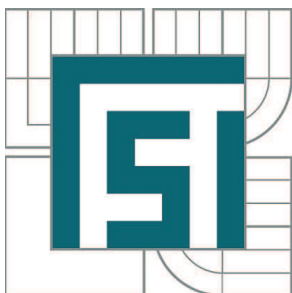


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PROTOTYPU KRYTU ŘADÍCÍ PÁKY METODOU FDM TISKU

PRODUCTION OF GEARSHIFT LEVER COVER PROTOTYPE ON FDM PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK HŘEBÍČEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Hřebíček

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 prototypu krytu řadicí páky metodou FDM tisku

v anglickém jazyce:

Production of gearshift lever cover prototype on FDM printer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis funkce a požadovaných vlastností zvoleného prototypu. Zhodnocení možností výroby součásti s orientací na metodu FDM. Návrh 3D modelu. Posouzení technologičnosti konstrukce součásti s ohledem na 3D tisk. Výroba prototypu a technicko-ekonomické zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše problematiky
- volba metody řešení
- návrh 3D modelu
- zhodnocení technologičnosti konstrukce
- výroba náhradního dílu
- technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

1. FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.
2. CHOI, S.H. a S. SAMAVEDAM. Modelling and optimisation of Rapid Prototyping. Computers in industry. č. 47, s. 39-53. ISSN 166-3615.
3. NORTON, Robert L. Cam design and manufacturing handbook. New York: Industrial Press, 2002, 610 s. ISBN 0-8311-3122-5.
4. YAN, Xue a P GU. A review of rapid prototyping technologies and systems. Computer-Aided Design. roč. 28, č. 4, s. 307-318. ISSN 0010-4485.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

HŘEBÍČEK Radek: Výroba prototypu krytu řadicí páky metodou FDM tisku.

Kryt řadicí páky nám zakrývá otvor středové konzole v automobilu Škoda Octavia II, kde je umístěna řadicí páka. V automobilu nám sjednocuje plynulost a lineární návaznost středové konzole na středový panel. Protože tato bakalářská práce pojednává výrobu pouze jednoho atypického kusu, byla pro výrobu zvolena metoda FMD tisku. V bakalářské práci je uveden návrh tvarů a postup výroby od volby varianty až ke zhotovení krytu. Na závěr práce je technicko-ekonomické zhodnocení celé výroby.

Klíčová slova

FDM tisk, 3D tisk, model, kryt, Autodesk Inventor, ABS plast.

ABSTRACT

HŘEBÍČEK Radek: Production of gearshift lever cover prototype on FDM printer

The covering of the gear lever covers the hole in the center console of a car Skoda Octavia (II), where is located the gear lever. The overall impression of unification excites the fluidity and the linear continuity of the center console to the center panel. In view of the fact that this bachelor thesis deals with the production of the only one atypical piece, it was chosen the method of FMD-press for the production. In this bachelor thesis there is described the design of shapes and production procedure from the choice of variants to the final product - the covering. At the conclusion of the work there is a technical and an economic assessment of the entire production.

Keywords

FSM print, 3D print, model, covering, Autodesk Inventor, ABS plastic.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HŘEBÍČEK, R. *Výroba prototypu krytu řadicí páky metodou FDM tisku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba prototypu krytu řadicí páky metodou FDM tisku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Radek Hřebíček

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D., vedení a zaměstnancům firmy EVEKTOR, spol. s.r.o. za konzultaci při 3D tisku a tisk prototypu. Také bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu a rady při tvorbě bakalářské práce.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	10
1 POŽADOVANÉ FUNKCE A JEJÍ ROZBOR	11
1.1 Požadované vlastnosti vyráběného krytu	11
2 VOLBA MOŽNOSTI ŘEŠENÍ	13
2.1 Fused Deposition Modeling – FDM metoda	13
2.1.1 Výhody a možnosti FDM tisku	15
2.1.2 Materiály používané u FDM tisku	15
2.2 Stereolitografie – SLA metoda	16
2.2.1 Výhody, nevýhody a možnosti SLA tisku	17
2.2.2 Materiály používané u SLA tisku	18
2.3 Laminated Object Manufacturing - LOM metoda	18
2.3.1 Výhody, nevýhody a možnosti LOM technologie	18
2.3.2 Materiály použité u LOM technologie	19
2.4 Vstřikování plastů	19
2.4.1 Výhody, nevýhody a možnosti vstřikování	20
2.4.2 Vstřikovací formy	20
2.5 Lití plastů do forem na vakuové lití	21
2.5.1 Možnosti a využití vakuového lití	21
2.5.2 Výroba silikonové formy	22
2.6 Volba použité technologie na výrobu krytu	22
3 NÁVRH 3D MODELU	24
3.1 Autodesk Inventor Professional 2015	24
3.1.1 Základní příkazy a možnosti Inventoru	24
3.2 Konstrukční návrh modelu	25
3.2.1 Řešení uchycení rámečku	27
3.2.2 Volba varianty	28
4 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE	29
4.1 Výběr materiálu	29
4.2 Využití podpor při výrobě krytu	30

4.3	Tvar vyrobené součásti	30
4.4	Výběr tiskárny a využití geometrie	30
5	VÝROBA NÁHRADNÍHO DÍLU	32
5.1	Program Magics	32
5.2	Postup vyrábění prototypu FMD tiskem	32
5.2.1	Vytištění krytu	33
5.2.2	Povrchová úprava krytu	34
6	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	37
	ZÁVĚR	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	
	SEZNAM PŘÍLOH	

ÚVOD

Technický vývoj a metody vyrábění prototypů jdou v dnešní době velmi rychle dopředu a vyrobit jakkoliv tvarově složitou a náročnou součástku z různých materiálů v dnešní době není téměř žádný problém. Přestože 3D tisk není žádnou novinkou, neustále se zdokonaluje. V dnešní době lze tisknout a spojit více materiálů v jednom výrobním cyklu, např. spojit ABS plast a gumu při jednom tisku do jedné součástky (obr. 0.1). Při výrobě součástí musí být výrobcem dána cena a funkčnost součástky [1].

Bakalářská práce se zabývá výrobou prototypu krytu řadicí páky metodou FDM tisku. Cílem práce bylo vyrobit funkční a unikátní kryt řadicí páky do Škody Octavia II. Kryt, který byl vyroben, se nedá koupit, a tak může být do budoucna inspirací pro design v nových automobilech. Po zvážení ekonomického hlediska byla při řešení návrhu výroby zvolena metoda 3D tisku. Jelikož se jedná pouze o výrobu jednoho modelu, nikoli celé série, byla by výroba formy na odlévání zbytečně zdlouhavá a nákladná.

Jedná se o designový kryt na středovou konzolu, odlišný od originálu (obr. 0.2), který zakrývá řadicí páku, a zlepšuje tak celkový dojem v kabině auta.



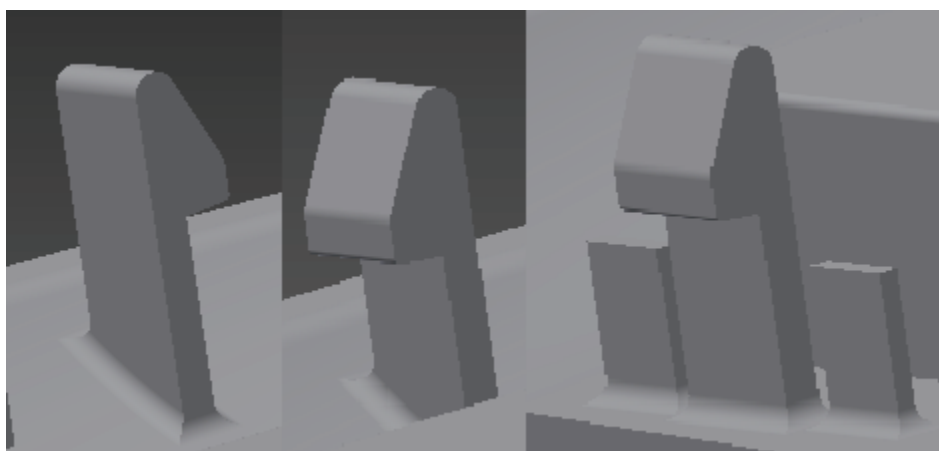
Obr. 0.1 Spojení různých materiálů [1].



Obr. 0.2 Originální kryt řadicí páky a nasazená nohavička s hlavicí.

1 POŽADOVANÁ FUNKCE A JEJÍ ROZBOR

Kryt řadicí páky, známý také pod názvem jako rámeček, slouží k doladění a urovnnání linií střední konzole na zakrytí řadicí páky. V našem případě se jedná nejen o funkční prvek, který slouží stejně jako originální kryt, ale také o designový kousek, který v sobě zachycuje původ základního modelu a vzhled jedinečného designu. Práce se zabývá výrobou krytu řadicí páky. Jedná se o výrobu jednoho kusu, proto byla po úvaze zvolena metoda 3D tisku. Je to ekonomicky výhodné a výroba nebude zdlouhavá. Největší problém byl ve výběru materiálu z důvodu funkčnosti „klipů“, které musí vydržet občasné nacvaknutí a vycvaknutí rámečku tak, aby nepraskaly (obr. 1.1).



Obr. 1.1 „Klip“ který drží kryt na místě.

Rámeček vznikl ve spolupráci a konzultaci s firmou EVEKTOR, spol. s.r.o., která vyrábí letadla a věnuje se leteckému průmyslu, ale má i odvětví zabývající se automobilovým průmyslem, zejména modely Škoda. Firma si většinu součástí navrhuje a vyrábí sama, vlastní několik 3D tiskáren různých rozměrů (např. Fortus 900mc, Dimension Elite 200). S 3D tiskem mají pozitivní a bohaté zkušenosti, výrobky navrhují i konstruuji. Konstruovali i zmíněný rámeček do Škody Octavia II, který byl na základě požadovaného designového návrhu upraven a vyroben. Firma je známá také ve světě a v konstrukci letadel se řadí ke špičkovým firmám.

1.1 Požadované vlastnosti vyráběného krytu

Kryt musí být dostatečně přesný a pevný na to, aby se dal vložit a následně vyjmout. Při nasazování a vysazování nesmí prasknout žádná část krytu a kryt musí bez problémů dosednout na danou pozici ve středové konzole vozu. Na výrobu byl zvolen materiál ABSplus plast pro jeho cenu a dostatečně pevné a pružné vlastnosti. Vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.1. Jelikož se jedná o pohledový a krycí prvek, je žádoucí následná úprava povrchu. Povrch se vybrousí do hladka a zalakuje do barvy interiéru nebo na požadovaný odstín. Velkým požadavkem na tento prototyp je jeho originalita a odlišnost.

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti výsledného výrobku z materiálu ABS plus [2].

	PEVNOST V TAHU	PEVNOST V OHYBU
Norma zkoušky	ČSN EN ISO 527-2	ČSN EN ISO 178
Zkušební vzorky	Profil 10 x 4 mm	Profil 10 x 4 mm podpěry 64 mm
Vyřezáno z desky	26,1 Mpa	48,7 Mpa
FDM podélně	27,0 Mpa	55,5 Mpa
FDM ve vrstvách	17,4 Mpa	28,9 Mpa
Pevnost modelu zhotoveného pomocí FDM oproti standartnímu ABS		
V tahu	60% - 114% (140%)	
V ohybu	67% - 103% (140%)	
Teplotní odolnost	82°C (bez zatížení až 96°C)	
Model je při tisku ustavován s ohledem na:	1. Požadovanou pevnost 2. Požadovanou kvalitu povrchu 3. Čas tisku a cenu modelu	

2 VOLBA MOŽNOSTI ŘEŠENÍ

Kryt se může vyrábět různým způsobem a z různých materiálů. Výběr materiálu a způsob výroby závisí na požadované kvalitě, pevnosti a konečné úpravě výrobku. Na kryt se dá zvolit široké množství materiálů, například slitiny hliníku, a to buď obráběním, nebo litím, dále se dá zvolit materiál z karbonových vláken, sklolaminátových vláken, kde by byla zaručena velmi nízká hmotnost, ale ne tak vysoká přesnost. Dále tu máme velké množství plastových materiálů.

Nejen výběr materiálu a druhu výroby ovlivní výrobu samotného dílu. Je potřeba zvážit požadované mechanické a povrchové vlastnosti výrobku, ale také dostupné metody, kterými se dá součást vyrobit. Dále nám výběr materiálu, druh výroby a sériovost ovlivní konečnou cenu výrobku. Jelikož se nejedná o sériovou výrobu, ale o jediný kus, je potřeba tyto aspekty důkladně zvážit.

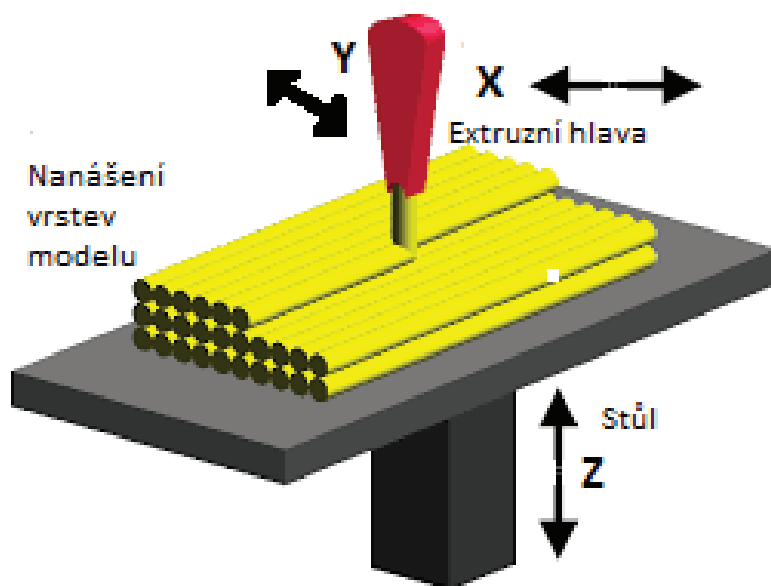
Po zvážení všech kritérií bylo rozhodnuto vyrábět tento kryt metodou Fused Deposition Modeling, protože se jedná o výrobu jednoho prototypu. Bylo by možno použít ještě metody Stereolitografie, Laminated Object Manufacturing. Metody typu vstřikování plastů, lití plastů do forem na vakuové lití byly vyloučeny, protože na tyto uvedené metody je potřeba forma, která je na výrobu poměrně nákladná. Proto bylo jednodušší a cenově dostupnější vytvořit 3D model a ten následně vytisknout metodou FDM tisku [3, 4].

2.1 FusedDeposition Modeling – FDM metoda

Tato metoda byla vynalezena a patentována v roce 1989 S. Crumpem, pozdějším zakladatelem firmy Stratasys. Tato firma je dodnes jedním z největších výrobců 3D tiskáren na světě[4].

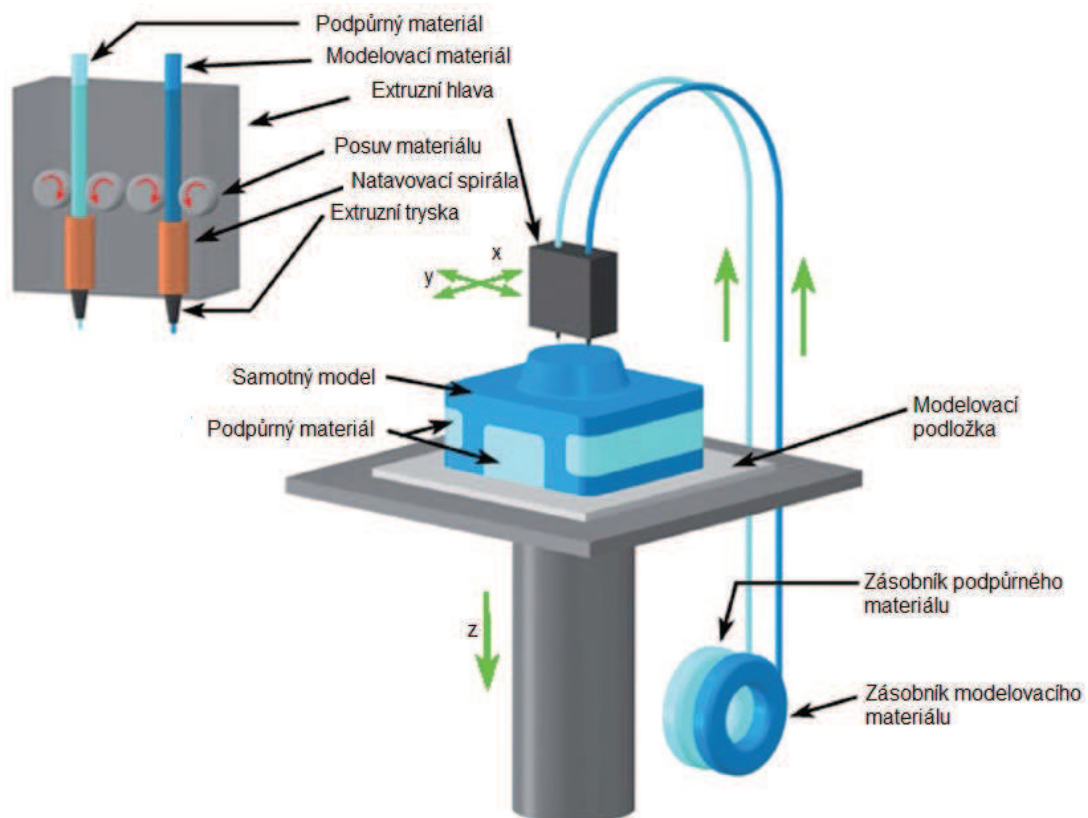
Rapid Prototyping je skupina technologií pro rychlou výrobu plně funkčních dílů. Tyto díly se svými mechanickými vlastnostmi podobají originálnímu dílu, který mohou v mnoha případech dokonce až nahradit. Mezi tyto metody patří i metoda Fused Deposition Modeling (FDM). Je to velmi moderní technologie výroby prototypových dílů a jednou z nejrozšířenějších metod profesionálního 3D tisku. Je velmi vhodná pro výrobu jednotlivých dílů a ne sérií, vytváří díl přímo z 3D modelu. Jdou vyrobit i pohyblivé, nerozebíratelné součásti a vlastní vytištění dílu trvá v závislosti na složitosti a velikosti dílu několik hodin až dní [5, 6,7].

FDM tisk spočívá v nanášení jednotlivých vrstev nataveného plastu na sebe. Uvnitř tiskárny je zásobník plastu navinutý do cívky, který se natavuje v extruzní hlavě a tou je v přesných souřadnicích ve dvou osách vytlačován na podložku. Poslední 3. osu tvoří podložka, která vždy klesne o tloušťku vrstvy, kterou nanášíme (obr. 2.1). Nová vrstva vždy mírně nataví vrstvu předchozí a tím se materiál k sobě spojí. Celý proces se opakuje stále znovu, dokud není celý produkt vytvořený [5, 6].



Obr. 2.1 Ukázka nanášení vrstev FMD tisku [8].

U FDM tisku jsou použity dva materiály a oba musí být v jednotlivých zásobnících, aby mohl být spuštěn tisk. První a hlavní materiál je modelovací, tento materiál může být různých typů a barev (ABS, ABS plus, PC, Ultem atd.). Další materiál je materiál podpůrný, ten se při tisku používá jako podpora (obr. 2.2). Po úplném dokončení se model vyjme i s podpůrným materiálem a ten se následně z modelu odstraní, větší kusy se odříznou a odlomí, menší kousky a zbytky z dutin se pak vymývají [7, 9].



Obr. 2.2 Princip funkce FMD tisku [9].

2.1.1 Výhody a možnosti FDM tisku

Výhody a možnosti:

- jde vyrobit téměř jakýkoliv tvar, i funkční nerozebíratelné sestavy,
- velmi rychlé tvoření komponentů z dodaných 3D modelů,
- jdou tisknout poměrně velké součástky, velikost se odvíjí od velikosti tiskárny,
- jednotlivé komponenty jdou velmi dobře spojit lepením,
- na vytištěných komponentech lze dělat povrchové úpravy, tudíž můžou přímo nahrazovat originální kusy [2, 7, 5].

2.1.2 Materiály používané u FDM tisku

Fused Deposition Modeling k modelování používá převážně termoplasty. Mezi nejčastěji používané se řadí ABS plasty a jeho deriváty. Dále používané materiály jsou termoplastický polykarbonát (PC) a jeho deriváty a v neposlední řadě materiál ULTEM 9085 (tab. 2.1).

ABS je amorfni termoplastický kopolymer. Je nejpoužívanější materiál v 3D tisku. Materiál ABS je zdravotně nezávadný, odolný vůči vysokým i nízkým teplotám a mechanickému poškození.

PC (polykarbonát) patří mezi termoplasty, má dobrou tepelnou odolnost a odolnost proti nárazům. Použití zejména pro tisk transparentních prototypů. Je to zatím nejtvrďší materiál, který se pro 3D tisk používá. Má vyšší teplotu tavení, proto se prodlužuje výroba modelů.

Termoplast ULTEM 9085 je certifikovaný termoplast třídy ST (Flame, smoke, toxicity). Je vysoce tepelně a chemicky odolný. Jeho použití je ideální do automobilového, leteckého, ale i lodního průmyslu.

Vlastnosti všech používaných materiálů jsou popsány a rozebrány v tabulce 2.1, ne všechny hodnoty jsou přesné, u některých výrobců se udávaná hodnota mechanických vlastností nepatrně liší [2, 7, 10].

Tab. 2.1 Porovnání materiálů používaných v FDM tisku [2, 7, 11].

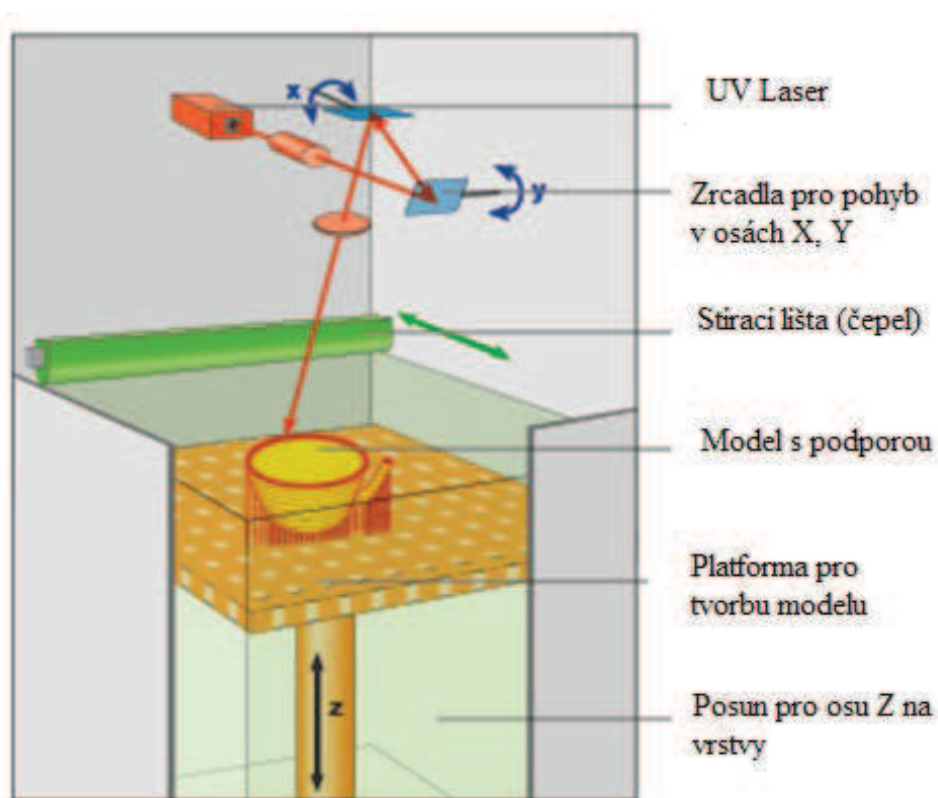
Vlastnosti	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Modul pevnosti v tahu [MPa]	Poměrné prodloužení [%]	Mez pevnosti v ohybu [MPa]	Modul pevnosti v ohybu [MPa]
Materiály					
ABS	22	1627	6	41	1834
ABSplus	36	2265	4	52	2198
ABS-M30	36	2413	4	61	2317
PC	68	2280	4,8	104	2234
PC-ABS	41	1917	-	68	1931
PC-ISO	57	998	4,3	90	2140
PPSF/PPSU	55	2068	3	110	2206
ULTEM 9085	72	2220	5,9	115	2507

2.2 Stereolitografie– SLA metoda

SLA je metoda, která vytváří prototyp postupným vytvrzováním fotopolymerů nebo pryskyřic. Polymer se vytvrzuje působením zářením různých vlnových délek, nejčastěji je to za pomoci ultrafialového laserového paprsku. Zaměřením světla na určité místo vznikne vrstva částečně vytvrzeného polymeru. Po vytvrzení celé dané vrstvy modelu se platforma posune ve vertikálním směru o tloušťku vrstvy, na takto vytvrzený povrch se nanáší další vrstvy, které se zarovnají čepelí na požadovanou výšku. Hotový prototyp je tedy tvořen pomocí vrstev (obr. 2.3). (Vrstva je mezi 0,05 - 0,15 mm). Při tvorbě složitých modelů je nutno stavět podpory, které se po zhotovení modelu odstraní. Tato metoda je velmi přesná, ve většině případech přesnost prototypu závisí na jeho velikosti. Tato technologie byla vynalezena a patentována v roce 1986 Charlesem W. Ullem [5, 8, 12, 13].

Přesnost konečného prototypu tedy závisí na:

- hustotě polymeru,
- šířce paprsku,
- délce a intenzitě ozařování [14,15].



Obr. 2.3 Princip funkce Stereolitografie [16].

2.2.1 Výhody, nevýhody a možnosti SLA tisku

Výhody:

- vytvářet velké modely s dobrými fyzikálními vlastnostmi,
- vysoká přesnost (± 0.05 mm),
- výrobky jdou dále obrábět, nebo využít jako formy.

Nevýhody:

- vyšší pořizovací cena i použité materiály,
- nutná nádoba na polymerickou pryskyřici,
- viditelné krokování vrstev [5, 12, 14].

2.2.2 Materiály používané u SLA tisku

U Stereolitografie máme k modelování možnost z výběru několika materiálů. K modelování SLA technologii se převážně používají pryskyřice.

Jsou to:

- akrylát je starším typem materiálu, má velkou smrštivost a menší pevnost,
- epoxid má malou smrštivost a lepší přesnost,
- plněné pryskyřice jsou vyplňované organickými materiály [14].

Tab. 2.2 Vlastnosti materiálů používaných v SLA technologii [14].

Vlastnosti	Modul v tahu [MPa]	Maximální napětí v tahu [%]	Poměrné prodloužení [%]
Materiál			
AccuraSI 40	2840 – 3048	62	4,9 – 6,4
SL 7560	2400 – 2560	40 – 62	6 – 15
Prototool	10100 – 11200	70 – 79	1,2 – 1,3
ABS (Terluran HH-106)	- 2400	- 51	- 9

2.3 Laminated Object Manufacturing - LOM metoda

Laminated Object Manufacturing funguje na principu laminování jednotlivých plátů materiálu na sebe. Jsou to 0,2 mm silné fólie, které k sobě přilnou pomocí laminovacího lepidla nanášeného na každou novou vrstvu. Přebytný materiál se odřízne pomocí laseru a okraje se spečou (obr. 2.4). Podpory a přebytný materiál na hotovém modelu se odstraní velmi opatrně mechanicky. Je to technologie, která je cenově velmi dostupná, protože novou tiskárnu lze pořídit již od 200.000 Kč. Dnes je na výběr ze dvou typů materiálů. Po dokončení modelu musí být odstraněno laminační lepidlo. Maximální tisknutelný rozměr je 160 x 210 x 135 mm. Tento rozměr je poměrně malý, což může být v mnoha případech velkou nevýhodou.

V dnešní době už se dají 3D modely tisknout LOM technologií pouze z obyčejného kancelářského papíru a lepidla, které spojuje jednotlivé vrstvy. Proto by se do budoucna cena tisku mohla úplně minimalizovat, ale nákladovost tisku se projeví již pořizovací cenou tiskárny, která stojí od 750.000 Kč. Součásti vzniklé touto metodou slouží spíše jako vizualizace, prezentační modely, formy pro odlévání, pouze ve velmi málo případech slouží jako náhradní díl [6, 8, 14, 17].

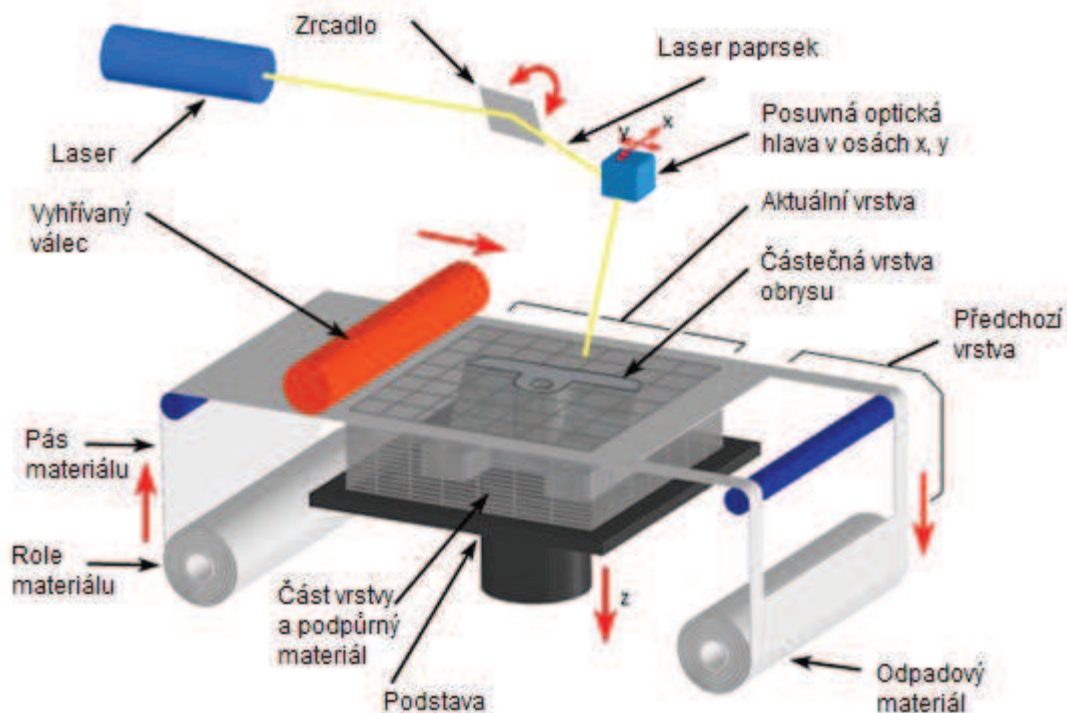
2.3.1 Výhody, nevýhody a možnosti LOM technologie

Výhody:

- hotové modely jdou dále opracovávat (vrtat, frézovat),
- ekologický proces,
- rychlost zařízení.

Nevýhody:

- tato metoda není vhodná pro modely s tenkou stěnou,
- hotový model bez povrchové úpravy nasává vlhkost a zvětšuje objem,
- vznik přebytečného materiálu až 50% z každé vrstvy [5, 14].



Obr. 2.4 Princip funkce LOM technologie [18].

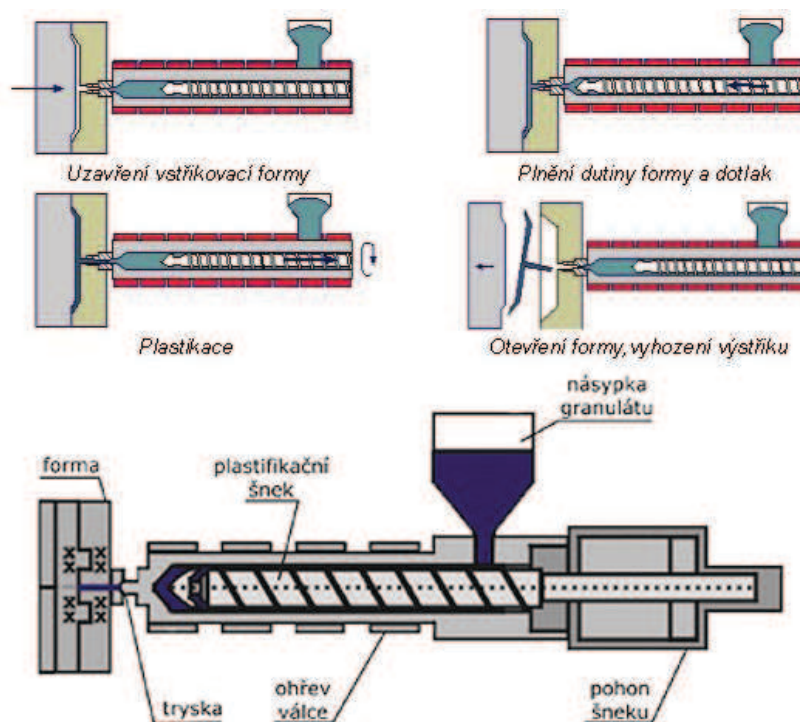
2.3.2 Materiály použité u LOM technologie

Metoda Laminated Object Manufacturing používá k tvorbě modelů převážně fólie. Ty jsou namotány do rolí, aby se snadno skladovaly, a stroj tak lépe a rychleji pracoval. Fólie mohou být tvořeny papírem, plastem, nylonem, polyesterem, nebo keramikou. Fólie jsou na jedné straně opatřeny lepidlem. Ten se po nanesení další vrstvy vždy přilepí na tu předchozí [5].

2.4 Vstřikování plastů

Vstřikování je způsob tváření plastů. Při této metodě je materiál za pomoci tlaku vstříknut velkou rychlostí do uzavřené dutiny, kde ztuhne do podoby hotového výrobku. Tlaková dutina je součástí vstřikovacího stroje. Pro vstřikování je plastický materiál dodáván v podobě granulátu. Granuláty mohou mít různou barvu, od průhledné až po černou, záleží na přidané směsi barviv. Granulát se nasype do násypky na šnekovém vstřikovači, kde se musí první vysušit (cca při teplotě 150 °C). Z násypky je vysušený granulát podáván do vstřikovače šneku, kde musí být nahřátý na požadovanou teplotu od 150 °C – 400 °C

(obr. 2.5). Výrobky vyrobené za pomoci vstřikování mají velmi dobré mechanické vlastnosti, povrch, rozměrovou přesnost. Vstřikování plastů je nejrozšířenější metodou zpracování plastů, lze zpracovávat všechny druhy termoplastů, v některých případech se mohou použít i kaučuky, nebo reaktoplasty [19, 20].



Obr. 2.5 Princip funkce vstřikování plastů [19, 20].

2.4.1 Výhody, nevýhody a možnosti vstřikování

Výhody:

- krátký čas výroby a jednoho cyklu,
- výroba složitých součástí s dobrou rozměrovou přesností,
- velmi dobrá povrchová úprava,
- dobrá konstrukční flexibilita, není třeba finální povrchová úprava.

Nevýhody:

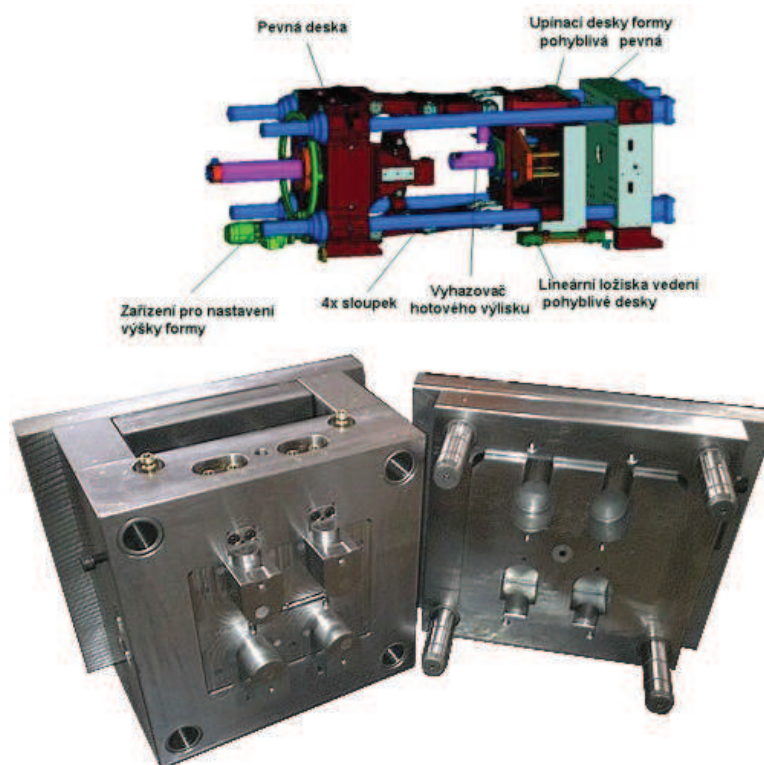
- vysoké investiční náklady,
- dlouhá doba pro výrobu formy [19].

2.4.2 Vstřikovací formy

Forma na vstřikování musí odolávat velkému tlaku, musí fungovat automaticky po celou svou životnost, poskytovat přesné rozměry výrobku a snadné vyjmutí výrobku. Výroba formy je finančně a technicky velmi náročná. Druh materiálu formy závisí na životnosti,

teplotní odolnosti, velikosti série, složitosti výrobku, odolnosti proti opotřebení a na konečné ceně formy. Životnost formy ovlivňuje tepelné a tvarové zpracování částí nástroje. Dalším důležitým aspektem při výrobě formy je stanovení výrobních tolerancí a rozměrů součástí. Pro přesný výpočet tolerancí je rozhodující smrštění a vliv opotřebení jednotlivých částí formy.

Formy se skládají z několika základních částí, mezi které patří vymezující tvarová dutina, chladicí systém, vtokový systém, vyhazovací systém a upínací, vodící elementy (obr. 2.6) [19].



Obr. 2.6 Ukázky formy a uspořádání lisu pro vstřikování [21, 22].

2.5 Lití plastů do forem na vakuové lití

Vakuové lití do silikonových forem je velmi zajímavá, efektivní a nákladově výhodná technologie. Pomocí této metody lze efektivně vyrábět jednotky až desítky kusů. Ideální pro sérii 15 – 50 ks. Výsledky ze silikonových forem jsou velmi fascinující. Vakuové lití často doplňuje 3D tisk, zvyšuje to rychlost a efektivitu práce. Využitím těchto metod současně dosáhneme neuvěřitelných povrchových, mechanických a časových výsledků. Rychlost výroby je v řádu jednotek dnů. Vhodným výběrem prototypového materiálu získáme vlastnosti až sériových dílů [7, 23].

2.5.1 Možnosti a využití vakuového lití

Možnosti:

- vyrábět složité díly, tenké stěny a negativní úkopy,

- výroba malých sérií prototypových a finálních dílů,
- velmi příznivé náklady na výrobu modelu i formy ve srovnání se vstřikováním plastů,
- velmi rychlá a přesná výroba,
- široké množství finální úpravy (leštění, barvení, chromování, atd.) [23].

2.5.2 Výroba silikonové formy

Základem pro tvorbu silikonové formy je takzvaný master model. Ten se velmi často vyrábí právě za pomoci 3D tisku, ale může být vyroben i jinou technologií. Po zhotovení tohoto master modelu je model pomalu zaléván silikonem dokola v částečném vakuu, aby bylo zabráněno tvoření bublin (obr. 2.7). Po ztuhnutí silikonu vznikne forma, která se rozdělí napůl podél dělicí roviny. Lití probíhá ve vakuové komoře, aby bylo zaručeno přesného duplikátu a nevznikaly na okrajích formy bubliny. Vniklou formu lze několikanásobně po sobě využít k vytváření nových, přesných výrobků shodných s originálním master modelem. Tím pádem se může model stále znovu duplikovat. Forma je elastická a umožňuje lití i velmi složitých tvarů. Pro lití se používají speciální dvousložkové materiály na bázi polyuretanové pryskyřice [23, 24].



Obr. 2.7 Obrázek výroby a výrobků vakuovým litím [25].

2.6 Volba použité technologie na výrobu krytu

Jelikož byl vyráběn pouze jeden kus, bylo zbytečné vytvářet kovovou formu na vstřikování plastů. Tato metoda by byla velmi nákladná a neefektivní. Výroba za pomoci vakuového lití

by byla vhodná, kdybychom potřebovali výborné mechanické vlastnosti. U vakuového lití jsou daleko lepší než u FDM tisku. Protože vyrobený kryt nebude při používání nijak zvláště namáhán, postačí nám model vyrobený 3D tiskem. Od metody laminated object manufacturing bylo odstoupeno z důvodu nedostupnosti techniky, musela by být nalezena vhodná firma, která takový stroj vlastní a mechanické vlastnosti by nedosáhly vlastností z FMD tisku. Možnost použití metody SLS byla zamítnuta, protože je nákladnější a pomalejší než FMD tisk a mechanické vlastnosti také nedosahují kvalit FMD tisku.

Z těchto důvodů byla zvolena metoda FMD tisku. Metoda nabízí několik druhů materiálů a mechanické vlastnosti jsou dostačující. Finální výrobek může být povrchově upraven, což je důležitým aspektem, jelikož se jedná o pohledovou a dekorační součástku. Použitím této metody bude cena nejvýhodnější a funkční součástka bude vytištěna v řádu několika hodin.

3 NÁVRH 3D MODELU

Pro návrh 3D modelu potřebujeme program, který využívá trojrozměrnou grafiku. V dnešní době máme na výběr hned z několika takových programů, záleží na nás, který máme možnost využít, popřípadě se kterým umíme pracovat. Z možností výběru máme třeba Autodesk Inventor Professional, Wings 3D, SolidWorks, CATIA, Solid Edge a další. Jednotlivé 3D programy mezi sebou nejdou kombinovat ve funkčních modelech. Lze převést model z programu do programu v tzv. „mrtvém formátu“. K vytvoření tohoto modelu byl vybrán 3D program Autodesk Inventor Professional 2015.

3.1 Autodesk Inventor Professional 2015

Je to velmi moderní a schopný program pro tvorbu 3D modelů. Inventor Professional je aplikace CAD (ComputerAided Design) od společnosti Autodesk, která je nejpoužívanějším 3D programem ve strojírenství. Inventor obsahuje funkce pro adaptivní a parametrické 3D modelování. Umí také vytvářet 2D výkresovou dokumentaci, prezentace, fotorealistické vizualizace a animace. Slouží také ke zprávě dokumentů a konstrukčních dat.

Základem konstruování v Inventoru je tvoření součástí (parts, IPT), jejichž geometrie může být odvozena od parametrických 2D náčrtů (sketch). Inventor ukládá data ve formátu IPT, IAM, DWG. Inventor používá vzájemnou asociativitu vazeb mezi modelem, výkresem a celou sestavou. To znamená, že pokud se změní parametry nebo geometrie v modelu, změní se nám model, sestava a výkres z něj vytvořený, (změny v řezech, průřezech, detailech, kusovnicích). V Inventoru můžeme vytvářet nejen 3D modely, ale také pracovat s plechem, nebo vytvářet svařence. Inventor také obsahuje velmi širokou databázi normalizovaných součástí (ISO, DIN) pro použití v sestavách. K tvorbě výkresové dokumentace Inventor používá 2D funkce pracující podobně jako u AutoCad, formát ukládání dat je DWG, nebo IDW [26, 27].

3.1.1 Základní příkazy a možnosti Inventoru

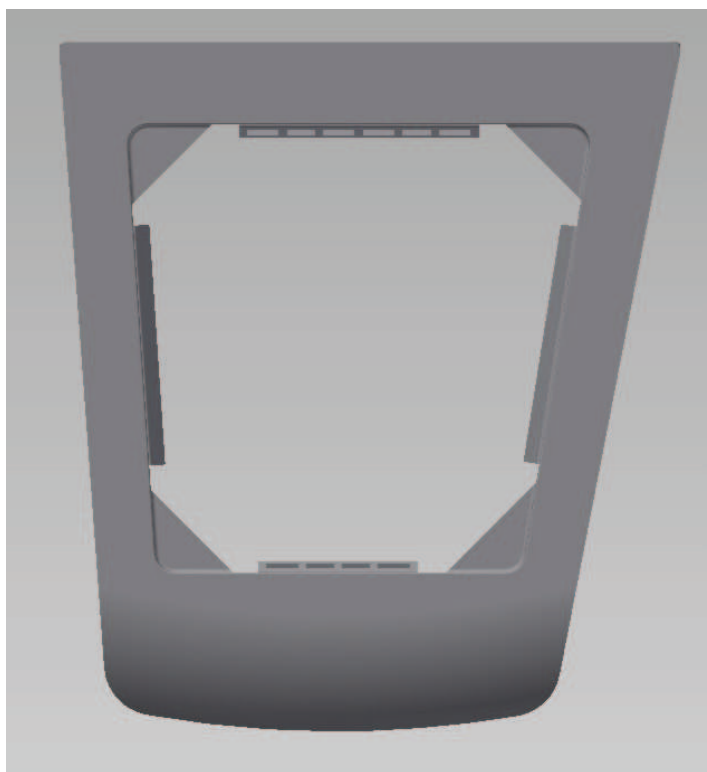
Autodesk Inventor pro 3D modelování objemových těles nabízí několik možností jak objem tělesa přidávat nebo odebírat. Základními a nejpoužívanějšími příkazy v Inventoru jsou příkazy vysunout nebo rotovat. Tyto příkazy umožní vytvořit základní hranaté nebo rotační těleso. Další ze základních příkazů je příkaz šablonování, který umožní vytvářet přechody mezi různými tvary a průměry. Příkazem tažení je možné prvek různě ohýbat a táhnout do určitého tvaru po křivce. Tyto příkazy vytvoří základní požadovaný tvar. Další příkazy jsou příkazy úprav. Patří sem zaoblení, které vytvoří zaoblený přechod mezi dvěma na sebe navazujícími plochami. Zkosení, které má podobnou funkci jako zaoblení, jen se nejedná o zaoblený přechod, ale zkosení na požadovaný úhel. Otvor, tento příkaz vytváří přesné otvory na požadovaný tvar se zapuštěním, se závitem, do určité hloubky nebo skrz. Příkaz skořepina je velmi důležitý u součástí, které jsou duté nebo mají zeslabenou stěnu. Tento příkaz může vytvářet různě tlusté stěny a odebírat vnitřní objem součástí (např. u modelování sklenice). Dalším velmi důležitým aspektem při tvorbě modelu v Inventoru je možnost vytvoření rovin. Rovinu lze vytvořit a naklonit téměř jakkoliv, tím pádem jsou možnosti modelování téměř neomezené. V Inventoru lze také nastavit požadovaný materiál a vlastnosti na jednotlivé součásti.

Autodesk Inventor nabízí nejen modelování objemových těles, ale také modelování z plechu. Součástka se tedy může vyrábět přímo ohýbáním plechu a ne modelováním. Záleží, jak má součástka ve finální verzi vypadat a co požaduje zadavatel.

Inventor také nabízí možnosti tvoření pevných, ale i pohyblivých sestav. Lze zde vytvořit video pohybující se soustavy. Možnosti animace rozebírání nebo funkčnosti celého stroje. Je možné vytvářet i zátěžové simulace, a to buď celých sestav, nebo jednotlivých komponentů. Na těchto simulacích jde vidět, kde a jak je součást nejvíce namáhána.

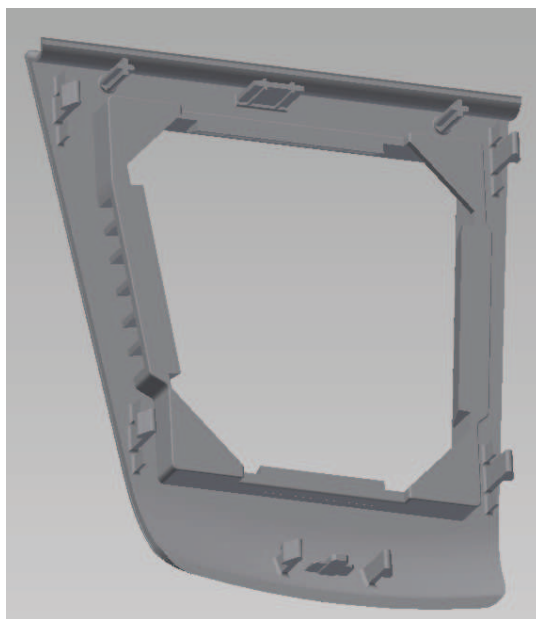
3.2 Konstrukční návrh modelu

K návrhu varianty mnoho možností nebylo, bylo řešeno pouze uchycení. Musel být dodržen vnější rozměr krytu, aby seděl na určené místo ve středové konzole, zároveň uvnitř muselo zůstat dostatek místa, aby šly řadit rychlosti v šestistupňové manuální převodovce. Do středového otvoru se musel vejít rámeček s nohavičkou řadicí páky z nové Škody Octávia III (obr. 3.1).



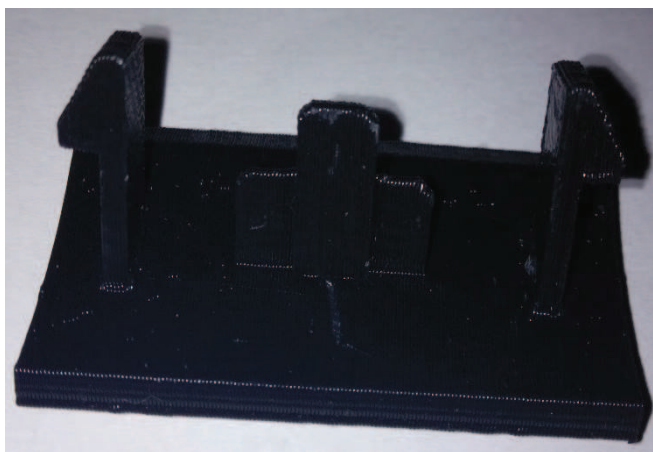
Obr. 3.1 Vnější tvar a vnitřní otvor rámečku.

Poslední a nejdůležitější částí, aby byl prototyp funkční, byly „klipy“ a středící „výčnělky“. Protože nebylo zasahováno do středové konzoly, ve které jsou otvory pro uchycení „klipů“ a „výčnělků“, musely být tyto části přesně zachovány na původních pozicích (obr. 3.2).



Obr. 3.2 Ukázka rozmístění „klipů“ a kompletní kryt.

Protože se jedná pouze o jeden prototyp, bylo nutné docílit toho, aby kryt na své místo zapadl napoprvé a bez potíží. Proto byl pro jistotu vytištěn malý vzorek (obr. 3.3), který nám měl ukázat, zda jsou „klipy“ dostatečně velké, aby rámeček udržely na místě, zda mají správnou pozici, nebo naopak, aby nebyly „klipy“ natolik velké, že při nasazování či případném vysazování prasknou. Bylo také důležité zjistit, zda středící a dosedací „výčnělky“ jsou dostatečně velké a přesně usazené.



Obr. 3.3 Testovací vzorek.

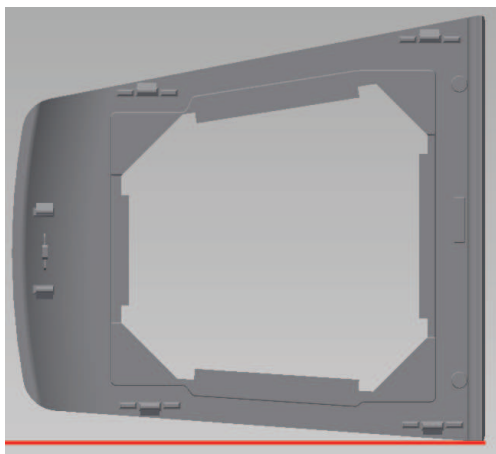
Z testovaného vzorku bylo zjištěno, že středící, dosedací plochy a středící hrot sedí, ale že „klipy“ se zbytečně moc prohýbají a jsou umístěny daleko od sebe. Proto před konečným tiskem byla provedena korekce všech „klipů“, byly přiblíženy k sobě, aby se při dosednutí neohýbaly a při nasazování a případném vyjímání krytu nepraskly. Cílem bylo dosáhnout toho, aby kryt na svém místě držel a aby šel bez poškození vyjmout.

3.2.1 Řešení uchycení rámečku

Největším problémem bylo vyřešit, jak vytvořit „klipy“ tak, aby nepraskly při nasazení a případném vysazení krytu z konzoly, aby se nenarušila pohledová plocha a zůstaly zachovány plynulé linie. Na výběr bylo několik variant.

1. varianta

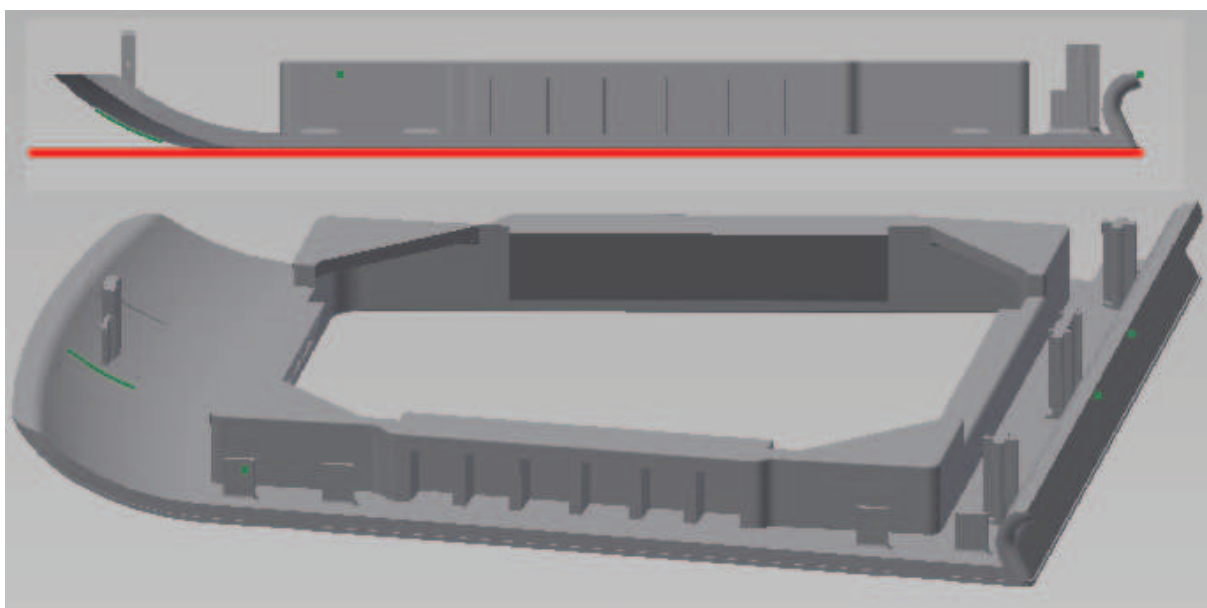
Tato varianta zahrnuje vytištění kompletního krytu i s „klipy“. Pokud by se kryt tiskl v jednom kuse (obr 3.4), byla by zachována linie, původní uchycení a myšlenka krytu. Pokud má kryt plnit veškeré funkce a „klipy“ se při vysazování a nasazování nesmí zlomit, není tisk ekonomický, protože rámeček musí být tištěn tak, aby nanášené vrstvy objížděly současně tvar krytu i s „klipy“. Byla by pak velká spotřeba podpůrného materiálu a tisk by se časově natáhl. Měli bychom však jeden pevný celek, který by měl ze všech variant nejlepší mechanické vlastnosti. Na obr. 3.4 je znázorněno, jak by se kryt tiskl. Červená čára znázorňuje základní plošinu tisku.



Obr. 3.4 Znázornění tisku kompletního krytu.

2. varianta

V této variantě bylo řešeno zvlášť vytisknutí krytu s dorazy a „klipy“, které by se následně přilepily k dorazu. Samotný kryt může být tištěn zvlášť, pouze s dorazy a „výčnělky“. „Klipy“ by pak byly tištěny samostatně a po vytištění k sobě přilepeny. ABS plast jde krásně lepit a má poměrně vysokou pevnost i v lepených spojích. Byla by omezena však hybnost „klipů“, díky dorazu by nešlo dosáhnout takového prohnutí. U „klipu“ v zaoblené části krytu by vznikl problém s usazením, muselo by být pouzdro, které by zmenšilo „klipy“ a hrozilo by pravděpodobnější ulomení „klipu“. Cena tisku by se však značně snížila oproti první variantě, protože by rámeček mohl ležet na celé ploše. Na obr. 3.5 je znázorněno, jak by rámeček při tisku ležel, nebylo by zapotřebí takového množství podpor. „Klipy“ by se však tiskly zvlášť a byly by následně nalepeny. Kdyby v tomto umístění byly „klipy“ tištěny společně, byly by velmi křehké.



Obr. 3.5 Ukázka tisku bez „klipů“.

3. varianta

Ve variantě č. 3 bylo řešeno, zda použít mechanické uchycení rámečku, například malým šroubkem, který by byl vsazen do otvoru krytu a pevně našroubován ke středové konzole. Následné vyjmutí by však šlo pouze odstraněním tohoto šroubku. Tisk by vyšel ekonomicky velmi dobře, kryt by držel nejpevněji, ale musela by být narušena pohledová hrana, a tím narušena plynulá linie středové konzoly. Tato varianta by se tiskla stejně jako varianta předchozí (obr 3.5), akorát by v rámečku byly malé otvory se zahloubením na šroubky (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Ukázka mechanického uchycení (otvory).

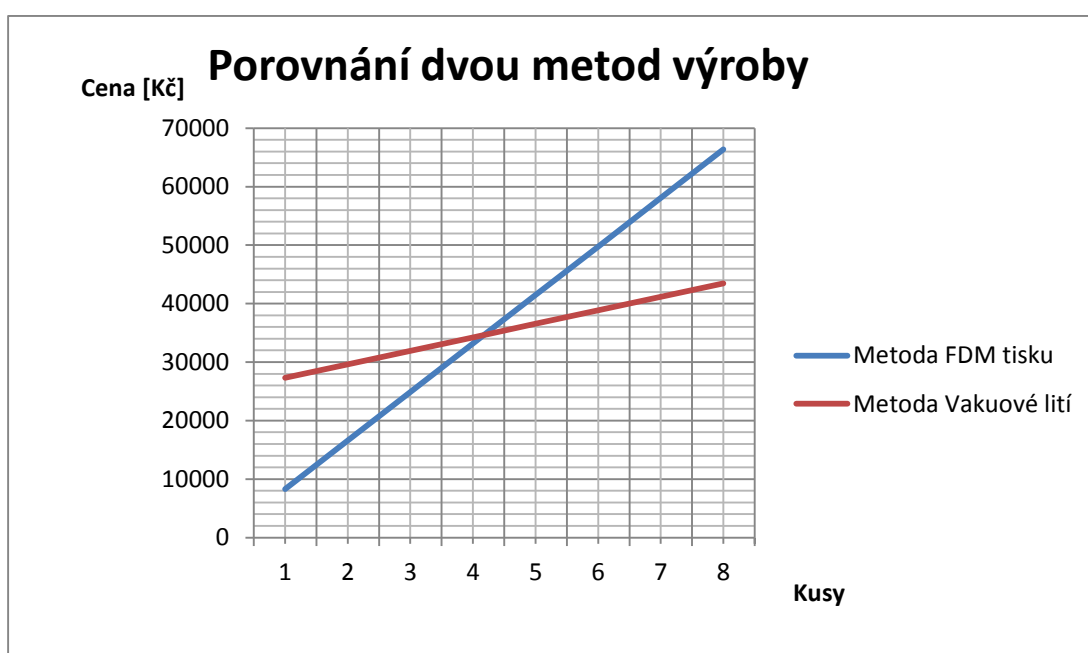
3.2.2 Volba varianty

Byla vybrána varianta č. 1, protože zachovává vlastnosti původního krytu a pohledově plynulé návaznosti. Po ekonomické stránce vyšla tato varianta sice nejhůře, ale oproti druhé variantě mají „klipy“ možnost většího průhybu, což zlepšuje jejich vlastnosti, a tím i životnost. Kryt neslouží k neustálému nasazování a vysazování, proto je varianta č. 1 zcela vyhovující. Občasné nasazení a vysazení „klipy“ vydrží.

4 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE

Práce je zaměřena na výrobu jednoho kusu krytu s požadovaným specifickým tvarem metodou FMD tisku. Pro znázornění je níže uveden graf (obr. 4.1), který znázorňuje, kdy by se nám vyplatilo dělat silikonovou formu a díl odlévat. Ceny obou výrobních metod budou uvedeny z firmy Evektor, spol. s.r.o. Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, ty mají zajistit nejen výrobnost, ale také životnost, funkčnost a spolehlivost výrobku. Muselo být také přihlíženo na efektivnost výroby.

Technologičnost je ovlivněna a je vždy relativní, záleží na jednotlivých výrobcích a použitém výrobním procesu.



Obr. 4.1 Porovnání metod od kolika kusů se vyplatí vakuové lití.

4.1 Výběr materiálu

Velmi důležitým aspektem při výrobě krytu je volba materiálu, ovlivní to nejen cenu konečného výrobku, ale také jeho mechanické vlastnosti. Kryt nebude nijak chemicky ani teplotně namáhán. Budou na něj kladeny pouze nízké mechanické nároky, a to pouze při nasazení a případném vyjmutí krytu, přesto musí materiál tyto úkony vydržet. Pro dobrou dostupnost byl na výrobu krytu zvolen materiál Akrylonitril butadien styren (ABS) plast. Má dostačující mechanické vlastnosti a dobrou cenu.

Tento materiál byl zvolen i z jiných důvodů. Je houževnatý, tvrdý, dá se lakovat a jde dále poměrně snadno opracovávat, což je velkou výhodou. Jelikož se jedná o pohledový prvek, bylo po vytištění krytu nutné pohledovou plochu upravit. Pohledová plocha byla vybroušena do hladka, vyrovnána plničem, znovu vybroušena a lakována do matně černé barvy. ABS materiál není vhodné používat do venkovních podmínek, jeho vlastnosti zde vlivem počasí degradují. Protože kryt je umístěn uvnitř vozu, tento problém nemusí být řešen.

4.2 Využití podpor při výrobě krytu

Podpurný materiál se používá téměř u všech součástí tvořených 3D tiskem. Je nutno ho použít vždy, když se tiskne plocha, která má velký úhel odklonu od základní osy, nebo tam, kde by tištěný materiál byl „tištěn do vzduchu“. Podpurný materiál se tedy používá jako taková stavební podpora, která nám vyplňuje místa, na která se bude následně tisknout, tvoří tzv. nástavbovou „podložku“. Protože byla zvolena varianta č. 1, kryt stál na pravém boku a tiskl se ve vertikálním směru, aby obvod krytu zahrnoval i „klipy“, bylo tedy zapotřebí velké množství podpurného materiálu.

4.3 Tvar vyrobené součásti

Protože byla použita metoda FDM tisku, byly téměř neomezené možnosti pro volbu tvaru a členitosti součásti, záleželo pouze na představě, jak bude model před tiskem vypadat. Z důvodu limitace vnějším tvarem a otvorem uvnitř, musely být zachovány některé části původního modelu a pak také zásady výroby dílů z plastu, proto nebylo na výběr tolik možností, aby zůstal kryt funkční.

4.4 Výběr tiskárny a využití geometrie

Firma Evektor, spol. s r.o. vlastní několik 3D tiskáren. Fortus 400 mc, která má rozměry tištěné plochy 406 x 406 x 355, lze zde nastavit výrobu s ohledem na míru detailů a délku tisku. FDM 900 mc s tisknutelnou plochou až 914 x 914 x 610, což by bylo zbytečné. Ale její předností při tisku velkých součástí je, že se prototyp může tisknout naráz, nemusí se lepit a zvyšuje to jeho pevnost. Dimensionelite je tiskárna, která má tisknutelnou plochu 203 x 203 x 305 a pro naše účely byla plně dostačující. Tiskárna má dva zásobníky materiálu. Jeden podpurný a druhý modelovací.

Protože při samotném tisku je z ekonomického hlediska potřeba využít co nejvíce tisknutelné plochy, byla zvolena tiskárna Dimensionelite (4.2). Rozměrově je dostačující a modelování je možné zadat dvěma různými velikostmi vrstev. Buď 0,17 mm, nebo 0,254 mm. Jelikož pohledová strana byla následně opracována a zbývající strany nebyly vidět, díky úspoře času a dostatečným mechanickým vlastnostem bylo zvoleno vrstvení 0,254 mm.



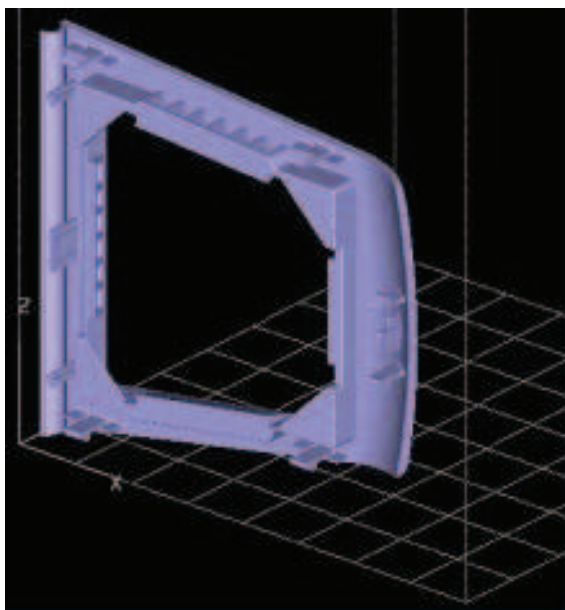
Obr. 4.2 FDM tiskárna Dimensionelite [28].

5 VÝROBA NÁHRADNÍHO DÍLU

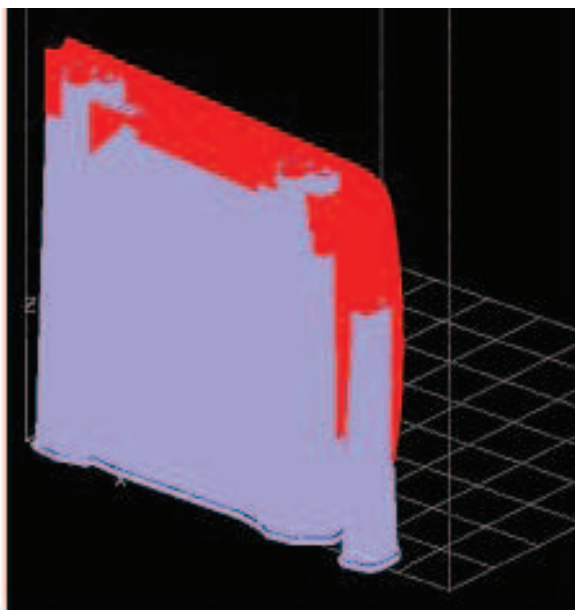
Než se dal model tisknout, musel projít několika úpravami. Protože Autodesk Inventor ukládá modely ve formátu ipt., musel být model exportován do formátu stl., který můžou otevřít i programy CAM processing. Na úpravu a orientaci modelu v prostoru tisku bylo na výběr z několika možných a dostupných programů, jako například CatalystEX, PrintWizard, Insight, Magics, nebo KISSlicer. Ve firmě EVEKTOR, spol. s.r.o., je používán program Magics, proto byl zvolen i pro úpravu tohoto dílu.

5.1 Program Magics

Po vložení modelu do programu Magics byl model promítnut do virtuálního prostoru 3D tiskárny (obr. 5.1), byl ustanoven na určité místo a do požadované polohy. Když byla uložena poloha a orientace modelu, byla nastavena velikost vrstvy 0,254 mm, využití podpor a parametry tisku. V tomto případě jsou podpory velmi důležité. Jak jde vidět na obr. 5.2, šedě je znázorněn podpurný materiál a červeně jsou znázorněny vrcholky modelu, kam už není potřeba stavět podpurný materiál.



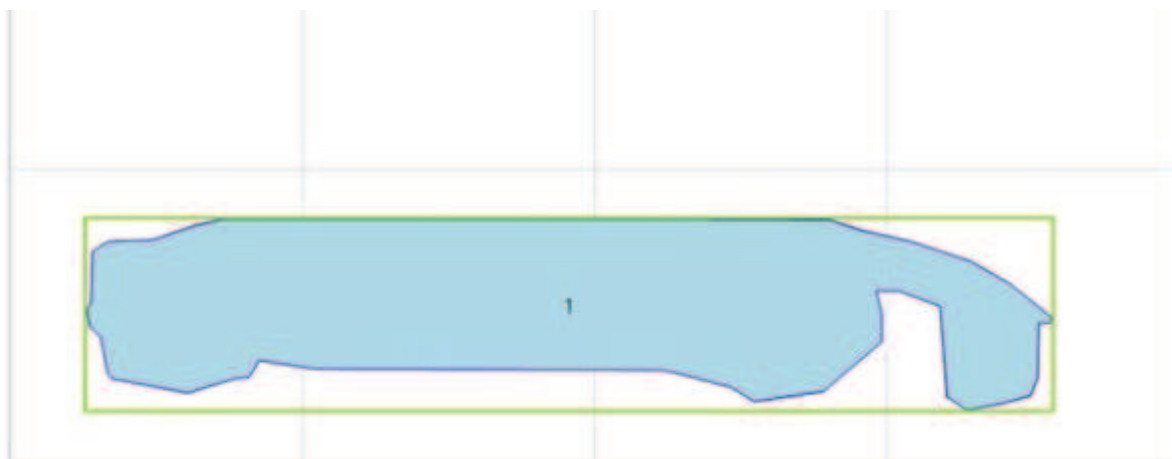
Obr. 5.1 Uložení modelu na tiskárnu.



Obr. 5.2 Využití podpor.

5.2 Postup vyrábění prototypu FMD tiskem

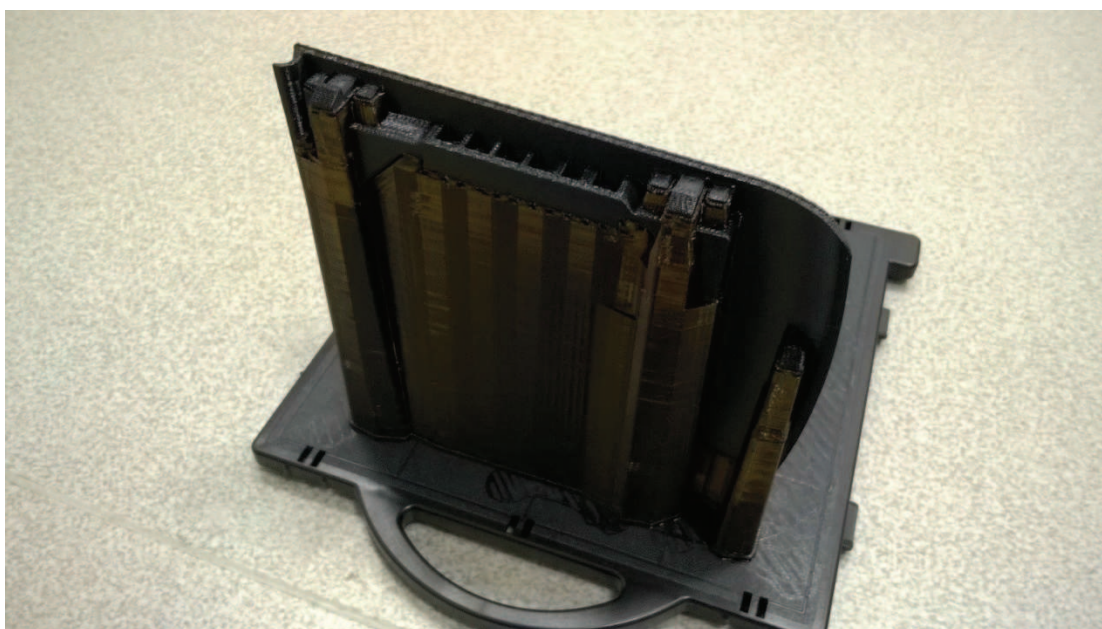
Program Magics vytvořil po vložení modelu a uložení do správné polohy vizualizaci krok za krokem, jak prototyp přibýval (obr. 5.3). Pro případ varianty č. 1, která byla zvolena, bylo zapotřebí velké množství podpurného materiálu, což je vidět i na (obr. 5.2). Doba tisku byla poměrně dlouhá z důvodu volby polohy a umístění modelu. Proto se tisk prodražil.



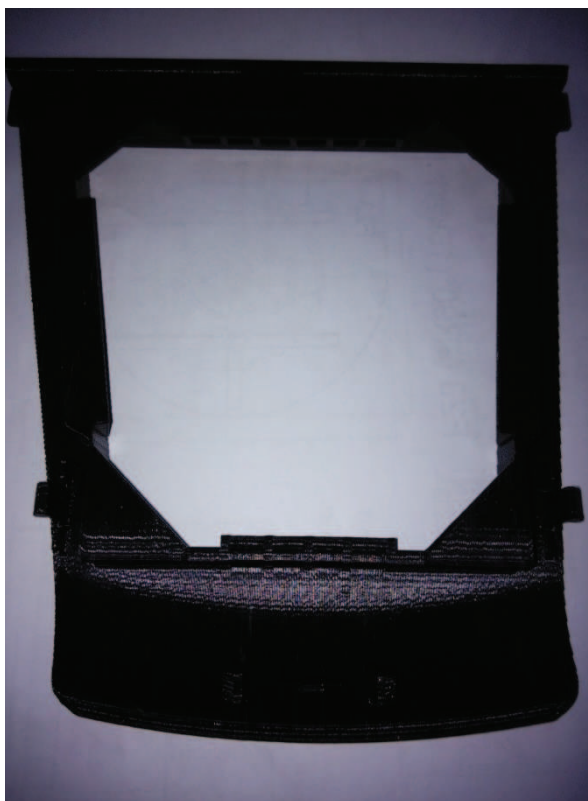
Obr. 5.3 Ukázka první vrstvy při tvorbě prototypu.

5.2.1 Vytištění krytu

Po ukončení tisku a vyjmutí krytu z tiskárny je potřeba odstranit podpůrný materiál od zbytků základního modelu (obr. 5.4). Toto čištění se provádělo mechanicky, ručně odlámáním hrubých a velkých částí podpůrného materiálu. Po hrubém očištění se kryt namočil do roztoku isopropyl alkoholu, aby se podpůrný materiál rozmočil a následně proudem vody se očistila špatně dostupná místa. Na obr. 5.5 je vidět zcela vyčištěný kryt připravený na konečnou povrchovou úpravu.



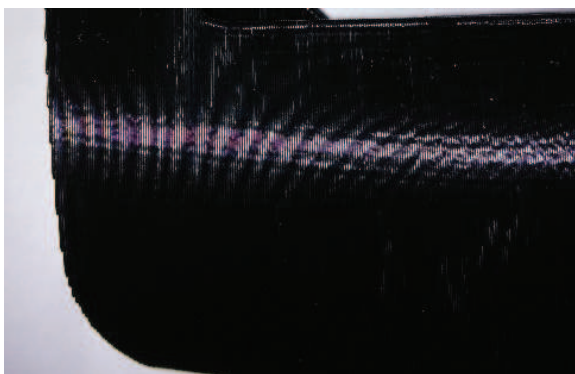
Obr. 5.4 Kryt ihned potisku s podpůrným materiálem.



Obr. 5.5 Očištěný kryt před povrchovou úpravou.

5.2.2 Povrchová úprava krytu

Protože se jedná o designovou část, je zapotřebí povrchové úpravy. Povrchová úprava zahrnuje několik kroků. Kryt se musí několikrát vybrousit smirkovým papírem, rýhy vyplnit plničem, nastříkat základem pro lepší uchycení barvy, nalakovat do požadovaného odstínu a zalakovat průhledným lakem. Všechny tyto kroky jsou níže jednotlivě popsány.



Obr. 5.6 Povrch těsně před broušením.

1. První broušení

Po 3D tisku bylo na krytu viditelné krokování tisku, což bylo nežádoucí. Jednotlivé vrstvy tisku se musely vybrousit smirkovým papírem do hladka. Pro hrubé broušení byl použit podvodní smirkový papír o hrubosti 800 a broušení bylo prováděno s pomocí vody.



Obr. 5.7 Povrch krytu po prvním broušení a umytí.

2. Nastříkání základnu

Když byl kryt vybroušen téměř do hladka, byla na rámeček nanесena vrstva základního nástřiku. Základní nástřik byl velmi důležitý pro další krok, aby se lépe spojil povrch krytu s plničem.

3. Pokrytí plničem

Po zaschnutí základního nástřiku byl povrch nastříkán plničem. Plnič je důležitý, aby zaplnil všechny jemné rýhy po smrkování papírem, aby byl povrch dokonale hladký.

4. Druhé broušení

Druhé broušení bylo prováděno smirkovým papírem o hrubosti 400, taktéž podvodním. Plnič krásně zaplnil veškeré rýhy a po vybroušení jemnějším papírem vzniknul téměř dokonale hladký povrch



Obr. 5.8 Dohladka obroušený plnič.

5. První nástřik černé matné barvy

První nástřik povrchové krycí vrstvy je spíše pro zaplnění všech posledních drobných škrábanců, které vznikly vybroušením plniče. V tomto případě se nejednalo o krycí nástřik, ale o první nástřik barvy před posledním dobroušením dohladka.

6. Třetí broušení

Zde byl vybroušen nástřik matné černé barvy, který vyplnil jemné rýhy na povrchu. K broušení bylo použito brusné houbičky a vody. Po tomto broušení byl povrch téměř ideálně hladký připravený pro finální nástřiky.

7. Druhý nástřik černé matné barvy

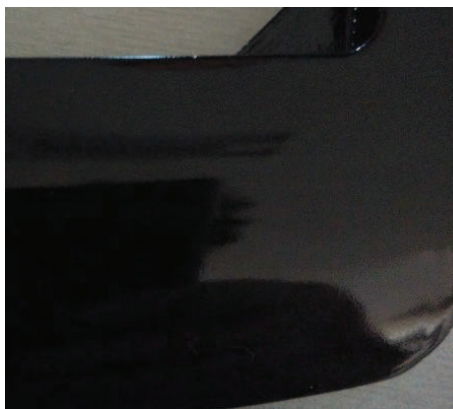
Druhý nástřik matné černé barvy je krycí nástřik požadovaného odstínu povrchu. Pro dokonalé pokrytí povrchu barvou se lakovalo dvakrát.



Obr. 5.9 Konečný nástřik černého matného laku.

8. Nástřik průhledného laku

Posledním krokem bylo přelakovat hotový povrch průhledným lakem. Lak se nanášel na vytvrzený matný černý lak a pouze překryl barevný lak, aby se ochránila jeho stálost a zabránilo případnému poškrábání. Tento nástřik byl taktéž proveden dvakrát.



Obr. 5.10 Dokončená povrchová úprava.

6 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Všechny náklady spojené s výrobou prototypu krytu řadicí páky jsou nejenom vlastní tisk, ale také povrchová úprava pohledové strany krytu. Kryt se mohl nechat povrchově upravit celý firmou Evektor, spol. s.r.o., ale protože by to bylo zbytečně nákladné a není třeba vyrábět master model, ale jen upravit pohledovou stranu krytu, byla povrchová úprava dělána vlastní úpravou. Průměr všech nákladů krytu vyráběným formou FDM a následnou povrchovou úpravou byly shrnuty ve vztahu (6.1).

$$N_c = N_k + N_{pú} \quad (6.1)$$

Kde:

N_c – jsou celkové náklady na výrobu hotového krytu [Kč],

N_k – jsou náklady na výrobu samotného krytu [Kč],

$N_{pú}$ – jsou náklady na povrchovou úpravu [Kč].

Náklady na N_k – výrobu krytu, byly obdrženy od firmy EVEKTOR, spol. s.r.o., tyto náklady tedy nebudou počítány ale uvedeny. Náklady na samotný tisk součásti byly 6 796 Kč. Proto tedy: $N_k = 6\,796$ Kč.

Náklady na $N_{pú}$ – povrchovou úpravou krytu, byly spočteny ve vztahu (6.2), kde jsou zahrnuty veškeré použité smirkové papíry, spreje pro povrchovou úpravu a čas na provedení práce.

$$N_{pú} = N_{sp} + N_s + N_t \quad (6.2)$$

Kde:

$N_{pú}$ – jsou celkové náklady na povrchovou úpravu [Kč].

N_{sp} – jsou náklady na koupi smirkových papírů [Kč],

N_s – jsou náklady na použité spreje při povrchové úpravě [Kč].

N_t – jsou celkové náklady na čas povrchové úpravy [Kč],

Náklady na N_s – nákup sprejů pro povrchovou úpravu jsou uvedeny ve vztahu (6.3), kde jsou zahrnuty všechny 4 spreje, které jsme pro povrchovou úpravu potřebovali.

$$N_s = N_{mt} + N_p + N_{pl} + N_{zn} \quad (6.3)$$

Kde:

N_s – jsou celkové náklady na použité spreje při povrchové úpravě [Kč],

N_{mt} – jsou náklady na koupi matného černého spreje [Kč],

N_p – jsou náklady na koupi plniče [Kč],

N_{pl} – jsou náklady na koupi průhledného laku [Kč],

N_{zn} – jsou náklady na koupi základního nástřiku[Kč].

Náklady na N_t – náklady na čas strávený povrchovou úpravou jsou uvedeny ve vztahu (6.4), kde je zahrnuta časová náročnost a hodinová mzda.

$$N_t = h \times F \quad (6.4)$$

Kde:

N_t – jsou celkové náklady na čas povrchové úpravy[Kč],

h – je čas strávený na povrchové úpravě [Kč],

F – jsou náklady na hodinovou mzdu[Kč].

Výpočet nákupu sprejů N_t :

$$N_t = h \times \text{Kč}/h$$

$$N_s = 9 \times 120$$

$$N_s = 1080 \text{ Kč.}$$

Náklady na práci provedenou na povrchové úpravě byly 1080 Kč.

Výpočet nákupu sprejů N_s :

$$N_s = N_{mt} + N_p + N_{pl} + N_{zn}$$

$$N_s = 104 + 104 + 104 + 104$$

$$N_s = 416 \text{ Kč.}$$

Celkové náklady na nákup potřebných sprejů tedy byl 416 Kč.

Výpočet povrchové úpravy krytu $N_{pú}$:

$$N_{pú} = N_{sp} + N_s + N_t$$

$$N_{pú} = 25 + 416 + 1080$$

$$N_{pú} = 1521 \text{ Kč.}$$

Do nákladů na povrchovou úpravu byl zahrnut čas strávený touto prací. Celkové náklady na povrchovou úpravu tedy byly 1521 Kč.

Výpočet celkových nákladů na výrobu celého krytu N_c :

$$N_c = N_k + N_{pú}$$

$$N_c = 6796 + 1521$$

$$N_c = 8327 \text{ Kč.}$$

Celková cena na výrobu prototypu krytu řadící páky jsou 8327 Kč. Celková cena není úplně přesná, ale orientační. Náklady na koupi smirkových papírů, sprejů a náklady na hodinovou mzdu se můžou lišit. Pak taky záleží, zda se použijí celé objemy jednotlivých sprejů.

ZÁVĚR

V bakalářské práci byla řešena výroba prototypu krytu řadicí páky za použití moderních technologií 3D tisku. V teoretické části jsou uvedeny základní metody a výběr metody, která by se dala efektivně použít pro výrobu takto tvarově poměrně náročné součásti a byla by z technického a ekonomického hlediska výhodná. Druhá část bakalářské práce pojednává o samotné výrobě krytu, a to postupně od samotného návrhu 3D modelu přes varianty uchycení, uložení v 3D tiskárně až po samotný tisk a povrchovou úpravu.

Technologie FDM tisku vychází přímo z dat vymodelovaného 3D modelu. Model byl vymodelován v programu Autodesk Inventor 2015. Na výrobu originálních krytů, které jsou v automobilech instalovány, se převážně používá ABS plast, z čehož bylo také vycházeno pro volbu metody výroby.

Technologie FDM byla zvolena na základě dostupnosti, efektivnosti, univerzálnosti a ekonomičnosti výroby. Při výrobě pomocí FMD tisku je dosaženo, díky široké škále materiálů, vysokých hodnot pevnosti. Je možné tisknout dokonce z kompozitního materiálu ULTEM 9085, který je schválený pro letecký provoz. Pro tento případ krytu byl zvolen materiál ABS plus plast, který není finančně nákladný a svými vlastnostmi postačuje pro výrobu a funkčnost.

V tomto případě tisk nevyšel nejlevněji, celková cena rámečku, včetně povrchové úpravy, se dostala na cenu 8 327 Kč. Ovšem pořád je to nejlevnější metoda, kterou lze jeden specifický model vytvořit. Cena se dostala tak vysoko, protože musela být zajištěna pevnost „klipů“, které slouží k uchycení krytu na místě, proto musel být kryt tisknut v poloze na boku. Tato metoda uchycení byla převzata z originálního kusu.

Dalším požadavkem byla povrchová úprava, což je u FDM tisku možné. V obchodě lze originální kryt řadicí páky koupit okolo 2 000 Kč. V tomto případě se však jednalo o speciální kus, který nikde koupit nelze.

V případě sériové výroby by bylo vhodné použít metodu vakuového lití nebo metodu vstřikování plastů. Tato metoda by se vyplatila při výrobě pěti a více kusů, jak dokazuje grafické znázornění na obr. 4.1 v kapitole 4. V případě vakuového lití by se 3D model do tiskárny umístil na největší plochu. Protože by na master modelu nemusela být zajištěna pevnost klipů. Tím by se výrazně snížila cena master modelu pro lití. Master model by se však musel povrchově upravit ještě před tvorbou silikonové formy, což by se promítlo do ceny a výroba samotné formy by se pohybovala okolo 14 000 Kč.

Metodou FDM tisku lze vyrobit téměř tvarově neomezenou designovou součást. Tato metoda má do budoucnosti velký potenciál, již dnes je využívána v mnoha oborech, jako je například strojírenství a zdravotnictví.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Spojení různých materiálů. *FCC PUBLIC*. [online]. © 2014 – 2015 – FCC Public s. r. o. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/clanek/spolecnost-stratasys-predstavila-objet500-connex3-tiskne-vicebarevne-pruzne-materialy-286>
2. 3D tisk technologií FDM. *EVEKTOR*. [online]. © 1999 – 2015 Evektor, spol. s r.o. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>
3. ŘASA Jaroslav, KEREČANINOVÁ Zuzana. technologie Rapid Prototyping. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. © 2015 www.mmspektrum.com [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
4. HOMOLA Jan. S. ScottCrump: rozhovor se zakladatelem firmy Stratasys. *3D-tisk*. [online]. Copyright © 2014, Vydavatelství Nová média, s. r. o. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/s-scott-crump-exkluzivni-rozhovor-se-vynalezcem-3d-tisku-a-zakladatelem-firmy-stratasys>
5. Stereolitografie, LaminatedObjectManufacturing. *Studijní materiály: Aditivní technologie-metody Rapid Prototyping*. [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf
6. Technologie 3D tisku. *FUTUR3D HUMAN AND TECHNOLOGY*. [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.futur3d.net/fused-deposition-modeling-fdm>
7. Rapid prototyping. *EVEKTOR*. [online]. © 1999 – 2014 Evektor [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.evektor.cz/cz/rapid-prototyping>
8. O 3D tisku. *Tisknout 3D*. [online]. Copyright© 2015 4ISP spol. s.r.o [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
9. FDM (FusedDeposition Modeling). *VISUAL LEUTEC*. [online]. (c) 2014 VisualLeutecGmbH [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.visual-leutec.ch/index.php/3d-druckverfahren/11-home/10-fdm-schmelzschiichtung%202.2>
10. Materiály pro 3D tisk. *FUTUR3D HUMAN AND TECHNOLOGY*. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.futur3d.net/materialy-pro-3d-tisk>

11. Světlík David. *Výroba náhradního ozubeného kola metodou RP* [online]. 2014. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=87081
12. Stereolitografie. *3D-tisk.cz*. [online]. Copyright © 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>
13. Technologie 3D tisku. *O 3D* . [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/technologie-3d-tisku-i/>
14. Stereolitografie SLA – učební text. *Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping*. [online]. 2012 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: http://www.ksa.tul.cz/download/rapid_prototyping/P%C5%99ehled%20technik%20v%20yu%C5%BE%C3%ADvan%C3%BDch%20p%C5%99i%20Rapid%20Prototyping.pdf
15. Závislost přesnosti. *Stereolitografie*. [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.quickwiki.com/cs/Stereolitografie>
16. Stereolitografie SLA. *Ihr Rapid Technologie Partner*. [online]. 12.4.2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.vg-kunst.de/de/informationen/lexikon/lexikon.html>
17. LOM: LaminatedObjectManufacturing. *O 3D* . [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>
18. LaminatedObjectManufacturing (LOM). *CUSTOMPART.NET*. [online]. Copyright © 2009 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
19. Vstřikování plastů. *Skripta Technické univerzity Liberec – Katedry strojírenské technologie*. [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm_vstřikování_plastů
20. Princip vstřikování plastů. *Asyndar*. [online]. © 2013 Asyndar s.r.o. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.asyndar.com/Pages/vstrikovani-princip.aspx>

21. Rozdělení vstřikovacích lisů. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. © 2015
www.mmspektrum.com [cit. 2015-05-04]. Dostupné
z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
22. Výroba forem. *NTZ*. [online]. COPYRIGHT © 2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné
z: http://www.ntzvsetin.cz/?page_id=67
23. Vakuové lití. *Syscae*. [online]. (C) 2013 Syscae s. r. o. [cit. 2015-04-30]. Dostupné
z: <http://www.syscae.cz/rapid-prototyping/>
24. Vakuové lití. *Materialise*. [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné
z: <http://www.materialise.cz/vakuove-liti>
25. Silikony a odlévané materiály. *W-servis s.r.o.* [online]. © 2015, Jaroslav Mašek [cit.
2015-05-15]. Dostupné
z: http://www.silikonycz.cz/index.php?section=silikony&material=mold_max_serie_k-silikon
26. Autodesk Inventor. *Wikipedie*. [online]. 14. 4. 2014 [cit. 2015-05-12]. Dostupné
z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor
27. Autodesk Inventor 2016. *CAD studio*. [online]. © Copyright 2015 CAD Studio a.s. [cit.
2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/inventor>
28. 3D tiskárna DimensionElite. *MCAE*. [online]. © 2015 MCAE SYSTEMS, s.r.o. [cit.
2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/dimension-elite>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Význam
3D	Three Dimensional/Trojrozměrný
FDM	Fused Deposition Modeling
ABS	Acrylonitril Butadien Styrol
PC	Polykarbonát
STL	Souborový formát pro ukládání prostorových těles
UV	Ultra Violet/ Ultrafialové záření
SLA	Stereolitografie
LOM	Laminated Object Manufacturing
CAD	Computer Aided Drawing
2D	Two Dimensional/dvojrozměrný
IPT	Souborový formát pro ukládání prostorových těles Inventoru
IAM	Souborový formát pro ukládání prostorových těles sestav Inventoru
DWG	Souborový formát pro ukládání 2D
CAM	Computer Aided Manufacturing

Symbol	Jednotka	Popis
N_c	[Kč]	celkové náklady na výrobu hotového krytu
N_k	[Kč]	náklady na výrobu samotného krytu
$N_{pú}$	[Kč]	jsou náklady na povrchovou úpravu
N_{sp}	[Kč]	náklady na koupi smirkových papírů
N_s	[Kč]	náklady na použité spreje při povrchové úpravě
N_t	[Kč]	jsou náklady práci provedenou za určitý čas
N_{mt}	[Kč]	náklady na koupi matného černého spreje
N_p	[Kč]	náklady na koupi plniče
N_{pl}	[Kč]	náklady na koupi průhledného laku
N_{zn}	[Kč]	náklady na koupi základního nástřiku
h	[Kč]	čas strávený na povrchové úpravě
F	[Kč]	náklady na hodinovou mzdu

SEZNAM PŘÍLOH

2015-BP-145415/SOUČÁST	Výkres součásti
2015-BP-145415/MODEL	Obrázek
2015-BP-145415/PROTOTYP	Obrázek