

# STUDIUM FUNKCÍ MODULU CORE AND CAVITY DESIGN PROGRAMU CATIA

Bc. Ondřej Mikeska

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Mikeska**

Osobní číslo: **T11793**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Studium funkcí modulu Core and Cavity Design programu Catia**

Zásady pro vypracování:

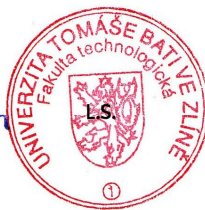
1. Vypracujte teoretickou studii zaměřenou na popis technologií a programů využitých v práci
2. Naskenujte zadané modely a proveďte úpravu získaných dat
3. Navrhněte tvarové dutiny s využitím modulu Core and Cavity Design
4. Vytvořte postupy tvorby tvarových dutin zadaných dílů

Rozsah diplomové práce:  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:  
**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luboš Rokyta**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – 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 .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá studiem funkcí modulu Core and Cavity Design, pomocí kterého lze modelovat dutiny vstřikovacích forem. Součástí práce je také seznámení se s technologií Rapid Prototyping. Technologie Rapid Prototyping se využívá pro 3D skenování výrobků a tvorbu prototypů.

Obsahem práce je stručný popis a postup 3D skenování na zařízení ATOS II, zpracování a úprava nasnímaných dat. V další části práce je uvedena tvorba dutiny vstřikovací formy pomocí modulu Core and Cavity Design pro zadané díly.

Klíčová slova: Core and Cavity, dutina, Rapid Prototyping, skenování

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the study of the functions Core and Cavity Design module, which can be modeled cavity injection molds. The thesis also includes familiarization with technology Rapid Prototyping. Rapid Prototyping technology is used 3D scanning of products and produce prototypes.

The thesis includes a brief description and process 3D scanning on the machine ATOS II, elaboration and editing of scanned data. The next section is a given of creation cavity injection mold for using the Core and Cavity Design for the specified parts.

Keywords: Core and Cavity, cavity, Rapid Prototyping, scanning

***Poděkování:***

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Luboši Rokytovi za odborné vedení, cenné rady a ochotu, která byla potřebná pro vypracování předkládané práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi za odbornou pomoc při skenování zadaných součástí.

V poslední řadě poděkování patří také celé rodině za patřičnou podporu a trpělivost, kterou mi věnovali během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 MODELOVACÍ SOFTWARE</b> .....	<b>13</b>
1.1 HISTORIE KONSTRUKČNÍHO SOFTWARE .....	13
1.2 KONSTRUKČNÍ SOFTWARE VYUŽÍVANÝ V PRAXI .....	15
1.2.1 Autodesk Inventor .....	15
Vývoj Autodesk Inventoru .....	15
Oblasti použití .....	16
1.2.2 SolidWorks.....	16
Možnosti SolidWorks .....	16
Oblasti použití.....	18
1.2.3 Velocity series (Solid Edge).....	18
Velocity series.....	18
Solid Edge.....	18
Oblasti použití.....	19
1.3 MÉNĚ VYUŽÍVANÝ KONSTRUKČNÍ SOFTWARE .....	19
1.3.1 T – Flex .....	19
1.3.2 Turbo CAD.....	20
1.3.3 VariCAD .....	20
1.4 CENOVÉ RELACE KONSTRUKČNÍHO SOFTWARE.....	21
1.5 CATIA V4, V5, V6.....	21
1.5.1 CATIA V4.....	22
1.5.2 CATIA V5.....	23
Konfigurace CATIA V5.....	24
Mold tooling design .....	26
Oblasti použití CATIA V5.....	28
1.5.3 CATIA V6.....	28
Stěžejní přínosy platformy PLM 2.0.....	29
Profesní role.....	29
<b>2 MODUL CORE AND CAVITY DESIGN</b> .....	<b>31</b>
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM</b> .....	<b>32</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	32
3.1.1 Konstrukční návrh formy .....	33
3.1.2 Postup při konstrukci formy.....	33
3.1.3 Návrh dutiny formy .....	34
Smrštění výstříku .....	35
3.1.4 Úprava povrchu dutin forem .....	36
<b>4 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ</b> .....	<b>38</b>
4.1 PŘÍKLAD PROCESU NÁVRHU .....	39
4.2 ZAŘÍZENÍ 3D DIGITALIZACE.....	40
<b>5 RAPID PROTOTYPING</b> .....	<b>41</b>



5.1	STEREOLITOGRAFIE .....	41
5.2	3D TISK (TECHNOLOGIE FDM) .....	42
5.3	SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) .....	43
5.4	VYUŽITÍ TECHNOLOGIÍ RAPID PROTOTYPING.....	44
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>ZADANÉ SOUČÁSTI.....</b>	<b>48</b>
7.1	SOUČÁST Č.1 .....	48
7.2	SOUČÁST Č.2 .....	48
<b>8</b>	<b>SKENOVÁNÍ ZADANÝCH SOUČÁSTÍ .....</b>	<b>49</b>
8.1	KALIBRACE ZAŘÍZENÍ .....	50
8.2	ÚPRAVA SOUČÁSTÍ PŘED SKENOVÁNÍM .....	51
8.3	PRŮBĚH SKENOVÁNÍ.....	53
<b>9</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA DAT ZÍSKANÝCH SKENOVÁNÍM.....</b>	<b>55</b>
9.1	ÚPRAVA ZÍSKANÝCH DAT SKENOVÁNÍM SOUČÁSTI Č.1 .....	57
9.1.1	Odstranění nežádoucích naskenovaných čar a míst .....	57
9.1.2	Odstranění děr na povrchu součásti č.1.....	58
9.1.3	Odstranění miniaturních vrcholků na povrchu součásti č.1 .....	59
9.2	ÚPRAVA ZÍSKANÝCH DAT SKENOVÁNÍM SOUČÁSTI Č.2 .....	62
9.2.1	Odstranění děr na povrchu součásti č.2.....	62
9.2.2	Odstranění miniaturních vrcholků na povrchu součásti č.2 .....	63
<b>10</b>	<b>PŘEVOD NASNÍMANÝCH DAT NA OBJEMOVÝ MODEL.....</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>VYMODELOVÁNÍ IDENTICKÝCH MODELŮ.....</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>TVORBA DUTIN FOREM – MODUL CORE AND CAVITY .....</b>	<b>76</b>
12.1	SPUŠTĚNÍ MODULU CORE AND CAVITY .....	76
12.2	VLOŽENÍ DÍLCE DO MODULU CORE AND CAVITY .....	77
12.3	TVORBA DUTINY FORMY PRO SOUČÁST Č.1.....	78
12.3.1	Import součásti č.1 .....	78
12.3.2	Stanovení ploch tvárníku a tvárnice .....	79
12.3.3	Tvorba ploch dělicí roviny .....	83
12.3.4	Vytvoření tvárníku a tvárnice pomocí modulu „Mold Tooling Design“ .....	89
12.4	TVORBA DUTINY FORMY PRO SOUČÁST Č.2.....	95
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>102</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>105</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>106</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>111</b>

<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>112</b>
---------------------------	------------

## ÚVOD

V dnešní době jsou klasické materiály, jako je kov, dřevo, sklo, atd., nahrazovány polymerními materiály. Výroba a zpracování polymerů je podstatně méně nákladnější než výroba a zpracování kovů. Tím vzrůstá výroba plastových součástí. Tento vzrůst můžeme například pozorovat v automobilovém průmyslu. Celá řada prvků na automobilech se v současnosti vyrábí z plastu. Technologií pro zpracování plastů je celá řada, mezi ty nej-používanější patří vstřikování.

Dnes je zcela běžnou samozřejmostí, že výroba těchto součástí je plně podporována počítačovou technikou. Ovšem před 50 lety tomu tak nebylo. Veškeré konstruktérské i designerské práce a projekty, které jsme dnes schopni vytvořit velmi rychle a flexibilně pomocí počítačové techniky, vznikaly s velkým rozmyslem, plánováním a časovými nároky. Každá chyba znamenala celou práci předělat znovu, a tím pádem i zpoždění a prodražení projektu.

V současné době máme možnost techniky, která pracuje v krocích, které lidské oko není schopno běžným způsobem vidět. Pokud chceme vyrobit výrobek, jehož zhotovení není v lidských schopnostech, jsme nuceni použít různých zařízení. Jedním z nich jsou stroje, které pracují na setiny až tisícin milimetru. Do této skupiny můžeme zařadit zařízení, která používají rychlý způsob výroby prototypů. Tuto technologii označujeme Rapid Prototyping. Použitím této technologie lze provést vymodelování 3D objektu z dat programu do fyzické podoby. Tento způsob výroby lze uplatnit ve velmi širokém rozsahu a to ve strojírenství, lékařství, automobilovém průmyslu, letectví, designu a jiných mnoha dalších oblastech.

Tempo vývoje techniky se v současné době neustále zvyšuje, a tím zbavuje člověka namáhavé a zdraví škodlivé práce. Nesmírně tak vzrůstá produktivita a úroveň práce. Tento trend vývoje techniky do budoucna bude vyšší a vyšší.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

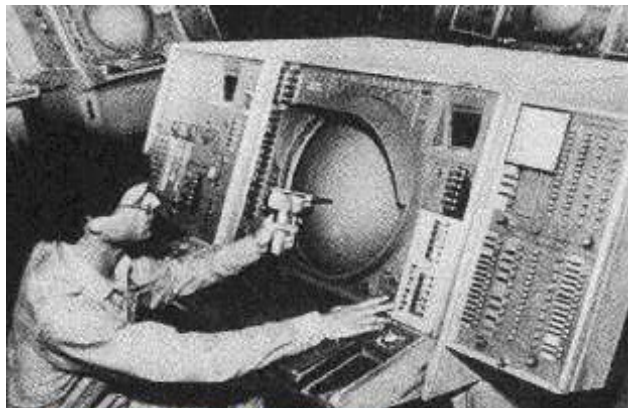
# 1 MODELOVACÍ SOFTWARE

## 1.1 Historie konstrukčního software

Již od pradávna potřeboval člověk před samostatnou realizací stavebního díla či jiného výrobku získat přesnou představu o výsledku svého snažení. Důležitým stanoviskem pro člověka je, aby poměr efekt/námaha byl co největší. Výsledek lidského snažení závisí na dokonalosti představy o budoucím díle. Také pro lepší konzultaci s ostatními členy bylo nutné zviditelnit myšlenky konstruktéra.

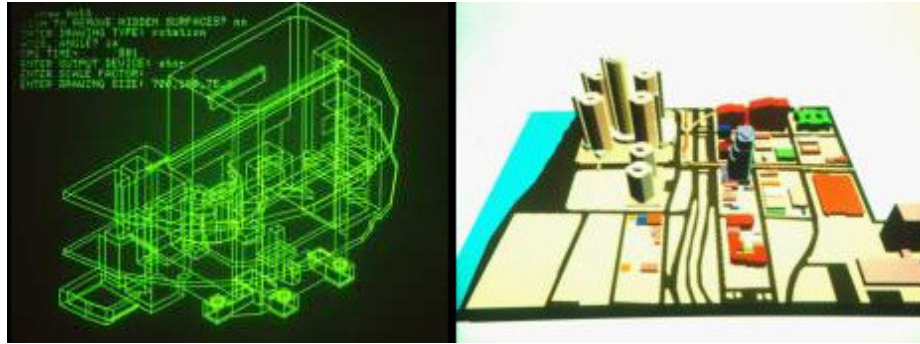
Počátky konstrukčního softwaru sahají do druhé poloviny 20. století, kdy se požadavky kladené na výrobu a přesnost několikanásobně zvýšily. Technické výpočty řešené na papíře s využitím logaritmického pravítka přestávaly být možné a kontrola správnosti začala zabírat příliš mnoho času. Zmíněné problémy byly impulzem pro vznik modelovacího softwaru.

Startem kreslení na počítači byl rok 1950. Uvedený rok je spojený s vynálezem světelného pera, které umožnilo elektrostatické zachycení obrazu na stínítku obrazovky, jež zároveň sloužila jako paměť. [1]



Obr. 1. Kreslení pomocí světelného pera [1]

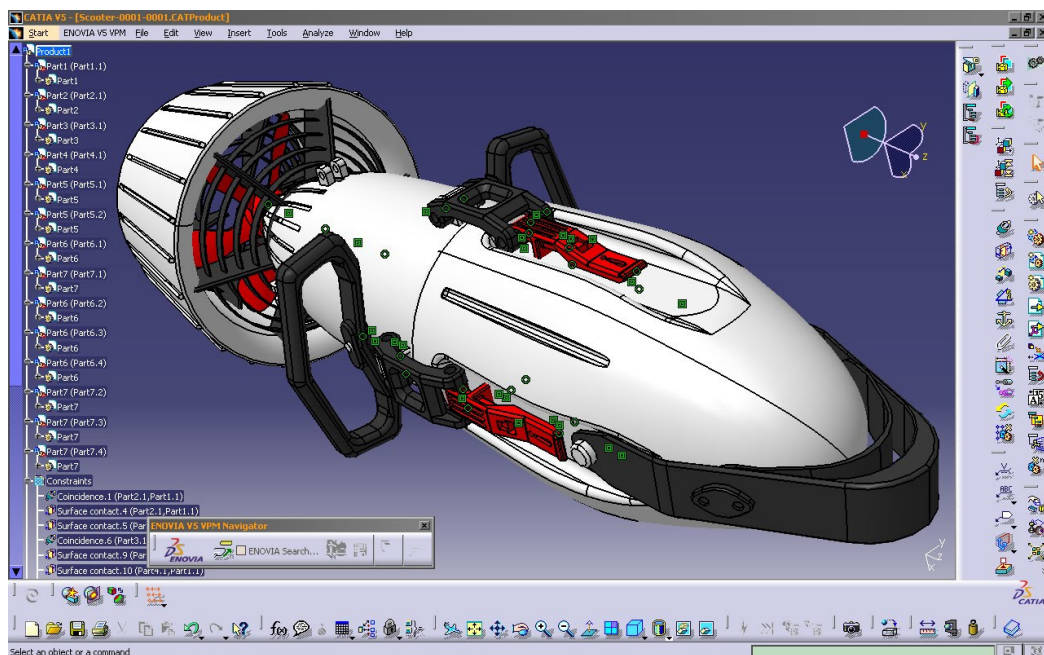
S postupem času a s vývojem grafických možností počítače nastalo zlepšení konstrukčního softwaru. V roce 1979 došlo ke konci vektorové grafiky. V následujícím roce docházelo k začleňování ploch a jako nadstandardní modul vzniklo modelování s trojrozměrnou grafikou a renderováním. [1]



Obr. 2. Kreslicí program ARCH MODEL [1]

Postupně se začínaly objevovat nové grafické editory typu VersaCAD, AutoCAD, CAD-key, MicroCADAM atd. Zlomem byl rok 1988, kdy se na trhu objevil produkt firmy PTC Pro/Engineer. Koncepti parametrického modelování brzy začaly přejímat další produkty jako např. Solid Edge, SolidWorks, Unigraphics atd. Od roku 1993 se postupně mění dominantní platforma založená na operačním systému UNIX. Stále více CAD systémů pracuje pod operačním systémem Windows NT, který je do jisté míry schopen zajistit stabilitu.

V současné době pro CAD systémy už není potřeba speciální grafické stanice, jak tomu bývalo, ale postačí běžný kancelářský počítač s přiměřeně výkonnou grafickou kartou. [1]



Obr. 3. CAD model programu Catia [2]

## 1.2 Konstrukční software využívaný v praxi

### 1.2.1 Autodesk Inventor

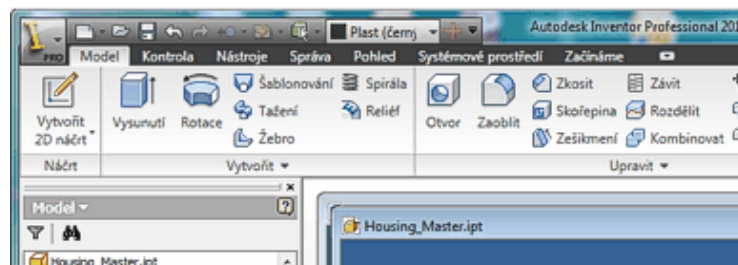
Autodesk Inventor patří mezi světově nejprodávanější CAD aplikace pro strojírenskou 3D konstrukci - výkonná aplikace od Autodesku, výrobce nejrozšířenější CAD aplikace - AutoCADu. [3]

#### *Vývoj Autodesk Inventoru*

Po dlouhém vývoji v roce 1999 Autodesk uvedl na trh nový modelovací nástroj Autodesk Inventor. Vývoj verzí programu je poměrně rychlý, cca každých 9–12 měsíců nová release.

**Inventor 2009** – součástí balíčku Inventor Suite 2009 byl Mechanical Desktop 2009, AutoCAD Mechanical 2009, AutoCAD 2009, Vault 2009 a Autodesk Inventor 2009. Hlavní oblasti vylepšení od předchozí verze se týkaly plechových součástí, výkresů, konstrukce součástí a sestav, Inventor studia atd.

**Inventor 2010** - Součástí AutoCAD Inventor Suite 2010 byl AutoCAD Mechanical 2010, Vault 2010 a Autodesk Inventor 2010. [3]



Obr. 4. Autodesk Inventor Professional 2010 [3]

Vylepšení se týkalo nového úkolově orientovaného uživatelského rozhraní, nových nástrojů, jak pro modelování plechových, tak i plastových součástí, vylepšení správce výkresů atd.

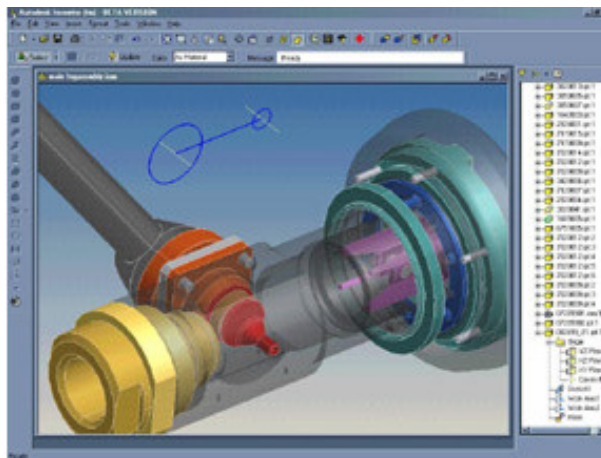
**Inventor 2011** – vylepšení bylo zaměřeno na oblasti přímé editace součástí, skládání sestav uchopením, vylepšené šrafy, 3D tisk atd.

**Inventor 2012** – ke koupi byl buď samostatně nebo součástí Product Design Suite 2012 Premium a Ultimate. Vylepšení se týkalo rychlosti a jednoduchosti softwaru, rychlosti spuštění Inventoru, nového prostředí oprav modelu atd. [3]

### *Oblasti použití*

Inventor našel uplatnění v celé řadě konstrukcí. Nejvýznamnější oblasti využití jsou:

- Automobilový průmysl
- Spotřební výrobky
- Příprava výroby
- Výroba nábytku
- Elektromechanické celky



Obr. 5. CAD part Autodesk Inventor Professional 2012 [3]

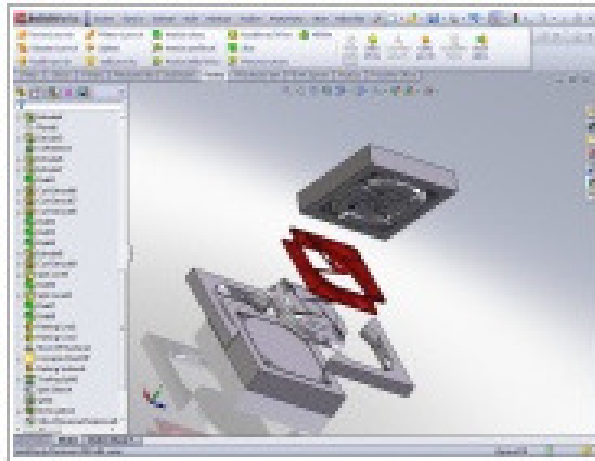
### **1.2.2 SolidWorks**

SolidWorks je v současné době jeden z nejúspěšnějších strojírenských 3D CAD systémů na českém trhu, což dokazuje také každoroční nárůst počtu prodaných licencí. Zároveň patří mezi jediný CAD systém na českém trhu, který je kompletně lokalizován přímo výrobcem. [4]

#### *Možnosti SolidWorks*

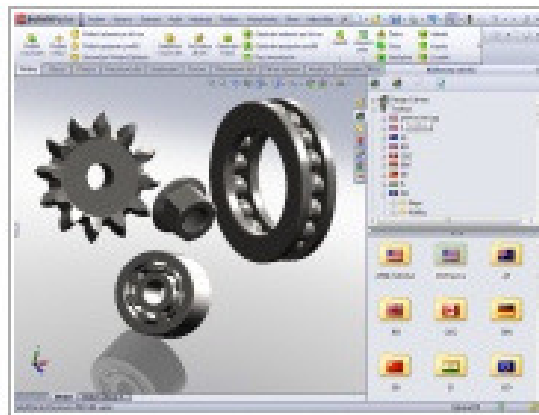
**SolidWorks Standard** – obsahuje řešení pro 3D CAD navrhování, umožňuje taktéž modelování plechových dílů, svařenců a forem. Součástí jsou také sestavy, mechanismy a kompletní výkresové dokumentace. [4]





Obr. 6. Modelování formy v SolidWorks [4]

**SolidWorks Professional** – základní verzi přidává nové nástroje pro větší produktivitu a lepší komunikaci. Zahrnuje rozšiřující moduly: SolidWorks Toolbox, Feature Works, Solid Works Utilities, SolidWorks Design Checker, Plánovač úloh SolidWorks, Photo view. [4]



Obr. 7. Knihovna normalizovaných součástí SolidWorks Professional [4]

**SolidWorks Premium** – oproti dvěma předchozím možnostem přidává SolidWorks Premium navíc nástroje pro pokročilé a přesné strukturální a pohybové simulace. Dále obsahuje nástroje pro tvorbu potrubí a kabelových svazků.

**SolidWorks Sustainability** – balíček rozšiřuje produktovou řadu o nástroje pro podporu ekologického navrhování, které vycházejí z vědeckých poznatků. [4]

### *Oblasti použití*

Oblasti využití popsaného softwaru jsou obdobné jako u předchozího Autodesk Inventoru - přes modelování klasických součástí, tvorbu forem až po navrhování potrubí.

### **1.2.3 Velocity series (Solid Edge)**

#### *Velocity series*

Jde o komplexní řadu modulárních řešení pro tvorbu dat výrobku středně velkých firem. Velocity series se skládá z předem nakonfigurovaného produktového designu, softwaru analýzy a správy dat. Vyznačuje se především svou snadnou ovladatelností. Středně velcí výrobci mohou využívat Velocity series k přeměně svého procesu inovace za poměrně nízkých nákladů na vlastnictví.

Prvky portfolia:

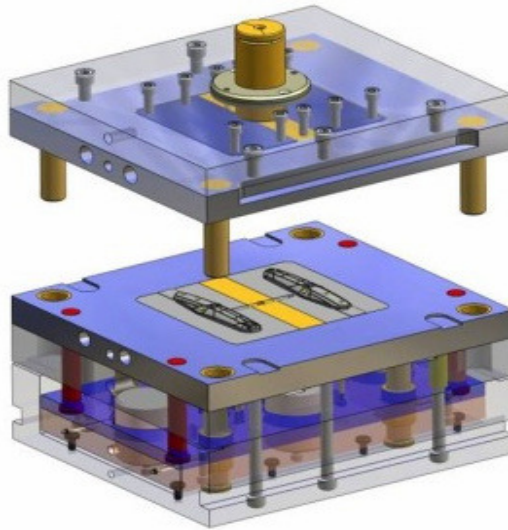
- **Femap** – pro modelování konečných prvků, vyznačuje se integrací s programem Nastran, který je významným řešitelem CAE pro danou oblast
- **CAM Express** – NC programovací aplikace
- **Solid Edge** – 3D CAD software zaměřený na design
- **Teamcenter Express** – pro řešení správy produktových dat [5]

#### *Solid Edge*

Je to jedna ze součástí portfolia Velocity Series. Jedná se o hybridní 2D/3D CAD program vyznačující se rychlým návrhem, dokonalejším modelováním a kreslením dílu i sestav, což vede k odlehčení rostoucí složitosti návrhu výrobků. [5]

#### Solid Edge V20

Dvacátou řadu systému UGS Solid Edge, která přináší další spoustu novinek a ulehčení konstruktérům, tvoří Solid Edge V20. Balík obsahuje Solid Edge 2D Drafting, modul je zdarma a slouží pro tvorbu výkresové dokumentace, a Solid Edge Mold Tooling modul pro tvorbu forem. [6]



Obr. 8. Model formy v programu Solid Edge V20 [6]

### *Oblasti použití*

Software Solid Edge našel uplatnění, stejně jakož tomu bylo u programů SolidWorks a Autodesk Inventor, u konstrukce klasických součástí, u součástí se složitějším designem.

## **1.3 Méně využívaný konstrukční software**

### **1.3.1 T – Flex**

T – flex je na českém trhu poměrně nová a cenově dostupnější možnost CAD systému. Umožňuje profesionální tvorbu 3D modelů včetně jejich výkresů. Jeho upgrade probíhá již od roku 1989. [7]

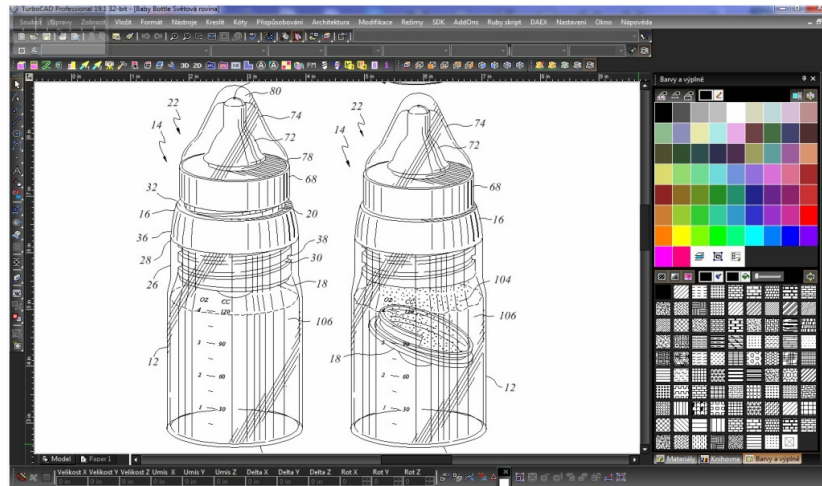
Součásti balíku T – Flex:

- T – Flex CAD
- T – Flex CAM
- T – Flex Analysis
- T – Flex Dynamics

### 1.3.2 Turbo CAD

Obecně se jedná o CAD systém používaný k tvorbě výkresové dokumentace s návazností na špičkové vizualizační výstupy při využití integrovaných nástrojů pro 2D a 3D.

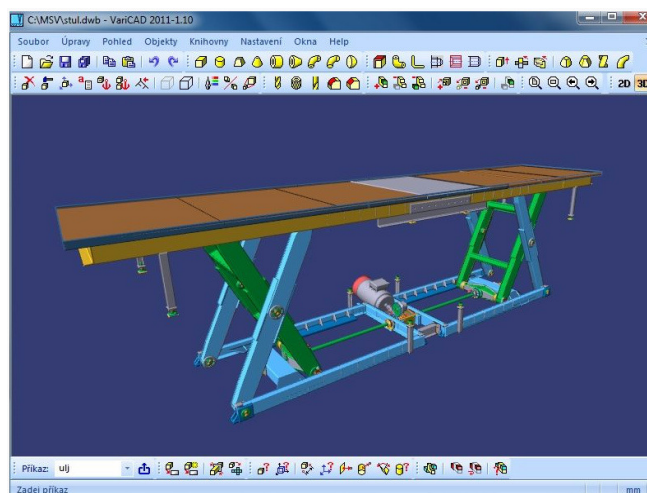
Turbo CAD je k dostání ve dvou verzích, a to Turbo CAD – Professional a Turbo CAD – Professional Platinum.



Obr. 9. Výkresová dokumentace Turbo CAD Professional [8]

### 1.3.3 VariCAD

Součástí standardních modulů VariCADu je 3D přímé a parametrické modelování, geometrické vazby, 2D kreslení, asociativní kótování, knihovny strojních součástí atd. Tyto nástroje umožňují konstruktérům velmi rychle modelovat, analyzovat a neomezeně upravovat koncepty návrhů.



Obr. 10. 3D model ve VariCADu [9]

## 1.4 Cenové relace konstrukčního softwaru

Ceny konstrukčního softwaru se pohybují od několika tisíc do několika desítek tisíc. Srovnání cen softwaru popisuje tabulka 1. V tabulce jsou uvedeny ceny klasických komerčních licencí. Uvedené ceny v tabulce 1 byly čerpány z internetových stránek jednotlivého konstrukčního softwaru.

Tab. 1. Porovnání cen konstrukčního softwaru

Software	Cena (Kč)
Autodesk Inventor	180 000 - 300 000
SolidWorks	190 000 - 285 000
Solid Edge	70 000 - 200 000
T - Flex	40 000 - 90 000
TurboCAD	30 000 - 40 000
VariCAD	70 000

## 1.5 Catia V4, V5, V6

V podkapitole je popsán jeden z nejpoužívanějšího softwaru pro konstrukci výrobků ve velkých firmách, kterým je CATIA. Název CATIA je zkratkou anglických slov „Computer Aided Three-dimensional Interactive Application“, v překladu počítačem podporovaná trojrozměrná interaktivní aplikace. [10]

CATIA je software pro 3D počítačové konstruování v oblastech CAD/CAM/CAE vyvíjený francouzskou společností Dassault Systemes a je základním kamenem „product lifecycle managementu“. Systém byl vytvořen ke konci 70. let a v průběhu 80. let se začal používat v leteckém, automobilovém a loděřském průmyslu. Později se rozšířil i do ostatních průmyslových odvětví. [11]

CATIA nabízí široké spektrum řešení integrovaných do jednoho prostředí pro veškeré aspekty a obory:

- konstruování a vývoje výrobku
- zvyšování konkurenceschopnosti firmy
- snižování nákladů
- optimalizace technologických procesů
- zajištění spolupráce v týmech
- podpora bezvýkresové výroby[12]

Software umožňuje práci více konstruktérů v rámci jednoho projektu, přičemž program zaručuje okamžité promítnutí provedených změn do ostatních částí konstruované součásti v rámci projektu. Využívá přitom nástroje k parametrizaci dílů, kdykoliv během jejich návrhu, které přinášejí konstruktérům volnost při návrhu koncepce a zároveň jistotu správného výsledku. [13]

Program CATIA zahrnuje celou řadu možností práce s vytvořeným dílem. Modelováním více dílů můžeme vytvořit sestavu, která je obrazem reálného zařízení. V programu lze také tvořit výkresy. Výhodou je provázanost výkresu s modelem součásti. Každá změna modelu se ihned projeví na výkrese. Další silnou stránkou zmiňovaného softwaru jsou analýzy. Jednotlivé modely můžeme zatížit silami, které by na dílec působily ve skutečnosti, a tím získáme informace o jeho deformacích. Uvedeným způsobem může konstruktér dokonale dimenzovat navrhovanou součást a předejít zbytečným ekonomickým a časovým ztrátám.

### 1.5.1 CATIA V4

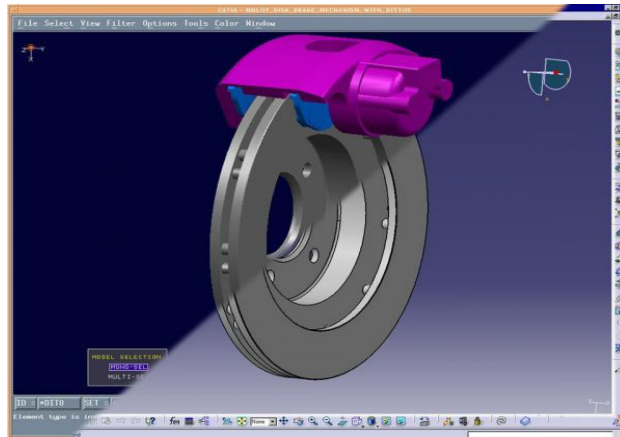
CATIA V4 obsahuje kompletní řešení pro ucelený vývoj výrobků zahrnující veškeré fáze procesu návrhu výrobku, a to od přípravy až po jeho výrobu.

V současné době je CATIA V4 zastaralá a většina firem již pracuje s novější generací systému CATIA V5. Systém CATIA V4 je udržován pouze pro správu starých dat.

Konfigurace a produkty jsou rozdělené do následujících oblastí:

- řešení pro návrh mechanických součástí,
- řešení pro povrchové modelování a styling výrobků,
- řešení pro analýzu a simulaci,
- řešení pro přípravu výroby,
- řešení pro návrh vnitřního zařízení,
- řešení pro Internet a Intranet,
- řešení aplikace,
- řešení AEC pro návrh výrobních celků,
- řešení pro řízení vývoje výrobku,

[14]



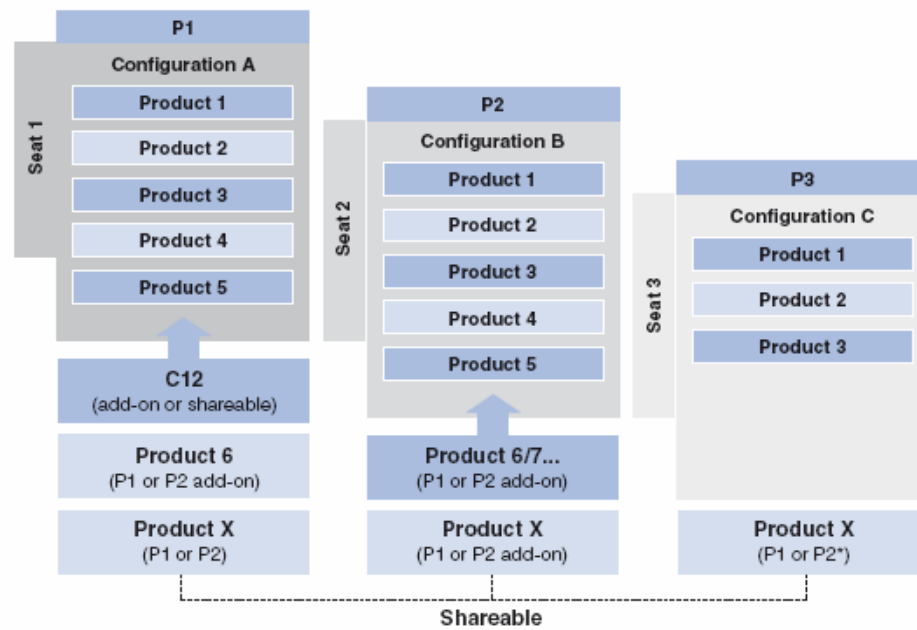
Obr. 11. 3D model v CATII V4 [14]

### 1.5.2 CATIA V5

CATIA V5 je komplexním řešením pro velké množství různých průmyslových odvětví. Velkou předností daného systému je funkčnost „hybridního modeláře“, což znamená, že může kombinovat v jednom modelu jak plošné (surface), tak i objemové (solid) elementy. Volnost při výběru modelovacích technik je umožňuje kdykoliv kombinovat a činí tak CATIA V5 silným systémem. [11]

Jádrem CATIA V5 jsou konfigurace tvořené jednotlivými produkty uspořádanými do tří různých platform: P1, P2 a P3. Platformy se zaměřují na tři rozdílné specifické úrovně potřeb zákazníka:

- Platforma P1 – je určena pro základní modelování pro malé a střední procesně orientované zákazníky.
- Platforma P2 – umožňuje celý životní cyklus výrobku od návrhu koncepce až po vlastní provoz výrobku.
- Platforma P3 – přináší vysokou úroveň specifické funkční výbavy jak zvláštním zákazníkům, tak úsekům rozsáhlých průmyslových komplexů. [12]



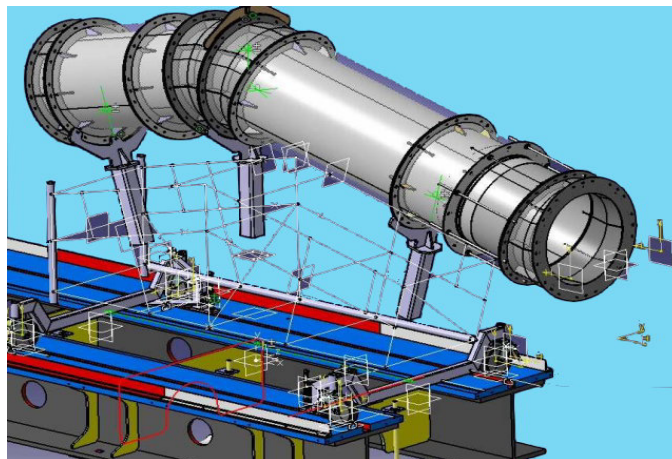
Obr. 12. Platformy P1, P2 a P3 [12]

### ***Konfigurace CATIA V5***

Součástí každé konfigurace je předem definovaná skupina produktů nejobvyklejších uživatelských profilů v průmyslových a výrobních oblastech.

### **Mechanical Design Solution ( Mechanická konstrukce)**

Je to skupina modulů určená pro tvorbu CAD modelů obecných strojírenských konstrukcí na bázi hybridního modelování s cílem vytvořit parametrický model s řadou geometrických a technologických „features“. Zahrnuje 3D objemové modelování (Part design), modelování ploch, práce s plechy, sestavy, výkresy atd. [12]

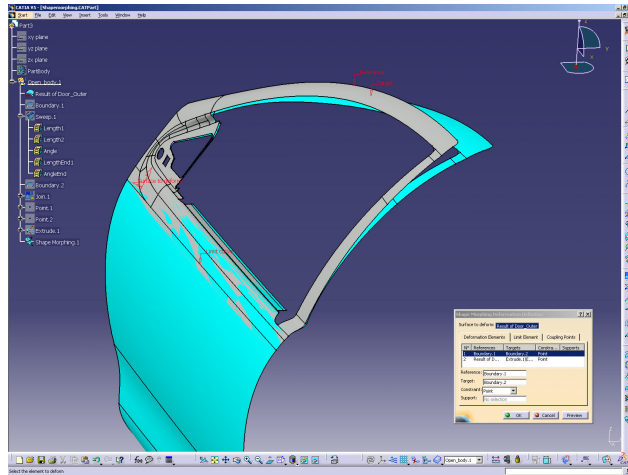


Obr. 13. Model Mechanical designu solution [15]



### Shape Design & Styling Solution (Tvarování a styling)

Modul určený pro tvorbu jednoduchých i složitých ploch. Nalezl uplatnění v oblasti automobilového karosářství.



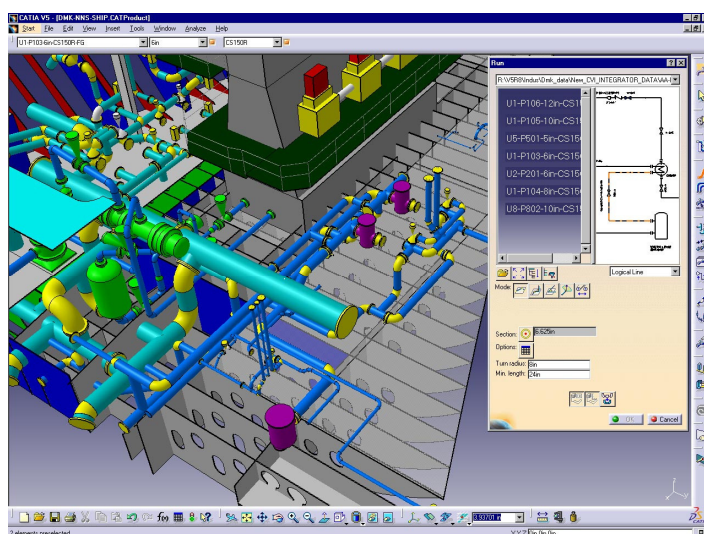
Obr. 14. Shape design [13]

### Product Synthesi (Syntéza produktu)

Modul je určený pro kontrolu, analýzu a hodnocení funkčnosti výrobku během celého jeho životního cyklu. Obsahuje také finální montáž, simulaci užitných funkcí a závěrečnou demontáž po uplynutí životnosti. [14]

### Equipment and System Engineering Solution ( Vnitřní zařízení a systémy)

Modul obsahuje produkty pro návrhy elektrických zařízení, kabelových svazků a rozvodů. [11]



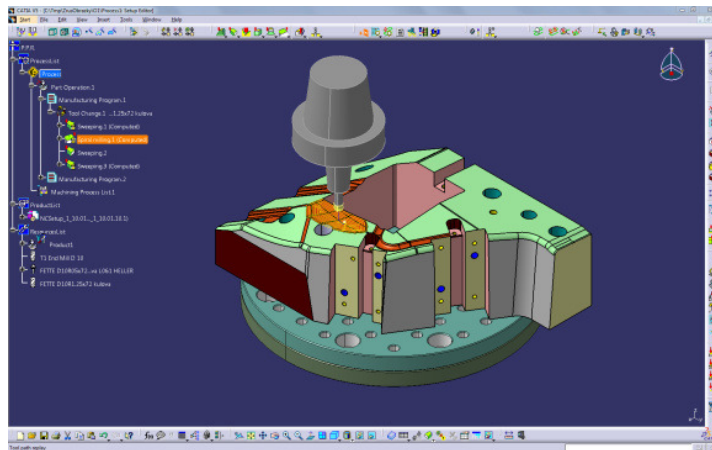
Obr. 15. Návrh potrubí v CATIA V5 [13]

### **Analysis Solution (Inženýrské analýzy)**

Nabízí produkty pro analýzy metodou konečných prvků pro jednotlivé díly nebo sestavy.

### **Machining (NC obrábění)**

Obsahuje specializované CAM aplikace.



Obr. 16. NC obrábění v CATIA V5 [14]

### **Infrastructure Solution (Infrastruktura systému)**

Zahrnuje převodníky mezi CATIA V5 a dalšími standardními formáty. Umožňuje i výměnu dat s předchozí verzí CATIA. [11]

### ***Mold tooling design***

Další oblastí, ve které nabízí CATIA V5 své možnosti, je výroba speciálních nástrojů, zejména forem pro vstřikování plastů.

Vstřikovací formu můžeme rozdělit na dvě části. První částí je tvarová dutina, která dává tvar budoucímu výrobku. Tato část formy se vyznačuje svou odlišností. Druhou částí je konstrukční stavba nástroje - formy, která se většinou moc neliší a vykazuje určité prvky podobnosti. Proto o většině forem můžeme říct, že jsou sestaveny ze stavebnicového systému standardních komponent, které jsou dostupné na trhu. Konstrukční stavbu těchto forem tvoří skupina paralelních desek s různou funkcí a řada dalších, v nich umístěných, nebo k nim připojených součástí, jako jsou např. vodící sloupy, vodící čepy, pouzdra, vtokový, chladicí, vyhazovací systém atd. Výhoda stavebnic spočívá v tom, že není potřeba vyvíjet a vyrábět každou jednotlivou součást formy zvlášť. [29]

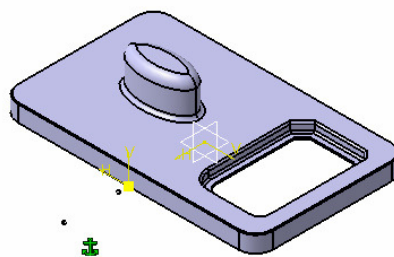
Základ pro tvorbu dutiny formy tvoří počítačový model součásti. Po zhotovení tvarové dutiny a všech jejích potřebných úpravách přijde na řadu modul „Mold Tooling Design“, pomocí kterého se zhotoví kompletní návrh konstrukční stavby formy ze stavebnicového systému. Modul „Mold Tooling Design“ nabízí pro práci standardy HASCO, RABOURDIN, DME, EOC, STRACK. Lze použít také vlastní systém, který si konstruktér navrhne sám. Ve stavebnicovém systému modulu je možné nadefinovat rozměry formy, které se následně promítají v 3D náhledu. Uvedeným způsobem konstruktér navrhne základ formy. Konstruktér má tyto možnosti:

- vytvořit nestandardní formu – konstruktér vyplní tabulku rozměrů a určí počet desek,
- vytvořit standardní formu ze stavebnicového systému,
- vytvořit formu možností kombinace obou předchozích možností – úprava standardní formy.

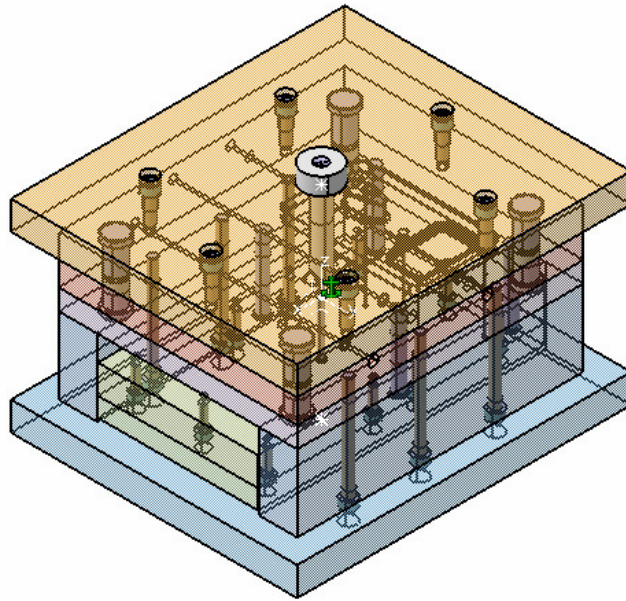
Po skončení práce systém automaticky vytvoří danou sestavu formy. Velkou výhodou tohoto modulu je možnost nastavování úrovně průhlednosti desek, což vede ke zlepšení přehlednosti a orientace ve virtuální sestavě formy. V dalším kroku se provede přidání tvarové dutiny formy:

- Tvarové vložky tvárníku a tvárnice – přidají se do sestavy a zapustí do desek.
- Dutina je vytvořena v deskách, tzn. bez vložek – určí se dělicí plocha s tvarem a systém vše integruje do desek.

V poslední fázi návrhu formy konstruktér nadefinuje poslední komponenty jako jsou např. vodící sloupky, vodící pouzdra, šrouby atd. [29]



Obr. 17. Part model CATIA V5 [28]



Obr. 18. Vstřikovací forma vytvořená v modulu „Mold Tooling Design“ programu CATIA V5 [28]

### ***Oblasti použití CATIA V5***

- Letecký průmysl
- Automobilový průmysl
- Průmysl spotřebního zboží a elektronika
- Strojírenský průmysl
- Energetika
- Lodní průmysl

### **1.5.3 CATIA V6**

CATIA V6 je komplexní CAD/CAM řešení, které tvoří základní prvek nové platformy PLM 2.0. CATIA V6. Přináší jednotnou platformu pro všechny PLM procesy, přístupnou komukoliv a kdekoliv, zahrnující skupiny uživatelů vývoje a výroby, obchodních a koncových uživatelů. CATIA V6 dává inteligentní přístup ke všem IP (Intellectual property) bez ohledu na to, kde se konkrétní data nachází. To je zajištěno technologií „MatrixOne“ zabudovanou jako základ platformy V6. [12]

Pro snadné a rychlé nasazení CATIA V6 jsou připraveny konfigurace označované jako V6 PLM Express, které obsahují jednotlivé moduly platformy V6 poskládané do předpřipravených balíčků.

### *Stěžejní přínosy platformy PLM 2.0*

- **Globální spolupráce na inovaci**

V6 umožňuje všem komunitám spolupráci na životním cyklu výrobku, a to díky univerzálnímu jazyku 3D a technologii WEB 2.0.

- **Realistická simulace**

Je možné vytvořit a simulovat 3D výrobek, který vypadá a chová se jako v případě reálného použití.

- **Jednotná platforma**

V6 disponuje jednotnou platformou pro všechny skupiny podílející se na vývoji výrobku od zákazníka až po servis včetně konstruktérů, pracovníků výroby nebo např. obchodu.

- **Online tvorba a spolupráce**

Výhoda se týká online přístupu při vývoji výrobku, který umožňuje, že se vývoje výrobku mohou účastnit i geograficky vzdálené týmy.

- **Připravenost pro PLM obchodní procesy**

Standardy, které platforma V6 přináší, jsou připravené tak, aby vyhovely odlišným standardům a normám používaných v různých průmyslových odvětvích. [14]

### *Profesní role*

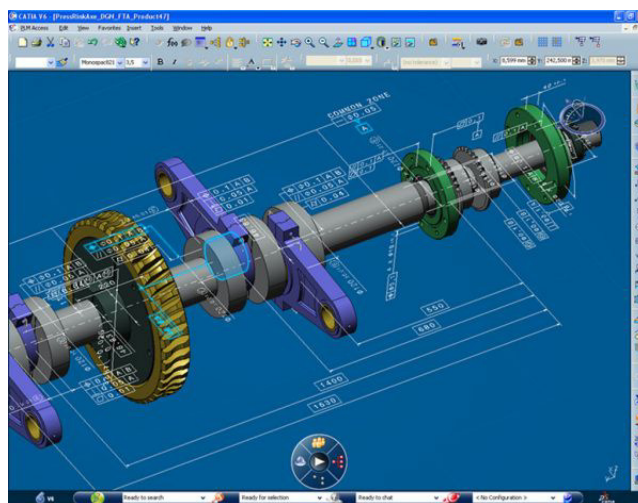
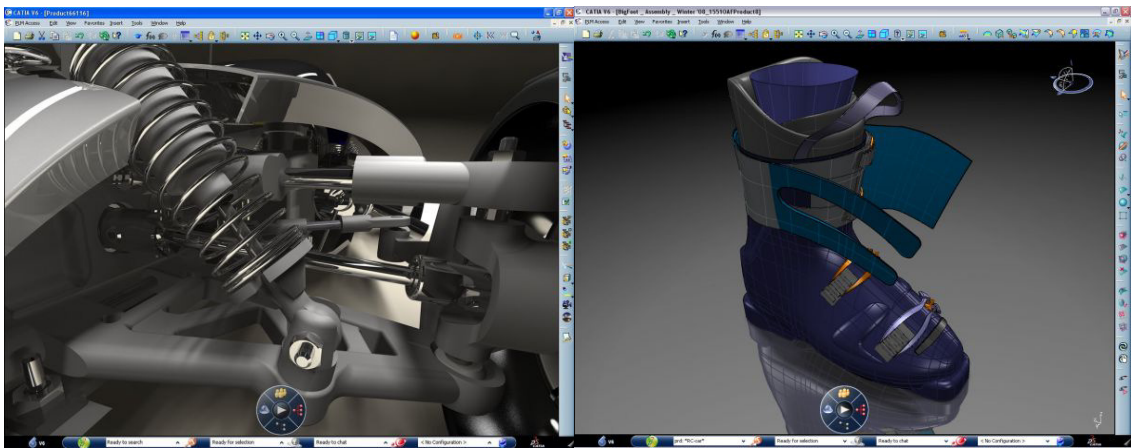
**Product Shape Engineer** - účastní se koncepční fáze vývoje produktu; uživatel má k dispozici designové nástroje, nástroje pro realistickou simulaci výrobku, reversní inženýrství

**Product Mechanical Engineer** - vytváří jednotlivé komponenty celku; uživatel má k dispozici nástroje pro mechanický design výrobku, nástroje pro FEM analýzu a další.

**Product Equipment Engineer** - návrh vybavení produktu v konceptu celé sestavy; např. potrubní systémy, kabeláže, atd.

**Product Manufacturing Engineer** - připravuje produkt do výroby; programuje a simuluje NC stroje

**Colaborator** – je spousta lidí, kteří nejsou součástí konstrukčních a vývojových skupin, ale je potřeba jejich spolupráce na vývoji produktu. Tito uživatelé mají k dispozici nástroje pro přístup k 3D datům, jejich prohlížení a spolupráci v rámci PLM procesů. [14]



Obr. 19. Dílce modelované v CATIA V6 [14]

## 2 MODUL CORE AND CAVITY DESIGN

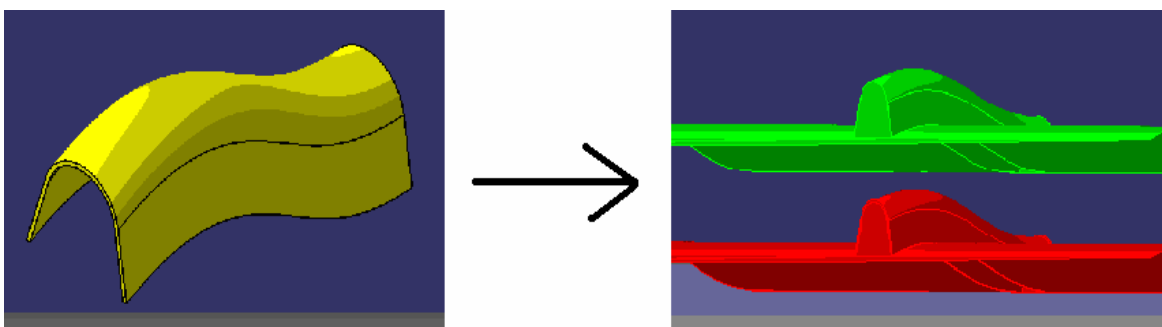
Modul Core and Cavity Design, v překladu jádro a dutina, je samostatný produkt systému CATIA. Modul je určen pro tvorbu tvárníku a tvárnice vstřikovacích forem. Lze tak snadno, rychle a hlavně efektivně vytvořit dutinu formy bez ohledu na její složitost. Produkt umožňuje uživateli vyplnit otvory nacházející se uvnitř jádra a dutiny formy, určit dělicí křivky, generovat dělicí roviny, případně plochy. Tvorba dutiny formy vychází z již vymodelovaného dílu, například v Part Designu, který je součástí Mechanical Design Solution.

Modul Core and Cavity Design nabízí následující hlavní funkce:

- nástroj pro import vymodelovaných dílů,
- nástroje pro nastavení směrů,
- nástroje pro tvorbu dělicích rovin,
- referenční čáry a elementy,
- nástroje pro tvorbu forem.

Při návrhu dutiny formy v modulu Core and Cavity je nutná spolupráce s modulem Mold Tooling Design, který je součástí systému CATIA a používá se pro tvorbu forem. Obsahuje nástroje, pomocí kterých lze vložit jak celou formu najednou, tak nástroje pro postupné vkládání jednotlivých částí forem.

Nové standardy popisovaného modulu tak vytváří podmínky pro to, aby výrobek a příprava části pro tvarování v Core and Cavity Design byla soběstačná. [16]



Obr. 20. Tvorba tvárníku a tvárnice v modulu Core and Cavity Design

Podrobný popis postupu pro tvorbu dutiny formy v modulu Core and Cavity Design se nachází v praktické části diplomové práce.

### 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikování plastů patří mezi poměrně složité tepelně mechanické procesy tváření, na kterých se podílí:

- použitý materiál, ze kterého vznikne námi požadovaná součást,
- výrobní cyklus především se vstřikovacím strojem a ostatním zařízením realizující přípravu a dopravu taveniny do dutiny formy,
- forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást.

Výše zmíněné faktory ovlivňují užité vlastnosti a kvalitu vyrobené součásti. [17]

#### 3.1 Vstřikovací formy

Vstřikovací forma je ta část vstřikovacího stroje, která udává tavenině po ochlazení konečný tvar a rozměry výrobku při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Forma po dobu své životnosti musí splňovat určité požadavky:

- odolnost vůči vysokým tlakům,
- zajištění požadované přesnosti a kvality výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku,
- nízká pořizovací cena,
- snadná a rychlá výroba.

Konstrukčně vstřikovací formy nabízí velké množství typů forem, které můžeme rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelistové, vytáčecí atd.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [17] [18]



### 3.1.1 Konstrukční návrh formy

Jsou-li vyřešeny a k dispozici všechny potřebné technické údaje formy, viz. tabulka 2, následuje vypracování konstrukčního návrhu formy, který je podkladem k vlastní konstrukci formy. Bývá často vyžadován také pro posouzení pracnosti a stanovení nákladů na formu. Konstrukční činnost představuje:

- posouzení tvaru a rozměrů součásti, která se má vyrábět vstříkáním,
- zaformování výstřiku a určení dělicí roviny,
- vhodné umístění vtoku se svým ústím a polohu vyhazovačů.

Z takto určené tvarové dutiny formy vyplyne téměř celá koncepce formy. [17]

Tab. 2. Technické údaje formy [17]

Forma	Konstrukce	Výkres součásti
		Násobnost formy
		Typ vstřikovacího stroje
		Zvláštní požadavky
	Výroba	Příprava výroby
		Vlastní výroba
		Termín zhotovení
		Odzkoušení

### 3.1.2 Postup při konstrukci formy

Výkresová dokumentace vyráběného dílce spolu s vytvořeným konstrukčním návrhem formy a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Konstrukce formy má pak následující postup:

- posouzení výkresu součásti (tvar, rozměr), volba dělicí plochy, aby byla co nejjednodušší kvůli výrobě, a to celé s ohledem na umístění vtoku a způsobu zaformování,
- stanovení rozměrů tvarových dutin a jejich uspořádání s ohledem na smrštění, opotřebení dutiny a výrobní toleranci; velikost výrobní tolerance dutiny se volí 20% ze smrštění,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy,

- volba vhodného materiálu, ze kterého se zhotoví rám formy a ostatní díly s ohledem na zatížení a technologické podmínky vstřikování,
- zvolení vhodného upnutí a vystředění formy na stroji,
- zkontrolování funkčních parametrů formy s ohledem na určený vstřikovací stroj.

Celá koncepce pro konstrukci vstřikovací formy musí být vyhovující jak z ekonomické stránky, tak z té výrobní. [18]

### 3.1.3 Návrh dutiny formy

Navržený tvar a rozměry funkčních dílů formy tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Dimenzování tvarové dutiny formy je velmi důležitou etapou konstrukčního řešení. Všechny chyby vzniklé při dimenzování dutiny se odrazí na nedodržení rozměrů výstřiku. Můžeme tedy říci, že povrch i rozměry výstřiku jsou dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy.

Požadavky kladené na dutiny forem:

- Stěny dutiny musí mít technologické úkosy. U vnějších tvarů, které při ochlazování uvolňují výstřik se úkos nepožaduje, ale doporučuje.
- Jádra nacházející se v tvářecí dutině formy vyžadují úkosy. Konstrukce musí být provedena tak, aby při vstřiku nedocházelo k jejich deformacím nebo destrukci.
- Ostré hrany a rohy, které zasahují během pracovního cyklu do dutin a utěšňují je, musí mít úkos cca  $1 - 2^\circ$ .

Uvedený výběr základních požadavků je při konstrukci nutno respektovat. [19]

Přesnost tvarových dutin je v rozmezí IT 8 až IT 10. [17]

Tab. 3. Parametr drsnosti povrchu u obráběných forem [18]

Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Obrobená a požadovaná jakost ploch
0,05	nejpřesnější tvárnice a tvárníky s opracováním na vysoký lesk
0,1	tvárníky a tvárnice s opracováním na běžný lesk
0,2	tvárníky a tvárnice s dokonalým povrchem
0,4	tvárníky a tvárnice s matným povrchem, opracování dosedacích ploch
0,8	opracování tvárníc a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	opracování tvárníc a tvárníků méně náročných forem a dosedacích ploch

Přesnost dutin ovlivňují tři činitelé:

1. smrštění plastu – dutina formy je zvětšena o hodnotu smrštění plastu,
2. výrobní tolerance – stanovují se podle technologie výroby s ohledem na toleranci výstřiku,
3. opotřebení dutiny formy – bere se v úvahu jen u velkých sérií.

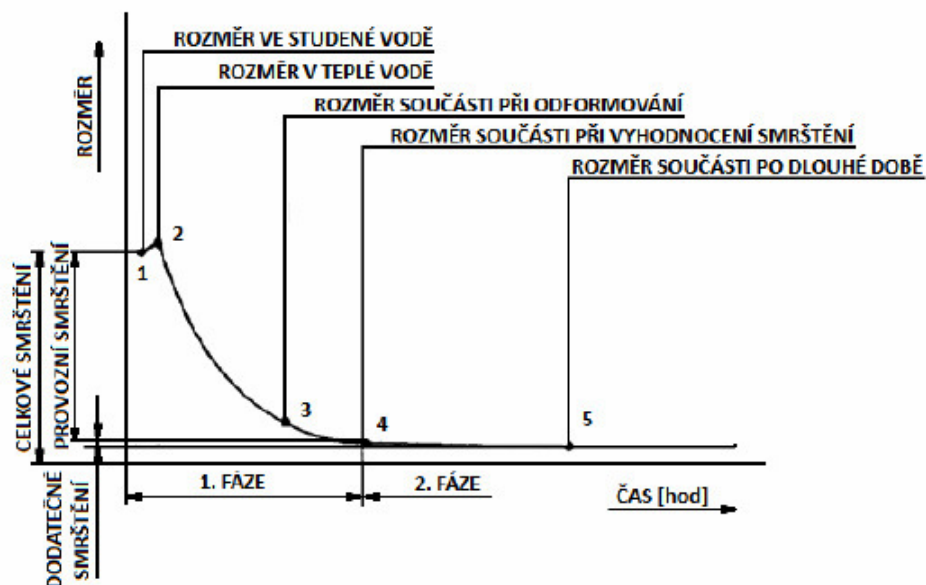
### ***Smrštění výstřiku***

Nejčastější chybou při návrhu dutiny formy je nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tváření plastu. Správnou hodnotu smrštění je někdy velmi obtížné určit, protože výpočetní smrštění se u složitějších výstřiků jen málo kryje s hodnotou danou výrobcem plastů. V tomto případě většinou konstruktér vychází z vlastních zkušeností.

Velikost smrštění je rozdíl mezi velikostí dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Tato hodnota se udává v % a její velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích.

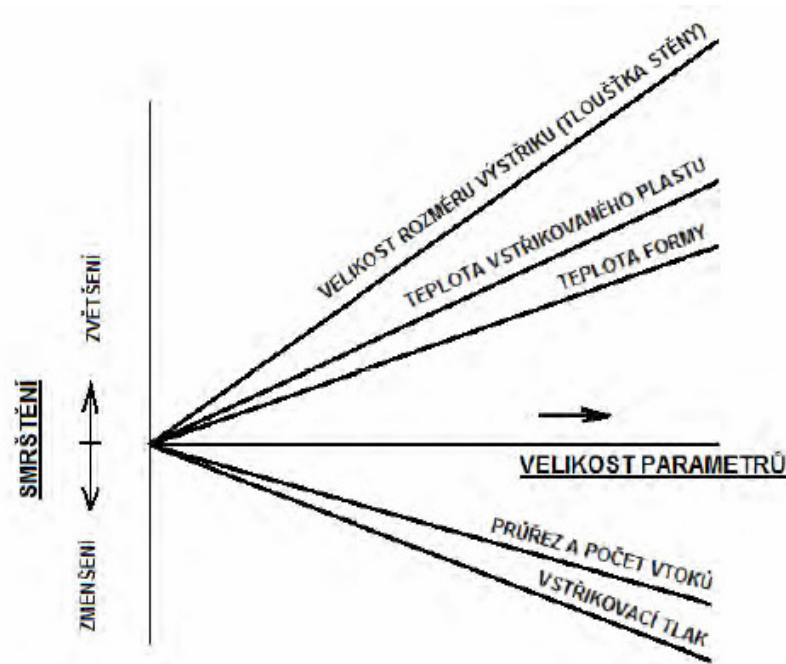
Smrštění dělíme do dvou časových fází.

1. provozní smrštění – velikost tohoto smrštění se stanovuje 24 hodin po výrobě součásti a představuje až 90% z jeho hodnoty,
2. dodatečné smrštění – probíhá poměrně dlouho podle typu polymeru. [17]



Obr. 21. Průběh provozního i dodatečného smrštění [17]

Velikost smrštění ovlivňuje typ plastu a jeho vlastnosti, tvar vyráběného dílce, technologie vstřikování a vstřikovací forma (vtoková soustava a teplota chlazení).



Obr. 22. Vlivy jednotlivých faktorů na velikost smrštění [17]

### 3.1.4 Úprava povrchu dutin forem

Dutina se většinou zhotovuje dle požadavků vyráběné součásti. Vedle rozměrů dutiny formy je také důležitým parametrem jakost jejího povrchu.

Druhy povrchu dutin forem:

#### 1. Matný povrch

Tento povrch patří mezi technologicky nejjednodušší. Obvykle vznikne po elektroerozivním obrábění. Dá se ovšem vyrobit i jinými technologiemi jako jsou např. ruční úprava, otryskávání apod.

#### 2. Lesklý povrch

Pro docílení tohoto povrchu je potřeba poměrně nákladné a náročné operace. Materiál formy musí být kvalitní ocel. Použitá technologie vstřikování musí být na vysoké úrovni. Lesklého povrchu lze dosáhnout leštěním dutiny formy různými mechanickými pomůckami nebo se také dají použít elektrické jednotky s rotačním, přímočarým i planetovým pohybem za pomoci správného brusného tělíska či brusné pasty.

### 3. Dezénovaný povrch

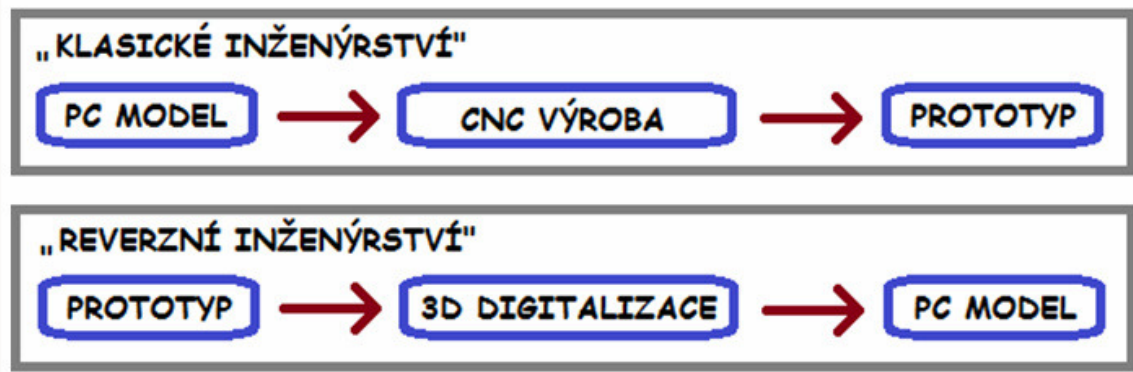
Využití dezénovaného typu povrchu nachází čím dál větší uplatnění. Důvodem je nejen estetický význam, ale především dezénovaný povrch zakrývá některé drobné povrchové vady na výstřiku. Dezénovaný povrch lze vyrobit na všech rovinných i zakřivených plochách, které jsou přístupné. [17]



Obr. 23. Leštěná dutina formy [20]

## 4 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

Reverzní inženýrství, v českém překladu „zpětné inženýrství“, je poměrně nová technologie, která umožňuje digitalizaci prostorových objektů a následně jejich zpracování. Hlavní rozdíl oproti klasickému inženýrství popisuje obrázek 24.



Obr. 24. Porovnání klasického a reverzního inženýrství [21]

Z obrázku vyplývá, že základem reverzního inženýrství je již hotová součást, která je snímána vhodným zařízením. Výsledkem je obrovské množství bodů, které se následně zpracovává na 3D model.

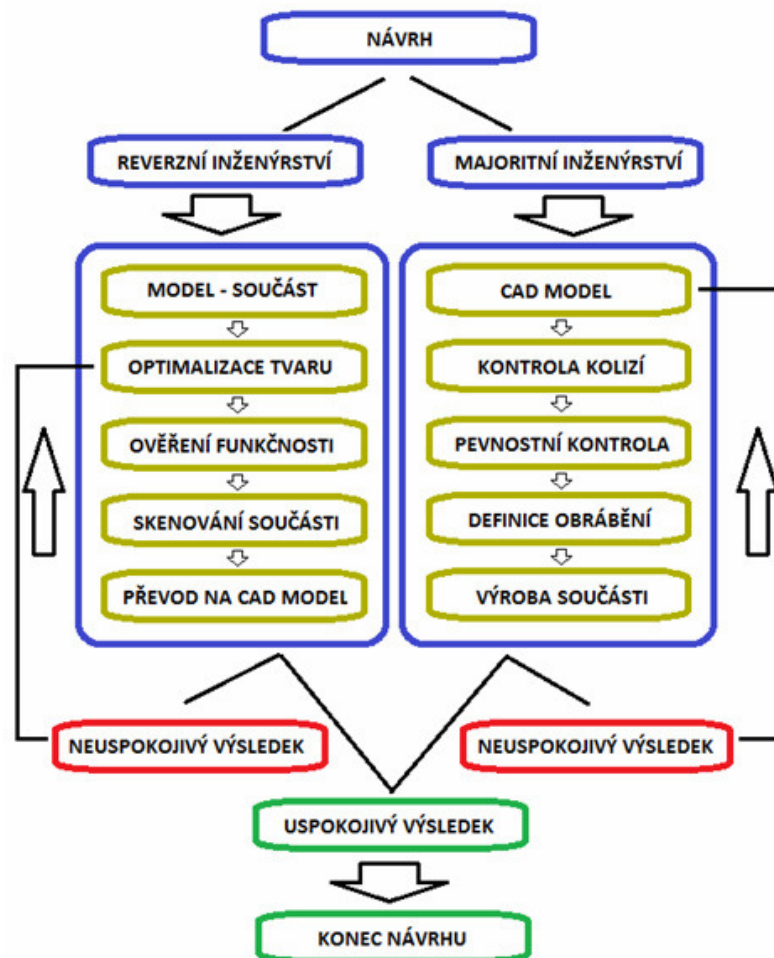
Cílem reverzního inženýrství není změna nebo nahrazení doposud využívané inženýrské metodiky, cílem je pouze přinést do zmiňované oblasti nové možnosti. [21]

Využití uvedeného procesu je přínosem v mnoha oblastech:

- návrh tvarově náročných strojních součástí,
- kontrolní a revizní činnost,
- opravy a rekonstrukce,
- digitalizace vzorů a šablon,
- diagnostika,
- optimalizace,
- archivace.

#### 4.1 Příklad procesu návrhu

Na následujícím obrázku 25 je zobrazen zjednodušený proces návrhu jak pro reverzní inženýrství, tak pro klasické inženýrství. Z obrázku je patrné, že volba vhodného procesu je ovlivněna konkrétním zadáním. Reverzního inženýrství můžeme s výhodou využít v případě, když budeme navrhovat tvarově složitější součásti jako jsou například různá madla a jiné designově náročné tvary. Modelování v CAD systému složitého tvaru odlitku je náročné, jak z hlediska pracnosti, tak z hlediska časového. V tomto případě je zpětné inženýrství velkým přínosem. [21]



Obr. 25. Příklad procesu návrhu [21]

Příklad postupu návrhu odlitku s využitím reverzního inženýrství:

1. Tvorba modelu budoucí součásti z dobře tvarovatelného a levného materiálu. Jako materiál se používá dřevo nebo sádra jejichž cena je mnohem nižší než cena materiálu použitého při výrobě.

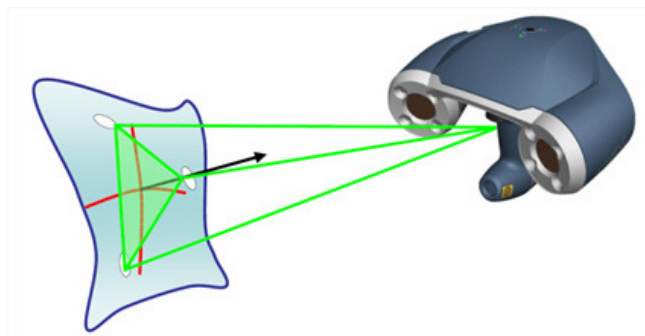
2. Z fyzického modelu se digitalizací získají data.
3. Následuje převod získaných dat na polygonovou síť.
4. Získaná polygonová síť se převede na definované plochy. V tomto kroku je možná optimalizace získaného tvaru.
5. Využitím metody Rapid Prototyping (3D tisk) se vyhotoví skutečný model, který lze využít pro tvorbu formy.

Rozdíl mezi modelem na počátku a na konci procesu je hlavně v přesnosti, dokonalosti a kompletnosti. [21]

## 4.2 Zařízení 3D digitalizace

Pro převod reálného modelu do formy dat využívá tato technologie převážně prostorových skenerů. V dnešní době je na trhu široký sortiment skenovacích technologií. Jejich dělení je následující:

- dotykové,
- optické,
- laserové,
- destruktivní,
- rentgenové,
- ultrazvukové.



Obr. 26. Princip triangulace optického skeneru [21]

Laserový skener pracuje na principu opticky aktivní triangulace. Na povrchu snímané plochy je laserový kříž, který snímají dvě kamery. Měří se tak vzdálenost jednotlivých bodů plochy od skeneru. Aktuální poloha skeneru vůči ploše je určována pomocí referenčních značek. Pro určení polohy je zapotřebí, aby skener snímal minimálně tři referenční značky. [21]



## 5 RAPID PROTOTYPING

Rapid Prototyping je souhrnný název pro skupinu technologií využívající se pro rychlou výrobu dílců. Dílce vyrobené metodou Rapid Prototyping jsou plně funkční a svými vlastnostmi se podobají finálnímu výrobku. [22]

Společným znakem všech technologií Rapid Prototyping je výroba modelů postupným skládáním vrstev materiálu na základě dat odeslaných z počítače. Účelem Rapid Prototypingu je výroba neomezeně tvarově složitých součástí za krátkou dobu a při co nejnižších finančních nákladech. [23]

Dělení technologií Rapid Prototyping:

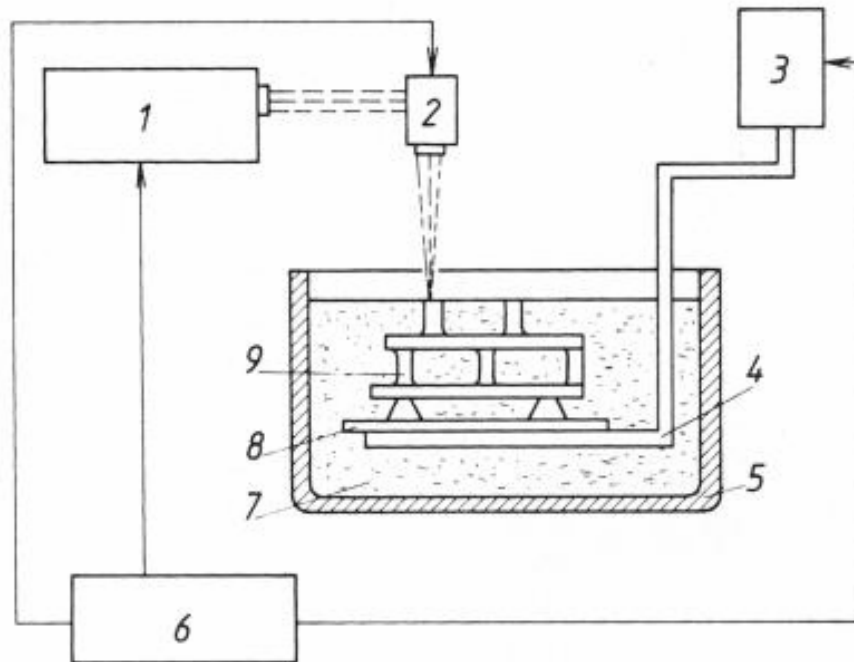
- stereolitografie,
- 3D tisk,
- selective Laser Sintering (SLS).

Všechny tři uvedené technologie pracují na podobném principu. 3D data ve formátu .stl jsou rozřezána na rovinné vrstvy stejných tloušťek. Tloušťka těchto vrstev je důležitá, protože ovlivňuje přesnost prototypu a vykreslení detailů. 3D model je tvořen sítí rovinných trojúhelníků, které obalují původní datový model. Přesnost modelu můžeme ovlivnit velikostí odchylky trojúhelníkové obálky od původního tvaru. Volba velikosti obálky trojúhelníku nám dále ovlivňuje velikost výsledného datového souboru – počet trojúhelníků. [24]

### 5.1 Stereolitografie

Při stereolitografii dochází k vytvrzování jednotlivých vrstev tekutého polymeru. Jedná se o nejstarší metodu z technologií Rapid Prototyping. Na trh byla uvedena v roce 1987. Zařízení uskutečňující danou metodu se nazývá Stereolitograf, který se skládá ze tří hlavních částí – pracovní komory, řídicí jednotky a opticko-laserového systému. Součástí řídicí jednotky je počítač, jenž ovládá celý stroj od ustavení polohy modelu na platformě a nastavení parametru laseru až po samotnou stavbu. Další část stereolitografu opticko-laserový systém je složen z laseru, čoček a soustavy zrcátek pro nasměrování laserového paprsku. V poslední části, v pracovní komoře stroje, je umístěna nádoba s tekutou pryskyřicí, ve které se pohybuje v ose Z platforma a nůž vytvářející konstantní tloušťku vrstvy. Tloušťka vrstvy u této metody se pohybuje v rozmezí 0,5 – 1,5 mm. Po nanesení a vytvrzení vrstvy

laserovým paprskem dojde k poklesu platformy, srovnání hladiny nožem a následně ke zhotovení další vrstvy. Proces se neustále opakuje, až je model celý postavený. Poté se model umyje, odstraní se podpory, na kterých byl fixován k platformě, a dá se vytvrdit do UV komory. [24]



Obr. 27. Schéma zařízení pro stereolitografii [25]

1 – laser; 2 – pracovní hlava laseru; 3 – systém pro posuv nosné desky; 4 – nosná deska; 5 – pracovní vana; 6 – CNC řídicí systém; 7 – fotonopolymér; 8 – podložka; 9 – vyráběná součást

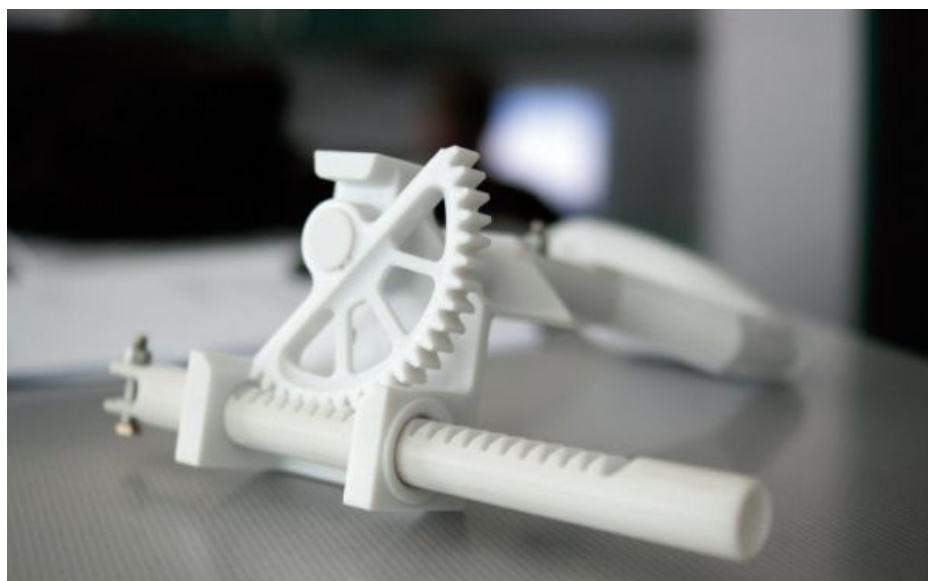
## 5.2 3D tisk (technologie FDM)

Technologie 3D tisk našla uplatnění zejména pro výrobu funkčních prototypových částí s mechanickými vlastnostmi, které se blíží skutečnému výlisku, dále při výrobě maket a pohledových vzorů.

Jedná se o nejnovější a nejpřesnější z technologií Rapid Prototyping. Využívá principu inkoustových tiskáren a je složena z několika hlavních částí. Nejdůležitější částí je tisková hlava. Další části, kterými jsou tělesa, dodávají na kovovou platformu stavební a podpůrný materiál. Podpůrného materiálu se využívá tehdy, když by stavěcí materiál při tisku musel „viset ve vzduchu“. Po vytvoření dílce je tento materiál velmi snadno odstranitelný a to buď mechanicky, proudem vody, nebo se rozpustí ve speciální lázni. Trysky, které do-

dávají na platformu materiály, jsou skladeny z důvodu dodání stejného množství. Za tryskami se nachází UV lampa, která vytvrzuje právě nanesenou vrstvu materiálu. Materiál je nanášen podle nařezaných vrstev na kovovou platformu, která se mechanicky pohybuje a tím umožňuje postupné nanášení vrstev materiálu.

Výhodou 3D tisk technologie oproti ostatním technologiím Rapid Prototyping je menší tloušťka vrstev. Tloušťka se pohybuje okolo hodnoty 0,016 mm, čímž dosáhneme větší přesnosti a kvality vyrobeného povrchu. [22] [23] [26]



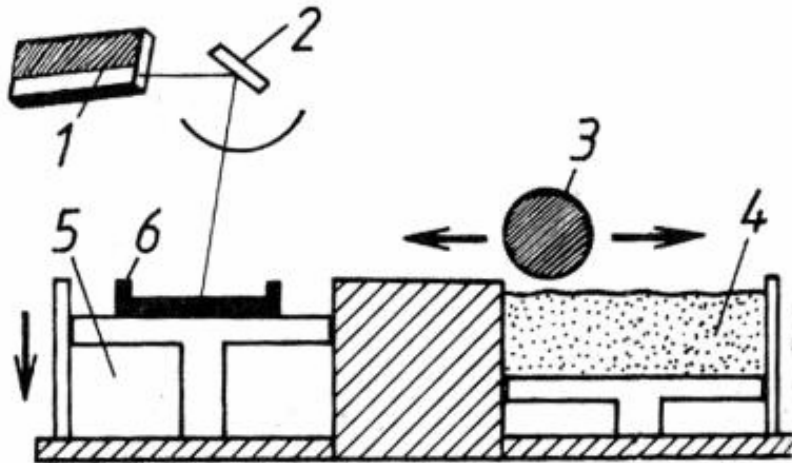
Obr. 28. Dílec vyrobený technologií FDM [22]

### 5.3 Selective Laser Sintering (SLS)

Metoda SLS je založena na principu spékání práškového materiálu pomocí laseru. Přídavný materiál je nanášen na nosnou desku v inertní atmosféře dusíku nebo argonu po vrstvách. Řízená skenovací hlava přejíždí nad vanou, ve které je nasypáný prášek. V místě působení laseru se přídavný materiál buď speče, nebo se roztaví a ztuhne. Dílec je opět složen z více vrstev. Po vytvoření jedné vrstvy se nosná deska sníží o hodnotu tloušťky vrstvy.

Tloušťka vrstev u zmiňované technologie je od 0,02 mm do několika desetin milimetru. Výhodou této technologie je možnost použití různých prášků, které se působením tepla taví nebo měknou - termoplastické materiály jako jsou polyamidy, polyamidy plněné skelnými vlákny, polykarbonáty, polystyreny, speciální nízkotavitelné slitiny z niklových bronzů nebo ocelové prášky povlakované polymery.

Další výhodou technologie SLS je větší pevnost modelů a nižší cena, z které vyplývá zejména její vhodnost pro stavbu větších a jednodušších modelů bez větších nároků na přesnost. [23] [25]



Obr. 29. Schéma zařízení pro technologii SLS

1 – laser; 2 – zrcadlo; 3 – válec pro dopravu materiálu prášku; 4 – zásobník prášku; 5 – pracovní komora; 6 – vyráběná součást [25]



Obr. 30. Dílec vyrobený technologií SLS [27]

#### 5.4 Využití technologií Rapid Prototyping

Z počátku byly technologie Rapid Prototyping velmi drahým způsobem výroby modelů, a proto si je mohly dovolit jen velké firmy většinou spojené s automobilovým průmyslem. S postupem času a vývojem těchto technologií docházelo ke snižování nákladů. V dnešní době jsou technologie Rapid Prototyping využitelné i v jiných oborech.

Uplatnění našly například v těchto odvětvích:

- Elektrotechnický průmysl – výroba miniaturních součástek, kde je kladen důraz na přesnost a minimální tloušťku stěn výrobku.
- Letecký průmysl – výroba simulátorů a zmenšených kopií letadel popřípadě částí letadel, které jsou zkoušeny v aerodynamickém tunelu.
- Zdravotnictví – využití modelů zde můžeme rozdělit na dva druhy. Prvním druhem je zhotovení master modelu, který slouží pro výrobu prototypové formy a následné odlití voskových odlitek. Odlitky poté plní ve slévárnách funkci modelů pro přesné lití a zhotovení implantátů, jako jsou například kolenní klouby. Druhý způsob, jak využít modely, je u složitých operací čelistí a zubů.

Vývoj technologií Rapid Prototyping nezastavila ani hospodářská krize, která se dotkla mnoha odvětví, proto do budoucna můžeme počítat s dalším rozvojem tohoto oboru. [23]



Obr. 31. Využití technologie rapid prototyping ve zdravotnictví [23]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 6 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo v první řadě skenování zadaných dílců. Poté následovalo zpracování dat jednotlivých součástí získaných skenerem a jejich úprava. Upravená data se dále převedla na model, který byl vhodný pro použití při tvorbě dutiny forem.

Pro 3D skenování součástí bylo využito optického skeneru ATOS II, který je součástí laboratoře UTB. Získaná data skenováním bylo potřeba zpracovat. Pro zpracování nasnímaných dat bylo využito programu GOM Inspect V7.5, který lze stáhnout na stránkách [www.gom.com](http://www.gom.com). Jedná se o volně dostupnou „freeverzi“ programu, jenž je dodáván se skenovacím zařízením ATOS II. V uvedeném programu se také realizovala potřebná úprava získaných dat.

Jakmile byla data zpracována, následovalo převedení dat z programu GOM Inspect V7.5 do formátu .stl. Tento formát dat je dále zpracovatelný programem CATIA V5R18, který je rovněž součástí Ústavu výrobního inženýrství UTB. V programu CATIA V5R18 potom vznikly z nasnímaných dat modely, které byly využitelné pro tvorbu dutin forem zadaných součástí.

Pro tvorbu dutin forem bylo využito modulu Core and Cavity, který je součástí programu CATIA V5R18.

Cíle diplomové práce mají tedy následující rozdělení:

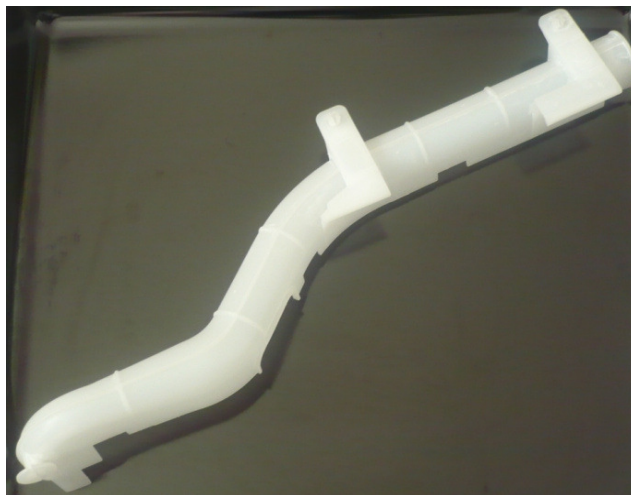
- 1) skenování zadaných součástí,
- 2) zpracování a úprava dat získaných skenováním,
- 3) převod nasnímaných dat na objemový model,
- 4) vymodelování identických modelů,
- 5) tvorba dutin forem.

## 7 ZADANÉ SOUČÁSTI

Pro diplomovou práci byly zadány dvě různé součásti.

### 7.1 Součást č.1

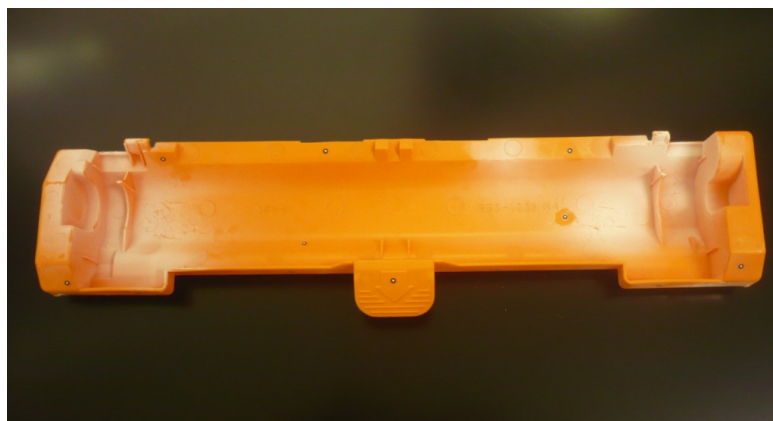
První zadanou součástí byl kryt na vedení kabelů firmy Ford. Jednalo se o součást vyrobenou z materiálu PP, viz. obrázek 32



Obr. 32. Zadaná součást č.1

### 7.2 Součást č.2

Druhou zadanou součástí byl kryt na tiskárnu, viz. obrázek 33. Materiál součásti byl rovněž PP.



Obr. 33. Zadaná součást č.2



## 8 SKENOVÁNÍ ZADANÝCH SOUČÁSTÍ

Skenování zadaných součástí probíhalo na optickém skeneru ATOS II. Jedná se o produkt firmy GOM. Skener ATOS II je mobilní bezdotykový optický 3D skener vybavený vysoce výkonnou výpočetní technikou. Součástí zařízení jsou měřicí kamery a optické členy, které zajišťují vysokou přesnost snímání. Jednotlivé pořízené záběry lze postupně skládat, až dojde k nasnímání celé plochy součásti. Největší uplatnění našel v oblastech CAD, CAM a FEM systémů.

Mezi jeho hlavní výhody patří:

- velká flexibilita – zařízení vhodné pro snímání součástí od několika milimetrů až do několik metrů,
- disponuje vysokým rozlišením – 90 bodů na 1mm,
- mobilita skeneru – malé rozměry umožňují převážet skener v osobním automobilu,
- jednoduchost ovládání,
- po úpravě povrchu lze snímat i lesklé součásti.



Obr. 34. Zařízení ATOS II



Obr. 35. Skener ATOS II

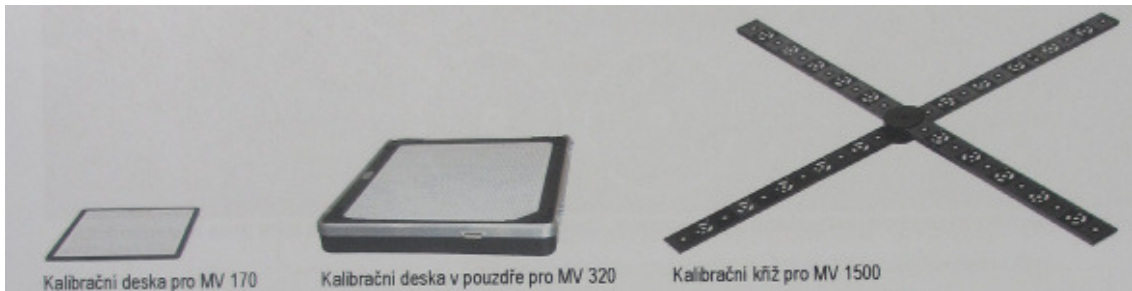
Tab. 4. Konfigurace senzoru skeneru ATOS II

Senzor	ATOS II rev.02
Název	MV 320
Měřicí objem (MV) D x Š x V (mm)	320x240x240
Vzdálenost mezi naměřenými body	0,13mm
Doporučené referenční body	ø 1,5mm
Měřicí vzdálenost	830mm
Úhel mezi kamerami	27°
Ohnisková vzdálenost objektivů kamery	23mm
Ohnisková vzdálenost objektivu projektoru	50mm

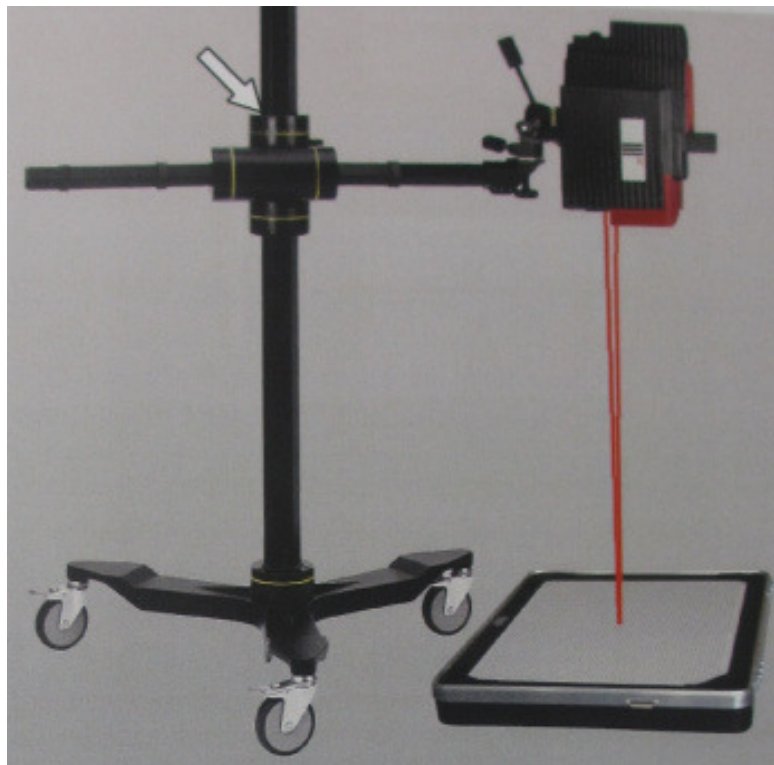
## 8.1 Kalibrace zařízení

Před samotným skenováním je nutné přístroj kalibrovat. Kalibrací se rozumí měření, při kterém probíhá nastavení měřicího systému pomocí kalibračních objektů tak, aby byla zajištěna rozměrová stálost měřicího systému. Software ATOSU II vypočítává z bodů kalibračního objektu v 2D obrazu kamery jejich 3D souřadnice.

Senzory ATOSU II využívají pro kalibraci tři různých kalibračních objektů (desku s magnetickou podložkou, desku v pouzdře a kříž).



Obr. 36. Kalibrační objekty senzoru ATOSU II



Obr. 37. Kalibrace skeneru ATOS II

## 8.2 Úprava součástí před skenováním

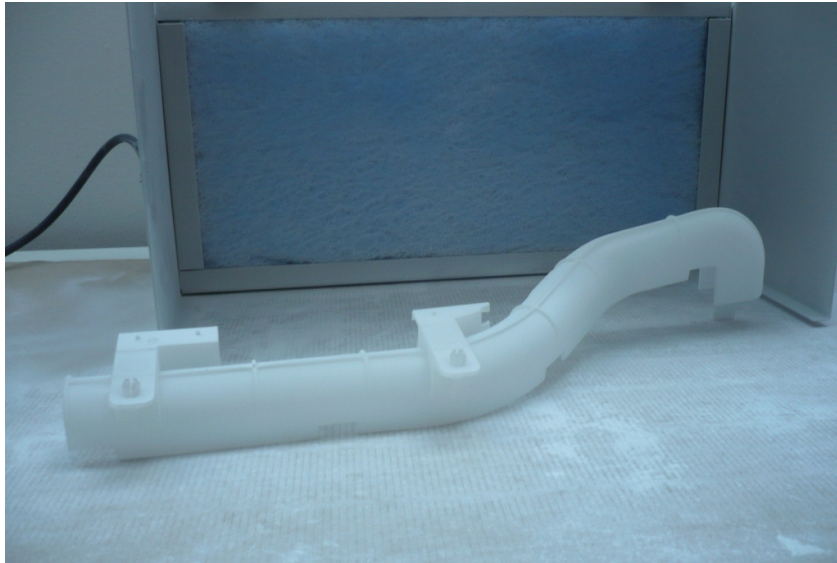
Na skeneru ATOS II není možné skenovat každou součást bez určité úpravy. U některých dílců je nutná úprava ploch před skenováním. Úprava se týká lesklých povrchů. Plochy by skener nenaskenoval, a proto je nutné na lesklé povrchy nanést určitou vrstvu směsi prášku s lihem. Po nanesení této směsi se stane z lesklého povrchu součásti matný povrch, který lze už skenovacími kamerami zaznamenat.



Obr. 38. Směs prášku a lihu pro tvorbu matného povrchu  
Vrstvu prášku bylo nutné nanášet u odsávacího zařízení, které bylo součástí laboratoře.



Obr. 39. Součást před nanesením vrstvy prášku

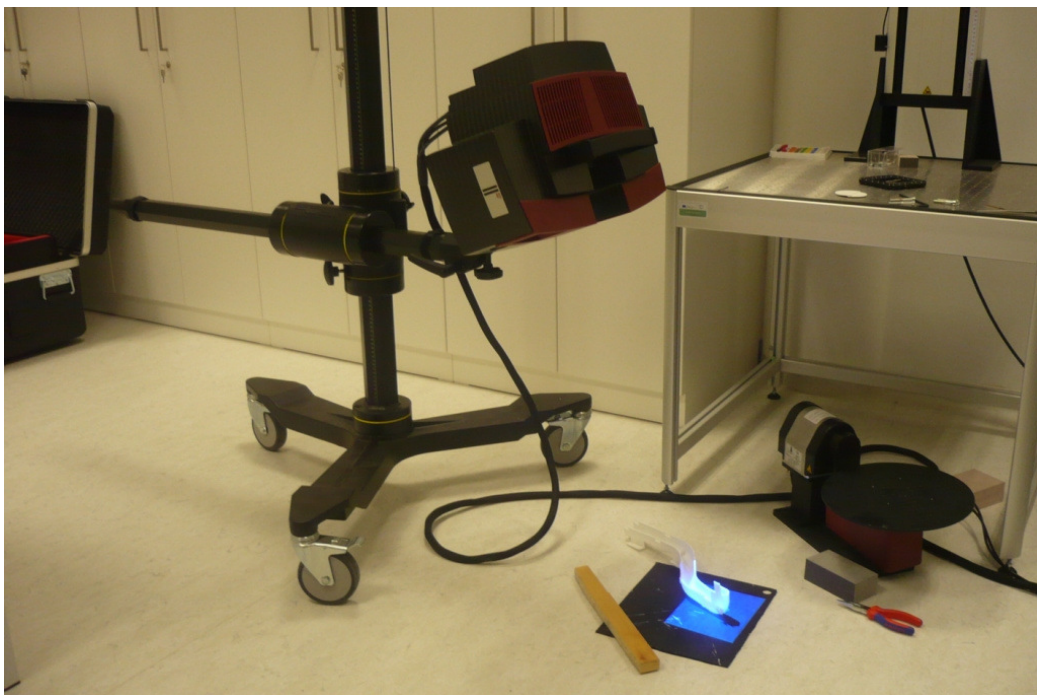


Obr. 40. Součást po nanesení vrstvy prášku

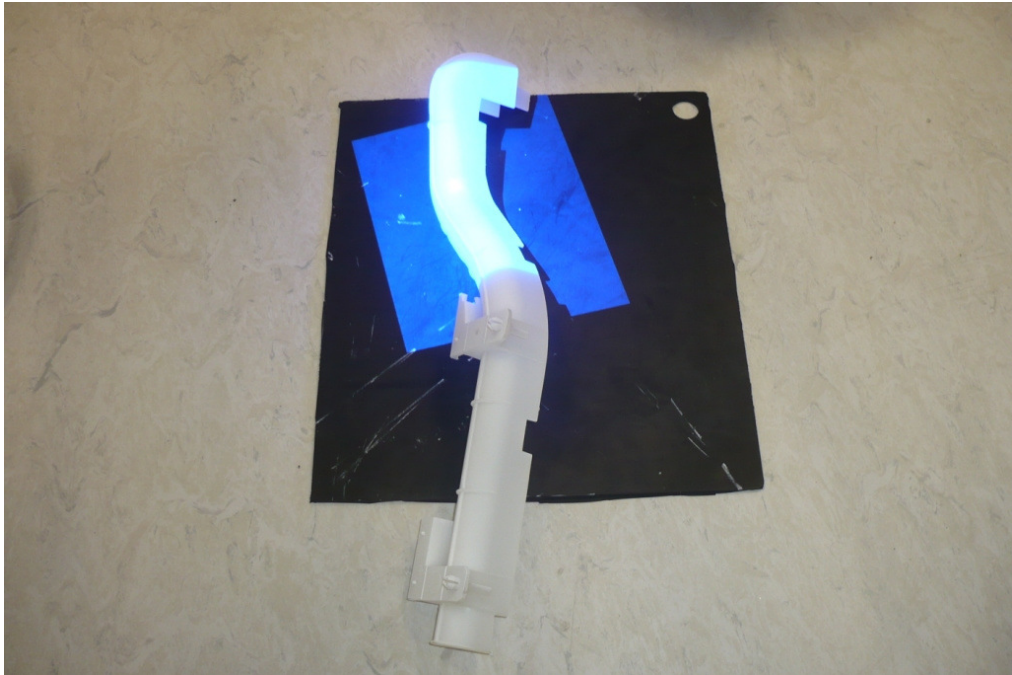
U součásti č.2 nebyla nutná úprava povrchu, protože povrch druhé součásti byl matný.

### 8.3 Průběh skenování

Při skenování součástí bylo pořízeno několik desítek záběrů, aby skenovaná součást byla dokonale nasnímána ze všech možných stran.



Obr. 41. Průběh skenování součásti



Obr. 42. Skenovaná součást

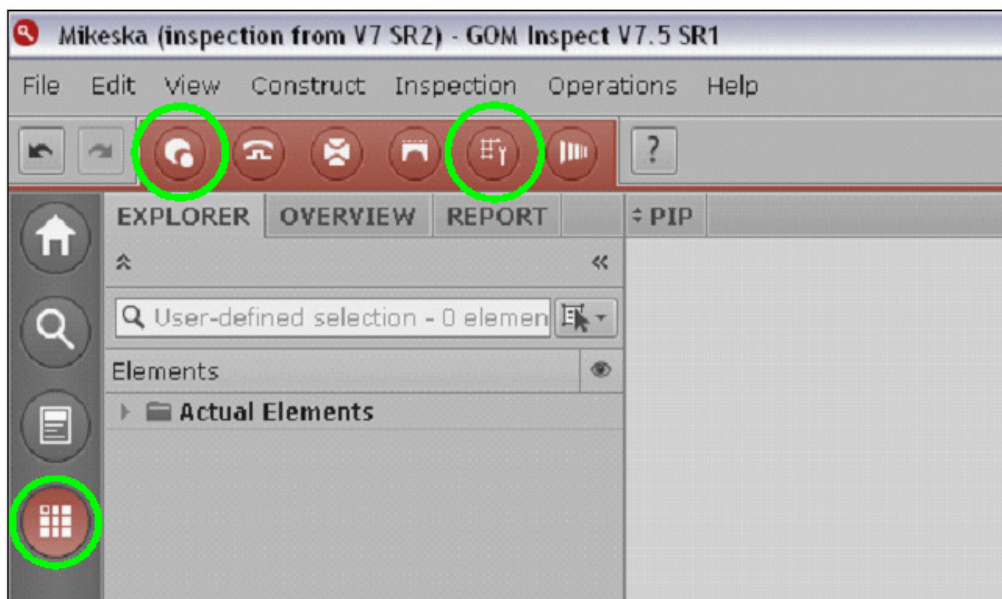
Z obrázku 42 je viditelná snímací plocha skeneru. Lze vidět, že danou součást bylo nutné nasnímat několika záběry. Postupným skládáním jednotlivě pořízených snímků dojde k vytvoření celého povrchu skenované součásti.

Při průběhu skenování bylo snahou, aby černá podložka, na které byly umístěny součásti, obsahovala minimální množství nečistot a jiných nežádoucích čar z důvodu jejich naskenování. Vzniklé nežádoucí čáry z povrchu podložky se při zpracování dat v počítači musely postupně odstraňovat. Důvodem bylo hromadění nepotřebných bodů, a tím zpomalování výpočtů počítače.

Průběh skenování součásti č.2 byl obdobný jako průběh skenování součásti č.1.

## 9 ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA DAT ZÍSKANÝCH SKENOVÁNÍM

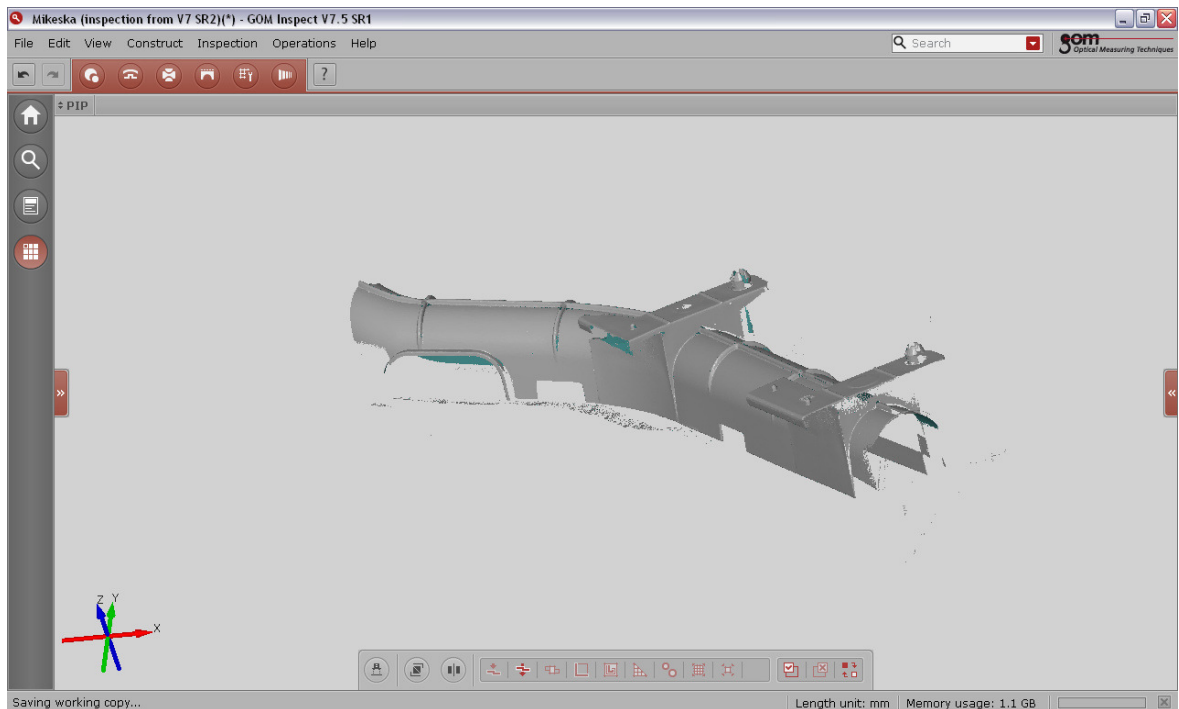
Pro zpracování a následnou úpravu získaných dat skenování bylo využito programu GOM Inspect V7.5, který je součástí vybavení skenovacího zařízení ATOS II. Jedná se o program, který skládá postupně naskenované snímky do sebe a tím vytvoří „mračno bodů“, které má tvar skenované součásti. Součástí programu je panel nástrojů „Mesh Editing“ sloužící pro úpravu získaných dat.



Obr. 43. Panel nástrojů oprav programu GOM Inspect V7.5

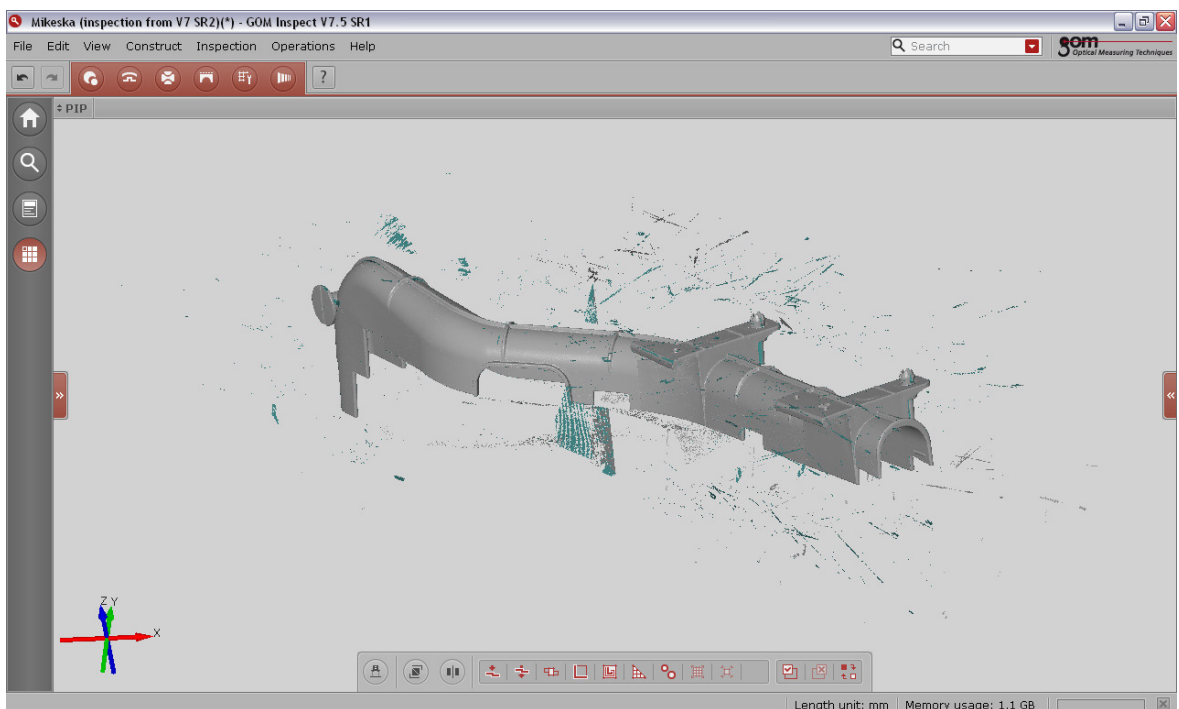
V prováděné práci bylo využito na úpravu součástí dvou nástrojů:

- Close Holes Interactively – nástroj zacelí díry vzniklé na povrchu součásti. Díry mohly vzniknout buď špatným nanesením směsi prášku a lihu, nebo cloněním jednotlivých ploch, čímž bylo znemožněno dokonalé skenování.
- Repair Mesh – nástroj slouží pro vyhlazení povrchu součásti. Na povrchu součásti mohou vznikat miniaturní výstupky, které jsou pro další zpracování nežádoucí.



Obr. 44. Naskenovaná část součásti

Postupným skládáním pořizených snímků vznikla celá součást, viz. obrázek 45.



Obr. 45. Naskenovaná celá součást

Zpracování dat součásti č.2 bylo obdobné jako u součásti č.1.

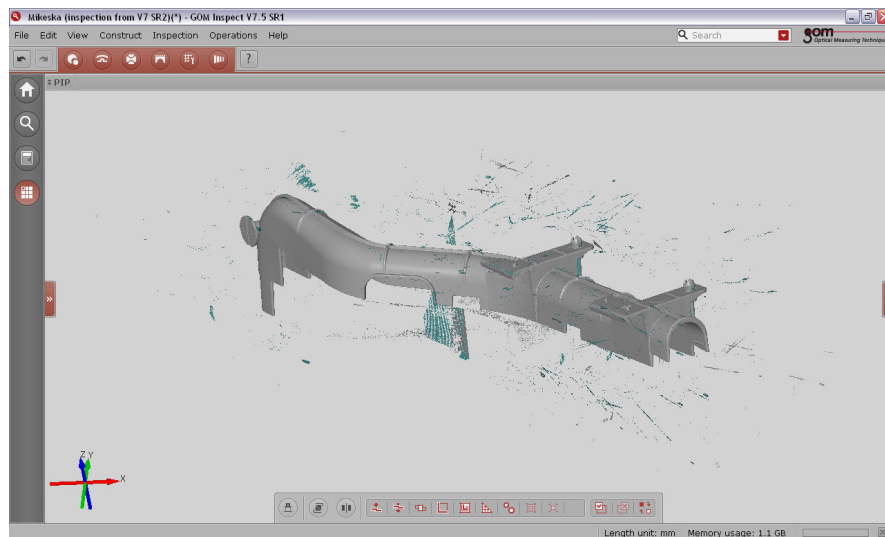


## 9.1 Úprava získaných dat skenování součásti č.1

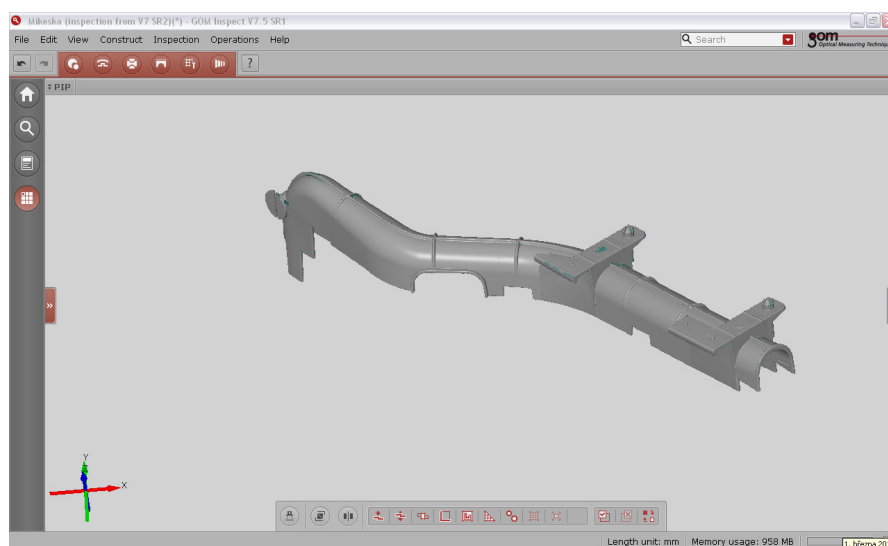
Úpravou získaných dat, jak už bylo uvedeno v předchozí kapitole, se rozumí odstranění děr vzniklých na povrchu součásti nebo odstranění miniaturních vrcholků. Pro úpravu bylo využito panelu „Mesh Editing“ a nástrojů „Close Holes Interactively“ a „Repair Mesh“, jež jsou součástí programu GOM Inspect V7.5.

### 9.1.1 Odstranění nežádoucích naskenovaných čar a míst

Nežádoucí body vzniklé při skenování jsou problémem nečistot podložky nebo prostředí, vyskytující ho se v okolní blízkosti skenované součásti.



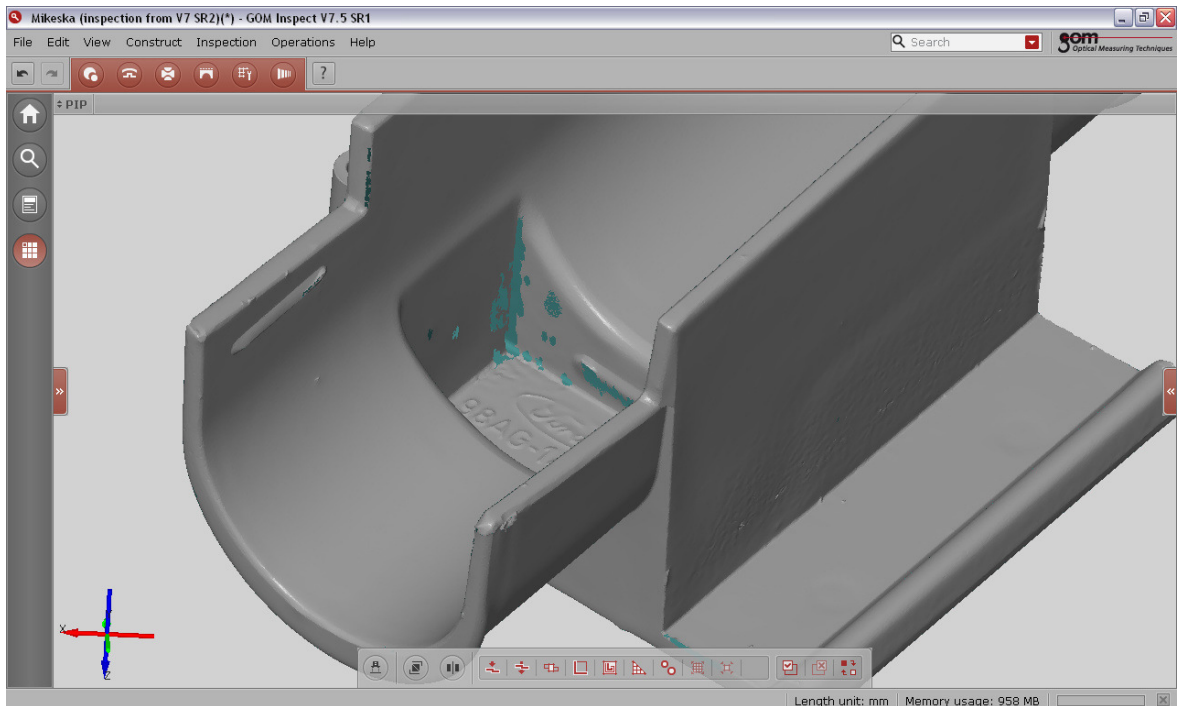
Obr. 46. Součást s nežádoucími naskenovanými místy



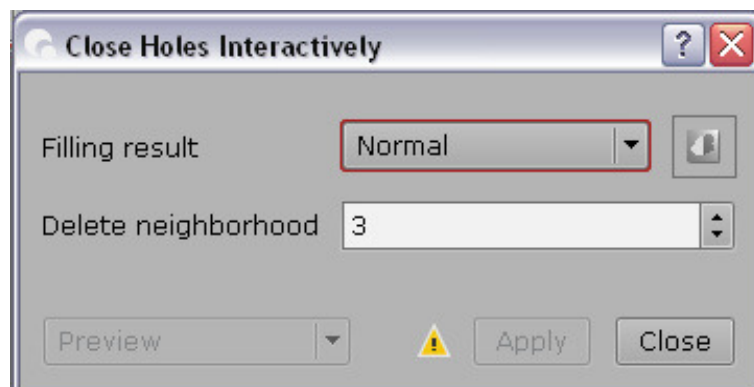
Obr. 47. Součást s odstraněnými nežádoucími naskenovanými místy

### 9.1.2 Odstranění děr na povrchu součásti č.1

Pro opravu bylo využito nástroje „Close Holes Interactively“. Problémová díra na povrchu součásti je signalizována modrozelenou barvou. Zobrazené modrozelené oblasti nebyly skenerem naskenovány, takže program tam nevytvořil žádnou plochu. Díry je potřeba odstranit – vyplnit.

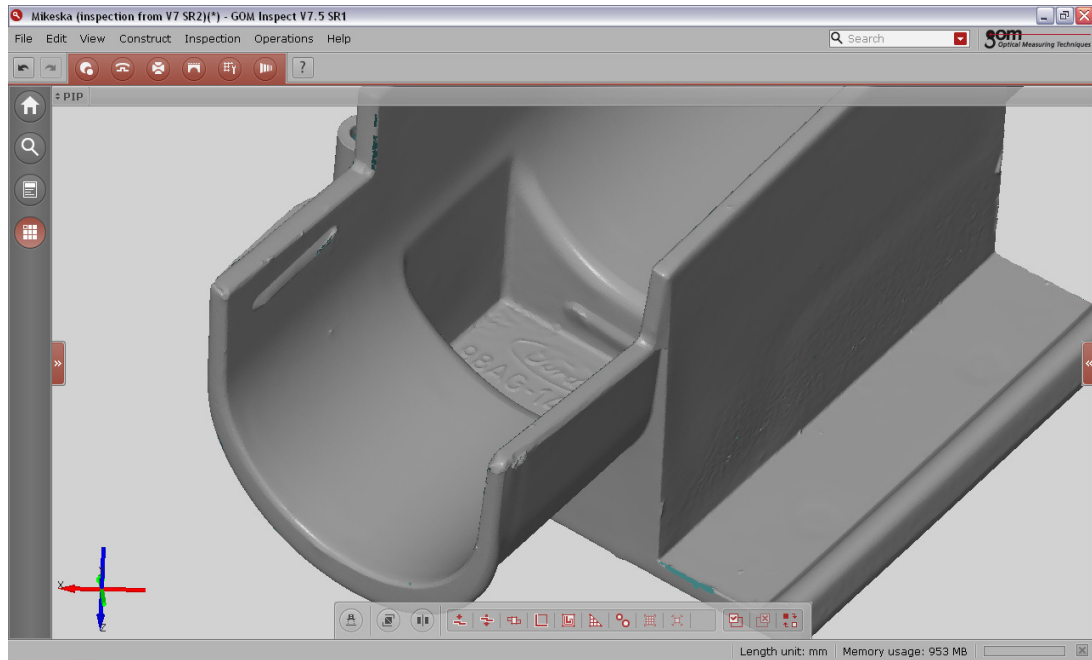


Obr. 48. Povrch součásti č.1 před opravou



Obr. 49. Okno nástroje „Close Holes Interactively“

V okně opravy se volí dva parametry. První parametr „Filling result“ udává stupeň drsnosti. Pomocí druhého parametru „Delete neighborhood“ můžeme měnit rozsah vyplňované díry.

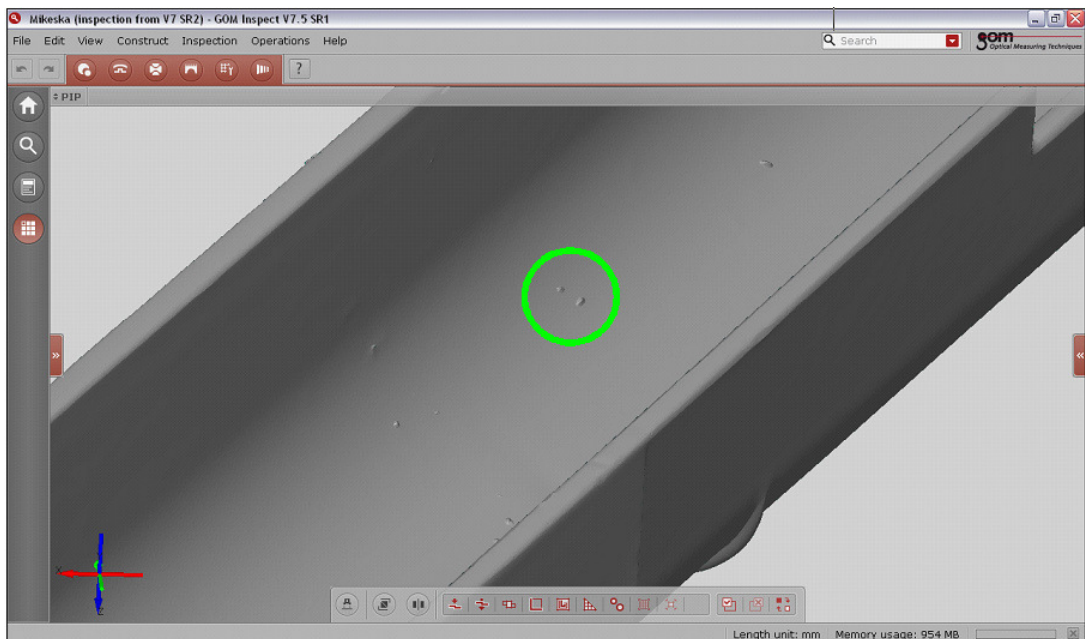


Obr. 50. Povrch součásti č.1 po opravě

Po opravě povrchu součásti byla nevyplněná místa znázorněná modrozelenou barvou odstraněna.

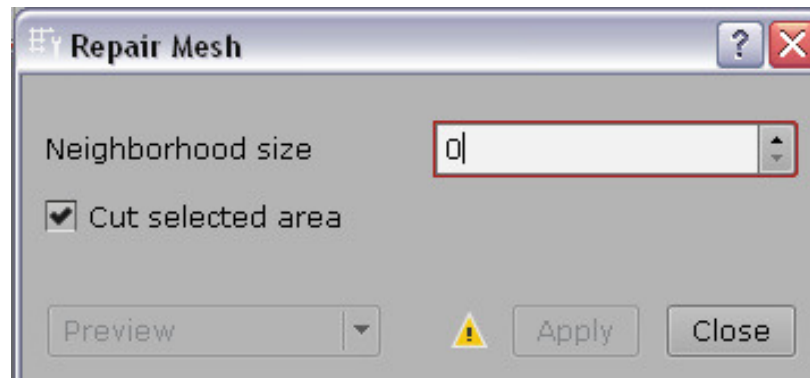
### 9.1.3 Odstranění miniaturních vrcholků na povrchu součásti č.1

Pro odstranění uvedeného problému bylo využito z panelu „Mesh Editing“ nástroje „Repair Mesh“. Nástroj slouží pro odstranění miniaturních vrcholků z povrchu součásti.

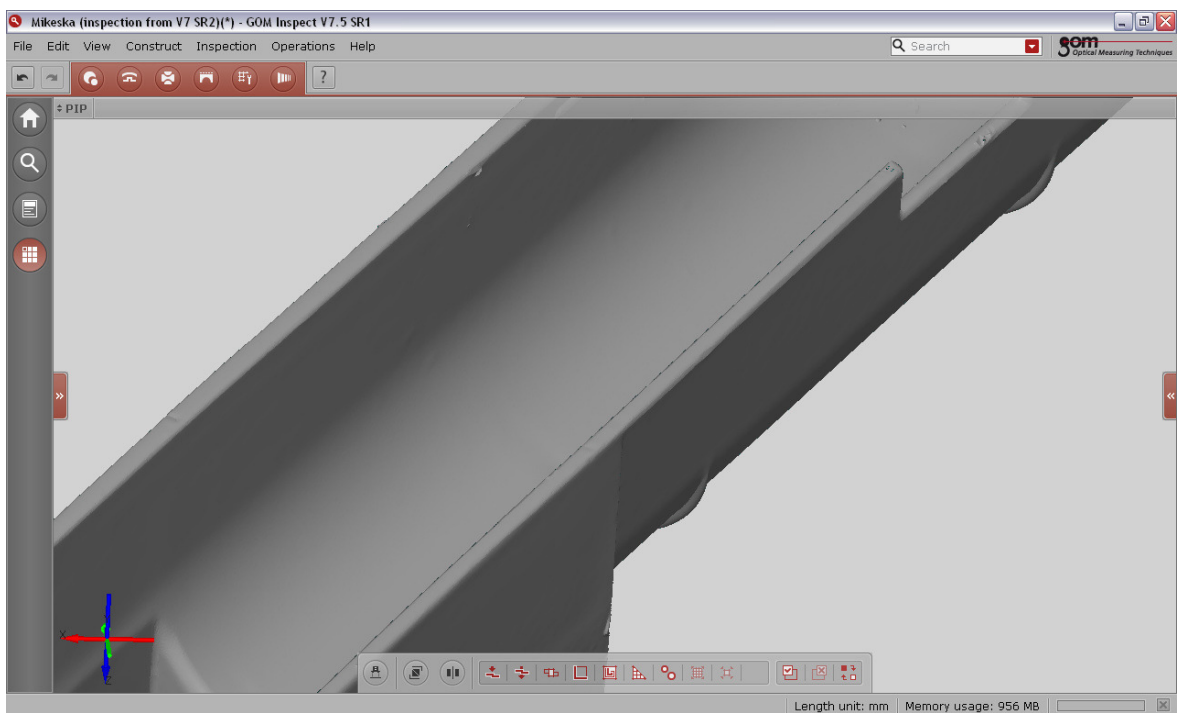


Obr. 51. Miniaturní vrcholky součásti č.1 před opravou

Po zapnutí nástroje „Repair Mesh“ se v okně vyplňuje pouze „Neighborhood size“, což je velikost opravované oblasti.

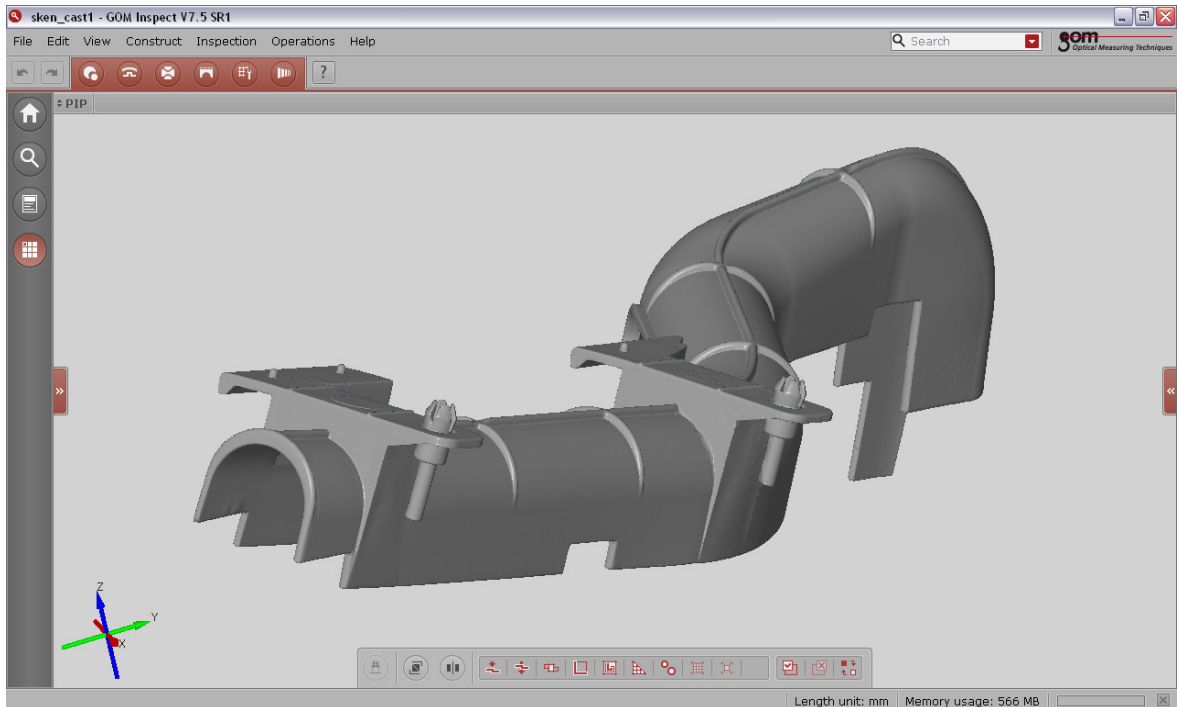


Obr. 52. Okno nástroje „Repair Mesh“



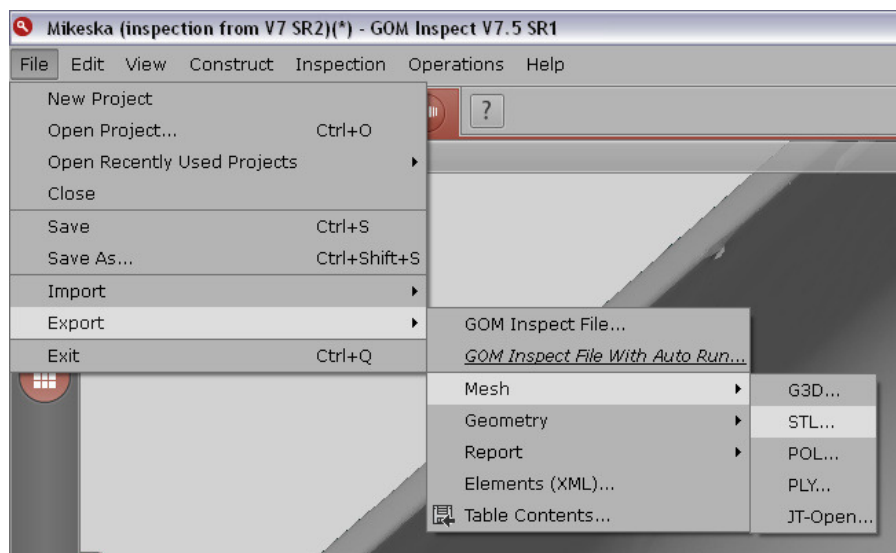
Obr. 53. Povrch součásti č.1 po opravě

Po opravě povrchu součásti byly vzniklé miniaturní vrcholky odstraněny.



Obr. 54. Opravená součást č.1

Po všech úpravách a odstranění nežádoucích ploch se body modelu mohou spojit v jeden celek, který je následně převeden a uložen do formátu .stl, se kterým se dá dále pracovat v programu CATIA V5R18, kde se z takto přichystaného modelu vytvoří objemový model.



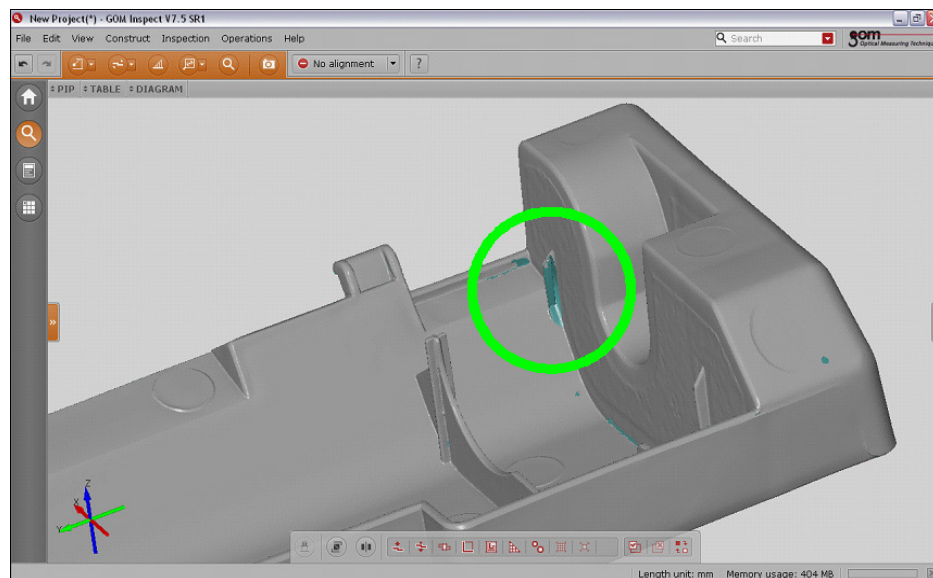
Obr. 55. Export modelu do formátu .stl

## 9.2 Úprava získaných dat skenování součásti č.2

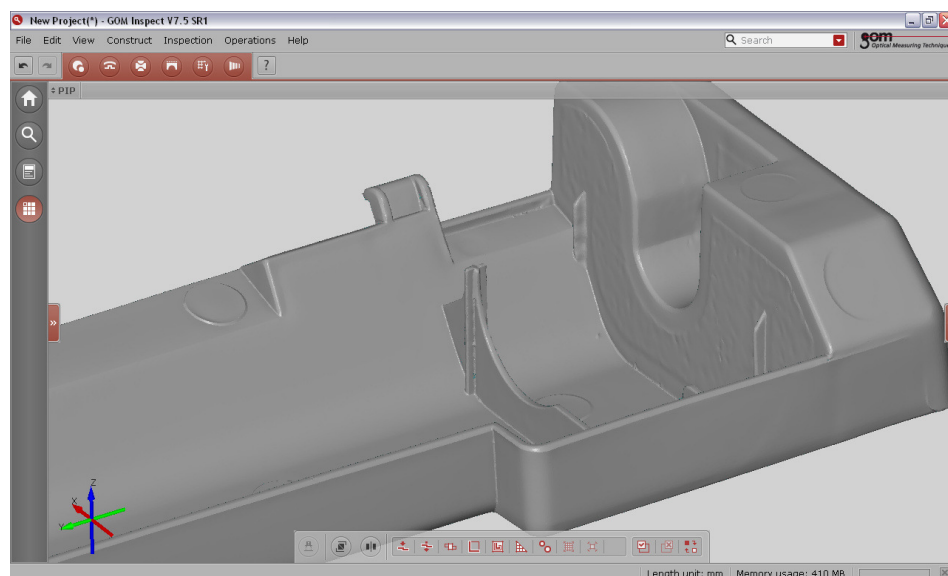
Skenování druhé součásti vznikly stejné problémy jako u součásti první. Jednalo se o nenaskenovaná místa na dílci a vzniklé miniaturní vrcholky na povrchu plochy. Pro odstranění nedokonalostí se využilo stejných nástrojů, jak tomu bylo u součásti č.1.

### 9.2.1 Odstranění děr na povrchu součásti č.2

Pro odstranění – vyplnění děr, které vznikly špatným naskenováním povrchu, se využilo nástroje „Close Holes Interactively“ stejně jako u předchozí součásti.



Obr. 56. Povrch součásti č.2 před opravou

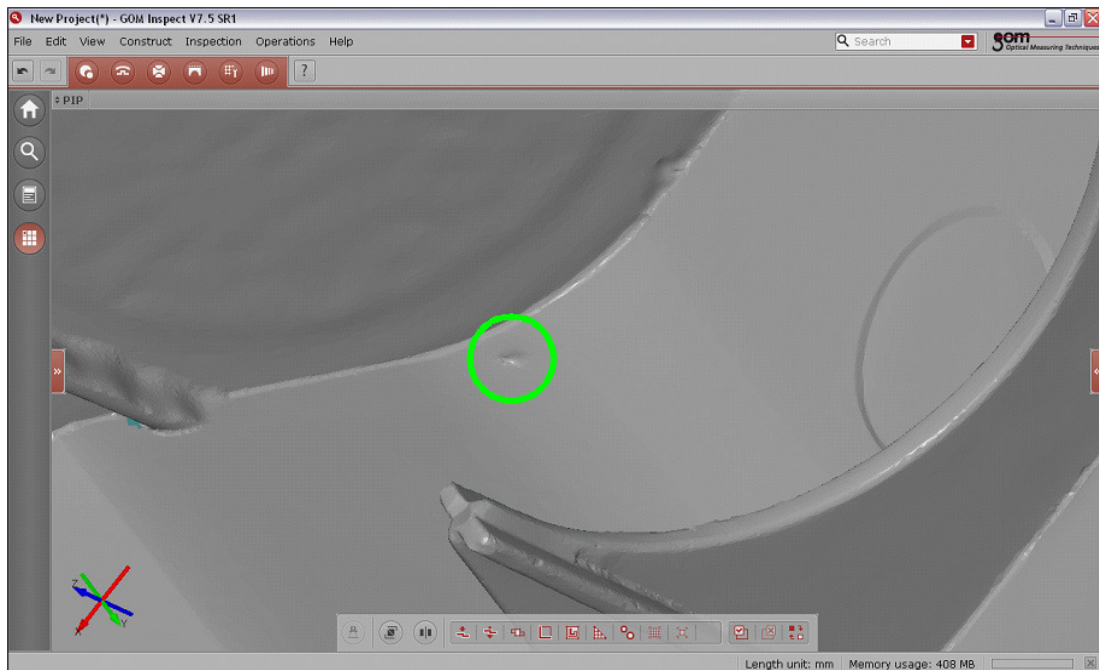


Obr. 57. Povrch součásti č.2 po opravě

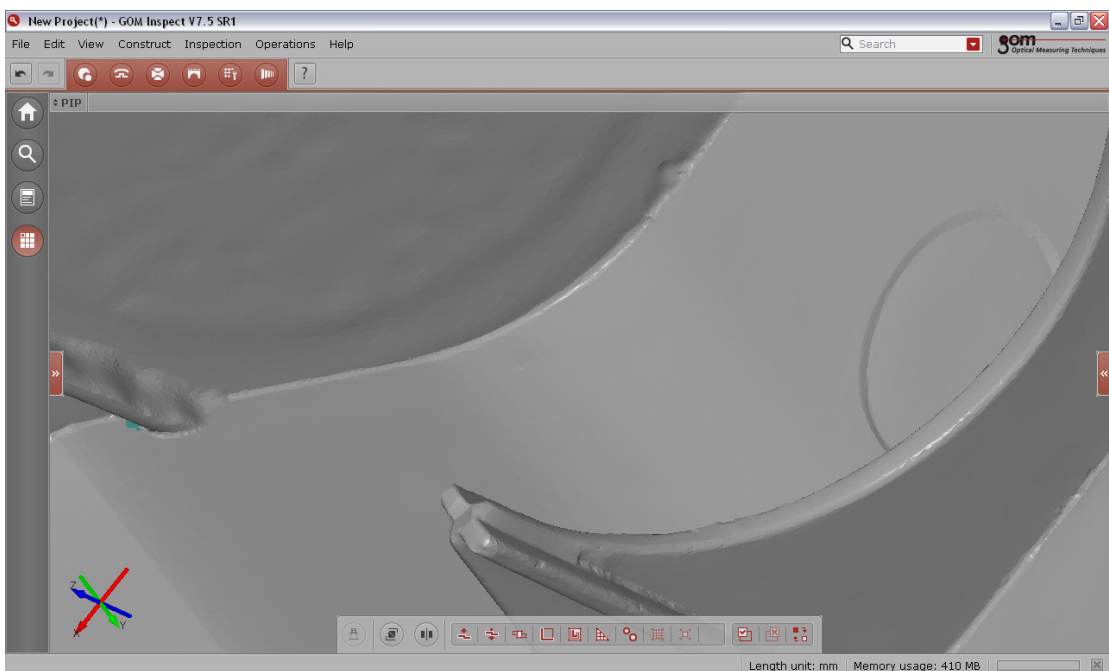
Po opravě povrchu součásti nástrojem „Close Holes Interactively“ byla nevyplněná místa znázorněná modrozelenou barvou odstraněna.

### 9.2.2 Odstranění miniaturních vrcholků na povrchu součásti č.2

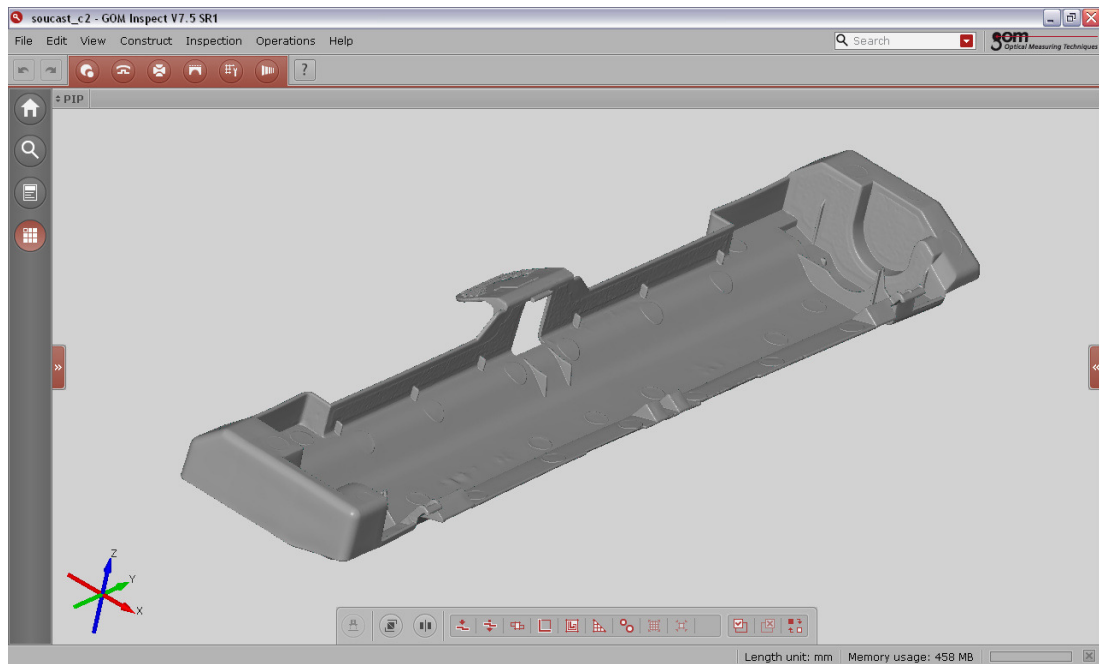
Pro odstranění tohoto problému bylo využito opět nástroje „Mesh repair“.



Obr. 58. Vrcholky součásti č.2 před opravou

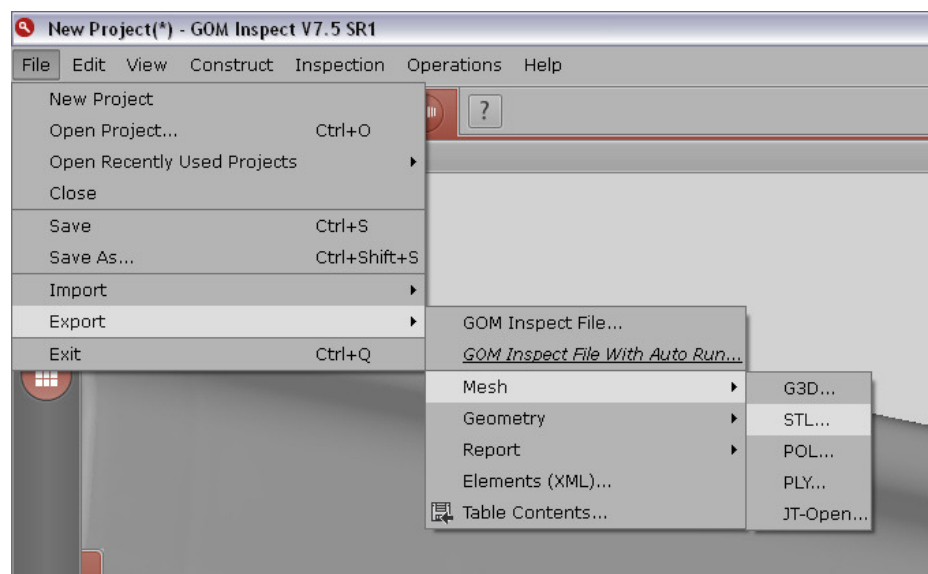


Obr. 59. Povrch součásti č.2 po odstranění nerovností



Obr. 60. Opravená součást č.2

Provedením všech potřebných úprav se dopracovalo k modelu, jenž opět mohl být převeden a uložen ve formátu .stl, ze kterého v programu CATIA V5R18 vznikl objemový model.



Obr. 61. Export modelu součásti č.2 do formátu .stl

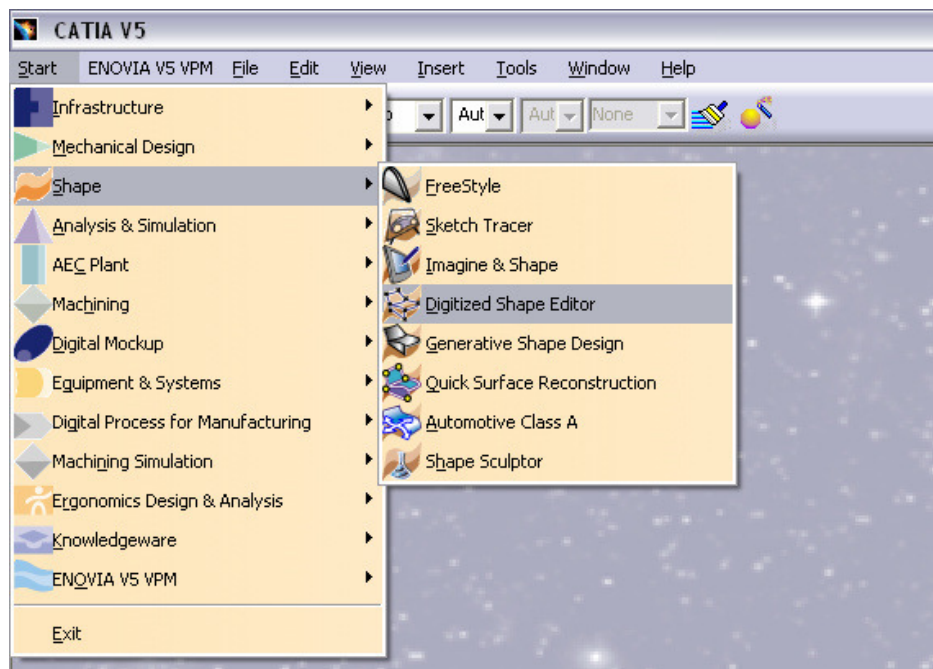
Cílem uvedené části práce bylo zpracování získaného „mračka bodů“ a jejich převedení do ploch, které byly potřebné pro další práci. Získané plochy nebyly zcela dokonalé, proto muselo dojít k určitým úpravám povrchu.



## 10 PŘEVOD NASNÍMANÝCH DAT NA OBJEMOVÝ MODEL

Pro převod získaných dat, upravených v programu GOM Inspect V7.5 na objemový model, byl využit program CATIA V5R18. Software je opět výbavou laboratoří ÚVI.

V první řadě bylo nutné importovat model ve formátu .stl do programu CATIA. Import se provedl pomocí nabídky „Shape“ a následně modulu „Digitized Shape Editor“.

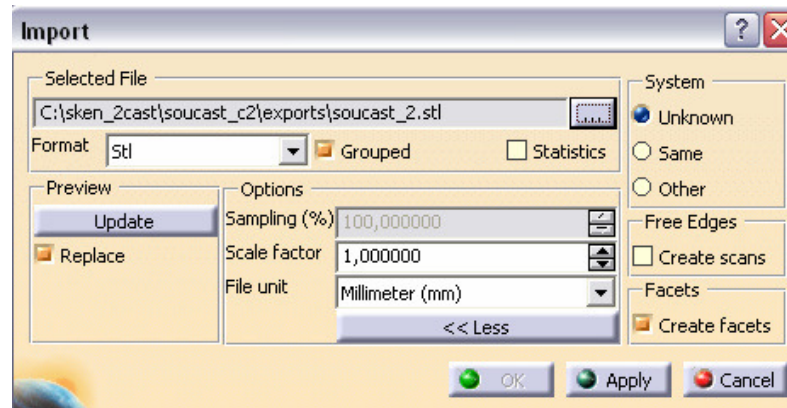


Obr. 62. Nabídka „Shape“ pro import modelu do CATIE

V modulu „Digitized Shape Editor“ se využilo nástroje „Import“ v panelu „Cloud Import“. Uvedený nástroj slouží pro importování modelu ve formátu .stl získaného skenováním do softwaru CATIA. Okno importu modelu se nachází na obrázku 64. Na tomto obrázku lze vidět, které možnosti při importu modelu byly označeny a naopak ty, které byly odškrtnuty.

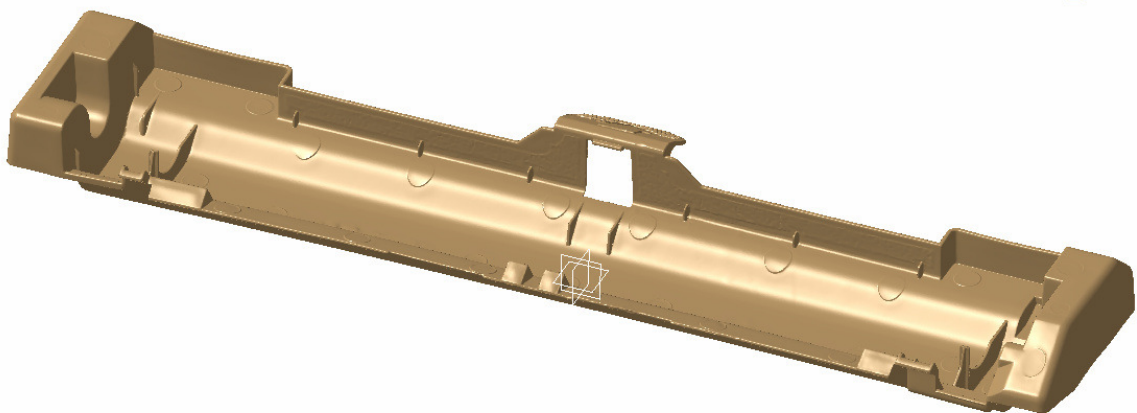


Obr. 63. Panel „Cloud Import“



Obr. 64. Okno pro import součásti

Pro import součásti se udělalo několik kroků. V první řadě se musel vybrat formát, v kterém importovaná součást byla uložena – roletové menu „Format“. Dále se zadala cesta pro nalezení importované součásti – „Selected File“. Posledním krokem úspěšného importu součásti bylo označení políčka „Create facets“. Kdybychom políčko neoznačili, součást by se vložila ve formě „mraku bodů“. Ostatní políčka byla ponechána nezměněná. Potvrzením tlačítka „Apply“ došlo k importování součásti do programu CATIA.



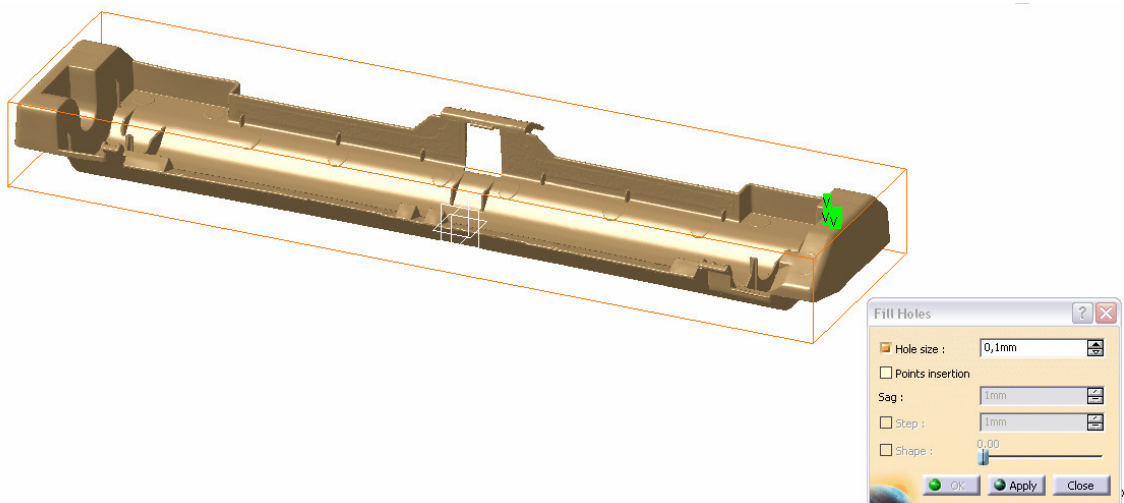
Obr. 65. Import součásti č.2 do programu CATIA

Na povrchu importované součásti se i po předchozích velmi zdouhavých a důkladných opravách v programu GOM Inspect V7.5 nacházelo malé množství chyb - děr. Uvedené velmi malé díry na povrchu součásti není schopno lidské oko zaregistrovat. V programu CATIA ovšem existuje nástroj pro nalezení zmíněných děr a jejich následné odstranění. Nástroj se nazývá „Fill Holes“ a nachází se v panelu „Mesh“.



Obr. 66. Nástroj „Fill Holes“ v panelu „Mesh“

Nástroj je schopen najít i ty nejmenší díry nacházející se na povrchu součásti a vyplnit je. Po zvolení nástroje „Fill Holes“ se zobrazilo okno nástroje, ve kterém se zadala pouze velikost děr, která omezuje jejich zobrazení.



Obr. 67. Nástroj „Fill Holes“

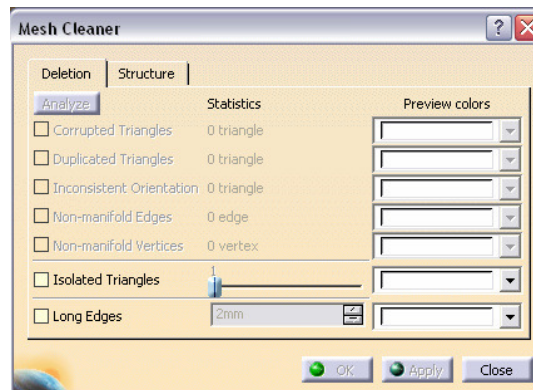
Nalezené díry na povrchu součásti jsou označeny zeleným obdélníkem. Po zmačknutí tlačítka „Apply“ se provedla oprava děr.

Dalším nástrojem pro opravu jiného druhu chyb je nástroj „Mesh Cleaner“, který se nachází také v panelu „Mesh“.



Obr. 68. Nástroj „Mesh Cleaner“

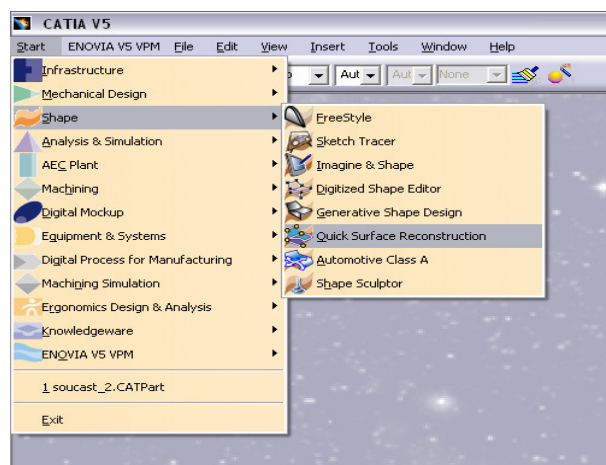
Nástroj provede analýzu povrchu importovaného modelu. Zjištěné chyby program nejen vykreslí, ale také zobrazí v tabulce.



Obr. 69 Tabulka nástroje „Mesh Cleaner“

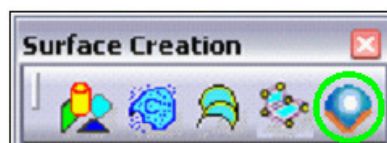
V uvedeném případě nebyly analýzou nástroje „Mesh Cleaner“ zjištěny žádné chyby. Pokud by nástroj nějaké chyby našel, tak potvrzením tlačítka „Apply“ budou chyby odstraněny.

Po odstranění všech zjištěných chyb je model připravený pro vytvoření sítě. Pro tvorbu sítě modelu byl využit modul „Quick Surface Reconstruction“ nacházející se v nabídce „Shape“.



Obr. 70. Modul „Quick Surface Reconstruction“

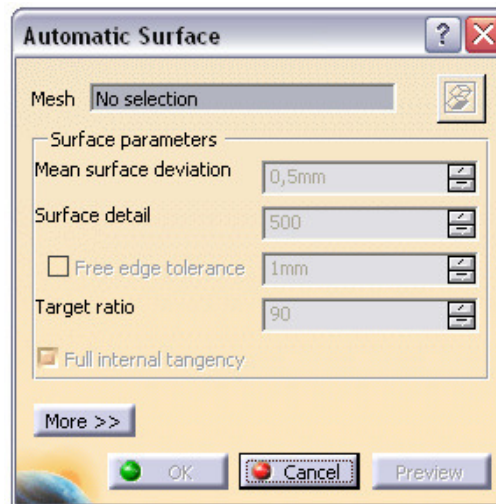
V modulu „Quick Surface Reconstruction“ byl využit nástroj „Automatic Surface“ z panelu „Surface Creation“. Nástroj slouží pro tvorbu sítě na povrchu modelu.



Obr. 71. Nástroj „Automatic Surface“

Proces tvorby sítě modelu patří mezi velmi náročné operace, proto je potřeba využití velmi výkonné výpočetní techniky.

Po zapnutí nástroje „Automatic Surface“ se zobrazí okno tohoto nástroje.

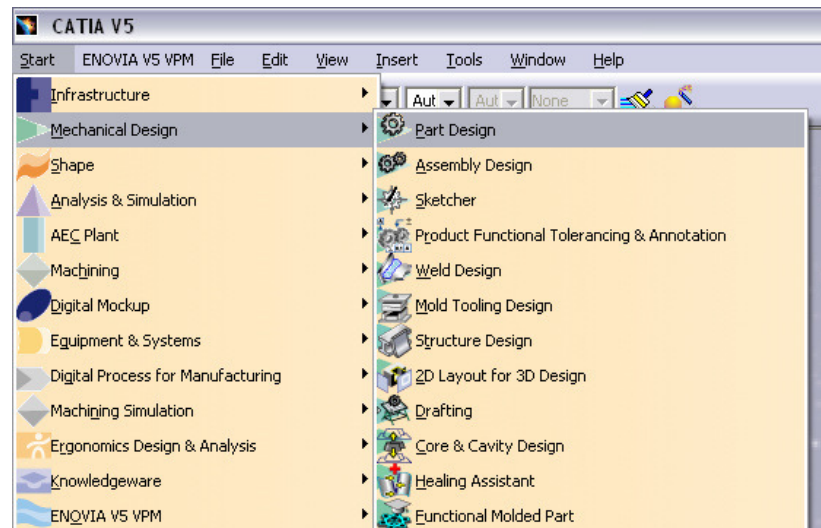


Obr. 72. Okno nástroje „Automatic Surface“

V okně nástroje je potřeba zadat několik hodnot. V první řadě je nutné do kolonky „Mesh“ vybrat model, kde bude následující síť vytvořena. Dále je potřeba vyplnit hodnoty nabídky „Surface parameters“. První ze zmíněných parametrů je „Mean surface deviation“. Parametr udává průměrnou odchylku tvořené sítě od importovaného modelu. Druhým parametrem je „Surface detail“, kterým je dána hodnota respektování původních elementů sítě. Třetím posledním parametrem je „Target ratio“.

Všechny zmíněné parametry ovlivňují kvalitu tvořené sítě a tím také mají zásadní vliv na dobu výpočtu sítě.

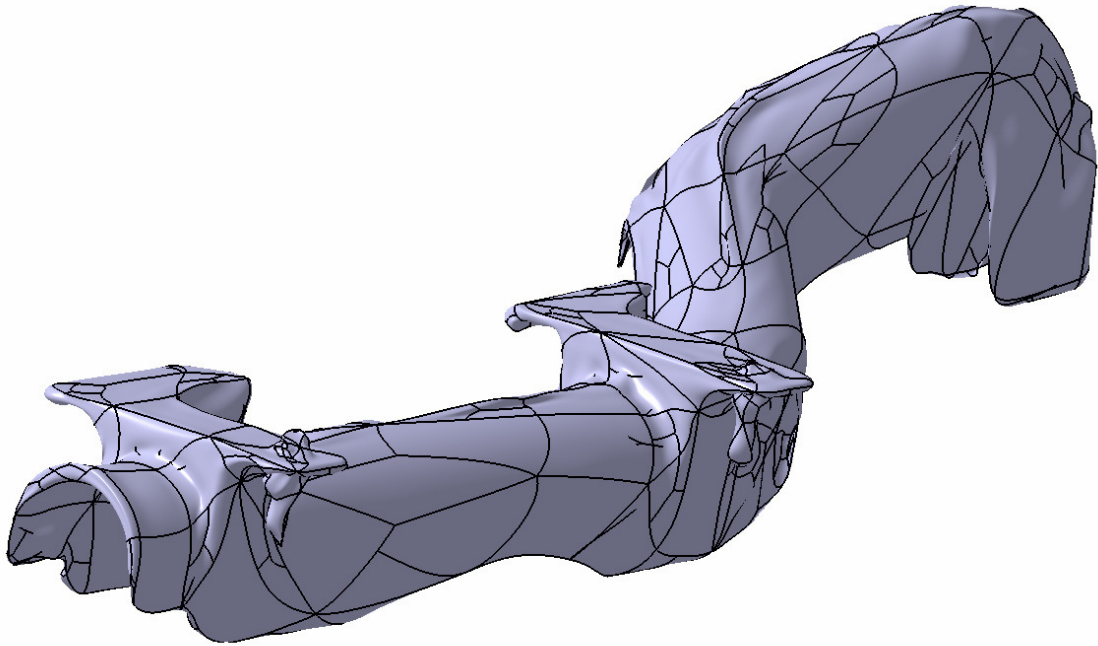
Pro první pokus tvorby sítě byly ponechány původní nezměněné parametry, viz. obrázek 72. Jakmile došlo k vytvoření sítě na povrchu modelu, následovalo přepnutí z modulu „Quick Surface Reconstruction“ do modulu „Part Design“ v nabídce „Mechanical Design“.



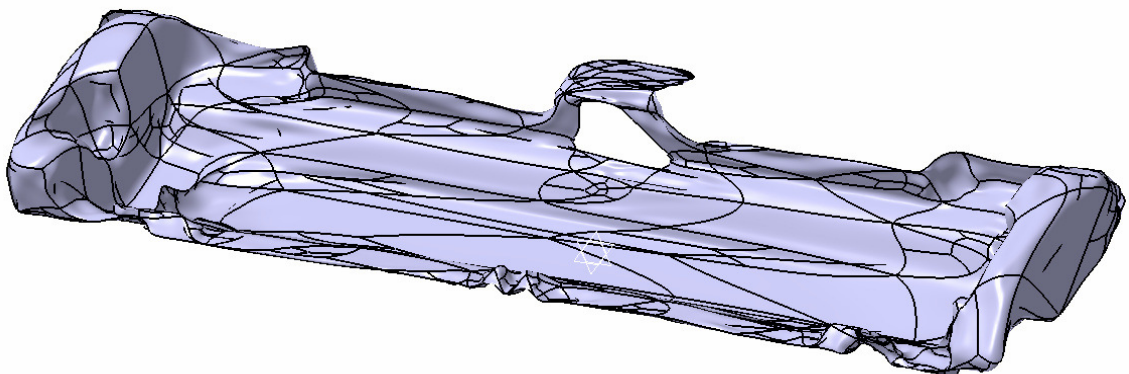
Obr. 73. Modul „Part Design“

V tomto modulu se provedla změna plošného modelu na objemový model. Bylo využito nástroje „Close Surface“ z panelu „Surface – Based Features“.

Obr. 74. Nástroj  
„Close Surface“

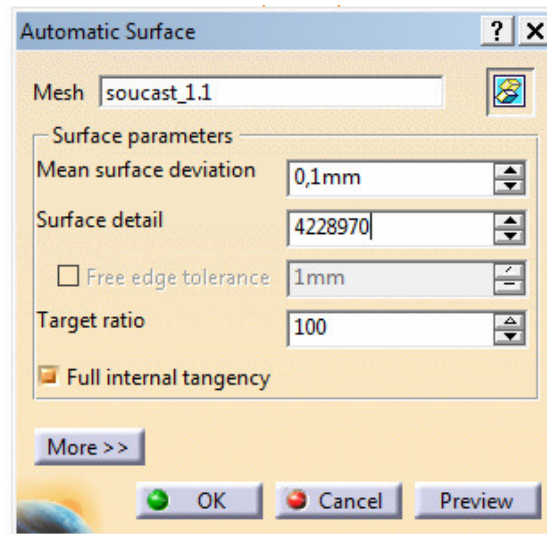


Obr. 75. Špatná síť součásti č.1

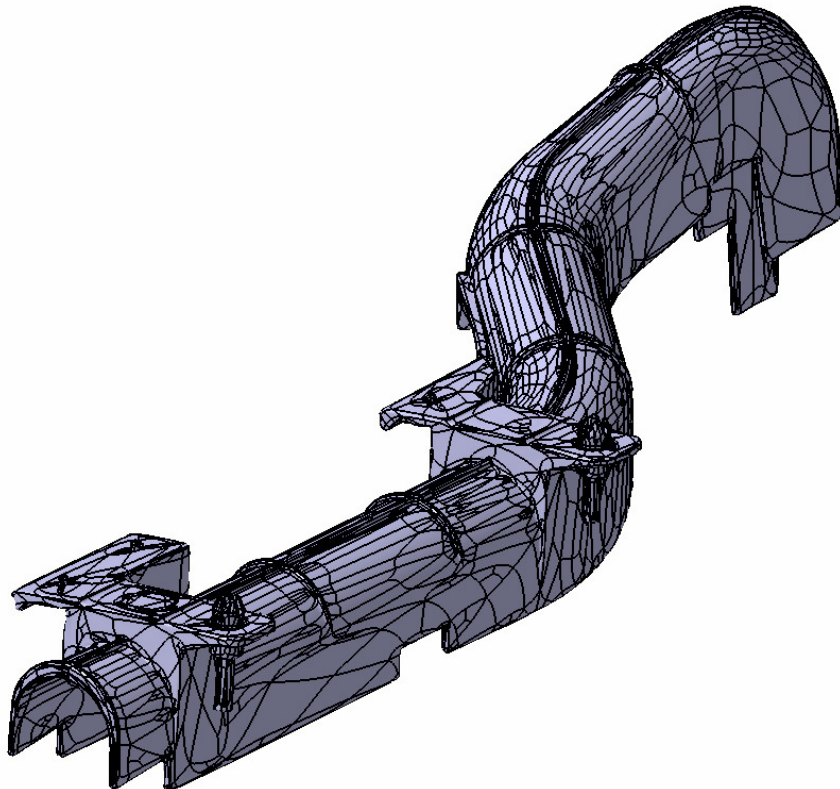


Obr. 76. Špatná síť součásti č.2

Z obrázku 75 a 76 je zřejmé, že parametry pro tvorbu sítě u obou součástí byly špatně zvoleny. Proto musely být hodnoty změněny. Zmíněná část práce byla velmi náročná jak na hardware počítače, tak časově.

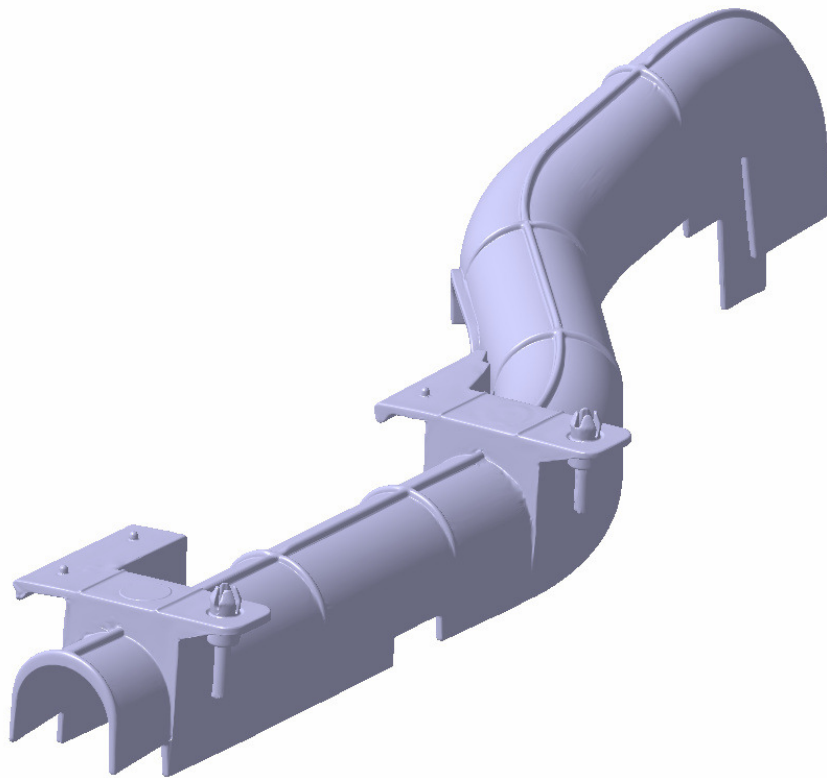


Obr. 77. Optimální parametry nástroje „Automatic Surface“ součásti č.1

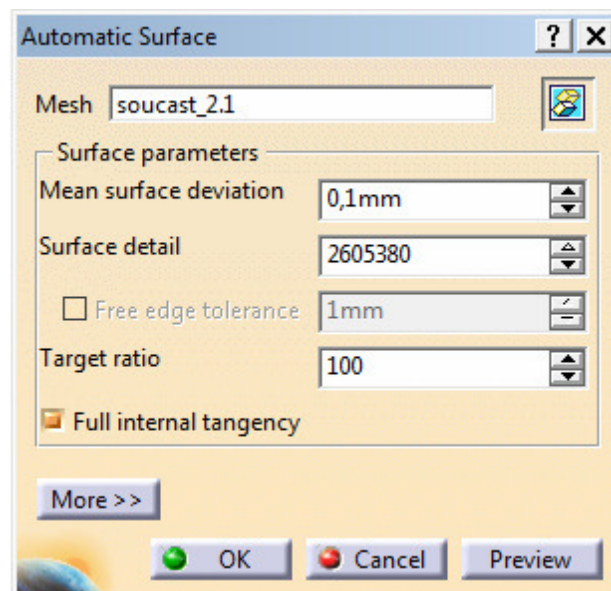


Obr. 78. Správná síť součásti č.1

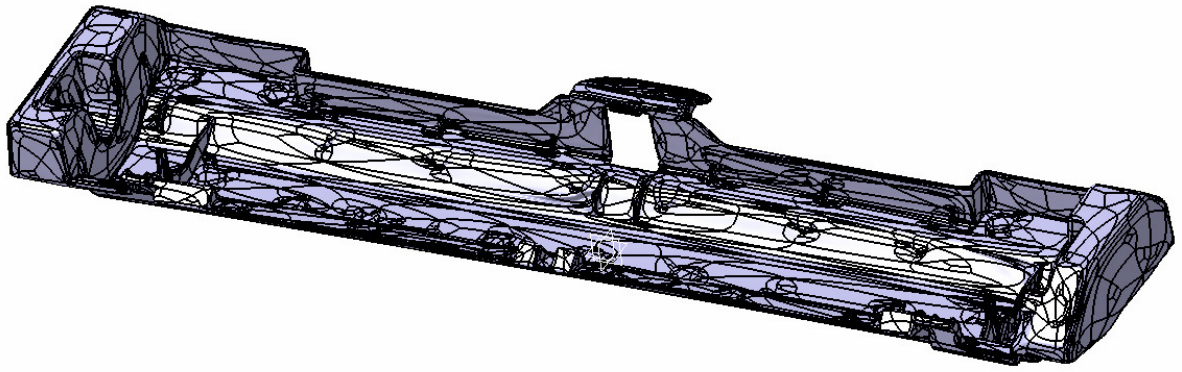




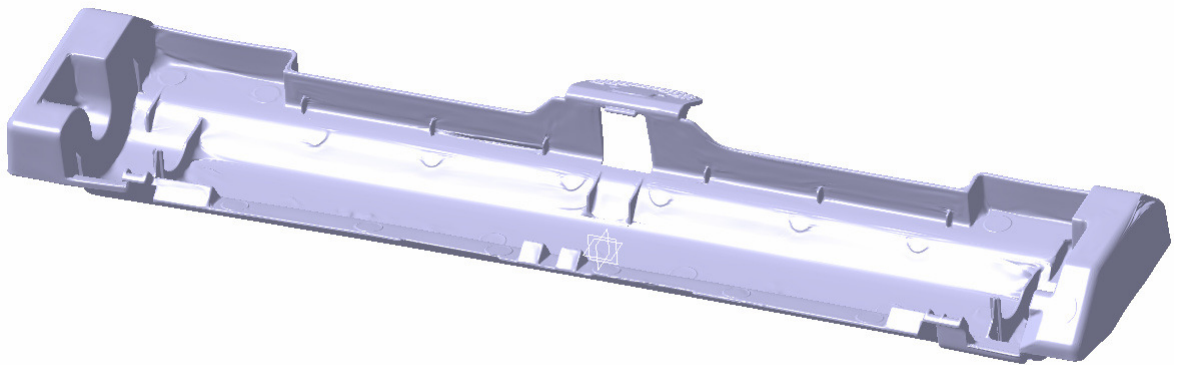
Obr. 79. Objemová součást č.1



Obr. 80. Optimální parametry nástroje „Automatic Surface“ součásti č.2



Obr. 81. Správná síť součásti č.2



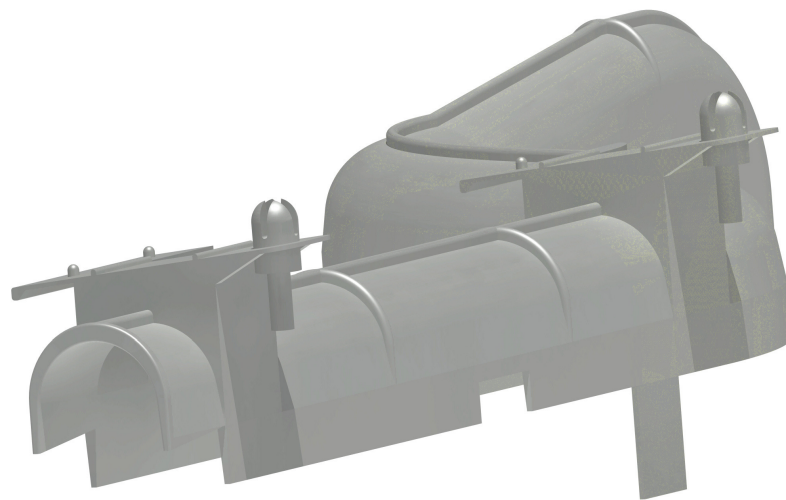
Obr. 82. Objemová součást č.2

U obou součástí byly nalezeny vhodné parametry nástroje „Automatic Surface“. Parametr „Mean Surface Deviation“ byl stejný jak u součásti č.1, tak i u součásti č.2. Hodnota parametru byla zvolena 0,1mm. Hodnota byla zvolena velmi malá, ale pro konkrétní případy byla nutná. Další z parametrů „Surface detail“ byl nastaven na maximální možnou hodnotu součásti. Poslední parametr „Target ratio“ byl u obou součástí nastaven na stejnou hodnotu, a to hodnotu 100.

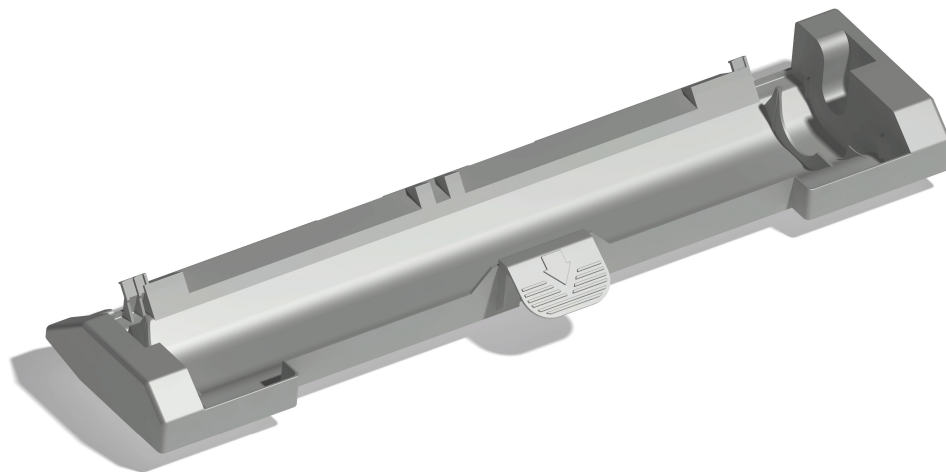
Po získání objemového modelu obou součástí bylo potřeba provést další úkony, aby bylo možné s modely dále pracovat. U každého modelu musel být zvolen nový souřadnicový systém. Protože se jednalo o automatickou tvorbu sítě, tak dalším problémem byly povrchové nedokonalosti obou součástí, které musely být odstraněny. Povrchové nedokonalosti vznikly malou hustotou sítě v tvarově složitých místech. Vzniklé chyby byly odstraněny nástroji v modulu „Part Design“.

## 11 VYMODELOVÁNÍ IDENTICKÝCH MODELŮ

Dalším bodem diplomové práce byla snaha o vymodelování identických modelů a jejich následné porovnání s modely získanými skenováním. Modelování probíhalo v prostředí „Part Designu“ v nabídce „Mechanical Design“. Při práci bylo využito klasických nástrojů, které prostředí „Part Designu“ nabízí. Cílem této části diplomové práce bylo zjištění, zda je rychlejší konkrétní součásti naskenovat a následně je převést na objemový model, nebo součásti vytvořit modelováním.



Obr. 83. Vymodelovaná součást č.1



Obr. 84. Vymodelovaná součást č.2

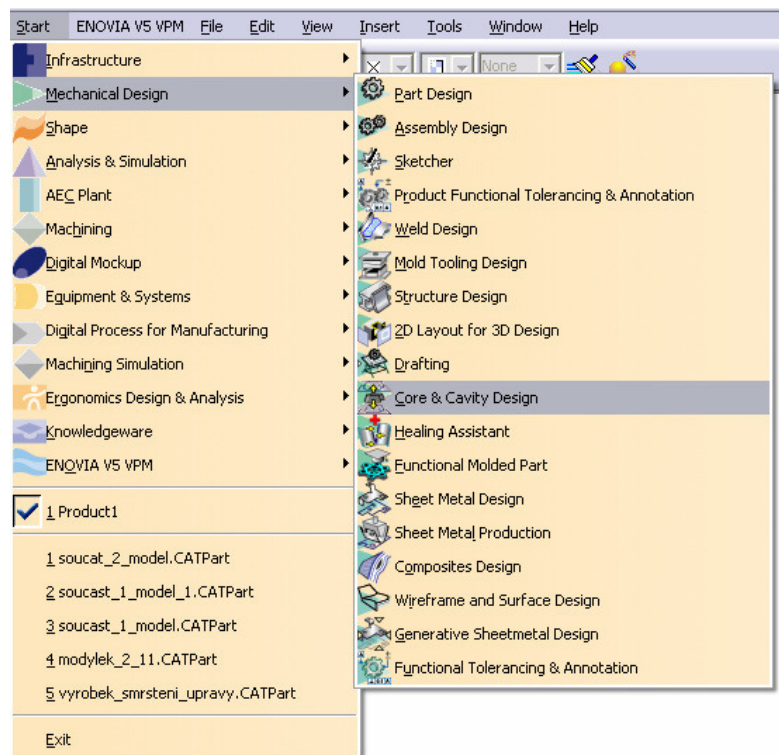
## 12 TVORBA DUTIN FOREM – MODUL CORE AND CAVITY

Modul Core and Cavity je součástí programu CATIA, který se využívá při tvorbě dutiny formy, tedy tvárníku a tvárnice, z již vytvořených dílů. Používáním uvedeného modulu je práce tvorby dutin forem nejen rychlejší a snazší, ale výrazně snižuje riziko spojené s možností vzniku chyb způsobených ručním modelováním.

V následující části diplomové práce bude popsána tvorba dutin forem pro zadanou součást č.1 a součást č.2.

### 12.1 Spuštění modulu Core and Cavity

Po spuštění programu CATIA je nutné vytvořit nový „Product“, není-li již vytvořený. Tvorba nového produktu se provede přes záložku „File“, kde se zvolí možnost „New“ a následně se vybere možnost „Product“. Je-li nový produkt vytvořený, tak nezbyvá nic jiného než nový produkt označit (produkt svítí oranžově) a zapnout modul Core and Cavity. Modul Core and Cavity se spustí přes hlavní záložku „Start“ v nabídce „Mechanical Design“.



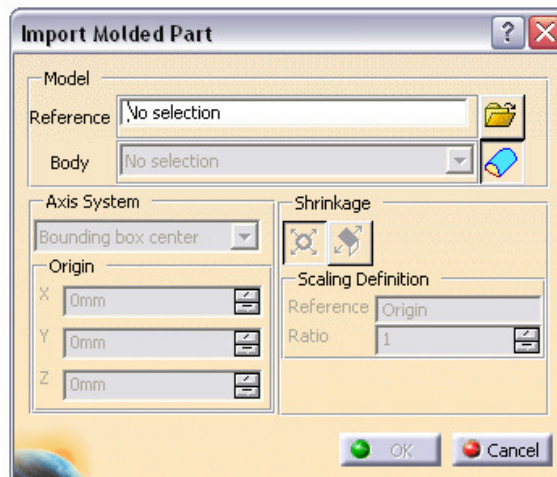
Obr. 85 Spuštění modulu Core and Cavity

## 12.2 Vložení dílce do modulu Core and Cavity


Před vložením dílce do prostředí Core and Cavity je nutné mít aktivní jak „Product“, tak i „Part“, tzn. „Product“ i „Part“ svítí oranžovou barvou. Samotné vložení dílce se pak provede nástrojem „Import Model“ v panelu „Import Model“.




Obr. 86. Nástroj „Import Model“



Obr. 87. Okno nástroje „Import Model“

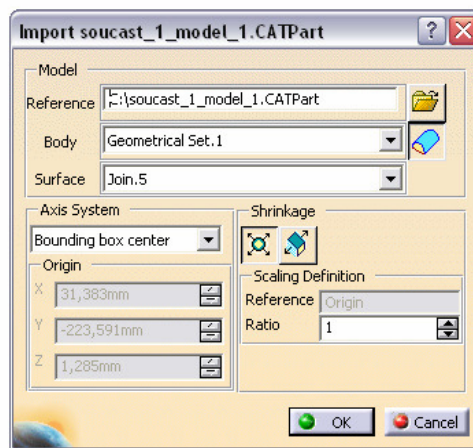
Po zapnutí nástroje se zobrazí okno, které je nutné před importem součásti vyplnit. Do řádku „Reference“ se vybere cesta, kde je součást, se kterou se bude pracovat, uložena. V dalším řádku „Body“ se vybere možnost, ve které je daná součást vytvořena. Na výběr jsou možnosti „PartBody“, nebo „GeoSet“. Je-li součást vytvořena v „GeoSetu“, tak se při vložení mohou vybrat buď jednotlivé části „GeoSetu“, nebo celý dílec. V řádku „Axis System“ se musí zadat poloha osového systému. Na výběr je zase několik možností. Dále je nutné nastavit „Shrinkage“, což je hodnota, o kterou bude součást zvětšena z důvodu následného smrštění při chlazení vstřikovací formy. I zde je několik možností výběru. První možností „Scaling Definition“  je zvětšení ve všech směrech stejné. Druhá možnost

„Affinity Definition“  umožňuje nastavení zvětšení rozdílné v různých směrech. Jakmile jsou všechny potřebné řádky v okně zadány, zvolíme možnost „OK“ a tím importujeme danou součást do prostředí modulu Core and Cavity.

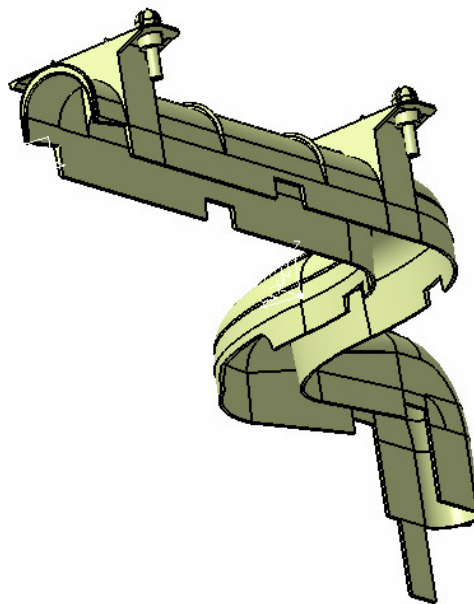
## 12.3 Tvorba dutiny formy pro součást č.1

### 12.3.1 Import součásti č.1

Součást se importovala podle postupu z předchozí kapitoly, tzn. pomocí nástroje „Import Model“.



Obr. 88. Okno importu součásti č.1



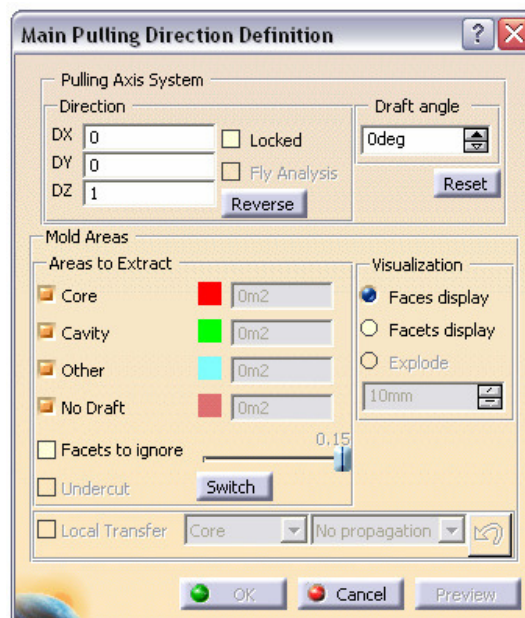
Obr. 89. Importovaná součást č.1

### 12.3.2 Stanovení ploch tvárníku a tvárnice

Po vložení dané součásti je potřeba rozdělit její plochy na plochy tvárníku a tvárnice. Pro tuto práci bylo využito nástroje „Main Pulling Direction Definition“ ze stejnojmenného panelu.



Obr. 90. Nástroj „Main Pulling Direction Definition“



Obr. 91. Okno nástroje „Main Pulling Direction Definition“

Po zapnutí nástroje „Main Pulling Direction Definition“ se zobrazí okno. Po označení vložené součásti software sám automaticky rozdělí plochy do určitých skupin:

- Core – plochy tvárníku, jsou značeny červenou barvou,
- Cavity – plochy tvárnice, jsou značeny zelenou barvou,
- Other – další plochy, které bude potřeba přiřadit buď tvárníku nebo tvárnici, jsou značeny světle modrou barvou,
- No Draft – plochy bez úkosu, jsou značeny fialovou barvou.

Možnost „Pulling Axis System“ slouží pro určení osy, na kterou bude dělicí rovina kolmá. Po vybrání této osy a následném zmáčknutí tlačítka „Locked“ dojde k uzamknutí os a určení směru dělicí roviny.

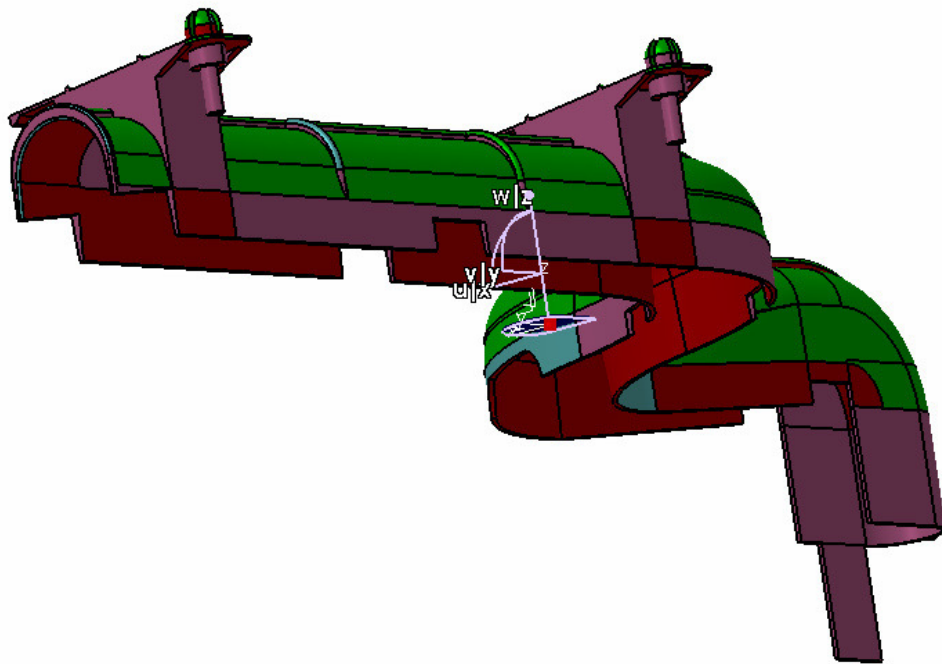
Další možnost, kterou tento nástroj nabízí, je možnost „Draft angle“. Zde je možné nastavit hodnotu úkosu stěn, které software bude brát za zkosené.

V případě, že dělicí rovina vznikne na radiusu, tak označením políčka „Faces to ignore“ určíme procentuální poměr, kde bude rovina vůči radiusu.

Označením možnosti „Undercut“ můžeme vytvořit podkos na vložené součásti.

Dalším rámečkem je možnost „Switch“. Tato možnost slouží k obrácení ploch tvárníku a tvárnice.

Software sice rozdělí plochy do určitých skupin, ale ve většině případů je toto rozdělení neúplné.



Obr. 92. Neúplné rozdělení ploch Core and Cavity součásti č.1

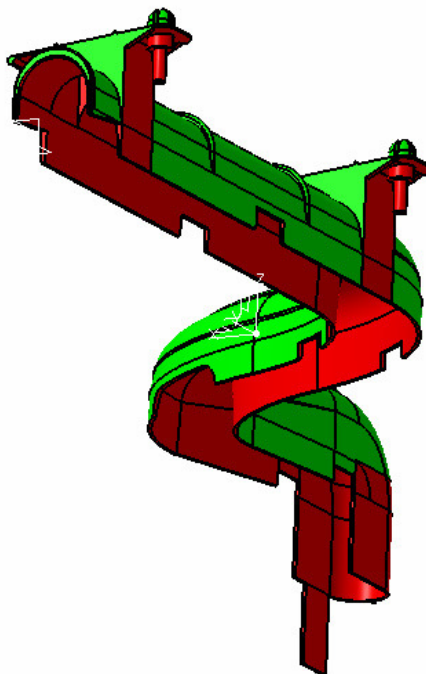
Proto poslední možností nástroje „Main Pulling Direction Definition“ je možnost „Local Transfer“, která umožňuje transformovat plochy například ze skupiny „Core“ do skupiny „Cavity“ a naopak. Tím lze převádět plochy tvárníku na plochy tvárnice. První roletové



menu dané možnosti udává výběr, kam bude transformována vybraná plocha. Druhé role-  
tové menu dále pak udává několik možností výběru ploch:

- No propagation – volba jednoho elementu,
- Point continuity – volba části na sebe navazujících více elementů,
- No draft faces – volba ploch bez úkosu,
- By area – volba ploch určité oblasti.

Pokud byly všechny plochy správně vybrány, tak potvrzením tlačítka „OK“ dojde k vytvo-  
ření ploch tvárníku a tvárnice.



Obr. 93. Vytvořené plochy Core and  
Cavity součásti č.1

Pro kontrolu, zda jsou všechny plochy správně vybrány, slouží nástroj „Explode view“,  
který umožňuje posunutí ploch tvárníku a tvárnice od sebe.

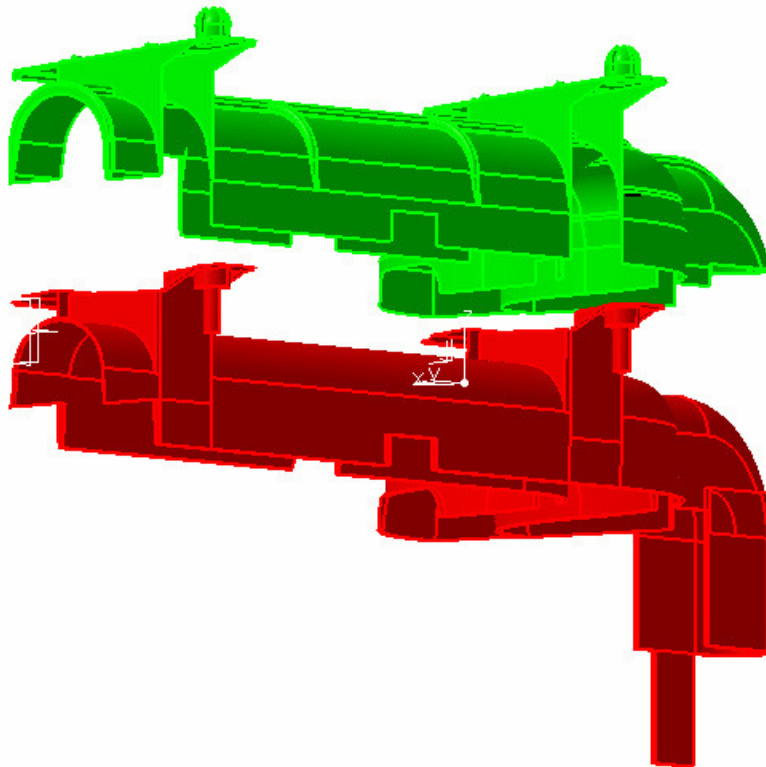


Obr. 94. Nástroj „Explode View“



Obr. 95. Okno nástroje „Explode View“

Pro posun ploch od sebe je pouze nutné zadat hodnotu „Explode Value“, což je vzdálenost posunutí ploch.



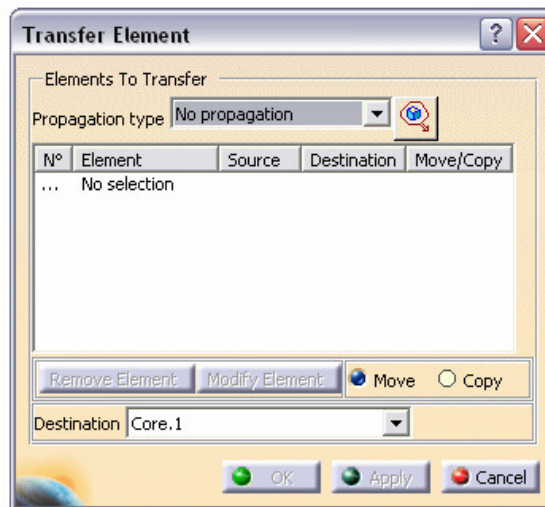
Obr. 96. Posunutí ploch tvárníku a tvárnice součásti č.1 od sebe

Pokud by při kontrole byly nalezeny plochy, které nepatří ani tvárníku ani tvárnici, tak je možné je ještě dodatečně přidělit. Pro tuto práci se využívá nástroje „Transfer element“. Nástroj plní v podstatě stejnou funkci jako možnost „Local Transfer“ nástroje „Main Pul-

ling Direction Definition“, tzn. umožňuje transformaci ploch, ovšem mimo transformaci ploch je možné s ním také plochy kopírovat.



Obr. 97. Nástroj „Transfer element“



Obr. 98. Okno nástroje „Transfer element“

Danou plochu označíme a v políčku „Destination“ vybereme, kam má být plocha transformována.

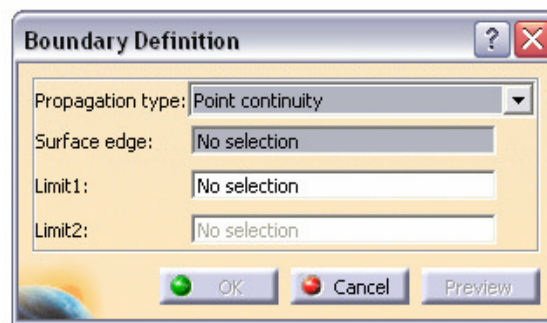
### 12.3.3 Tvorba ploch dělicí roviny

Jakmile jsou plochy tvárníku a tvárnice nadefinovány, je nutné na součásti vytvořit dělicí rovinu. Ještě před samotnou tvorbou dělicí roviny je dobré ve stromu modelu vytvořit nový „GeometricalSet“ pro zjednodušení další práce.

Dělicí rovina se vytvoří z hran součásti, na kterých se bude nacházet. Pro tuto část práce je nutné si tedy všechny hrany, na kterých bude ležet dělicí rovina, promítnout. Promítnutí hran se provede nástrojem „Boundary“, který se nachází v panelu „Operations“.



Obr. 99. Nástroj „Boundary“

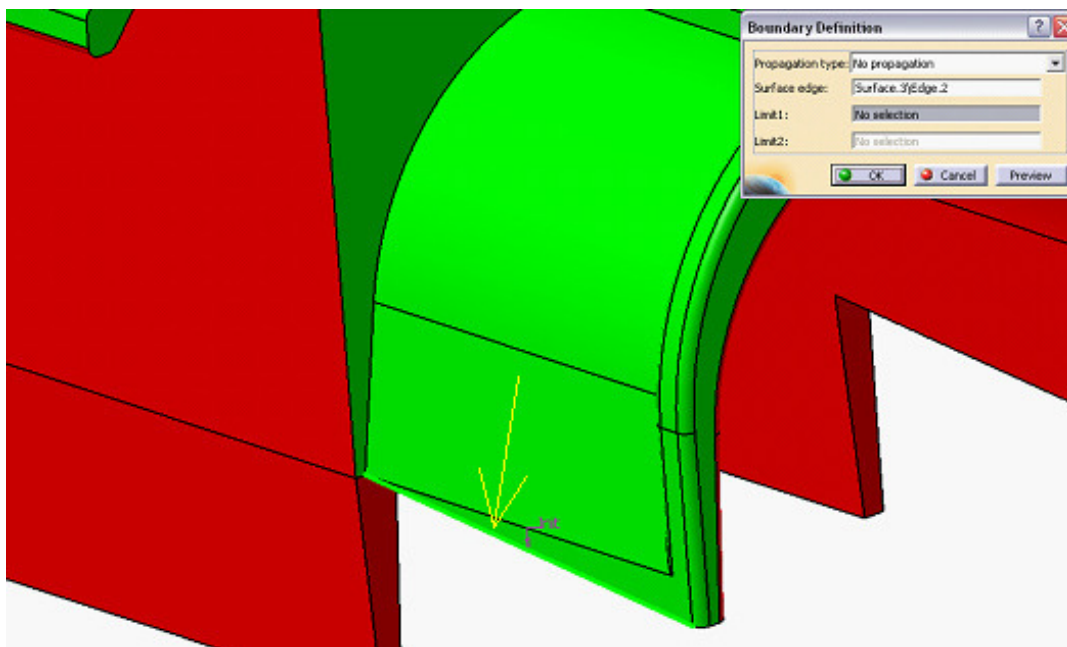


Obr. 100. Okno nástroje „Boundary“

Důležitým parametrem u nástroje „Boundary“ je políčko „Propagation type“, které nám dává několik možností jak hrany součásti vybrat:

- Complete boundary – vybere všechny hranice na součásti,
- Point continuity – výběr hrany,
- Tangent continuity – vybere všechny na sebe navazující křivky,
- No propagation – výběr pouze jedné křivky.

Pro daný díl byla využita možnost „No propagation“, tedy výběru pouze jedné křivky.



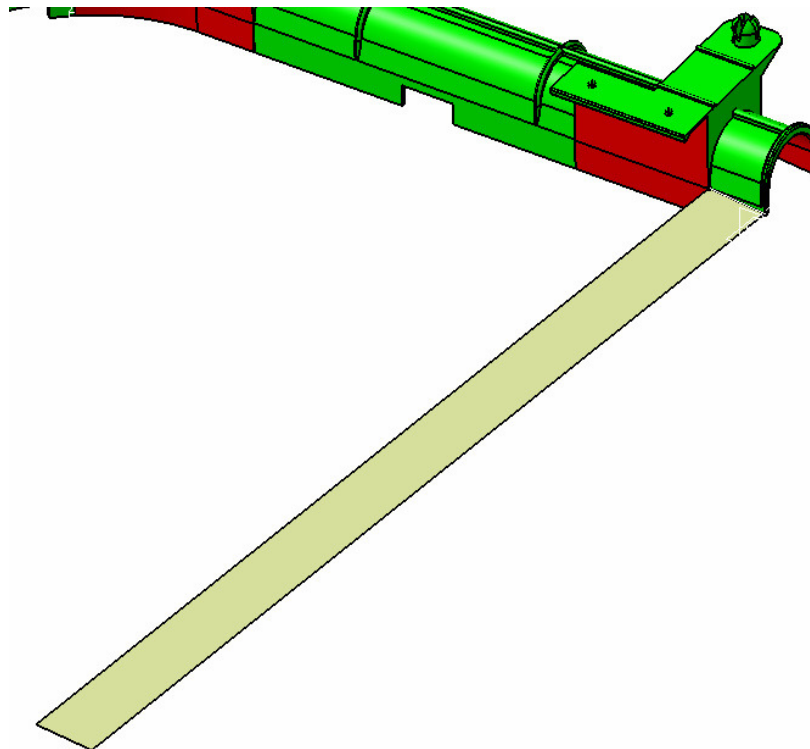
Obr. 101. Promítnutá křivka nástrojem „Boundary“

Jakmile je křivka na součásti promítnutá, je potřeba ji vytáhnout do prostoru. Pro vytažení křivky do prostoru se využívá nástroje „Sweep“ z panelu „Surface“.



Obr.102. Nástroj „Sweep“

Po zobrazení okna uvedeného nástroje bylo potřeba vyplnit několik potřebných parametrů pro úspěšné vytažení křivky do prostoru.



Obr. 103. Vytažení promítnuté křivky do prostoru

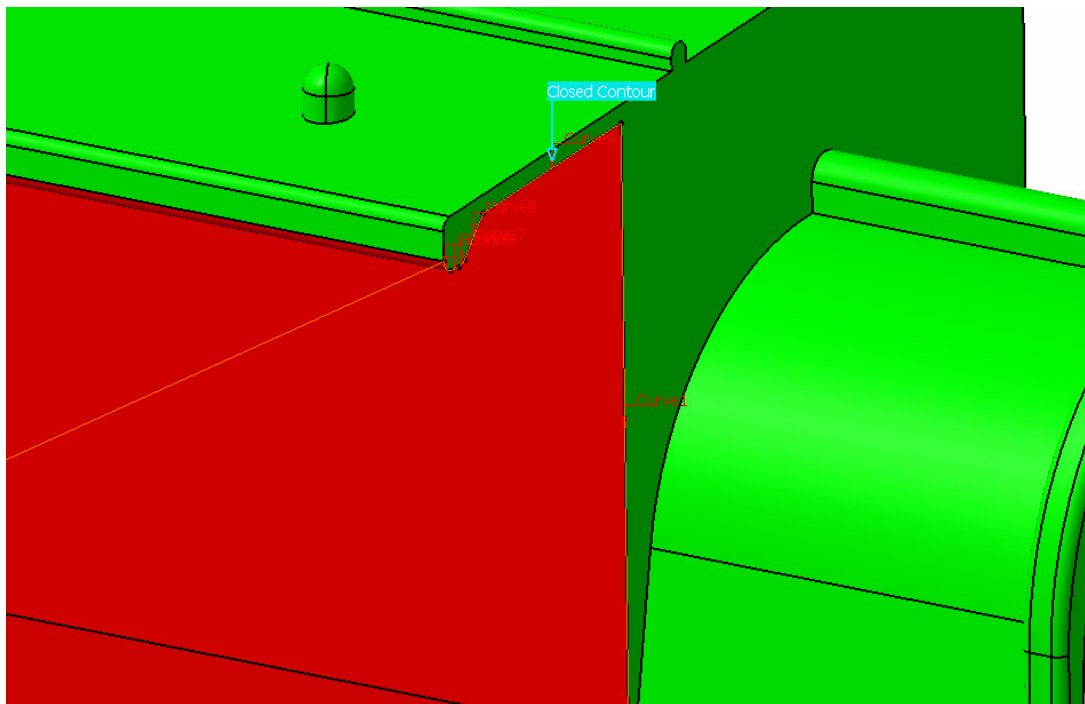
Ovšem každá plocha dělicí roviny stejným způsobem vytvořit nešla. Proto se muselo najít jiné řešení, jak v určitých místech danou plochu dělicí roviny vytvořit. Jedním ze způsobů, který byl využit, bylo nakreslení profilu požadovaného tvaru plochy, který byl následně vyplněn.

Jakmile byl vytvořen potřebný profil plochy, využilo se nástroje „Fill“ z panelu „Surface“, který vytvořený profil vyplnil.



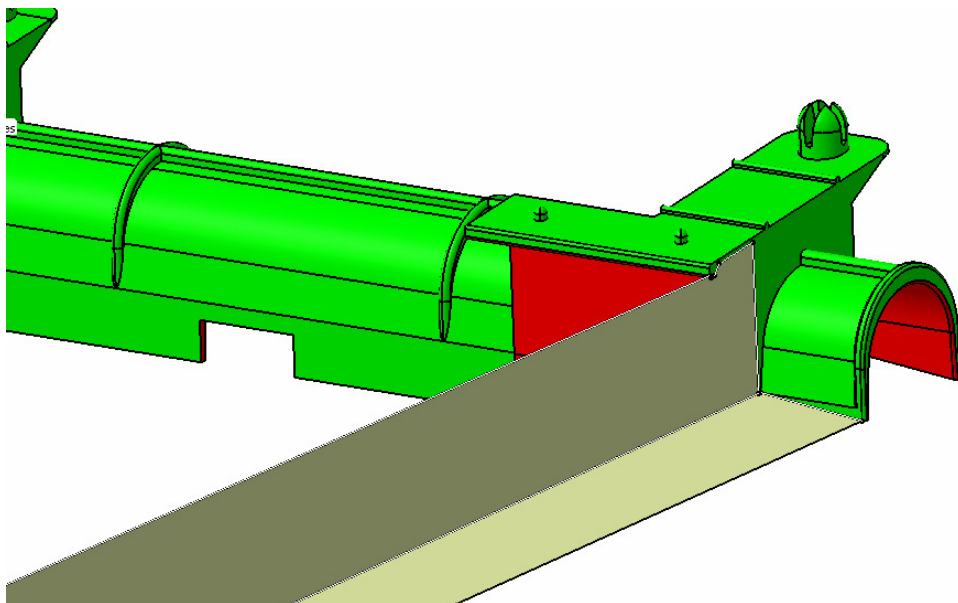
Obr. 104. Nástroj „Fill“

V oknu nástroje je potřeba vybrat všechny hraniční křivky profilu. Podmínkou je, aby vytvořený profil byl uzavřený. Pokud by nebyl, plocha nebude vytvořena.



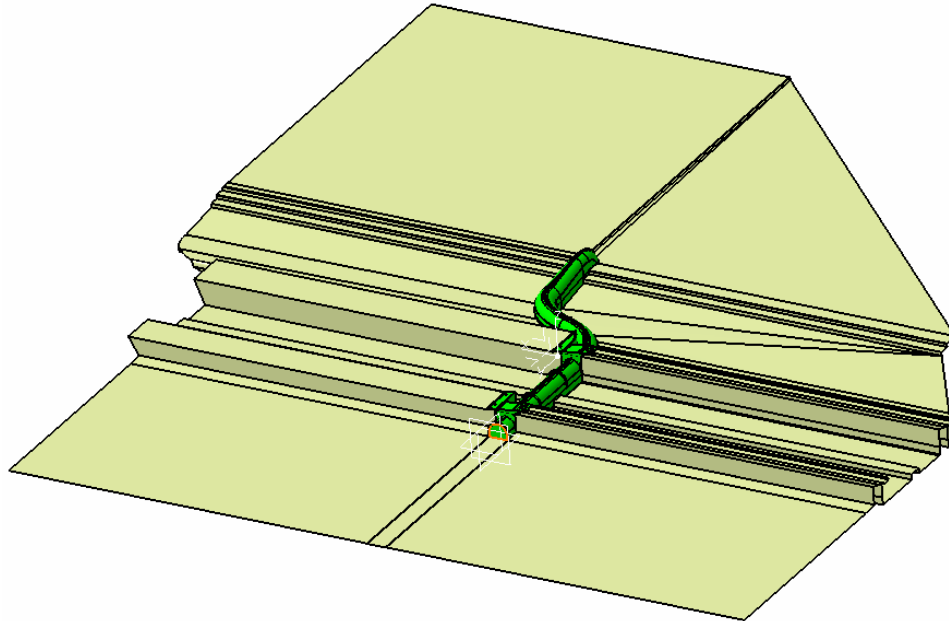
Obr. 105. Uzavřený profil pro vytvoření plochy

Pokud je profil uzavřený, zobrazí se značení „Closed Contour“ a lze potvrzením tlačítka „OK“ danou plochu vytvořit.



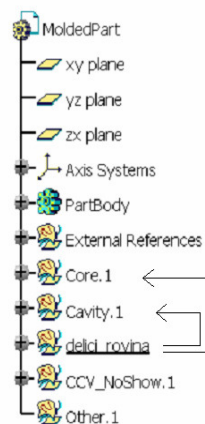
Obr. 106. Vytvořená plocha nástrojem „Fill“

Pomocí všech zmíněných nástrojů a jejich kombinací byla postupně vytvořena celá plocha dělicí roviny. Při této práci, byl kladen důraz na délku vytahovaných ploch. Plochy musely mít dostatečnou délku z důvodu přesahu přes desky formy, která bude následně vložena. Postup vložení formy bude popsán v následující kapitole.



Obr. 107. Vytvořená plocha dělicí roviny součásti č.1

Pokud byla vytažena plocha dělicí roviny správně, je potřeba z ní vytvořit plochu tvárníku a tvárnice. Toto se provede vložím vytvořených ploch z „GeometricalSetu“ do větví „Core“ a „Cavity“. Pro operaci využijeme kopírování „Copy“ všech vytvořených ploch a jejich následné vložení „Paste“ do zmíněných větví „Core“ a „Cavity“.



Obr. 108. Kopírování  
ploch dělicí roviny

Nyní byl pro lepší přehlednost práce zhasnut vytvořený „GeometricalSet“ (dělicí rovina). Dále bylo nutné vložené plochy do větvi „Core“ a „Cavity“ spojit v jedinou plochu. Tato operace se provedla zvlášť jak pro „Core“, tak pro „Cavity“. Pro spojení bylo využito nástroje „Aggregate Mold Area“ z panelu „Pulling Direction“.



Obr. 109. Nástroj „Aggregate Mold Area“

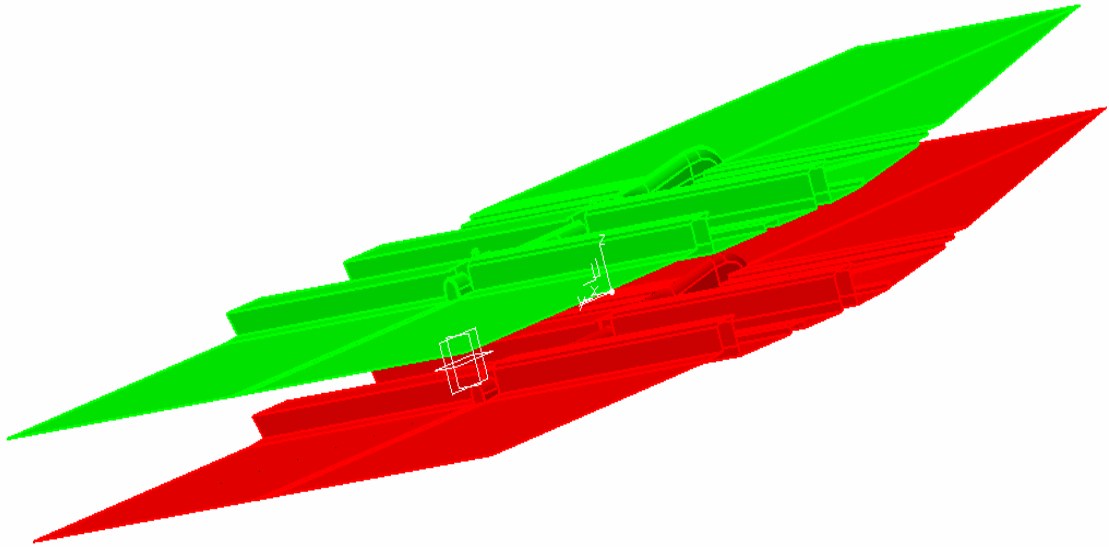


Obr. 110. Okno nástroje „Aggregate Mold Area“

V oknu nástroje „Aggregate Mold Area“ bylo potřeba vybrat v rámečku „Select a mold area“ tu část, kterou chceme spojit, tzn. „Core“ nebo „Cavity“, a do rámečku „List of surfaces“ vybrat všechny spojované plochy (levým tlačítkem myši označíme větev „Cavity“). Nakonec označíme políčko „Create a datum Join“ a potvrdíme možnost „OK“. Stejná operace „Core“ byla provedena pro tvárník.

Nyní, protože došlo k přebarvení všech ploch do jediného odstínu, je nutné jednotlivé plochy od sebe barevně odlišit pro lepší orientaci. Používaná barva pro tvárník je červená a pro tvárnici je zelená.





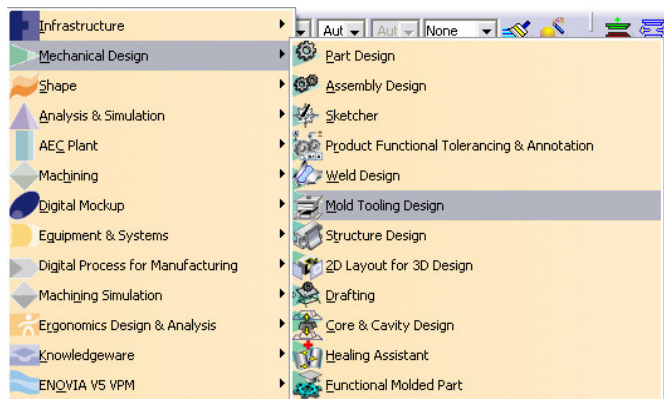
Obr. 111. Plochy tvárníku a tvárnice součásti č.1

Takto vytvořené plochy jsou připraveny pro vytvoření desek tvárníku a tvárnice pomocí modulu „Mold Tooling Design“.

#### 12.3.4 Vytvoření tvárníku a tvárnice pomocí modulu „Mold Tooling Design“

Modul „Mold Tooling Design“ je rovněž součástí softwaru CATIA, a proto je s modulem „Core and Cavity“ úzce propojený. Modul „Mold Tooling Design“ se využívá pro konstrukci vstřikovacích forem. Výhodou této aplikace je kompletní zhotovení vstřikovací formy v 3D včetně všech jejích náležitostí. V „Mold Tooling Design“ lze vkládat již vytvořené formy různých standardů nebo vytvořit vstřikovací formy vlastních rozměrů.

Spuštění modulu se provede přes nabídku „Mechanical Design“ stejně jako modulu „Core and Cavity“.



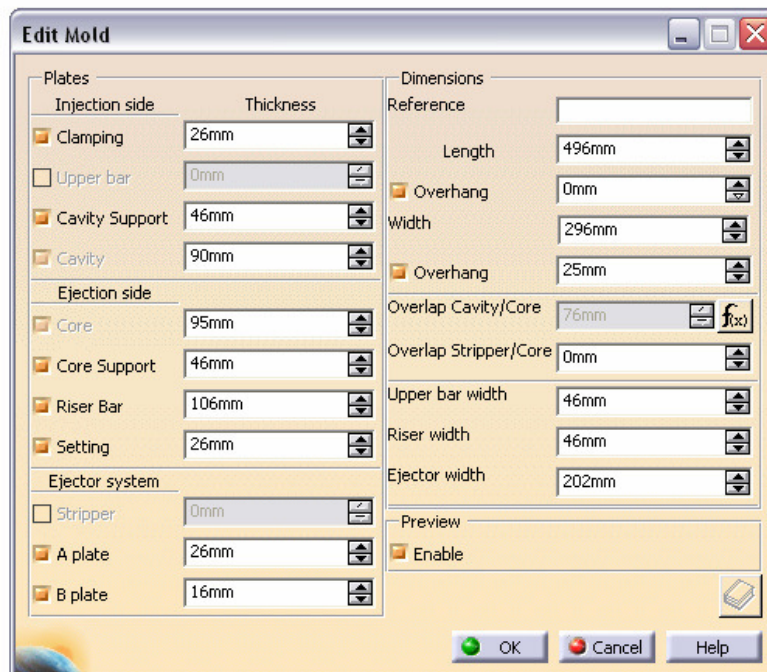
Obr. 112. Spuštění modulu „Mold Tooling Design“

Po zapnutí modulu bylo nutné importovat již dříve vytvořené plochy tvárníku a tvárnice v modulu „Core and Cavity“. Import se provedl označením nového produktu (produkt svítí oranžovou barvou) a z hlavního panelu v nabídce „Insert“ se možností „Existing Component“ vložily plochy tvárníku a tvárnice.

Po importování ploch bylo potřeba vložit vstříkovací formu. První možností, jak již bylo zmíněno, je tvorba formy dle vlastních parametrů. Diplomová práce byla ovšem zaměřena na tvorbu dutiny formy a ne na konstrukci vstříkovací formy, tak bylo v podstatě jedno, jaké provedení formy bude vloženo. Důležité byly pouze rozměry vkládané formy, aby se plochy tvárníku a tvárnice do formy vešly. Forma byla tedy vložena ze standardu Hasco. Vložení se provedlo pomocí nástroje „Create a new mold“ z panelu „Mold Base Components“.

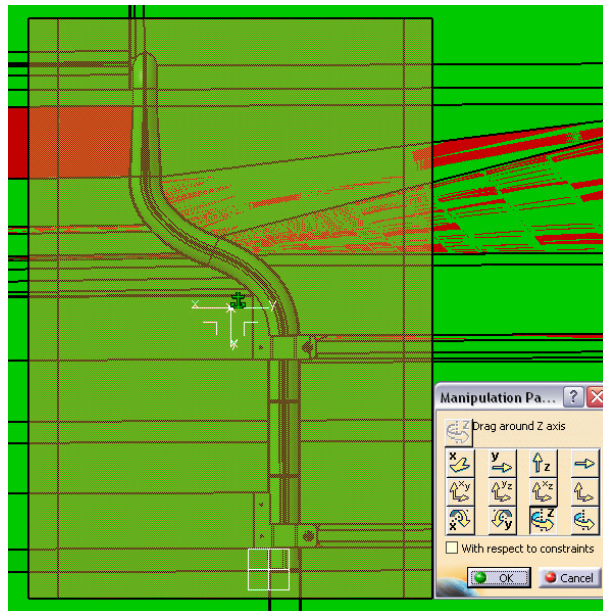


Obr. 113. Nástroj  
„Create a new mold“



Obr. 114. Okno nástroje „Create a new mold“

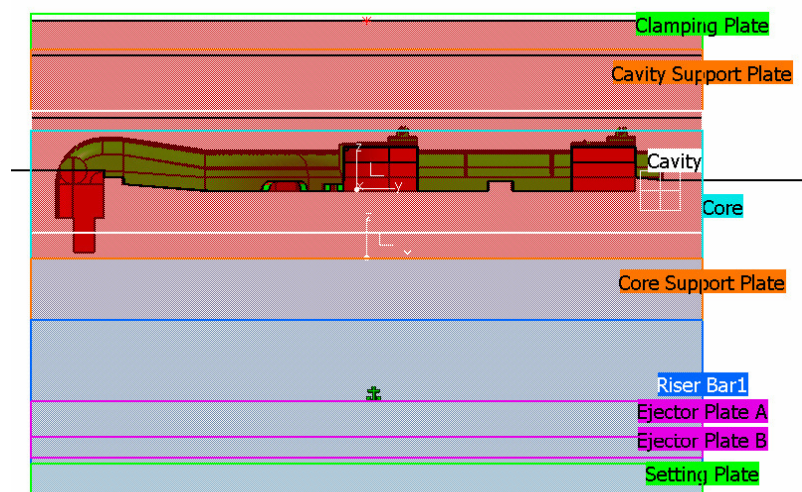
Po zapnutí nástroje „Create a new mold“ se zobrazilo okno popisující hlavní rozměry vkládané formy. Zde bylo možné rozměry formy libovolně změnit. Následným potvrzením tlačítka „OK“ dojde k vložení formy. Dále bylo nutné pomocí nástroje „Manipulation“ plochy tvárníku a tvárnice centrovat vůči formě do požadované pozice.



Obr. 115. Centrování ploch tvárníku a tvárnice

Z obrázku 115 lze vidět proč délka vytažených ploch tvárníku a tvárnice musela být tak velká. Důvodem bylo, aby zmíněné plochy přesahovaly desky formy po celé ploše.

Další věcí, na kterou byla potřeba dát pozor, byla poloha dělicí roviny vůči deskám tvárníku a tvárnice formy. Obě tyto desky musí překrývat dělicí rovinu, viz. obrázek 116.

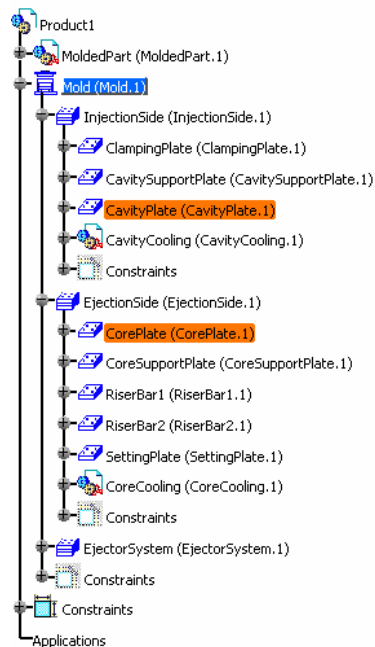


Obr. 116. Překrytí desek formy a dělicí roviny součásti č.1

Jak je patrné z obrázku 116, deska tvárníku („Core“) znázorněná modrou barvou i deska tvárnice („Cavity“) znázorněná bílou barvou překrývají dělicí rovinu. Pokud by tomu tak nebylo, bylo by potřeba formu editovat. Editace formy by se provedla kliknutím pravým tlačítkem myši na formu ve stromu produktu. Volbou možnosti „Mold Object“ → „Edit Mold“ se zobrazí známé okno pro změnu rozměrů formy.

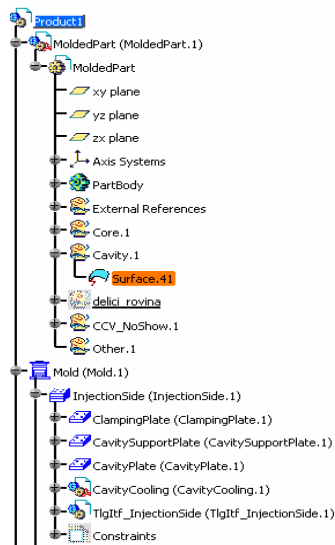
Pokud jsou plochy tvárníku a tvárnice vhodně centrovány vůči deskám formy, lze provést poslední operaci - ořezání ploch.

Pro daný úkon se využilo nástroje „Split Component“. Před ořezáním bylo nutné si ve stromu produktu otevřít větev „Mold“, dále větve „Injection Side“ a „Ejection Side“.

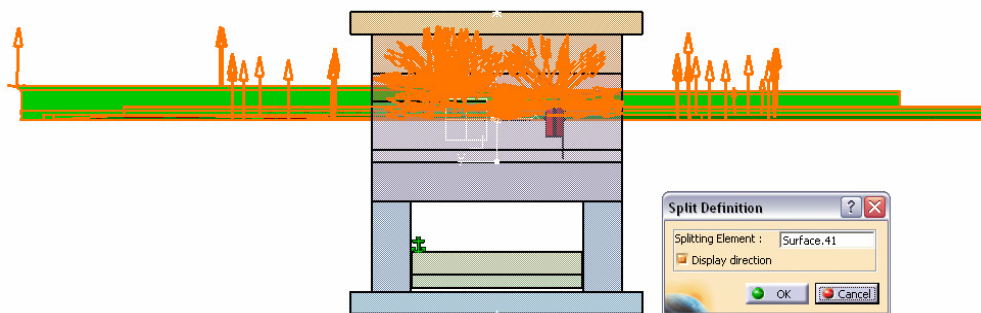


Obr. 117. Větvě „Cavity Plate“ a „Core Plate“

Kliknutím pravým tlačítkem myši na možnosti „CavityPlate“, resp. „CorePlate“, se zobrazila nabídka, ze které se vybrala možnost „CavityPlate.1 object“, resp. „CorePlate.1 object“ → „Split Component“. Po spuštění uvedeného nástroje u desky „Cavity“ se zobrazilo okno, do kterého bylo potřeba zadat plochu, která desku bude ořezávat. Zadána byla plocha Cavity vytvořená v modulu „Core and Cavity“.

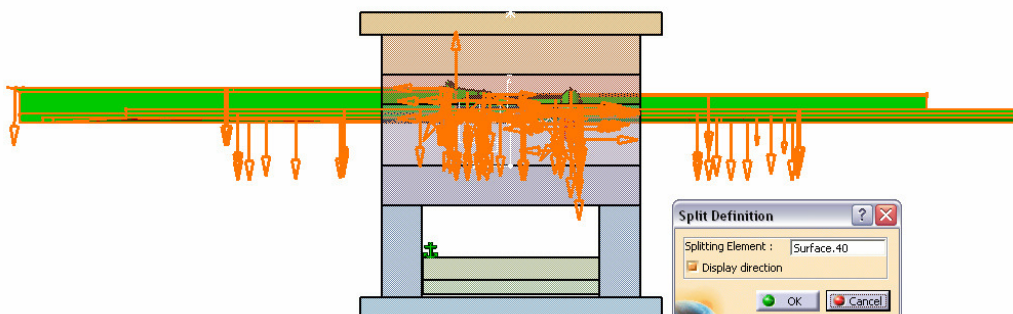


Obr. 118. Plocha „Cavity“



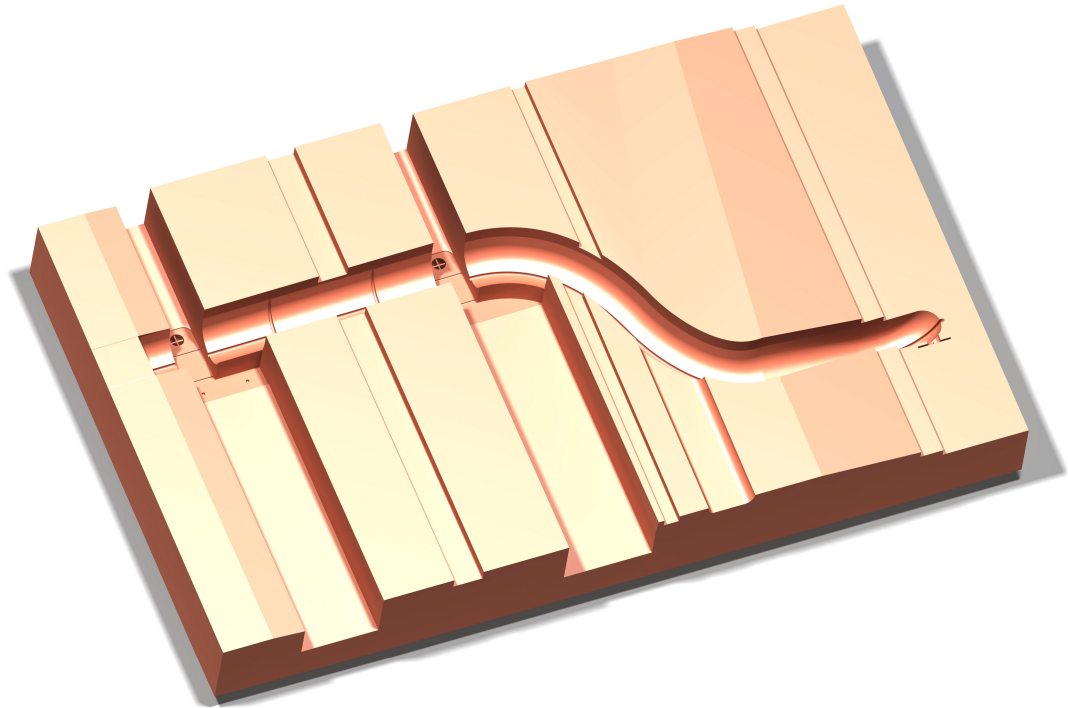
Obr. 119. Ořezání desky tvárnice součásti č.1

Potvrzením tlačítka „OK“ došlo k ořezání desky tvárnice plochou tvárnice. Stejný postup se opakoval pro ořezání desky tvárníku s tím rozdílem, že deska bude ořezána plochou „Core“ nikoli „Cavity“.

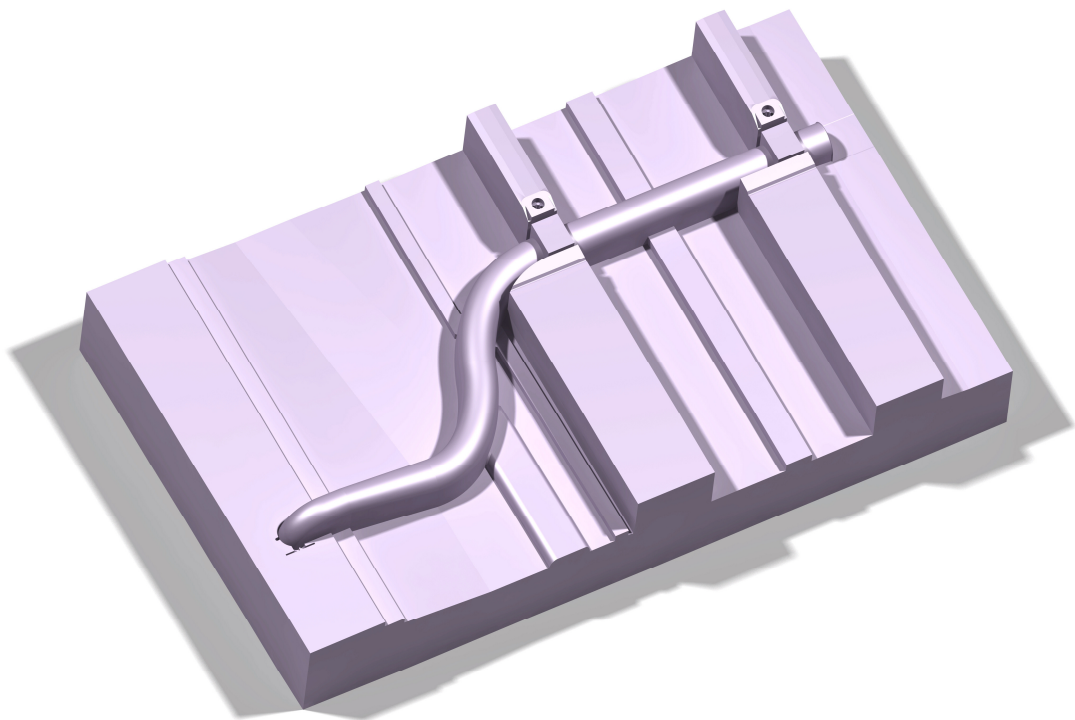


Obr. 120. Ořezání desky tvárníku součásti č.2

Pro zobrazení jednotlivých desek bylo použito příkazu „Open in New Window“. Příkaz zobrazíme kliknutím pravým tlačítkem myši na desky „CorePlate“ a „CavityPlate“ a výběrem možnosti „CorePlate.1 object“, respektive „CavityPlate.1 object“.



Obr. 121. Deska tvárnice součásti č.1

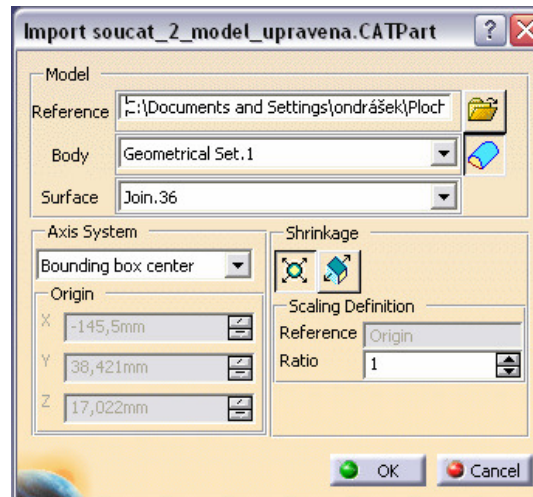


Obr. 122. Deska tvárníku součásti č.1

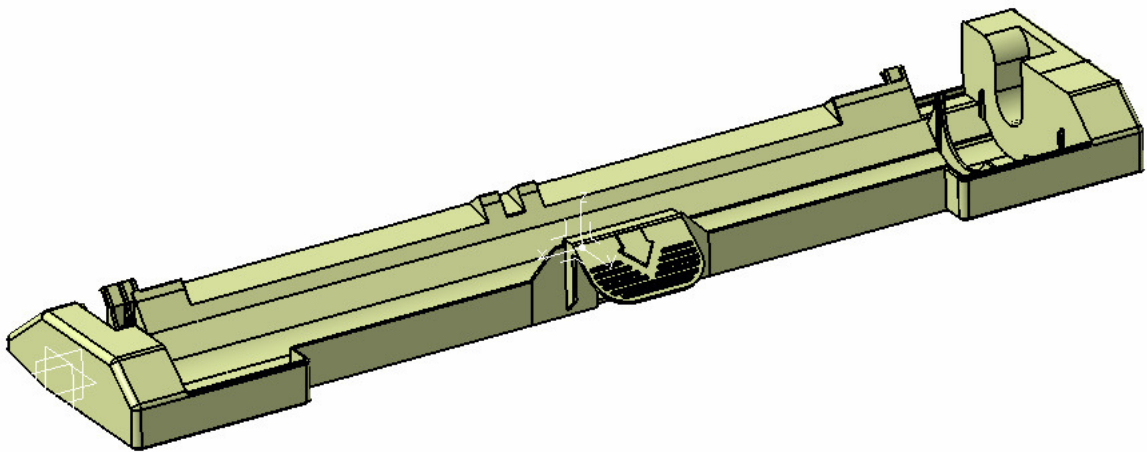
## 12.4 Tvorba dutiny formy pro součást č.2

Tvorba dutiny součásti č.2 probíhala podobným způsobem jako tvorba dutiny součásti č.1. Proto následující postup tvorby dutiny pro druhou součást bude popsán zkráceně.

V první řadě muselo dojít k importování součásti do modulu Core and Cavity. Bylo využito stejného nástroje „Import Model“.

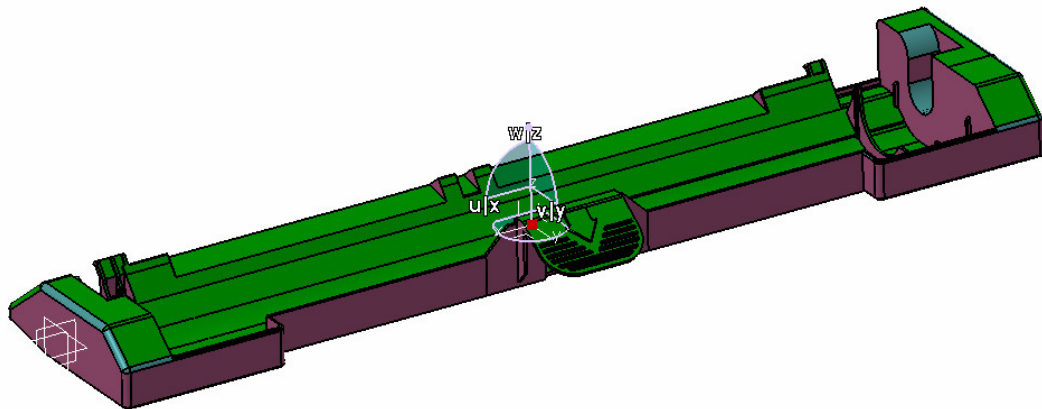


Obr. 123. Okno nástroje „Import Model“

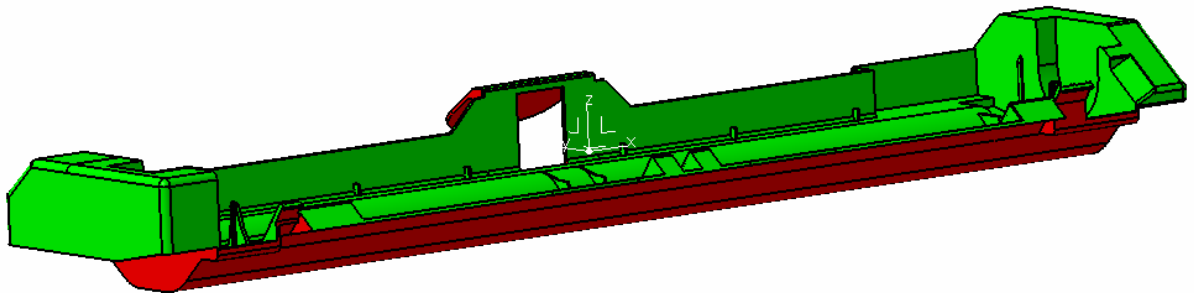


Obr. 124 Importovaná součást č.2

Po importování součásti č.2 bylo opět nutné stanovit, které plochy budou tvárnici a které tvárníkem. Software automaticky rozdělil plochy do určitých skupin, ovšem toto rozdělení bylo opět nevyhovující, proto muselo dojít k manuálnímu výběru ploch.

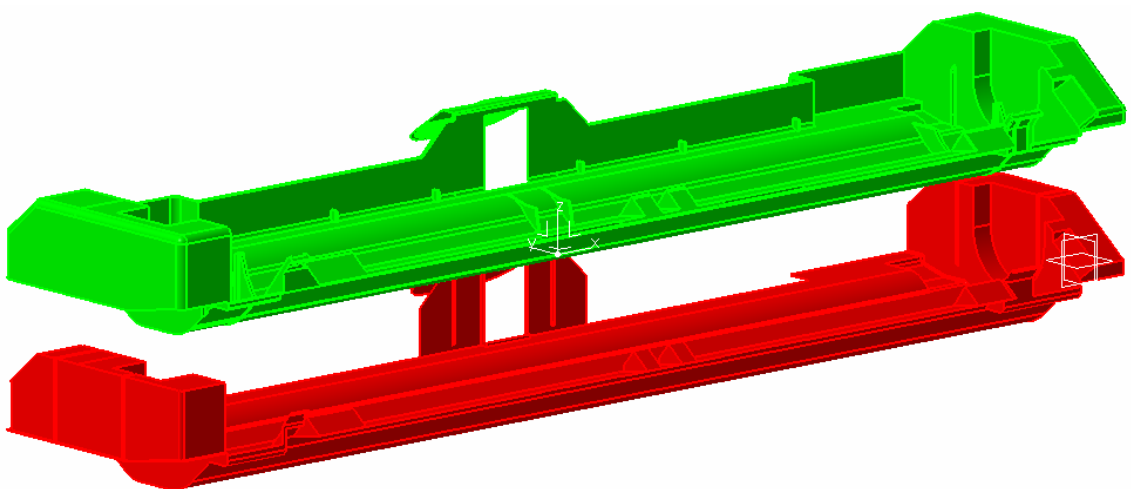


Obr. 125. Nedokonalé rozdělení ploch Core and Cavity součásti č.2



Obr. 126. Vytvořené plochy Core and Cavity součásti č.2

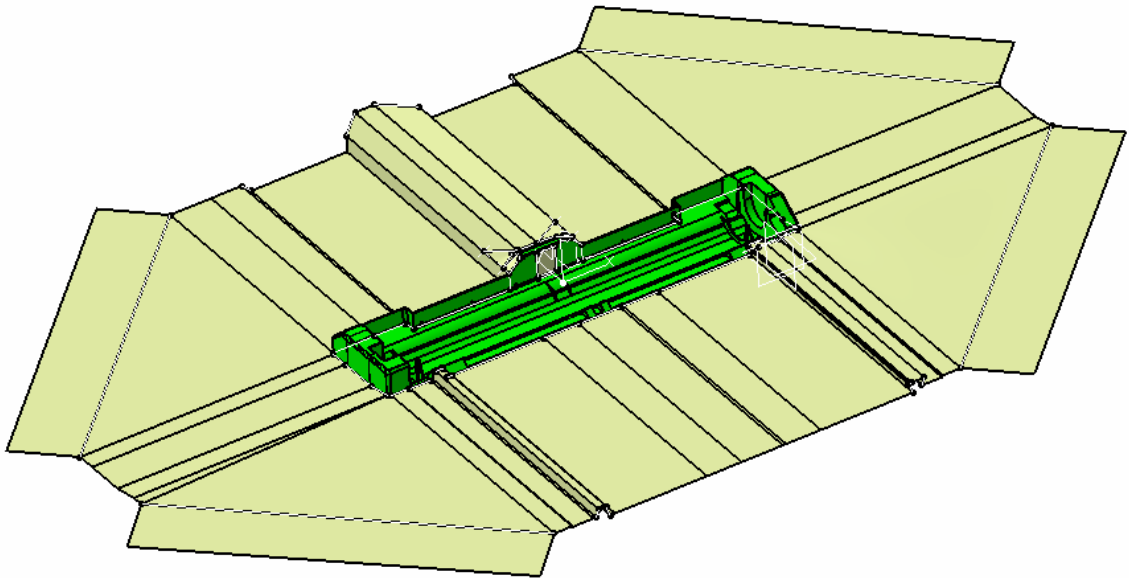
Pro kontrolu, zda všechny plochy byly přiděleny buďto tvárníku nebo tvárnici, byl využit nástroj „Explode View“, který posune zmíněné plochy o zadanou hodnotu od sebe. Pokud by nějaká plocha byla bez přiřazení, neposunula by se.



Obr. 127. Posunutí ploch tvárníku a tvárnice součásti č.2 od sebe

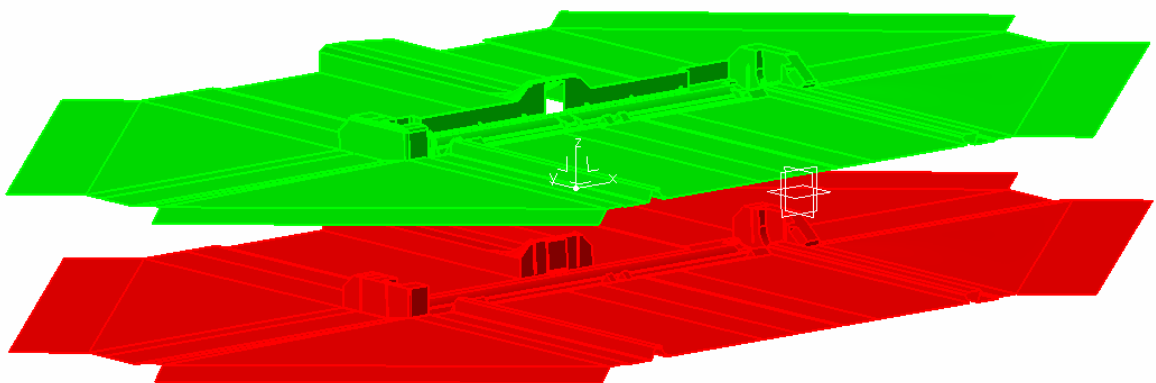


Po vytvoření ploch tvárníku a tvárnice následovala tvorba dělicí roviny. Postup práce byl podobný postupu předchozí součásti. Stejně tak bylo využito podobných nástrojů jako v předchozím případě.



Obr. 128. Vytvořená plocha dělicí roviny součásti č.2

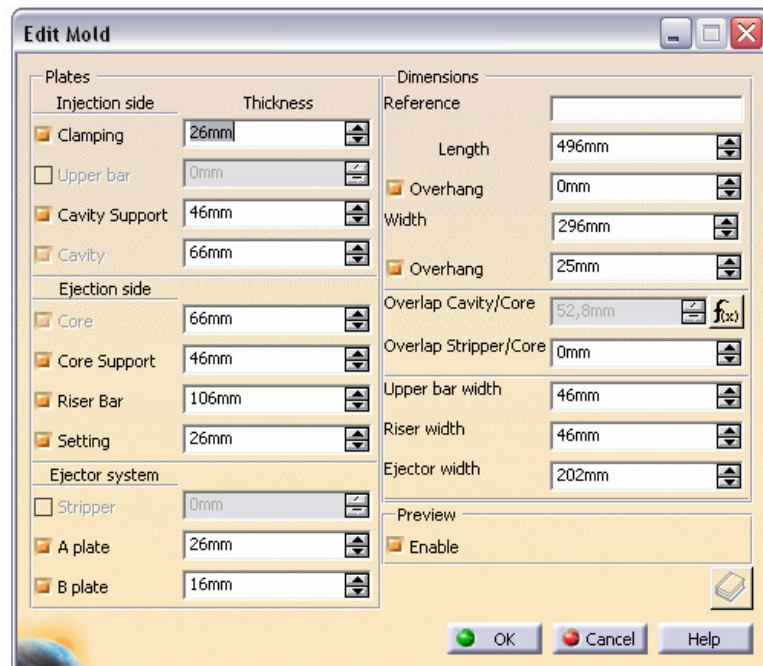
Po vytvoření plochy dělicí roviny bylo dále nutné plochu přiřadit jak „Core“, tak „Cavity“. Přiřazení bylo provedeno nakopírováním jednotlivých ploch do zmíněných větví „Core“ a „Cavity“. Dále pomocí nástroje „Aggregate Mold Area“ došlo ke spojení a vytvoření jedné plochy ve větví „Core“ a jedné plochy ve větví „Cavity“.



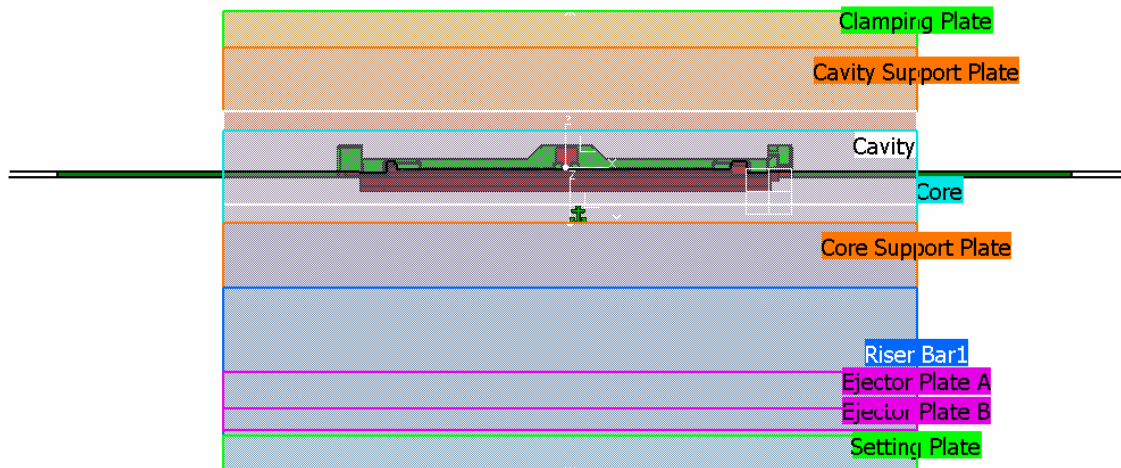
Obr. 129. Plochy tvárníku a tvárnice součásti č.2

Jakmile byly plochy tvárníku a tvárnice připraveny, tak se mohlo přejít do modulu „Mold Tooling Design“, který je určený pro práci se vstřikovacemi formami. Práce v tomto modulu byla obdobná práci u předchozí součásti. Nejdříve bylo nutné vložení vytvořených ploch

tvárníku a tvárnice v modulu „Core and Cavity“. Dále bylo potřeba vložit formu. Forma byla opět vložena ze standardu Hasco.



Obr. 130. Rozměrové parametry formy pro součásti č.2

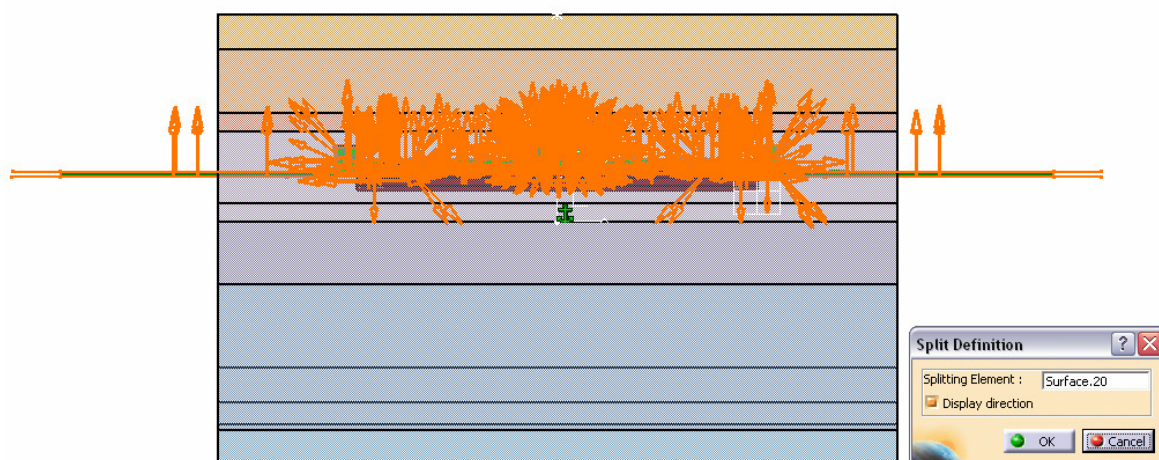


Obr. 131. Překrytí desek formy a dělicí roviny součásti č.2

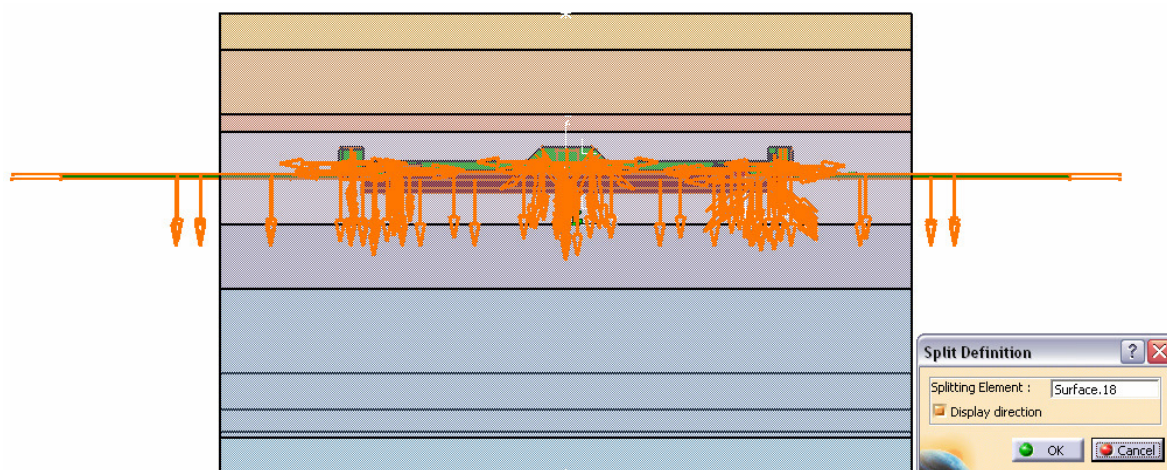
Stejně jako u předchozího případu bylo nutné, aby desky tvárníku a tvárnice formy překrývaly dělicí rovinu a zároveň plně pokryly tvar součásti.

Po vhodném vycentrování desek formy vůči plochám tvárníku a tvárnice se dopracovalo k poslední operaci, kterou bylo ořezání. Postup ořezání byl podrobně popsán u předchozí

součásti. Bylo využito nástroje „Split Component“. Pomocí zmíněného nástroje plocha tvárníku ořezala desku „CorePlate“ a plocha tvárnice ořezala desku „CavityPlate“.

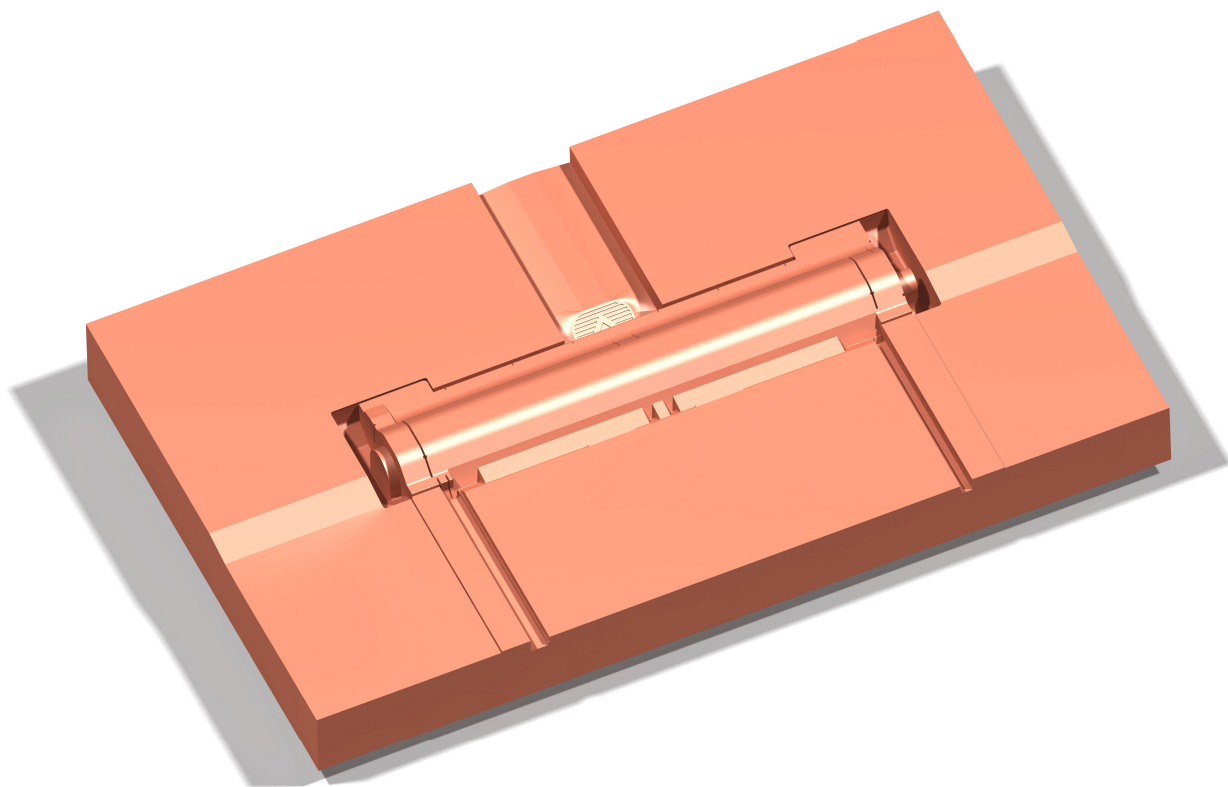


Obr. 132. Ořezání desky tvárnice součásti č.2

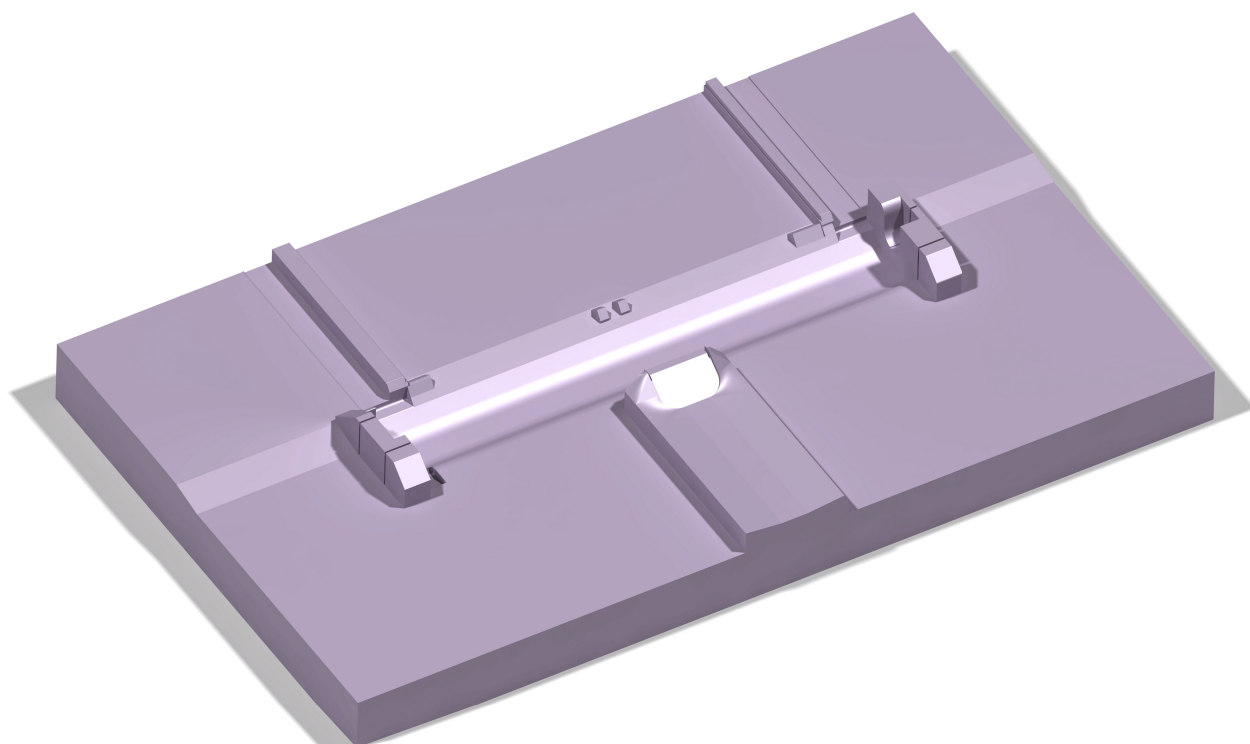


Obr. 133. Ořezání desky tvárníku součásti č.2

Pro zobrazení nově vytvořených desek tvárnice a tvárníku bylo využito příkazu „Open in New Window“.



Obr. 134. Deska tvárnice součásti č.2



Obr. 135. Deska tvárníku součásti č.2

## ZÁVĚR

Teoretická část seznamuje čtenáře s moderními technologiemi, které byly dále využity při vypracování praktické části. V úvodní kapitole byl zmíněn historický vývoj konstrukčního softwaru a jednotlivé typy softwaru, které firmy v současné době nabízejí na trhu. Velká pozornost byla věnována softwaru CATIA a jeho modulu Core and Cavity, který byl využit při vypracování praktické části. V další kapitole jsou popsány zásady pro konstrukční návrh formy. V poslední kapitole byly pak definovány moderní technologie reverzního inženýrství a Rapid Prototypingu.

Praktická část se v první kapitole zaměřuje na 3D skenování zadaných součástí. Zde se nachází přesný popis postupu práce, úprava a zpracování získaných dat skenováním. Výsledkem této části práce bylo obrovské množství bodů. Proto získaným poznatkem uvedeného procesu je pro zpracování bodů nutnost velmi výkonné výpočetní techniky. V následujícím kroku bylo nutné data převést do objemového modelu, který se využil pro další práci. V praktické části bylo dále popsáno vymodelování obou součástí. Cílem bylo zjištění, zda je rychlejší pro získání modelu metoda 3D skenování, nebo postupné vymodelování. Bylo zjištěno, že pro konkrétní případy zadaných součástí je rychlejší získání modelu modelováním. Ovšem, pokud bychom chtěli dosáhnout dokonalého tvaru a vysoké rozměrové přesnosti dané součásti, museli bychom využít metody 3D skenování. V poslední části diplomové práce následovala po získání objemových modelů pomocí konstrukčního softwaru CATIA tvorba dutin vstřikovacích forem. Pro tuto práci se využilo modulu Core and Cavity. Byl popsán postup tvorby a současně byl uveden popis základních funkcí využívaných při tvorbě dutin. Výsledkem bylo, že tvorba tvarově složitějších dutin pomocí modulu Core and Cavity je mnohem efektivnější, tzn. jednodušší a mnohem rychlejší než tvorba dutin postupným odřezáváním.

Závěrem lze zhodnotit, že diplomová práce je zcela zaměřena na propojení a využití dnešních moderních technologií pro konstrukci výrobků v praxi. Ať je to už využití konstrukčního softwaru CATIA a jeho modulu Core and Cavity pro tvorbu dutin, nebo reverzního inženýrství. Obě tyto zmíněné technologie patří mezi technologie současnosti. Právě reverzní inženýrství už v dnešní době není nemyslitelnou technologií mnoha středních a menších firem. Čím dál více se setkáváme s konstrukcí výrobků využívajících těchto metod. Do budoucna se dá počítat, že vývoj popisovaných technologií půjde neustále dopředu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] závěrečná esej do předmětu P109 xkubin2 2002. Stručná historie CAD/CAM až po současnost. [http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2\\_CAD-CAM.htm](http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CAD-CAM.htm) (accessed Nov 10, 2012).
- [2] SOLARIS DESIGN's Diver's Scooter in CATIA V5, 2010. SOLARIS DESIGN. <http://solarisdesign.blogspot.cz/2010/04/solaris-designs-divers-scooter-in-catia.html> (accessed Nov 10, 2012).
- [3] Autodesk Inventor. cadstudio. <http://www.cadstudio.cz/inventor> (accessed Nov 13, 2012).
- [4] SolidWorks - 3D CAD navrhování. SolidVision. <http://www.solidvision.cz/solidworks/> (accessed Nov 13, 2012).
- [5] Solid Edge. Siemens. [http://www.plm.automation.siemens.com/cz\\_cz/products/velocity/solidedge/index.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/velocity/solidedge/index.shtml) (accessed Nov 20, 2012).
- [6] Solid Edge V20, 2009. HSIcom. <http://www.hsicom.cz/cs/cad/solid-edge/solid-edge-v20> (accessed Nov 20, 2012).
- [7] T-Flex - Popis produktu. SoliCad. <http://solicad.com/c/t-flex-popis> (accessed Nov 26, 2012).
- [8] TurboCAD. <http://www.turbocad.cz/> (accessed Nov 26, 2012).
- [9] VariCAD. <http://www.varicad.cz/cz/home/produkty/popis/> (accessed Nov 30, 2012).
- [10] CATIA. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/CATIA> (accessed Jan 04, 2013).
- [11] CATIA. Applus IDIADA. <http://www.idiada.cz/catia.html> (accessed Jan 04, 2013).
- [12] CATIA. dytron. <http://www.dytron.cz/catia-popis/catia.aspx> (accessed Jan 07, 2013).
- [13] CATIA. Product Lifecycle Management. <http://www.catia.cz/CATIA.10.0.html> (accessed Jan 07, 2013).

- [14] CATIA - 3D CAD software pro návrh výrobku. Technodat. <http://www.technodat.cz/catia> (accessed Jan 10, 2013).
- [15] Mechanical. UltragenCiacotech. <http://www.ultrageniac.com/Serviceseng.htm> (accessed Jan 10, 2013).
- [16] CATIA – Core & Cavity design. Dassault Systèmes. <http://www.3ds.com> (accessed Jan 14, 2013).
- [17] BOBČÍK, L., et al. Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů. 2nd ed. Brno: UNIPLAST Brno, 1999. 134 p. Příručka pro pracovníky v oboru plastů. Vydáno jako 2. opravné vydání.
- [18] Vstřikovací Formy. [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf) (accessed Jan 29, 2013).
- [19] BOBČÍK, L., et al. Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů. 1st ed. Brno: UNIPLAST Brno, 1999. 214 p. Příručka pro pracovníky v oboru plastů.
- [20] Leštění forem do zrcadlového lesku. MEPAC CZ. <http://www.mepac.cz/image/pictures/web/lesteni1.pdf> (accessed Feb 10, 2013).
- [21] Kubín, T.; Učeň, O.; Blata, J. Reverzní inženýrství v důlní praxi, 2011. 3D Skenování. <http://www.3d-skenovani.cz/reverzni-inzenyrstvi-dulni-praxi> (accessed Feb 12, 2013).
- [22] Grebeníček, P. Nasazení a zkušenosti s technologiemi rapid prototyping ve společnosti Evector. Technodat. <http://www.technodat.cz/nasazeni-a-zkusenosti-s-technologie-mi-rapid-prototyping-ve-spolecnosti-evector> (accessed Feb 14, 2013).
- [23] Rapid prototyping – to je 3D SYSTEMS. CAD.cz. <http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/1559-rapid-prototyping-to-je-3d-systems.html> (accessed Feb 14, 2013).
- [24] Trávníček, M. Využití rapid prototyping technologií. CAD.cz. <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2715-vyuziti-rapid-prototyping-technologie.html> (accessed Feb 14, 2013).

- [25] Řasa, J.; Kerečaninová, Z. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. MM Průmyslové Spektrum [Online] 2008, 9-50. DOI: 081127. [http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni-9-dil.html%20%20http://www.rapidprototyping.cz/rapid\\_plast.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni-9-dil.html%20%20http://www.rapidprototyping.cz/rapid_plast.html) (accessed Feb 17, 2013).
- [26] 3D tisk technologií FDM. Rapid Prototyping. <http://www.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx> (accessed Feb 19, 2013).
- [27] SLS Rapid Prototyping Services. NW Rapid Manufacturing. <http://www.nwrapidmfg.com/sls-rapid-prototyping/index.html> (accessed Feb 20, 2013).
- [28] Gračanin, A. Shell mold design. GRABCAD. <http://grabcad.com/library/shell-mold-design> (accessed March 06, 2013).
- [29] Vstřikovací formy v systému Catia. MM Průmyslové spektrum [online]. 2001, vol. 1, no. 1 [cited 2013-03-06]. Available from <http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovaci-formy-v-systemu-catia.html> .



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AEC Architecture, Engineering, Construction

CAD Computer Aided Design

CAE Computer Aided Engineering

CAM Computer Aided Manufacturing

CNC Computer Numeric Control

FDM Fused Deposition Modeling

FEM Finite Element Metod

IP Intellectual Properte

NC Numeric Control

NT New Technology

PC Personal Computer

PLM Product Life Management

PP PolyPropylen

SLS Selective Laser Sintering

UV UltraViolet

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Kreslení pomocí světelného pera.....	13
Obr. 2. Kreslicí program ARCH MODEL.....	14
Obr. 3. CAD model programu Catia.....	14
Obr. 4. Autodesk Inventor Professional 2010.....	15
Obr. 5. CAD part Autodesk Inventor Professional 2012.....	16
Obr. 6. Modelování formy v SolidWorks.....	17
Obr. 7. Knihovna normalizovaných součástí SolidWorks Professional.....	17
Obr. 8. Model formy v programu Solid Edge V20.....	19
Obr. 9. Výkresová dokumentace Turbo CAD Professional.....	20
Obr. 10. 3D model ve VariCADu.....	20
Obr. 11. 3D model v CATII V4.....	23
Obr. 12. Platformy P1, P2 a P3.....	24
Obr. 13. Model Mechanical designu solution.....	24
Obr. 14. Shape design.....	25
Obr. 15. Návrh potrubí v CATII V5.....	25
Obr. 16. NC obrábění v CATII V5.....	26
Obr. 17. Part model CATIA V5.....	27
Obr. 18. Vstřikovací forma vytvořená v modulu „Mold Tooling Design“ programu CATIA V5.....	28
Obr. 19. Dílce modelované v CATII V6.....	30
Obr. 20. Tvorba tvárníku a tvárnice v modulu Core and Cavity Design.....	31
Obr. 21. Průběh provozního i dodatečného smrštění.....	35
Obr. 22. Vlivy jednotlivých faktorů na velikost smrštění.....	36
Obr. 23. Leštěná dutina formy.....	37
Obr. 24. Porovnání klasického a reverzního inženýrství.....	38
Obr. 25. Příklad procesu návrhu.....	39
Obr. 26. Princip triangulace optického skeneru.....	40
Obr. 27. Schéma zařízení pro stereolitografii.....	42
Obr. 28. Dílec vyrobený technologií FDM.....	43
Obr. 29. Schéma zařízení pro technologii SLS.....	44
Obr. 30. Dílec vyrobený technologií SLS.....	44

Obr. 31. Využití technologie rapid prototyping ve zdravotnictví .....	45
Obr. 32. Zadaná součást č.1 .....	48
Obr. 33. Zadaná součást č.2 .....	48
Obr. 34. Zařízení ATOS II .....	49
Obr. 35. Skener ATOS II .....	50
Obr. 36. Kalibrační objekty senzoru ATOSU II .....	51
Obr. 37. Kalibrace skeneru ATOS II .....	51
Obr. 38. Směs prášku a lihu pro tvorbu matného povrchu .....	52
Obr. 39. Součást před nanesením vrstvy prášku .....	52
Obr. 40. Součást po nanesení vrstvy prášku .....	53
Obr. 41. Průběh skenování součásti .....	53
Obr. 42. Skenovaná součást .....	54
Obr. 43. Panel nástrojů oprav programu GOM Inspect V7.5 .....	55
Obr. 44. Naskenovaná část součásti .....	56
Obr. 45. Naskenovaná celá součást .....	56
Obr. 46. Součást s nežádoucími naskenovanými místy .....	57
Obr. 47. Součást s odstraněnými nežádoucími naskenovanými místy .....	57
Obr. 48. Povrch součásti č.1 před opravou .....	58
Obr. 49. Okno nástroje „Close Holes Interactively“ .....	58
Obr. 50. Povrch součásti č.1 po opravě .....	59
Obr. 51. Miniaturní vrcholky součásti č.1 před opravou .....	59
Obr. 52. Okno nástroje „Repair Mesh“ .....	60
Obr. 53. Povrch součásti č.1 po opravě .....	60
Obr. 54. Opravená součást č.1 .....	61
Obr. 55. Export modelu do formátu .stl .....	61
Obr. 56. Povrch součásti č.2 před opravou .....	62
Obr. 57. Povrch součásti č.2 po opravě .....	62
Obr. 58. Vrcholky součásti č.2 před opravou .....	63
Obr. 59. Povrch součásti č.2 po odstranění nerovností .....	63
Obr. 60. Opravená součást č.2 .....	64
Obr. 61. Export modelu součásti č.2 do formátu .stl .....	64
Obr. 62. Nabídka „Shape“ pro import modelu do CATIE .....	65
Obr. 63. Panel „Cloud Import“ .....	65

Obr. 64. Okno pro import součásti .....	66
Obr. 65. Import součásti č.2 do programu CATIA .....	66
Obr. 66. Nástroj „Fill Holes“ v panelu „Mesh“ .....	67
Obr. 67. Nástroj „Fill Holes“ .....	67
Obr. 68. Nástroj „Mesh Cleaner“ .....	67
Obr. 69 Tabulka nástroje „Mesh Cleaner“ .....	68
Obr. 70. Modul „Quick Surface Reconstruction“ .....	68
Obr. 71. Nástroj „Automatic Surface“ .....	68
Obr. 72. Okno nástroje „Automatic Surface“ .....	69
Obr. 73. Modul „Part Design“ .....	70
Obr. 74. Nástroj „Close Surface“ .....	70
Obr. 75. Špatná síť součásti č.1 .....	71
Obr. 76. Špatná síť součásti č.2 .....	71
Obr. 77. Optimální parametry nástroje „Automatic Surface“ součásti č.1 .....	72
Obr. 78. Správná síť součásti č.1 .....	72
Obr. 79. Objemová součást č.1 .....	73
Obr. 80. Optimální parametry nástroje „Automatic Surface“ součásti č.2 .....	73
Obr. 81. Správná síť součásti č.2 .....	74
Obr. 82. Objemová součást č.2 .....	74
Obr. 83. Vymodelovaná součást č.1 .....	75
Obr. 84. Vymodelovaná součást č.2 .....	75
Obr. 85 Spuštění modulu Core and Cavity .....	76
Obr. 86. Nástroj „Import Model“ .....	77
Obr. 87. Okno nástroje „Import Model“ .....	77
Obr. 88. Okno importu součásti č.1 .....	78
Obr. 89. Importovaná součást č.1 .....	78
Obr. 90. Nástroj „Main Pulling Direction Definition“ .....	79
Obr. 91. Okno nástroje „Main Pulling Direction Definition“ .....	79
Obr. 92. Neúplné rozdělení ploch Core and Cavity součásti č.1 .....	80
Obr. 93. Vytvořené plochy Core and Cavity součásti č.1 .....	81
Obr. 94. Nástroj „Explode View“ .....	81
Obr. 95. Okno nástroje „Explode View“ .....	82
Obr. 96. Posunutí ploch tvárníku a tvárnice součásti č.1 od sebe.....	82

Obr. 97. Nástroj „Transfer element“ .....	83
Obr. 98. Okno nástroje „Transfer element“ .....	83
Obr. 99. Nástroj „Boundary“ .....	83
Obr. 100. Okno nástroje „Boundary“ .....	84
Obr. 101. Promítnutá křivka nástrojem „Boundary“ .....	84
Obr. 102. Nástroj „Sweep“ .....	85
Obr. 103. Vytažení promítnuté křivky do prostoru .....	85
Obr. 104. Nástroj „Fill“ .....	85
Obr. 105. Uzavřený profil pro vytvoření plochy .....	86
Obr. 106. Vytvořená plocha nástrojem „Fill“ .....	86
Obr. 107. Vytvořená plocha dělicí roviny součásti č.1 .....	87
Obr. 108. Kopírování ploch dělicí roviny .....	87
Obr. 109. Nástroj „Aggregate Mold Area“ .....	88
Obr. 110. Okno nástroje „Aggregate Mold Area“ .....	88
Obr. 111. Plochy tvárníku a tvárnice součásti č.1 .....	89
Obr. 112. Spuštění modulu „Mold Tooling Design“ .....	89
Obr. 113. Nástroj „Create a new mold“ .....	90
Obr. 114. Okno nástroje „Create a new mold“ .....	90
Obr. 115. Centrování ploch tvárníku a tvárnice .....	91
Obr. 116. Překrytí desek formy a dělicí roviny součásti č.1 .....	91
Obr. 117. Větve „Cavity Plate“ a „Core Plate“ .....	92
Obr. 118. Plocha „Cavity“ .....	93
Obr. 119. Ořezání desky tvárnice součásti č.1 .....	93
Obr. 120. Ořezání desky tvárníku součásti č.2 .....	93
Obr. 121. Deska tvárnice součásti č.1 .....	94
Obr. 122. Deska tvárníku součásti č.1 .....	94
Obr. 123. Okno nástroje „Import Model“ .....	95
Obr. 124 Importovaná součást č.2 .....	95
Obr. 125. Nedokonalé rozdělení ploch Core and Cavity součásti č.2 .....	96
Obr. 126. Vytvořené plochy Core and Cavity součásti č.2 .....	96
Obr. 127. Posunutí ploch tvárníku a tvárnice součásti č.2 od sebe .....	96
Obr. 128. Vytvořená plocha dělicí roviny součásti č.2 .....	97
Obr. 129. Plochy tvárníku a tvárnice součásti č.2 .....	97

---

Obr. 130. Rozměrové parametry formy pro součásti č.2 .....	98
Obr. 131. Překrytí desek formy a dělicí roviny součásti č.2 .....	98
Obr. 132. Ořezání desky tvárnice součásti č.2 .....	99
Obr. 133. Ořezání desky tvárníku součásti č.2 .....	99
Obr. 134. Deska tvárnice součásti č.2 .....	100
Obr. 135. Deska tvárníku součásti č.2 .....	100

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Porovnání cen konstrukčního softwaru .....	21
Tab. 2. Technické údaje formy .....	33
Tab. 3. Parametr drsnosti povrchu u obráběných forem .....	34
Tab. 4. Konfigurace senzoru skeneru ATOS II.....	50

## SEZNAM PŘÍLOH

Příložený disk DVD k diplomové práci obsahuje následující přílohy:

- P1 Elektronická verze diplomové práce ve formátu „PDF“
- P2 Naskenovaná součást č.1 a součást č.2 + vytvořené sítě
- P3 Vymodelovaná součást č.1 a součást č.2
- P4 Desky tvárníku a tvárnice součásti č.1 a součásti č.2