



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT  
INSTITUTE OF MANAGEMENT

# VÝROBA MODELU KRYTU LYŽAŘSKÉ HELMY S VYUŽITÍM CAD APLIKACE A MODERNÍ ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

MANUFACTURE OF A MODEL OF THE SKIING HELMET COVER USING A CAD APPLICATION  
AND MODERN ADDITIVE TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VOJTĚCH NAVRÁTIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2013

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Navrátil Vojtěch**

---

Ekonomika a procesní management (6208R161)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává bakalářskou práci s názvem:

**Výroba modelu krytu lyžařské helmy s využitím CAD aplikace a moderní aditivní technologie**

v anglickém jazyce:

**Manufacture of a Model of the Skiing Helmet Cover Using a CAD Application and Modern Additive Technology**

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Konstrukce modelu krytu lyžařské helmy v parametrickém programu SolidWorks

Výroba prototypového modelu krytu lyžařské helmy pomocí aditivní technologie Rapid

Prototyping (metoda FDM, popis, charakteristika dalších aplikovatelných metod)

Celkové zhodnocení a adekvátnost použitých metod (ekonomické přínosy, časová náročnost s ohledem na použitou výrobní technologii, cena)

Závěr

Seznam použité literatury

Seznam příloh

Seznam odborné literatury:

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. United Kingdom : Professional Engineering Publishing, 2004. 112 pp. ISBN 1860584659.

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

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. Vydání. Brno : CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference. Ostrava : VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 2005. 30 s. ISBN 80-248-0895-1.

TMS (The Minerals, Metals & Materials Society): Rapid Prototyping of Materials. USA : The Minerals, Metals & Materials Society. 2002. 615 pp. ISBN 0873395301.

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.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

L.S.

---

prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.  
Děkan fakulty

V Brně, dne 29.05.2013

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je zhotovení krytu lyžařské helmy. V práci je prakticky znázorněn kompletní proces, kterým musí model při své výrobě projít od počítačového 3D návrhu, přes nastavení jeho výroby v odpovídajícím softwaru až po jeho vlastní výrobu. Celá práce je ukončena ekonomickým zhodnocením a popisem přínosů.

## **Abstract**

The aim of this Bachelor thesis is to describe a process of making a ski helmet cover. The thesis virtually describes the whole process of manufacturing a cover, from its 3D computer design, and setting up its production according to an applicable software, to its actual production. The thesis concludes with an economic evaluation and description of the benefits.

## **Klíčová slova**

Rapid Prototyping, model, konstrukce modelu, FDM, SolidWorks, kryt helmy.

## **Key words**

Rapid Prototyping, Model, Construction of a Model, FDM, SolidWorks, Helmet Cover.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NAVRÁTIL, V. *Výroba modelu krytu lyžařské helmy s využitím CAD aplikace a moderní aditivní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2013. 60s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, PhD.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Výroba modelu krytu lyžařské helmy s využitím CAD aplikace a moderní aditivní technologie*“ vypracoval sám a s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny na seznamu v příloze této práce.

V Brně dne 31. 5. 2013

.....  
Vojtěch Navrátil

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu této bakalářské práce Ing. Josefu Sedlákovi, PhD. za cenné připomínky a rady, kterými mě nasměroval správným směrem. Dále bych chtěl poděkovat také svým rodičům, kteří mi studium na vysoké škole umožnili a v průběhu studia mě plně podporovali.

# Obsah

Úvod.....	10
1 Vymezení problému a cíle práce .....	12
2 Teoretická východiska.....	13
2.1 Etapy technologie RP .....	13
2.1.1 Preprocessing .....	13
2.1.2 Processing .....	13
2.1.3 Postprocessing .....	14
2.2 Základní postup při výrobě prototypu.....	14
2.2.1 Tvorba 3D modelu .....	14
2.2.2 Převod 3D modelu do formátu *.stl (Mozaikování).....	15
2.2.3 Řezání .....	15
2.2.4 Výroba modelu .....	15
2.2.5 Dokončování modelu.....	16
2.3 Charakteristika dalších aplikovatelných metod .....	17
2.3.1 Metody RP na bázi fotopolymerů.....	17
2.3.2 Metody RP na bázi práškových materiálů .....	20
2.3.3 Metody na bázi pevných materiálů.....	24
3 Konstrukce modelu krytu lyžařské helmy v parametrickém programu SolidWorks .....	28
3.1 Co je to SolidWorks? .....	28
3.1.1 Základní dokumenty programu SolidWorks.....	28
3.2 Konstrukce modelu helmy .....	29
4 Výroba modelu krytu.....	38
4.1 Data pro výrobu modelu krytu helmy .....	38
4.1.1 Formát ASCII .....	39
4.1.2 Binární formát.....	39



4.2	CatalystEX (verze 4.0.1) .....	40
4.3	Tisk modelu v tiskárně Dimension uPrint.....	44
4.4	Odstranění podpor z modelu .....	46
4.5	Dokončovací operace .....	46
5	Ekonomické zhodnocení .....	48
5.1	Náklady na výrobu krytu.....	48
5.2	Průzkum cen na trhu.....	48
5.3	Náklady na tisk v jiných institucích.....	51
	Závěr .....	53

## Úvod

Rok 1986 byl pro svět vědy a techniky velice přínosným. Sovětský svaz vypustil na oběžnou dráhu vesmírnou stanici Mir, společnost IBM odhalila světu první přenosný počítač Convertible a v oblasti strojírenských technologií zase došlo k vyvinutí první metody Rapid Prototypingu (RP), a sice Stereolitografie (SLA). (17) Její vývoj měl na svědomí Chuck Hull, který si metodu patentoval a v tom samém roce založil v Kalifornii firmu 3Dsystems. Ve svých počátcích ovšem metoda SLA postrádala přesnost a rychlost. Vytvoření konceptu modelu, natož potom funkčního prototypu trvalo mnohdy i měsíce, a stálo řádově tisíce dolarů. (16)

Počátek 90. let 20. století však přinesl s velkým rozmachem počítačových technologií i nové možnosti pro RP. Propojením 3D tiskárny s počítačem a využitím CAx aplikace se tisk 3D modelu zpřesnil a bylo možno vytisknout prakticky cokoliv. Během let poté vedle původní metody SLA vznikly i další. Některé z nich fungují buď na bázi práškových materiálů, jiné na bázi tuhých materiálů nebo na bázi fotopolymerů. (16) Popisu těchto metod se věnuje kapitola 2.3.

RP je tedy velmi mladá a žádaná technologie, kterou hojně využívají strojírenské firmy v případech, kdy chtějí do rukou dostat fyzickou podobu prototypu produktu, který se chystají vyrábět. Hlavní výhodou této technologie je hlavně rychlost výroby jednotlivých prototypů. Ta se sice různí podle metody, kterou si společnost pro výrobu prototypu zvolí, ale v porovnání s případem, kdy by se společnost rozhodla vyrobit prototyp např. klasickým obráběním, je časová a zároveň i finanční úspora značná. (11)

Charakteristickým znakem této technologie je fakt, že požadovaný model je vyráběn nanášením jednotlivých vrstev. Na rozdíl od obrábění, kde je materiál při výrobě systematicky odebírán, je při využívání této technologie postupně po vrstvách přidáván. V momentu, kdy je spodní vrstva modelu kompletní, se zařízení přizpůsobí tak, aby mohlo na již kompletní vytvrzenou vrstvu nanášet vrstvu další. Proces vrstvení se postupně opakuje do vzniku celého modelu. Výhodou této technologie je bezesporu i fakt, že v závislosti na vybrané metodě výroby může zákazník volit materiál, ze kterého požaduje mít model vyroben. Mimo plastových modelů je možno vyrábět např. i z kovu, keramiky či papíru. (11)

Modely, k jejichž výrobě byla použita tato technologie, mohou být aplikovány hned k několika možným účelům. Strojírenské společnosti využívají takto vyrobené modely např. pro účely prezentace nových nebo inovovaných výrobků a k ověřování designu výrobků, které plánují zavést do výroby. Prototypy, které jsou díky způsobu své výroby dostatečně odolné, pak mohou být využity i k zátěžovým zkouškám. Vedle strojírenství nachází technologie RP uplatnění např. i v lékařství, a sice při výrobě chirurgických pomůcek na míru, nebo při výrobě zakázkových protéz. (11)

Praktická část této bakalářské práce obsahuje výrobou krytu lyžařské helmy metodou FDM, což je metoda spadající do kategorie metod využívajících pevných materiálů. Lyžařská helma byla vyrobena firmou Briko S.r.l., zabývající se výrobou sportovního vybavení už více než 25 let. Firma vznikla v roce 1985. V té době se soustředila výhradně na výrobu lyžařských vosků, určených převážně pro italský lyžařský národní tým. Díky dobrým výsledkům italských lyžařů a rostoucímu odbytu zboží a s tím spojeným růstem zisků, se firma rozhodla zvětšit nabídku svých výrobků a začala vyrábět sluneční brýle, lyžařské helmy a sportovní lyžařské oblečení. V roce 1992 firma expandovala i na trh s cyklistickým vybavením a v roce 2003 potom pronikla mezi vyznavatele běžeckého lyžování. Do vývoje nových výrobků a technologií se firma již od začátku snažila zapojit i sportovní celebrity, které byly v daném sportu úspěšné, což jí logicky přineslo zvýšený zájem o její sportovní vybavení. Dnes je asi nejznámější celebritou propagující vybavení společnosti americká lyžařka Lindsey Vonn. (10)

# 1 Vymezení problému a cíle práce

Tato práce je zaměřená na problematiku technologie RP a v praxi demonstruje její silné stránky. Mezi ty bez diskuze patří možnost výroby součástí téměř jakéhokoliv tvaru (samozřejmě o přiměřené velikosti) a rychlost výroby, která je kolikrát i několikanásobně vyšší, než výroba jinými metodami. Mimo času potom technologie dokáže ušetřit i peníze. Hlavně v případech, kdy je možnost užívání určité věci závislá na jednom originálním dílu, který se např. rozbije nebo ztratí, jako je tomu v případě krytu lyžařské helmy.

Požadovaný cílem, který má být na konci této bakalářské práce dosažen, je tedy vyrobený kryt lyžařské helmy. Helma má na čele umístěno několik otvorů, které slouží pro větrání prostoru v helmě při jejím používání. Kryt byl původně umístěn na čele helmy jako pohyblivá součást. Jeho pomocí se tedy dalo regulovat množství vzduchu, které při používání do helmy proudilo. V současné době není regulace proudění vzduchu do helmy možná kvůli absenci originálního krytu. K dosažení vytyčeného cíle, je potřeba postupně splnit i několik dílčích.

V první řadě je nutné navrhnout model v CAD systému. Pro vizualizaci krytu ve 3D bude použit parametrický program SolidWorks. Tato práce zahrnuje detailní popis postupu, který byl při vytváření 3D modelu aplikován. Vytvořený model je následně v patřičném datovém formátu importován do softwaru, který tiskárnu obsluhuje a jehož pomocí se tisk spouští. Následně je zahájena výroba a po ní i potřebné dokončovací práce. Celý tento proces je zaznamenán v kapitolách 3 a 4.

Teoretická část práce se zaměřuje, s pomocí pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů, na základní teorii o procesu, kterým musí každý prototyp během vlastní výroby projít. V dalších částech se práce soustředí především na popis ostatních možných metod, které by se daly využít pro výrobu krytu helmy (kapitola 2). Výčet metod obsahuje i metodu Fused Deposition Modeling, která bude pro výrobu krytu použita.

## 2 Teoretická východiska

Proces výroby se při využití technologie RP rozděluje buď na jednotlivé etapy, nebo na jednotlivé kroky.

### 2.1 Etapy technologie RP

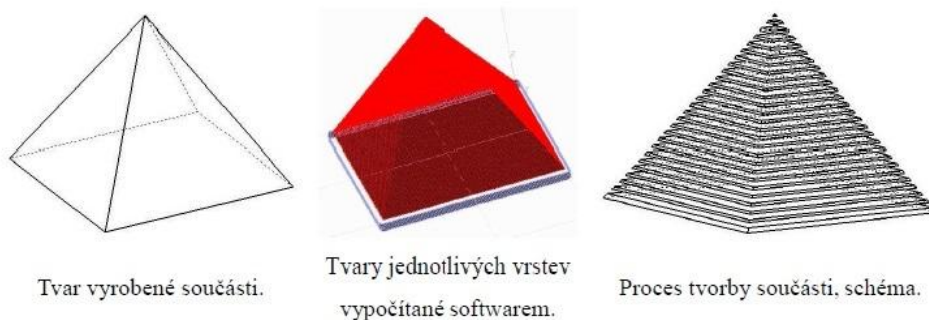
Při výrobě modelu pomocí RP se proces rozděluje na 3 různé etapy, a sice preprocessing, processing a postprocessing.

#### 2.1.1 Preprocessing

Do této etapy spadají všechny procesy, které je nutno provést před výrobou modelu. Tedy 3D návrh v parametrickém programu a převod dat z tohoto programu do \*.stl formátu. Pro tvary modelů, které nejsou samonosné, je potřeba vygenerovat strukturu podpor, aby se model během tisku nezhroutil. Podpory však není nutno generovat u všech metod RP. Do fáze preprocessingu patří i tzv. slicing neboli generování horizontálních řezů \*.stl dat modelu. (11) (15)

#### 2.1.2 Processing

Processing reprezentuje vlastní výrobu, kdy je model po jednotlivých vrstvách stavěn. Na Obr. 2.1 je vyobrazen postup, praktikovaný při výrobě modelů.



Obr. 2.1 Obecný postup technologie RP. (11)

Na samotnou výrobu se používají různé metody, které se rozdělují do tří skupin podle postupu výroby a materiálu, který při ní aplikují. (11) (15)

## 1. Metody na bázi fotopolymerů

- Stereolitografie – SLA.
- Solid Ground Curing – SGC.

## 2. Metody na bázi práškových materiálů

- Selective Laser Sintering – SLS.
- Direct Metal Laser Sintering – DMLS.
- 3D Printing.

## 3. Metody na bázi tuhých materiálů

- Laminated Object Modeling – LOM.
- Fused Deposition Modeling – FDM. (11) (14)

Popis metod se schémata je v kapitole 2.3.

### **2.1.3 Postprocessing**

Do postprocessingu spadají všechny úkony, které je nutno provést po výrobě modelu. Ty mohou spočívat např. ve vyjmutí modelu z výrobního zařízení nebo v odstranění podpor, které byly při stavbě modelu použity. Pokud to situace vyžaduje, a model je velmi křehký, může ho výrobce vytvrdit pomocí UV záření nebo napuštění speciální chemickou látkou. Jako poslední část postprocessingu přicházejí na řadu úkony jako obrábění, tmelení, nebo lakování. (11) (15)

## **2.2 Základní postup při výrobě prototypu**

Technologie RP využívá k výrobě prototypů hned několik základních metod. Přestože se tyto metody od sebe více či méně odlišují, při procesu výroby se dodržuje následující pořadí úkonů.

### **2.2.1 Tvorba 3D modelu**

Aby bylo možno prototyp vytisknout, je v první řadě potřeba dostat jeho fyzickou podobu s přesnými parametry do programu pro tvorbu 3D modelů. Je tedy nutné,

např. podle okótovaného nákresu modelu, zadat všechny jeho parametry a rozměry do tohoto programu, který potom na základě vložených údajů převede tyto papírové nákresy na trojrozměrný model. Pokud se finální vzhled modelu odlišuje od představ zadavatele, je možno jednotlivými úpravami vzhled doladit. Programy využívané k vizualizaci modelů jsou nazývané CAD programy (Computer-Aided Design). (3) (6) (9)

### **2.2.2 Převod 3D modelu do formátu \*.stl (Mozaikování)**

Druhý, neméně důležitý krok, spočívá v převedení 3D modelu na formát \*.stl (název je odvozený od Stereolitografie, první RP metody). Převedení mezi formáty bez problému zvládá samotný program pro tvorbu 3D modelu. \*.stl formát zobrazuje 3D model jako celek vytvořený z množství rovinných trojúhelníků (mozaika). Právě kvůli vizualizaci pomocí rovinných objektů se těžko znázorňují objekty obsahující oblé křivky. Přesnému zobrazení pomocí \*.stl se dá přiblížit použitím více menších trojúhelníků na úkor několika větších. Společně s přesností zobrazení tak roste i datová náročnost celého \*.stl souboru. (3) (5) (6) (9)

### **2.2.3 Řezání**

Třetí krok výrobního procesu spočívá v rozřezání modelu v \*.stl formátu na jednotlivé vrstvy. Díky tomu se určí pořadí nanášení jednotlivých vrstev. Při řezání je vhodné pamatovat na to, že čím méně vrstev bude model mít, tím bude stabilnější a pevnější. Proto je výhodné zvolit řezání kolmo k nejkratší straně modelu. Výsledná pevnost bude samozřejmě více či méně ovlivněna i zvolenou metodou výroby. Pomocí řezání navrhne počítač i strukturu a rozestavení podpor modelu, pokud to metoda vyžaduje. (3) (6) (9)

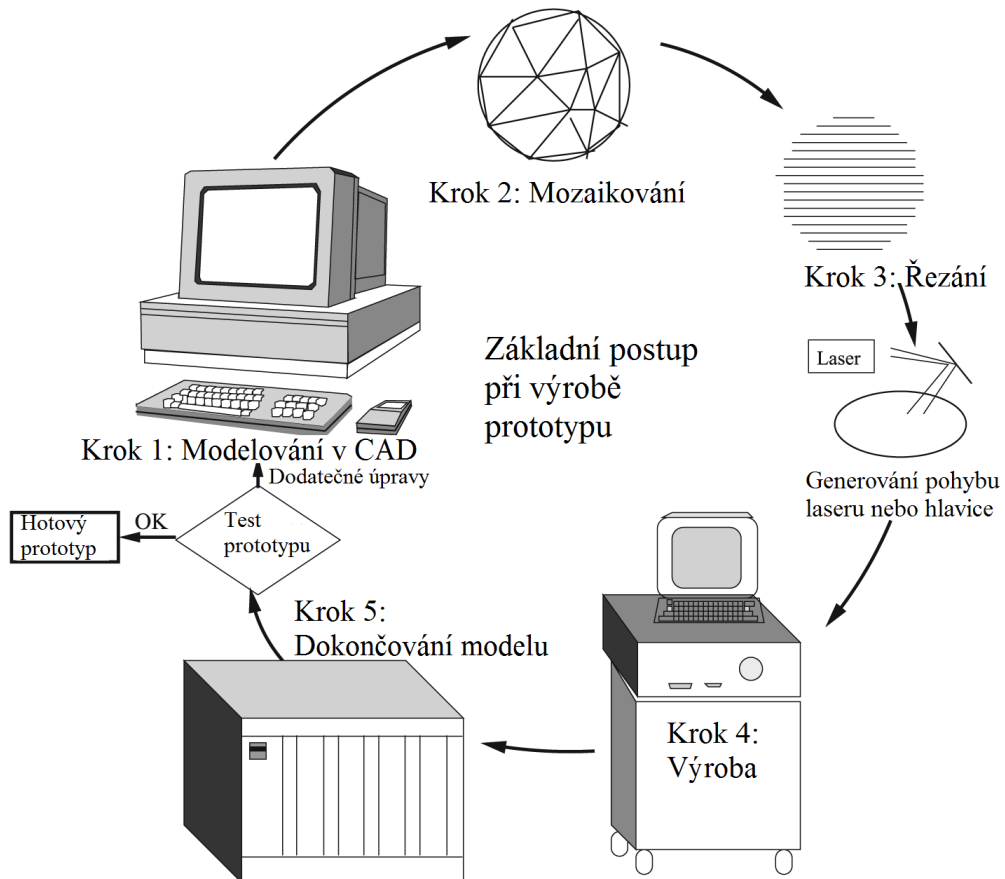
### **2.2.4 Výroba modelu**

Poté co model absolvuje proces řezání, je plně připraven na to, aby byl vyroben. Výroba probíhá jednotlivým nanášením vrstev v takovém pořadí, jaké bylo definováno ve třetím kroku procesu. Samotný způsob výroby závisí na zvolené metodě. Jejich přehled a popis je uveden v kapitole níže. Některé přístroje pro výrobu modelů pracují automaticky, některé potřebují při výrobě lidský zásah. (5) (6) (9)

### 2.2.5 Dokončování modelu

Dokončování je poslední fáze celého procesu výroby. V první řadě zahrnuje vyjmutí vyrobeného prototypu z 3D tiskárny, a odstranění podpor. V závislosti na zvolené metodě výroby může prototyp vyžadovat povrchovou úpravu, např. broušení, barvení atd. (6) (9)

Pořadí všech pěti výše popsaných kroků je znázorněno na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Základní postup při výrobě prototypu. (6)



## 2.3 Charakteristika dalších aplikovatelných metod

### 2.3.1 Metody RP na bázi fotopolymerů

Modely, vyráběné na bázi fotopolymerů jsou ve většině případů vytvářeny v nádobě se zkapalněnou pryskyřicí, kdy k samotnému vytvrzení jednotlivých vrstev dochází pod hladinou. Po vytvoření jedné vrstvy se rozpracovaný model ponoří o jednu úroveň níže, kde dochází k tvorbě další vrstvy. Tímto způsobem se vytvoří celý 3D model. Po dokončení modelu se zbývající kapalná pryskyřice odvede pryč a model je připraven pro další operace. Při komerčním využití těchto metod firmy u svých výrobků uvádějí, jaké metody skenování byly použity. Dále je důležité rozlišovat typy laserů, optických soustav a zvedacích mechanismů, se kterými byl daný model vyroben. (11)

#### Stereolitografie (SLA)

Tato metoda vůbec nejstarší metoda RP. Zároveň je díky vysoké přesnosti jednou z nejpoužívanějších vůbec.

Stroj, který slouží k výrobě modelů touto metodou, se skládá ze tří částí, a sice řídicí jednotky, opticko-laserového systému a pracovní komory. Pracovní komora je místem, kde celý model vzniká. Je naplněna tekutou pryskyřicí a obsahuje nosnou desku, která se pohybuje ve svislém směru a tvoří podklad pro celý model. Celý proces výroby je řízen počítačem, který je součástí řídicí jednotky. Opticko-laserový systém se skládá z pevnolátkového nebo plynového laseru, čoček a soustavy zrcadel, které slouží k přesnému usměrnění laseru na nosnou desku. Stavba modelu metodou SLA je založena na postupném vytvrzování jednotlivých vrstev pomocí laseru. Data parametrů a rozměrů čerpá řídicí jednotka z nahraného počítačového souboru, který obsahuje kompletní 3D podobu vyráběného modelu. Jednotlivé vrstvy jsou silné 0,05-0,15 mm. Po vytvrzení jedné vrstvy je o tuto hodnotu snížena nosná deska. Stírací čepel zarovná vrstvu na požadovanou tloušťku a celý proces se opakuje do doby, kdy je vytvořen celý model. (1) (9) (11) Názorně je proces zobrazen na Obr. 2.3.

Po ukončení tisku se prototypová součást vyjme z podpor. Následně se součást upraví v UV komoře, kde se jí dodá požadovaná integrita, barva, atd.

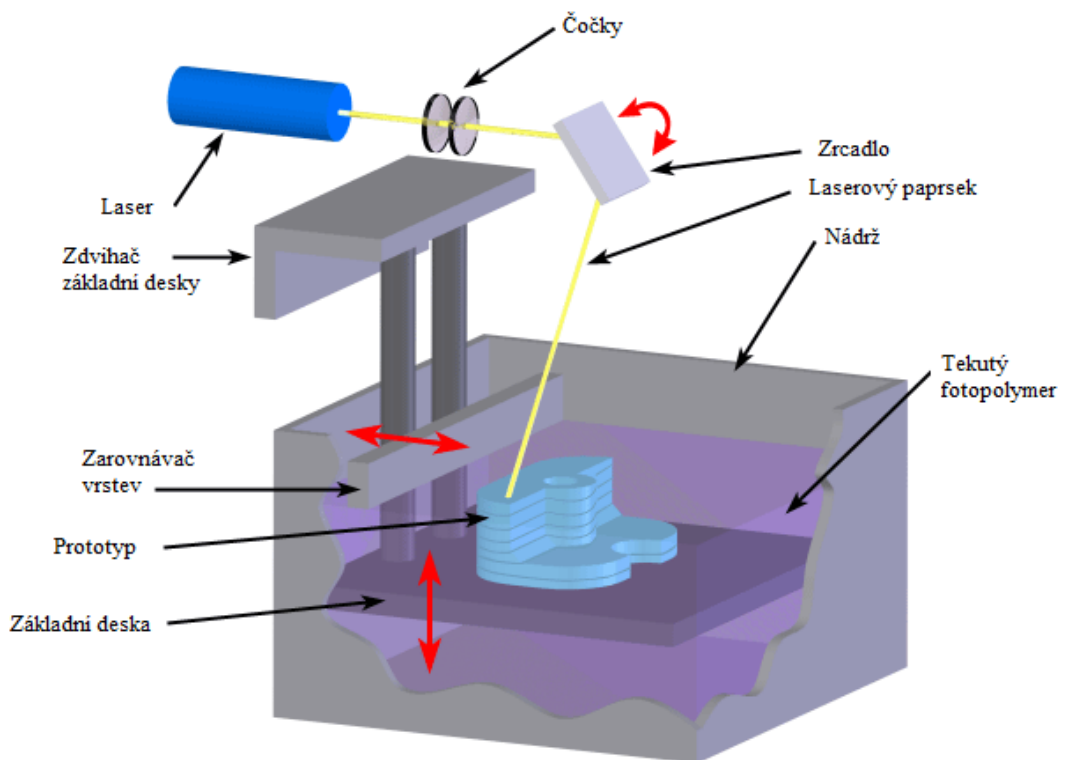
Metoda nachází využití hlavně v automobilovém průmyslu při výrobě modelů aut, na kterých se zkouší různé nástroje, technologické přípravky atd. (11)

### Výhody

- Možnost zhotovení objemnějších modelů.
- Vysoká jakost povrchu.
- Plynulý průběh procesu.
- Během procesu není třeba obsluhy. (11)

### Nevýhody

- Metoda vyžaduje úpravu povrchu modelu a následné sušení. (11)



Obr. 2.3 Schéma metody SLA. (1)

## Solid Ground Curing (SGC)

Proces výroby metodou SGC spočívá v osvětlení citlivého polymeru UV lampou. Na nosnou desku je nanášena tenká vrstva fotopolymerní pryskyřice, nad kterou je umístěna šablonová deska. Nanášená pryskyřice je po krátkodobém osvětlení UV lampy o výkonu 4kW vytvrzena. Následně se neosvětlený polymer odsaje a prostor, ve kterém polymer byl, se vyplní voskem, který slouží jako podpora pro další vrstvu. V některých případech je v rámci dokončovací fáze nutné vytvrdit celý model pod speciální UV lampou. Po finálním vytvrzení se musí odstranit podpory Obr. 2.4. U této metody se využívá chemického způsobu, a to sice kyseliny citrónové. (1) (9) (11)

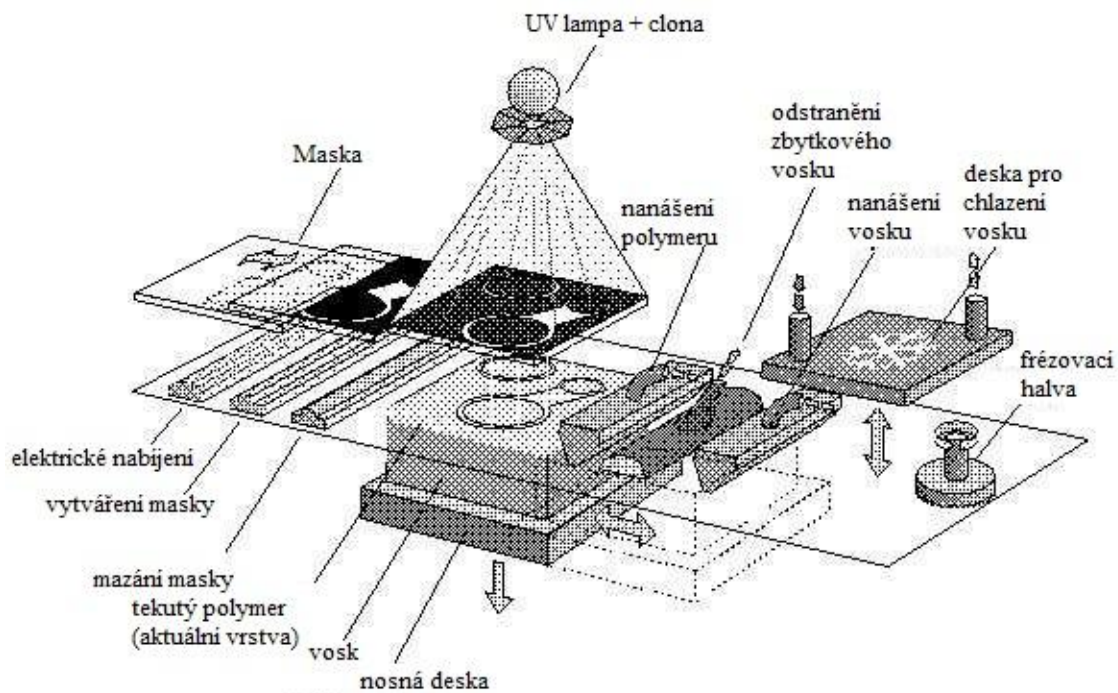
Využití této metody je hlavně v oblasti funkce a smontovatelnosti strojních součástí, ověřování designu a dále např. pro účely prezentace nových výrobků. Metoda se také hojně využívá v medicíně, a sice pro výrobu chirurgických pomůcek na míru, či pro výrobu zakázkových protéz. (11)

### Výhody

- Minimální smrštění modelu.
- Dobrá struktura a stabilita.
- Proces neprodukuje zápach. (11)

### Nevýhody

- Velké rozměry zařízení.
- Hlučnost zařízení.
- Tvorba odpadu. (11)



Obr. 2.4 Schéma metody SGC. (11)

### 2.3.2 Metody RP na bázi práškových materiálů

Tyto metody používají jako materiál k tvorbě modelů jemný prášek. Některé z těchto metod se svou charakteristikou podobají metodám založených na bázi fotopolymerů. (11)

#### Selective Laser Sintering (SLS)

Existuje několik druhů prášků použitelných pro tuto metodu. S pomocí různých druhů prášků tak můžeme zhotovit prototyp z kovu, plastu, pryže nebo například keramiky. Prášek je velmi jemný. Jeho částice mají velikost mezi 20-100  $\mu\text{m}$ . (1) (9) (11)

Po nanesení první vrstvy prášku na podkladovou desku, je prášek nataven působením  $\text{CO}_2$  laseru. K jeho spékání dochází pouze v místě, kam laser míří. Veškerý okolní prášek zůstává nespečen, a v dalších fázích výroby slouží jako podpora. Po dokončení první vrstvy je podkladová deska posunuta o jednu úroveň níž. Poté speciální válečkový mechanismus nanese další vrstvu prášku a proces se opakuje, dokud není celý model

hotov. Obr. 2.5. Po vyrobení modelu musí být provedeny nezbytné dokončovací operace, jako odstranění podpor, obrábění, broušení nebo leštění. (1) (9) (11)

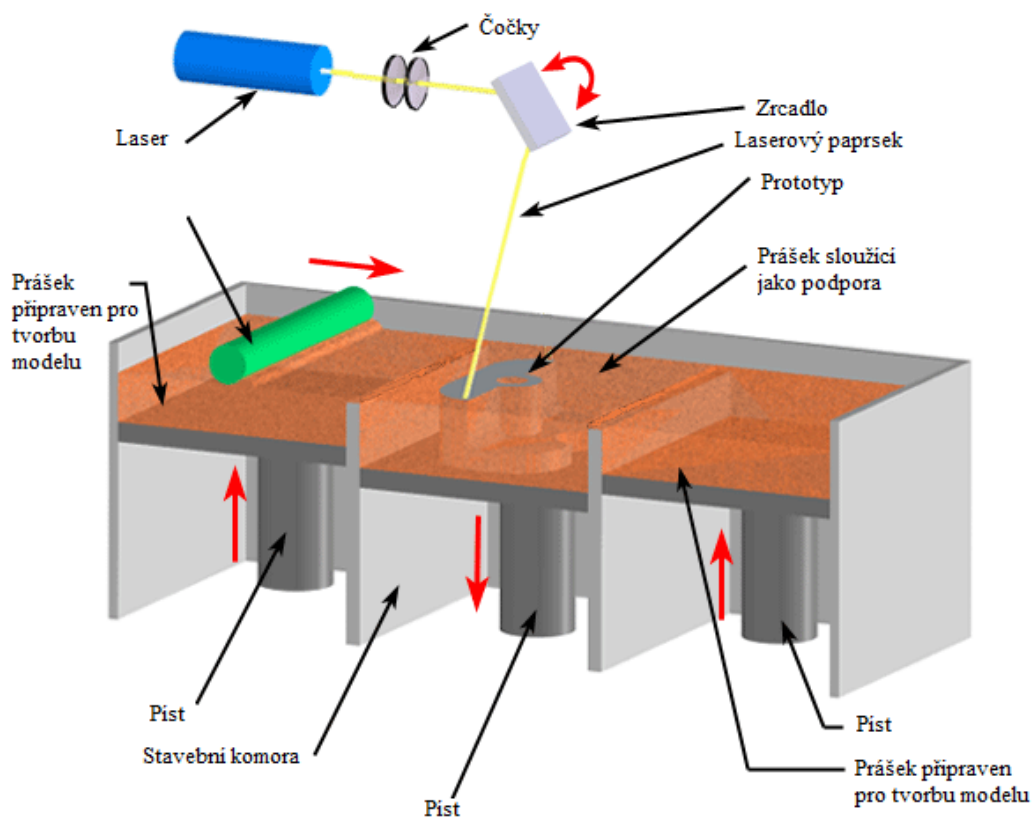
Metoda se používá hlavně pro výrobu forem a nástrojů pro výrobu kovových, keramických nebo plastových výrobků. (11)

Výhody

- Vysoká pevnost.
- Množství použitelných materiálů. (11)

Nevýhody

- Náročné zařízení – prostorově a energeticky.
- Nízká kvalita povrchu modelu – kvůli velikosti částic prášku. (11)



Obr. 2.5 Schéma metody SLS. (1)

## Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Tato metoda funguje na podobném principu jako metoda SLS. Pro tuto metodu jsou využívány výhradně kovové prášky. Vyráběné prototypy jsou tedy z kovu. Množství prášku, které je určeno pro jednu vrstvu je nastaveno dávkovacím zařízením. Rameno s keramickým břitem poté rovnoměrně rozprostře prášek na povrch ocelové platformy. Na rozprostřený prášek dopadá laserový paprsek. Prášek se v místě dopadu laseru roztavuje a následně tuhne do pevného stavu. Díky ocelové platformě, která odvádí teplo z místa dopadu paprsku, tuhne prášek velmi rychle. Obr. 2.6. Pracovní komora bývá často vyplněna dusíkem, což chrání model před oxidací. (1) (9) (11)

Nejčastěji používané materiály ve formě kovových prášků:

- Nerezová ocel EOS GP1.
- Slitina bronz-nikl DM 20.
- Ocel DS 20.

Metoda vyžaduje stavbu podpor, které jsou tvořeny nespečeným práškem v okolí modelu. Nezbytnou součástí výrobního procesu jsou další dokončovací operace, jako odstranění podpor, broušení, leštění atd. (9) (11)

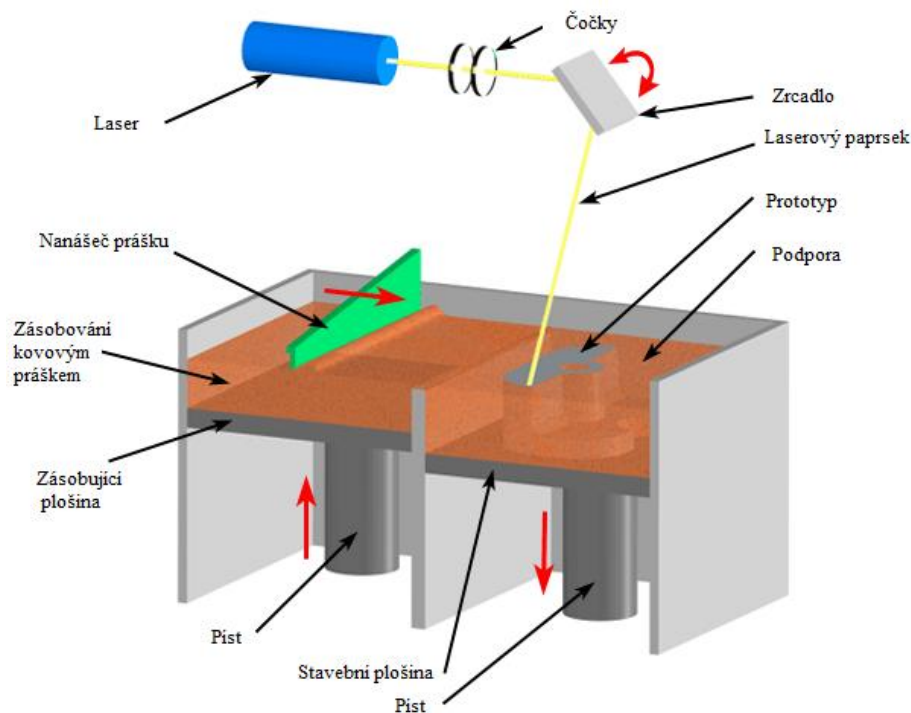
Pro rychlou a zároveň přesnou výrobu plně funkčních modelů získává DMLS pevnou pozici mezi ostatními metodami. Modely vyrobené touto metodou jsou velmi odolné a nacházejí využití v mnoha odvětvích a to zejména v leteckém, automobilovém nebo elektronickém. (9) (11)

### Výhody

- Vysoká pevnost.
- Množství použitelných materiálů. (11)

### Nevýhody

- Náročné zařízení – prostorově a energeticky.
- Nízká kvalita povrchu modelu – kvůli velikosti částic prášku. (11)



Obr. 2.6 Schéma metody DMLS. (1)

### 3D Printing (3DP)

Výrobní proces této metody je velmi podobný metodě SLS, s rozdílem že místo laserové hlavy je stroj opatřen hlavou tiskovou, která na místo vzniku modelu přivádí pojivo, které spojuje stavební materiál. Obr. 2.7. Proces výroby modelu začíná nanesením vrstvy prášku na základní desku pomocí válce, který prášek rovnoměrně rozprostře. Po nanesení práškové vrstvy začne tisková hlava nanášet pojivo do požadovaných míst, ve kterých prášek při kontaktu s pojivem tuhne. Takto se vytvoří celá vrstva. Prášek, který nebyl vytvrzen pojivem, zůstává v okolí vyráběného prototypu a slouží jako jeho podpora. Po vytvrzení celé vrstvy se základní deska posune o úroveň výšky jedné vrstvy dolů, válec nanese vrstvu novou a celý proces se opakuje do doby, než je součást kompletní. (1) (9) (11)

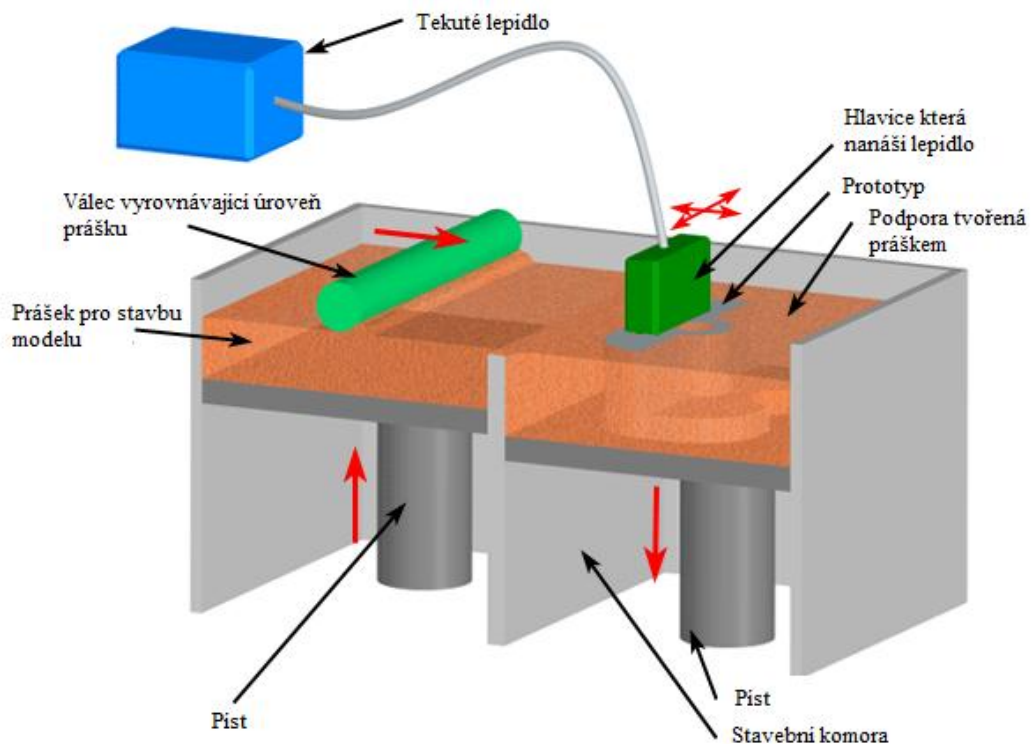
Práškové materiály využívané pro tuto metodu jsou buď z kovu, nebo keramiky. Jedná se o nejrychlejší metodu výroby prototypů (2-4 vrstvy za minutu). Kvůli rychlosti, se kterou jsou prototypy vyráběny, ovšem modely ztrácí na pevnosti nebo také na kvalitě povrchu. Používají se především pro prezentace či vizualizace nových či inovovaných výrobků. (1) (9) (11)

## Výhody

- Rychlost tisku.
- Možnost tisknout barevně. (11)

## Nevýhody

- Nízká přesnost modelu.
- Nižší kvalita povrchu. (11)



Obr. 2.7 Schéma metody 3D Printing. (1)

### 2.3.3 Metody na bázi pevných materiálů

Společným znakem metod na principu tuhé báze je ten, že k výrobě prototypu využívají tuhý materiál. Metody jsou velmi odlišné např. od metod založených na kapalně bázi. Jedním z mála společných znaků je využití laser, jako prostředek pro tvrzení materiálu. (11)



## Laminated Object Modeling (LOM)

Modely, které jsou vyrobeny touto metodou, jsou tvořeny velkým množstvím vrstev fólie Obr. 2.8. Fólie je odvíjena z válce na základní desku, na které model vzniká. Laser, který s pomocí zrcadla míří na základní desku, potom začne vytvrzovat vrstvu fólie do požadovaného tvaru. Následně je celá vrstva přitlačena vyhřívaným válcem k té spodní, dojde k navinutí nové vrstvy fólie a celý proces se opakuje do doby, kdy je model zhotoven. Jako materiál pro tvorbu modelu lze u této metody zvolit papír, plasty, kovy nebo i keramiku. (1) (9) (11)

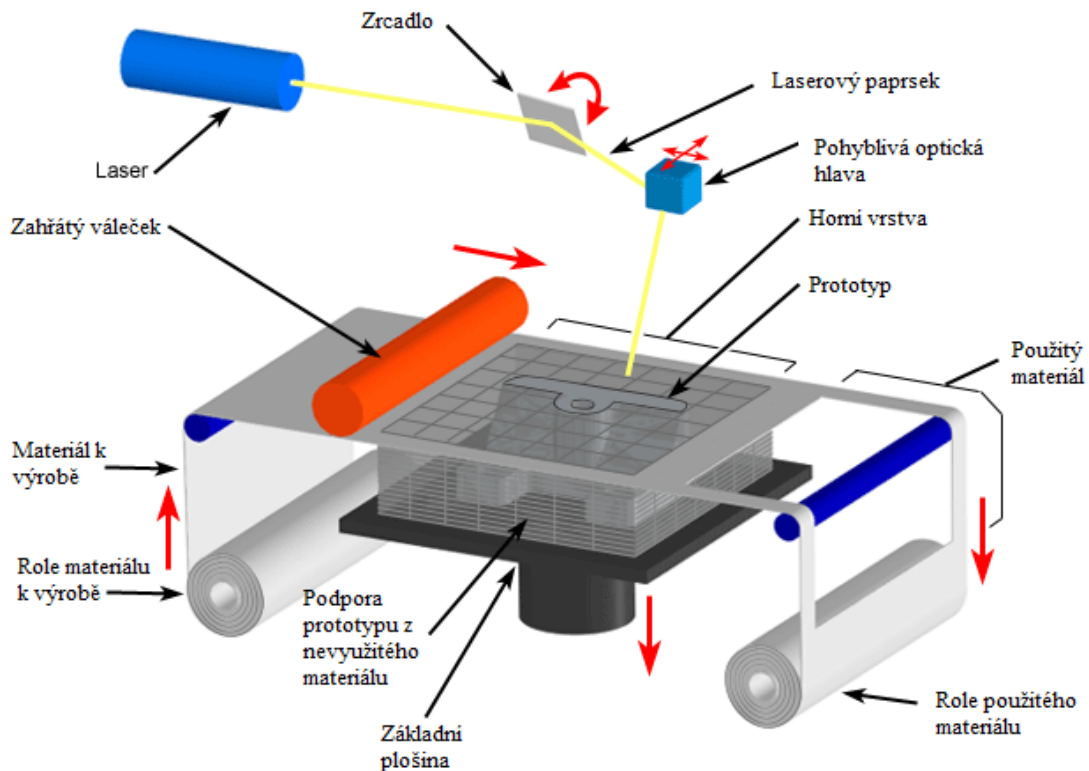
Vyrobenou součást lze následně upravit běžnými obráběcími metodami. Modely vzniklé touto metodou se používají především pro účely vizualizace při prezentaci nových výrobků. (11)

### Výhody

- Možnost použít jakýkoliv materiál ve formě fólie (papír, plast, kovy, keramika).
- Rychlost.
- Ekologický proces. (11)

### Nevýhody

- Nevhodné pro modely s tenkými stěnami.
- Velké procento odpadu. (11)



Obr. 2.8 Schéma metody LOM. (1)

### Fused Deposition Modeling (FDM)

Tato metoda se řadí mezi ty vůbec nepoužívanější. Výroba modelu touto metodou spočívá v natavování termoplastického materiálu, který je navinut v podobě drátu na cívce Obr. 2.9. K procesu výroby modelu jsou zapotřebí cívky dvě. Jedna se samotným materiálem, ze kterého je tvořen model, druhá potom s materiálem, který je nanášen jako podpora modelu. Materiál odvíjený z cívky je natlačován do vyhřívané trysky, kde je roztaven a v kapalně formě je následně vytlačován ven na základní desku na požadované místo. Tam vytlačený plast ztvdne a přilepí se k předchozí vrstvě. Tryska, která nanáší materiál na základní desku, se při stavbě modelu pohybuje v rovině XY. Po dokončení celé jedné vrstvy se posune o tloušťku jedné vrstvy v ose Z nahoru a začne tisk vrstvy další. Celý proces se opakuje, dokud není model dokončen. (1) (9) (11)

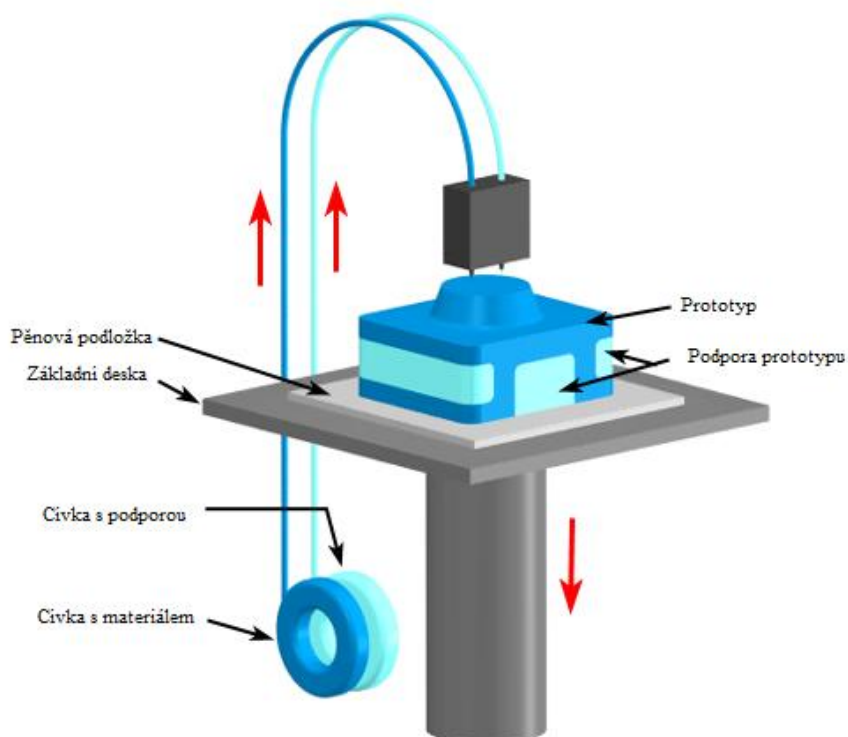
Modely, které jsou vyrobené touto metodou, se používají především při testování designu a funkčnosti úplně nových nebo inovovaných produktů. Díky vysoké pevnosti materiálů, které se při této metodě využívají, lze takto vyrobené modely vystavit realistickému zatížení. (11)

#### Výhody

- Prototypy se vlastnostmi blíží konečným produktům.
- Minimální odpad.
- Proces výroby není hlučný. (11)

#### Nevýhody

- Omezená přesnost.
- Proces nelze urychlit. (11)



Obr. 2.9 Schéma metody FDM. (1)

## **3 Konstrukce modelu krytu lyžařské helmy v parametrickém programu SolidWorks**

Následující kapitola se podrobně věnuje popisu návrhu modelu, který vznikl v programu pro zhotovení 3D návrhů SolidWorks 2010.

### **3.1 Co je to SolidWorks?**

SolidWorks je parametrický program, pro automatizaci strojírenského designu. Hlavní silou tohoto programu je rychlé skicování a parametrické modelování dílů, a jejich sestav ve 3D. Nespornou výhodou je i fakt, že díly navrhnuté v SolidWorks mohou být v krátké době převedeny do fyzické podoby za pomoci 3D tiskárny. (19)

#### **3.1.1 Základní dokumenty programu SolidWorks**

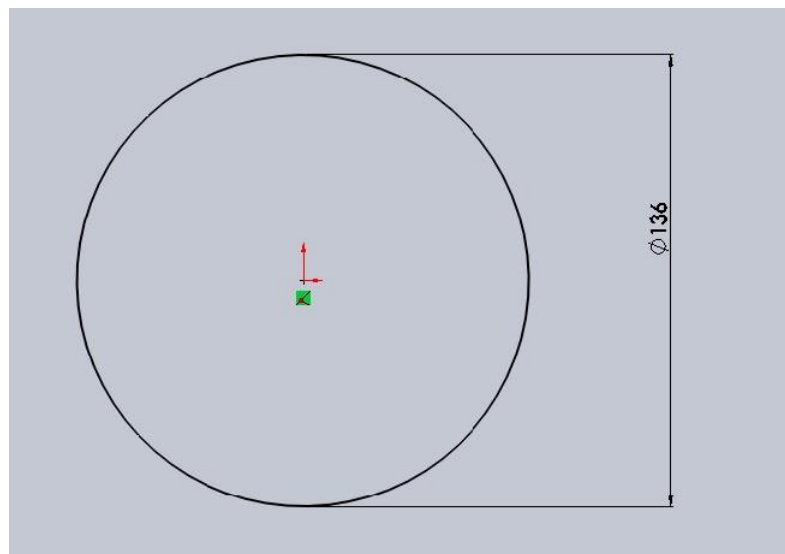
Základní dokumenty, které je možno v SolidWorks vytvořit jsou díly, sestavy a výkresy

- Díly – jsou základními stavebními kameny celého programu. Pokud hovoříme o dílu, myslím tím model libovolné součásti, které je celistvá a tvořena jedním druhem materiálu. Informace o dílu, které vzniknou při jeho vytváření, pak program uloží do dokumentu s příponou \*.sldprt. (19)
- Sestavy - jsou to soubory tvořené různými subjekty, které mezi sebou mají určité vztahy. Subjekty je myšleno buď samostatné díly, nebo i další sestavy, které se v takovémto případě nazývají podsestavami. Díly a podsestavy propojené v sestavě, jsou vzájemně propojené v souboru, který jí reprezentuje. Sestava tedy nemůže existovat bez všech potřebných souborů, které má v sobě obsaženy. Soubor reprezentující sestavu je označen zkratkou \*.sldasm. (19)
- Výkresy – je to grafická prezentace modelu. Tvoří základní součást výrobní dokumentace a je uváděna buď v tištěné, nebo elektronické podobě. Dokumenty reprezentující výkresy mají příponu \*.sldasm. (19)

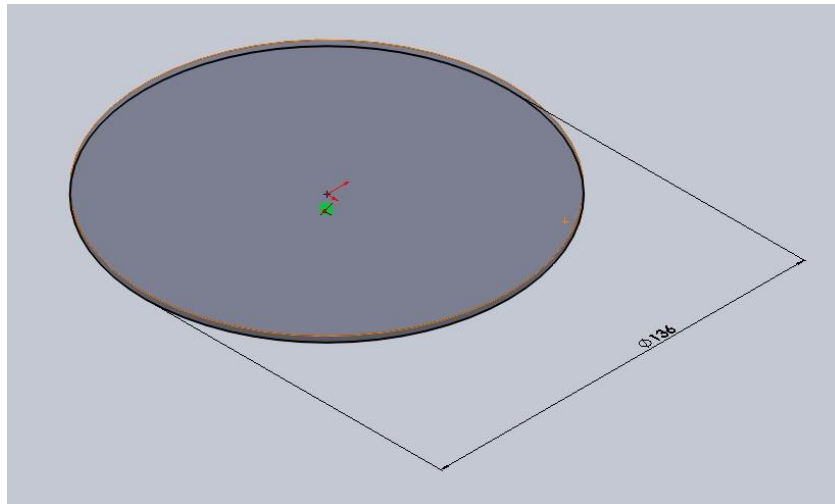
### 3.2 Konstrukce modelu helmy

Popis návrhu krytu se ovšem nebude nořit tak hluboko do problematiky vytváření sestav, ale vystačí si pouze s problematikou návrhu dílů.

Pro zjednodušení návrhu a možnost částečně zanedbat i vyměřování některých křivek, které by díky svým oblým a nepravidelným tvarům bylo velmi obtížné přesně zachytit, bylo vycházeno z předpokladu, že půdorys krytu je tvořen kružnicí. Při zakreslení tří pomyslných hlavních vrcholů krytu a jejich spojení vznikl rovnoramenný trojúhelník. Poloměr kružnice opsané tomuto trojúhelníku měl hodnotu 68 mm, proto prvním krokem návrhu byla skica kruhu situována do horní roviny o poloměru 136 mm Obr. 3.1. Následně byla tato kružnice pomocí funkce „Přidání vysunutím“ vyzdvižena a vznikl válec o výšce 2 mm Obr. 3.2. To je hodnota, která byla změřena jako tloušťka krytu.

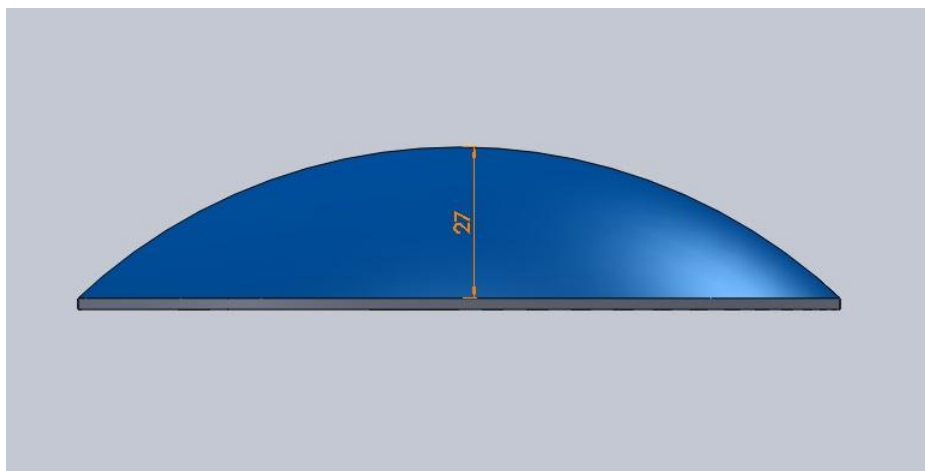


Obr. 3.1 Půdorys krytu. (14)

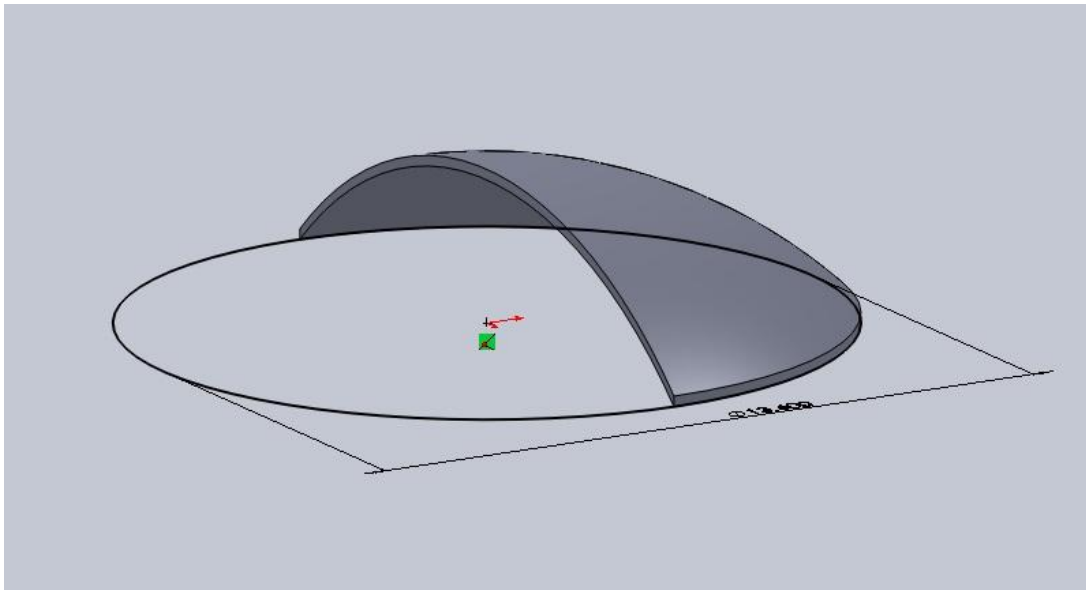


Obr. 3.2 Vytvoření válce o výšce 2 mm. (14)

Ve druhém kroku návrhu byl zachycen pravidelný kopulovitý tvar, kterým celý kryt disponuje. Jako první byla kopule vytvořena na horní straně válce. Nejprve byla celá horní strana označena a s využitím funkce „Kopule“ byl oblý vrch válce vyprofilován. Výška kopule byla určena na 27 mm, tedy o 2 mm méně, než celý kryt skutečně na výšku měří Obr. 3.3. Dva mm, které schází, jsou obsaženy ve výšce válce z předchozího kroku. Dále bylo nutné udělat ten samý krok, ale z druhé strany, tedy vytvořit kopuli na spodní straně. Vzniklý objekt je zobrazen za pomoci řezu na Obr. 3.4.

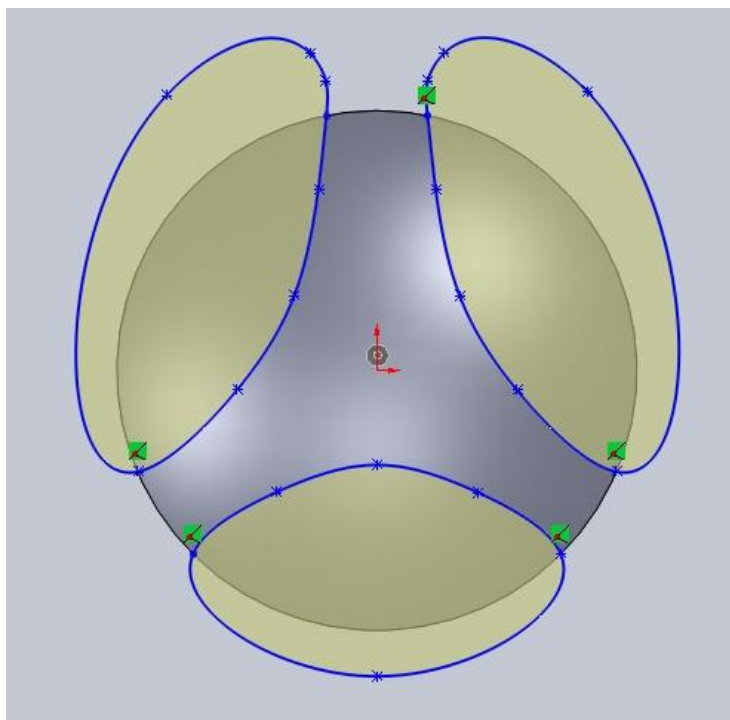


Obr. 3.3 Vytvarování kopule na horní straně. (14)

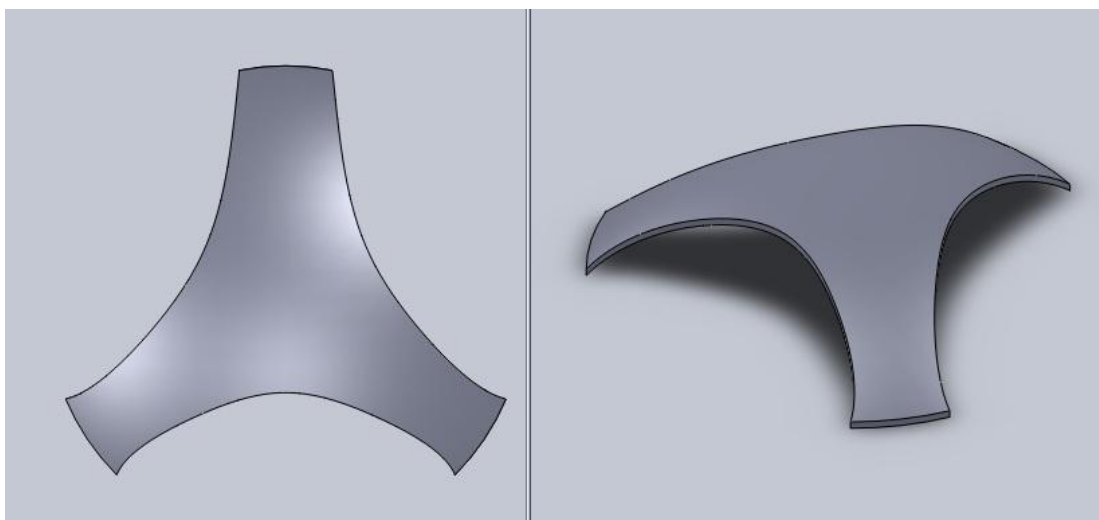


Obr. 3.4 Vytvarování kopule na spodní straně (řez). (14)

V následujícím kroku návrhu byla odebrána poměrně velká část kopule, aby byl dosažen finální tvar krytu. Do půdorysu horní roviny byly postupně pomocí funkce „Splajn“ zakresleny dva totožné nepravidelné ovály po stranách krytu, a jeden nepravidelný ovál v jeho čele. Jak již bylo zmíněno, kvůli složitým a těžko změřitelným křivkám oblého krytu nebyl tvar oválů, které svými křivkami určují hrany krytu, přesný. Lze však konstatovat, že ve finálním výsledku se křivky navrhnuté v tomto programu těm reálným velice blíží Obr. 3.5. Po zakreslení oválů byl pomocí funkce „Odebrání vysunutím“ vyprofilován téměř výsledný tvar krytu Obr. 3.6.



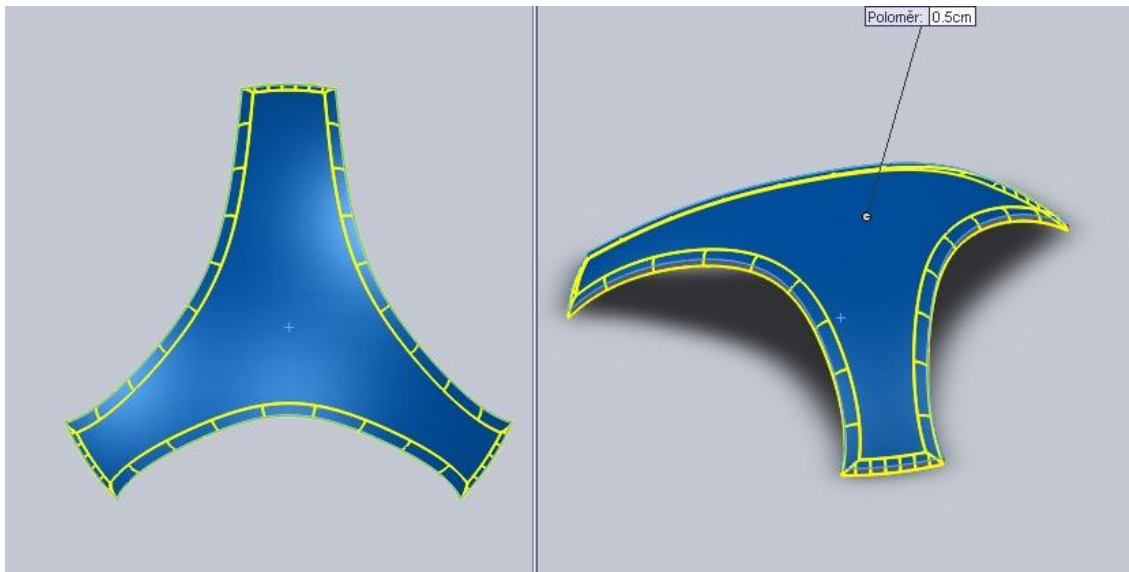
Obr. 3.5 Splajny tvarující části kopule. (14)



Obr. 3.6 Kryt helmy (horní a izometrický pohled). (14)

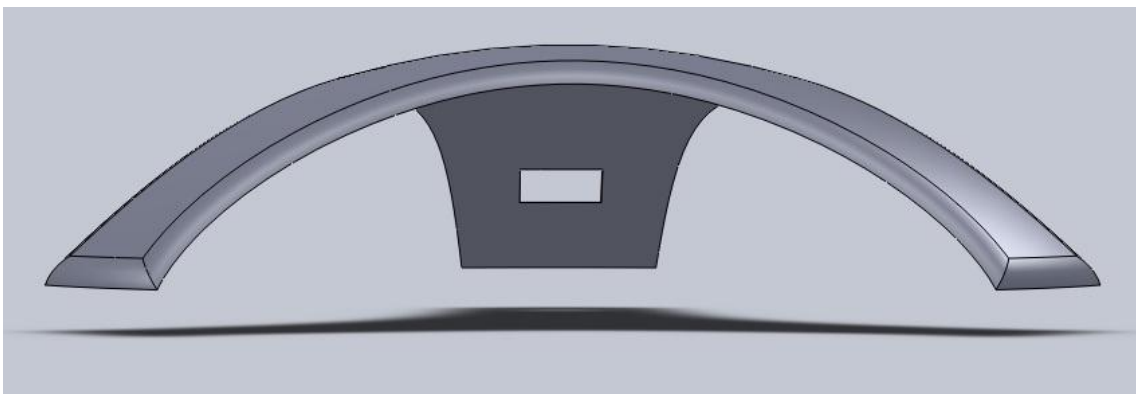
Pro lepší vzhled krytu a otupení jeho ostrých hran byly v dalším kroku všechny hrany označeny, a pomocí funkce „Zaoblit“ byl jejich tvar zaoblen. Poloměr zaoblení byl zvolen na 5 mm. Zaoblení je možno vidět na Obr. 3.7, kde jsou znázorněny hrany a dosah zaoblení žlutou barvou.





Obr. 3.7 Zaoblení hran krytu (horní a izometrický pohled). (14)

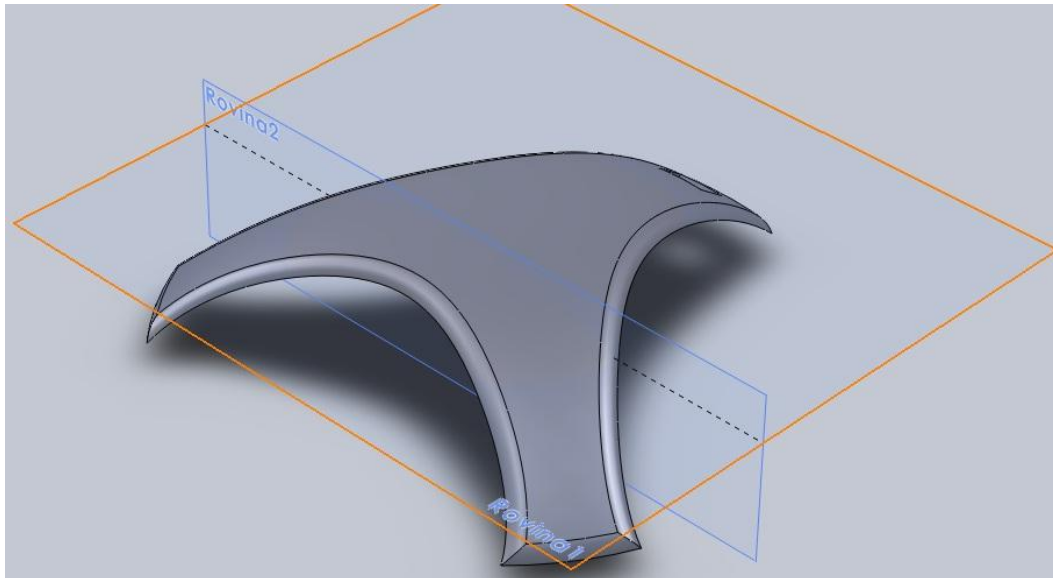
Přidání obdélníkového otvoru do zadní části krytu je čistě inspirováno originálním krytem, kde se tento prvek taktéž vyskytuje. Do přední roviny je načrtnuta skica obdélníku o rozměrech 11x5 mm, která pak prostřednictvím funkce „Odebrání vysunutím“ odebrává část krytu v jeho zadní části. Tento otvor žádné praktické využití nemá, jedná se pouze o designový prvek Obr. 3.8.



Obr. 3.8 Otvor v zadní části helmy. (14)

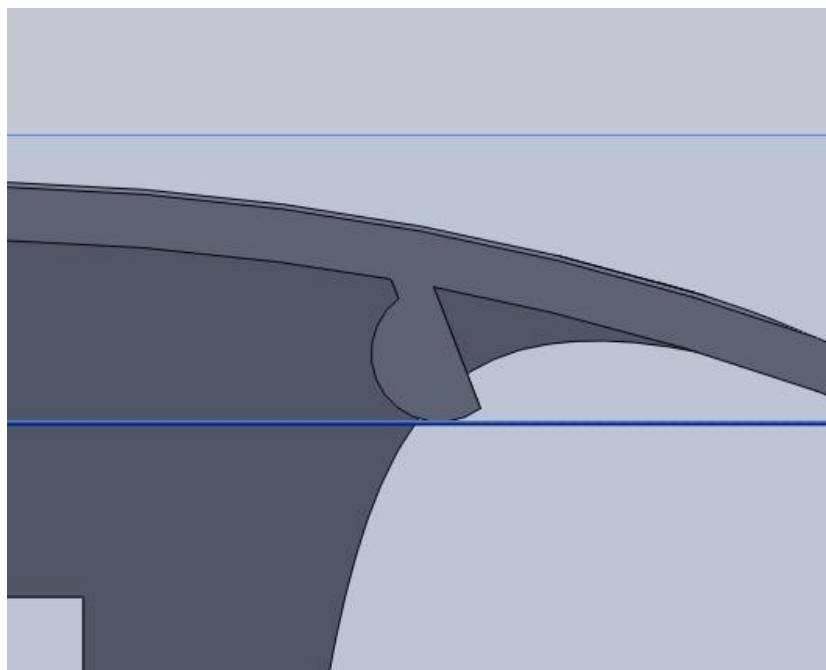
V této chvíli je základní tělo krytu hotovo a jediné, co zbývá k jeho dokončení, je vytvoření úchytů, které budou celý kryt držet připevněný k helmě. Za účelem vzniku úchytů byly vytvořeny dvě roviny. Rovina1, která je rovnoběžná s horní rovinou, a ční nad ní ve výšce 20 mm, což je výška, ve které je zadní úchyt i u originálního krytu. Rovina2 je rovnoběžná s přední rovinou a umístěna 17,5 mm od horní hrany čela, což

je vzdálenost, ve které od horní hrany čela leží oba přední úchyty. Obě roviny jsou znázorněny na Obr. 3.9. Rovina1 je zvýrazněna oranžovou barvou. Přerušovaná čára znázorňuje průsečnici obou rovin.

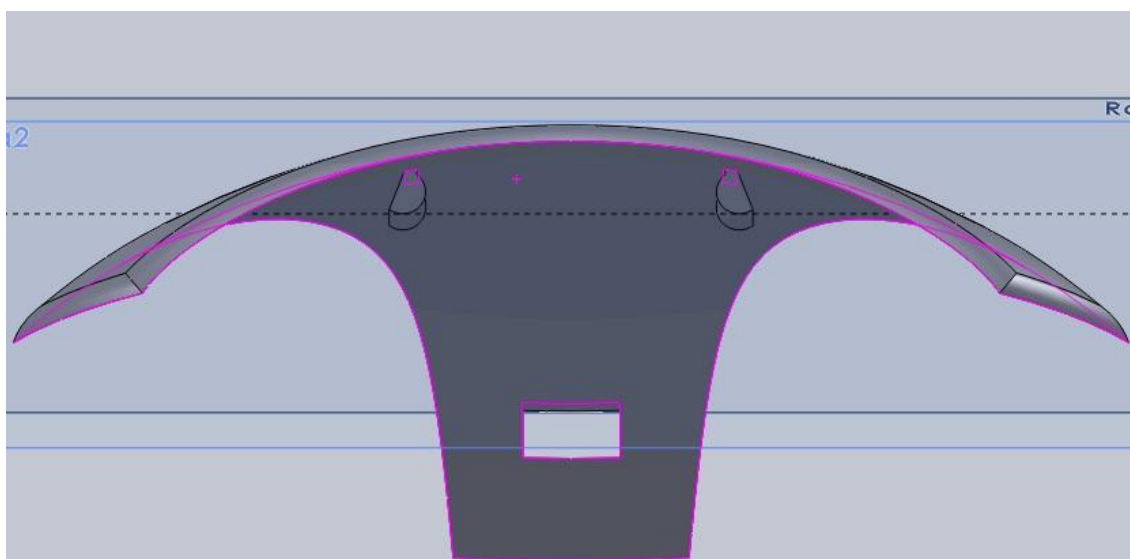


Obr. 3.9 Roviny. (14)

Nejprve byly vymodelovány přední úchyty. Při jejich modelování byla využita skutečnost, že úchyty jsou osově souměrné podle středové roviny. Vzdálenost mezi oběma úchyty byla změřena na 34 mm. Do roviny 2 byla tedy zakreslena skica pravého předního úchyty ve vzdálenosti 17 mm od středové roviny. Poté byla skica převedena na samotný úchyt pomocí funkce „Přidání vysunutím“, kdy byla vysunuta o 7 mm směrem k zadní části Obr. 3.10. Tvar úchyty z předního pohledu připomíná půlkruh připevněný na horní stěně. Tento tvar úchyty byl inspirován úchyty na originálním dílu, které tam dříve bez problému plnily svou funkci přichycení krytu. Následně byl celý pravý přední úchyt označen a pomocí funkce „Zrcadlit“ byl podle pravé roviny zrcadlově zkopírován i na druhou stranu stěny krytu Obr. 3.11.



Obr. 3.10 Pravý přední úchyt. (14)

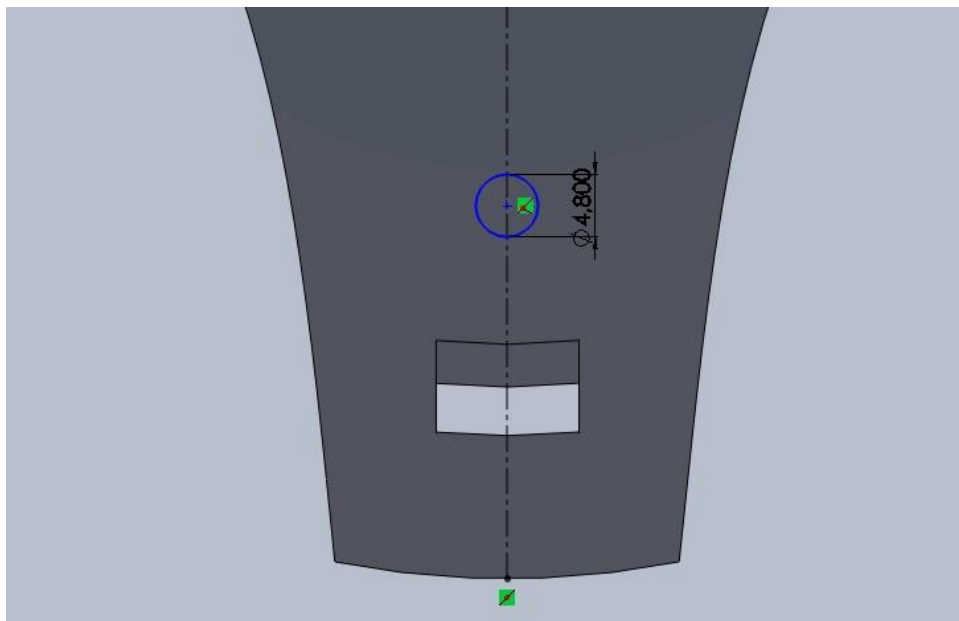


Obr. 3.11 Přední úchyty. (14)

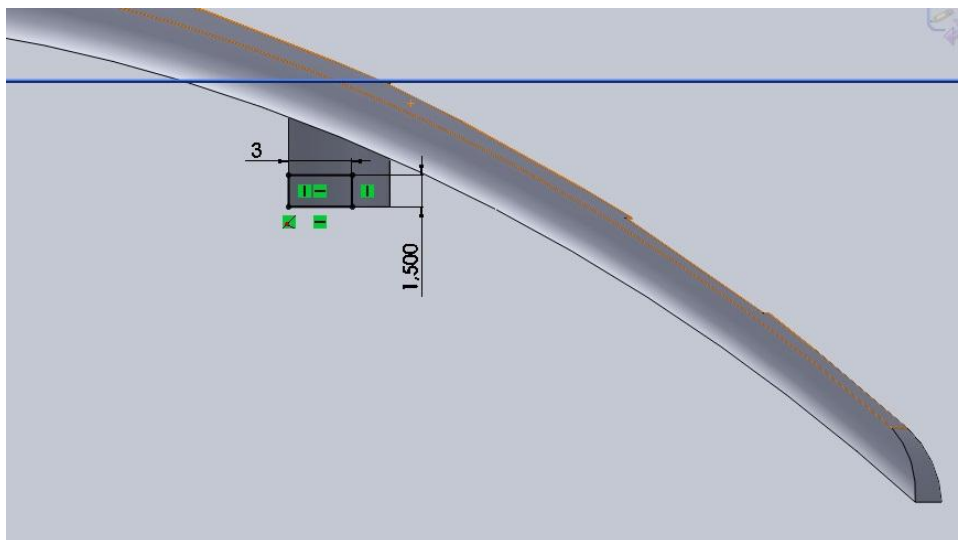
V tuto chvíli zbývá poslední věc, a sice návrh a modelování zadního úchytu. Pro jeho větší pevnost a stabilitu bylo rozhodnuto o drobných změnách v návrhu úchytu, v porovnání s originální částí. Zatímco originální část byla tvořena dvěma úchyty velmi blízko středu, u tohoto krytu bylo rozhodnuto o vytvoření jednoho středového panelu, který bude díky svému průměru stanovenému na 4,8 mm pevnější a stabilnější Obr. 3.12. Střed panelu je situován do roviny I na stejné místo, na kterém u originálního

krytu byly dva původní úchyty, což je 29 mm od zadní hrany krytu. Pomocí funkce „Přidání vysunutím“ byl poté vysunut panel o 6 mm směrem dolů.

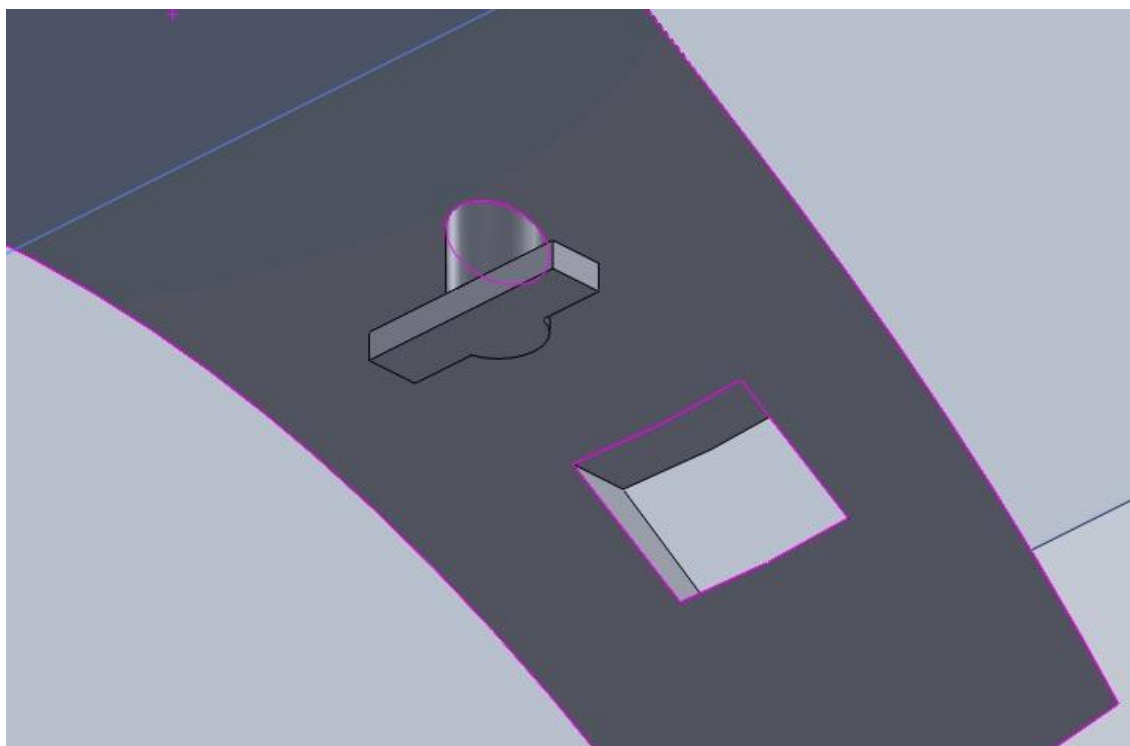
Aby kryt na helmě pevně držel, bylo nutno přidat na panel ještě dva poslední úchyty. Do pravé roviny byla nakreslena obdélníková skica o rozměrech 1,5x3 mm, situována do přední části panelu Obr. 3.13. Následně byla pomocí funkce „Přidání vysunutím“ vytažena do strany o 6 mm. Tím vznikla pravá část úchyty, který byl poté označen a pomocí funkce „Zrcadlit“ byl zrcadlově převrácen dle pravé roviny do levé části krytu Obr. 3.14.



Obr. 3.12 Panel zadního úchyty (ze spodního pohledu). (14)



Obr. 3.13 Pravý úchyt na panelu (z pravého pohledu). (14)



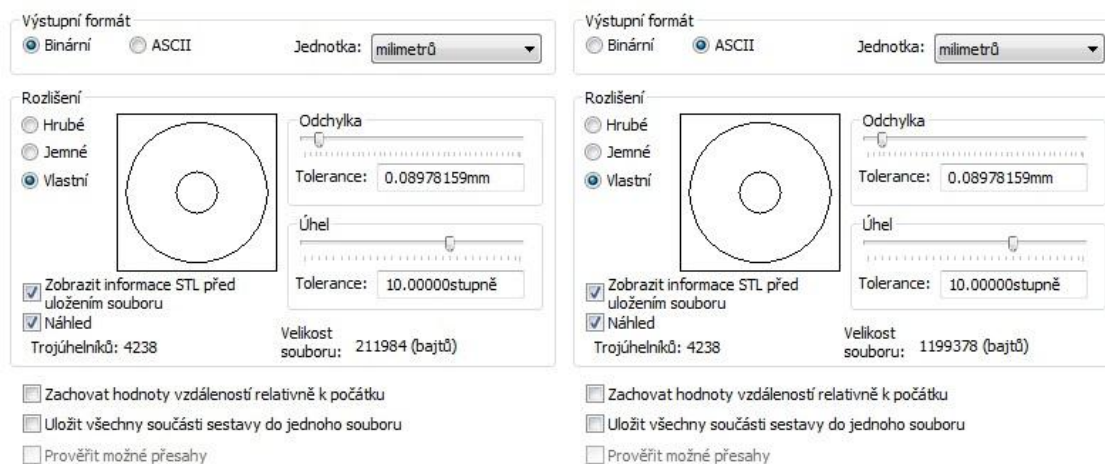
Obr. 3.14 Zadní úchyt (pravý dolní pohled). (14)

## 4 Výroba modelu krytu

Kryt byl vyroben v 3D tiskárně Dimension uPrint. Před zahájením výroby je nutné importovat data modelu do počítače a nastavit vlastnosti tisku. Poté je možno přistoupit k výrobě. (15)

### 4.1 Data pro výrobu modelu krytu helmy

Aby mohl být model vyroben ve 3D tiskárně, je zapotřebí vstupních dat ve formátu \*.stl. Data mohou být dodána buď ve formátu ASCII, nebo v binárním formátu. Výhodou formátu ASCII je jeho přehlednost. Jeho nevýhodou je potom velká datová náročnost. Datovou úsporu potom lze zaznamenat dodáním dat v binárním formátu, ovšem za cenu velké nepřehlednosti. (15) Z uvedených čísel na Obr. 4.1 je vidět, že model krytu potřebuje na své přesné určení 4238 trojúhelníků. Při použití binárního formátu je patrné, že oproti formátu ASCII bude datová úspora přibližně pětinasobná.

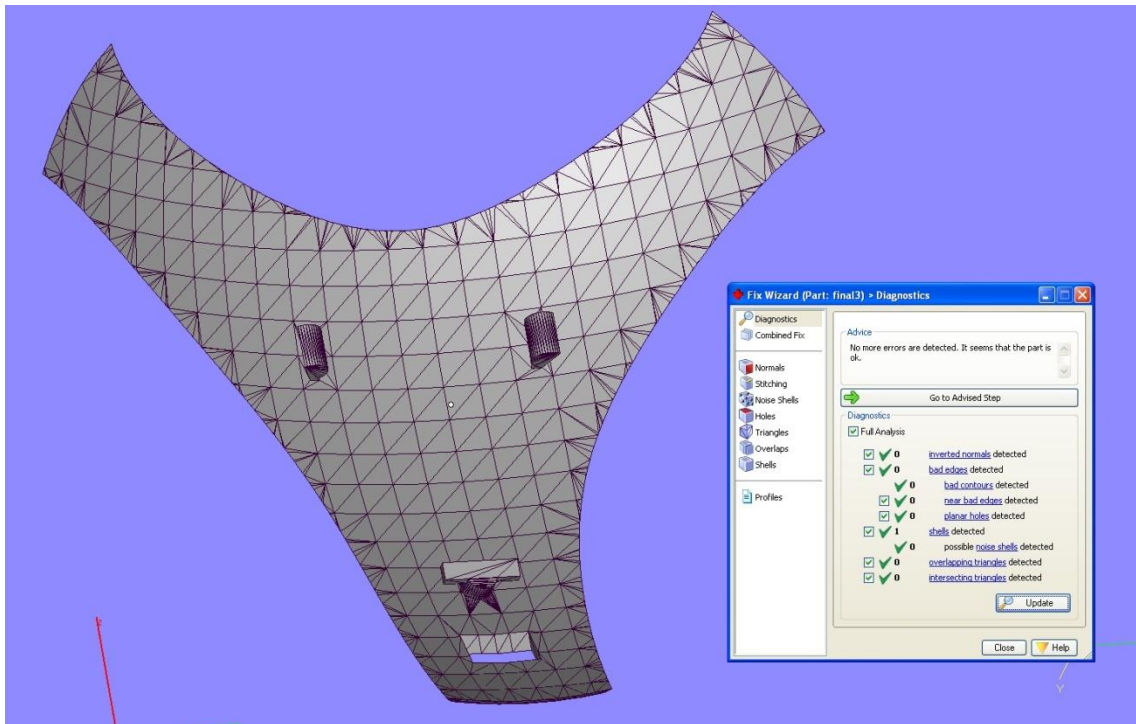


Obr. 4.1 Datová náročnost binárního a ASCII formátu. (14)

#### Specifikace \*.stl formátu

- Datový formát je tvořen sestavou trojúhelníků, které v prostoru popisují povrch modelu Obr. 4.2. Každý z trojúhelníků je v prostoru jednoznačně určen třemi body a směrem normály, která určuje jeho orientaci.

- Specifikace orientace ploch se musí shodovat ve dvou způsobech. Normály určující orientaci trojúhelníku musí směřovat ven z trojúhelníku, a zároveň vrcholy musí být seřazeny v levotočivém pořadí podle pravidla pravé ruky.
- Každý trojúhelník má vždy dva společné vrcholy s každým sousedním trojúhelníkem. (15)



Obr. 4.2 Trojúhelníková mozaika modelu krytu. (7)

#### 4.1.1 Formát ASCII

Začátek datového zápisu je vždy označen příkazem „solid“, konec je pokaždé znázorněn příkazem „ensolid“. Mezi prvním a posledním řádkem se nachází data, která postupně popisují souřadnice jednotlivých vrcholů trojúhelníků, a jejich normálové vektory. Normálový vektor naznačuje na které straně trojúhelníku je volný prostor. (15)

#### 4.1.2 Binární formát

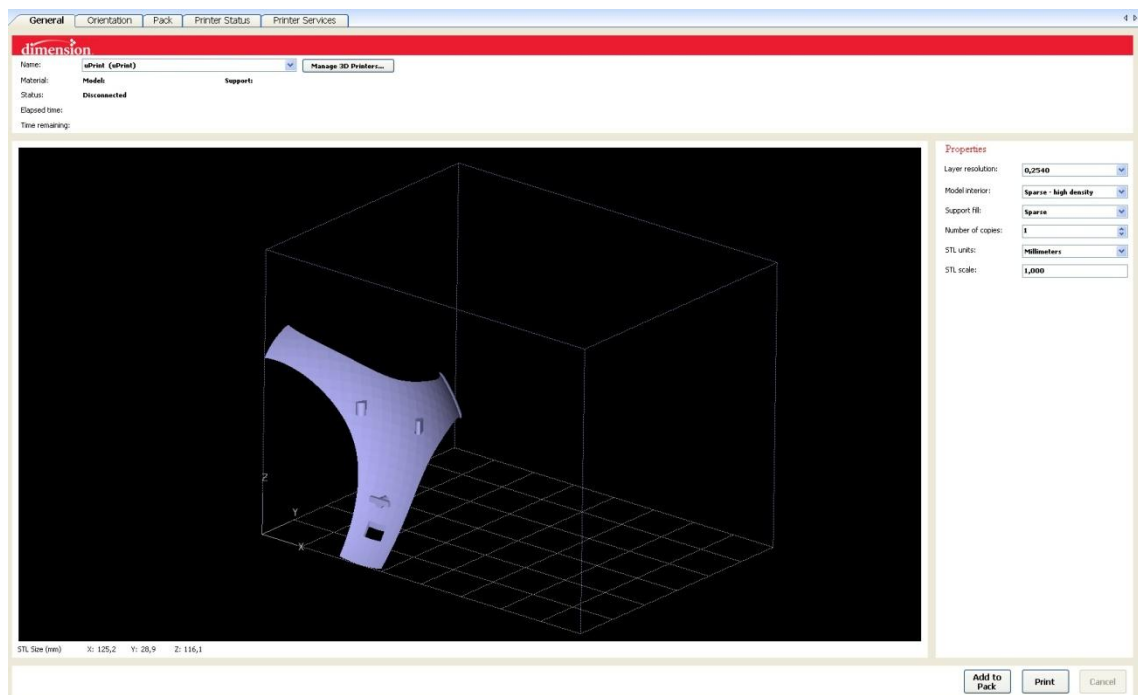
Datový zápis \*.stl pomocí binárního kódu je tvořen 80B hlavičkou, za kterou následují 4B, udávající celkový počet polygonových ploch. Dále je pro přesné určení trojúhelníku potřeba 12B na určení směru normály a 12B na určení jednoho vrcholu trojúhelníku (určení jednoho vrcholu trojúhelníku vyžaduje 4B). Poslední položkou přesného určení

trojúhelníku je tzv. oddělovač, který zabírá 2B. Jedna plocha trojúhelníku tedy vyžaduje 50B dat (12B normála, 36B vrcholy, 2B oddělovač). (15)

## 4.2 CatalystEX (verze 4.0.1)

CatalystEX je obslužný software pro 3D tiskárnu Dimension uPrint. Je uživateli dodáván společně s tiskárnou. Slouží ke snadnému načtení vstupních dat a rychlému nastavení parametrů tisku.

Jakmile program načte vstupní data potřebná k tisku, umožní jeho nastavení v podobě několika důležitých náležitostí. Jejich přehled je také vidět v pravé straně Obr. 4.3. Slabý náčrtek kvádrů na obrázku symbolizuje velikost komory, kterou připojená tiskárna disponuje.



Obr. 4.3 Volba náležitostí tisku. (2)

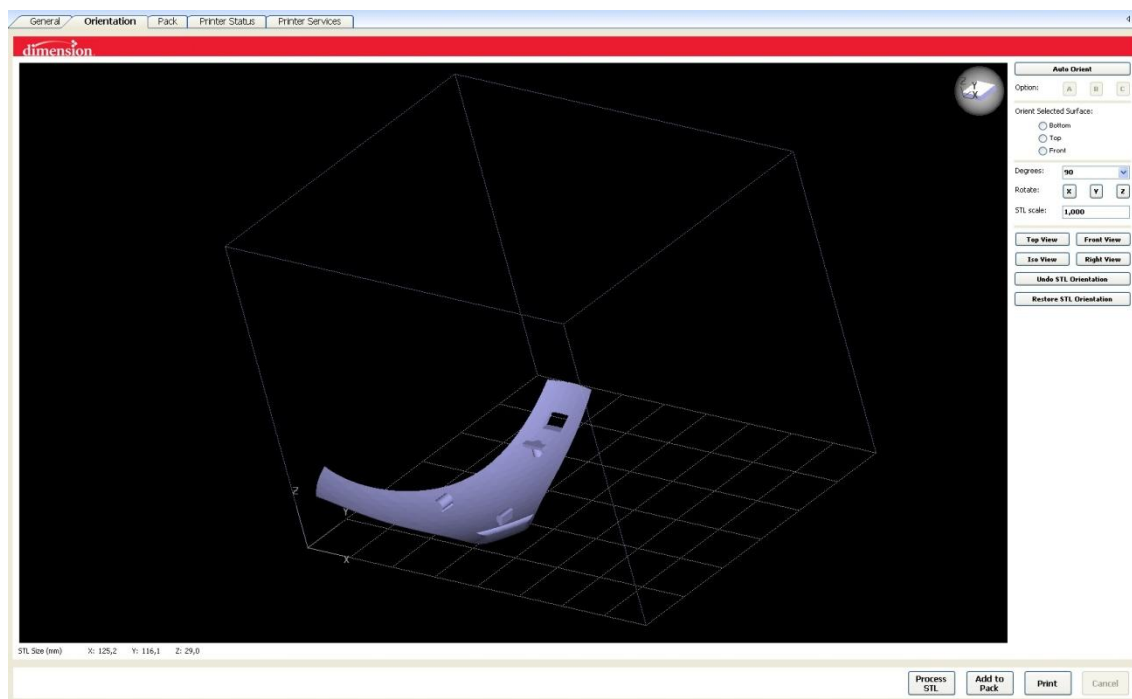
1. **Tloušťka vrstvy** – možnost ovlivnit tloušťku nanášené vrstvy má vliv jak na rychlost tisku, tak na jemnost povrchu výrobku. Čím slabší vrstva je nanášena, tím jemnější výrobek bude. Zároveň se ale se ztenčující vrstvou prodlužuje doba tisku. Tiskárna Dimension uPrint umožňuje pouze tisk s tloušťkou vrstvy 0,254 mm. (2)



2. **Výplň modelu** – nastavení tohoto parametru ovlivňuje, s jakou hustotou bude materiál vyplňovat vnitřní konstrukci modelu. Existují tři druhy vnitřní konstrukce.  
*Solid* – používá se, pokud je požadován pevný a odolný model. Zvolení této varianty vyžaduje více spotřebovaného času a materiálu.  
*Sparse – high density* (řídký s vysokou hustotou) – tato volba hustoty výplně modelu je nastavena jako výchozí a je doporučena. Vnitřek modelu je vyplněn voštinou. Doba stavby je kratší a spotřeba materiálu menší, než je tomu v případě varianty *Solid*.  
*Sparse – low density* (řídký s nízkou hustotou) – vnitřek modelu je stejně jako v předchozím případě vyplněn voštinou, ovšem ne tak hustou. Tato varianta je nejrychlejší a spotřebovává nejméně materiálu, úspory jdou ovšem logicky na úkor pevnosti a odolnosti modelu. (2)
  
3. **Typ podpor** – podpůrné materiály se využívají k tomu, aby zabránily zhroucení modelu během tisku. Je odebrán, až když je výroba dokončena. Volba druhu podpor ovlivní jak jejich pevnost, tak také časovou náročnost celého tisku.  
*Basic* (základní) – tuto variantu lze použít pro většinu součástí. Vzdálenost mezi drahami tiskové hlavy zůstává stejná.  
*Sparse* (řídký) – minimalizuje množství použitého podpůrného materiálu. Vzdálenosti mezi jednotlivými drahami hlavičky jsou větší než u varianty *Basic*.  
*Minimal* – používá se pro malé modely, které potřebují podporu pouze pro své malé části. Je designována tak, aby se snadno odstraňovala. Pro velké modely nebo vysoké podpory se nepoužívá.  
*Surround* (obklopení) – podpůrný materiál obklopuje kolem dokola celý model. Používá se pro úzké vysoké modely (např. tužka). (2)
  
4. **Počet kopií** – volí počet kopií, kolik chce uživatel vytisknout. Počet je limitován velikostí stavební platformy. (2)
  
5. **STL jednotky** – formáty \*.stl nespecifikují, v jakých jednotkách uživatel požaduje vymodelovaný objekt vytisknout. Obvykle uživatel volí mezi palci a milimetry. (2)

## 6. STL měřítko – ovlivňuje velikost součásti pomocí měřítka. (2)

Další krok, který je třeba projít před samotným tiskem je zvolení orientace modelu v tiskové komoře. Model můžeme libovolně natočit podle osy x, y či z. Orientace modelu krytu byla zvolena tak, aby potřeba podpůrného materiálu byla co nejmenší. Obr. 4.4 znázorňuje zvolenou polohu krytu v tiskové komoře.

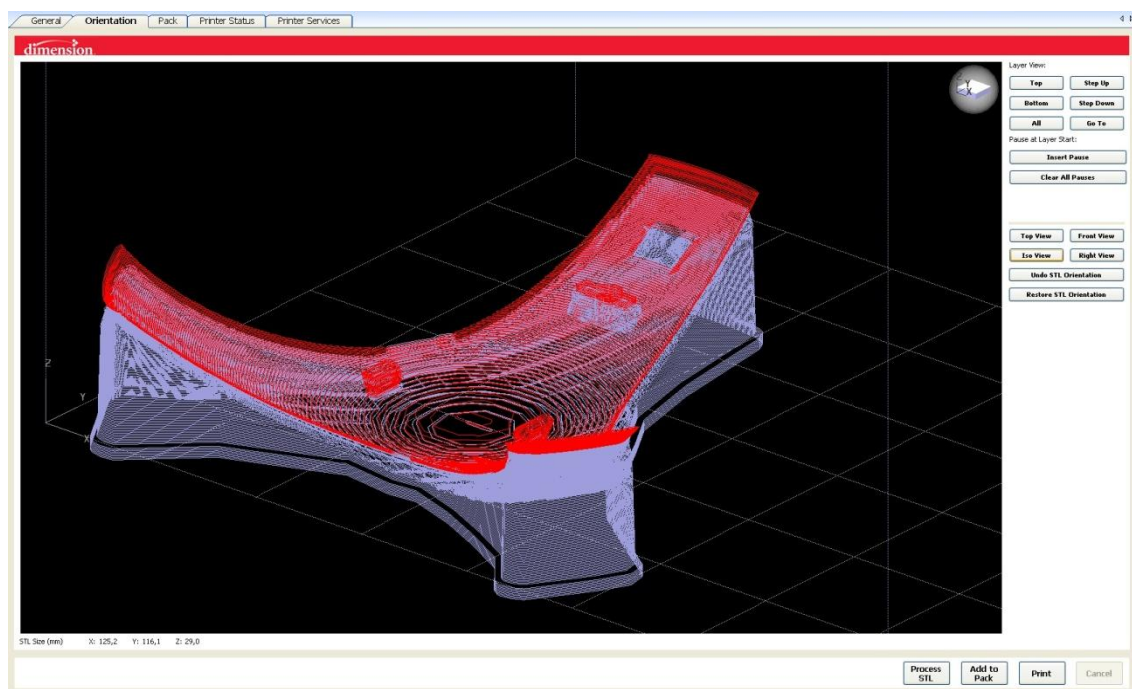


Obr. 4.4 Zvolení orientace modelu v tiskové komoře. (2)

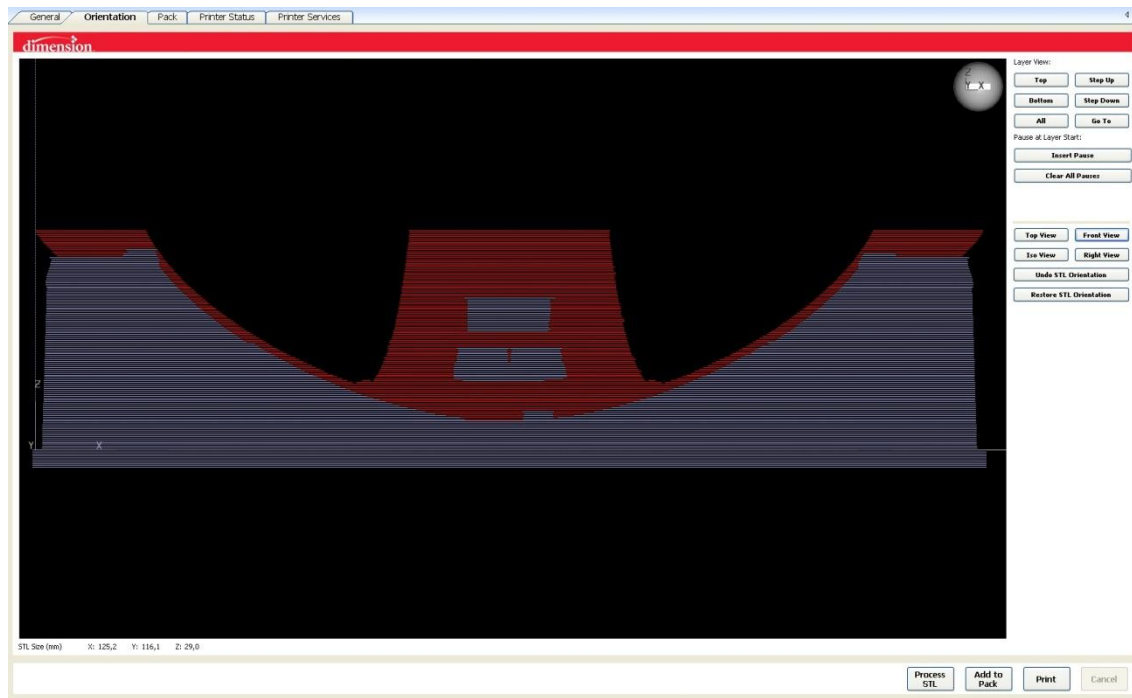
Pokud je zvolena orientace modelu v komoře, přejde se k rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy. Po stisknutí tlačítka „Add to Pack“ začne program generovat jednotlivé vrstvy modelu a jeho podpory. Zároveň vypočítá objem materiálu a podpor potřebné pro výrobu modelu. Vše je názorně zobrazeno na Obr. 4.5. Červenou barvou je znázorněn materiál, šedivou barvou podpora. Na Obr. 4.6 je zobrazena ta samá situace z pohledu přední roviny. (2)

Následným zvolením možnosti „Pack“ se dá nastavit přesná pozice modelu v tiskové komoře Obr. 4.7. Zároveň jsou zde přístupné i informace o délce doby tisku a objemu spotřebovaného materiálu. Vyroběný kryt potřeboval pro svou konstrukci 33,91 cm<sup>3</sup>

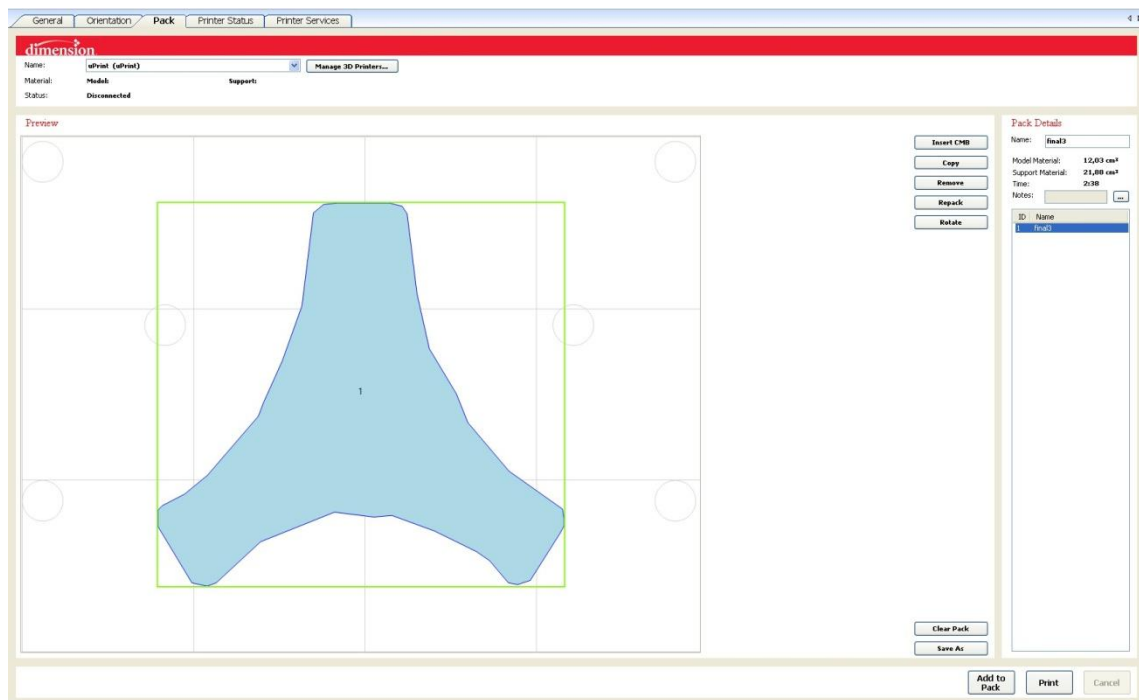
materiálu ( $12,03 \text{ cm}^3$  výrobního materiálu a  $21,88 \text{ cm}^3$  podpory). Doba tisku trvala 2:38 hodin. (2)



Obr. 4.5 Rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy. (2)



Obr. 4.6 Rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy z pohledu přední roviny. (2)



Obr. 4.7 Zvolení umístění krytu v tiskové komoře. (2)

V okamžiku nastavení umístění modelu na tiskové platformě je tiskárna připravena model vytisknout po stisknutí tlačítka „Print“. Informace o zbývajícím materiálu v zásobníku a o zbývajícím čase lze najít pod záložkou „Printer status“. (2)

### 4.3 Tisk modelu v tiskárně Dimension uPrint

Výrobní materiál *ABSplus* (Akrylonitril Butadien Styren), který byl použit pro výrobu krytu, je amorfni termoplastický kopolymer, odolný vůči mechanickému poškození. Výhodou tohoto materiálu je např. jeho použitelnost při různých okolních teplotách (-25 °C – 60 °C), nebo recyklovatelnost. Materiál je chemicky odolný vůči kyselinám nebo zásadám, avšak rozpouští se v aldehydech, ketonech a esterech. (15)

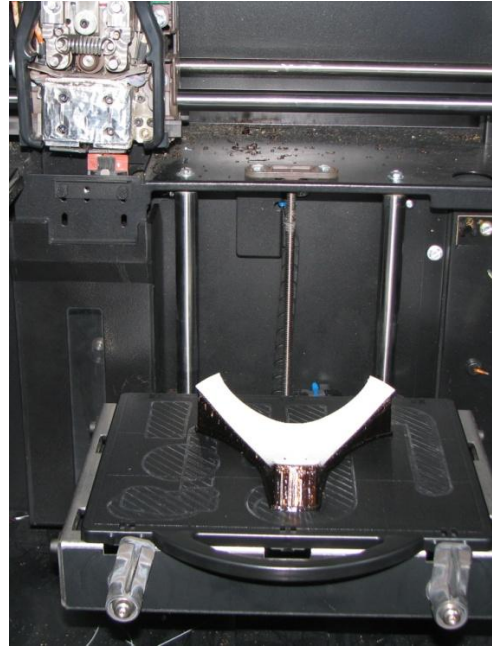
V tiskárně Dimension uPrint (Obr. 4.8) je možno tisknout pouze jednobarevné modely, a to sice barvou slonová kost (bílá). Modelovací prostor tiskárny je velký 203x152x152 mm. Tiskárna zvládá tisknout pouze jedním druhem tloušťky vrstvy, a sice 0,254 mm. Co se týče podporovaných operačních systémů, tiskárna je schopna spolupracovat se systémy Windows XP, Windows Vista nebo Windows 7. Její celkové rozměry jsou 635(š) x 660(h) x 940(v) a její váha je 94 kg. Za zmínku také stojí, že maximální

rychlost tisku, kterou je tiskárna schopna vyprodukovat je  $20 \text{ cm}^3$  za hodinu. Tato rychlost je pevně dána a není možno výkon tiskárny urychlit. (8)

Po vydání příkazu k výrobě modelu se začne tiskárna zahřívat, a po dosažení potřebné teploty začne tisková hlava (Obr. 4.9) nanášet první vrstvu na pracovní podložku. Po dokončení tisku se podložka vyjme z tiskárny (Obr. 4.10) a hotový výrobek se z ní odlomí Obr. 4.11.



Obr. 4.8 Tiskárna Dimension uPrint.



Obr. 4.9 Tisková hlava a umístění krytu na podložce.



Obr. 4.10 Vyrobený model s podporou na podložce.



Obr. 4.11 Vyrobený model a jeho podpora.

#### 4.4 Odstranění podpor z modelu

V této fázi výroby je nutné zbavit model veškerých podpurných materiálů, které zabraňovaly jeho zborcení při tisku. Pro odstranění podpurného materiálu byla využita ultrazvuková čistička P702. Jako rozpouštěcí roztok byl použit koncentrát Waterworks Soluble Concentrate P400SC. Aby byl roztok účinný, musí být naředěný v poměru 1kg prášku ku 42l vody. Následně se roztok zahřeje pomocí čističky na 65 °C a nechá se po dobu dvou hodin působit na podpurný materiál. (11) Po uvedené době se podpurný materiál rozpustí a v lázni zbude pouze požadovaný model Obr. 4.12. Obr 4.13.



Obr. 4.12 Model po absolvování lázně.



Obr. 4.13 Hotový model.

#### 4.5 Dokončovací operace

V rámci dokončovacích operací byly modelu nejdříve zbrušeny ostré hrany, nacházející se v přední části. Následně byl povrch modelu zbaven patrných stop po vrstvách pomocí smirkového papíru. Poté byl několika vrstvami tmelícího spreje vytmelen do hladka, a opět zbrušen, tentokrát jemnějším smirkovým papírem. V poslední fázi dokončovacích operací byl model nejdříve nasprejován bezbarvým lakem, který slouží jako základ pro barvu na plasty, a ve finále nasprejován matnou

černou barvou na plasty. Výsledná podoba modelu je vidět na Obr. 4.14 a Obr. 4.15.



Obr. 4.14 Finální podoba modelu.



Obr. 4.15 Model nasazený na helmě.

## 5 Ekonomické zhodnocení

Jak již bylo zmíněno v úvodu, technologie RP má velmi vhodné využití v případech, kdy dojde ke ztrátě nebo poničení originálních dílů, které není možné samostatně dokoupit a které mají na funkčnost daného zařízení zásadní vliv. Na tento případ se zaměřuje i návrh a výroba krytu helmy.

### 5.1 Náklady na výrobu krytu

Cena krytu byla podle odhadované spotřeby materiálu stanovena v rozmezí 400 – 500 Kč. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4, celkový objem spotřebovaného materiálu činil 33,91 cm<sup>3</sup>. Z tohoto objemu tvořil 12,03 cm<sup>3</sup> výrobní materiál, a 21,88 cm<sup>3</sup> materiál podpory. Cena za 1 cm<sup>3</sup> materiálu vychází na 14,40 Kč vč. 21% DPH. Výpočet celkové ceny za výrobu krytu v Tab. 5.1 ukázal následující hodnoty:

Tab. 5.1 Výpočet ceny za materiál na výrobu.

	Výrobní materiál	Materiál podpory	Materiál celkem
Objem (cm <sup>3</sup> )	12,03	21,88	33,91
Cena (Kč)	173,23	315,07	488,30

### 5.2 Průzkum cen na trhu

Před rozhodnutím, zda zhotovit kryt lyžařské helmy Briko Forerunner Obr. 5.1, a nahradit jím originální díl, nebo nezhotovit kryt helmy a zakoupit celou novou helmu, byl proveden průzkum trhu mapující ceny lyžařských helem. Aby porovnání cen odpovídalo co nejpřesněji hodnotě ceny opravované helmy, byly v rámci průzkumu mapovány ceny helem značky Briko Obr. 5.2.



## Lyžařská přilba Briko Forerunner

SKLADEM



1 190,-  
Cena s DPH

Obr. 5.1 Briko Forerunner. (12)

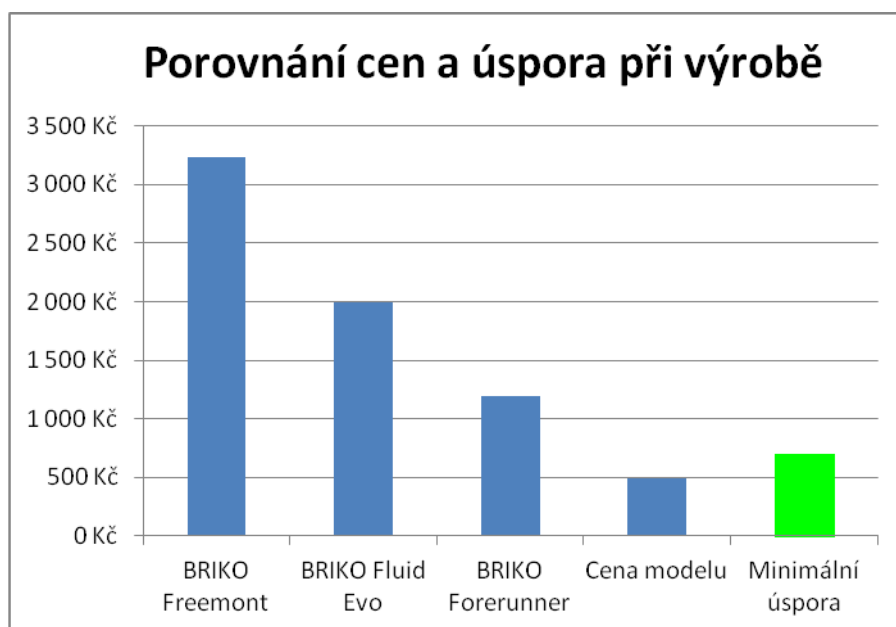
 <p><u>LYŽ. HELMA FLUID EVO 12'13</u></p> <p>1 990,- Cena s DPH</p>	 <p><u>LYŽ. HELMA FREEMONT 12'13</u></p> <p>3 230,- Cena s DPH</p>
--	--

Obr. 5.2 Ceny helem Briko Fluid Evo a Briko Freemont. (12)

V průzkumu trhu bylo zjištěno, že cena za novou helmu Briko Forerunner více než dvojnásobně převyšuje cenu krytu, která byla odhadnuta před zahájením výroby podle spotřebovaného materiálu Tab. 5.2. Pokud by padla volba na koupi kvalitnější helmy např. Briko Freemont, finanční úspora by byla ještě větší. Grafické vyjádření cen je vidět v grafické závislosti na Obr. 5.3.

Tab. 5.2 Porovnání cen a výpočet minimální úspory.

Položka	BRIKO Freemont	BRIKO Fluid Evo	BRIKO Forerunner	Cena modelu	Minimální úspora
Cena	3 230 Kč	1 990 Kč	1 190 Kč	488 Kč	702 Kč



Obr. 5.3 Porovnání cen a úspora při výrobě.

V porovnání s variantou, která předpokládá zakoupení celé nové helmy, bylo tedy ušetřeno cca 700 Kč až 2500 Kč, v závislosti na typu případně zakoupené helmy. Takto velká úspora vznikla i díky vhodně zvolené metodě výroby. V případě výběru odlišné metody RP mohla být finanční náročnost výroby znatelně vyšší. Volba na FDM padla hlavně díky požadavku mít finální výrobek vyroben z plastu. FDM zároveň dokáže vyrobit modely z velmi kvalitního plastu *ABSplus*, který svými vlastnostmi může připomínat i pevnější a odolnější materiály.

### 5.3 Náklady na tisk v jiných institucích

Pro porovnání byl do práce zahrnut i přehled nákladů, které by musely být vynaloženy, pokud by došlo k rozhodnutí tisknout model na jiné tiskárně, než na Dimension uPrint na VUT v Brně. Informace o nákladech na tisk byly poskytnuty firmou MCAE Systems s.r.o. sídlící v Kuřimi, firmou 3Dtiskarna.cz z Turnova, firmou TECNOTRADE Obráběcí stroje, s.r.o. z Brna, Technickou univerzitou v Liberci a firmou Solidvision s.r.o., která sídlí v Brně.

MCAE Systems, s.r.o. využívá stejnou metodu a tiskárnu jako VUT v Brně, tedy Dimension uPrint. Náklady na samotný tisk má o něco nižší než VUT v Brně, a sice 8,40 Kč/cm<sup>3</sup>. Do celkových nákladů je ovšem ještě nutné započítat i 280 Kč za hodinový provoz tiskárny.

Turnovská firma 3Dtiskarna.cz tiskne metodou FDM s pomocí tiskárny Stratasys Dimension s náklady 15 Kč/cm<sup>3</sup>. Do celkových nákladů na tisk se musí ovšem zahrnout i 225 Kč za hodinový provoz tiskárny.

Firma TECNOTRADE Obráběcí stroje, s.r.o., která sídlí v Brně, ale její provozovna je nedaleko Brna v Kuřimi, tiskne na 3D tiskárně Eden500V s pomocí technologie Polyjet. Po zaslání \*.stl modelu pracovníkovi firmy byly celkové komerční náklady vyčísleny na 2340 Kč.

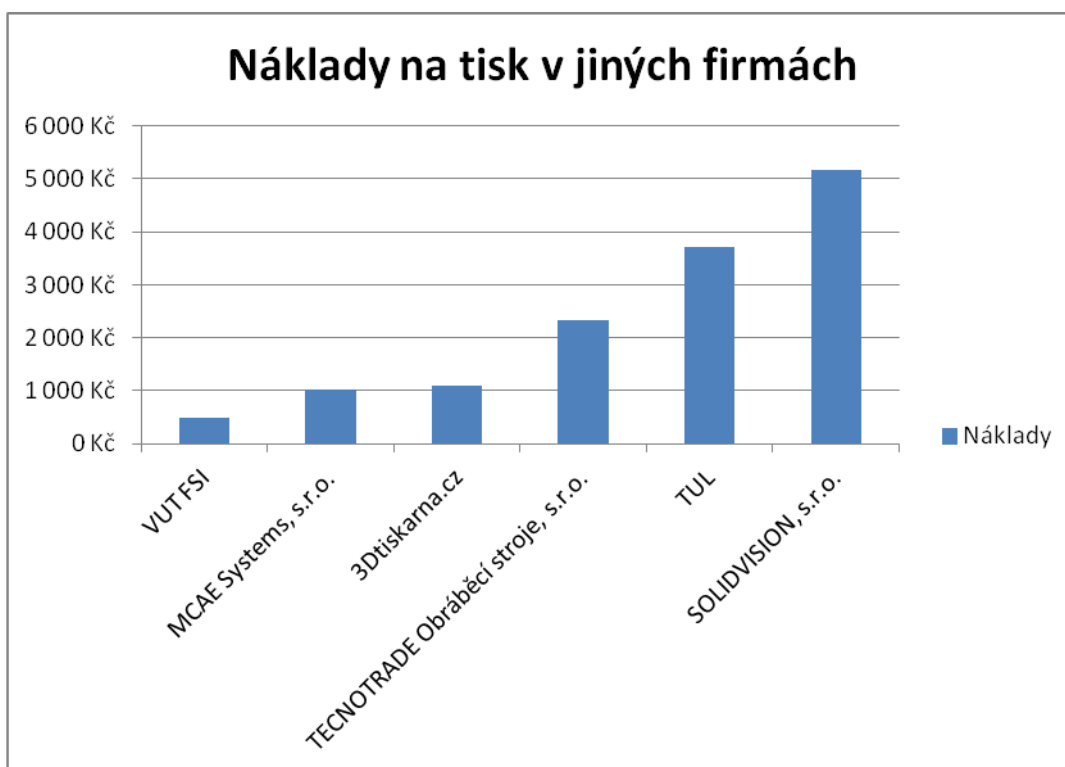
Technická univerzita v Liberci používá pro tisk modelů tiskárnu Objet Connex 500, která vyrábí modely metodou Polyjet Matrix. Po zaslání modelu ve formátu \*.stl pracovníkovi univerzity byly náklady na výrobu 1 ks plastového modelu vyčísleny na 3712 Kč. Při výrobě více kusů by náklady na jeden model citelně klesaly. Více kusů ovšem není v tomto případě potřeba vyrobit.

Solidvision, s.r.o. využívá k výrobě modelů tiskárnu Solid SD 300Pro, která vyrábí modely metodou LOM. Náklady na tisk 1 cm<sup>3</sup> by byly u této metody asi 152,50 Kč. Celkové náklady na jeden model tedy nakonec přesáhly 5000 Kč.

Přehled všech nákladů je uveden v Tab. 5.3.

Tab. 5.3 Porovnání nákladů na tisk v ostatních firmách.

Instituce	VUT FSI	MCAE Systems, s.r.o.	3Dtiskarna.cz	TECNOTRADE Obráběcí stroje, s.r.o.	TUL	SOLIDVISION, s.r.o.
Náklady	488 Kč	1 021 Kč	1 100 Kč	2 340 Kč	3 712 Kč	5 174 Kč



Obr. 5.4 Porovnání nákladů na tisk v ostatních firmách.

Graficky je výčet cen v jiných firmách vyobrazen na Obr. 5.4. Z grafické závislosti vyplývá, že volba tiskárny Dimension uPrint na FSI VUT v Brně byla velmi vhodnou, protože náklady na výrobu krytu zde vycházejí výrazně nižší, než v porovnání s jinými firmami.

## **Závěr**

Téma bakalářské práce bylo ve svém konečném znění vybráno hned z několika důvodů. V první řadě byla již během prvního ročníku výuky v autorovi vzbuzena zvědavost ohledně této unikátní a pokrokové technologie, že se chtěl prostřednictvím zpracování BP o problematice RP a jejích metod dozvědět co nejvíce, a pochopit přesně proces, který předchází výrobě každého modelu. Ve druhé řadě autor chtěl celý proces návrhu a výroby absolvovat nejenom čtením nejrůznějších materiálů, publikací a teoreticky vysvětlených postupů ale zároveň ho podstoupit osobně a prakticky tak pochopit více do hloubky jádro celé problematiky. Skutečnost, že měl autor ve vlastnictví helmu s rozbitým krytem, který potřeboval opravit, jen urychlila rozhodování o zvoleném tématu.

Práce byla zaměřena na výrobu modelu pomocí metody FDM. Vstupní data byla vytvořena pomocí přeměření modelu a následného importování dat do parametrického programu určeného pro tvorbu a vizualizaci 3D modelů SolidWorks. Po převedení modelu do \*.stl formátu byly pomocí obslužného softwaru 3D tiskárny CatalystEX nastaveny všechny potřebné parametry tisku, který byl proveden na tiskárně Dimension uPrint na FSI VUT v Brně. Vyroběný model byl následně zbaven podpor v ultrazvukové čističce, jeho povrch byl vyhlazen smirkovým papírem, vytmelen, a poté vrstvou laku a vrstvou barvy nasprejován na černo.

Cena za materiál potřebný k výrobě modelu nakonec dosáhla na 488,30 Kč. Po provedení průzkumu trhu bylo zjištěno, že při koupi nové helmy stejného typu by autor zaplatil o 702 Kč více, tedy 1190 Kč. Pokud by volba koupě nové helmy padla na jiný, novější typ (viz podkapitola 5.2), byla by úspora ještě o něco citelnější.

Při pohledu na náklady tisku na model v jiných firmách v kapitole 5.3 lze na první pohled říct, že volba tiskárny Dimension uPrint na FSI VUT v Brně byla dobře ekonomicky promyšlenou a ušetřila autorovi jisté finanční prostředky.

V dnešním světě, kdy se technologie pohybuje kupředu mílovými kroky tak, že skutečnost, která platila jeden týden ten další, už kolikrát platit nemusí, lze jen těžko

odhadnout, kam až se bude technologie RP rozvíjet a kde leží hranice rychlosti a přesnosti tisku, či snižování nákladů na něj. Možná není daleko doba, kdy bude cena obyčejné 3D tiskárny běžně dostupná pro rozpočet průměrně movité domácnosti a vytisknout si doma 3D model nebude o nic menší samozřejmostí, než je dnes tisk obyčejného černobílého textu na papír.

## Seznam použitých zdrojů

- (1) Additive Fabrication [online]. [vid. 2012-12-5]. Custompart.net. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication#technologies>.
- (2) CatalystEX 4.0.1<sup>®</sup>, ©2010 Stratalys Inc. Eden Prairie, MN. Všechna práva vyhrazena [online]. [vid. 2013-05-09]. Dostupné na z <http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>.
- (3) COFFEY, T. *Rapid Prototyping Process* [online]. [vid. 2013-03-10]. Ehow. Dostupné z: [http://www.ehow.com/how-does\\_5407546\\_rapid-prototyping-process.html](http://www.ehow.com/how-does_5407546_rapid-prototyping-process.html).
- (4) JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. *In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture*. United Kingdom : Professional Engineering Publishing, 2004. 112 pp. ISBN 1860584659.
- (5) JANSEN, H., WIEDEMANN, B. *Strategies and applications for rapid product and process development in Daimler-Benz AG* [online]. [vid. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361598001262>.
- (6) MADHUSUDAN, R. *Methodology of Rapid Prototyping (RP)* [online]. [vid. 2013-03-10]. Dostupné z: [http://ecourses.vtu.ac.in/nptel/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Computer%20Aided%20Design%20&%20ManufacturingII/Module%20G/Module%20G\(4\)/p2.htm](http://ecourses.vtu.ac.in/nptel/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Computer%20Aided%20Design%20&%20ManufacturingII/Module%20G/Module%20G(4)/p2.htm).
- (7) *Materialise NV*. [online]. ©2012. Software for Additive Manufacturing. [vid. 2013-05-09]. MiniMagics – Software Rapid Prototyping. Dostupné z: <http://www.materialise.com/MiniMagics>.
- (8) MCAE SYSTEMS, spol. s.r.o., Kuřim, ČR. *Dimension uPrint* [online]. [vid. 2013-04-23]. Dostupné z <http://www.mcae.cz/dimension-uprint>.
- (9) PALM, W. *Rapid Prototyping Primer* [online]. 05-1998, aktualizováno 30-07-2002. [vid. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.me.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/chapter2.htm>.
- (10) *Philosophy* [online]. [vid. 2012-12-07]. Briko. Dostupné z: <http://www.briko.com/index.php?idPage=55&menu=60>.
- (11) PÍŠKA, M. a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. 1. Vydání. Brno : CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- (12) *Přilby* [online]. [vid 2013-05-13]. Briko. Dostupné z: <http://www.briko.cz/prilby>.
- (13) SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. *Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů*. In *Mezinárodní vědecká konference*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 2005. 30 s. ISBN 80-248-0895-1.
- (14) *SolidWorks*. [online]. ©2010. 3D CAD Design Software. [vid. 2013-03-12]. SolidWorks. Dostupné z: <http://www.solidworks.com/>.

- (15) ŠEVČÍKOVÁ, L. *Využití metody Fused Deposition Modeling pro lékařské účely*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2011. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
- (16) *The Journey of a Lifetime* [online]. [vid. 2013-03-10]. 3DSystems. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/news/25th-anniversary>.
- (17) *The Year 1986 From The People History* [online]. [vid. 2013-03-10]. The people history. Dostupné z: <http://www.thepeoplehistory.com/1986.html>.
- (18) TMS (The Minerals, Metals & Materials Society): *Rapid Prototyping of Materials*. USA : The Minerals, Metals & Materials Society. 2002. 615 pp. ISBN 0873395301.
- (19) 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.



## Seznam obrázků

Obr. 2.1	Obecný postup technologie RP. (11)	13
Obr. 2.2	Základní postup při výrobě prototypu. (6)	16
Obr. 2.3	Schéma metody SLA. (1)	18
Obr. 2.4	Schéma metody SGC. (11)	20
Obr. 2.5	Schéma metody SLS. (1)	21
Obr. 2.6	Schéma metody DMLS. (1)	23
Obr. 2.7	Schéma metody 3D Printing. (1)	24
Obr. 2.8	Schéma metody LOM. (1)	26
Obr. 2.9	Schéma metody FDM. (1)	27
Obr. 3.1	Půdorys krytu. (14)	29
Obr. 3.2	Vytvoření válce o výšce 2 mm. (14)	30
Obr. 3.3	Vytvarování kopule na horní straně. (14)	30
Obr. 3.4	Vytvarování kopule na spodní straně (řez). (14)	31
Obr. 3.5	Splajny tvarující části kopule. (14)	32
Obr. 3.6	Kryt helmy (horní a izometrický pohled). (14)	32
Obr. 3.7	Zaoblení hran krytu (horní a izometrický pohled). (14)	33
Obr. 3.8	Otvor v zadní části helmy. (14)	33
Obr. 3.9	Roviny. (14)	34
Obr. 3.10	Pravý přední úchyt. (14)	35
Obr. 3.11	Přední úchyty. (14)	35
Obr. 3.12	Panel zadního úchytu (ze spodního pohledu). (14)	36
Obr. 3.13	Pravý úchyt na panelu (z pravého pohledu). (14)	37
Obr. 3.14	Zadní úchyt (pravý dolní podhled). (14)	37
Obr. 4.1	Datová náročnost binárního a ASCII formátu. (14)	38
Obr. 4.2	Trojúhelníková mozaika modelu krytu. (7)	39
Obr. 4.3	Volba náležitostí tisku. (2)	40
Obr. 4.4	Zvolení orientace modelu v tiskové komoře. (2)	42
Obr. 4.5	Rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy. (2)	43
Obr. 4.6	Rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy z pohledu přední roviny. (2)	43

Obr. 4.7 Zvolení umístění krytu v tiskové komoře. (2) .....	44
Obr. 4.8 Tiskárna Dimension uPrint. ....	45
Obr. 4.9 Tisková hlava a umístění krytu na podložce. ....	45
Obr. 4.10 Vyrobený model s podporou na podložce. ....	45
Obr. 4.11 Vyrobený model a jeho podpora. ....	45
Obr. 4.12 Model po absolvování lázně. ....	46
Obr. 4.13 Hotový model. ....	46
Obr. 4.14 Finální podoba modelu. ....	47
Obr. 4.15 Model nasazený na helmě.....	47
Obr. 5.1 Briko Forerunner. (12).....	49
Obr. 5.2 Ceny helem Briko Fluid Evo a Briko Freemont. (12) .....	49
Obr. 5.3 Porovnání cen a úspora při výrobě. ....	50
Obr. 5.4 Porovnání nákladů na tisk v ostatních firmách. ....	52

## **Seznam tabulek**

Tab. 5.1 Výpočet ceny za materiál na výrobu. ....	48
Tab. 5.2 Porovnání cen a výpočet minimální úspory. ....	50
Tab. 5.3 Porovnání nákladů na tisk v ostatních firmách. ....	52

## Seznam použitých zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotky</b>	<b>Popis</b>
3D	-	Trojrozměrný
3DP	-	3D Printing
ABS	-	Akrylonitril Butadien Styren
Byte	[B]	Jednotka počítačových dat
DMLS	-	Direct Metal Laser Sintering
FDM	-	Fused Deposition Modeling
FSI	-	Fakulta strojního inženýrství
LOM	-	Laminated Object Manufacturing
Mm	[mm]	Jednotka délky milimetr
RP	-	Rapid Prototyping
SGC	-	Solid Ground Curing
SLA	-	Stereolitografie
SLS	-	Selective Laser Sintering
VUT	-	Vysoké učení technické