VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOMPONENTU RUČNÍ BRZDY OSOBNÍHO AUTOMOBILU S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

PRODUCTION OF HANDBRAKE COMPONENT OF THE CAR USING THE RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE VLADIMÍR DRBOLA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. JAN DVOŘÁČEK
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vladimír Drbola

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba komponentu ruční brzdy osobního automobilu s využitím technologie rapid prototyping

v anglickém jazyce:

Production of handbrake component of the car using the rapid prototyping technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Stručný popis metod RP
3. Modelování komponenty ruční brzdy
4. Výroba součásti s využitím technologie RP pomocí FDM
5. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce bude zaměřena zejména na výrobu komponenty ruční brzdy pro automobil Fiat Stillo pomocí technologie Rapid Prototyping metodou FDM. V úvodní části práce bude nastíněn stručný popis technologií Rapid Prototyping. Součástí práce bude modelování komponenty ruční brzdy z reálné součásti ve vozidle, u které došlo k destrukci úchytných částí. Výroba komponenty bude realizována na 3D tiskárně uPrint využitím metody Fused Deposition Modeling. V závěru práce budou porovnány náklady na komponentu dostupnou v maloobchodní síti a náklady na výrobu součásti pomocí technologie RP.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.
3. JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp.112. ISBN 1860584659.
4. VLÁČILOVÁ, H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2006. 319 s. ISBN 80-251-1314-0.
5. PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.
6. TMS (The Minerals, Metals & Materiále Society): Rapid Prototyping of Materials. The Minerals, Metals & Materials Society. 2002, pp. 615. ISBN 0873395301.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Dvořáček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 24.1.2011

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena zejména na výrobu komponentu ruční brzdy pro automobil Fiat Stillo pomocí technologie Rapid Prototyping metodou FDM. Úvodní část práce obsahuje stručný popis technologií Rapid Prototyping. Součástí práce je modelování komponentu ruční brzdy reálné součásti ve vozidle, u které došlo k destrukci úchytných částí a úprava modelu pro výrobu. Výroba komponentu je realizována na 3D tiskárně uPrint využitím metody Fused Deposition Modeling. Závěrečná část práce obsahuje zhodnocení nákladů na výrobu komponentu a cenou komponentu dostupného v maloobchodní síti.

Klíčová slova

Komponent ruční brzdy, Rapid Prototyping, modelování

Abstract

Bachelor thesis is mainly focused on manufacturing of hand brake component for Fiat Stillo using method Fused Deposition Modeling. Introduction part contains a brief description of Rapid Prototyping technology. Practical part of the work is based on modeling of real component of handbrake, whose fastener part has been damaged. In the work is also description of the necessary modifications for the production of model by FDM method. Production of the component has been performed on Dimension uPrint FDM printer. The final part contains an assessment of production costs compared to price of the product in retail stores.

Key Words

Handbrake component, Rapid Prototyping, modeling

Bibliografická citace

DRBOLA Vladimír: *Výroba komponentu ruční brzdy osobního automobilu s využitím technologie Rapid Prototyping*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 30 stran, Ing. Jan Dvořáček.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předpokládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně 27.5.2011

……

Vladimír Drbola

Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Janu Dvořáčkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.
Dále děkuji své rodině, přítelkyni a přátelům za podporu nejen v době vypracování bakalářské práce, ale i za dobu celého studia, při kterém mi pomáhali svoji podporou.

Obsah

1 ÚVOD

Komponent ruční brzdy ve Fiatu Stillo, kterým se tato bakalářská práce zabývá, je součástí nepřeberného množství doplňků v automobilovém průmyslu, které se označují jako design interiéru, anebo s designem úzce souvisí.

Komponent slouží jako výztuha a zároveň přidržovač designového materiálu, neboli krycího vaku, v tomto případě kůže, kolem páky ruční brzdy (Obr.1.1). Je všeobecně známo, že originální komponent ruční brzdy, který dodává Fiat do osobního automobilu Stillo je nekvalitně zpracován a tudíž dochází na tomto komponentu k destrukci a to hlavně k poškození úchytných částí (Obr. 1.2). Tato destrukce nastala i v mém autě. Po prozkoumání dostupnosti originálních i neoriginálních dílů na trhu, bylo vzhledem k ceně náhradního komponentu rozhodnuto pro výrobu tohoto dílu pomocí dostupných technologií.

Při výběru technologie výroby náhradního komponentu byly rozhodující náklady na výrobu, při zachování dostatečné pevnosti dílu. Vzhledem k faktu, že komponent je ukryt pod krycím vakem, není nutná vysoká kvalita povrchu, ale zejména přesnost polohy jednotlivých úchytných částí a výsledný rozměr komponentu. Po zhodnocení všech kritérií bylo rozhodnuto, že nejvhodnější technologie výroby vzhledem k požadovaným skutečnostem je Rapid Prototyping.

Obr. 1.1 Komponent a krycí vak.

Obr. 1.2 Původní komponent s poškozenými úchytnými částmi.

2 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

Technologie Rapid Prototyping (dále jen RP) zaznamenala od počátku vývoje až do dnešní podoby velké změny. Největší změnou je, že vyrobená součást pomocí RP neslouží už pouze k představě o vzhledu budoucího prototypu. V dřívějších dobách se prototyp musel vyrábět jinou technologií (např. konvenčním obráběním), protože součást vyrobená RP nebyla pevná a podléhala destrukci. V dnešní době se součásti vyrobené metodou RP využívají, stejně jako řešený komponent, jako funkční, tj. jsou použitelné k praktickému účelu. Samozřejmě se vývoj zaměřuje, jako ve všech průmyslových oblastech, na rychlost výroby a ekonomické hledisko. Rychlost výroby u technologie RP je velmi závislá na složitosti a velikosti součásti (z pravidla od několika minut až po několik hodin). Z ekonomického hlediska je výroba pomocí RP méně nákladná než metoda konvenčního obrábění, z důvodu samotného principu obou technologií.

Při výrobě součásti pomocí konvenčního obrábění, se z polotovaru materiál, který odchází ve formě třísek [1]. Časová náročnost, tvorba třísky a vysoké náklady na provoz jsou v sériové výrobě nežádoucí. Z těchto důvodů byla vynalezena technologie RP, která se bez přestání vyvíjí od roku 1985 a využívá se nejen v automobilovém, leteckém nebo v elektrotechnickém průmyslu, ale i ve výrobě spotřebního zboží [5].

RP je soubor progresivních technologií, které vytváří modely a prototypy přímo na základě dat 3D CAD softwarů. K modelování se v konstrukční a technologické praxi frekventovaně používají programy jako např. ProEngineer, Catia, méně často pak Autodesk Inventor či SolidWorks. Metoda RP využívá dat ve formátu *.stl, který je možné získat exportem dat ze všech známých 3D softwarů. Jedná se o aditivní technologii, což znamená, že materiál je nanášen po jednotlivých vrstvách (na rozdíl od obrábění (subtraktivní)). Při použití této technologie vzniká minimální množství odpadu v závislosti na použité metodě RP. Díky tomu je možné vyrábět součásti složitých tvarů, které by byly nevyrobitelné či velmi obtížně vyrobitelné konvenčním obráběním, např. vnitřní nesymetrická dutina [6]. RP v zásadě využívá materiálů na třech bázích: plast, kov a keramika [8], [9].

2.1 Metody Rapid Prototyping

V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody technologie RP, které jsou seřazeny dle data vývoje. U jednotlivých metod je popsán výrobní proces, materiály, výhody a nevýhody jednotlivé technologie.

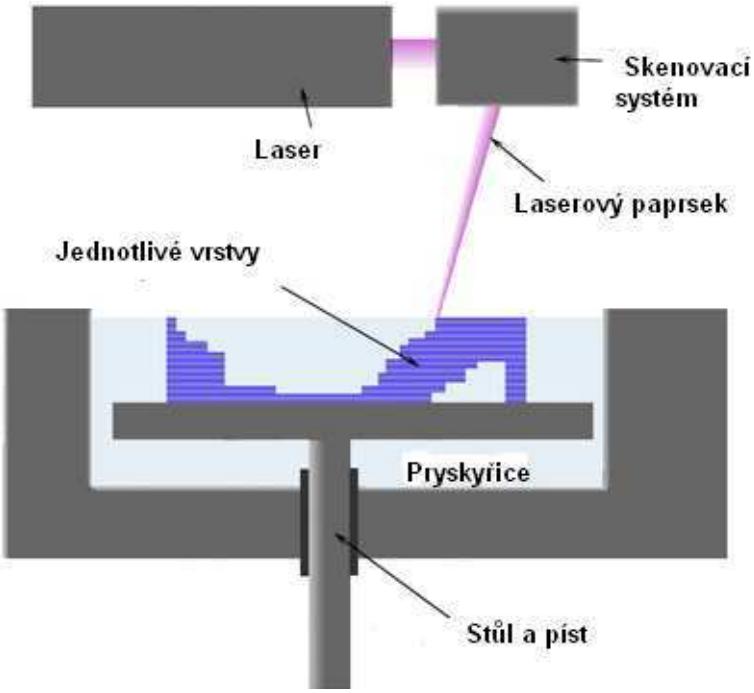
2.1.1 Stereolithography

Stereolithography (SLA, SL) je aditivní výrobní proces, který využívá pryskyřice (fotopolymeru) jako konstrukčního materiálu. Materiál je ve formě tekuté lázně a vytvrzování pryskyřice je realizováno pomocí paprsku laseru, který „osvěcuje“ jednotlivé vrstvy vyráběné součásti (viz obr. 2.1). Po ztuhnutí jedné vrstvy, o

tloušťce 0,05 mm až 0,15 mm, se stůl posouvá právě o tuto vzdálenost. Takto se vrstvením vytvoří finální podoba prototypu [5], [10].

Výhoda oproti konvenčnímu obrábění je, jako u všech metod RP, rychlost výroby, která se počítá jen na desítky minut.

Velkou nevýhodou, která je u metody Stereolithography, je toxická pryskyřice.



Obr. 2.1 Nákres zařízení metody Stereolithography [5].

2.1.2 Selective Laser Sintering

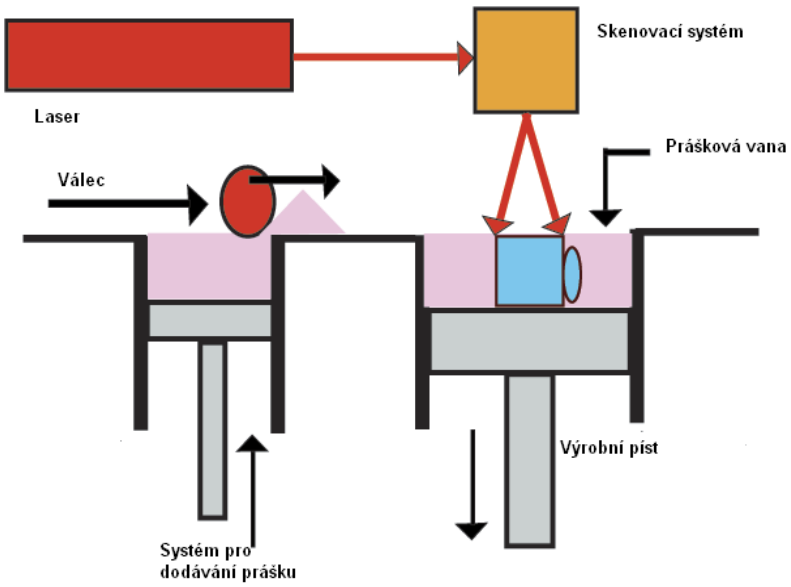
Selective Laser Sintering (SLS) je metoda, při které se laserovým paprskem spéká do požadovaného tvaru slévárenský písek, plastový nebo kovový prášek. Přídavný materiál je nanášen na nosnou desku v inertní atmosféře po vrstvách. V místě působení laseru se přídavný materiál buď zapeče, nebo roztaví. Okolní materiál slouží jako nosná konstrukce [11],[12].

Výroba součásti probíhá po vrstvách, po vytvoření jedné vrstvy se nosná deska sníží o hodnotu odpovídající hloubce vrstvy (Obr. 2.2).

Na rozdíl od jiných metod můžeme využívat široké spektrum materiálů- principielně je možné použít jakýkoliv prášek, jenž se působením tepla taví nebo měkne. V současnosti se v komerčních oblastech používají termoplastické materiály jako polyamid, polykarbonát, polystyrén, dále slitiny z niklových bronzů.

Komponenty vyrobené metodou Selective Laser Sintering vlastní, vzhledem k metodě Stereolithography, značnou pevnost [5], [10].

V neprospěch metody Selective Laser Sintering hovoří to, že na jednom zařízení nelze spékat více druhů prášku.



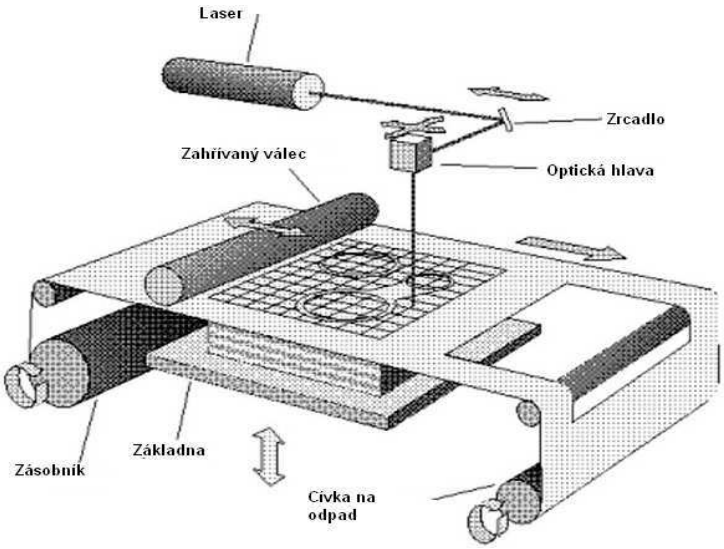
Obr. 2.2 Nákres zařízení metody Selective Laser Sintering [10].

2.1.3 Laminated Object Manufacturing

Laminated Object Manufacturing (LOM) je metoda, kdy je odvíjen přes pracovní desku konstrukční materiál na bázi laminátové, nebo papírové fólie. Konstrukční materiál současně zahrnuje i pojicí materiál, tzn. polyetylen. Fólie se k podložce přiválcuje soustavou vyhřívaných válců, poté následuje vyříznutí přesného obrysového tvaru s přispěním laserového paprsku.

Po vyříznutí přesného obrysového tvaru se použitá fólie navine na jeden z válců, tím pádem se nad pracovní desku dostane nová fólie, ze které se vyřízne další obrysový tvar. Tato operace pokračuje, dokud není vytvořen komponent (Obr. 2.3) [6], [7], [8].

Metoda LOM umožňuje vyrábět komponenty velkých rozměrů, avšak vytvořená součást má značně hrubý povrch, tzn. je nutností povrch komponentu brousit, tmelit a lakovat [13].

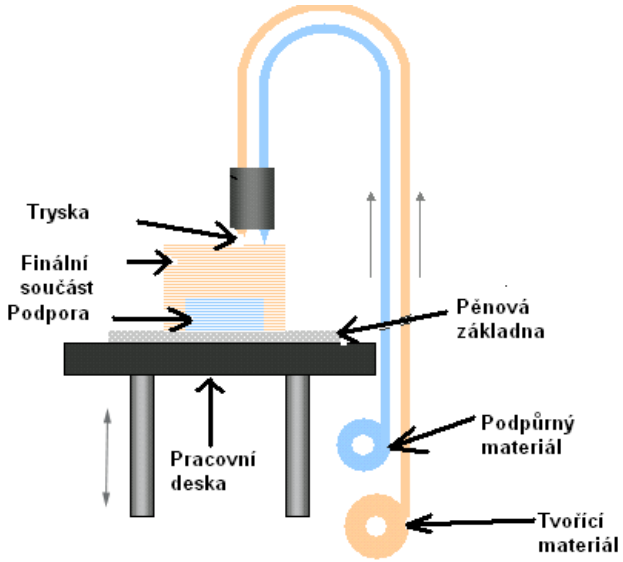


Obr.2.3 Schematické znázornění zařízení metody LOM [8].

2.1.4 Fused Deposition Modeling

Metoda Fused Deposition Modeling (FDM) je aditivní výrobní proces, při kterém je využíván termoplastický materiál. Materiál je uložen ve stroji v zásobníku (velmi často ve formě drátu) a je odvíjen přes soustavu kladek až do tiskové hlavy. Drát o průměru 1,2 mm je v tiskové hlavě taven při teplotě 262 ℃, a tryskami je nanášen na povrch vytvářené součásti. Postupně jsou na sebe kladeny vrstvy materiálu o tloušťce 0,3 mm, přičemž bezprostředně po nanesení vrstva tuhne. Tak jako u většiny metod RP součást leží na nosné desce, která se po dokončení jedné vrstvy sníží o tloušťku vytvořené vrstvy a je nanášena vrstva další (viz obr. 2.4).

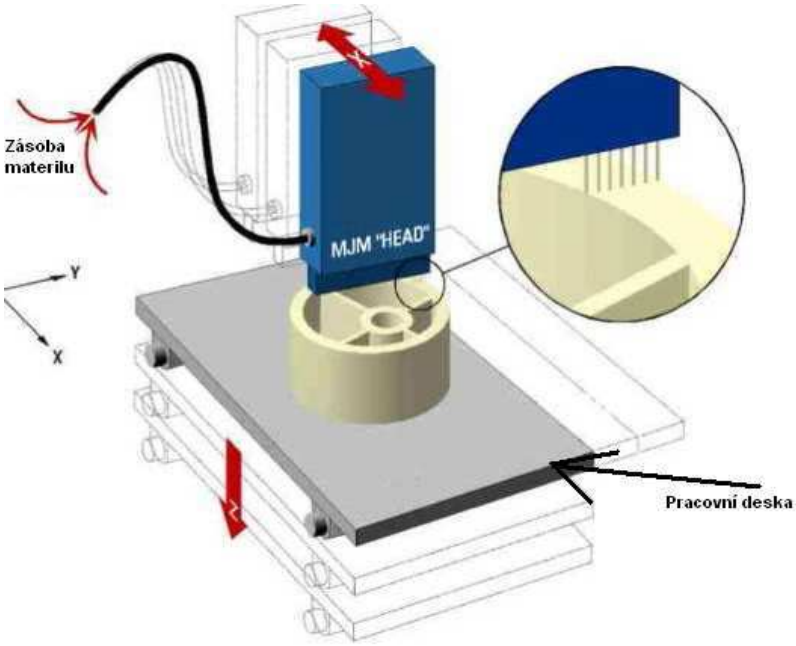
Principielně lze použít materiál, který se po zahřátí na teplotu 262 ℃ roztaví, nejčastěji používané materiály jsou methyl-methakrylát, akrylonitril-butadien-styrenu, elastomer nebo vosk [6], [7], [8].



Obr. 2.4 Nákres zařízení metody Fused Deposition Modeling [7].

2.1.5 Multi Jet Modeling

Metoda Multi Jet Modeling (MJM) spočívá v nanášení jednotlivých vrstev materiálu postupně na sebe pomocí speciální tiskové pracovní hlavy. Tisková hlava je soustava trysek uspořádaných rovnoběžně vedle sebe. Průtok nanášeného materiálu je pro každou trysku samostatně řízen programem. Model je tvořen na zvláštní nosné desce, která se pohybuje pod pracovní hlavou ve směru osy X. Jestliže je součástka širší než je záběr trysek, posune se hlava ve směru osy Y tak, aby se vytvořila celá součást. Velký počet trysek zaručuje rychlé a rovnoměrné nanášení materiálu (Obr. 2.5) [6], [8], [9].



Obr. 2.5 Nákres zařízení metody Multi Jet Modeling [6].

3 MODELOVÁNÍ SOUČÁSTI

K výrobě součásti pomocí technologie Rapid Prototyping je nezbytně nutné vytvořit 3D model v některém z dostupných softwarových programů. Pro tuto bakalářskou práci byl zvolen program Autodesk Inventor, jehož licenci vlastní FSI VUT v Brně.

Díky rozměrové rozmanitosti komponentu bylo velmi obtížné získat rozměry součásti s dostatečnou přesností pomocí běžných měřidel. Z toho důvodu bylo měření provedeno pomocí bezdotykového měřicího přístroje „Werth Laser Line“, který umožnil získání klíčových rozměrů součásti. Získané rozměry byly využity pro vytvoření skeče součásti a dotvoření celé součásti, které je popsané dále v práci. Běžnou praxí ve výrobě součástí pomocí metody FDM je kontrola správnosti modelu před samotnou realizací tisku. Existuje nemalé množství programů umožňujících kontrolu modelů ve formátu *.stl, Celý proces je ukončen načtením modelu do softwaru 3D tiskárny.

3.1 Laserový měřicí přístroj Werth Laser Line

Laserové měřicí přístroje (Obr. 3.1) pracují na principu měření rozměrů pomocí laseru. Skenovací hlava, obsahující laserové snímače, je nadefinována nad měřenou součást. Ze skenovací hlavy září laserový paprsek na měřený dílec a odražené světlo zachycuje objektiv a velice citlivá kamera. Díky této vlastnosti se umožní vyhodnotit polohu nasnímaných bodů od skeneru. Skener může mít dvě, nebo tři skenovací roviny (Obr. 3.2) [11].

3D laserové skenování patří do bezdotykových měřících metod. U laserového skenování tedy nedochází ke kontaktu mezi měřenou součástí a snímací hlavou. Laserové skenery snímají několik tisíc bodů za sekundu. Díky tomu vytváří dokonalý tvar součásti. To je oproti dotykovému měření obrovský rozdíl. Dovolují nám měřit dokonce i měkké součástky jakéhokoliv materiálu [14].

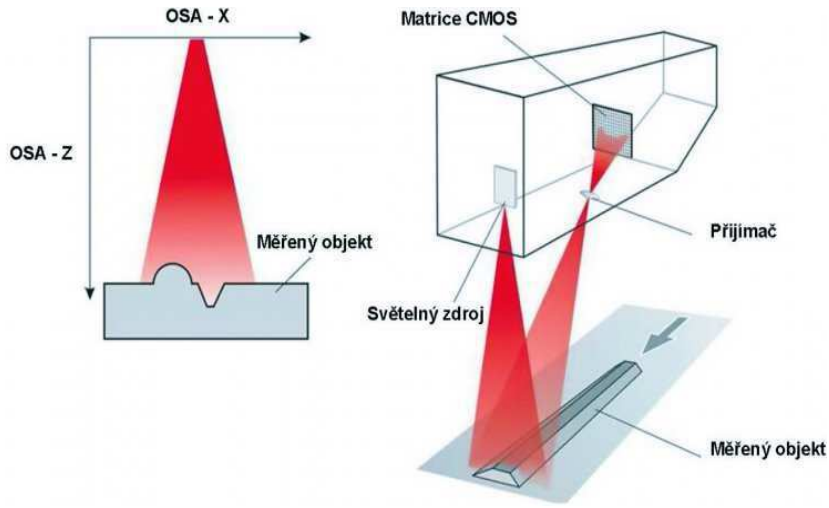
Měřicí přístroj Werth Laser Line (Obr. 3.3) je produktem německé firmy Werth Messtechnik GmbH, která je dlouhodobě leaderem v oboru multisenzorových souřadnicových měřicích přístrojů, s dlouholetou tradicí (založena v Düsseldorfu v roce 1951). Werth Laser Line slouží především pro využití v nástrojárnách, kde měří s přesností 1 μm. Jedná se o měřicí přístroj s velkým rozsahem měření, začínajícím na hodnotách 500x650x450mm a stupňovitě pokračujícím až na rozsah 1200x2000x1000mm [14].

3.1.1 Snímání komponentu

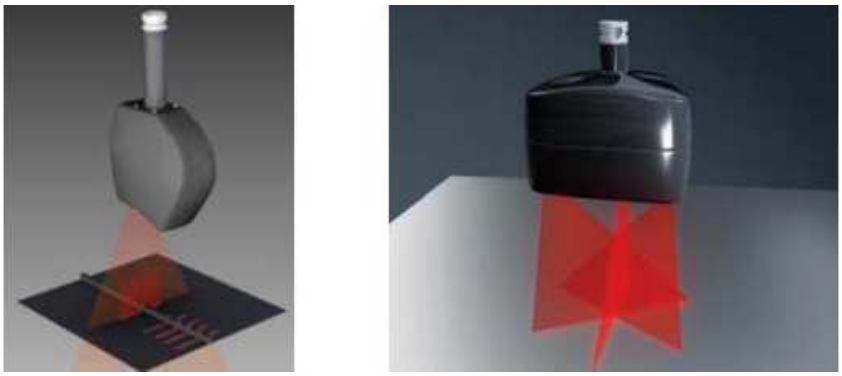
Vzhledem ke tvarové složitosti součásti byl využit měřicí přístroj Werth Laser Line.

Proces měření se sestával z následujících kroků:

- vložení komponentu do pracovního prostoru měřicího přístroje,
- ustavení do snímatelné polohy a provedení kontroly v softwaru měřicího přístroje,
- určení polohy součásti v pracovním prostoru,
- předběžné měření součásti a získání kladné odezvy přístroje pro přesné měření,
- odfiltrování nasnímaných dat a měření součásti,
- kontrola odměřených dat v softwaru měřicího přístroje (zda byla filtrace úspěšná, tzn. neobsahuje rýhy, porušení, prach, atd.),
- kontrola odměřeného komponentu na výstupním monitoru, tisk součásti včetně rozměrů, se kterými se dále pracuje.



Obr 3.1 Nákres laserového měřící přístroje [14].



Obr. 3.2 Porovnání 2D laseru a hlava se třemi rovinami osvitu [14].

Obr. 3.3 Měřící přístroj Werth Laser Line [14].

3.2 Modelování součásti

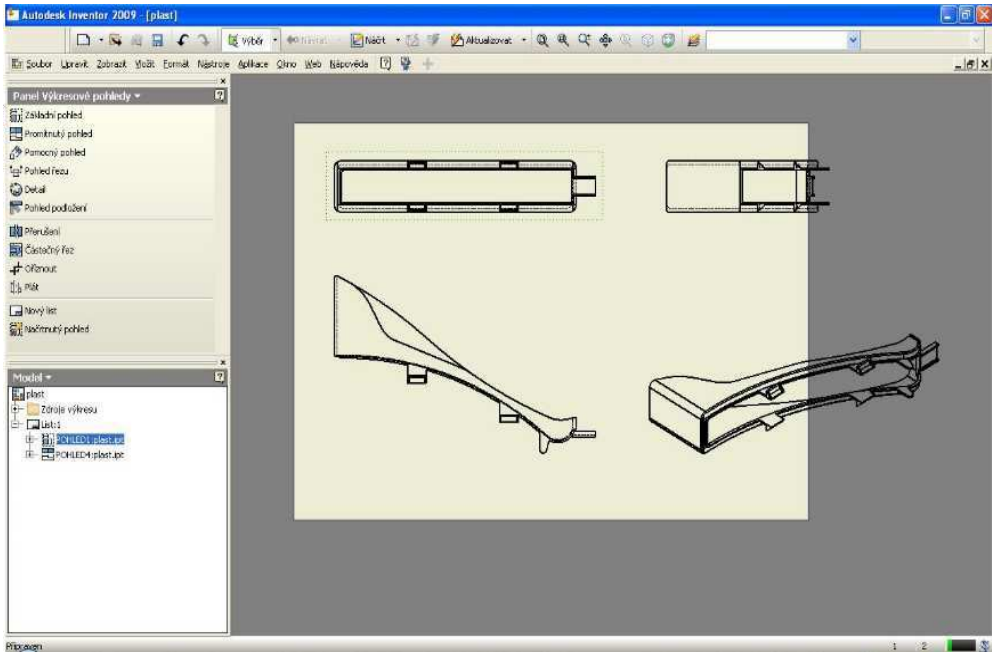
Pro modelování součásti byl využit program Autodesk Inventor, který obsahuje funkce pro adaptivní a parametrické 3D navrhování, tvorbu 2D výkresové dokumentace, prezentace, fotorealistické vizualizace a animace, i správu dokumentů a konstrukčních dat [2], [4].

Při výběru softwaru pro zhotovení modelu součásti byly rozhodující tyto faktory:

1) program musí nezbytně podporovat export do formátu *.stl,
2) musí být dostupný (tj. licence ve vlastnictví VUT v Brně),

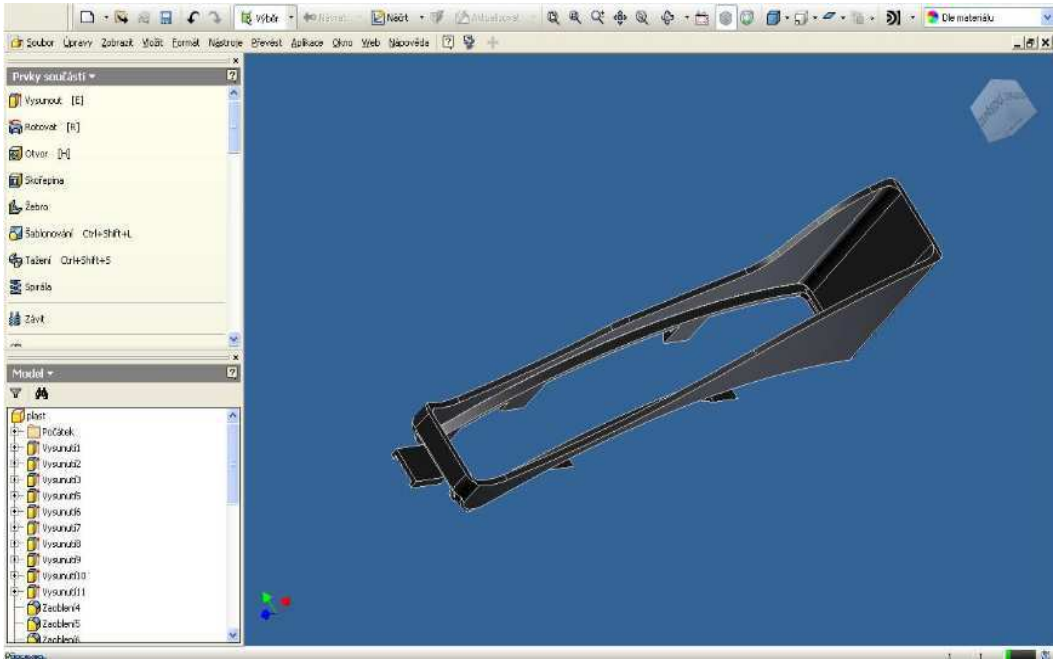
Nejprve je nutné nakreslit 2D náčrt (Obr. 3.4). Pro tvorbu 2D náčrtu byly využity data získaná pomocí bezdotykového měřicího přístroje. V prvním kroku 2D kreslení byl připraven virtuální prostor pomocí jednotlivých příkazů, tento prostor byl nastaven jako primární. Po zvolení typu součásti se přešlo do samotného prostředí komponentu, kde se započalo s kreslením. Doporučuje se kreslit v okolí počátku, později se usnadní orientace v 3D prostoru. Pomocí jednoduchých konstrukčních prvků (např. čára, oblouk) byl nakreslen přesný obrys budoucí součásti. Následně byl obrys okótován, čímž byla jednoznačně určena velikost

součásti. Software dohlížel, aby vyznačené kóty nebyly zbytečné, tzn. nepotřebné kóty vyhodnotil a nevyznačil je. Jednou z mnoha pomůcek nabízených softwarem je „Sketch Doctor". Příkaz Sketch Doctor diagnostikuje náčrt a najde-li chybu, navrhne řešení.



Obr. 3.4 2D náčrt komponentu v softwaru Autodesk Inventor.

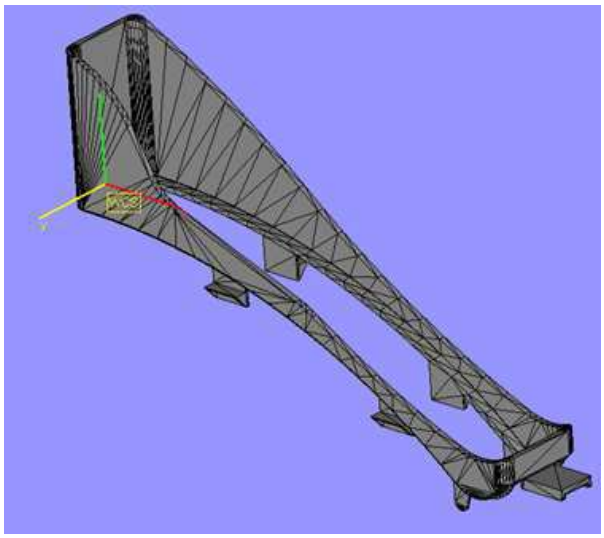
Ze zhotoveného 2D náčrtu byla vytvořena prostorová součást. Nejprve byly vytaženy 2D obrysy do prostoru. Pro vymodelování součásti ve 3D byla využita funkce vysunutí, při které byly opět využity rozměry získané pomocí laserového měřicího přístroje. V další fázi modelování byly provedeny úpravy modelu pomocí nástroje „Zaoblení" a byly zaobleny hrany, které měly zaoblení na reálné součásti. Poslední úpravou v 3D modelování v Autodesk Inventor byl výběr barvy dle použitého materiálu (plast).



Obr. 3.5 3D model komponentu v softwaru Autodesk Inventor.

3.2.1 Převod modelu do *.stl formátu

Nezbytně nutným krokem pro načtení modelu do softwaru 3D tiskárny je převedení modelu do kompatibilního formátu. Valná většina těchto zařízení je schopna načíst data ve formátu *.stl. Na obr. 3.6 je zobrazena součást exportovaná v programu Autodesk Inventor do formátu *.stl. Formát *.stl (Stereolithographie) byl vyvinut výrobci stereolitografických zařízení. Při převodu dat pomocí tohoto formátu je objemový model nahrazen fazetkami (ploškami) jeho povrchu. Formát *.stl našel uplatnění zejména u stereolitografických zařízení [3].



Obr. 3.6 Model převedený do formátu *.stl.

4 VERIFIKACE MODELU SOUČÁSTI A VÝROBA NA 3D TISKÁRNĚ

V této kapitole jsou popsány přípravné kroky nutné před samotnou realizací tisku komponentu. Jednotlivé kroky jsou popsány v pořadí, v jakém následovali.

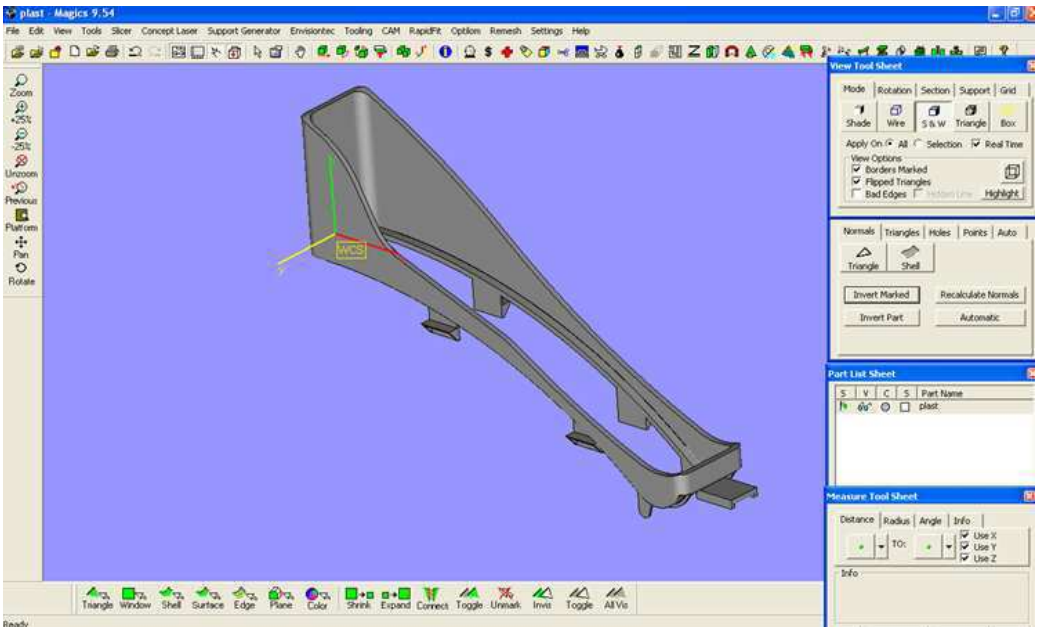
4.1 Kontrola 3D modelu v programu Magics

Správnost součásti exportované do formátu *.stl z programu Autodesk Inventor byla ověřena pomocí softwaru Magics. Tento software je schopen diagnostikovat případné chybné části modelu již ve fázi přípravy modelu pro tisk. Nedostatky jsou odstraněny již před samotnou realizací tisku a tím se ušetří náklady na výrobu prototypu) [6].

Chyby, které se v 3D modelech nejčastěji vyskytují, jsou způsobeny tím, že konstruktér skládá jednotlivé základní prvky (krychle, koule, atd.) dohromady a do těchto prvků pak vytváří nejrůznějšími operacemi další tvary, jako jsou díry, úkosy atd. Takto vytvořený model může být z konstrukčního hlediska bezchybný, ale pro 3D tisk pomocí metody Rapid Prototyping nevhodný. Jedná se zejména o chyby, kde není model vnitřně spojen [6].

Program Magics umožňuje dvě varianty, jak případnou chybu odstranit. Při první variantě program odstraní chybu automaticky, nebo, při druhé variantě, ji odstraní konstruktér (musíme opět zkontrolovat model pomocí softwaru Magics).

Takto zkontrolovaný a opravený model byl opět přeuložen do *.stl formátu.



Obr.4.1 Opravený model pomocí softwaru Magics.

4.2 Příprava tisku v softwaru Catalyst

Software Catalyst je produktem společnosti Dimension. Jedná se o řídicí software 3D tiskárny a je dodáván jako součást tiskárny. V tomto softwaru je možné zvolit např. tloušťku pokládané vrstvy, orientaci modelu na podložce, atd.

Pomocí softwaru byly pro komponent nastaveny postupně po krocích tyto vlastnosti :

- typ tiskárny,
- výběr tloušťky jednotlivých vrstev (v Catalyst lze nastavit pouze dvě tloušťky (0,24 mm, nebo 0,33 mm)),
- zda se tiskne plný model, nebo jen mřížkovou strukturu,
- umístění modelu na pracovní desce,
- orientace modelu na podložce.

Další funkce nastavuje software sám postupně po krocích:

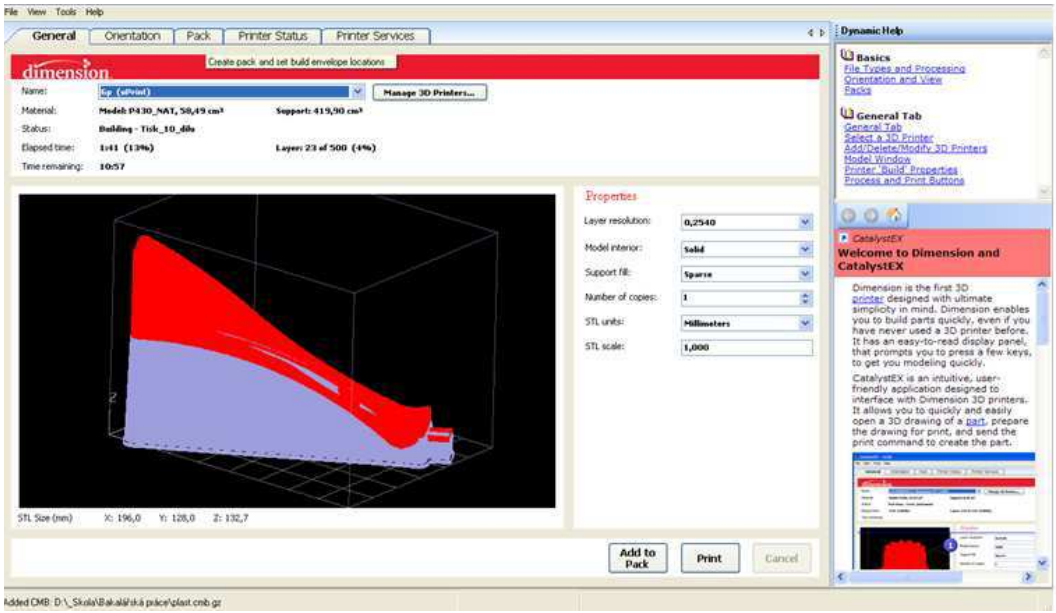
- rozřezání modelu na tenké vrstvy,
- rozmístění podpor (orientuje je pod funkční části),
- určení dráhy laserové hlavy.

Pokud program vyhodnotí některé místo jako nevyrobitelné (místo se vyznačí červenou barvou), je nutné změnit umístění modelu na pracovní desce.

Dalším z mnoha kroků je odeslání modelu na 3D tiskárnu, kde již probíhá samotný tisk.

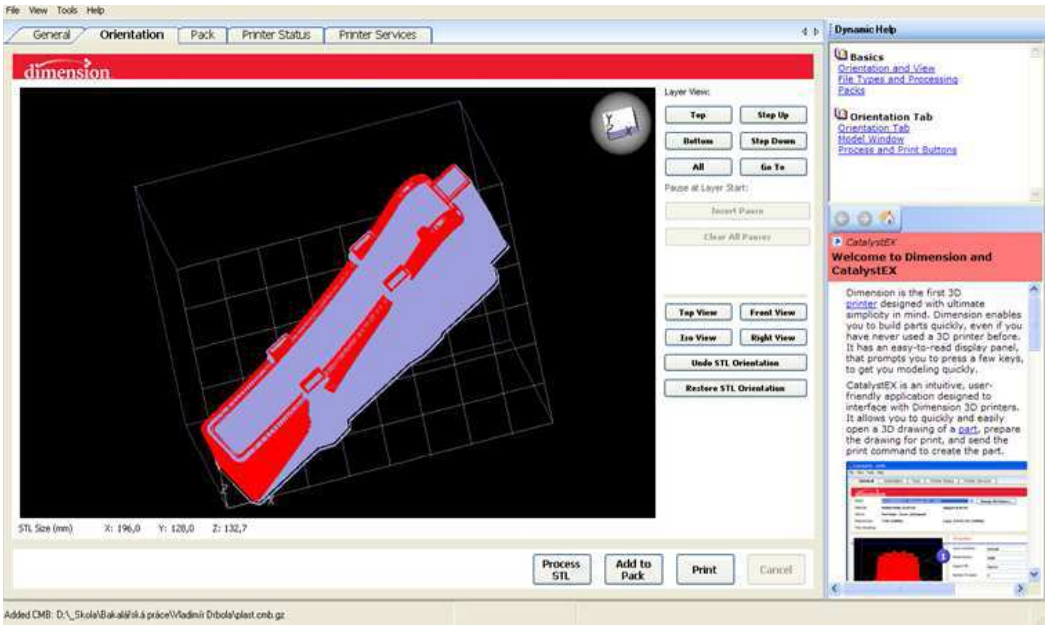
Vzhledem k velikosti modelu, připadaly v úvahu dvě varianty orientace modelu na podložce v prostoru zařízení:

Varianta A:



Obr. 4.2 Umístění komponentu na desce 3D tiskárny- varianta A.

Varianta B:



Obr. 4.3 Umístění komponentu na desce 3D tiskárny- varianta B.

Objem základního materiálu se u obou variant nemění, ale objem podpůrného materiálu je rozdílný. Díky tomuto faktu se mění i cena výsledného komponentu (Tab. 4.1) a proto byla komponent tisknut při umístění dle varianty A.

Tab.4.1 Srovnání výsledné ceny komponentu při různém umístění na desce 3D tiskárny.

Varianta	Objem základního materiálu	Objem podpůrného materiálu	Výsledná cena
A	31,47 cm^3	59,09 cm^3	824 Kč
B	31,47 cm^3	99,01 cm^3	1 024 Kč

4.3 Tisk součásti na 3D tiskárně

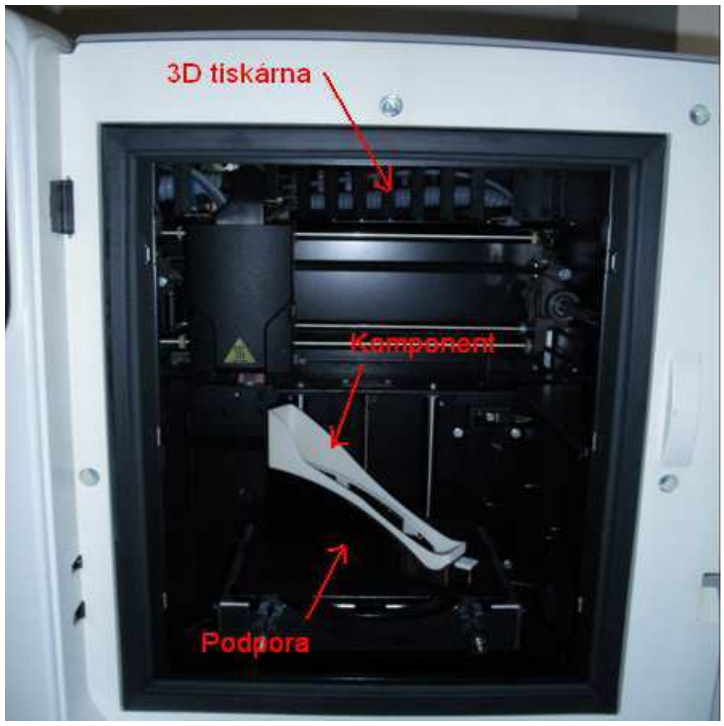
Pro tisk součásti, díky dostupnosti a ekonomických nákladům, byla vybrána 3D tiskárna uPrint Plus (Obr. 4.4), kterou vlastní Ústav strojírenské technologie na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně. Díky softwarových úpravám byl 3D model přesný a proces samotného tisku byl jednoduchý. Tudíž se komponent podařilo vyrobit hned při prvním pokusu o tisk.

Tiskárna uPrint Plus slouží pro výrobu přesných, pevných a rozměrově stabilních prototypů na základě 3D CAD modelů.

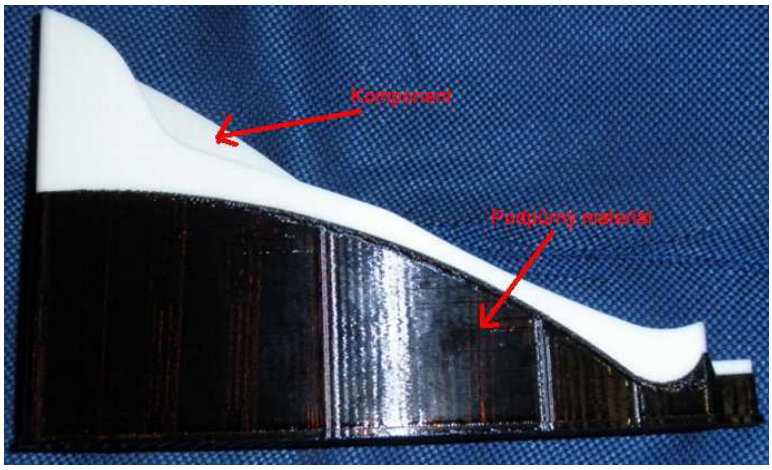
Technické údaje 3D uPrint Plus [15]**:**

- Rozměry pracovní plochy v x š x h: (203 x 152 x 152) mm
- Tloušťka vrstvy: 0,250 mm do 0,330 mm
- Kazeta s ABS modelovacím materiálem: 922 cm^3
- Kazeta s podpůrným materiálem: 922 cm^3

Obr 4.4 3D tiskárna uPrint Plus na FSI VUT v Brně.



Obr. 4.5 Právě vyrobený komponent.



Obr. 4.6 Komponent s podpůrným materiálem.

4.4 Materiál pro komponent

Pro výrobu komponentu byl zvolen materiál Akrylonitril butadien styrenu (ABS plus). Mechanické vlastnosti materiálu ABS plus (Tab. 4.1) jsou pro výrobu komponentu dostačující.

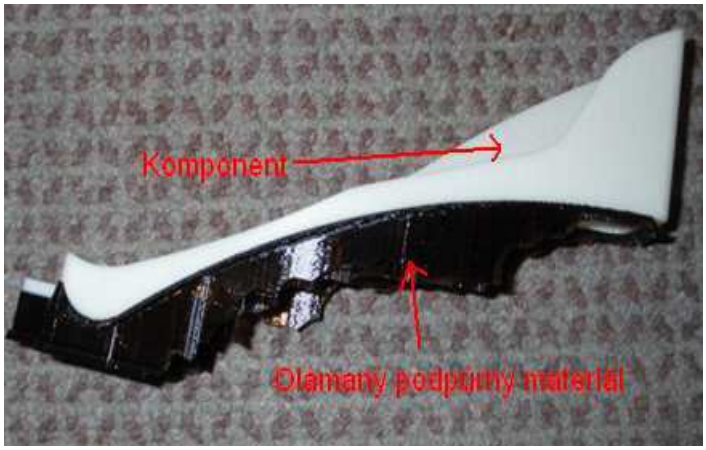
Tab. 4.2 Mechanické vlastnosti ABS plus [15].

Mechanické vlastnosti	ABS plus
pevnost v tahu	37 MPa
modul pružnosti při tahovém namáhání	1,915 MPa
poměrné prodlužování	3,10%
pevnost v ohybu	61 MPa
modul pružnosti v ohybu	1,820 MPa

4.5 Finální úprava komponentu

Po vyjmutí komponentu z prostoru tiskárny bylo nutné odstranit podpůrný materiál. Část podpůrného materiálu byla mechanicky odstraněna a zbytek podpůrného materiálu byl odstraněn v ultrazvukové čističce P 702 (Obr. 4.8). Komponent (Obr. 4.6) byl ponořen do lázně (směs vody a prášku na bázi hydroxidu sodného, od firmy Stratasys - na 1l vody 30g prášku) o teplotě 65°C po dobu 3 hodin.

Jelikož vyrobený komponent (obr. 4.7) je v osobním automobilu Fiat Stillo skryt pod koženým vakem, nebylo nutné provádět dokončovací úpravy povrchu jako tmelení, broušení a lakování. Byla pouze zarovnána hrana součásti pomocí brousícího plátna (zrnitost 1200).



Obr. 4.7 Komponent po mechanickém odstranění podpůrného materiálu.

Obr. 4.8 Ultrazvuková čistička P 702.

Obr. 4.9 Komponent ponořený do lázně v ultrazvukové čističce P 702.

Obr. 4.10 Zhotovený komponent na tiskárně uPrint.

5 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Po zjištění ceny komponentu v maloobchodní síti, součástí vyrobenou konvenčním obráběním a technologií Rapid Prototyping bylo rozhodnuto tuto součást vyrobit právě metodou 3D tisku FDM.

5.1 Cena komponentu v dealerských prodejnách Fiat

Cena komponentu v dealerských prodejnách vozů a příslušenství Fiat byla překvapivě různá (tab. 5.1). Ceny komponentů se lišily dle kraje, kdy v jednom kraji byla cena totožná.

Tab. 5.1 Příklady cen komponentu v jednotlivých prodejnách.

Prodejna	Kraj	Cena komponentu [Kč]
Auto Hemala	Jihomoravský	2619
Imofa	Středočeský	2949
Auto KP Plus	Liberecký	3000
Autoservis Mňuk	Pardubický	2659
Auto Duda	Vysočina	2699

5.2 Cena komponentu při konvenčním obrábění

V cenách komponentu při výrobě konvenčním obráběním byl rozdíl markantní a zároveň tato metoda byla ze všech metod nejdražší. Celkem bylo požádáno o kalkulaci výsledné ceny 5 firem, které se konvenčním obráběním zabývají (Tab. 5.2). Všechny firmy se, kvůli dostupnosti a komunikaci, nachází na území Jihomoravského kraje.

Tab. 5.2 Ceny komponentu výrobou konvenčního obrábění.

Prodejna	Kraj	Cena komponentu [Kč]
Kipo	Jihomoravský	6200
Kovo Staněk	Jihomoravský	5750
BKJ Metal	Jihomoravský	8000
Zámečnictví Mátl	Jihomoravský	3500
Norma Group	Jihomoravský	5000

5.3 Cena komponentu metodou Rapid Prototyping

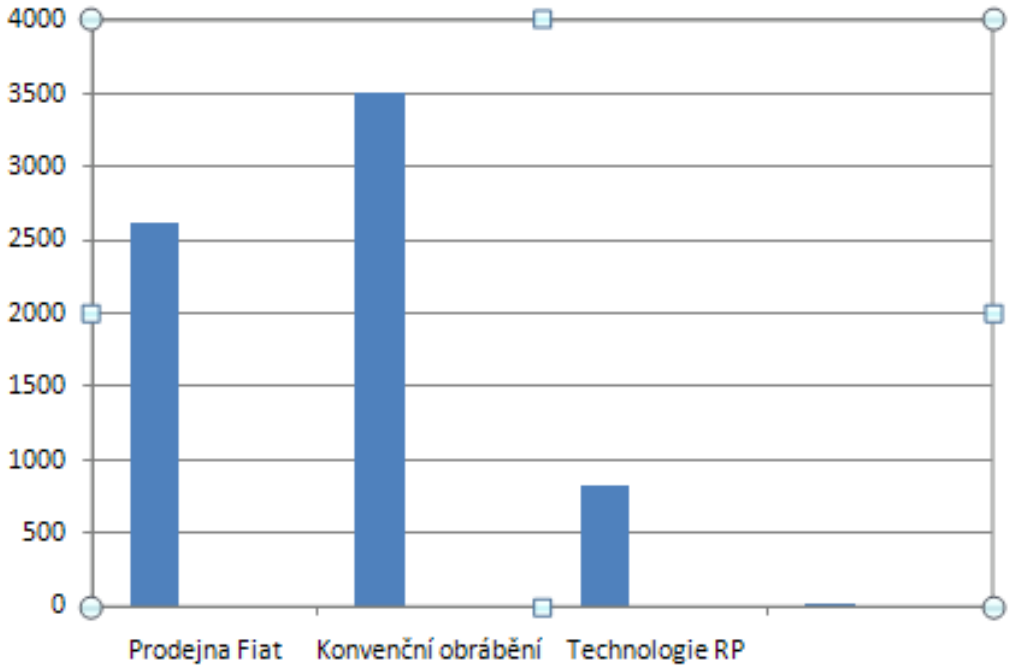
Cena komponentu při výrobě metodou Rapid Prototyping byla nejlevnější. Díky skutečnosti, že studentům fakulty je cena počítána pouze z režijních nákladů na materiál a provoz 3D tiskárny, byla oslovena jen pro srovnání jedna firma.

Tab. 5.3 Ceny komponentu technologií Rapid Prototyping.

Prodejna	**Kraj**	**Cena komponentu [Kč]**
3 Tooling	Jihomoravský	1800
VUT FSI	**Jihomoravský**	**824**

Tab. 5.4 Výpočet celkové ceny komponentu.

Druh materiálu nebo práce	**Cena za cm^3 nebo dobu [Kč]**	**Množství**	**Cena [Kč]**
Základní materiál	5	31,48 cm^3	157,4
Podpůrný materiál	5	59,09 cm^3	295,5
Práce 3D tiskárny	60	6,19 hod	371,4
		CELKEM [Kč]	**824**



Obr. 5.1 Porovnání nejnižších nákladů na komponent v jednotlivých sekcích.

6 ZÁVĚR

Technologie Rapid Prototyping umožňuje výrobu součástí velmi složitých tvarů, které lze jen stěží vyrobit konvenčním obráběním.

Jako nevýhoda metody Rapid Prototyping je označována vlastnost velmi drsného a málo přesného povrchu. Pokud je vyžadován hladký povrch, tak se musí povrch brousit, tmelit a lakovat.

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou komponentu ruční brzdy do Fiatu Stillo. Kromě popisu jednotlivých metod, které jsou seřazeny dle data vývoje a popisují princip těchto metod, práce obsahuje postup tvorby náhradního komponentu a na závěr ekonomické zhodnocení celého výrobního procesu.

Námi navržený a vyrobený komponent má dostačující pevnost. Výroba komponentu trvá několik hodin a je relativně levná. Protože komponent, při svém zabudování do sestavy, nejde vidět, nemusíme jeho povrch upravovat (brousit a lakovat).

Cíle, kterých bylo dosaženo:

- Byl získán tvar součásti a odměřeny rozměry z reálného komponentu pomocí laserového měřicího přístroje,
- byl vytvořen model součásti v softwaru Autodesk Inventor z odměřených dat,
- byly posouzeny varianty výroby modelu na tiskárně Dimension uPrint,
- byla vyrobena součást na tiskárně uPrint,
- bylo provedeno porovnání nákladů na součást pomocí dostupných technologií a byly porovnány s pořizovacími cenami v maloobchodní síti,
- byla ověřena kompatibilita komponentu montáží do osobního automobilu Fiat Stillo.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] PÍŠKA, M. a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. CERM 1.vyd. 246s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

[2] SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. *Rapid Prototyping master modelu pomocí CAD/CAM systému.* In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.

[3] JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. *In Proceedings of the 5th NationalConference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture.* Professional Engineering Publishing, 2004, pp.112. ISBN 1860584659.

[4] VLÁČILOVÁ, H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. *Základy práce v CAD systému SolidWorks*. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2006. 319 s. ISBN 80-251-1314-0.

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

[6] DÍTĚ, P. *Prototypová malosériová výroba s využitím Rapid Toolingu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Koutný

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

[8] PÍŠA, Zdeněk. *Výukový modul - Rapid Prototyping.* ESF - Inovace studijníchprogramů Strojírenské technologie, VUT Brno [online]. [cit. 2007-04-20]. URL: <http://esf.fme.vutbr.cz/aktivity/akt-05/mod-07/rpt.pdf>

[9] NAVRÁTIL, Robert. *Reverse Engeneering* [online]. [cit. 2007-04-20]. URL: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/>

[10] CHAU, P. K., LEONG, K. F., LIM, C. S. *Rapid prototyping*. Secound edition Singapoure: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2003. 420s.ISBN:981238-117-1

[11] KING, D., TANSEY, T. *Alternative materials for rapid tooling.* International Journal of Machine Tools & Manufacture 121 (2002) 313–317

[12] RAHMATI, Sadegh., DICKENS, Phill. *Rapid tooling analysis of Stereolithography injection mould tooling.* International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 740–747

[13] WANG, J., WEI, X. P., CHRISTODOULOU, P., HERMANTO, H. *Rapid tooling for zinc spin casting using arc metal spray technology.* International Journal of Machine Tools & Manufacture 146 (2004) 283–288

[14] Werth Messtechnik GmbH – firemní stránky [online]. [cit. 2007-04-20]. URL: http://www.werthmesstechnik.de

[15] Dimension 3D Printing Group – firemní stránky [online]. [cit. 2007-04-20]. URL: http://www.dimensionprinting.com

8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK