představen jako sovětský bombardér Tu-4. V dnešní době je využíváno v odvětvích, jako je automobilový průmysl, letecký průmysl, lékařství, strojírenství, geologii, stomatologii ale také v informačních systémech, herním či filmovém průmyslu a další. Jak jde vidět RE má široké spektrum využití. Hojně je využíváno i informačních technologií v oblasti hardwaru se jedná o vylepšení např. chladících součástí, ale také v oblasti softwaru kde je reverzní inženýrství nasazováno proti škodlivému softwaru v podobě virů a spywaru, kdy dojde k rozboru zdrojového kódu a zpětné analýze. [2, 3, 4]

1.2 Digitalizace

Z fyzického modelu je 3D model vytvořen pomocí 3D skenovacích technologií buď dotykovou, nebo bezkontaktní technologií, jedná se o základní rozdělení. 3D skener je zařízení pro přenesení skutečných fyzických tvarů do virtuálního 3D modelu. Skener shromažďuje informace za pomoci použití technologie údaje o tvaru a vzhladu snímaného předmětu. Tyto informace jsou potom základními prvky pro tvorbu trojrozměrného digitálního modelu, výsledná data pak lze zpracovávat dál.

V dnešní době s rostoucím vývojem roste také rychlost, zpracování, velikost, složitost a přesnost digitální podoby objektů. [3]

Virtuální model lze získat dvěma způsoby:

- Manuálně – kde se na základě změřených údajů o objektu modeluje v 2D nebo 3D softwaru pro modelování jako jsou CAD softwary, proces je celkově náročný a nepřesný.
- 3D skener – jedná se tzv. digitalizaci kdy bez potřeby něco měřit skener vytvoří přesnou kopii dané součástky, která je pouze ovlivněna přesností skeneru. Získaný model dále pak upravovat.

3D digitalizace není jen o přesnosti a kvalitě zařízení ale také o dobře vyladěný softwar, který zpracovává mračna bodů a následnou polygonizací. Software musí dokázat načíst obrovská mračna bodů z optického skenování, které musí dokázat analyzovat a proložit souvislou polygonální sítí bez jakýkoliv chyb. Posléze s modelem můžeme pracovat CAD/CAM systému při navrhování konečného vzhledu modelu nebo při tvorbě modelových kopií z digitalizované součástky. 3D laserové skenování patří do bezdotykových metod, nedochází zde ke kontaktu mezi skenovací hlavou a skenovaným předmětem díky čemu vytváří dokonalou kopii součásti. Je taky vhodná pro rozměrově velké součásti z jakéhokoliv materiálu. [3, 4]

Postup při skenování:

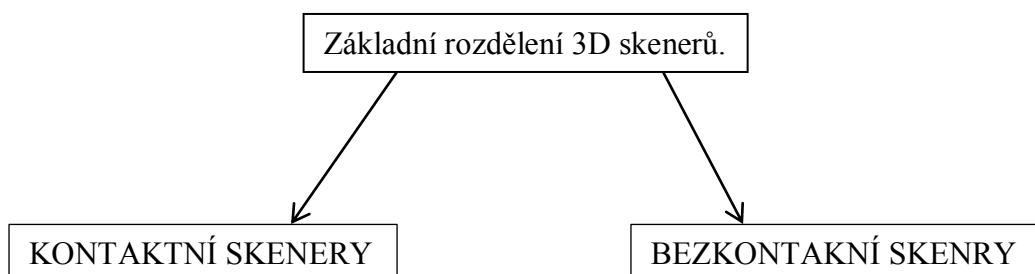
- Nasnímání součástky pomocí 3D skeneru.
- Vytvoření digitálního objektu v podobě mračen bodu ve speciálním programu.
- Uložení ve formátu STL, STEP a další.
- Zpracování v CAD softwaru a vytvoření polygonální sítě.
- Vytvoření výsledného virtuálního 3D modelu.

Co vše lze skenovat:

- Modely z kovu, dřeva, plastu, kamene a jiného materiálu.
- Zmenšené nebo reálné prototypy.
- Odlitky.
- Hliněné modely (tuningové díly v automobilovém průmyslu).
- Sochy nebo plastiky (vytvoření digitálního obrazu k archivaci nebo replikaci).
- Opravy poškozených nástrojů (opravy forem nebo poškozených součástí).
- Lidské tělo (pro vytváření ortopedických pomůcek)
- A mnoho dalších. [5]

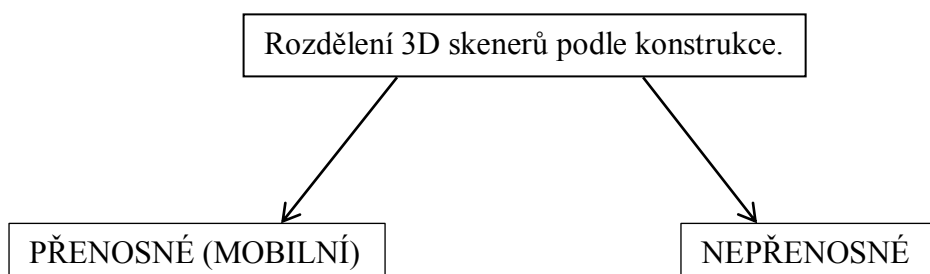
2 SKENOVÁNÍ

Je neodmyslitelnou součástí reverzního inženýrství, kdy se jedná o prvotní fázi než započneme celý proces. Je to přenos skutečných fyzických tvarů do 3D virtuálních modelů. Než všechno začne, je třeba zvolit správné technické vybavení a přípravu součásti ke skenování. Musíme brát ohled při volbě správného skeneru na materiál, velikost, složitosti a přesnosti s jakou chceme objekt vytvořit. Objekt také podléhá přípravě, musí být dobře očištěný od nežádoucích nečistot a u některých typů skenerů musí být lesklý povrch upraven pro lepší snímání a někdy je zapotřebí i nalepení reflexních bodů pro lepší zaměření objektu. Metody skenování můžeme rozdělit do dvou základních skupin. [14, 15]



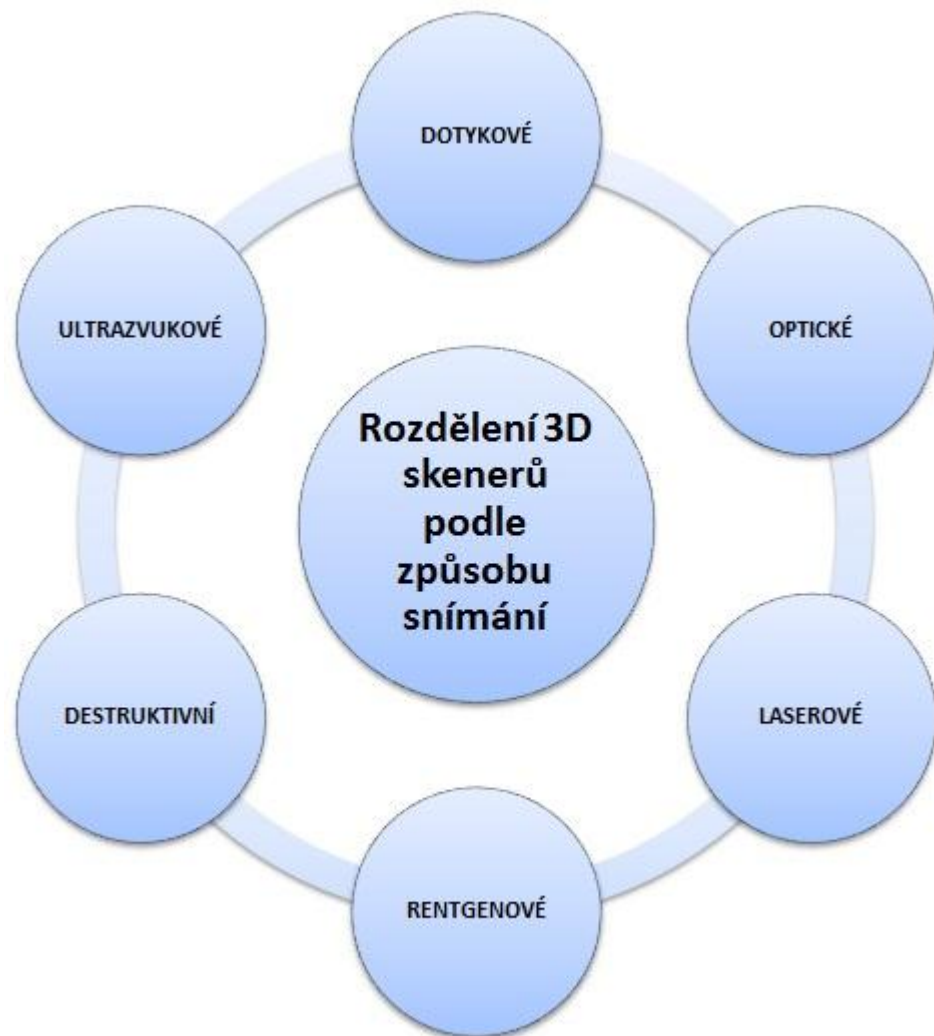
Obr. 2. Základní rozdělení 3D skenerů. [14, 15]

Dalším rozdělením může být typ konstrukce skenerů, kdy je dělíme na mobilní neboli přenosné, které mohou být nasazeny v terénu, kdy se jedná o objekt těžko přenosný nebo vůbec nepřenosný a dále na nepřenosné skenery, které jsou využívány převážně v metrologických laboratořích.



Obr. 3. Rozdělení 3D skenerů podle konstrukce. [14, 15]

Princip všech skenerů je založen na snímání povrchu objektu, proto se skenery od sebe odlišují hlavně tím, jakým způsobem dochází ke snímání povrchu objektu. 3D skenery využívají více technologií k dosažení výsledku, můžeme je rozdělit do několika skupin.

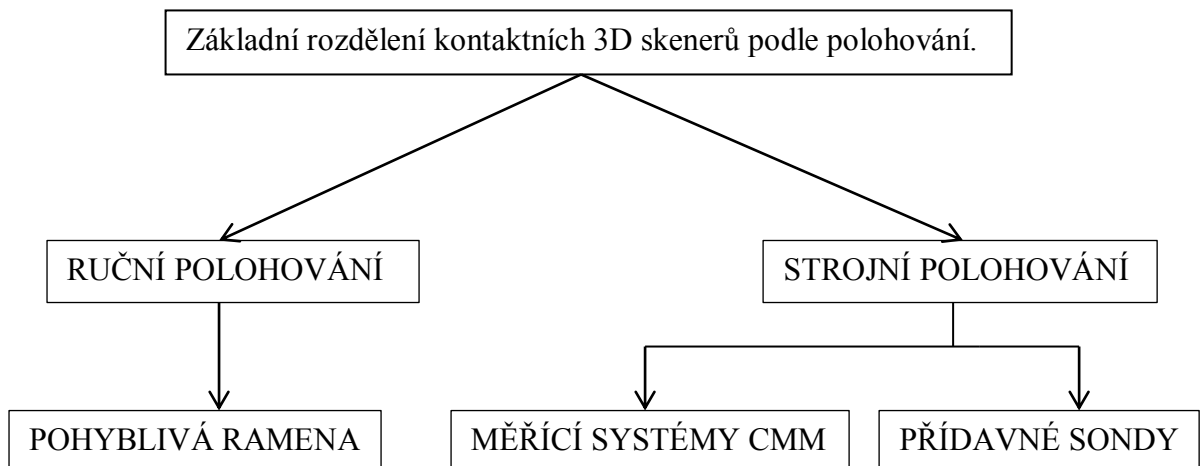


Obr. 4. Rozdělení 3D skenerů podle způsobu snímání. [3]

2.1 Kontaktní skenery

Jedná se o zařízení, které mají kontakt se snímaným předmětem pomocí sondy, která snímá povrch a celkový tvar snímaného objektu. Sonda bývá upevněna na mechanickém rameni skládající se z více kloubů s pevnou základnou. Dochází zde k optickému snímání polohy ramen. Signály o poloze vysílané sondou na rameni, jsou přijímány a následně zpracovány počítačem. Tyto souřadnice nadefinují tvar objektu a spojí se v jednu plochu a tím vytvoří povrch skenovaného předmětu. Přesnost těchto přístrojů je v setinách až desetínách milimetru. Nevýhodou této metody je pomalost a rychlost je závislá na velikosti a složitosti skenovaného objektu, také velkou nevýhodou je nevhodnost pro snímání materiálů

s měkkým či plastickým povrchem. Sonda je totiž přitlačována k povrchu konstantním tlakem. Ale zase velkou výhodou je nízká pořizovací cena a také schopnost snímání děr, úhlů a hřidelí. [3]



Obr. 5. Rozdělení 3D skenerů podle způsobu polohování. [10]



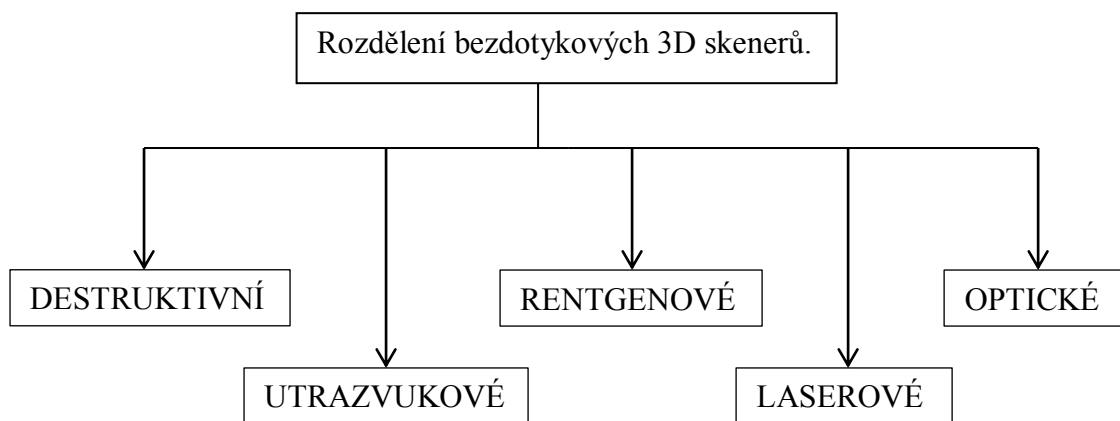
Obr. 6. 3D souřadnicový měřicí přístroj. [8]



Obr. 7. Sonda dotykového přístroje. [9]

2.2 Bezkontaktní skenery

Tahle skupina skenovacích systémů je mnohem obsáhlejší než skupina kontaktních skenerů. Z většiny případů tyto systémy pracují hlavně na optickém nebo laserovém snímání povrchu. Pracují na principu, kdy nevyžadují ke své funkci kontakt s povrchem objektu. Velkou výhodou je rychlost a kvalita dat na výstupu ale také i menší časová náročnost. Pro správnou volbu typu skeneru, musíme dbát na mnoha faktorech, jako je kvalita dat, rychlost a přesnost naskenování objektu. Rozhodující je také velikost a složitost objektu. Velkou nevýhodou u většiny skenerů, bývá lesklý povrch, skenery totiž používá ke sběru dat světlo, problém tedy nastává, když světelný paprsek narazí na lesklý povrch, od kterého se odráží zpět. Rozlišujeme několik typů bezdotykových skenerů. [3]



Obr. 8. Rozdělení bezdotykových 3D skenerů. [3]

2.2.1 Rentgenové skenery

Jsou založeny na principu rentgenového záření, skenery, které patří do technologie řadí se mezi nedestruktivní, fungující na bezkontaktním snímání. Tyhle skenery fungují na stejném principu jako klasické rentgeny používané ve zdravotnictví. Celá technologie skenerů je založena na principu získávání informací o vnitřní geometrii objektů za pomoci rentgenového záření bez porušení objektu. Rozdíl mezi klasickým rentgene používaným ve zdravotnictví je, že intenzita záření je mnohem vyšší. Tahle technologie bývá často zaměnitelná s defektoskopií, která slouží k odhalení skrytých vnitřních vad materiálu. Velkou výhodou tedy těchto skenerů je možnost snímat i vnitřní objekty bez nutnosti

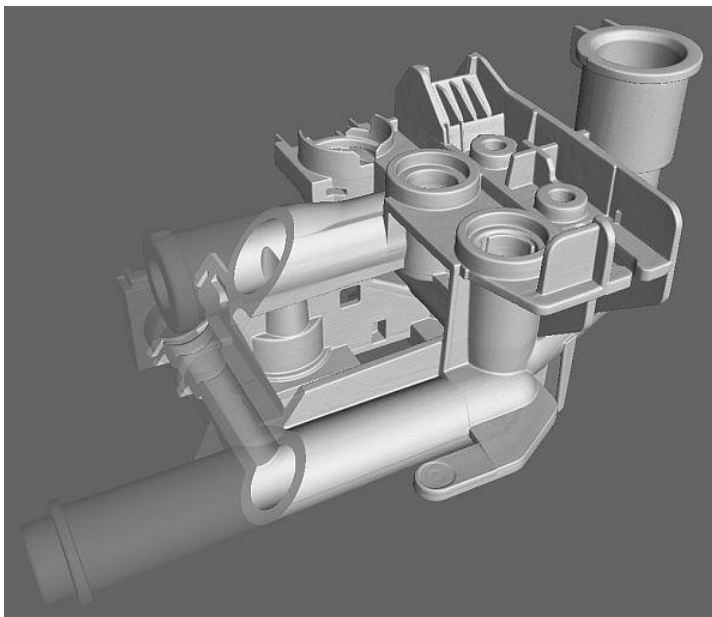
porušení objektu, oproti destruktivnímu skeneru, jedinou nevýhodou je, že skener nedokáže zachytit barvu objektu. Využívá se většinou při kontrole uzavřených objektů. [3]

Zařízení mohou být:

- MOBILNÍ (kontrola potrubí, uzavřených nádob, kotlů a další).
- KOMBINOVANÉ (kombinace se zařízením CT – Computed Tomography neboli počítačové tomografie). [14]



Obr. 9. Tvarově složitá součást. [12]



Obr. 10. Tvarově složitá součást digitalizovaná jako mračno bodů pomocí RTG snímání. [12]

2.2.2 Ultrazvukové skenery

Způsob 3D digitalizace funguje na principu bezkontaktního snímání povrchu objektu pomocí ultrazvukové sondy. Skener je založen na detekci odražené ultrazvukové vlny od skenovaného objektu. Skenování se provádí pomocí ultrazvukové sondy ve tvaru pistole s kovovým hrotem, manuálně, který se přiloží na povrch skenovaného objektu a stiskne spoušť. Následně je vyslán ultrazvukový signál, odraz je detekován ultrazvukovým čidlem do prostorových souřadnic zpracované softwarem, tyto souřadnice pak lze vkládat do CAD systémů. Velikou výhodou oproti jiným skenerům je nižší pořizovací cena. Nevýhodou může být malá přesnost pohybující se kolem (0,3 – 0,5 mm). Jedná se o nedestruktivní metodu. Využívají se ve filmech, lékařství, kontroly svarů, animace a další. [14, 15, 3]



Obr. 11. Ultrazvukový skener Mini Scanner. [13]

2.2.3 Destruktivní skenery

Jsou skenery, které během svého skenování zničí skenovaný objekt, tenhle typ skenerů není až tak rozšířen. Dochází zde k nevratné destrukci objektu což je mnohdy nepřijatelné. Jsou mnohdy vhodné pro složité vnitřní struktury objektu, které jsme schopni touthle metodou zaznamenat. Před skenováním je potřebné objekt připravit, kdy je do dutin objektu vpravena kontrastní látka, následně je umístěna do podtlakové komory k odsátí přebytečného vzduchu. Objekt je následně umístěn do skenovacího zařízení, kde se připevní k frézovacímu stolu. Skenování nastane až po odfrézování tenké vrstvy materiálu z bloku. Takhle vzniklý povrch se opticky nebo laserově naskenuje a odešle k softwarovému zpracování. Výsledná přesnost je určena tloušťkou odebíraných vrstev.

Posledním krokem je transformace 2D nasnímaných dat jednotlivých vrstev do 3D modelu. Velkou výhodou je, že dokáže digitalizovat i vnitřní části objektů. Ale za to velkou nevýhodou je nevratná deformace a zničení celého objektu. [14, 3]

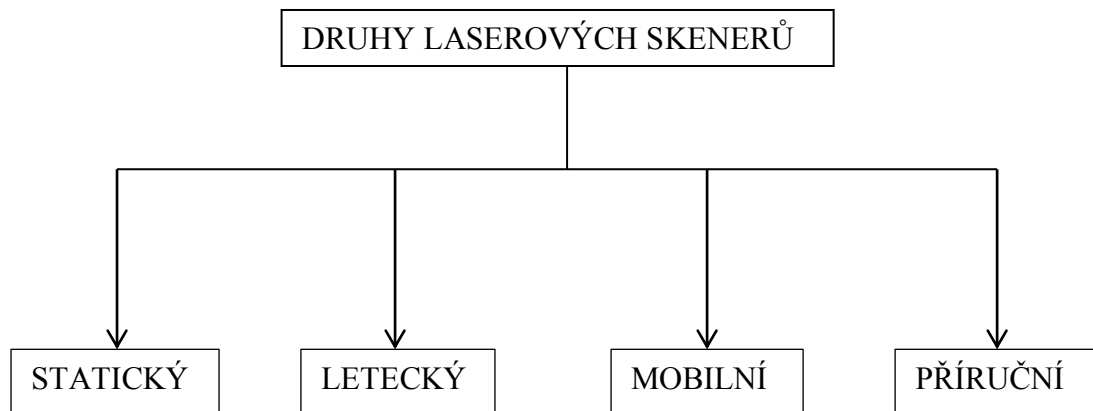


Obr. 12. Destruktivní skener RE 1000. [15]

2.2.4 Laserové skenery

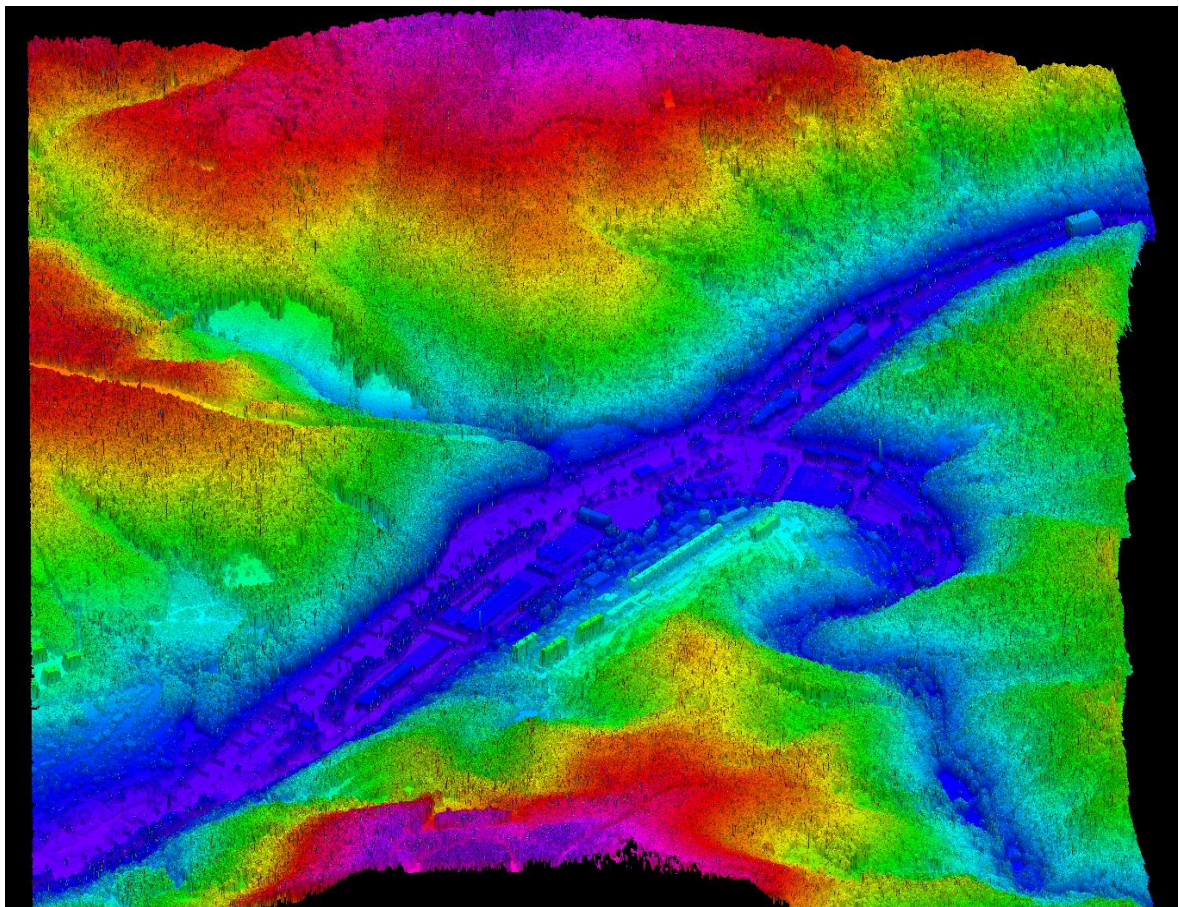
Princip je založen na vlastnostech laserového paprsku. Jedná se o aktivní metody digitalizace. Skenování je založeno na odrazu a návratu laserového paprsku, který je kolmo vyslán ze skeneru na plochu skenovaného objektu. Vyhodnocením času letu (doba, která uplyne od vyslání do návratu paprsku), úhlem dopadu nebo fázového posunutí, získáme pomocí softwaru, který vypočítá přesné informace o poloze, rozměru a zakřivení bodu. Tímto způsobem dostaneme informace o tvaru povrchu objektu. Kvalita 3D digitálního modelu je dána hustotou laserového pokrytí plochy snímaného objektu. Výstupem je soubor dat o polygonech definující geometrii tělesa skenovaného objektu. Výhodou těchto skenerů oproti optickým je, že nemají problém s rozpoznáním neprůchozích otvorů, výstupků a prohlubní. Velkou výhodou je také nenáročnost na obsluhu a vysoká přesnost skenování. Pokud vyžadujeme texturu povrchu objektu je nutné přidat snímač CCD/CMOS, který snímá barvu povrchu, která se propojí s naskenovaným 3D modelem, který lze pak dále exportovat do dalšího softwaru ve formátech STL, IGES, 3DS a další. Rozlišení digitalizovaného 3D modelu se pohybuje v rámci od desetin až po tisíce

milimetru. Problémem může být lesklý povrch, který se musí v případě potřeby ošetřit nanesením speciálního nátěru pro zmatnění povrchu. [14, 15, 3]



Obr. 13. Druhy skenerů podle možnosti použití. [16]

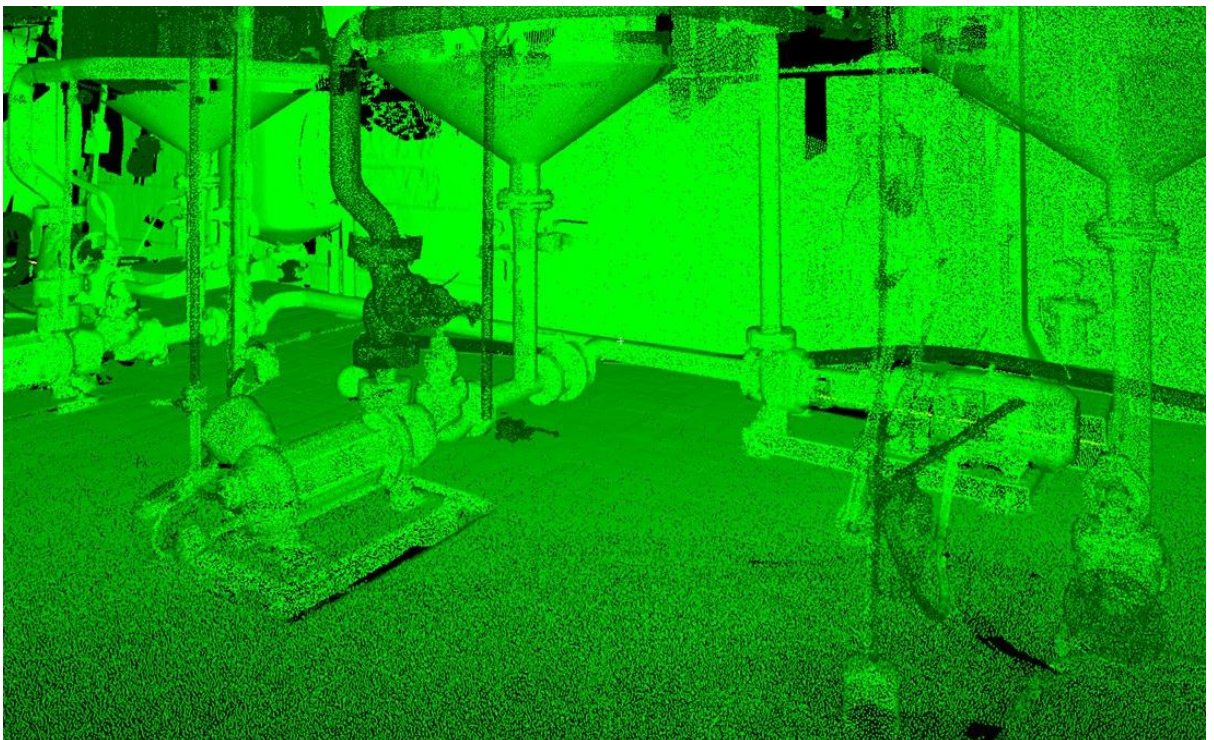
- STATICKÝ (podzemní) – na stativu
- PŘÍRUČNÍ - možnost manipulace v rukou
- LETECKÝ - nesený letadlem nebo vrtulníkem (skenování zemského povrchu)
- MOBILNÍ – nesený lodí nebo automobilem (skenování okolí) [16]



Obr. 14. Digitální 3D model laserového leteckého skenování. [17]



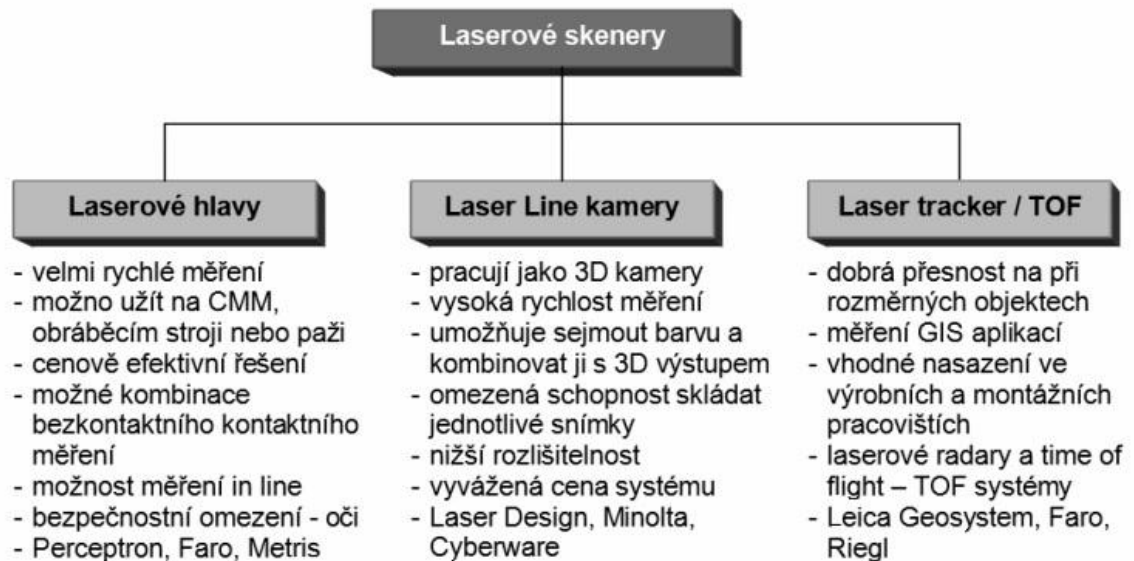
Obr. 15. Reálný stav před naskenováním. [7]



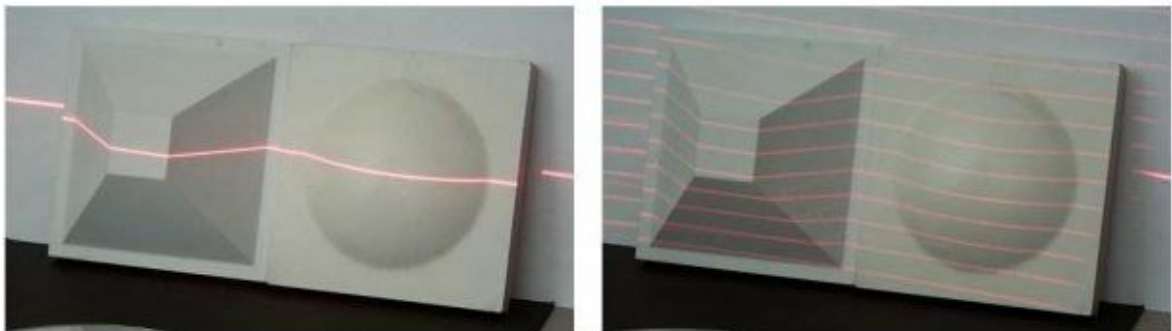
Obr. 16. 3D model po naskenování jako mrak bodů. [7]

3D laserové skenery mají široké využití v praxi ale jejich cena je mnohem vyšší než ostatních typů skenerů. Výhodou je samozřejmě jejich mobilita s možností napájení přes baterii. Výstupní 3D modely objektů z laserových skenerů můžeme duplikovat bez velkých úprav geometrie. Rychlost skenování je dána dobou expozice a rychlostí čtení dat ze

senzoru. Skenerem se dá získat obrovské množství bodů, které se následně filtrují na trojúhelníkovou síť. Síť se dá použít pro pevnostní výpočty. Pro vyšší přesnost je paprsek je laserový svazek rozmitán pomocí zrcadel. Podle konstrukce hlavy, může hlava obsahovat více zdrojů laserových svazků a lze tak snímat ve více rovinách. Laserové skenování bývá často využíváno reverzním inženýrství. [14, 15]



Obr. 17. Rozdělení laserových skenerů. [14]



Obr. 18. Různé typy laserového snímání. [14]

2.2.5 Optické skenery

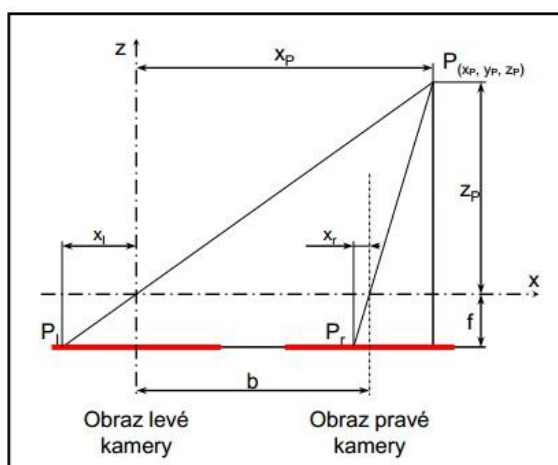
Principem těchto skenerů je bezdotykové snímání objektů z několika různých úhlů pomocí optického zařízení. Natačení objektu je lépe provádět ručně na otočném stole nebo polohovacím zařízením s krokovým motorkem řízeného PC. Při každém natočení se objekt naskenuje, neboli vyfotí jednou nebo dvěma digitálními kamerami a data se odešlou do počítače na vyhodnocení dat pomocí softwaru. Po získání všech snímků se vytvoří pomocí

metody zvané aproximace ploch digitalizovaný 3D model. Výpočet je prováděn výkonným počítačem a speciálním softwarem. Celková kvalita 3D zdigitalizovaného objektu je ovlivněna počtem naskenovaných snímků a také pozadím, která by mělo být jednobarevné a co nejvíce kontrastní se skenovaným objektem. Bylo by potom složité oddělit objekt od pozadí. Před skenováním je vhodné na skenovaný objekt umístit body pro lepší zaměření.

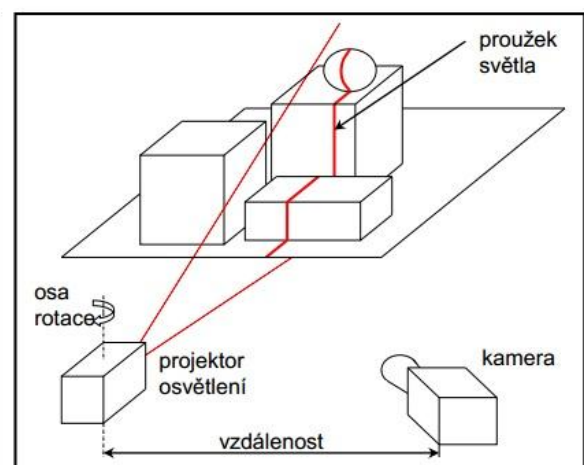
Snímání povrchu může nastat dvěma způsoby, buďto kamerou nebo fotoaparátem. [14, 15]

- KAMERA – objekt je nasvícen a pomocí pruhového projektoru se vysílají pruhy, které kopírují povrch objektu a zároveň jsou snímány kamerou. Povrch je tedy rozpoznávám pomocí těchto pruhů a nalepených značek.
- FOTOAPARÁT – objekt je nafocen z několika různých stran a za pomoci nalepených značek jsou systémem poskládány fotografie do 3D prostorového zobrazení. Vzdálenost nafocených bodů je určena měrkou, která rozpoznává vzdálenosti těchto bodů. Kvalita je závislá na počtu fotografií. [14, 15]

• stereovidění



• projekce proužků světla



Obr. 19. Základní principy optického skenování [11]

Výhodou těchto zařízení je, že nám dokáží podat informace o povrchu objektu neboli jeho textuře získaná na 2D snímcích (fotografií), které není potřeba uměle vytvářet, také jejich vysoká rychlost měření a také nezávislost výsledků na tuhosti a hmotnosti objektu. Export digitálního 3D modelu lze ve formátech STL, IGES, DXF a další. Nevýhodou může být, že systém nedokáže rozpoznat neprůchozí díry jen pouze nepatrné hloubky v povrchu objektu a velká citlivost na vnější vlivy, především okolní světlo. Využitím těchto optických skenerů například při měření deformací, vibrací nebo při statickém nebo dynamickém zatěžování. [14, 15]

Chtěl bych zde i zmínit 3D optický skener ATOS II Triple Scan, jedná se průmyslový mobilní, optický, bezkontaktní 3D skener od firmy GOM. Měření je založené na principu triangulační metody a digitálního image processingu. Má vysokou výkonost a rozlišení, které umožňuje efektivní kontrolu kvality výrobku. Výhodou je, že nedochází ke skreslování souřadnic při změnách okolního světla a není potřebné objekt skenovat po pravidelných úsecích ale je pouze dostačující vytvořit snímky nepravidelné s pomocnými body pro zachycení objektu a systém si sám vyhodnotí přesnou pozici snímků. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech CAD, CAM a FEM kde se vyžaduje měření fyzických objektů a následným srovnáváním s digitálním 3D modelem. Oblastí využití je také reverzní inženýrství nebo prototypová výroba, simulace a kontrola kolizí. [6]



Obr. 20. Optický 3D skener ATOS II Triple Scan. [6]



Obr. 21. Skenovací hlava ATOS II Triple Scan. [6]

3 RAPID PROTOTYPING

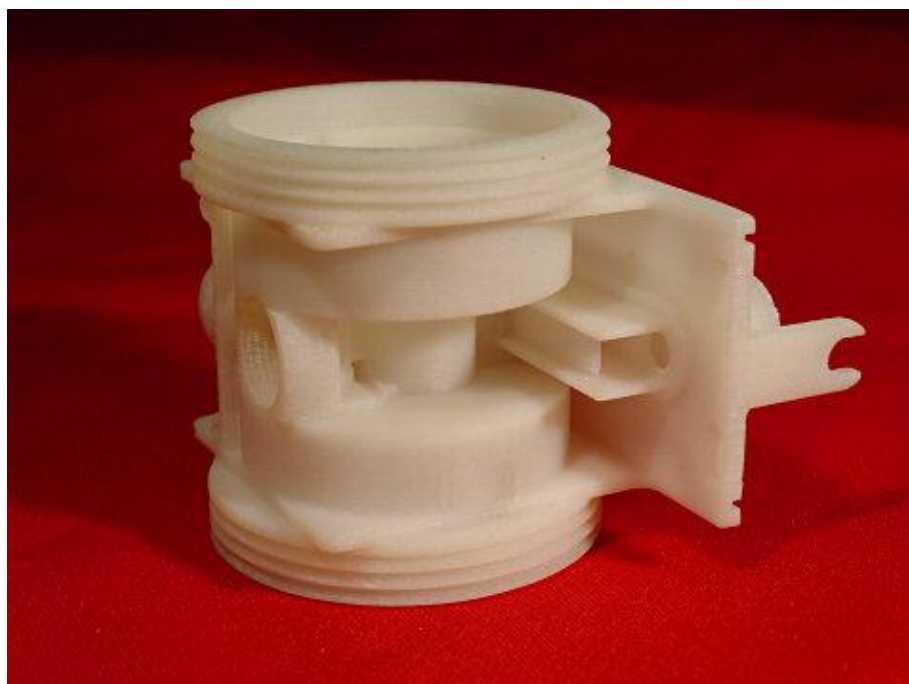
Rapid Prototyping (RP) je technologie, která umožňuje vytvářet vnitřní a vnější tvary objektu. Slouží k vytváření platových a kovových modelů nebo prototypů (např. formy prototypové, nástroje). Pro vytvoření fyzického modelu, musí vstupní data obsahovat úplné informace o geometrii tělesa. RP patří k moderním trendům ve výrobě. Velkou výhodou je rychlost a efektivnost výroby přesných prototypových dílů. [18]

Hlavním cílem je:

- Úspora výrobních nákladů.
- Úspor času.
- Přímou výrobu kompletního objektu.
- Rychlé zavedení výrobku na trh.

Výhodou tvorby prototypů je:

- Ověření vyrobiteľnosti.
- Posouzení funkčnosti.
- Nalezení chyb ve výrobní dokumentaci.
- Výroba různých konstrukčních variant.
- Jako předloha pro zákazníka.



Obr. 22. Součást vyrobená pomocí Rapid Prototyping [13]

Tab. 1. Rozdělení materiálu, technologií a typů formování [19]

Podoba výchozího materiálu	RP nebo (AM) aditivní výroba	Druh materiálu	Proces formování vrstev	Způsob nanášení
KAPALNÝ POLYMER	SL	Fotopolymer	Laserové vytvrzování	Pohybující se bod
	MPSL	Fotopolymer	Laserové vytvrzování	Široká vrstva
PRÁŠEK	SLS	Polymery, kovy	Laserové tavení nebo slinování	Pohybující se bod
	3DP	Polymerní prášek	Nanášení kapiček na základnu pracovní hlavou	Pohybující se čára
KOVOVÝ MATERIÁL	FDM	Polymery, vosk	Vytlačovací hlavou	Pohybující se bod
	DDM	Polymery, vosk, kovy s nízkým bodem tavení	Nanášení kapiček na základnu pracovní hlavou	Pohybující se čára nebo bod
PEVNÉ LISTY	LOM	Polymer nebo papír	Laserem nebo nožem	Pohybující se bod

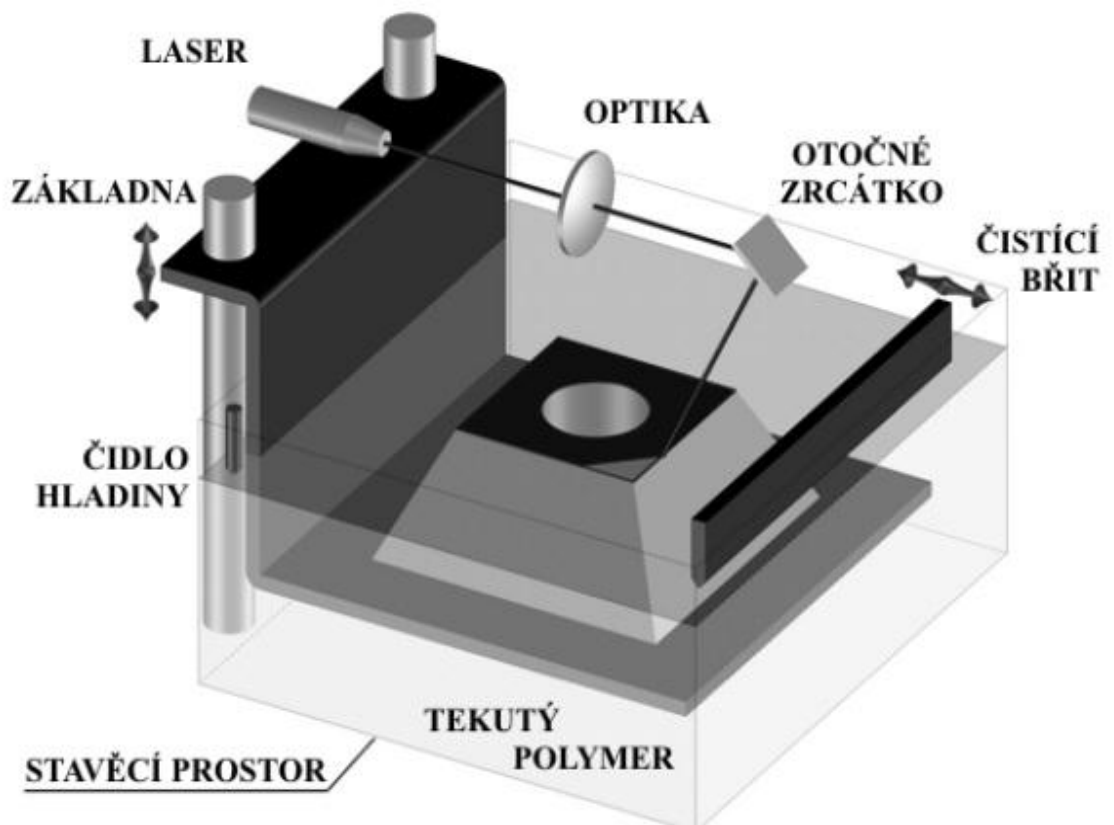
Použité zkratky:

- SL – StereoLithography
- MPSL – Mask Projection Stereolithography
- SLS – Selective Laser Sintering
- 3DP – Three Dimensional Printing
- FDM – Fused Deposition Modeling
- DDM – Droplet Deposition Manufacturing
- LOM – Laminated Object Manufacturing [19]

Rapid Prototyping je určitá skupina technologií pro nejrychlejší výrobu prototypových objektů, která mohou mít i mechanické vlastnosti a jsou hodně podobné finálnímu výrobku a někdy můžou dokonce i nahradit výrobek samotný (jen ve specifických případech). [19]

3.1 Stereolitografie (SL)

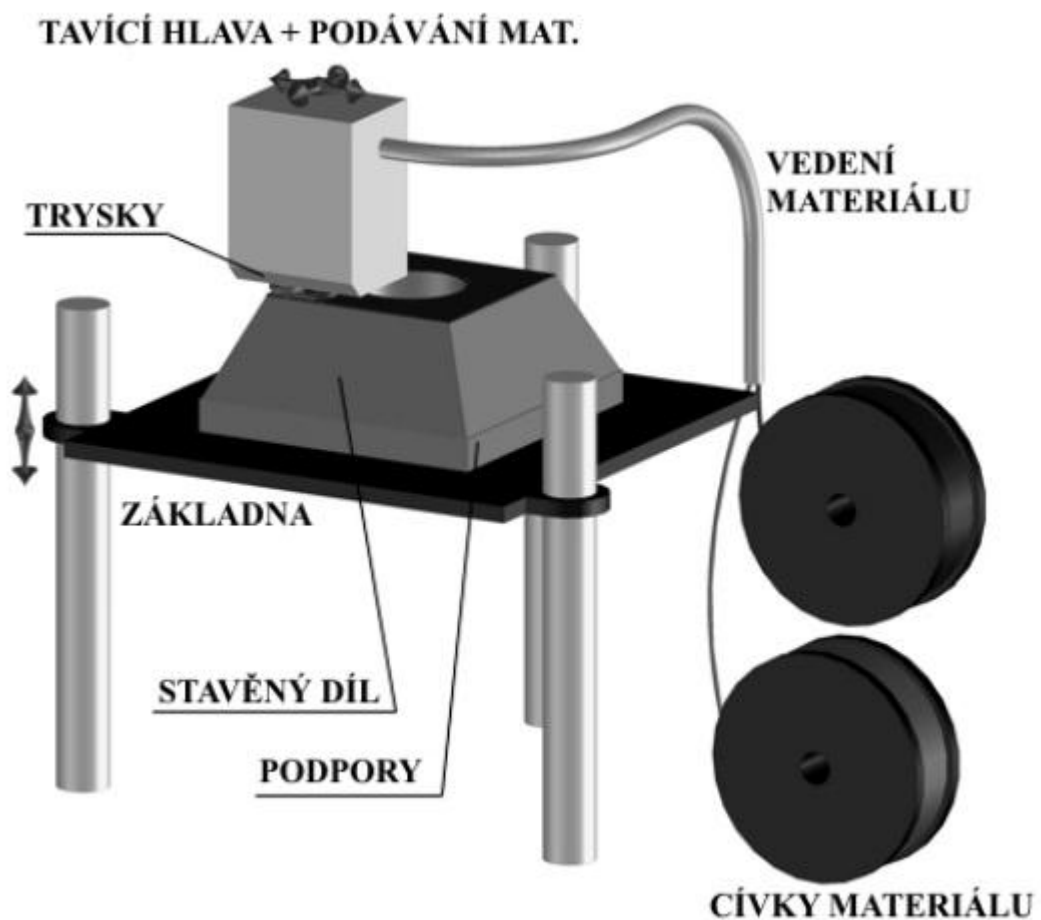
SL je jednou z nejstarších technologií RP, široká možnost použití materiálů a velká přesnost tvorby prototypů. Jedná se o přesnou metodu, při které se vytváří model objektu postupným vytvrzováním fotopolymeru (plastická hmota citlivá na světlo) pomocí UV laseru, který je na základě dat přijatých z počítače zaměřován. Objekt je vytvářen na nosné desce, která se nachází pod hladinou polymeru. Tvarováním tekutého polymeru po vrstvách vzniká trojrozměrný objekt. Objekty lze použít pro vizuální kontrolu návrhu výrobku a někdy i k funkčním zkouškám. Nevýhodou může být pomalý proces vytvrzení polymeru a někdy i malá odolnost, zaleží na použitém materiálu. Tahle technologie si dokáže poradit s milimetrovými otvory nebo miniaturními prvky, jde o velmi přesný 3D tisk objektů. [3, 10]



Obr. 23. Princip technologie Stereolitografie - Rapid Prototyping [10]

3.2 Fused Deposition Modeling (FDM)

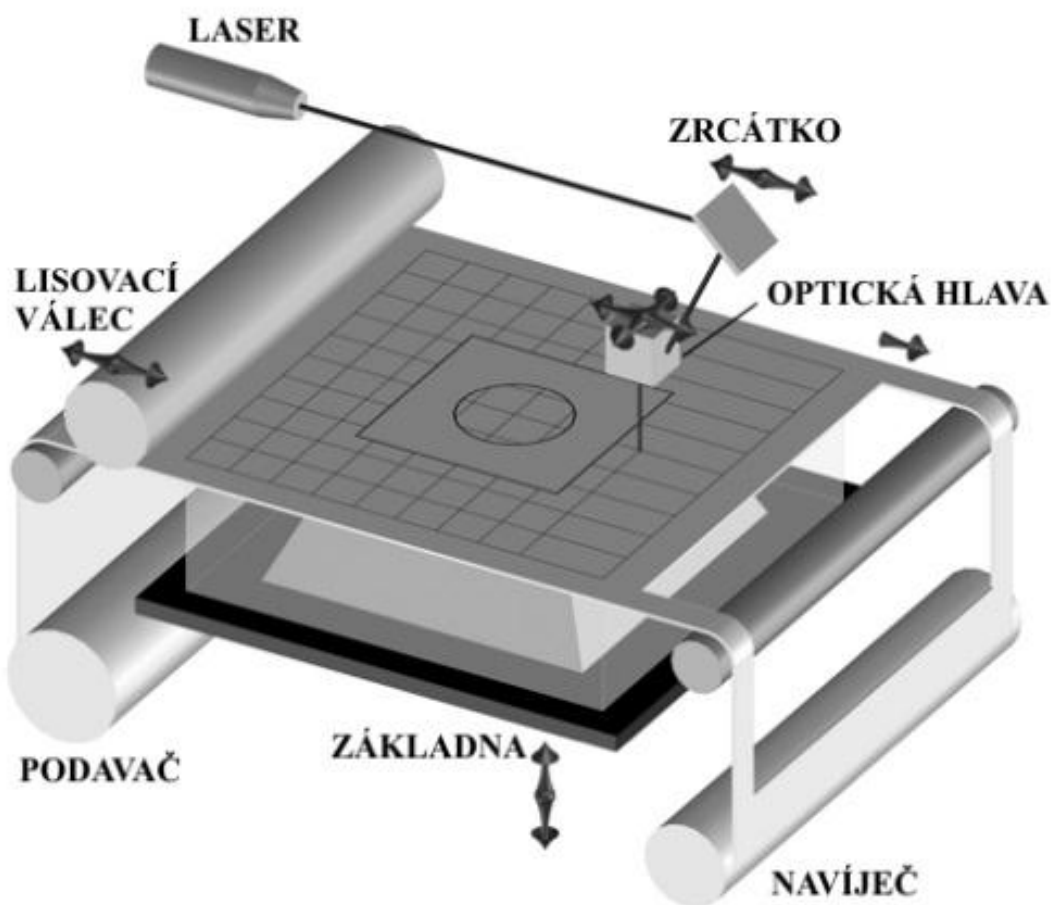
Vrstvy jsou vytvářeny postupným nanášením roztaveného materiálu. Materiál je většinou z netoxických termoplastů (PE, ABS, aj.) nebo z vosku. Materiál je ve formě tenkého vlákna, které vychází z vyhříváné trysky pohybující se v souřadnicích X, Y nad pracovním stolem. Po každém styku s povrchem vytvářeného objektu se vlákna spojují a vytváří tak tenkou vrstvu, která ihned tuhne. Po nanesení vrstvy se vždy základna sníží o hloubku této vrstvy. Pro přečnívající části objektu je nutné postavit podpurnou konstrukci. Zařízení mohou být využívána i v běžném prostředí díky netoxicitě materiálů. Touto metodou lze vyrábět součástky z polyamidu, polyetylénu nebo vosku. Na principu FDM pracuje většina 3D tiskáren. Využívá se pro pevné, tvarově stálé mechanické modely a modely bez požadavku na kvalitu povrchu. [3, 10]



Obr. 24. Princip technologie Fused Deposition Modeling - Rapid Prototyping [10]

3.3 Laminated Object Manufacturing (LOM)

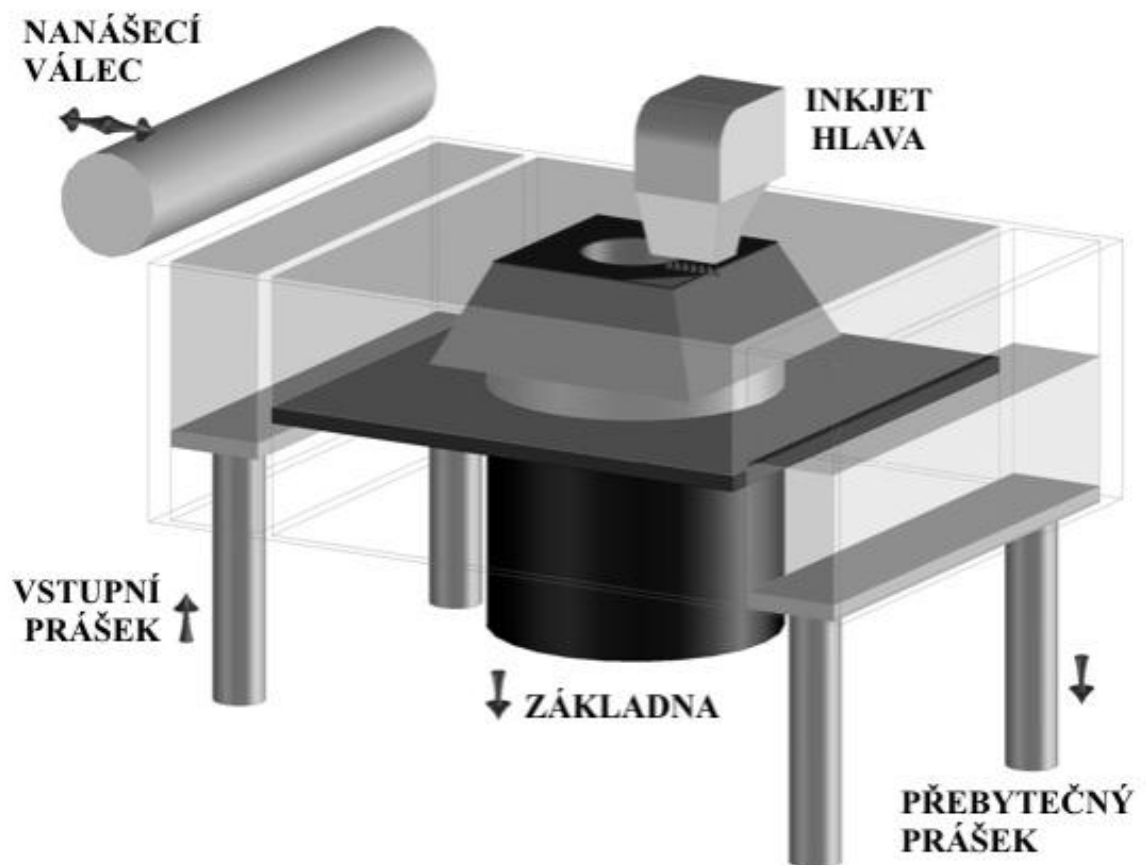
Technologie výroby prototypů laminováním, kdy se model sestavuje z plastových folií nebo z vrstev papíru napuštěných zpevňujícími hmotou. Tvar je docílen vyřiznutím pomocí laseru. Objekt je vytvářen na svisle se pohybující podložce. Proces modelování je založen na tom, že se na nanesenou a vyřezanou vrstvu natáhne papírová folie opatřená vrstvou adhezivního materiálu, všechny tyto vrstvy se k sobě přitlačí pomocí vyhřívaných válců, čímž dojde ke slepení všech vrstev. Paprskem je následně vyřezán požadovaný obrys. Přebytečná vrstva je laserem rozdělena na čtverce a potom mechanicky odstraněna. Není zde potřeba vytvoření podpor pro vyčnívající části, jen potřeba odstranění přebytečného materiálu. Modely jsou často využívány pro vizuální prezentace nebo výrobu velkých modelů. Výhodou je rychlost vytváření prototypů a možností použití materiálů. Nevýhodou může být velké množství odpadu a pevnost je dána použitým pojivem mezi materiály. [3, 10]



Obr. 25. Princip technologie Laminated Object Manufacturing- Rapid Prototyping [10]

3.4 Three Dimensional Printing (3DP)

Jedná se o proces 3D tisku, který kombinuje práškový materiál a pojivo. Proces je započat distribucí prášku na povrch lože. Pomocí technologie podobné SLS jen na místo laserové hlavy, nahrazena nanášecí hlavou, která pomocí trysky nanášecí hlavy, nanáší pojivo pouze na vybraná místa práškového lože, kde se ztí, stane pevná hmota. Lože se vždy sníží o vrstvu nanesení a dojde a k další distribuci prášku. Tenhle proces se opakuje dokola, dokud se nevytvoří požadovaný objekt. Není zde potřeba podpurných konstrukcí pro vyčnívající části, prášek sám o sobě tvoří podpurnou konstrukci. Pro můžeme vytvářet vnitřní dutiny, ze kterých prášek jen vysypeme. Výhodou je rychlá výroba s nízkými náklady na materiál. Jedná se o aditivní metodu výroby (AM). [3, 10]



Obr. 26. Princip technologie Three Dimensional Printing – Additive Methods [10]

3.5 Další metody

- **MPSL** (Mask Projection Stereolithography) – jedná se o aditivní výrobní proces, pomocí laseru, který vytváří vrstvy objektu v tekutého fotopolymeru.
- **SLS** (Selective Laser Sintering) – jedná se o princip zapékání práškového materiálu laserovým paprskem.
- **DDM** (Droplet Deposition Manufacturing) – nanášení roztaveného materiálu ve formě kapiček
- **SGC** - Solid Ground Curing
- **Multi-JET Modelling**
- **EBM** - Electronic Beam Melting [18]

4 SHRNUÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

V této části bych chtěl shrnout teoretickou část práce. V této části jsem se věnoval metodám 3D skenování a také výroby 3D prototypů technologií Rapid Prototyping, jedná se o moderní technologie, kterou využívá reverzní inženýrství ke svému prospěchu. Dále bych chtěl v tomhle navázat v mé teoretické části, ve které znázorním celou podstatu reverzního inženýrství od prvotní fáze přípravy a skenování objektu až po jeho výslednou výrobu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KOLEJNIČKA PRO VLÁČKY

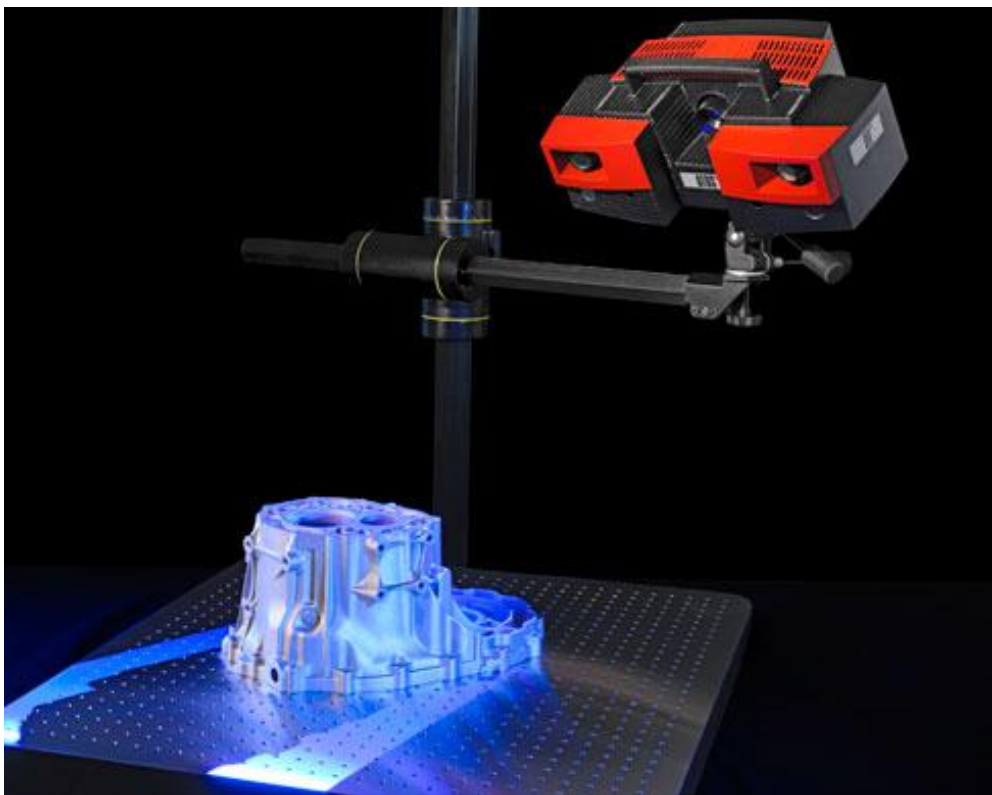
Praktická část bakalářské práce byla zaměřena na výrobu kolejničky podle zadané předlohy, na kterou byly aplikovány principy reverzního inženýrství. Získaný 3D model byl upraven v příslušných programech a nakonec vyroben. V konečné fázi jsem model upravil, v programu Solid Edge ST3 do několika různých variant a znovu vyroben na frézce.



Obr. 27. Fyzický tvar součásti - kolejnička pro vláčky

6 SKENOVACÍ ZAŘÍZENÍ ATOS

ATOS II Triple Scan je zcela nově vyvinutá generace mobilních 3D skenerů, založená na jedinečné technologii. ATOS se používá pro všechny úhly pohledu, díky stereo kamerovému systému, který funguje jako tři senzory v jednom. Skener umožňuje rychlejší, snadnější a také spolehlivější měření. Počet záběrů je také snížen. Jeho vysoká výkonnost, rozlišení a také flexibilita měřících objemů umožňuje kontrolu kvality výrobků „**Quality Control**” díky speciálně vyvinuté optice pro přesné měření. Skenovací hlava může být v kombinaci s robotem řízeným počítačem.



Obr. 28. ATOS triple Scan – skenovací zařízení [20]

ATOS Triple Scan – Blue Light LED technology

- Vyšší přesnost.
- Vyšší rozlišení.
- Rychlejší měření.
- Nová technologie projekce.
- Lepší měření lesklých povrchů.
- Větší rozlišení jemných struktur.
- Skenování složitějších struktur.

Tab. 2. Technické parametry ATOS II Triple Scan

TECHNICKÁ DATA	
	Atos II Triple Scan
Fotoaparáty pixely	2 x 5 000 000
Měřicí plocha	38 x 29 (2000 x 1500 mm ²)
Rozteč bodů	0,02 – 0,79 mm
Pracovní vzdálenost	490 - 2000 mm
Software	sběr dat, zpracování a kompletní kontrola
Materiál a povrchová úprava součástí	měření lesklých, tmavých ploch a geometricky složitých součástí
Okolní osvětlení	nízká citlivost na osvětlení okolního prostředí

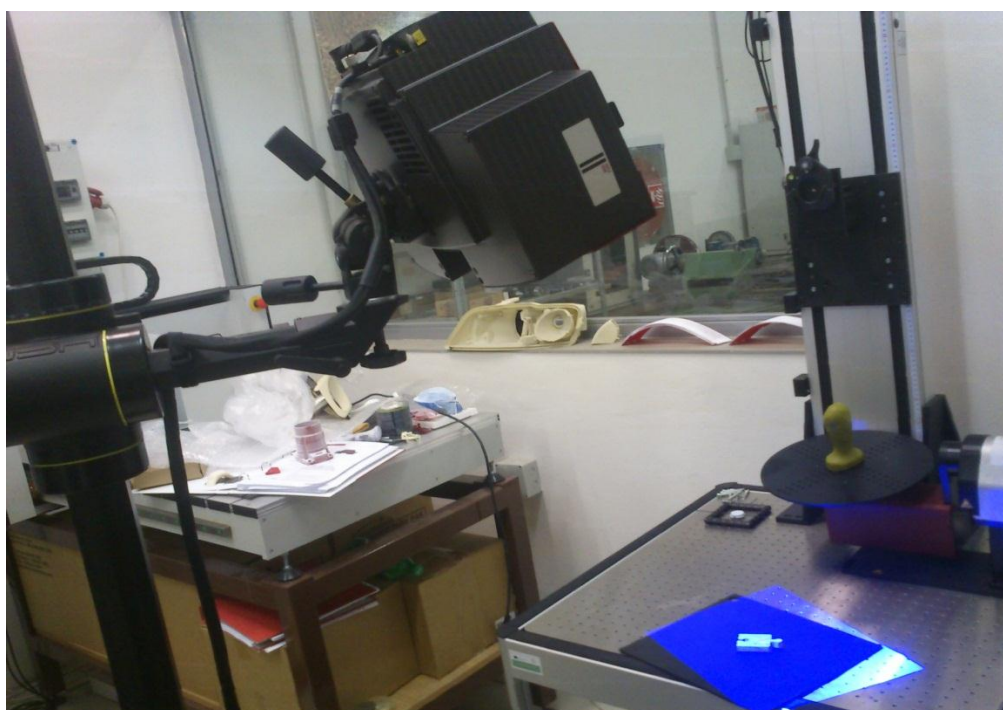
6.1 Skenování součástí

Jako první krokem bylo získat 3D digitální model skenované fyzické součásti, kolejničky pro vláčky. Bylo použito zařízení ATOS II Triple Scan. Pro lepší zaměření součásti přístrojem, bylo potřeba nalepení reflexních bodů po celém tvaru součásti.



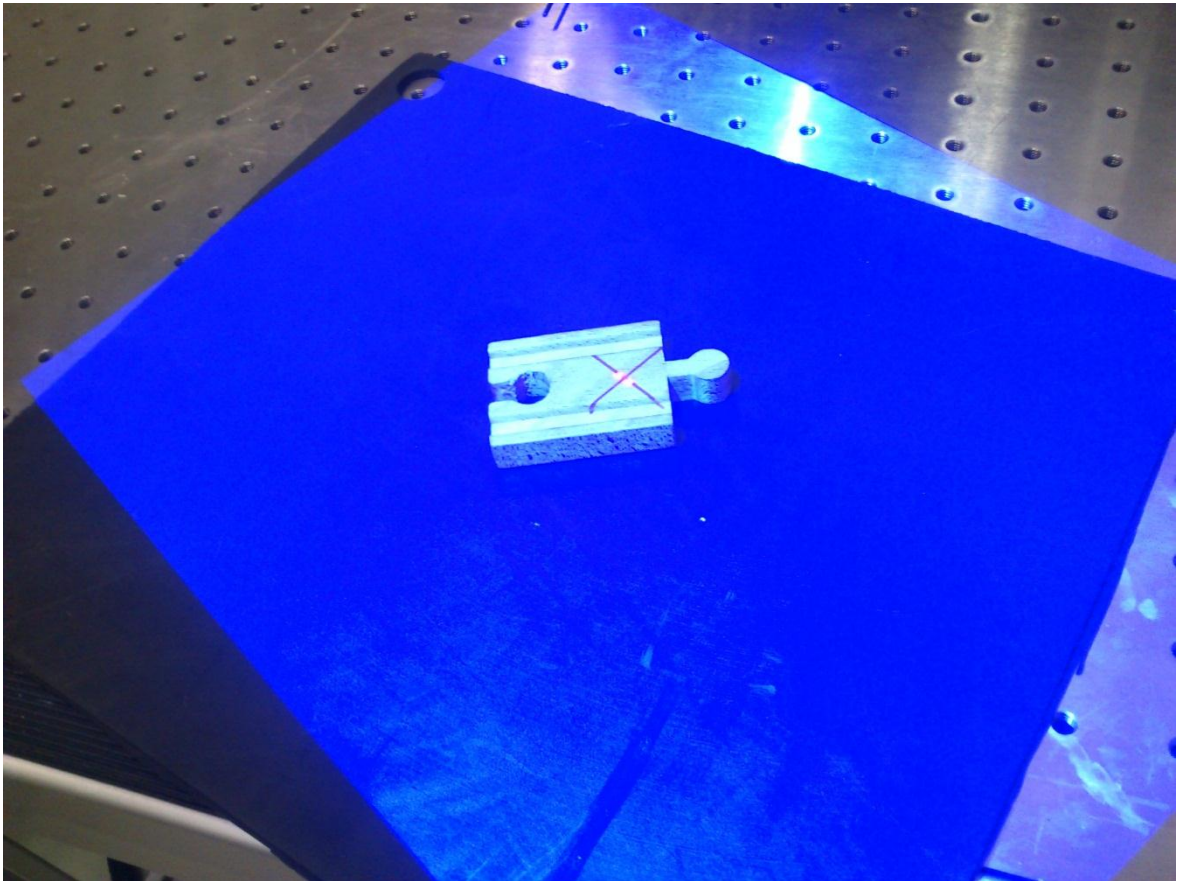
Obr. 29. Kolejnička – nalepení reflexních bodů

Takhle připravenou součást jsme schopni už skenovat. Po správném nastavení přístroje může začít proces skenování a snímání fyzického tvaru kolejničky.



Obr. 30. ATOS II Triple Scan – skenování součásti

Součást je položena na černé podložce, která se jevila jako vhodný podklad. ATOS je vybaven technologií „**Blue Light Technology**” neboli technologie modrého světla. Jedná se o úzkopásmové modré světlo, díky kterému je přístroj schopen skenovat dané součásti, nezávisle na světelných podmínkách prostředí.



Obr. 31. ATOS II Triple Scan – detailní pohled skenování součásti



Obr. 32. ATOS II Triple Scan – pohled z kamery přístroje

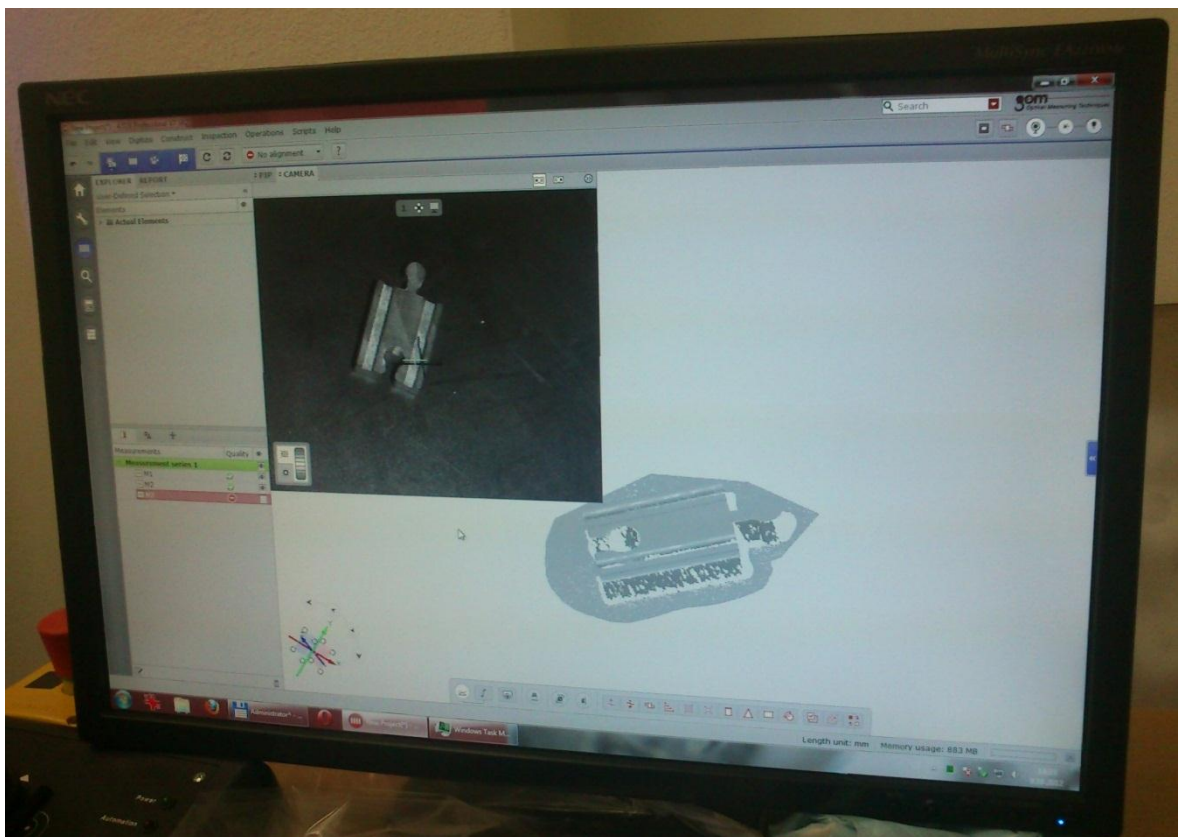
6.2 GOM Inspect Professional

Program GOM Inspect Professional je software pro vyhodnocování a zpracování 3D dat a pro rozměrovou analýzu 3D mračna bodů. Může být používán různými typy měřících systémů, jako jsou laserové skenery, počítačová tomografie, projekční skenery a další.



Obr. 33. GOM Inspect Professional – logo softwaru [21]

Všechny data ze skenovací hlavy byly převáděny do programu GOM Inspect Professional, kde byl průběžným skenováním součásti vytvářen digitální 3D model kolejničky.

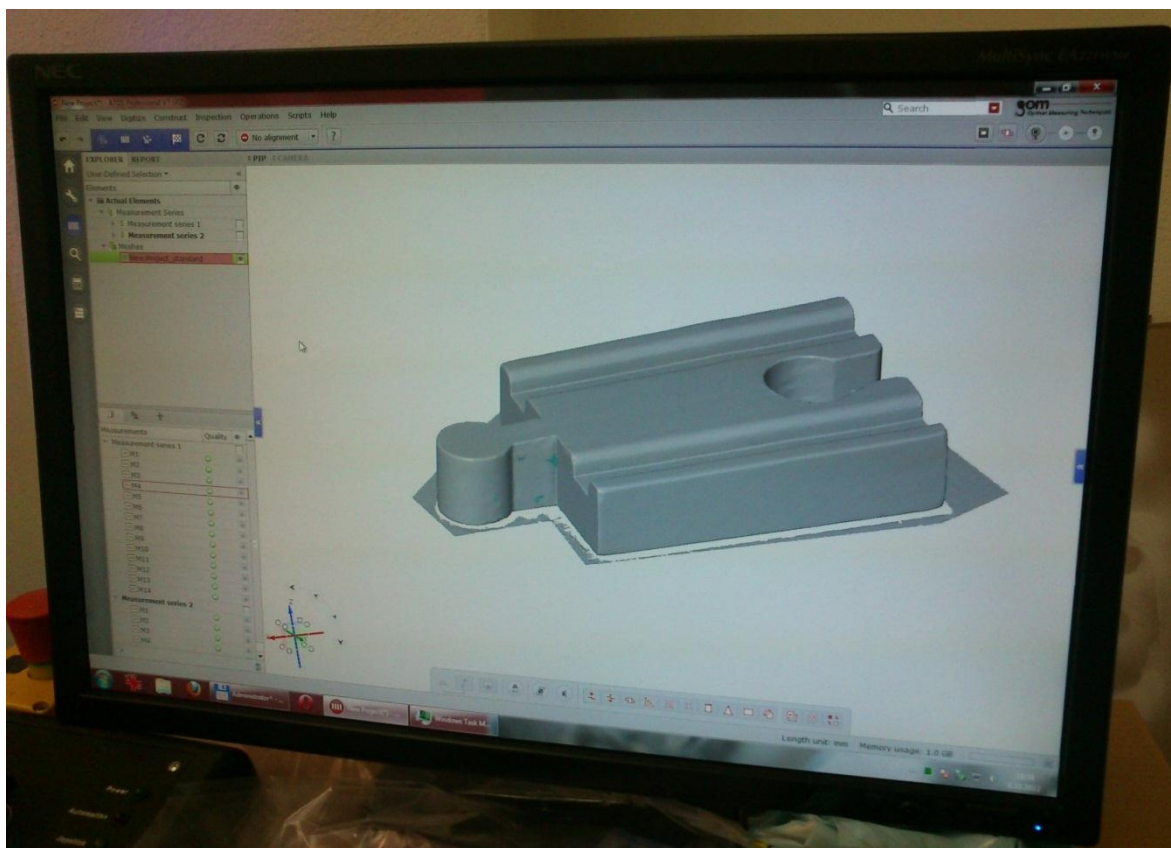


Obr. 34. GOM Inspect Professional – prvotní tvorba 3D modelu



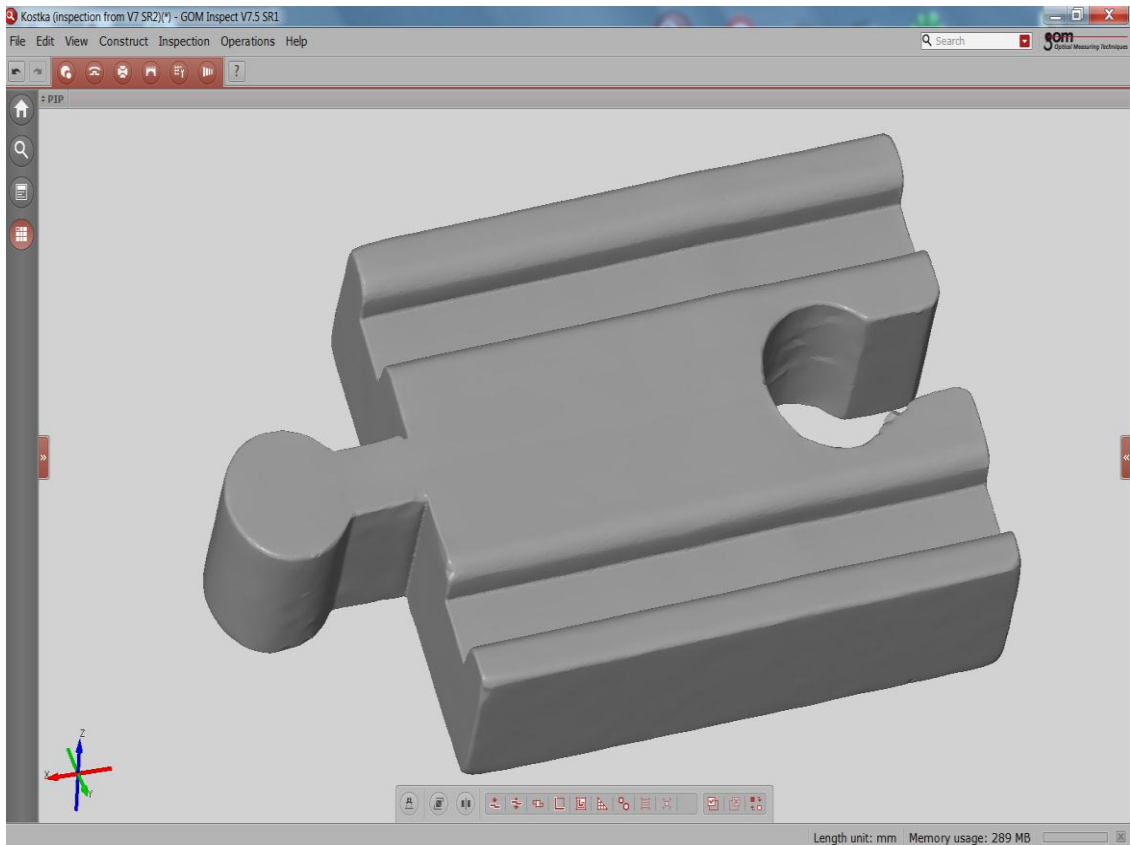
Obr. 35. GOM Inspect Professional – prvotní tvorba 3D modelu, detailní pohled

Čím více byla kolejnička skenována z různých pohledů, tím lepší jsme dostávaly digitální výstup.



Obr. 36. GOM Inspect Professional – 3D model kolejničky, konečná fáze

Výsledný 3D model se musel upravit, jednalo se o odstranění přesahujících částí vzniklé naskenováním podložky, šumu vzniklého při skenování a také vyplnění vzniklých chyb, děr na modelu.



Obr. 37. GOM Inspect Professional – výsledný 3D digitální model kolejničky

Výslednou kolejničku převedenou z fyzického tvaru do digitálního modelu a po aplikaci dokončovacích příkazů, byla uložena jako polygonální síť ve formátu STL. Formát STL je podporován mnoha softwary. Jedná se o soubor, který popisuje geometrii povrchu trojrozměrného objektu.

7 CATIA V5 R18

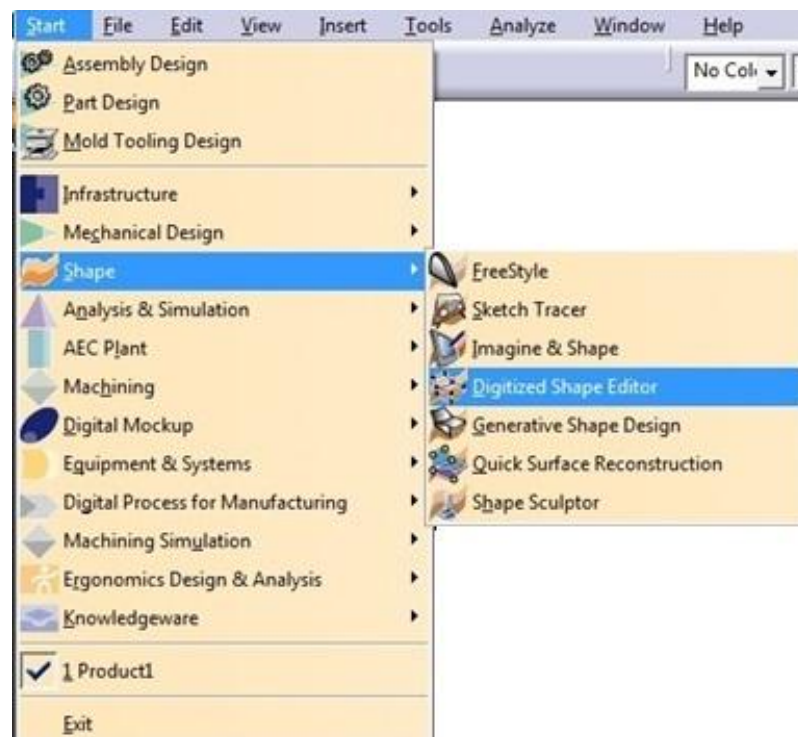
Další realizace probíhala v programu CATIA V5 R18. Jedná se o software pro 3D počítačové konstruování a výroby v oblastech CAD/CAM/CAE technologií. CATIA byla vyvinuta francouzskou firmou Dassault Systèmes, využívána hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu.




Obr. 38. CATIA – logo softwaru [23]

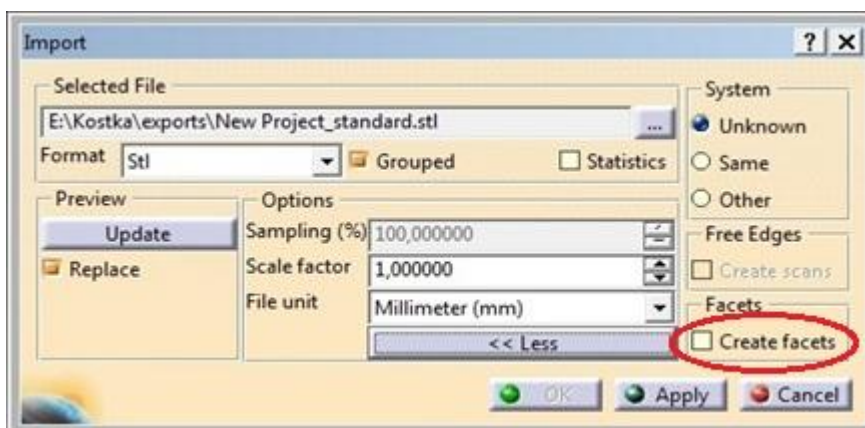
7.1 Postup zpracování bodů

Po zapnutí softwaru CATIA V5 R18 jsme se přepnuli do modulu „*Digitized Shape Editor*” v sekci „*Shape*”.



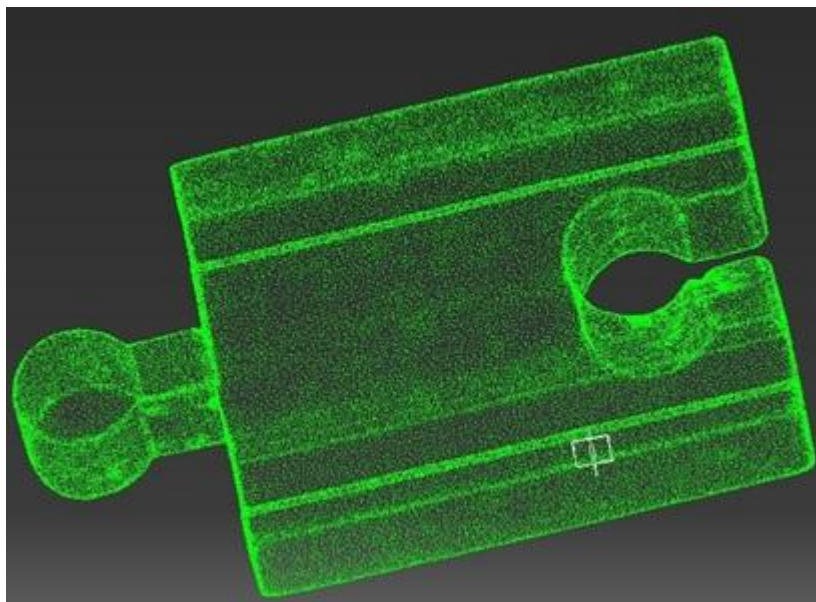
Obr. 39. Shape – modul Digitized Shape Editor

V pracovním prostředí modulu „*Digitized Shape Editor*“ vybereme v panelu „*Could Import*“ příkaz „*Import*“  zde musíme vybrat příslušný soubor ve formátu STL. Vhodné je nezatrhnout příkaz „*Create Facets*“ vloží nám příslušný soubor jako mračno bodů, pokud bychom daný příkaz měli zaškrtnutý, soubor by byl vložen jako plošný objekt bez objemu.




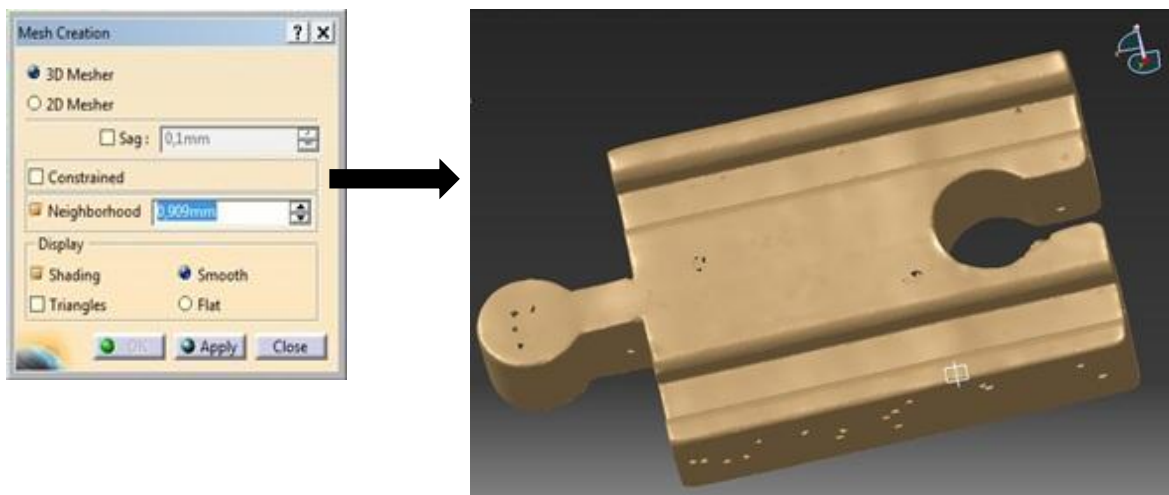
Obr. 40. Okno příkazu – Import

Po importování souboru ve formátu STL se nám zobrazí daný soubor jako mračno bodů.




Obr. 41. Importovaný model ve formě mračna bodů

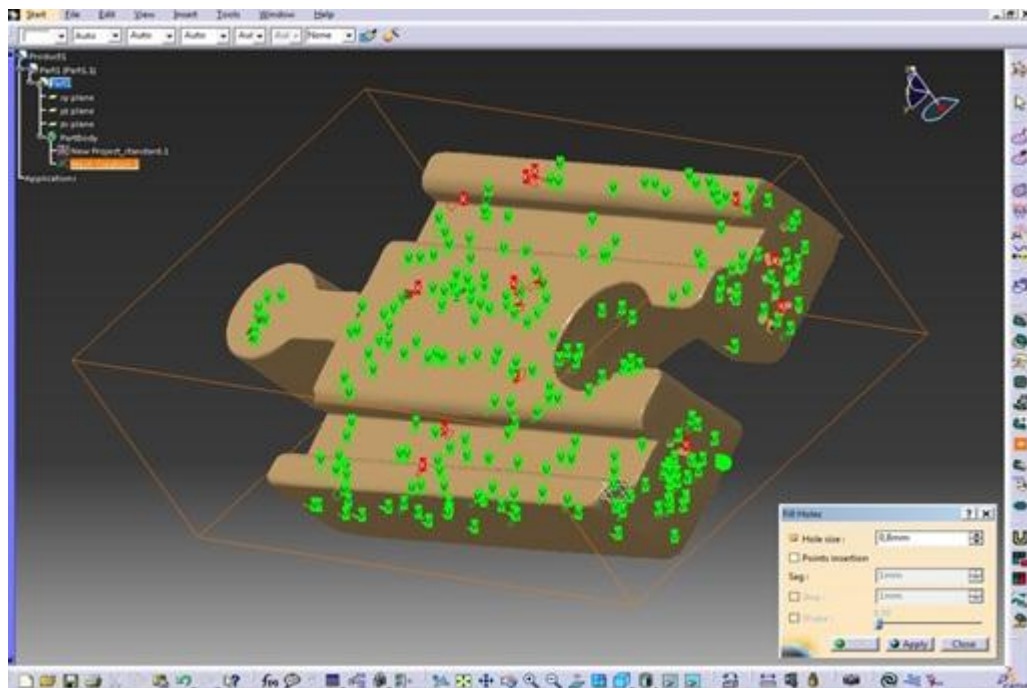
Dále bylo potřeba vytvořit 3D síť. V panelu „*Mesh*“ musíme vybrat příkaz „*Mesh Creation*“  z bodů následně vytvoří 3D síť.



Obr. 42. Vytvořená 3D síť pomocí příkazu Mesh Creation

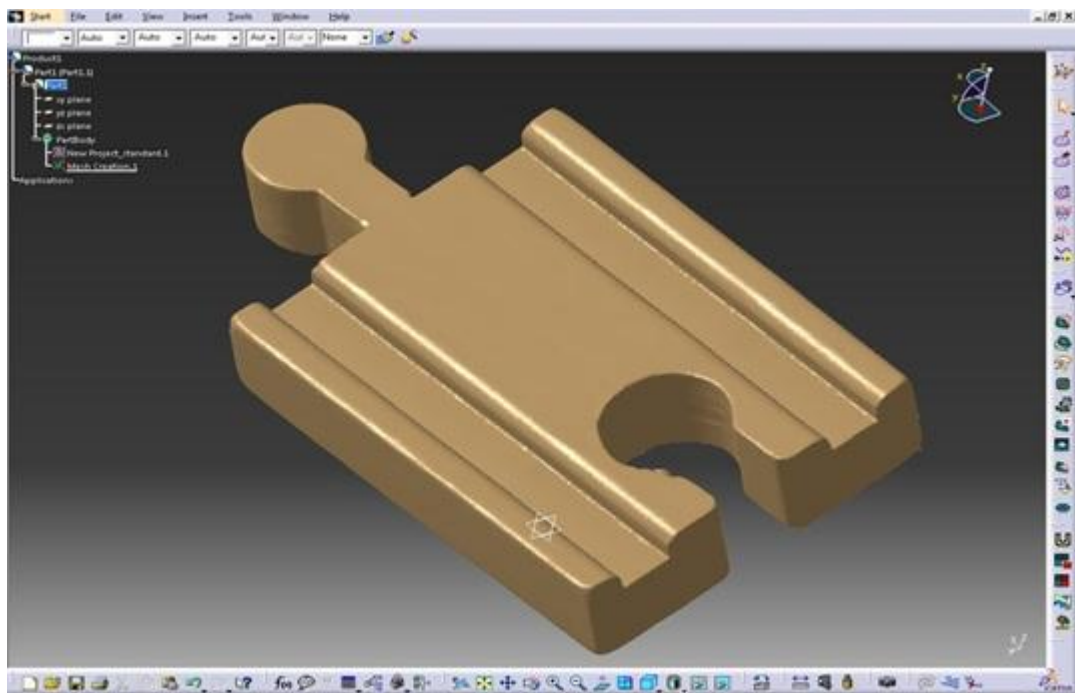
Vznikla nám neúplná 3D síť, opět v panelu „Mesh“ vybereme příkaz „Fill Holes“ .

Pomocí kterého zaelíme vzniklou, neúplnou 3D síť. Po spuštění příkazu musíme v kolonce „Hole Size“ nastavit velikost děr, které vznikli při vytvoření 3D sítě a mají se zacelit.



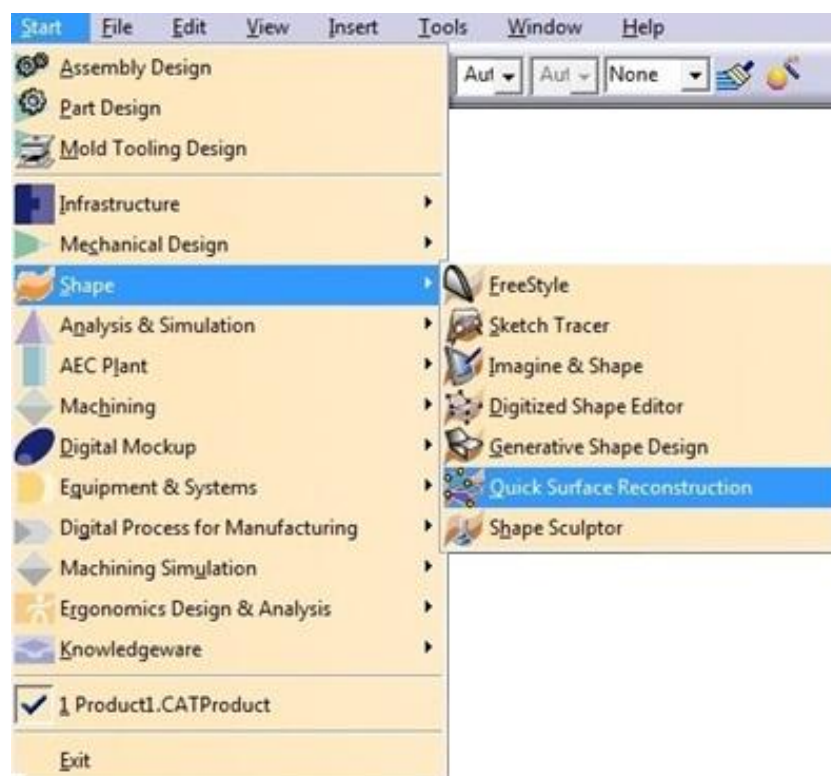
Obr. 43. Vyplnění děr v 3D síti

Po aplikaci všech příkazů se nám ucelila 3D síť.




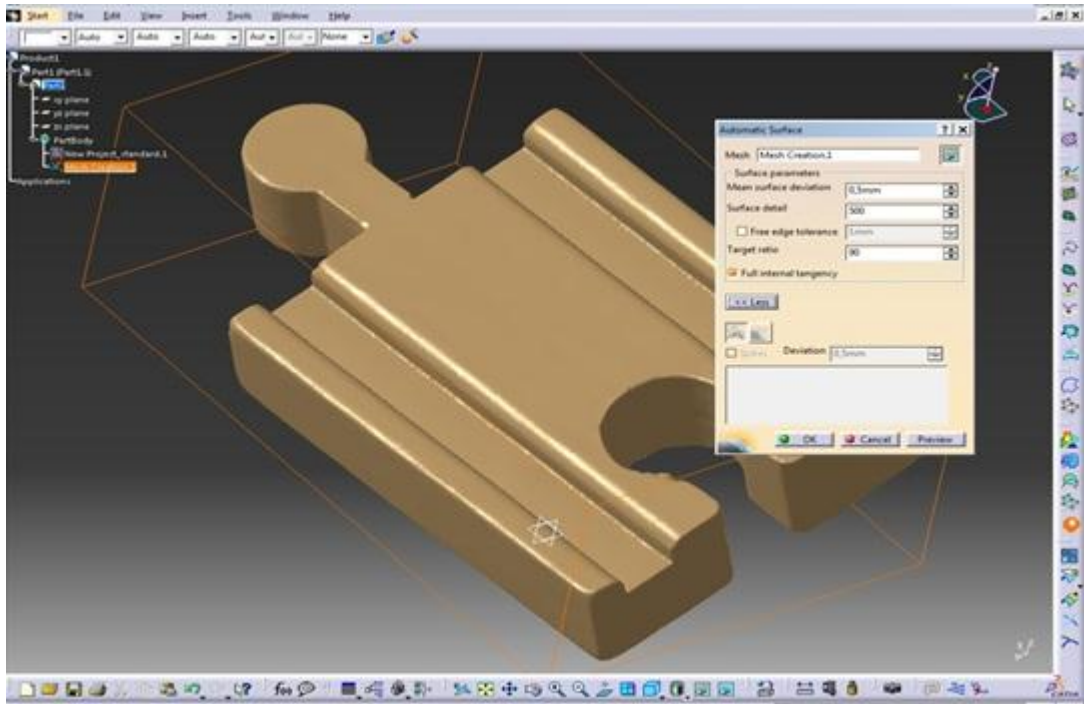
Obr. 44. Ucelená 3D síť po úpravách

V dalším kroku jsme se přepnuli do modulu „*Quick Surface Reconstruction*” v sekci „*Shape*”.



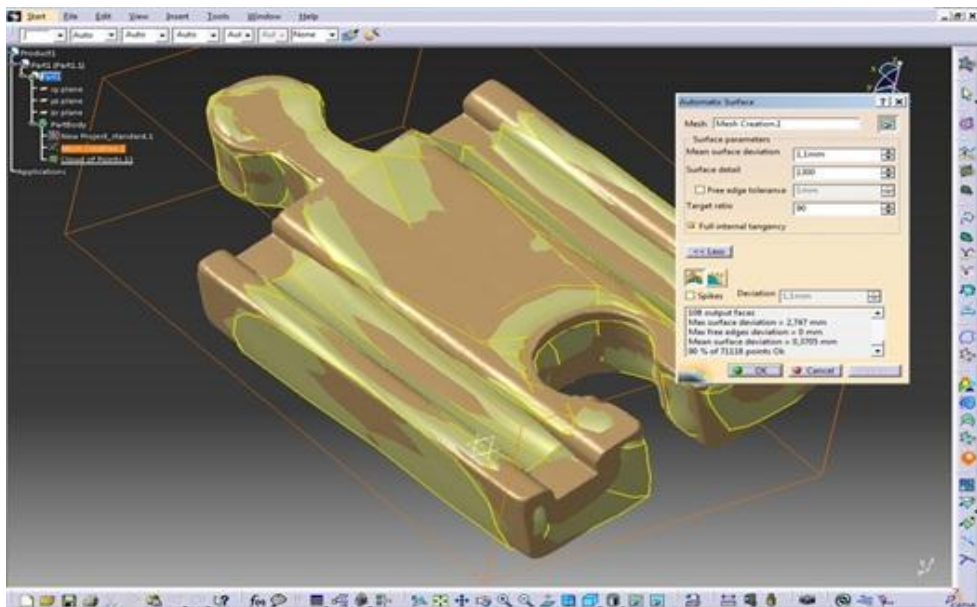
Obr. 45. Shape – modul *Quick Surface Reconstruction*

Po transformaci 3D sítě do plochy, byla v panelu „*Surface Creation*” vybrán příkaz „*Automatic Surface*” . V kolonce „*Mesh*” byla vybrána síť, ze které bude vytvořena plocha.

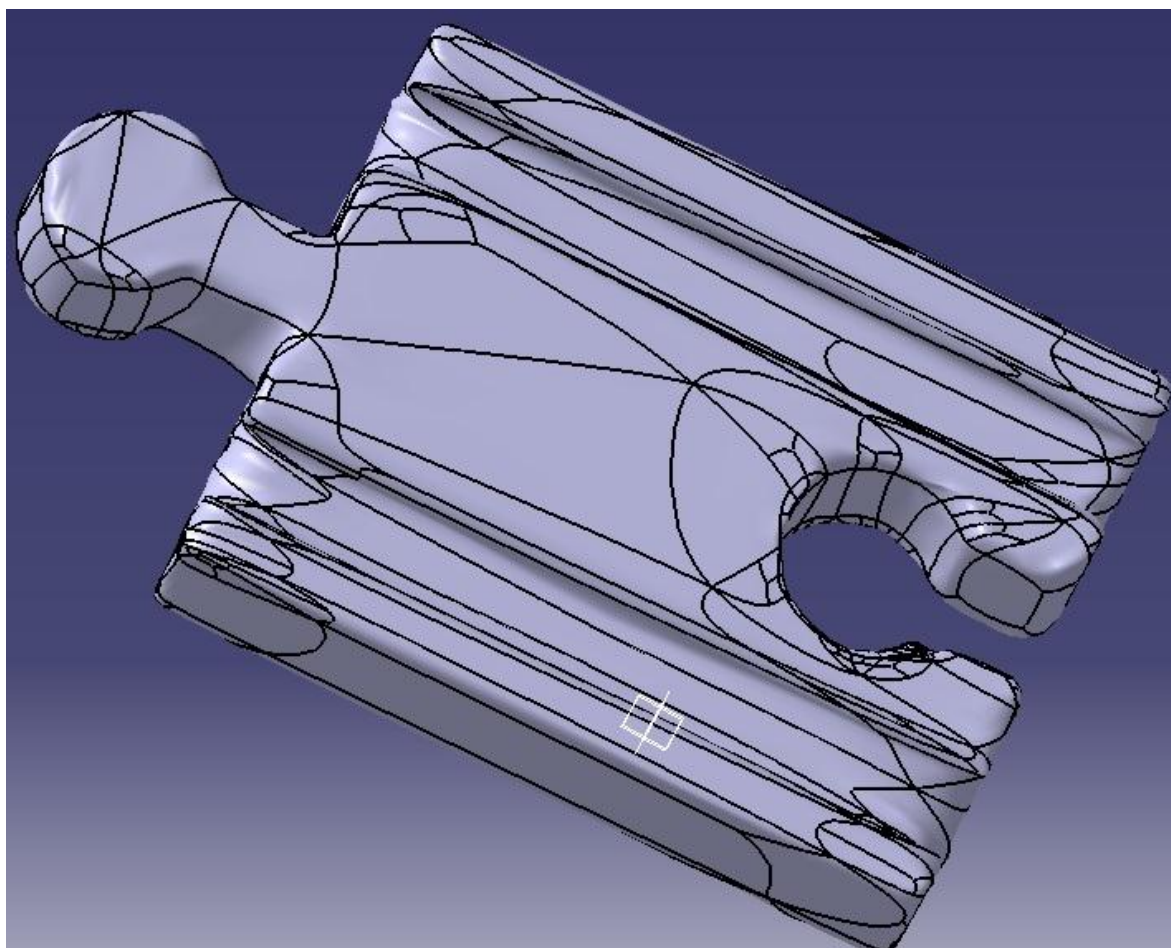


Obr. 46. Aplikace příkazu *Automatic Surface*

Těleso je tvořeno velkým množstvím malých ploch a spolu tvoří jednu velkou ucelenou plochu, díky tomu, můžeme prostor uvnitř ploch vyplnit a definovat jeho hustotu. Tím nám vznikne 3D objemový model tělesa.



Obr. 47. Výsledný 3D model



Obr. 48. Detailní pohled 3D modelu

8 SOLID EDGE ST3

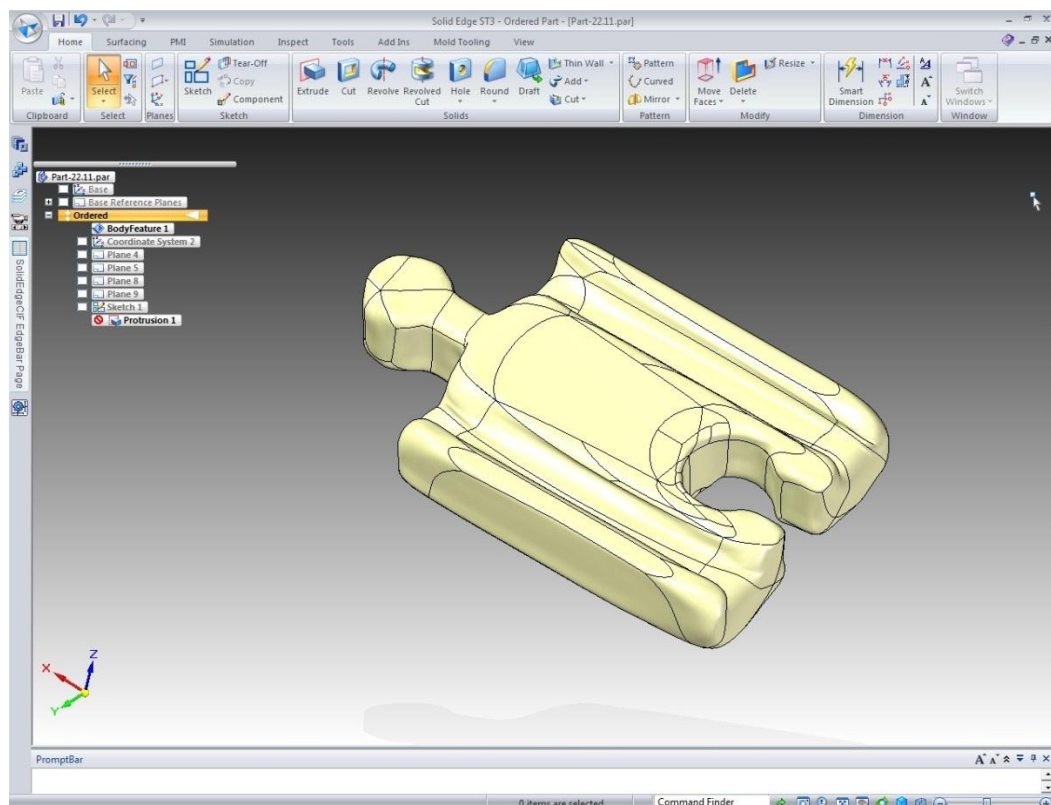
Solid Edge je hybridní 2D/3D návrhový systém od společnosti SIEMENS. V softwaru Solid Edge lze upravovat modely importované z jiných CAD systémů. Software je výhradně určen návrh strojírenských konstrukcí. Je vybaven synchronní technologií, která přináší nový způsob práce při modelování. Model je vytvářen skládáním konstrukčních prvků bez jejich historické závislosti.



Obr. 49. SOLID EDGE – logo softwaru [22]

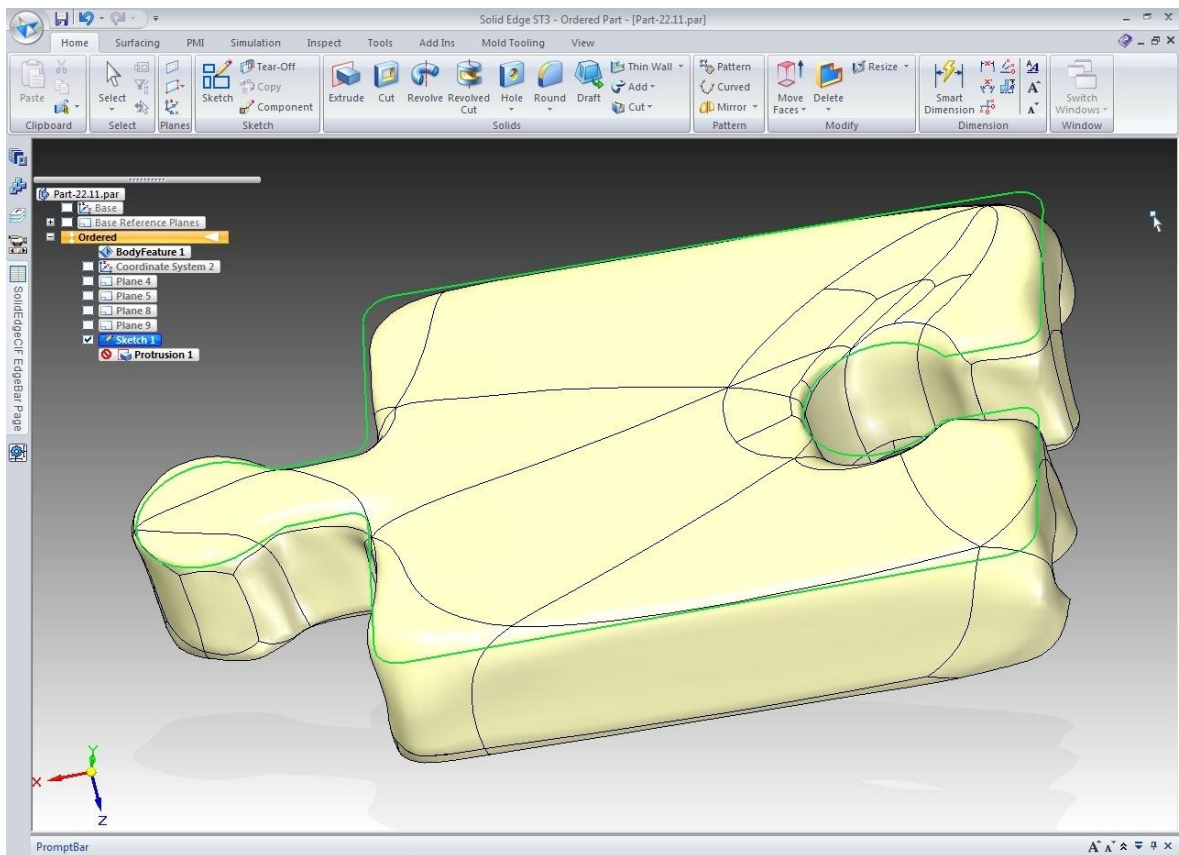
8.1 Postup vytvoření modelu

Pro nedostatečně přesný geometrický tvar, výsledného 3D modelu, byl použit software Solid Edge ST3, ve kterém byl model otevřen ve formátu STL a dále zpracován.



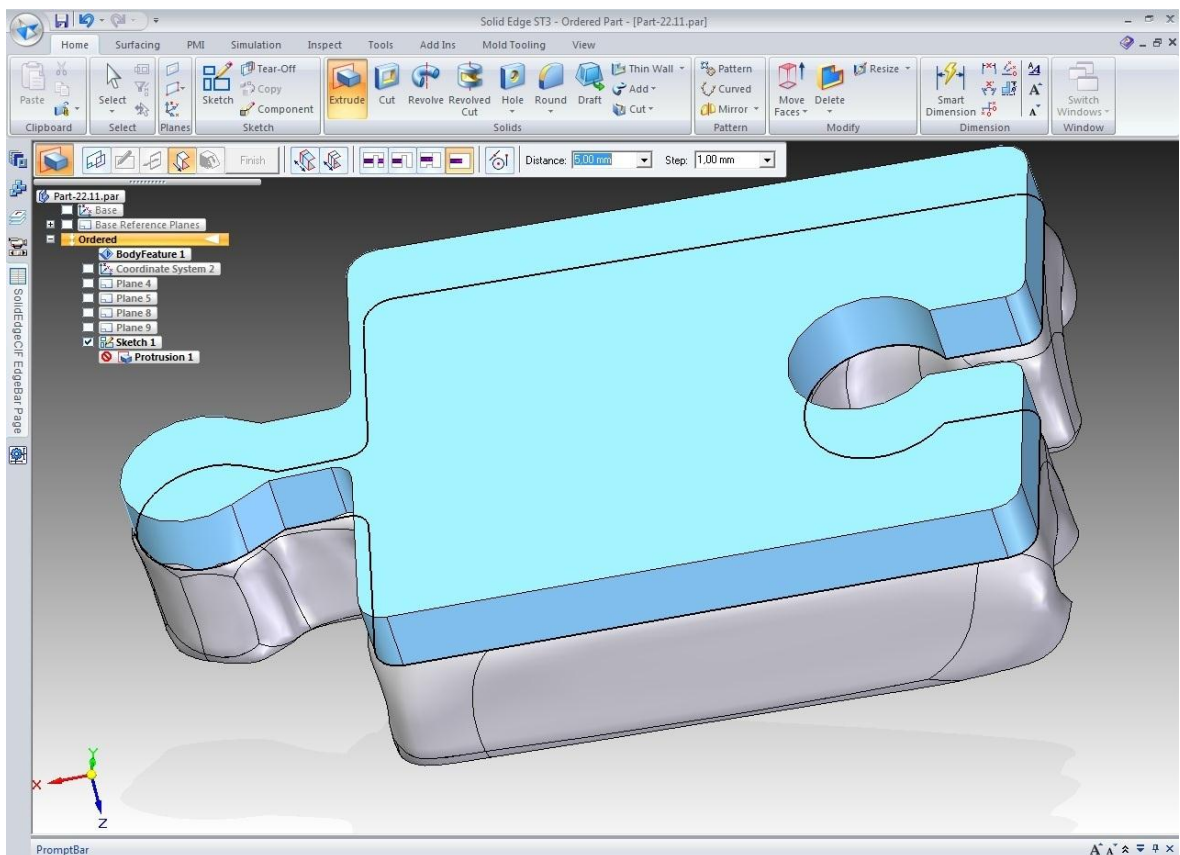
Obr. 50. Solid Edge ST3 - otevření modelu

Dalším krokem bylo vytvoření skeče pomocí funkce „*Sketch*” kdy bylo využito geometrie modelu.



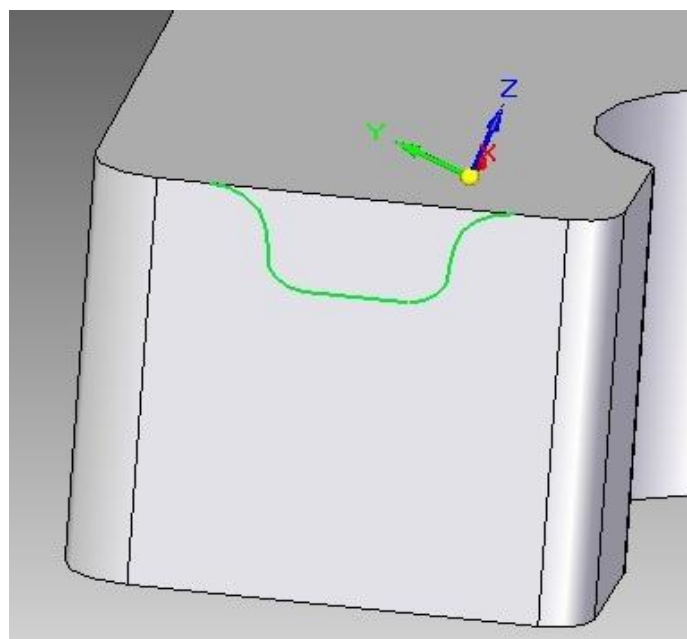
Obr. 51. Solid Edge ST3 – vytvoření skeče

Skeč nám posloužila k vytvoření nového modelu. Funkcí „*Extrude*” byla vytvořená skeč vytažena do nového modelu, který bude sloužit jako stávající model pro další zpracování.



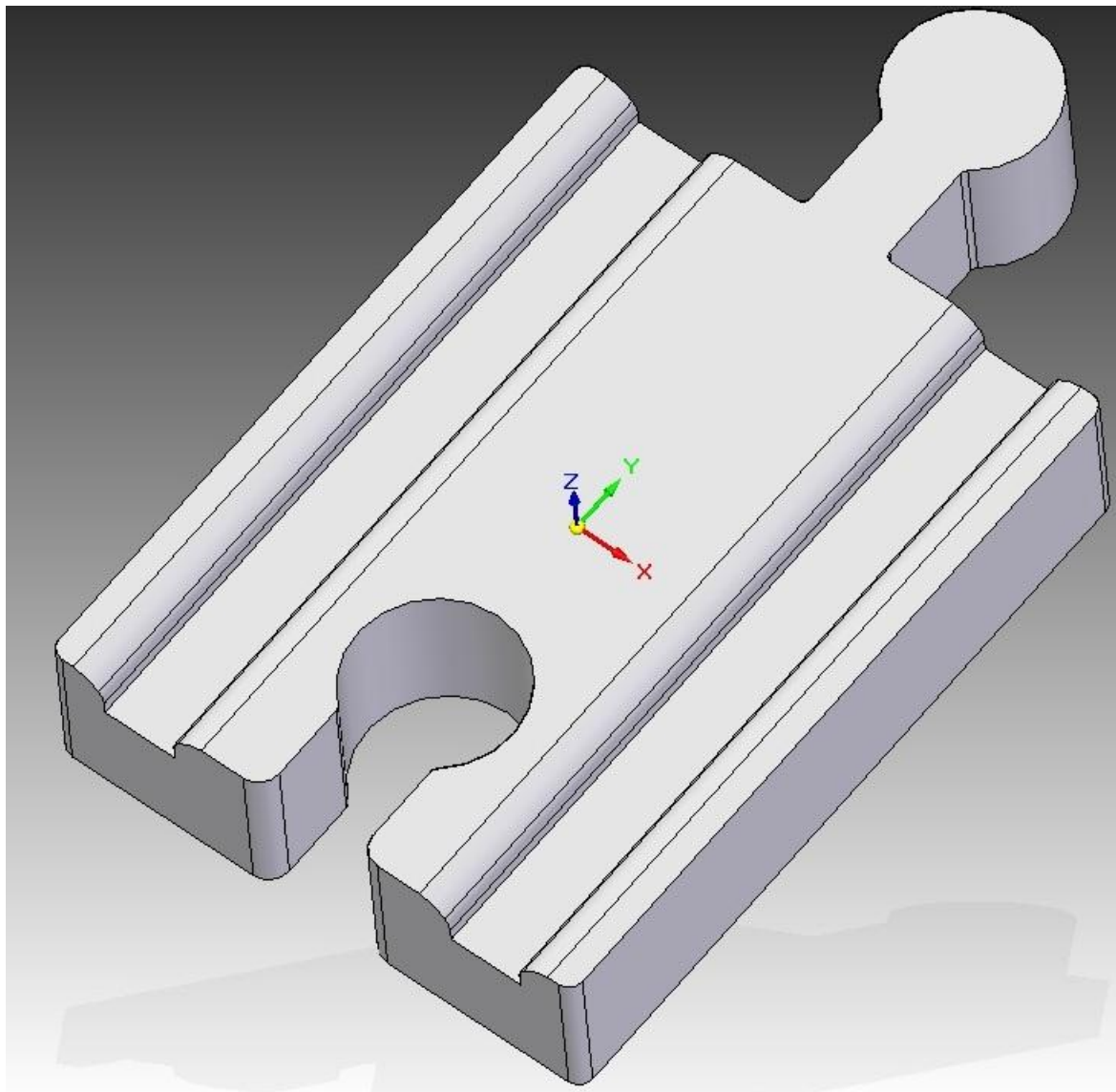
Obr. 52. Solid Edge ST3 – vytvoření nového modelu

Následně byl naskenovaný model odstraněn a další práce probíhala pouze s nově vytvořeným modelem, zde bylo zapotřebí domodelování zbylých částí s vytvoření nové skeče pro drážku na kolejnici.



Obr. 53. Solid Edge ST3 – vytvoření skeče pro drážku

Jako posledním krokem bylo vytvoření drážky ze vzniklé skeče funkcí „*Cut*” a vytvoření symetrické drážky na druhé straně modelu funkcí „*Mirror*”. Výsledný model byl plně použitelný pro další práci.



Obr. 54. Solid Edge ST3 – dokončení modelu

9 SIEMENS PLM NX 8.0

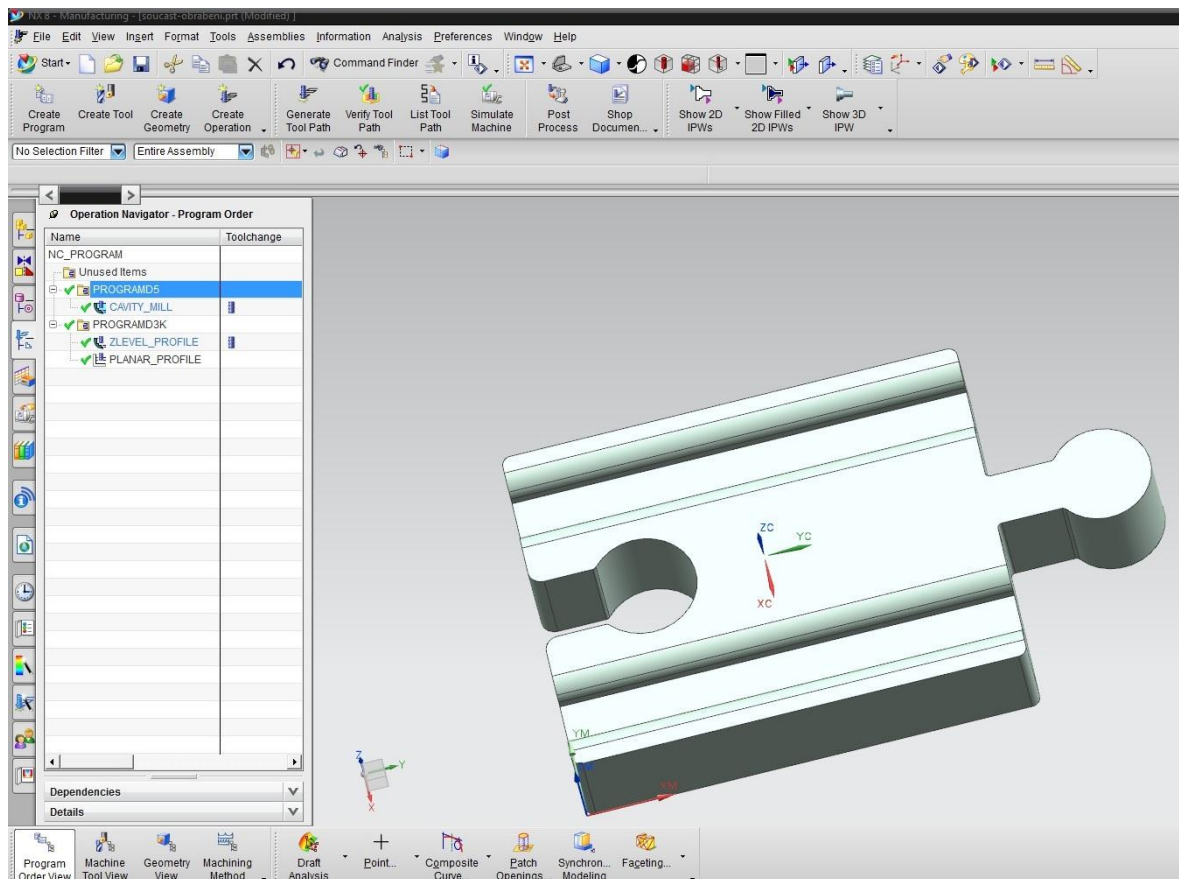
Software Siemens PLM NX 8.0 je CAD/CAM/CAE program pro podporu v konstrukci a výrobě. Program nabízí pokročilé programování NC strojů pro frézování, vrtání, řezání pomocí drátů a soustružení. Můžeme zde také provádět simulace obrábění nebo úpravy importovaným modelům.



Obr. 55. Siemens NX – logo softwaru [24]

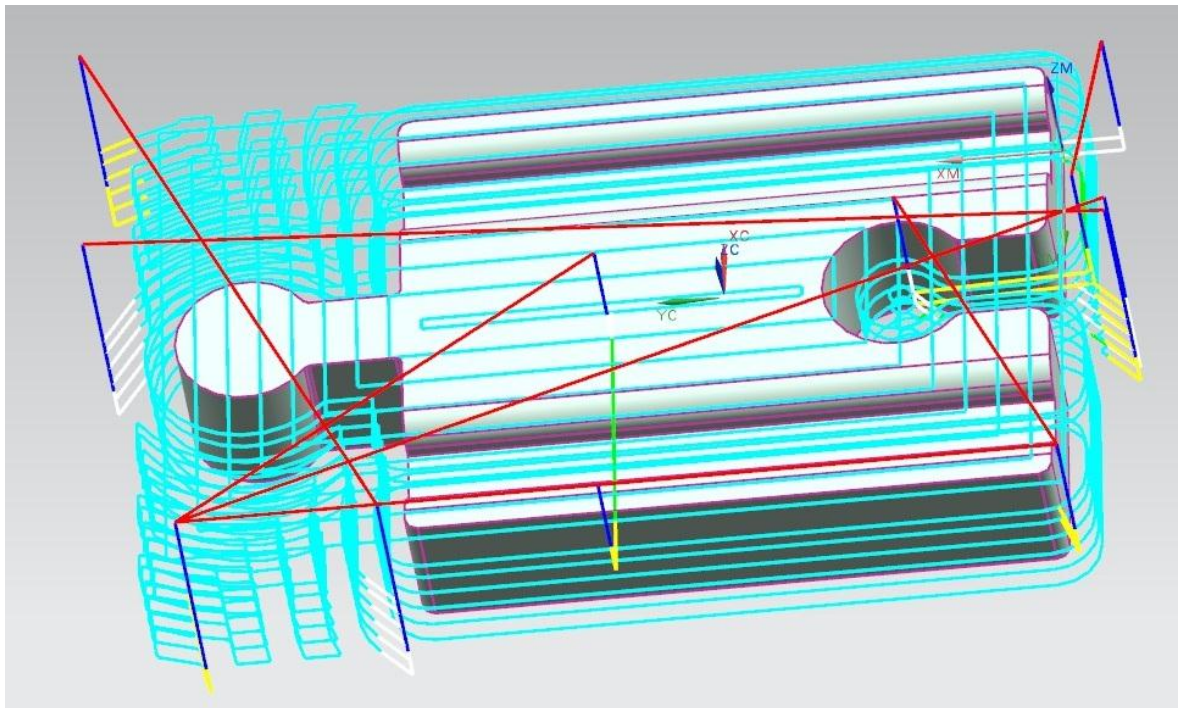
9.1 Naprogramování CNC kódu

Výsledný 3D model kolejničky byl importován do programu Siemens PLM NX 8, kde byl dále nastaven nulový bod obrobku a vybrání příslušných operací a nástrojů.

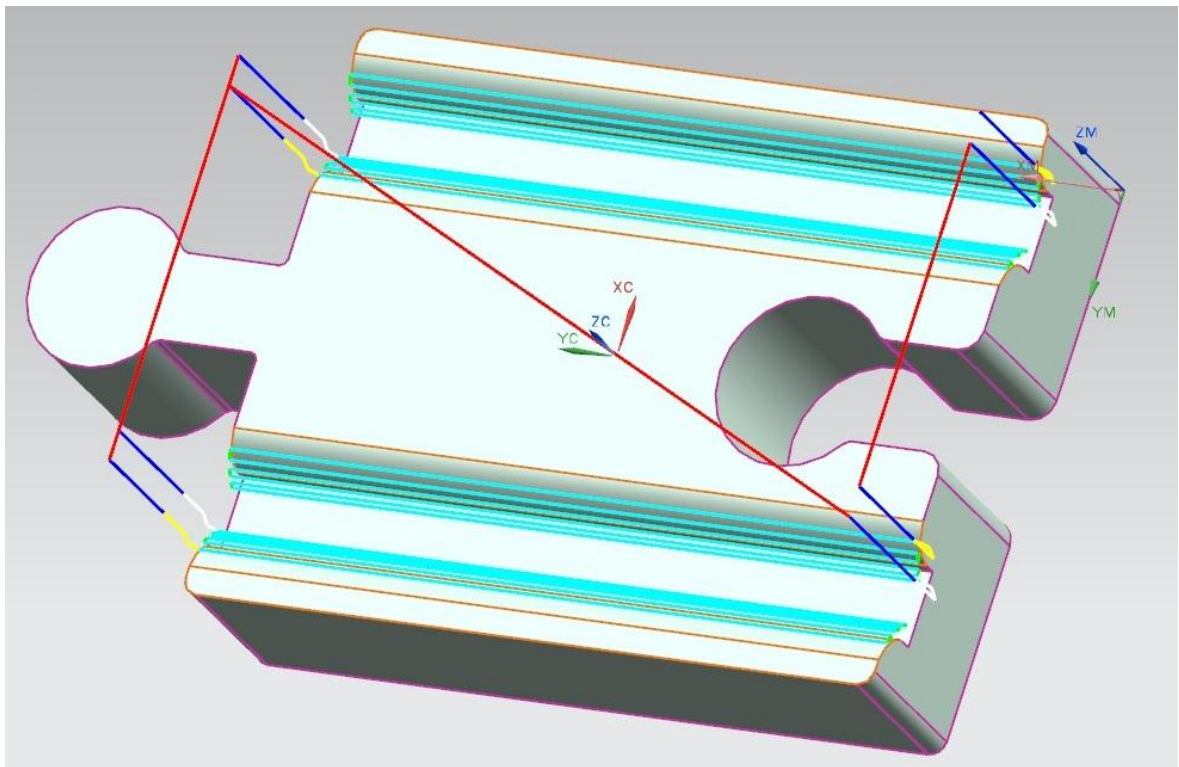


Obr. 56. Siemens NX 8.0 – importovaný model

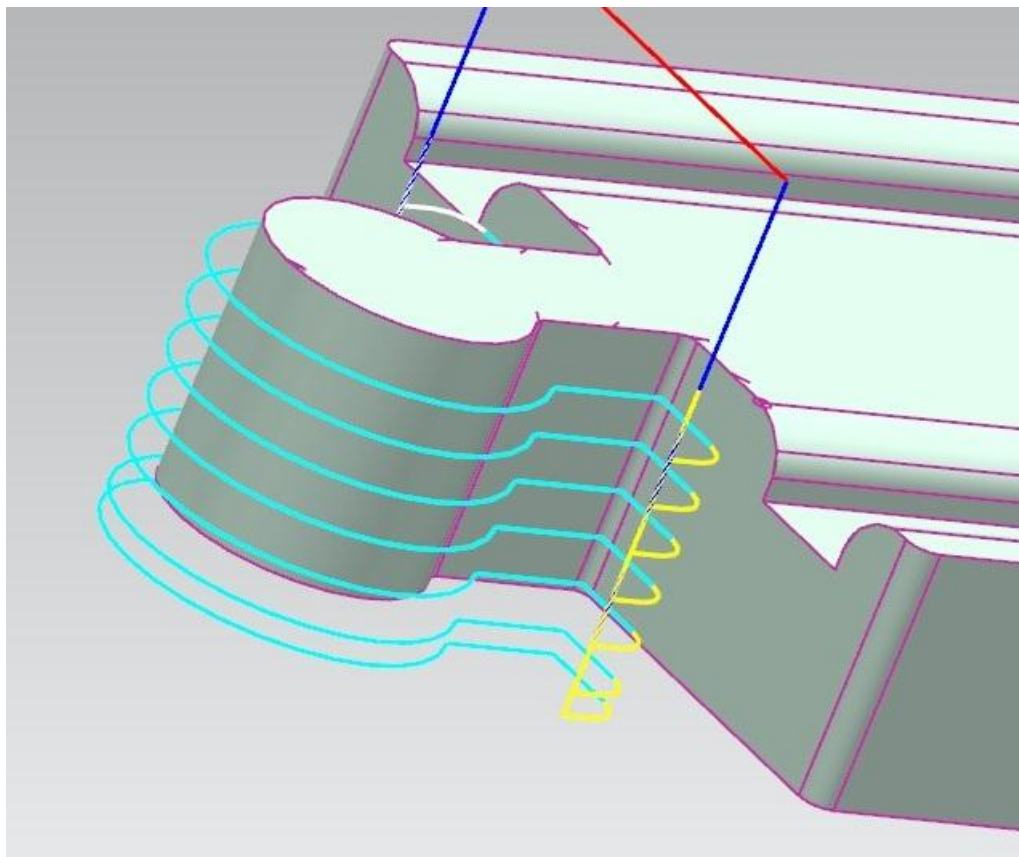
Pro obrobení bylo potřeba zvolit vhodné nástroje, kterými jsme schopni daný model vyrobit a byly nám tyto nástroje dostupné. Proto pro celkové obrábění součásti po celém obvodu i v drážkách byla zvolena fréza o průměru 5 mm, potom následovalo obrobení zbylého materiálu v rádiích v oblasti drážek frézou o průměru 3 mm s kulovou špičkou a jako poslední bylo začištění materiálu v oblasti přípojného krčku kolejničky taktéž frézou o průměru 3 mm s kulovou špičkou.



Obr. 57. Siemens NX 8.0 – obrábění celkového povrchu



Obr. 58. Siemens NX 8.0 – dokončovací obrábění rádiusů vně drážek



Obr. 59. Siemens NX 8.0 – dokončovací obrábění v oblasti přípojného krčku

10 VÝROBA SOUČÁSTI

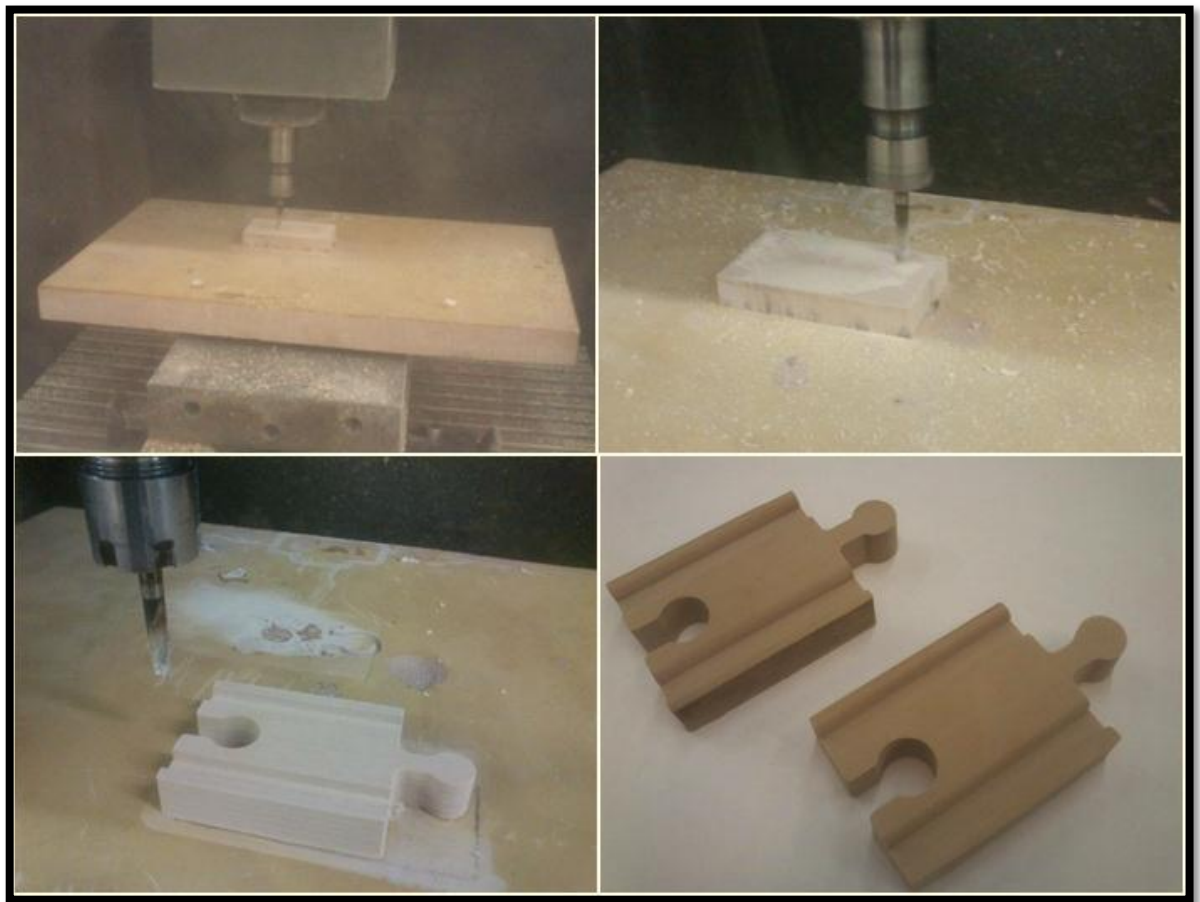
Posledním krokem bylo přenesení výsledného CNC kódu do frézky AZK HWT C-442. Vybraným materiálem byl NECURON 770 a NECURON 651 pro jeho výbornou obrobiteľnosť, nenáročnosť zpracování a také pro vhodnost tvorby prototypových modelů. Jedná se buď o deskový, nebo blokový materiál, který je strojově lehce a rychle obrobiteľný.

Tab. 3. Technické parametry – NECURON 770

Koeficient tepelné roztažnosti (ISO 75) :	$52 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Tepelná odolnosť:	70 °C
Tvrđost Shore D (ISO 868) :	67
Pevnosť v tlaku (ISO 604) :	26 N/mm ²
Pevnosť v ohybu (ISO 178) :	30 N/mm ²
Měrná hmotnosť:	0,70 g/cm ³
Barva:	šedá

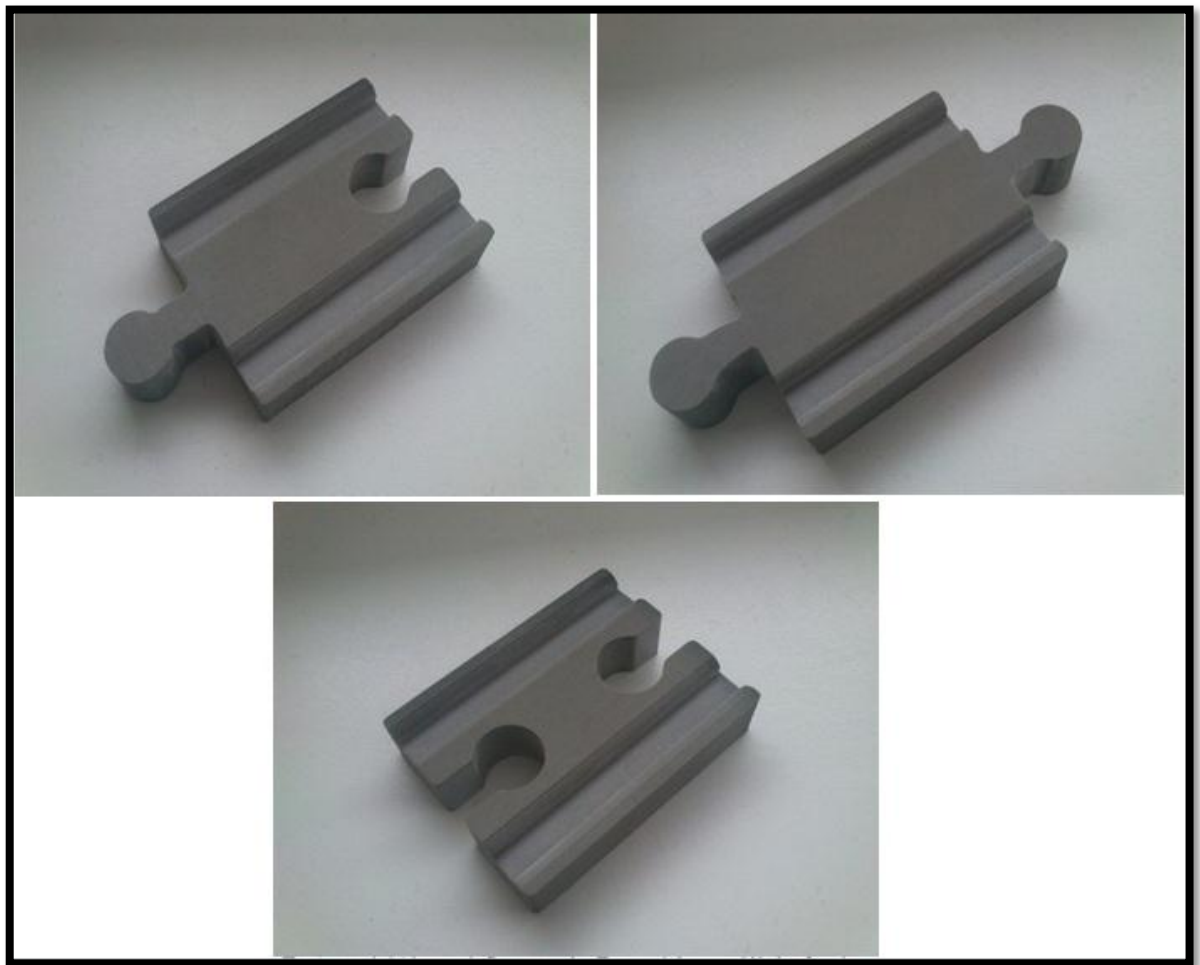
Tab. 4. Technické parametry – NECURON 651

Koeficient tepelné roztažnosti (ISO 75) :	$56 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Tepelná odolnosť:	65 °C
Tvrđost Shore D (ISO 868) :	72
Pevnosť v tlaku (ISO 604) :	29 N/mm ²
Pevnosť v ohybu (ISO 178) :	33 N/mm ²
Měrná hmotnosť:	0,77 g/cm ³
Barva:	hnědá



Obr. 60. Frézka AZK HWT C-442 – postup výroby

Pro ukázkou využití reverzního inženýrství, jsem upravil stávající model kolejničky do dalších různých variant. Zde jsem chtěl poukázat, že pomocí reverzního inženýrství jsme schopni přizpůsobovat jakýkoliv objekt podle potřeby nebo přání zákazníka. Veškeré obrábění bylo ověřeno simulací v programu Siemens PLM NX 8.0 a následně vyrobeno na frézce AZK HWT C-442. Jako první byl použit NECURON 651 a následně pro výrobu dalších variant byl použit NECURON 770.



Obr. 61. Kolejnice pro vláčky – různé varianty, materiál NECURON 770

ZÁVĚR

V závěru bych chtěl podotknout, že celá práce byla velmi přínosnou zkušeností, jak práce s moderními přístroji, softwarem tak i výsledná výroba kolejničky na frézce. Myslím, že reverzní inženýrství má veliký potenciál jak ve strojírenství, tak i v dalších oborech, kde nám usnadňuje a zkvalitňuje naši práci. V předešlých textech je popsán celý průběh mé práce, kde jsem pomocí RE zpětně zanalyzoval danou součást. Chtěl jsem poukázat na mnohem širší využití reverzního inženýrství a jeho potenciál, kde moje součást byla pouhým minimem v jeho celkovém využití ve strojírenství, kde využívá moderních technologií zpracování dat a výroby. Reverzní inženýrství se dá lehce zneužít ke kopírování technologií či softwarů, proto všechny věci jsou chráněny autorskými právy, která by neměla být porušována, v očích mnoha lidí je reverzní inženýrství viděno na pomezí zákona.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Reverse Engineering [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ReverseEngineering_Silberpfeil_notext.png?use_lang=ja>.
- [2] Reverzní inženýrství [online]. [cit. 2014-01-04]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Reverzn%C3%AD_in%C5%BEen%C3%BDrstv%C3%AD/>.
- [3] Ing. Robert Navrátil [online]. [cit. 2014-01-04]. Dostupné z:
<<http://robo.hyperlink.cz>>.
- [4] 3D Space [online]. [cit. 2014-01-07]. Dostupné z:
<<http://3dspace.site90.net/3d-skenery/3d-skenery.html>>.
- [5] Popis procesu digitalizace [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z:
<<http://www.smart-tech.cz/cz/digitalizace/>>.
- [6] ATOS Triple Scan [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z:
<<http://www.mcae.cz/atos/>>.
- [7] Digitální modely terénu [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z:
<<http://www.g4d.cz>>.
- [8] 3D měřící přístroje [online]. [cit. 2014-01-13]. Dostupné z:
<<http://www.logismarket.cz/tesa-sa/3d-merici-pristroj/1717968432-1344448813-p.html>>.
- [9] METROTEST [online]. [cit. 2014-01-23]. Dostupné z:
<<http://www.metrotest.cz/bezdotykove-mereni-ndi.html>>.
- [10] Ing. Miroslav Drápela, RP a RE [online]. [cit. 2014-01-23]. Dostupné z:
<<http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RE.pdf>>.
- [11] Ing. Jaroslav Votoček, 3D digitalizace a RE [online]. [cit. 2014-01-22].
Dostupné z:
<mat.cz/data/katedry/kom/KOM_ATPT_PR_02_CZE_Votocek_3D_digitalizace_a_Reverse_Engineering.pdf>.

[12] Počítačová tomografie pro přesné měření, defektoskopii i reverzní inženýrství [online]. [cit. 2014-01-22]. Dostupné z:

<<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2114-pocitacova-tomografie-pro-presne-mereni-defektoskopii-i-reverzni-inzenyrstvi.html>>.

[13] MiniScanner [online]. [cit. 2014-01-20]. Dostupné z:

<<http://www.tsisystem.cz/produkty/miniscanner--407>>.

[14] Lenka Čepová, Lenka Petříková, Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch [online]. [cit. 2014-01-20]. Dostupné z:

<http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/METROLOGIE_FINAL.pdf>.

[15] Katedra oděvnictví [online]. [cit. 2014-01-26]. Dostupné z:

<http://www.kod.tul.cz/info_predmety/KPC/dokumenty/07_prednaska.pdf>.

[16] Radek Fiala, Laserové skenování – principy [online]. [cit. 2014-01-26].

Dostupné z:

<http://www.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/FGM/fgm-lls-principy.pdf>.

[17] Letecké laserové skenování – LIDAR [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z:

<<http://sluzby.geodis.cz/sluzby/letecky-laserscanning>>.

[18] Profesional Development Courses [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z:

<http://www3.ntu.edu.sg/cce2/faculty_courses/coursedetail.asp?id=%7B9FDA8A04-640F-E111-ACA2-001560A3FDED%7D>.

[19] GROOVER, Mikell P. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013, xv, 1101 s. ISBN 978-1-118-23146-3.

[20] 3-D Scanner Gets the Blues [online]. [cit. 2014-04-23]. Dostupné z:

<<http://www.qualitydigest.com/inside/quality-insider-news/3-d-scanner-gets-blues.html>>.

[21] GOM Inspect Professional [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:

<<http://www.mcae.cz/gom-inspect-professional>>.

[22] Unigraphics SolidEdge [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z:
<http://www.abodata.com/new/ifr_mainpage.php?PID=PARTNERS&LAN=ENG>.

[23] CATIA Careers [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z:
<<http://www.scripting4v5.com/catia-jobs/catia-careers/>>.

[24] Technical Skills - CAD software [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z:
<http://www.janowiak.net/?page_id=159>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD - Computer Aided Design – počítačová podpora projektování

CAM – Computer Aided Manufacturing – počítačová podpora výroby

CAE – Computer Aided Engineering – počítačová podpora inženýrství

CNC – Computer Numerical Control – číslíkově počítačem řízený stroj

NC – Numerical Control – číslíkově řízený stroj

2D – Dvoudimenzionální – dvourozměrný

3D – Trojdimenzionální – trojrozměrný

RE – Reverse Engineering – reverzní inženýrství

RP – Rapid Prototyping – technologie výroby prototypů pomocí 3D tisku

PLM – Product Lifecycle Management – software pro řízení životního cyklu

NX – software pro tvorbu strategie výroby (obrábění)

STL – Stereo-Litografie – formát souboru do CAD, CAM aplikací

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. RE postup zpětné analýzy. [1]</i>	12
<i>Obr. 2. Základní rozdělení 3D skenerů. [14, 15]</i>	15
<i>Obr. 3. Rozdělení 3D skenerů podle konstrukce. [14, 15]</i>	15
<i>Obr. 4. Rozdělení 3D skenerů podle způsobu snímání. [3]</i>	16
<i>Obr. 5. Rozdělení 3D skenerů podle způsobu polohování. [10]</i>	17
<i>Obr. 6. 3D souřadnicový měřicí přístroj. [8]</i>	17
<i>Obr. 7. Sonda dotykového přístroje. [9]</i>	17
<i>Obr. 8. Rozdělení bezdotykových 3D skenerů. [3]</i>	18
<i>Obr. 9. Tvarově složitá součást. [12]</i>	19
<i>Obr. 10. Tvarově složitá součást digitalizovaná jako mračno bodů pomocí RTG snímání. [12]</i>	19
<i>Obr. 11. Ultrazvukový skener Mini Scanner. [13]</i>	20
<i>Obr. 12. Destruktivní skener RE 1000. [15]</i>	21
<i>Obr. 13. Druhy skenerů podle možnosti použití. [16]</i>	22
<i>Obr. 14. Digitální 3D model laserového leteckého skenování. [17]</i>	22
<i>Obr. 15. Reálný stav před naskenováním. [7]</i>	23
<i>Obr. 16. 3D model po naskenování jako mrak bodů. [7]</i>	23
<i>Obr. 17. Rozdělení laserových skenerů. [14]</i>	24
<i>Obr. 18. Různé typy laserového snímání. [14]</i>	24
<i>Obr. 19. Základní principy optického skenování. [11]</i>	25
<i>Obr. 20. Optický 3D skener ATOS II Triple Scan. [6]</i>	26
<i>Obr. 21. Skenovací hlava ATOS II Triple Scan. [6]</i>	27
<i>Obr. 22. Součást vyrobená pomocí Rapid Prototyping. [13]</i>	28
<i>Obr. 23. Princip technologie Stereolitografie - Rapid Prototyping. [10]</i>	30
<i>Obr. 24. Princip technologie Fused Deposition Modeling - Rapid Prototyping. [10]</i>	31

<i>Obr. 25. Princip technologie Laminated Object Manufacturing – Rapid Prototyping. [10]</i>	32
<i>Obr. 26. Princip technologie Three Dimensional Printing – Additive Methods. [10]</i>	33
<i>Obr. 27. Fyzický tvar součásti - kolejnička pro vláčky.</i>	37
<i>Obr. 28. ATOS triple Scan – skenovací zařízení. [20]</i>	38
<i>Obr. 29. Kolejnička – nalepení reflexních bodů.</i>	40
<i>Obr. 30. ATOS II Triple Scan – skenování součásti</i>	40
<i>Obr. 31. ATOS II Triple Scan – detailní pohled skenování součásti</i>	41
<i>Obr. 32. ATOS II Triple Scan – pohled z kamery přístroje</i>	41
<i>Obr. 33. GOM Inspect Professional – logo softwaru [21]</i>	42
<i>Obr. 34. GOM Inspect Professional – prvotní tvorba 3D modelu</i>	42
<i>Obr. 35. GOM Inspect Professional – prvotní tvorba 3D modelu, detailní pohled</i>	43
<i>Obr. 36. GOM Inspect Professional – 3D model kolejničky, konečná fáze</i>	43
<i>Obr. 37. GOM Inspect Professional – výsledný 3D digitální model kolejničky</i>	44
<i>Obr. 38. CATIA – logo softwaru [23]</i>	45
<i>Obr. 39. Shape – modul Digitized Shape Editor</i>	45
<i>Obr. 40. Okno příkazu – Import</i>	46
<i>Obr. 41. Importovaný model ve formě mračna bodů</i>	46
<i>Obr. 42. Vytvořená 3D síť pomocí příkazu Mesh Creation</i>	47
<i>Obr. 43. Vyplnění děr v 3D síti</i>	47
<i>Obr. 44. Ucelená 3D síť po úpravách</i>	48
<i>Obr. 45. Shape – modul Quick Surface Reconstruction</i>	48
<i>Obr. 46. Aplikace příkazu Automatic Surface</i>	49
<i>Obr. 47. Výsledný 3D model</i>	49
<i>Obr. 48. Detailní pohled 3D modelu</i>	50
<i>Obr. 49. SOLID EDGE – logo softwaru [22]</i>	51

<i>Obr. 50. Solid Edge ST3 - otevření modelu</i>	51
<i>Obr. 51. Solid Edge ST3 – vytvoření skeče</i>	52
<i>Obr. 52. Solid Edge ST3 – vytvoření nového modelu</i>	53
<i>Obr. 53. Solid Edge ST3 – vytvoření skeče pro drážku</i>	53
<i>Obr. 54. Solid Edge ST3 – dokončení modelu</i>	54
<i>Obr. 55. Siemens NX – logo softwaru [24]</i>	55
<i>Obr. 56. Siemens NX 8.0 – importovaný model</i>	55
<i>Obr. 57. Siemens NX 8.0 – obrábění celkového povrchu</i>	56
<i>Obr. 58. Siemens NX 8.0 – dokončovací obrábění rádiusů vně drážek</i>	57
<i>Obr. 59. Siemens NX 8.0 – dokončovací obrábění v oblastí přípojného krčku</i>	57
<i>Obr. 60. Frézka AZK HWT 442 – postup výroby</i>	59
<i>Obr. 61. Kolejničky pro vláčky – různé varianty, materiál NECURON 770</i>	60

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdělení materiálu, technologií a typů formování [19].....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 2. Technické parametry ATOS II Triple Scan.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3. Technické parametry – NECURON 770.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 4. Technické parametry – NECURON 651.....</i>	<i>58</i>