



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## METODY RYCHLÉHO PROTOTYPOVÁNÍ POUŽITELNÉ VE SLÉVÁRENSTVÍ

RAPID PROTOTYPING METHODS SUITABLE FOR FOUNDRY TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ KOHOUT

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Kohout

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

### **Metody rychlého prototypování použitelné ve slévárenství**

v anglickém jazyce:

### **Rapid prototyping methods suitable for foundry technology**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve slévárenství je jedním z prioritních úkolů nalezení postupů vedoucích ke zkrácení doby mezi poptávkou a předložením prototypového odlitku. Mezi tyto postupy patří především metody RP v kombinaci s technologií vytavitelného modelu.

Cíle bakalářské práce:

Literární přehled metod RP vhodných pro slévárenské aplikace.

Seznam odborné literatury:

1. WIMPENNY, D. RP – a route to rapid castings. In Proceedings of the 11th World Congress on Investment Casting. Edinburgh: ICI, 2004, p. 120-135.
2. CHARVÁT, O. a HORÁČEK, M. Možnosti aplikace metod Rapid Prototyping s použitím technologie vytavitelného modelu. In Sborník - XIII. mezinárodní konference. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko, 2007, s. 53-65.
3. PAVELKA, T. Přehled pokročilých technik rapid prototyping a jejich využití v oblasti lékařství. Bachelor thesis. Brno: Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2006. 36 p.
4. HORÁČEK, M., CHARVÁT, O., et al. Rapid wax patterns obtained by RP and silicone mould technologies. In Proceedings of the 48th Foundry Conference. Ljubljana: Društvo livarjev Slovenije, 2009, p. 57-65.
5. HORÁČEK, M., CHARVÁT, O. and MICHALEC, P. Combination of Rapid Prototyping and Investment Casting Technologies - a route to "Rapid Castings". In Proceedings of the 47th International Foundry Conference. Ljubljana: Društvo livarjev Slovenije, 2007, p. 48-54.
6. CHARVÁT, O., HORÁČEK, M. and PAVELKA, T. Production of Knee Replacement by Using RP Technology. In Proceedings of the 9th International Foundrymen Conference. Sisak: Faculty of Metallurgy Sisak, 2009, p. 63-69. ISBN 953-97821-9-8.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

NETISKNOUT!

Licenční smlouva - oboustranně

**ABSTRAKT**

Rapid Prototyping je nezbytnou součástí odvětví moderního slévárenství. Cílem této bakalářské práce je vytvoření přehledu technologií Rapid Prototyping a uplatnění této metody při rychlé výrobě prototypových odlitků. Dále se tato práce zabývá nejdůležitějšími aplikacemi ve slévárenství.

**Klíčová slova**

Rychlé prototypování, Slévárenství

**ABSTRACT**

Rapid Prototyping is an essential part of the modern foundry. The aim of this bachelor thesis is an overview of technologies Rapid Prototyping and its application in the rapid production of prototype castings. Furthermore, this work addresses the most important applications in the foundry industry.

**Key words**

Rapid Prototyping, Foundry Industry

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOHOUT, T. *Metody rychlého prototypování použitelné ve slévárenství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 34 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc..

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Metody rychlého prototypování použitelné ve slévárenství vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

19.5.2011

.....  
Tomáš Kohout

**Poděkování**

Děkuji tímto prof. Ing. Milanu Horáčkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

Abstrakt.....	5
Prohlášení .....	6
Poděkování .....	7
Obsah.....	8
1 Úvod.....	9
2 Historie rychlého prototypování.....	10
3 Přehled a dělení vybraných metod RP.....	11
3.1 Z fyzikálního hlediska.....	11
3.2 Z hlediska použitého materiálu.....	12
3.3 Z hlediska výrobního postupu.....	12
4 Podrobné popsání vybraných metod.....	12
4.1 Stereolitografie(SLA).....	12
4.1.1 Princip metody SLA.....	12
4.1.2 Použitelné pryskyřice pro metodu SLA.....	14
4.2 Selective laser sintering(SLS).....	18
4.2.1 Princip metody SLS.....	18
4.2.2 Materiály použitelné u metody SLS.....	19
4.3 Porovnání metod SLA vs SLS.....	22
4.4 Fused deposition modeling(FDM).....	23
4.4.1 Princip metody FDM.....	23
4.4.2 Materiály použitelné u metody FDM.....	24
5 Využití metod RP ve slévárenství.....	27
5.1 Využití RP při lití do pískových forem.....	27
5.2 Metody RP s využitím vytavitelného modelu.....	28
6 Závěr .....	30
Seznam použitých zdrojů.....	31
Seznam použitých zkratk. ....	34

## 1 ÚVOD

V současné době se slévárny snaží o co nejrychlejší a nejekonomičtější zhotovení prvního prototypového odlitku nebo malé série kontrolních odlitků. Ke zkrácení času a zlevnění celé operace se využívají různé způsoby rychlého prototypování, obecně nazývaných RP (Rapid prototyping), které vedou k vytvoření (vytisknutí) matečného modelu na 3D tiskárně. Následně se pomocí matečného modelu vytvoří různými způsoby licí forma.

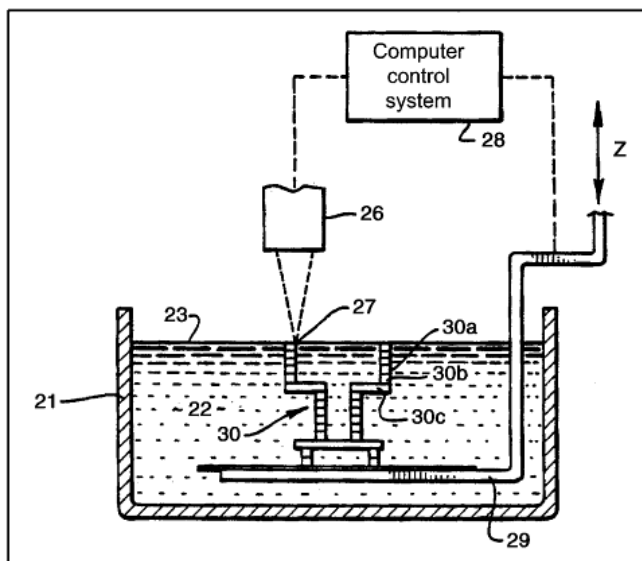
Hlavní princip metody RP je vytvoření reálného modelu z počítačových dat vrstvením jednotlivých tenkých vrstev materiálu, které jsou mezi sebou spojovány. Metod rychlého prototypování je celá řada. Mezi ty hlavní a nejpoužívanější patří Stereolitografie (SLA), Selective Laser Sintering (SLS) a Fused Deposition Modeling (FDM).



*Obr.:1, Brož vyrobená metodou RP[1]*

## 2 HISTORIE RYCHLÉHO PROTOTYPOVÁNÍ

11.března 1986 Charles (Chuck) Hull obdržel patent číslo 4575330. Tento patent, Aparát pro výrobu třírozměrných objektů pomocí Stereolithografie (Obr.:2), je považován za založení metody rychlého prototypování. Ačkoli další nadšenci(inženýři) také pokračují ve vývoji tiskání prototypů, Chuck Hall je v průmyslu považován za otce RP.



Obr.:2, Schéma patentu č. 4575330[2]

V témže roce byla založena společnost 3D systems. O rok později tato společnost ve firmě AUTOCRAFT v Detroitu ve státě Michigan představila první komerční RP zařízení pod označením SLA<sup>R</sup>-1 (obr.:3). Po vytvoření beta programu, na kterém spolupracovaly společnosti jako AMP, General Motors, Pratt & Whitney, Baxter Healthcare a Eastman Kodak, byl první komerční SLA<sup>R</sup>-1 v roce 1988 prodán. S upraveným přetíracím systémem se ze SLA-1 stal SLA-2, který byl zveřejněn v roce 1989.



Obr.:3, Příklad SLA<sup>R</sup>-1[2]

Očekávaně společnost 3D Systems nebyla nadlouho na trhu sama. Mezi lety 1988 a 1992 bylo objeveno několik konkurenceschopných technologií a hodně dalších bylo ve vývoji. Pokušení a atraktivita této technologie lákaly jednotlivé společnosti, které se idividuálně zapojovaly do průmyslu zabývajícího se rychlým prototypováním. Společnosti jako jsou například Ballistic Particle Manufacturing, CMET, Quadrax, Cubical a další začaly s obchodováním s jejich vlastními technologiemi. Některé měly podobný fotopolymerní základ jako stereolitografie, zatímco další zvolily zcela odlišný přístup k technologii rychlého prototypování. V této době byly technologie jako laserové řezání, laminace, extruze, slinování a tisk tryskovou hlavou teprve vyvíjeny. [2]

### 3 PŘEHLED A DĚLENÍ VYBRANÝCH METOD RP

Jednotlivé metody rychlého prototypování lze dělit z různých hledisek

#### 3.1 Z fyzikálního hlediska

##### a) Metody světelné:

Stereolitografie (SLA): Technologie je založená na tekuté světlocitlivé pryskyřici, která při aktivaci laserem tuhne. Stůl se vždy o kousek ponoří do pryskyřice a laser posvítí na místa, která mají ztuhnout. Tím se na stole vytvoří jedna vrstva součásti. Takto se vrstvením vytvoří finální prototyp. Nevýhodou je toxicita pryskyřice.[3]

Selective Laser Sintering (SLS): Výběrové laserové spékání využívá speciálního prášku, který je na stůl, v komoře vyplněné dusíkem, nanášen v tenké vrstvě pomocí válce. Stůl s tenkou vrstvou prášku pak v místech, která jsou potřeba „vytisknout“ osvítí silný laser a tím prášek speče. Stůl se o tloušťku vrstvy posune dolů a proces se opakuje do vytvoření celého prototypu. Tato technologie jako jediná umožňuje výrobu prototypu z kovů.[3]

##### b) Metody tepelné:

Fused Deposition Modeling (FDM): Tato technologie využívá dvou materiálů a to stavěcího a materiálu podpor. Funguje na podobném principu jako tavná pistole. Materiál je z cívky odvíjen do hlavice, kde se odtavuje a je nanášen na stůl. Materiál podpor se využívá v místech, kde by při tisku musel stavěcí materiál „viset“ ve vzduchu. Po vytvoření modelu se buď odláme nebo se rozpustí ve speciální lázni.[3]

##### c) Metody spojovací:

Laminated Object Manufakturing (LOM): Tato technologie používá fólie, které vrství na sebe a v místech vrstvy součásti vyřezává laserem a spéká.[3]

Metoda Three Dimensional Printing (3DP): Tato metoda, nazývaná také jako 3D tisk, ve své podstatě funguje na principu tiskárny. Jednotlivé vrstvy modelu jsou tvořeny pomocí tiskových hlav. Jeden typ hlav nanáší vrstvy práškového materiálu(plniva) a druhý typ nanáší pojivo. Tato metoda by se dala také zařadit do metod tepelných.[3]

Multi Jet Modeling (MJM): Tiskne velmi tenké vrstvy fotopolymeru.[3]

### 3.2 Z hlediska použitého materiálu

- a) Tekuté materiály..... Stereolitografie
- b) Práškové materiály..... Selective Laser Sintering, Direct Shell Production Casting, ProMetal 3D Printing, Direct Laser Forming
- c) Tryskové spojování..... Multiphase Jet Solidification
- d) Tryskové tištění..... Fused Deposition Modeling, Ballistic Particle Manufacturing, Multi-Jet Modeling, Model Maker 3D Plotting
- e) Polymerní materiály..... Solid Ground Curing
- f) Papírové materiály: ..... Laminated Object Manufacture[3]

### 3.3 Z hlediska výrobního postupu

- a) Systém přidávání vrstev při použití laseru s vytvrzováním bod po bodu
- b) Systém přidávání vrstev při použití laseru s vytvrzováním po vrstvách
- c) Systém přidávání vrstev bez použití laseru s vytvrzováním bod po bodu
- d) Systém přidávání vrstev bez použití laseru s vytvrzováním po vrstvách[3]

## 4 PODROBNÉ POPSÁNÍ VYBRANÝCH METOD

### 4.1 Stereolitografie (SLA)

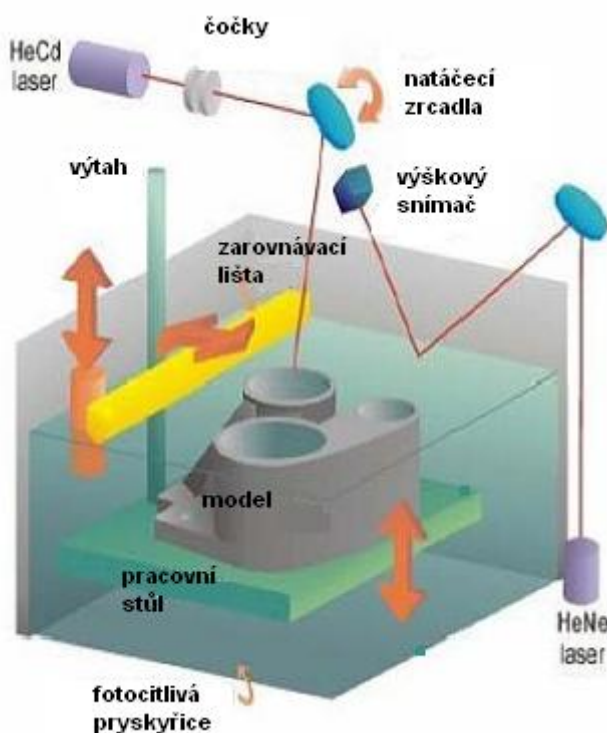
#### 4.1.1 Princip metody SLA

Stereolitografický stroj je složen ze tří hlavních částí a to z pracovní komory, opticko-laserové soustavy a řídicí jednotky. Uvnitř pracovní komory je umístěna nádoba s epoxidovou pryskyřicí, ve které se ve směru osy Z pohybuje pracovní stůl, na kterém je vytvářen model. Pracovní komora ještě mimo jiné obsahuje nůž zajišťující rovinnost hladiny pryskyřice při tvorbě jednotlivých vrstev. Opticko-laserový systém se skládá z plynového nebo pevnolátkového

laseru, čoček a soustavy zrcadel, která nasměřovávají laserový paprsek. Poslední z hlavních částí je řídicí jednotka, která ovládá veškeré části celého stroje (například nastavení parametrů laseru, řízení procesu výroby, atd.)

Před samotnou tvorbou modelu na stereolitografu se musí model zbavit případných chyb, jako jsou špatné hrany, díry v modelu a podobně. Následně se určí nejvhodnější poloha modelu tak, aby bylo co nejmenší množství dokončovacích operací, a aby se minimalizovalo množství podpor, které nám zaručují stabilitu modelu v místech, kde by model takzvaně „visel ve vzduchu“. Nakonec je vše přeloženo do speciálního formátu, v němž je definován tvar jednotlivých vrstev modelu. Tyto vrstvy jsou 0,05 až 0,15 mm silné což zaručuje dostatečnou přesnost i pro jemné detaily. Princip stavby stereolitografického modelu tkví v postupném vykreslování jednotlivých 2D vrstev na hladinu pryskyřice pomocí laserového paprsku. V místě osvětlení laserem je pryskyřice vytvrzena. Následně se pracovní stůl posune o příslušný krok (sílu vrstvy) dolů ve směru osy Z. Před vykreslováním jednotlivých vrstev je hladina pryskyřice zarovnána pomocí nože tak, aby byla zachována tloušťka vrstvy. Tento proces je opakován až do té doby, dokud není vytvořena poslední vrstva modelu. Výše zmíněné podpory musí být řešeny tak, aby se daly snadno odstranit a zároveň aby neovlivňovaly výsledný povrch materiálu. Po dokončení stavby se model vyjme z pracovní komory, očistí se od zbytků nevytvrzené pryskyřice a odstraní se podpory. Na finální vytvrzení slouží UV komora, kde model získá požadovanou pevnost a opracovatelnost.

Výhoda stereolitografického modelu tkví v možnostech povrchového dokončování, jako je broušení, pískování, lakování, leštění atd. Mezi hlavní výhody této metody patří rychlost při udržení vysoké přesnosti. [3]



Obr.:4, Schéma Stereolitografického přístroje[4]

#### 4.1.2 Použitelné pryskyřice pro metodu SLA

Pro metodu SLA je k dispozici široká škála pryskyřic. Jednotlivé pryskyřice mají své silné a slabé stránky a záleží na zákazníkovi, pro jaký typ se rozhodne, jaký bude vyhovovat z hlediska pevnostních, estetických nebo jiných charakteristik. Existují různí průvodci, kteří napomáhají se správným výběrem pryskyřice pro daný prototyp.

##### Čisté/průsvitné pryskyřice:

**Somos® 10122 - WaterClear®** - barva: opticky jasná, téměř bezbarvá  
Tato pryskyřice je generace opticky čisté pryskyřice s vlastnostmi podobnými jako ABS. Má dobrou teplotní odolnost. Tento typ pryskyřice produkuje téměř bezbarvé, funkční, přesné modely simulující akrylový vzhled. Modely mají slušnou odolnost proti vodě. [5]



*Obr.:5, Výrobek z Somos® 10122 - WaterClear®[5]*

**Somos® 11122 - Watershed® XC**- barva: opticky jasná, téměř bezbarvá  
Certifikace: ISO 10993 až 5, ISO 10993 do 10 Zdravotnické standardy, a USP třída IV. Tato pryskyřice je nízkoviskozní foto-polymer, který produkuje silné, tuhé a voděodolné modely. Části vyrobené z této pryskyřice mají světle zelenou barvu připomínající tabulové sklo. 11122 nabízí mnoho vlastností, které připomínají vlastnosti tradičně zpracovaných plastů jako například ABS. Tyto vlastnosti činí tento materiál vhodným pro použití v automobilovém průmyslu, zdravotnictví a spotřební elektronice. [5]



*Obr.:6, Výrobek z Somos® 11122 - Watershed® XC[5]*

**Somos® 18120 - ProtoGen O-XT –barva:transparentní**

Tato pryskyřice je tekutý foto-polymer, ze kterého jsou vyráběny přesné díly ideální pro obecné použití. Tento materiál je prvním materiálem, u kterého lze demonstrovat různé vlastnosti při různém nastavení expozice u SLA přístroje. 18120 nabízí vynikající chemickou odolnost a vynikající zachování tolerance k širokému rozsahu teplot. Prototypy z tohoto materiálu jsou vhodné pro letecký a automobilový průmysl, lékařství a elektroniku.[5]



*Obr.:7, Výrobek z Somos® 18120 - ProtoGen O-XT[5]*

**Bílé pryskyřice:****Somos® 14120 – White- barva:bílá**

Tato pryskyřice je nízkoviskozní fotopolymer, ze které se vytváří silné, tuhé a voděodolné modely. Součástky vyrobené z tohoto materiálu mají bílý, neprůhledný vzhled a mechanické vlastnosti podobající se vlastnostem plastů jako, jsou například ABS. Jsou tedy ideální pro mnoho aplikací v automobilovém průmyslu, zdravotnictví a elektronice.[5]



*Obr.:8, Výrobek z Somos® 14120 – White[5]*

**Somos® 18420 - ProtoGen O-XT- barva: bílá**

Certifikace: ISO 10993 až 5 a ISO 10993 do 10 lékařských norem

Tento materiál má stejné mechanické vlastnosti jako Somos® 11122 - Watershed® XC. Liší se pouze barvou.[5]



*Obr.:9, Výrobek z Somos® 18420 - ProtoGen O-XT[5]*

**Somos® 9420 - EP White- barva: bílá**

Tato pryskyřice je vysokorychlostní tekutý fotopolymer, ze kterého jsou vytvářeny robustní, funkční a přesné modely. 9420 má vynikající teplotní a vlhkostní rozsah a také velmi dobrou chemickou odolnost. Svými mechanickými vlastnostmi napodobuje mnoho technických plastů. Vytvořené modely vykazují vynikající únavové vlastnosti. Tento materiál je vhodnou volbou pro součástky kde je kladen důraz na trvanlivost a odolnost, což z něj činí vhodnou volbu pro součástky do automobilů, elektronické skříně a lékařské produkty.[5]



*Obr.:10, Výrobek z Somos® 9420 - EP White[5]*

Speciální pryskyřice:**Somos® 12120 - Prototherm™ - barva: průsvitně červená**

Tato pryskyřice je tekutý fotopolymer, ze kterého jsou vyráběny silné, tuhé a teplotně odolné modely. Hned po vytvoření má model třešňově-červený vzhled, který je po tepelném vytvrzení změněn na oranžovo-červený.[5]



*Obr.:11, Výrobek z Somos® 12120 - Prototherm™[5]*

**Somos® Nanotool™** - barva: bílá

Nanotool je kompozitní materiál, který odolává vysokým teplotám. Tento materiál je silně naplněn non-krystalickými nanočásticemi umožňující rychlejší zpracování. Modely vytvořené z tohoto materiálu vykazují vynikající kvalitu bočnice a rozlišení detailů oproti ostatním materiálům stereolitografie. [5]



*Obr.:12, Výrobek z Somos® Nanotool™[5]*

**SL-100 DMX™** - barva: nažloutlá

Tento typ materiálu je extrémně odolný a jsou z něj vyráběny velmi přesné díly s vysokou kvalitou detailu. Jedná se o chemickou platformu, která dává materiálu vysokou odolnost vůči nárazu (podobnou jako u termoplastů), což je průlom ve stereolitografických pryskyřicích. Jednotlivé povrchy mohou být dokončeny s výbornou kvalitou povrchové úpravy v porovnání s ostatními konkurenčními technologiemi.[5]



*Obr.:13, Výrobek z SL-100 DMX™[5]*

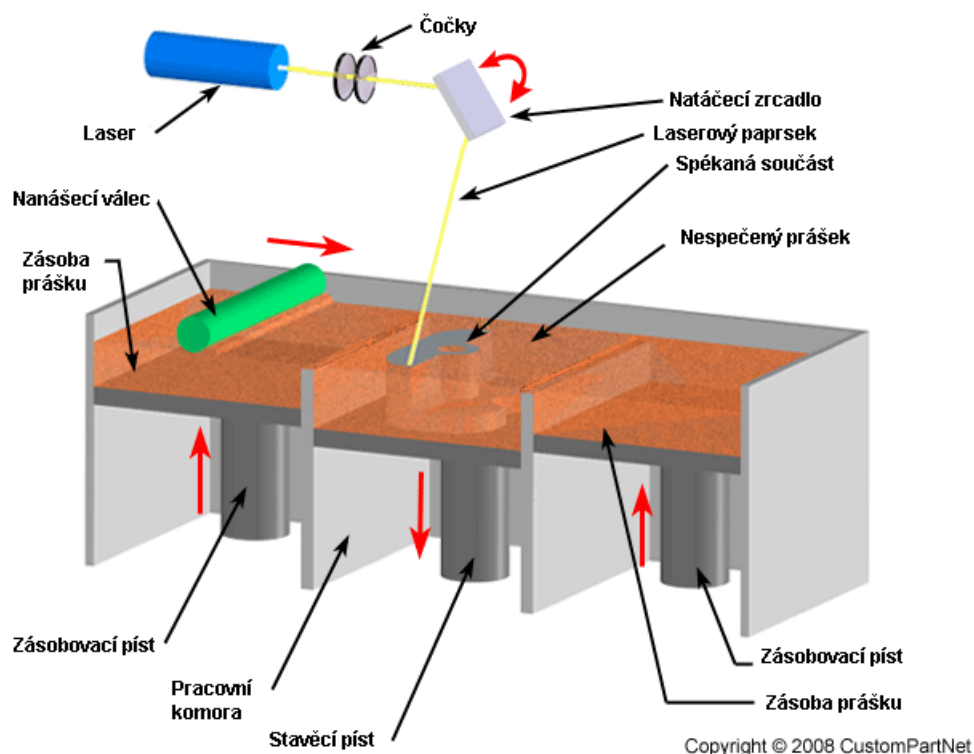
## 4.2 Selective laser sintering(SLS)

### 4.2.1 Princip metody SLS

Tato metoda je do jisté míry podobná s metodou Stereolitografie. S tím rozdílem, že jako stavební materiál se nepoužívá svetločivná pryskyřice, ale jemný prášek. Model se nepohybuje v materiálu, jako je tomu u stereolitografie, ale materiál je nanášen na model. Tento jemný prášek je nanášen do pracovního prostoru pomocí posuvného nože, jenž také zajišťuje rovinnost a tloušťku vrstvy prášku. Podle typu aplikace může jít o různé druhy stavebních materiálů, jako jsou polyamidy (používané pro přímé aplikace plastových výrobků), kovové prášky (sloužící k přímé výrobě kovových výrobků), nebo práškový písek, pomocí kterého se vyrábějí formy pro železné odlitky, atd. Další změnou oproti Stereolitografii je absence podpor. U této metody je zajištěna funkce podpory pomocí nevytvrzeného stavebního materiálu, což je značná výhoda oproti stereolitografii. Jednotlivá tloušťka vrstvy může být od 0,1mm do 0,2mm. Pracovní komora je hermeticky uzavřena a naplněna inertním plynem (dusíkem), pomocí něhož je docíleno ochrany jakosti povrchu.

Princip výroby je shodný s metodou stereolitografie. Jedná se vykreslování jednotlivých vrstev modelu pomocí laserového paprsku (CO<sub>2</sub> laser o maximálním výkonu 20W). Po dokončení výroby modelu je nutné nejprve nechat prášek vychladnout na teplotu, při níž lze model vyjmout a očistit od zbylého prášku.

Výhody této metody spočívají v mechanických vlastnostech modelu, jenž jsou srovnatelné se sériovými materiály. Proto se takto vyrobené modely používají na zkoušky, které mají ověřit funkčnost v praxi. Tato metoda je také oproti SLA ekonomičtější a rychlejší. Na druhou stranu díky použití prášku a tloušťce vrstvy se nedá vyrobit tak přesný model jako u metody SLA, která používá pryskyřici.[3], [6]



Obr.:14,Schéma zařízení metody SLS[7]

#### 4.2.2 Materiály použitelné u metody SLS

##### Plastové materiály:

**Glass Filled Nylon** - Barva: světle šedá

- Výrobce: 3Dsystems

- Složení: nylon naplněný sklem

Tento materiál je používán pro reálné funkční modely, které jsou využívány na fyzické testy a funkční využití.[8]



*Obr.15, Výrobek z Glass Filled Nylon[9]*

**Duraform® EX Black** – Barva: černá

- Výrobce: 3D systems

- Složení: nárazu odolné plasty

Tento materiál je vhodný pro součástky u nichž je vyžadována extrémní robustnost, vysoká odolnost vůči nárazu a černá barva. Tento typ materiálu je schválen pro některé letecké a kosmonautické aplikace.[8]



*Obr.:16, Výrobek z Duraform® EX Black[10]*

**FR-106 (Nešířící oheň)** – Barva: bílá

- Výrobce: ALM

- Složení: oheň nešířící nylon

Tento typ materiálu byl speciálně vyvinut pro použití u dílů s protipožárním účinkem. Obsahuje samohasící příměsy při zachování mechanických vlastností. Součástky vyrobené z FR-106 vykazují vysokou tuhost a odolnost proti nárazu. Tloušťka stěny může být až 0,8 mm tenká při zachování protipožárních účinků.[8]

**WindForm® XT** - Barva: tmavě šedá

- Výrobce: CRP Technologies

- Složení: Nylon naplněný karbonem

Kompozitní materiál nové generace, který svými mechanickými vlastnostmi dochází k dokonalosti mezi materiály použitelnými v rychlém prototypování. Tento materiál zatím nemůže být srovnáván s dnes běžně používanými materiály u metod RP. Tento materiál se vyznačuje neprůhlednou tmavě šedou až černou barvou, vynikající tuhostí, vysokou odolností v tahu, odolností vůči extrémnímu opotřebení, optimální replikací detailů a možností kvalitních povrchových úprav. Tento typ materiálu je vhodný na použití u součástí kde je kladen vysoký důraz na vynikající mechanické vlastnosti a vysoký výkon.[8]



*Obr.:17, Výrobek z WindForm® XT[11]*

**Aluminum Filled Nylon** – Barva:nažloutlá

- Výrobce: EOS/3D systems

- Složení: Nylon naplněný hliníkem

Materiál má kovový vzhled, z něhož jsou vytvářeny velmi robustní části. Ideální pro modely, kde je vyžadováno následné obrábění.[8]

Kovové materiály:**Stainless Steel 17-4 GP1** – Výrobce: EOS

- Složení: pre-legovaná slitina nerezové oceli

Složení tohoto materiálu odpovídá klasifikaci USA 17-PH. Mechanické vlastnosti součástí vytvořených z tohoto materiálu se vyznačují zejména vynikající tažností, která je poměrně jednotná ve všech směrech. Jednotlivé součásti mohou být svařovány, leštěny, povlakovány atd. Neexponovaný prášek může být znovu použit bez omezení.[8]



*Obr.:18, Výrobek z Stainless Steel 17-4 GP1[12]*

**Cobalt Chrome MP1** – Výrobce: EOS

- Složení: Cobalt-chrom-molybdenové-niklové superslitiny

Tento materiál byl speciálně vyvinut pro tvorbu zubních náhrad, které musí být dýchované pro následné spojení s dentální keramikou.[8]



*Obr.:19, Výrobek z Cobalt Chrome MP1[13]*

**Titanium Ti6Al4V / ELI** – Výrobce: EOS

- Složení: Titanové slitiny

Tento materiál je dobře znám pro své vynikající mechanické vlastnosti, odolnost vůči korozi v kombinaci s nízkou měrnou hmotností a biokompatibilitou. ELI je zkratka z anglického extra low interstitial, což znamená, že v materiálu je obsaženo velice málo nečistot. Tento typ materiálu je vhodný pro součásti motorů a jako kloubní implantáty.[8]



*Obr.:20, Výrobek z Titanium Ti6Al4V / ELI[14]*

Voskové materiály:**CastForm PS** – Výrobce: ALM

- Složení: vosk na bázi polystyrenu

Tento materiál je velice vhodný pro vytváření voskových modelů, jejichž vlastnosti se blíží vlastnostem modelů ze slévárenského vosku. Obsah popela po vyhoření je menší než 0,02%. Tento typ vosku je vhodný pro odlévání slitin s nízkou teplotou tání, jako je např. hliník, hořčík, zinek atd.[8]



*Obr.:21, Výrobek z CastForm PS[15]*

### 4.3 Porovnání metod SLA vs. SLS

**Materiálová charakteristika-** Metoda SLA je omezena pouze na fotocitlivé pryskyřice, které jsou typicky křehké. U metody SLS se využívají různorodé prášky plastové, kovové a voskové, které se vyznačují různými vlastnostmi.

**Povrch součásti** – Pokud je pro zákazníka prioritní kvalita povrchu a přesnost detailu, je výhodnější použít metodu SLA. Povrch součásti u metody SLS je tvořen z ně zcela nataveného prášku, což zhoršuje kvalitu povrchu. Dokončovacími operacemi, jako je broušení, tmelení, lakování, lze dosáhnout kvalitního povrchu i u metody SLS.

**Rozměrová přesnost** – SLA je přesnější ihned po dokončení výroby modelu, ale SLS je méně náchylná k vnitřnímu pnutí, které je způsobeno vytvrzováním. Obě metody SLS a SLA trpí na nepřesnost ve svislém směru (osa Z).

**Podpurné struktury** – U metody SLA je ve většině případů vyžadována podpurná struktura. U metody SLS je většinou podpora tvořena práškem samotným. Použití podpor ale záleží na tvaru a poloze modelu. Odstraňování podpor může způsobit rozměrovou nepřesnost a zanechat stopy na povrchu součásti.

**Obrábění součásti-** Modely vytvořené pomocí metody SLA jsou křehké a tedy velice špatně obrobitelné. Na druhou stranu modely vytvořené pomocí SLS se obrábějí snadno.

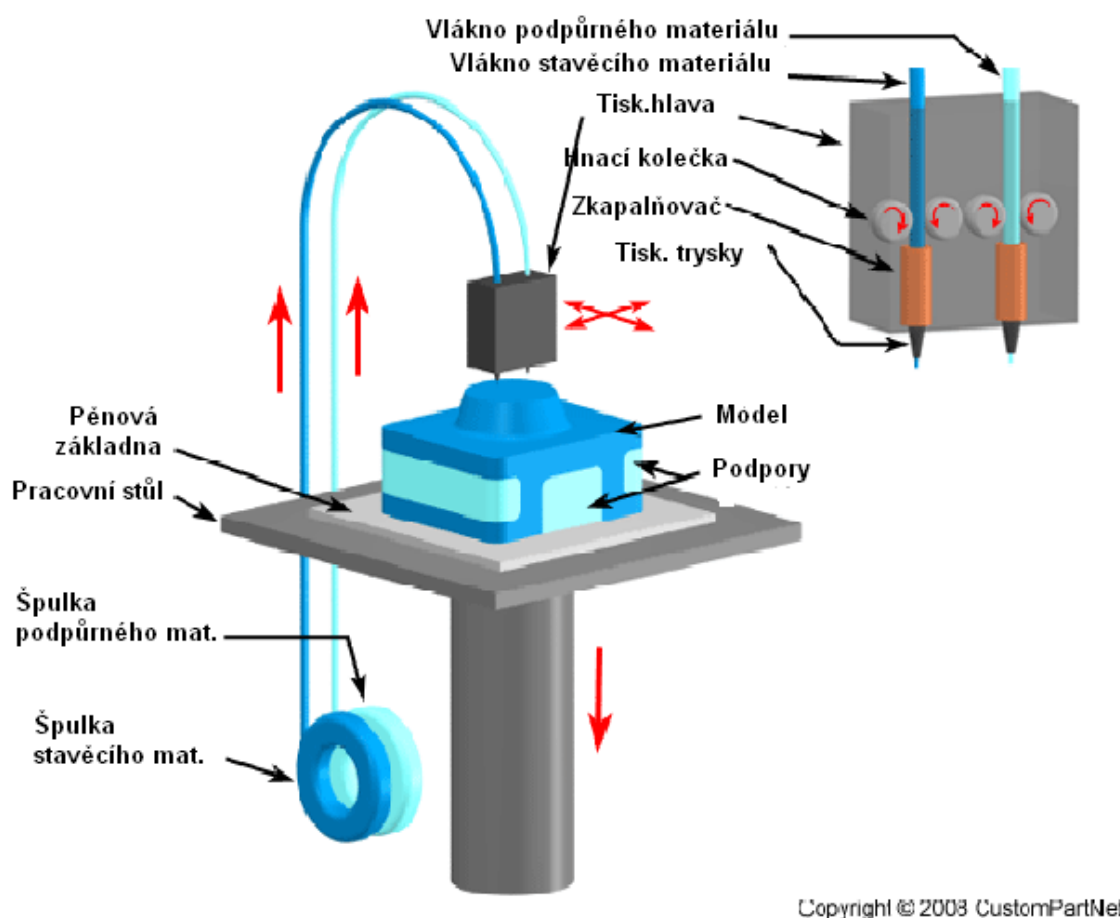
**Velikost** – Jednotlivé díly mohou být vytvořené ve shodné velikosti jak metodou SLA tak SLS. Záleží na velikosti pracovní komory.[8]

## 4.4 Fused depositoin modeling(FDM)

### 4.4.1 Princip metody FDM

Tento typ RP patří mezi tepelné, tryskově tištěné metody. Stavěcí materiál je nanášen pomocí ABS trysky v jednotlivých vrstvách. Tryska se tedy pohybuje v osách X a Y. V ose Z se pohybuje pracovní stůl spolu s modelem. Při této metodě se využívá dvou materiálů, a to stavěcího a podpůrného. Jako stavěcí materiál se používají termoplasty, které ve tvaru tenkého vlákna vychází z vyhříváné trysky. Teplota trysky je o 1°C vyšší než je teplota tavení materiálu. Při kontaktu ohřátého vlákna s povrchem vytvářeného modelu se vlákna vzájemně spojují a vytvářejí námi požadovanou tenkou vrstvu. Tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí od 0,33 do 0,127 mm. Součást se vytváří na pracovním stole, který se vždy posune o sílu vrstvy dolů ve směru osy Z. Jako stavěcí materiál se používá polyamid, polyetylen, polypropylen a vosk.

Modely vyrobené touto technologií nacházejí uplatnění u mechanicky namáhaných dílů a u dílů s teplotním zatížením. Na druhou stranu je tento princip ekonomicky nevýhodný pro více kusů a povrchové úpravy modelu jsou náročné s ohledem na použitý materiál.[16],[17],[18]



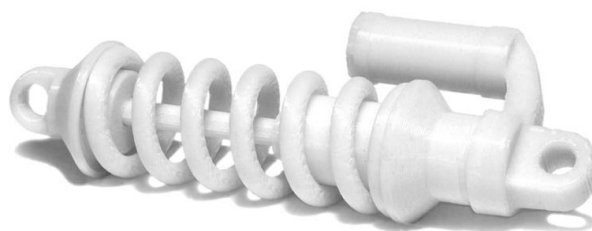
Obr.:22, Schéma metody FDM[17]

#### 4.4.2 Materiály použitelné u metody FDM

**ABS:** Jedná se o průmyslový termoplast. Tento materiál je široce používán v celém strojírenském odvětví. Je ideální pro rychlé prototypování funkčních modelů. ABS je dodáván v mnoha barevných kombinacích.[19]

##### Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu.....	22Mpa (zkušební metoda ASTM D638)
Pevnost v ohybu.....	44Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Prodloužení v tahu.....	6%(zkušební metoda ASTM D638)
Teplota deformace horkem(HDT).....	96°C(zkušební metoda ASTM D648)
Teplota skelného přechodu(Tg).....	104°C(zkušební metoda DMA(SSYS))
Tvrdość dle Rockwella.....	R105(zkušební metoda ASTM D785)



*Obr.:23, Výrobek z ABS[20]*

**Polykarbonát (PC):** Tento materiál má lepší mechanické vlastnosti než ABS. Je vyráběn v bílé barvě.[21]

##### Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu.....	52Mpa (zkušební metoda ASTM D638)
Pevnost v ohybu.....	97Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Prodloužení v tahu.....	3%(zkušební metoda ASTM D638)
Teplota deformace horkem(HDT).....	127°C(zkušební metoda ASTM D648)
Teplota skelného přechodu(Tg).....	161°C(zkušební metoda DMA (SSYS))
Tvrdość dle Rockwella.....	R118(zkušební metoda ASTM D785)



*Obr.:24, Výrobek z Polykarbonátu (PC)[22]*

**Polykarbonát-ABS(PC-ABS):** Tato směs materiálů kombinuje nejlepší vlastnosti obou materiálů. Vynikající vlastnosti ABS při tvorbě modelu a vynikající mechanické vlastnosti a tepelnou odolnost polykarbonátu. Součásti vyrobená z tohoto materiálu jsou hojně využívány v automobilovém průmyslu, v elektronice a v telekomunikaci.[23]

Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu.....	34.8Mpa(zkuš. metoda ASTM D638)
Pevnost v ohybu.....	50Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Prodloužení v tahu.....	4.3%(zkušební metoda ASTM D638)
Teplota deformace horkem(HDT).....	110°C(zkušební metoda ASTM D648)
Teplota skelného přechodu(Tg).....	125°C(zkušební metoda DMA(SSYS))
Tvrдость dle Rockwella.....	R110(zkušební metoda ASTM D785)



*Obr.:25, Výrobek z Polykarbonát-ABS(PC-ABS)[24]*

**ABSi:** Tento termoplast má průsvitný charakter. Je využíván pro pozorování materiálového toku a přenos světla. Modely jsou rozměrově přesné a stálé. Vhodný pro automobilové a lékařské aplikace.[25]

Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu.....	37Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Pevnost v ohybu.....	61Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Prodloužení v tahu.....	3,1%(zkušební metoda ASTM D638)
Teplota deformace horkem(HDT).....	87°C(zkušební metoda ASTM D648)
Teplota skelného přechodu(Tg).....	116°C(zkušební metoda DMA(SSYS))
Tvrдость dle Rockwella.....	R108(zkušební metoda ASTM D785)



*Obr.:26, Výrobek z ABSi[25]*

**ABS-M30:** Tento materiál je o 25 až 70 % pevnější než standardní ABS. Vhodný pro výrobu koncepčních prototypů a ověřování návrhů. ABS-M30 má lepší pevnost v tahu, ohybu a nárazu odolnost ve srovnání s ABS. Zkoušky prováděné na modelech z tohoto materiálu nám dávají přesnější obraz o konečné verzi výrobku.[26]

Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu.....	36Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Pevnost v ohybu.....	61Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Prodloužení v tahu.....	4%(zkušební metoda ASTM D638)
Teplota deformace horkem(HDT).....	96°C(zkušební metoda ASTM D648)
Teplota skelného přechodu(Tg).....	108°C(zkušební metoda DMA(SSYS))
Tvrdost dle Rockwella.....	R109,5(zkušební metoda ASTM D785)



Obr.:27, Výrobek z ABS-M30[27]

**PPSF(polyfenylsulfan):** Tento materiál má největší pevnost a tepelnou a chemickou odolnost ve srovnání s předešlými materiály metody FDM. Vhodný pro letecké, automobilové a lékařské aplikace. Součásti vyrobené z PPSF jsou nejen mechanicky výborné, ale i rozměrově přesné. U tohoto materiálu je možnost sterilizace pomocí parní autoklávy, radiace, plazmy a chemické sterilizace.[28]

Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu.....	55Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Pevnost v ohybu.....	110Mpa(zkušební metoda ASTM D638)
Prodloužení v tahu.....	3%(zkušební metoda ASTM D638)
Teplota deformace horkem(HDT).....	189°C(zkušební metoda ASTM D648)
Teplota skelného přechodu(Tg).....	230°C(zkušební metoda DMA(SSYS))
Tvrdost dle Rockwella.....	R86(zkušební metoda ASTM D785)



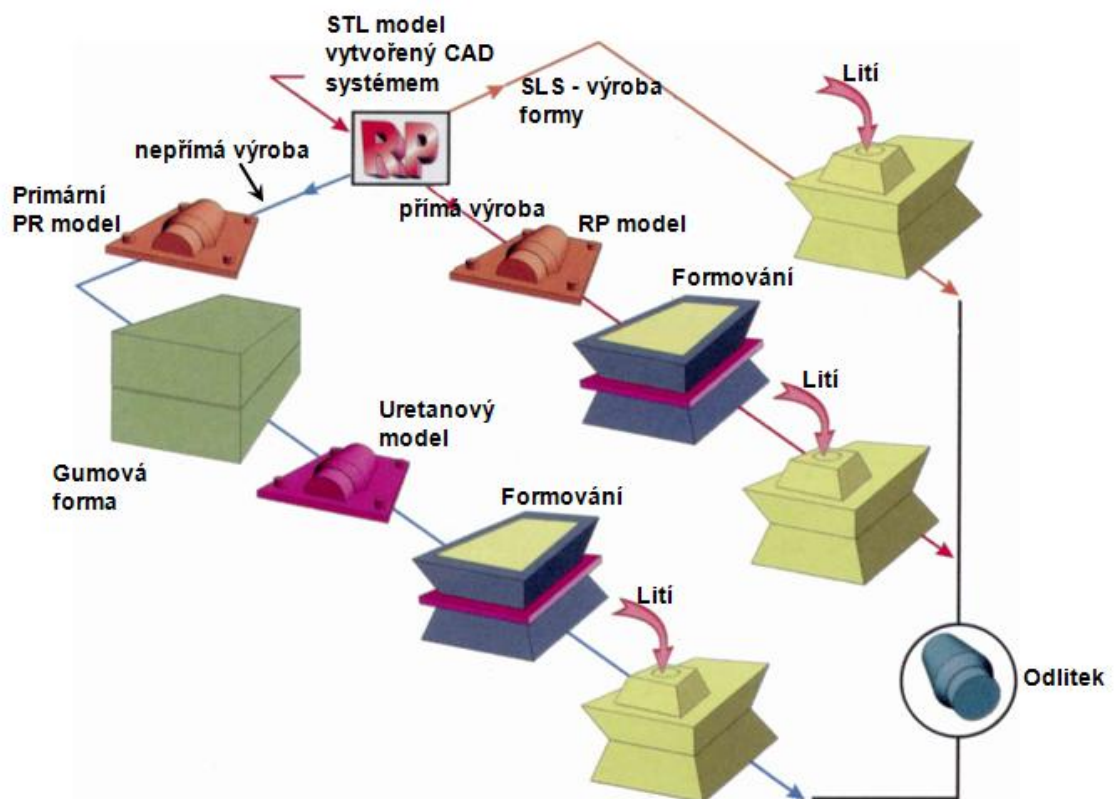
Obr.:28, Výrobek z PPSF(polyfenylsulfan)[29]

## 5 VYUŽITÍ METOD RP VE SLÉVÁRENSTVÍ

### 5.1 Využití RP při lití do pískové formy

Při klasickém postupu výroby pískové formy je náročné a zdlouhavé vyrobit kvalitní, přesný a mnohdy i vícedílný model, jenž následně slouží k zaformování. Metody výroby modelů pomocí RP napomáhají tento krok zkrátit a zlevnit při zachování dostatečné přesnosti výsledné formy. Ve slévárenství se postupně vyvinulo několik způsobů přeměny vytvořeného modelu na odlitek. Existují tři směry výroby pískové licí formy.[30]

- Přímá výroba licí formy:** Jedná se o přímou výrobu licí formy na stereolitografickém přístroji. Jako stavěcí materiál je zde použit speciální pískový prášek. Tímto způsobem je možné odlít z jednoho vytvořeného modelu pouze jeden odlitek.
- Přímá výroba:** V tomto případě vytvořený RP model slouží jako model pro výrobu licích pískových forem. Pomocí této metody je možnost vytvořit více odlitků z jednoho modelu.
- Nepřímá výroba:** Tato metoda spočívá ve vytvoření primárního RP modelu pomocí něhož je vytvořena gumová forma, která slouží pro výrobu uretanového modelu. Takto vytvořený uretanový model je posléze zaformován. Touto metodou je možno vytvořit více odlitků z jednoho RP primárního modelu.

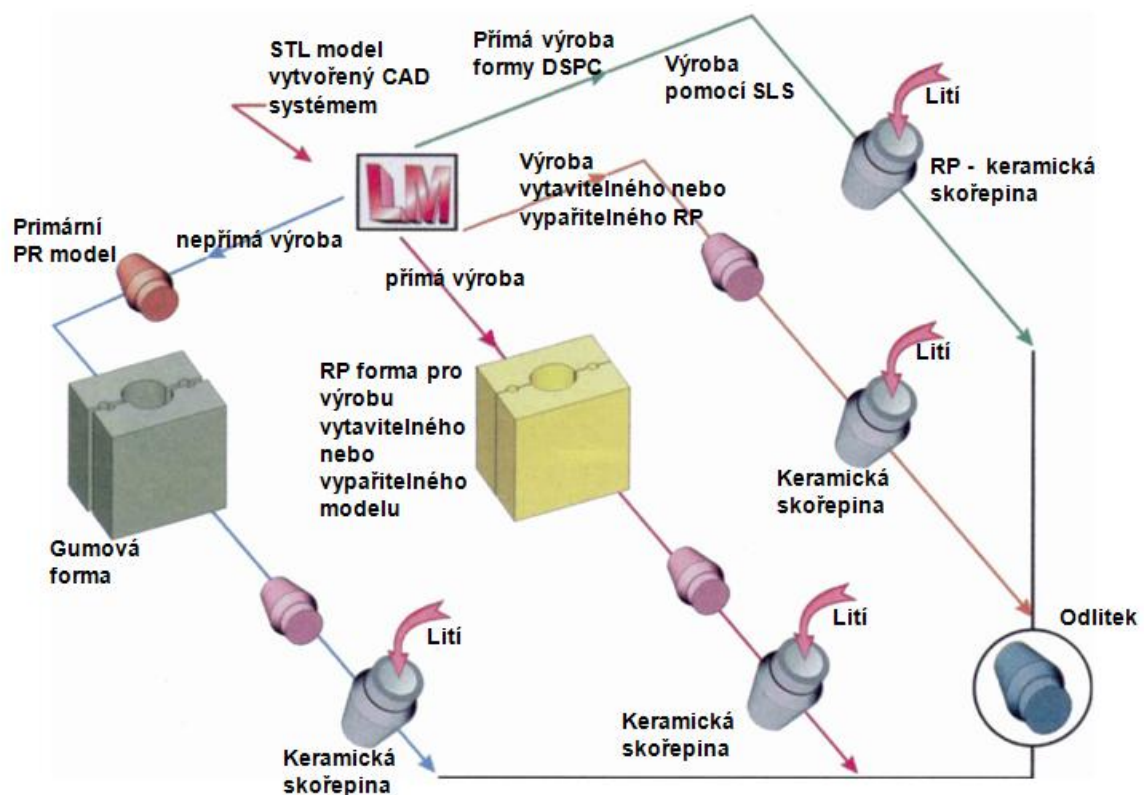


Obr.:29, Schéma postupu CAD- odlitek[30]

## 5.2 Metody RP s využitím vytavitelného modelu

Výroba prvotní ověřovací série odlitků vytvořených pomocí vytavitelného modelu klasickou cestou je velice finančně a časově náročná. Nejdražší je výroba matečné formy, jenž slouží pro výrobu voskových modelů odlitku. Cena jedné formy se pohybuje v řádech statisíců Kč. U prototypů u nichž je předpoklad, že budou dále upravovány, je zbytečné vyrábět zelenou formu pro vstřikování vosku.

V této části vstupuje do hry metoda rychlého prototypování, jenž umožňuje urychlení a zlevnění odlití prvotního odlitku. Existuje několik postupů, které vedou k přeměně RP modelu na odlitek. [30]



Obr.:30, Schéma postupu CAD-odlitek(vytavitelný model)[30]

Existují dva hlavní druhy postupů výroby odlitku pomocí RP, které se dále větví.

**1. Přímá výroba** a) Pomocí metody RP(SLS) je přímo vytvořena(vytisknuta) keramická skořepina, do které se odlévá finální odlitek

b) Pomocí metody RP je vytvořena forma pro výrobu vytavitelného, popřípadě vypařitelného modelu. Po vytvoření voskového, popřípadě vypařitelného modelu následuje klasický postup výroby keramické formy a následně získání odlitku.

c) Tento postup vede k výrobě vytavitelného, vypařitelného modelu přímo metodou RP. Používají se k tomu uzpůsobené materiály. Tento model je opět klasicky zpracován metodou přesného lití pomocí vypařitelného, vytavitelného modelu.

2.Nepřímá výroba a) U tohoto postupu je nejdříve vytvořen pomocí RP primární model, pomocí kterého je vytvořena gumová forma na voskové modely. Po vytvoření voskového modelu následuje klasický postup výroby keramické formy a následně získání odlitku. Výhodou je možnost opakovaného použití gumové formy.

## 6 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce zahrnuje přehled tří nejpoužívanějších metod jako jsou SLA, SLS a FDM. U každé metody jsou vybrány používané materiály a jejich mechanické vlastnosti, které jsou důležité pro výsledné vlastnosti vytvořeného modelu.

Dále je zde naznačen postup výroby při získávání odlitku z 3D modelu vytvořeného metodou RP. Jednak pomocí pískové formy a také pomocí přesného lití metodou vytavitelného modelu.

Při lití do pískové formy je metoda RP vhodná pro vytvoření primárního modelu. Tento primární model může být následně po vytvoření přímo zaformován do pískové formy, z které vznikne hotový odlitek, tzv. přímá cesta, nebo může následovat tzv. nepřímá cesta. Tato nepřímá cesta se vyznačuje tím, že pomocí primárního modelu se vytvoří gumová forma, ze které jsou vytvářeny modely prakticky totožné s primárním modelem, které slouží k zaformování do pískových forem. Díky této nepřímé cestě je možno vytvořit model z jiného, pro zaformování vhodnějšího materiálu. Tato metoda také dovoluje vytvořit více odlitků z jednoho primárního modelu vytvořeného metodou RP. Další zcela odlišná metoda, jak vytvořit odlitek pomocí RP je, že metodou RP je přímo vytvořena licí písková forma, což umožňuje metoda SLS. Jako stavěcí materiál je zde použit speciální písek. Tato cesta vytvoření odlitku dovoluje vyrobit pouze jeden odlitek z jednoho vytvořeného RP modelu.

Při lití pomocí vytavitelného modelu se metoda RP uplatňuje různými způsoby. Jednotlivé metody můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Přímý postup výroby odlitku je možno ještě rozdělit na tři způsoby. A to na přímou výrobu keramické skořepiny, která slouží pro lití, a jež je umožněna metodou SLS. Dále na přímou výrobu voskového modelu metodou RP, který je následně zaformován do keramické skořepiny. Poslední možnost přímé výroby je vytvoření formy metodou RP, jež slouží pro vytváření vytavitelných modelů. Oproti předcházejícím přímým postupům tato metoda umožňuje vytvořit více odlitků z jednoho RP modelu. Do nepřímého způsobu výroby odlitků patří metoda, při které je vytvořen primární RP model. Pomocí něho je vytvořena gumová forma a z té jsou následně vytvářeny vytavitelné voskové modely. Tato cesta také umožňuje vytvoření více odlitků z jednoho primárního RP modelu.

V současné době je pořizovací cena přístroje na výrobu 3D modelů vysoká, na druhou stranu nákupem tohoto přístroje získá slévárna výhodu oproti konkurenci. Výrobní čas prvotní (prototypové) série odlitků je při použití technologie RP zkrácen a cena takto vyrobených odlitků je podstatně nižší. Při získávání zakázky je cena a výrobní čas prvotní série rozhodujícím faktorem.

Metoda rychlého prototypování je rychle se vyvíjející odvětví. Vyvíjejí se nejen nové materiály, ale i nové technologie výroby 3D modelů. Všechny metody mají společný základní princip, kterým je vrstvení jednotlivých tenkých vrstev na sebe. Od sebe se liší pouze použitými stavěcími materiály a druhem spojování jednotlivých vrstev.

Technologie rychlého prototypování je velice progresivní způsob výroby 3D modelů. Takto vyrobené modely se vyznačují kvalitou detailu a rozměrovou přesností. Možností využití těchto modelů je velké množství. Jednotlivé metody výroby se do jisté míry překrývají, ale každá metoda má své výhody a nevýhody.

## Seznam použitých zdrojů

- [1]... Metal sculptures, [online]. 2008 [cit.2011-03-12] dostupný z www:  
<<http://streamr.blogspot.com/2008/05/metal-sculptures.html>>
- [2]... User's guide to rapid prototyping, Tod Grimm , [online]. c2004 Google book's [cit.2011-04-23] dostupný z www:  
<[http://books.google.cz/books?id=o2B7OmABPNUC&pg=PA14&lpg=PA14&dq=historie+rapid+prototyping&source=bl&ots=t7pN4GE1d1&sig=58Jpl265cg9v6hzXBOP26STyrk&hl=cs&ei=li4NTPmJGoGbOITSgNUP&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=12&ved=0CFwQ6AEwCw#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cz/books?id=o2B7OmABPNUC&pg=PA14&lpg=PA14&dq=historie+rapid+prototyping&source=bl&ots=t7pN4GE1d1&sig=58Jpl265cg9v6hzXBOP26STyrk&hl=cs&ei=li4NTPmJGoGbOITSgNUP&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=12&ved=0CFwQ6AEwCw#v=onepage&q&f=false)>
- [3]... Nekonvenční metody obrábění 9. Díl, Ing. Jaroslav Řasa, CSc., Ing. Zuzana Kerečaninová, Ph.D., [online]. c2008 [cit.2011-02-15] dostupný z www:  
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil>>
- [4]... Studio associato odontoiatra, Dr. Veronika Vismara, Dr. Antonio Busato, [online], [cit.2011-04-12] dostupný z www:  
< <http://www.vismara-busato.it/modelli3d.html> >
- [5]... Available Stereolithography Resins, [online], [cit.2011-02-08] dostupný z www:<<http://www.stereolithography.com/sla-resins.php>>
- [6]... About our laser sintering prototyping service, [online], [cit.2011-02-10] dostupný z www:< <http://www.materialise.com/laser-sintering-prototyping> >
- [7]... Selective Laser Sintering, [online]. c2009 [cit.2011-01-25] dostupný z www:  
< <http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering> >
- [8]... Available Laser Sintering Materials, [online], [cit.2011-01-24] dostupný z www:<<http://www.lasersintering.com/sls-material.php#gfn>>
- [9]... Wick's trading post, [online], [cit.2011-03-25] dostupný z www:  
<<http://www.crankyfarmer.com/otherstocks.html>>
- [10]... Rapid response, hovering urban aerial vehicle, Leslie Langau, [online]. 2010 [cit.2011-02-11] dostupný z www:  
<<http://www.makepartsfast.com/2010/05/877/rapid-response-hovering-urban-aerial-vehicle/>>
- [11]... Planetary gear Bicycle: Creativity in one piece, [online]. 2009 [cit.2011-02-12] dostupný z www:  
<<http://www.automotto.com/entry/planetary-gear-bicycle-creativity-in-one-piece/>>
- [12]... Laser sintering – versatile production of tooling inserts, prototype parts and end products from metal powder, [online]. 2011 [cit.2011-02-24] dostupný z www:  
<<http://www.machine-marketplace.com/laser-sintering-versatile-production-of-tooling-inserts-prototype-parts-and-end-products-from-metal-powder.html>>

[13]... Surface Finish & Finishing of DMLS - (Direct Metal Laser Sintering) Parts, Timm Rafner, [online]. 2010 [cit.2011-03-01] dostupný z www: <<http://directmetallasersintering.blogspot.com/2010/04/surface-finish-finishing-of-dmls-direct.html>>

[14]... Morris technologies, DMLS Titanium Machine in North America 06-28-2010, [online]. 2010 [cit.2011-03-20] dostupný z www: <<http://www.morristech.com/news.asw>>

[15]... Rapid prototype investment casting, Seybert casting, [online], [cit.2011-02-15] dostupný z www: <[http://www.seybertcastings.com/burnout\\_page.htm](http://www.seybertcastings.com/burnout_page.htm)>

[16]... Nekonvenční metody obrábění 10. Díl, Ing. Jaroslav Řasa, CSc., Ing. Zuzana Kerečaninová, Ph.D., [online]. c2008 [cit.2011-01-26] dostupný z www: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil>>

[17]... Fused Deposition Modeling (FDM), [online]. c2009 [cit.2011-03-18] dostupný z www: <<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>>

[18].. Aplikace technologií Rapid Prototyping, MM 2001 / 1, 31. ledna 2001 v rubrice Trendy / Plasty, strana 10, [online]. c2001 [cit.2011-03-21] dostupný z www: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologie-rapid-prototyping>>

[19]... FDM Technology>materials ABS.pdf, [online]. c2005 [cit.2011-02-19] dostupný z www: <<http://www.quickparts.com/UserFiles/File/ABS.pdf>>

[20]... Gues Technologies, Prototypes made easy, [online]. c2010 [cit.2011-03-17] dostupný z www: <<http://www.gusetech.com/>>

[21]... FDM Technology>materials Polycarbonate (PC).pdf, [online]. c2005 [cit.2011-01-14] dostupný z www: <<http://www.quickparts.com/UserFiles/File/PC.pdf>>

[22]... Medtronic, Resources: Case studies, [online]. c2011 [cit.2011-04-08] dostupný z www: <<http://www.stratasys.com/Resources/Case-Studies/Medical-FDM-Technology-Case-Studies/Medtronic.aspx>>

[23]... FDM Technology>materials Polycarbonate-ABS Blend.pdf, [online]. c2005 [cit.2011-01-15] dostupný z www: <<http://www.quickparts.com/UserFiles/File/PCABS.pdf>>

[24]... New Material Options for FDM Direct Digital Manufacturing and Rapid Prototyping Machines, [online]. c2006-2011 [cit.2011-01-18] dostupný z www: <<http://www.presse-meldungen.at/49549/new-material-options-for-fdm-direct-digital-manufacturing-and-rapid-prototyping-machines/>>

[25]... FDM Technology>materials ABSi.pdf, [online]. c2005 [cit.2011-02-01] dostupný z [www:<http://www.quickparts.com/UserFiles/File/ABSi.pdf>](http://www.quickparts.com/UserFiles/File/ABSi.pdf)

[26]... FDM Technology>materials ABS-M30.pdf, [online], [cit.2011-02-05] dostupný z [www:http://www.quickparts.com/UserFiles/File/ABS-M30.pdf](http://www.quickparts.com/UserFiles/File/ABS-M30.pdf)

[27]... RedEye, Overnight Build, [online]. c2011 [cit.2011-04-14] dostupný z [www:<https://au.redeyeondemand.com/overnightbuild.aspx?noredirect=1>](https://au.redeyeondemand.com/overnightbuild.aspx?noredirect=1)

[28]... FDM Technology>materials Polyfenylsulfone.pdf, [online]. c2005 [cit.2011-02-20] dostupný z [www:<http://www.quickparts.com/UserFiles/File/PPSF.pdf>](http://www.quickparts.com/UserFiles/File/PPSF.pdf)

[29]... RedEye, FDM thermoplastics, [online]. c2011 [cit.2011-04-14] dostupný z [www:<http://www.redeyeondemand.com/PPSF.aspx>](http://www.redeyeondemand.com/PPSF.aspx)

[30]... Přehled metod rychlého prototypování-prezentace, prof.Ing Milan Horáček,CSc, [cit.2011-04-21]

**Seznam použitých zkratk**

FDM..... Fused depositoin modeling

RP..... Rapid prototyping

SLA..... Stereolitografie

SLS..... Selective laser sintering