



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU S VYUŽITÍM METOD RAPID PROTOTYPING

TOOL CONSTRUCTION BY USING RAPID PROTOTYPING METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN MIKULENKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN ZOUHAR

BRNO 2009

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje jednotlivé metody výroby modelů vyrobené procesem rapid prototyping. U každé z těchto metod jsou popsány její výhody a nevýhody. Součástí této práce je rovněž postup konstrukce přípravku pro výrobu armatury v příslušném softwaru. V závěru této práce je krátké zhodnocení výroby přípravku z ekonomického a časového hlediska.

Klíčová slova

Rapid prototyping, prototypy, konstrukce přípravku, ekonomika výroby, příprava dat pro RP, STL, SGC, FDM, LOM, MJM, SLS, 3DP, MJS, DSPC, CatalystEX

ABSTRACT

This bachelor thesis describes methods of model manufacturing by Rapid Prototyping. Advantages and disadvantages are situated in the bottom of each method. This thesis includes the planning of preparative for manufacturing armature in technical software. There is short economical estimation at the end of this work.

Key words

Rapid prototyping, prototype, construction of preparative, economy of manufacturing, preparation file for RP, STL, SGC, FDM, LOM, MJM, SLS, 3DP, MJS, DSPC, CatalystEX

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKULENKA, M. *Konstrukce přípravku s využitím metod Rapid Prototyping*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 43s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Zouhar.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Konstrukce přípravku s využitím metod Rapid Prototyping*“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, které tvoří přílohu této práce.

2. 5. 2009

.....
Martin Mikulénka

Poděkování

Děkuji tímto *Ing. Janu Zouharovi* za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat mým rodičům, kteří mi studium na vysoké škole umožnili a v plné míře mě podporovali.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	6
Poděkování	7
Obsah	8
Úvod	9
1 Rapid prototyping	10
1.1 Definice prototypu	10
1.2 Historický vývoj metody RP	10
1.3 Kroky výroby prototypu	12
2 Metody Rapid Prototyping	14
2.1 Na bázi fotopolymerů	14
2.1.1 Stereolitografie	14
2.1.2 SGC – vytvrzování citlivého polymeru	16
2.2 Na principu tuhé báze	17
2.2.1 FDM – nánosové modelování	17
2.2.2 LOM – vrstvení lepidivého materiálu	21
2.2.3 MJM – nanášení termoplastů	22
2.3 Práškové	23
2.3.1 SLS - slinování laserem	23
2.3.2 3DP – 3D tisk	25
2.3.3 MJS – vytlačování	26
2.3.4 DSPC – výroba keramickým forem pro kovové součásti	26
3 Konstrukce přípravku	27
3.1 Definice přípravku	27
3.2 Rozdělení přípravků	27
3.3 Volba materiálu	29
3.4 Návrh přípravku	29
4 Přípravek pro výrobu armatury	29
4.1.1 Popis a funkce přípravku	29
4.1.2 Příprava v softwaru	30
5 Ekonomické zhodnocení	35
Závěr	37
Seznam použitých zdrojů	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	40
Seznam příloh	41
Příloha 1	42

ÚVOD

V současné době je technologie Rapid Prototyping velmi žádoucí. Společnosti využívají této metody k různým účelům. RP technologie výroby spočívá v rychlé výrobě modelů, na kterých se mimo jiné můžou zkoušet mechanické vlastnosti tohoto modelu před jeho spuštěním do sériové výroby. Metody na principu RP jsou stále ve vývoji a to z důvodu pozdějšího nástupu technologie na trh.

Tato bakalářská práce obsahuje kromě jednotlivého popisu různých metod výroby také volbu metody výroby přípravku pomocí technologie RP. Přípravek bude použit na výrobu armatury. Na tomto přípravku budou ukázány jednotlivé operace přípravy při postupu zhotovení. Při volbě metody musíme brát zřetel na složitost přípravku, velikost, druh materiálu a objem podpor, kterých je potřeba k jeho zhotovení. Při ekonomickém zhodnocení nebudeme uvažovat cenu zařízení a budeme předpokládat, že o tisk požádáme určitou společnost.

Jako jednu z možností pro výrobu tohoto přípravku můžeme zvolit jednu z několika metod, které jsou založené na kapalně bázi. Mohli bychom použít výrok, že z důvodu dlouhého vývoje bude tato kategorie výroby dokonalá. Zbývají nám další dvě kategorie. První kategorie je na bázi pevných materiálů a druhá na bázi prášků. Náš přípravek bude zhotoven metodou FDM, která je na bázi pevných materiálů. U přípravku nepředpokládáme vysoké namáhání.

Cílem této práce bude srovnání cen a doby výroby klasickým obráběním a zhotovením metodou RP. Cílem bude rovněž seznámit se jednotlivými metodami RP a softwarem, který je pro jednotlivé tiskárny určen. Z důvodu blízkosti tématu, bude práce obsahovat krátký úvod o konstrukci přípravků. Součástí této práce je již zhotovený přípravek.

1 RAPID PROTOTYPING

1.1 *Definice prototypu*

Definice prototypu: Prototyp je první neboli originální verze výrobku, který bude vyvinut a později vyráběn.

V dnešní době je cílem každé strojírenské firmy, pokud možno v co nejkratší době, prezentovat nový výrobek za účelem marketingu a tato výhoda, podoba finálního produktu, rovněž bývá k prospěchu z důvodu ověření jejich tvarů, funkčnosti či montáže v sériové výrobě. Výhodou této metody je ekonomičtější výroba než obráběním, kde je odebírána většina materiálu obrobku. Naopak nevýhodou je vysoká pořizovací cena RP zařízení. RP rozumíme technologii, která se používá v mnoha oborech při vývoji nových výrobků. Řada společností si prodej či výrobu svých produktů, bez využití metody RP, nedovede představit. Metoda RP nahrazuje, časově náročnou, ruční výrobu prototypů různými metodami (viz. 2. kap.). Metod pro výrobu modelů RP je několik a liší se např. rozměry výrobků, přesností, použitým materiálem a barevným provedením.[1]

1.2 *Historický vývoj metody RP*

Historický vývoj metody RP je úzce spojen s vývojem počítačových aplikací. S klesající cenou počítačů, konkrétně osobních počítačů, se zcela změnil způsob chodu firem. Se zvyšujícím se počtem používání počítačů se rovněž rozšířilo používání CAD, CAM a CNC aplikací. Zvláště vývoj metody RP by nemohl postupovat bez užití aplikací CAD. Nicméně z pečlivých zkoušek RP systémů, můžeme snadno vydedukovat, že kromě CAD aplikací, hrály velkou roli ve vývoji také výrobní systémy a vývoj materiálů.

Tab. 1 Historický vývoj metody RP [1]

Rok Počátku	Událost
1770	Mechanizace
1946	První počítač
1952	První NC stroje
1960	První komerční laser
1961	První komerční robot
1963	První interakční grafický systém
1988	První komerční systém metody RP

Vývoj výroby prototypu můžeme rozdělit do tří etap:

1. Ruční výroba prototypu

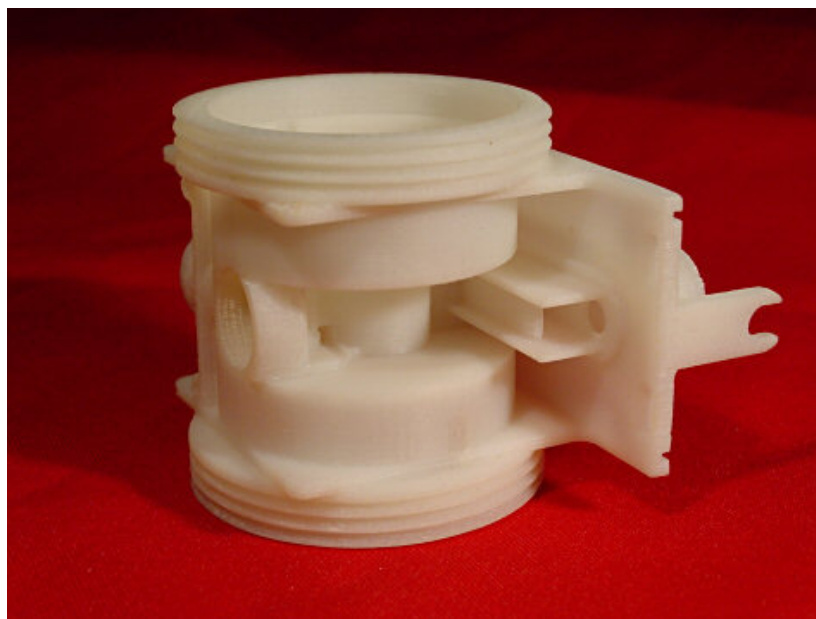
Typickým znakem této fáze je to, že prototypy nebývají příliš náročné. Jedná se tedy o zcela jednoduché prototypy. Doba výroby se může měnit v závislosti na složitosti prototypu a jiných náležitostech.

2. Virtuální prototypy

Jedná se především o CAD/CAE/CAM aplikace. Tyto typy prototypu se používají velice často. Jejich působiště je většinou internet, kde firmy prezentují své produkty ve 2D či 3D zobrazení. Výhodou těchto prototypů je to, že po zadání materiálových vlastností, mohou být testovány ve speciálním softwaru, který např. využívá metody konečných prvků. Počátek těchto prototypů se datuje od roku 1980. Nevýhodou je ovšem absence fyzického kontaktu s modelem, kdy nemůžeme např. ověřit montáž v sériové výrobě.

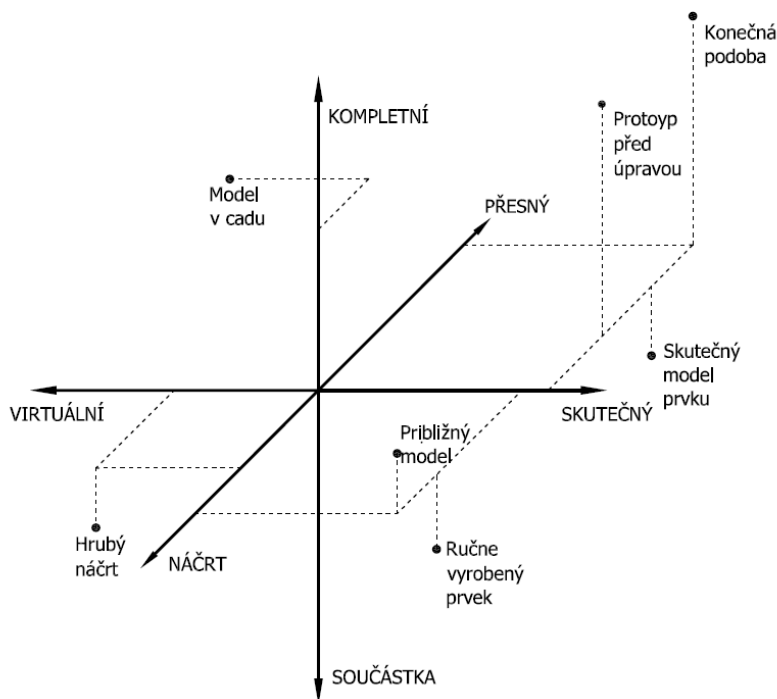
3. Rapid prototyping

Výhodou je fyzický model vyrobený v krátkém čase. Rovněž je možnost testování výrobku či kontrola zda výrobek bude sedět do sériové výroby. Od roku 1988 se na trhu objevilo více než 20 rozdílných technologií využívající metody RP.[1]



Obr. 1 Ukázka součásti vyrobené RP [2]

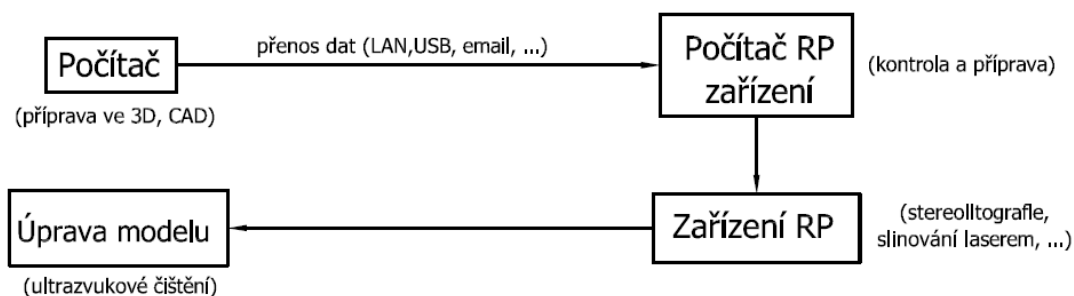
1.3 Kroky výroby prototypu



Obr. 2 Stádia prototypu [1]

Obr. 2 ukazuje jednotlivé kroky při výrobě prototypu. Tři osy popisují, zda se jedná o prototyp více či méně přesný, virtuální či skutečný a zda se jedná o prototyp celkový nebo jen o jeho část. Konečnou podobu výsledného prototypu, vyrobeného metodou RP

nalezneme v pravém horním rohu. Z obr. 2 jde jasně vidět, že prototyp vyrobený metodou RP je přesnější než prototyp vyrobený ručně. Ovšem i tento typ prototypu je zapotřebí při některých počátečních demonstracích produktu.



Obr. 3 Řetězec procesu [1]

Obr. 3. popisuje řetězec procesu RP. Celý řetězec je složen pěti body. Jsou jimi:

- 1) 3D modelování
- 2) přeměna a přenos dat
- 3) kontrola a příprava
- 4) samotný proces výroby
- 5) dokončovací operace

Celý proces výroby prototypů dělíme do tří kategorií. První je příprava modelu, výroba modelu a úprava modelu. V závislosti na kvalitě modelu se proces mezi body 3 a 4 může opakovat, dokud nebude model vyhovující. Jako ostatní procesy zhotovení, je rovněž důležitý výrobní proces. Tento proces musíme uvažovat ještě před tím, než celý řetězec RP spustíme. V plánování výroby jsou kroky RP procesu zaznamenány s veškerými detaily. Různé faktory a parametry, které ovlivňují výkon každé z operací, jsou dopředu pečlivě uvažovány. Např. zda zvolíme metodu SLA, orientace součásti je důležitým faktorem, který může ovlivnit kvalitu a rychlost celého procesu. Operační arch vyžaduje řádnou dokumentaci a jasně stanovená pravidla. Dobrá dokumentace slouží k pozdějšímu zkoumání a vyhodnocení procesu. Tyto informace mohou být v budoucnu využity k dalším operacím. [1]

2 METODY RAPID PROTOTYPING

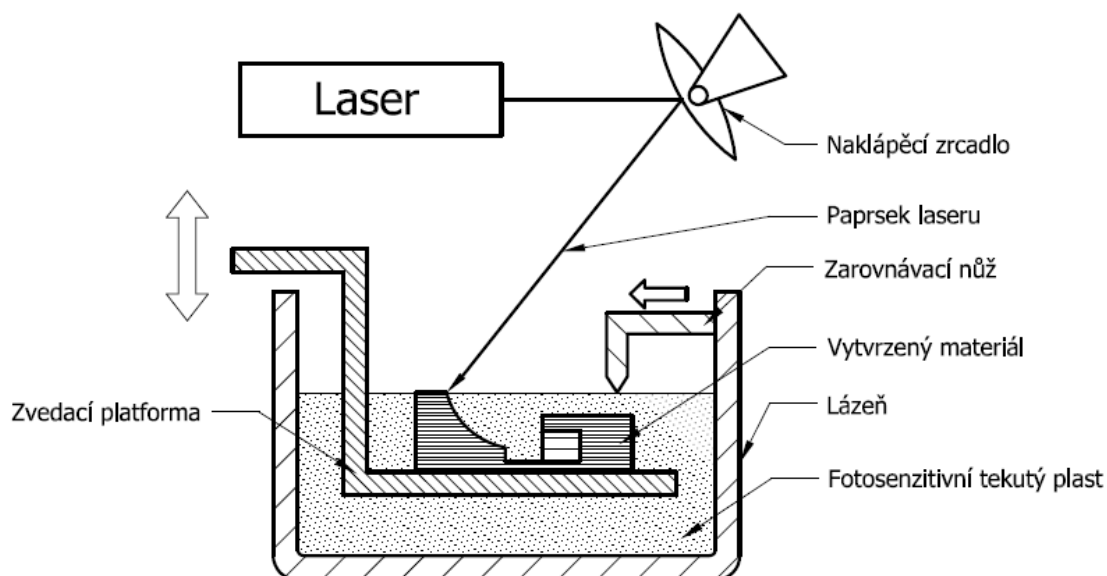
2.1 *Na bázi fotopolymerů*

Většina modelu vyrobeného touto skupinou je vytvářena v nádobě s kapalnou pryskyřicí. Pod hladinou je vytvrzena vrstva modelu. Po dokončení této vrstvy, se materiál posune o určitou hodnotu a další vrstva může být vytvrzena. Po skončení celého procesu je zbytek pryskyřice odváděn a model může být použit pro další operace. Prodejci tohoto zařízení definují své produkty a to dle typu laseru, metody skenování, zvedacího mechanismu a optické soustavy. [1]

2.1.1 Stereolitografie

Tato metoda se řadí mezi nejstarší metody výroby prototypů RP. V současné době se SLA rovněž řadí mezi nejpřesnější výroby prototypů. Tato přesnost se pohybuje okolo 0,05-0,2mm/100mm. Nejenom to, řadí tuto technologii na nejpoužívanější kategorii. Výhodou je např. možnost výroby forem pro lití a vstřikování, možnost výroby modelu s miniaturními otvory a prvky nebo rychlý způsob převodu 3D modelu. SLA je hodně používána v automobilovém průmyslu při výrobě tzv. Data control modelu. Jedná se o nemobilní model auta, na kterém se zkouší různé technologické přípravky, nástroje linky apod. Stroj na výrobu modelu se skládá z 3 hlavních částí. Jsou jimi: pracovní komora, řídicí jednotka a opticko-laserový systém. Pracovní komora obsahuje epoxidovou pryskyřici, ve které se pohybuje platforma, konající pohyb ve směru osy Z (svislý směr). Počítač je obsažen v řídicí jednotce, která řídí celý proces výroby. Opticko-laserový systém je složen z plynového nebo pevnolátkového laseru, čoček a soustavy zrcadel, které slouží k usměrnění paprsku. Stavba SLA modelu je založena na jednotlivém vytvrzování 2D vrstev, které jsou vzaty z předchozího 3D modelu. Tyto vrstvy jsou silné 0,05-0,15mm. O tuto hodnotu je po každém vytvrzení zvednuta platforma. Po každém vytvrzení jednotlivé vrstvy nůž zarovná hladinu pryskyřice, aby byla dosažena tloušťka další vrstvy. Před zahájením celého procesu se musí model zbavit všech možných chyb. Jsou jimi např. převrácené trojúhelníky, díry v modelu nebo špatně nadefinované hrany. Následuje volba nejhodnější polohy modelu z důvodu dokončovacích operací. Model musí být dostatečně upnut k platformě. Toto upnutí zajistíme podporami. Podpory ovšem musí být uvažovány tak, aby se daly po celém procesu odstranit. Po vytvrzení všech vrstev se model vyjme z podpor a následuje

očištění a další opracování v UV komoře, kde se modelu dodá požadovaná pevnost a opracovatelnost. [1], [4]



Obr. 4 Schéma Stereolitografie [1]

Tabulka č. 2 ukazuje parametry jednotlivých tiskáren od společnosti 3D Systems.

Tab. 2 Zařízení společnosti 3D Systems [3]

model	iPRO 8000	iPRO 9000	iPRO 9000XL
vlnová délka	354,7 nm	354,7 nm	354,7 nm
garance laseru		10 000 hod nebo 18 měsíců	
tloušťka vrstvy	0,05-0,15mm	0,05-0,15mm	0,05-0,15mm
rychlost operace hraničních bodů	3,5 m/s	3,5 m/s	3,5 m/s
rychlost	25 m/s	25 m/s	25 m/s
rozměry zařízení	1260 x 2200 x 2280 mm	2120 x 2200 x 2280 mm	2120 x 2200 x 2280 mm
váha	1590 kg	2404 kg	2404 kg
rozměry výrobků		- dle příslušenství -	
RDM 650	650 x 350 x 300 mm	650 x 350 x 300 mm	650 x 350 x 300 mm
RDM 750SH	650 x 750 x 50 mm	650 x 750 x 50 mm	650 x 750 x 50 mm
RDM 750H	650 x 750 x 275 mm	650 x 750 x 275 mm	650 x 750 x 275 mm
RDM 1500 XL	-	-	1500 x 750 x 550 mm

Výhody: zhotovení objemnějších modelů, dostačující přesnost, výborná jakost povrchu, široký výběr materiálů, plynulý průběh procesu, není potřeba obsluhy během procesu.

Nevýhody: metoda, která požaduje úpravu modelu po procesu stereolitografie a následné sušení [1]

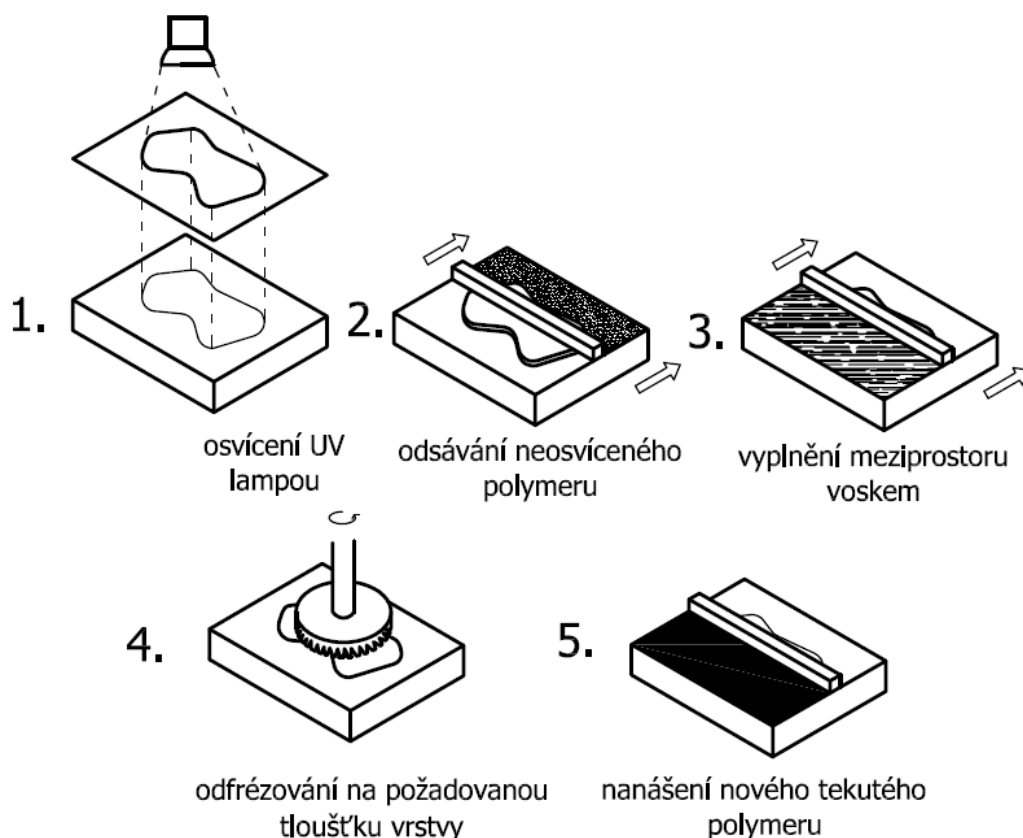
2.1.2 SGC – vytvrzování citlivého polymeru

Tento proces výroby poskytuje firma Cubital Ltd. Firma v současné době vystupuje na trhu s dvěma zařízeními. Je to Solider 4600 a Solider 5600. Solider 4600 je zařízení se základními vlastnostmi a nastaveními pro proces SGC. Model 5600 je zařízení již s rozvinutým nastavením procesu a dokáže vyrobit mnohem objemově náročnou součást. (viz tab. č.3)

Celý proces výroby spočívá osvětlením citlivého polymeru UV lampou skrz negativní masku, na které je naznačen tvar modelu jednotlivé vrstvy. Po tomto kroku se odsaje neosvětlený polymer. Vosk slouží pro vyplnění prostoru mezi osvětleným materiálem a prostorem, ve kterém se soustřeďoval neosvětlený polymer. Následuje ofrézování vrstvy na požadovanou tloušťku a nanášení polymeru může znova začít. [5], [7]

Tab. 3 Parametry zařízení společnosti Cubital Ltd.[1]

model	Solider 4600	Solider 5600
rozměry výrobku	350 x 350 x 350mm	500 x 350 x 500mm
rychlost procesu	550 cm ³ /hod	1311 cm ³ /hod
minimální tloušťka vrstvy	0,06 mm	0,06 mm
rozměry zařízení	1,8 x 4,2 x 2,9 m	1,8 x 4,2 x 2,9 m
zdroj připojení	380 – 415 V	380 – 415 V



Obr. 5 Schéma SGC [6]

Výhody: minimální smrštění modelu po procesu SGC, dobrá struktura a stabilita modelu, proces, který neprodukuje žádný zápach

Nevýhody: velké rozměry zařízení, problém s usazeniny vosku, proces vytváří odpad, hlučnost zařízení [1]

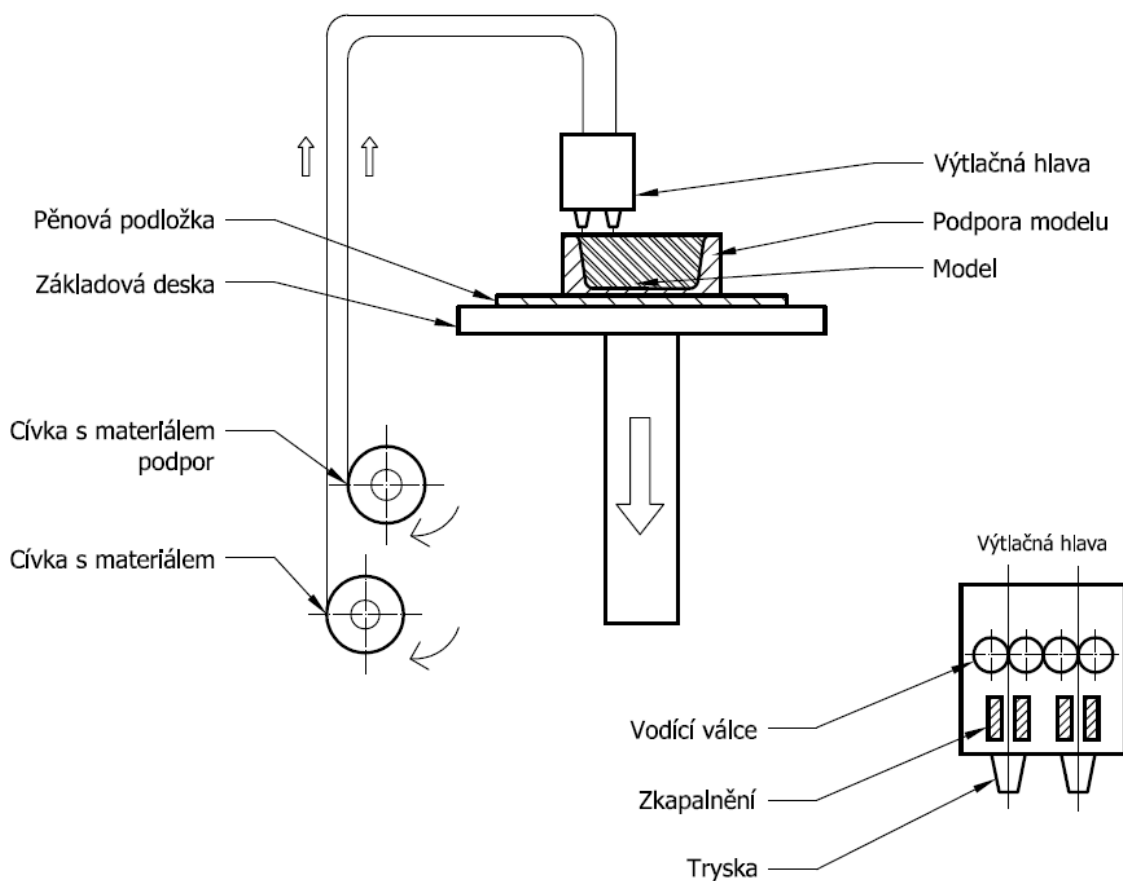
2.2 Na principu tuhé báze

Tento způsob výroby prototypů je velmi odlišný od výroby prototypů na principu kapalné báze. Typy výroby modelu jsou v této kategorii rovněž odlišné, avšak některé z nich používají v procesu RP laserového paprsku. Společným znakem této kategorie výroby je ten, že každá z nich využívá hmoty v tuhé fázi k vytvoření modelu. [1]

2.2.1 FDM – nánosové modelování

Tuto technologii výroby poskytuje firma Stratasys, která byla založena v roce 1989. Řadí se mezi nejpoužívanější metodu po stereolitografií. Výroba modelu spočívá na

procesu protlačování pomocí mechanismu a zahřáté trysky. S cívek, na kterých je navinut materiál modelu a materiál podpory modelu, se drát přepravuje do trysky, ve které se zkapalní a vytlačí do požadované pozice. Vytlačený plast ztvdne a přilepí se k předchozí vrstvě. Celý proces se koná v komoře s teplotou o něco menší než je teplota tavení plastu. Model je tvořen s materiálem podpor, které jsou později vylamovány z modelu. Model je vytvářen na pěnové podložce, která je umístěna na základní desce. V současné době je tento proces výroby modelu stále ve vývoji, ale přesto tato metoda je nesrovnatelná s metodou stereolitografie. Celý proces FDM je nehlukný a zařízení lze umístit např. v kanceláři.[1],[9]



Obr. 6 Schéma FDM [8]

Výhody: zhotovení funkčních částí, minimální odpad, snadné odstranění podpor

Nevýhody: omezená přesnost, pomalý proces, možnost smršnění modelu [1]

Tiskárny a jejich vlastnosti založené metodou FDM

Fortus 200 MC

Tato tiskárna je vhodná pro koncepční modelování. Má rozpustnou strukturu materiálu podpor. Jako většina tiskáren se tato připojuje přes ethernet. [10]

Tab. 4 Parametry FDM 200 MC [10]

Rozměry tiskárny	686 x 864 x 1041mm
Rozměry modelu	203 x 203 x 305mm
Přesnost	± 0,254mm
Materiál	ABS Plus
Tloušťka vrstvy	0,254 a 0,178
Barevné provedení	černá, červená, bílá, šedá, modrá, olivově zelená, oranžová, žlutá

ABS Plus je materiál asi o 40% pevnější než standardní ABS plast. Je to ideální materiál, který se dá použít buď to ke koncepčnímu modelování, nebo ke konečné kontrole výrobku. Mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 36MPa, prodloužení 4%. [10]

Fortus 360MC

Tiskárna s velmi dobrou přesností a většími rozměry výrobku než model FDM 200 MC. Nabízí větší výběr použitého materiálu.

Tab. 5 Parametry Fortus 360 MC [10]

Rozměry výrobku	355x254x254 mm
Rozměry tiskárny	1281 x 896 x 1962 mm
Tloušťka vrstvy	0,330, 0,254, 0,178, 0,127 (ABS-M30, PC-ABS), 0,330, 0,254, 0,178, (PC)
Materiál podpor	Rozpustný(ABS-M30, PC-ABS), BASS(PC)
Použitý materiál	ABS-M30, PC-ABS, PC
Přesnost	±0,0381 mm
Barevné provedení	ABS-M30(černá, červená, bílá, šedá, modrá), PC-ABS(černá), PC(bílá)

ABS-M30 je materiál o 25-70% pevnější než standardní ABS. Má větší tažnost a větší pevnost v ohybu. Materiál vhodný pro koncepční použití i pro ověření funkčnosti výrobku. Mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 36MPa, prodloužení 4%.

PC-ABS (polykarbonát – ABS). Mluvíme o jednom z nejpoužívanějších termoplastů v průmyslu. Výhodou tohoto plastu je jeho vysoká pevnost a odolnost proti vyšším teplotám. Tyto materiály mají využití v automobilním, elektrotechnickém a telekomunikačním průmyslu. Mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 41MPa, prodloužení 6%.

PC. Materiál, který je využit v automobilním, leteckém, lékařském a mnoha dalších průmyslů. PC má dobrou přesnost, stabilitu a může být zvolen pro větší modely, na kterých se bude zkoušet funkčnost modelu. Mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 68MPa, prodloužení 4,8%. [10]

Fortus 400MC

Jedná se o tiskárnu s velkým výkonem. Výhodou je také velký výběr použitých materiálů.

Tab. 6 Parametry Fortus 400 MC [10]

Rozměry výrobku	355 x 254 x 254 mm
Rozměry tiskárny	1281 x 895 x 1962 mm
Tloušťka vrstvy	0,33, 0,254mm (ABSi, ABS-M30, ABS-M30i,PC-ABS, PC-ISO, PC, UTLEM, PPSF), 0,178mm(ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS, PC-ISO, PC), 0,127(ABSi, ABS-M30, ABS-M30i,PC-ABS)
Materiál podpor	Rozpustný (ABSi, ABS-M30, ABS-M30i,PC-ABS), BASS (PC-ISO, PC, UTLEM, PPSF)
Použitý materiál	ABSi, ABS-M30, ABS-M30i,PC-ABS, PC-ISO, PC, UTLEM, PPSF
Přesnost	±0,0381 mm
Barevné provedení	ABSi (bílá, oranžová, červená), ABS-M30 (bílá, černá, červená, modrá, šedá), PC-ABS (černá), PC-ISO (bílá), UTLEM (šedá), PPSF (šedá)

Fortus 900MC

Tiskárna s nejvyšší přesností této kategorie tiskáren. Je schopna vytvořit model o rozměrech 914 x 610 x 914 mm. Jedná se o špičku v kategorii.

Tab. 7 Parametry Fortus 900 MC [10]

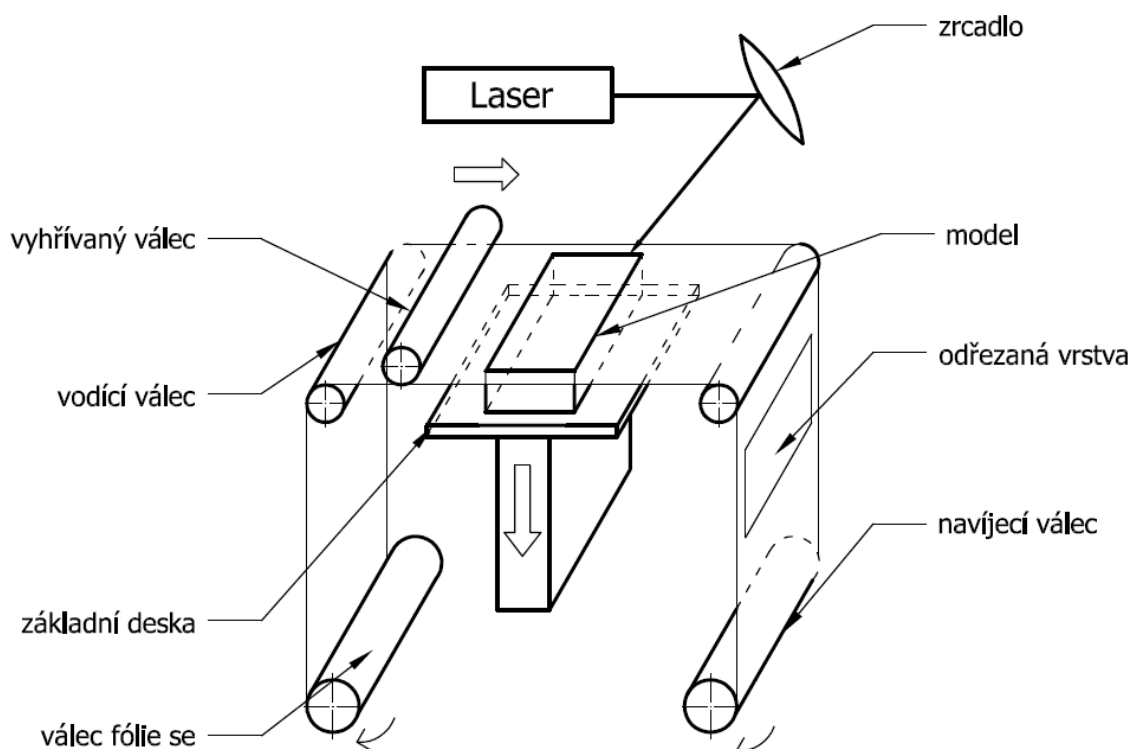
Rozměry výrobku	914 x 610 x 914 mm
Rozměry tiskárny	2772 x 1683 x 2027 mm
Tloušťka vrstvy	0,33 (ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS, PC-ISO, PC), 0,254mm (ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS, PC-ISO, PC, UTLE, PPSF), 0,178 (ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS, PC-ISO, PC)
Materiál podpor	Rozpuštěný (ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS), BASS (PC-ISO, PC, UTLEM, PPSF)
Použitý materiál	ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS, PC-ISO, PC, UTLEM, PPSF
Přesnost	±0,0254 mm
Barevné provedení	ABSi (bílá, oranžová, červená), ABS-M30 (bílá, černá, červená, modrá, šedá), PC-ABS (černá), PC-ISO (bílá), UTLEM (šedá), PPSF (šedá)

2.2.2 LOM – vrstvení lepidivého materiálu

Tato metoda spočívá vrstvením fólii se zpevňující hmotou. Z válce je odvíjen materiál na základní desku, na které laser vytvoří požadovaný tvar. Tento laser prochází skrz zrcadlo, které je naklápěcí, přímo na fólii. Toto zrcadlo pracuje s dvěma pracovními osami. Po té vyhříváný válec přitlačí tuto vrstvu a dojde ke spojení. Zbytek fólie se navine na navíjecí válec přes vodící válce. Po skončení tohoto procesu se základní deska posune o jednu výšku vrstvy směrem dolů a nový proces může začít. [7]

Výhody: výroba modelu větších rozměrů

Nevýhoda: velký odpad (malé procento využití pásu). [1]



Obr. 7 Schéma LOM [11]

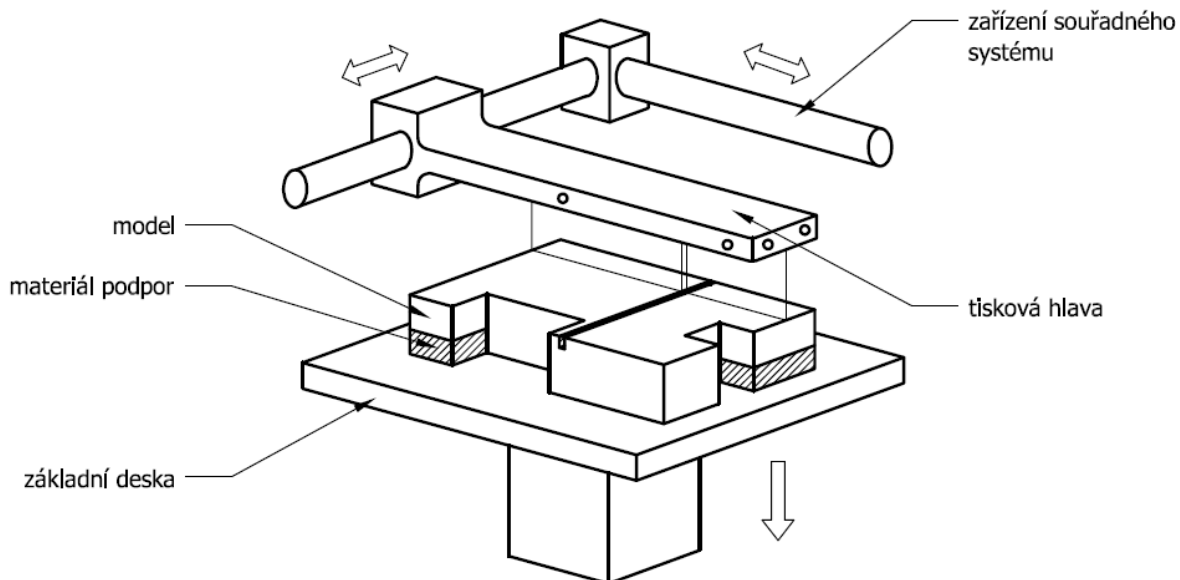
Firma Helisys (USA) je výrobcem zařízení na výrobu modelů metodou LOM. Tabulka č. 8 ukazuje parametry jednotlivých modelů tiskáren.

Tab. 8 Parametry tiskáren Helisys [1]

Model	LOM - 1015 Plus	LOM - 2030 H
rozměry výrobku	381 x 254 x 356 mm	813 x 559 x 508 mm
max tíha	32 kg	204 kg
síla laseru	25 W, CO2	50 W, CO2
paprsek laseru	0,2-0,25 mm	0,203 - 0,254 mm
přesnost	±0,127 mm	±0,127 mm
tloušťka vrstvy	0,08 - 0,25 mm	0,076 - 0,254 mm

2.2.3 MJM – nanášení termoplastů

Tuto technologii výroby poskytuje firma 3D Systems. Celá metoda výroby vychází v nanášení jednotlivých vrstev termopolymerů přes tiskovou hlavu, která má 352 trysek. Starší modely mají pouhých 96 trysek. Tyto trysky jsou uspořádány vedle sebe v délce 200mm. Každá z trysek je samostatně řízena softwarem, který určuje kolik materiálu danou tryskou proteče. Tab. 7 ukazuje parametry tiskárny společnosti 3D Systems.[7]



Obr. 8 Schéma MJM [12]

Výhody: lehké a účinné použití, ekonomické, výhodné z časového hlediska

Nevýhody: výroba menších součástí, omezená volba materiálu, nízká přesnost [1]

Tab. 9 Parametry tiskárny 3D Systems [1]

model	ThermoJet printer (3D Systems)
rozměry výrobku	250 x 190 x 200 mm
materiály	Thermojet 2000, Thermojet 88 - termoplasty
barevné provedení	neutrální, šedá, černá
rozměry tiskárny	1370 x 760 x 1120 mm

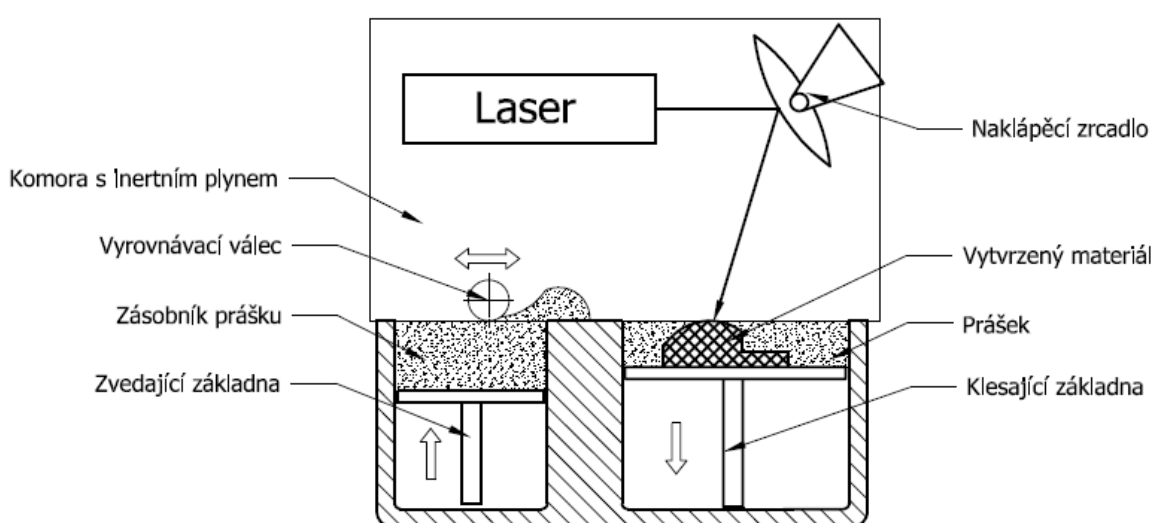
2.3 Práškové

Tato skupina používá prášek jako výchozí materiál k výrobě modelů. Některé z metod, patřící do této kategorie (SLS), jsou podobné jako metody řadící se do kategorie kapalných. Ostatní mají podobný charakter jako prototypy založené na pevné bázi.[1]

2.3.1 SLS - slinování laserem

Jak už bylo řečeno úvodem, tato metoda má podobný charakter jako metoda STL řadící se do skupiny výroby prototypů na kapalně bázi. Zatímco u STL je primárním materiálem tekutá pryskyřice, u SLS je to prášek. Pro kovové prototypy volíme kovové prášky a pro plastové prototypy volíme polyamidy. Zařízení, pro výrobu modelu touto

metodou, se skládá ze zásobníku prášku, který je pomocí zvedacího pístu a vyrovnávacího válce přepravován k místu vytvrzení. Po té laser přes optickou soustavu vytvrdí určitý tvar. Po tomto vytvrzení se o příslušnou tloušťku vrstvy posune základna směrem dolů a další proces může začít. Model je umístěn v nevytvrzeném prášku. Z tohoto důvodu není zapotřebí žádných podpor. Po celém procesu vytvrzení musí prášek vychladnout, abychom mohli model z prášku vyjmout. Z důvodu ochrany jakosti povrchu je celá komora uzavřena a naplněna inertním plynem (dusík). [13], [1]



Obr. 9 SLS schéma [14]

Výhody: dobrá stabilita výrobku, velký rozsah použitých materiálů, není potřeba podpor, požadavky na konečné opracování jsou malé.

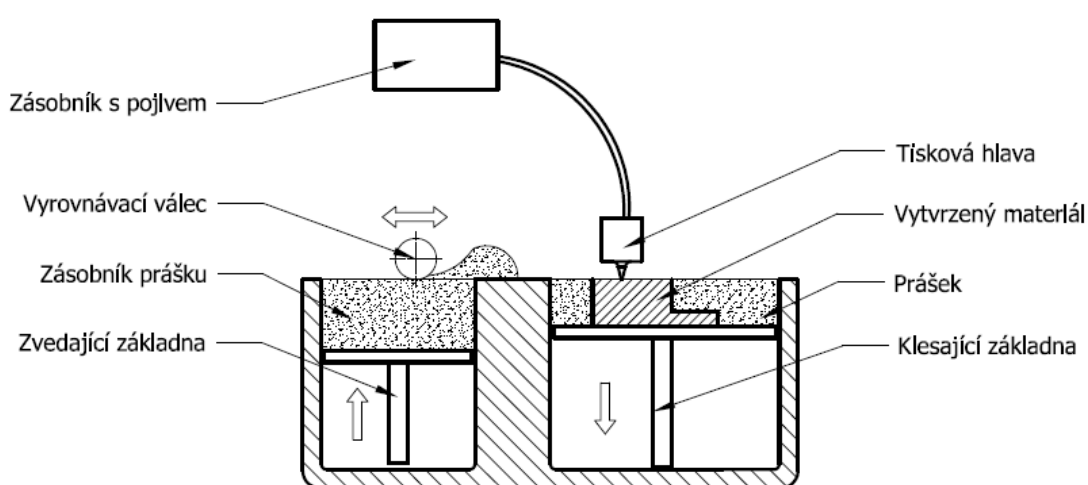
Nevýhody: velké rozměry zařízení, vysoké napájení, špatná jakost povrchu [1]

Tab. 10 Parametry tiskárny Vaguard si2 SLS [15]

model	SinterStation DM 100 SLM System	SinterStation DM 250 SLM System
rozměry výrobku	ø125 x 80 mm	250 x 250 x 220 mm
rychlost	30 cm ³ /hod	30 cm ³ /hod
výška vrstvy	30 - 50 nm	50 - 75 nm
paprsek laseru	30 - 200 nm; 50,100, 200 W	80 350 nm; 100,200,400 W
rozměry zařízení	900 x 800 x 2500 mm	1900 x 1400 x 2500 mm
váha	400 kg	800 kg

2.3.2 3DP – 3D tisk

Tuto metodu výroby prototypů poskytuje firma Z Corporation. Důležitou roli zde opět hraje prášek, na který se nanáší selektivně pojivo. Ze zásobníku prášku se přenesení prášek do pracovní oblasti, kde se pomocí tiskové hlavy vytváří jednotlivé vrstvy. Po vytvoření jednotlivé vrstvy se základna posune směrem dolů o výšku vrstvy, kterou následně bude vytvářet. Tisková hlava je napojena na zásobník s pojivem, který toto dodává. V současné době tato společnost vystupuje na trhu se čtyřmi zařízeními. [1]



Obr. 10 Schéma 3DP [16]

Tab. 11 Parametry tiskáren společnosti Z Corporation [17]

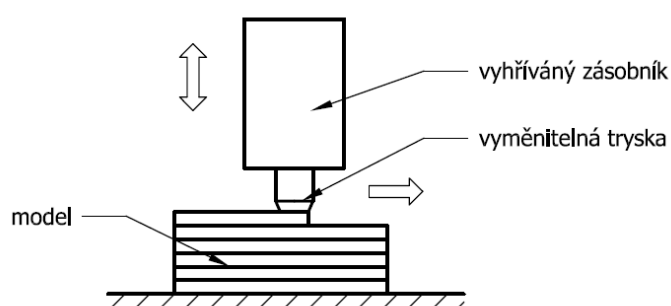
	Z Printer 310 plus	Z Printer 450	Spectrum Z	Z Printer 650
počet vrstev	2-4/min	2-4/min	2/min	2-4/min
rozměry výrobku	203 x 254 x 203 mm	203 x 254 x 204 mm	254 x 356 x 203 mm	254 x 381 x 203 mm
materiál	kompozit, elastomer	kompozit	kompozit, elastomer	kompozit
rozměry zařízení	740 x 860 x 1090 mm	1220 x 790 x 1400 mm	1070 x 790 x 1270 mm	1880 x 740 x 1450 mm
Hmotnost zařízení	115 kg	193 kg	204 kg	340 kg
Počet tisk.hlav	--	2	4	5

Výhody: vysoká rychlost, široký výběr použití, snadná aplikace, bezodpadová metoda, velký výběr barev

Nevýhody: modely jsou křehké a nelze na nich provádět zkoušky, omezený výběr materiálů, špatná jakost povrchu. [1]

2.3.3 MJS – vytlačování

Celý proces výroby spočívá v zahřátí materiálu v zásobníku na teplotu tuhnutí. Po té se pomocí výtlačného systému materiál nanese na základní desku. Roztavený materiál ztuhne, jakmile se dostane do kontaktu se základní deskou nebo předchozí nanášenou vrstvou. Dojde k přetavení předchozí vrstvy a vrstvy se spojí. Sestava MJS se skládá z počítače, počítačově řízeného souřadného systému, vyhřívaného zásobníku s tryskou a výtlačným systémem. [7], [1]



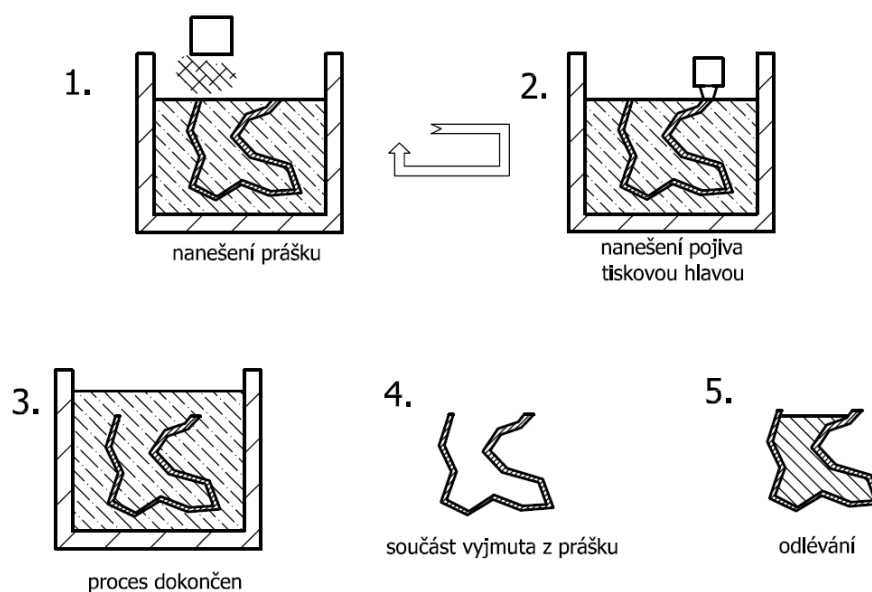
Obr. 11 Schéma MJS [1]

2.3.4 DSPC – výroba keramickým forem pro kovové součásti

Tuto technologii výroby keramickým forem poskytuje firma Soligen Technologies. V roce 1989 ji založil Emanuel Sachs. Tato metoda výroby vychází z procesu 3DP. Celý proces výroby začíná v počítači, kde je modelována součástka. Ve speciálním softwaru se po té navrhne forma. Zařízení nanese tenkou vrstvou prášku a po té přes tiskovou hlavu se nanese pojivo. Tento proces se opakuje, dokud není forma zcela hotova. Zbylý prášek se z formy oddělí a forma je připravena k odlévání.

Výhody: přesnost, síťově zpevněná celá forma

Nevýhody: omezená volba materiálu, možnost ucpání hlavy [1], [18]



Obr. 12 Schéma DSPC [18]

Tab. 12 Parametry tiskárny DSPC 300 společnosti Soligen Technologies [1]

model	DSPC 300
rozměry výrobku	304 x 304 x 304 mm
tloušťka vrstvy	0,178 mm
rychlost (vert.směr)	12,7 - 19 mm/hod
rozměry zařízení	2300 x 1300 x 2600 mm

3 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU

3.1 Definice přípravku

Přípravek lze definovat jako pomocné zařízení, které slouží k:

- ustavení a uchycení obrobku při jeho obrábění
- přidržení obrobků, které jsou následně sestaveny v celku
- vedení nástroje [19]

3.2 Rozdělení přípravků

a) Dle použitelnosti

- Universální přípravky – jsou přípravky, které lze použít na několika typech obrobků, které mají různou velikost a různý tvar
- Skupinové přípravky – tyto přípravky jsou složeny ze stálých a vyměnitelných (seřiditelných) částí. Stálá část tvoří těleso přípravku, upínací mechanismus a silovou soustavu. Vyměnitelnou část tvoří ustavovací a vodící elementy.

- Stavebnicové přípravky – jsou sestaveny z jednotlivých dílů v určitý celek
- Speciální přípravky – tyto přípravky lze použít jen k upínání jednoho obrobku dle druhu operace.

b) Dle operace

- Přípravky obráběcí – slouží k upínání obrobků do určité polohy k vzhledem k nástroji
- Montážní přípravky – tyto přípravky nalézají své uplatnění u svařování, slouží k držení obrobků při jejich spojování.
- Kontrolní přípravky – jsou to přípravky, s kterými kontrolujeme správnost tvarů součástí
- Rýsovací přípravky – slouží k orýsování obrobků, než jsou obráběny
- Ostatní přípravky – patří sem ostatní dílenská zařízení, která jakýmkoliv způsobem ulehčují výrobu

c) Dle zdroje upínací síly

- Přípravky s ručním upínáním
- Přípravky s mechanickým upínáním

Při návrhu přípravku je nutné brát v úvahu jednotlivé zásady. V první řadě to je promyšlení celého pracovního postupu obráběné součásti. Pokud to je možné, tak přípravek volíme tak, aby byla možnost použití přípravku pro další operaci. Přípravek je namáhán působením řezných a upínacích sil. Z tohoto důvodu musíme brát v úvahu tuhost přípravku. Pevné dorazy slouží k přesnému zajištění polohy obrobku v přípravku. Dorazovou plochu přípravku musíme zvolit kolmo na tlak nástroje, který působí na obrobek. Chladíme-li nějakou kapalinou, v přípravku musíme uvažovat odvod této kapaliny. Z důvodu opotřebení je vhodné přípravek konstruovat stavebnicově. Ostré hrany, které přicházejí ke kontaktu s dělníkem, musí být sražené. Přípravek se navrhuje rovněž tak, aby nedošlo k omylu při vkládání obrobku do přípravku. [19]

3.3 Volba materiálu

Při volbě materiálu přípravku musíme brát zřetel na několik aspektů, které tuto volbu ovlivňují. Jsou jimi:

- Namáhání, opotřebování a funkce přípravku
- Množství vyráběných přípravků
- Pro jaké prostředí je tento přípravek zvolen
- Přesnost přípravku
- Cena přípravku
- Hmotnost přípravku [19]

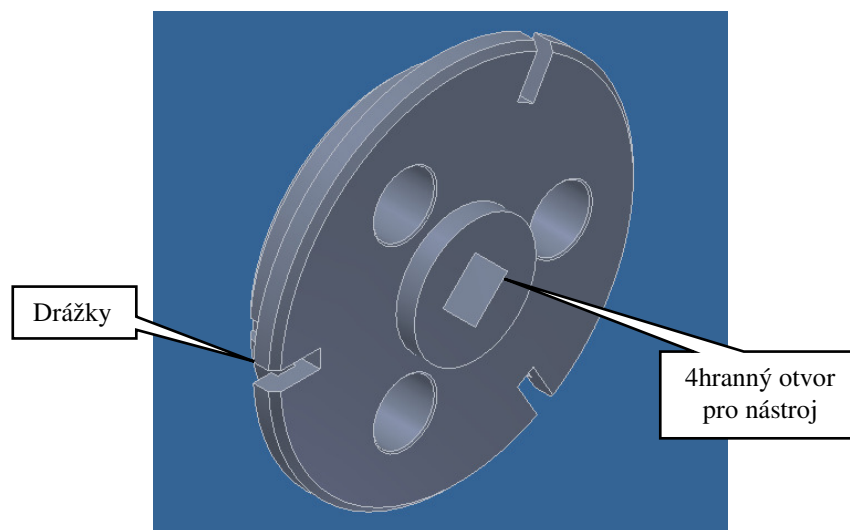
3.4 Návrh přípravku

Přípravek budeme modelovat v programu Inventor od společnosti Autodesk. Tento software je vhodný jak pro prosté modelování součástí, tak i pro složité sestavy. Program umí, po vytvoření 3D modelu, exportovat soubory do 2D v jednotlivých pohledech. Mezi další výhody tohoto softwaru patří např. velmi přehledné uživatelské prostředí, které si oblíbí každý uživatel. Nevýhodou je ovšem komptabilita s počítačem, kdy u novějších verzí tohoto softwaru je zapotřebí silnější konfigurace.

4 PŘÍPRAVEK PRO VÝROBU ARMATURY

4.1.1 Popis a funkce přípravku

Stahovák sedla slouží k našroubování či vyšroubování sedla šoupátka. Do tří drážek o již stanovené šířce se vsunou zakalené výstupky sedla. Toto sedlo je již uvolněno momentovým klíčem. Do stahováku se nasune redukce čtyřhranu a pomocí pneumatického kladiva se vysouvá ze závitu. Pokud nelze sedlo vyjmout z šoupátka, situace se řeší vysoustružením sedla. Oprava se pak provádí návarem a následným soustružením. Jak již bylo řečeno úvodem, přípravek nebude vysoce namáhán.



Obr. 13 Ukázka přípravku pro výrobu armatur (Inventor)

4.1.2 Příprava v softwaru

Po vytvoření 3D modelu v příslušném softwaru následuje převod souboru do formátu *.stl.

Soubor typu STL

Tento soubor je složen ze tří neuspořádaných seznamů (X, Y, Z), které v celku tvoří model. STL soubory jsou dvojího typu. Je to „ASCII“ nebo „Binary“ formát. ASCII, oproti Binary formátu, má delší podobu, ale je víc srozumitelný. Mezi jednoznačné výhody STL souboru patří jeho jednoduchost při prezentování 3D modelů. Zároveň je tento formát nejpoužívanější v oblasti RP. Mezi nevýhodu toho souboru je to, že někdy zabírá větší místo na disku, než samotný soubor z programu.

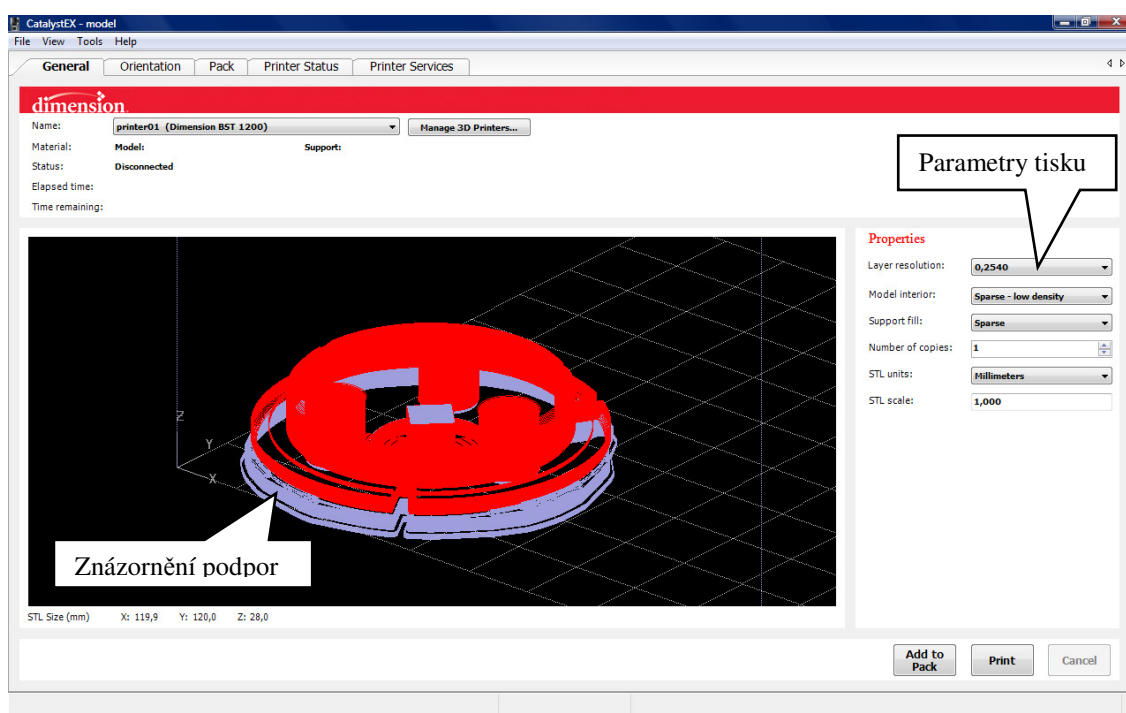
Přípravek bude zhotoven metodou FDM (viz kap. 2.2.1). Jako software pro přípravu modelu pro tisk zvolíme CatalystEX. Tento velmi jednoduchý software nahrává soubory typu *.stl a převádí je do formátu *.cmb. Tento je následně poslán na samotné zařízení. Program je tvořen celkem pěti kartami. Tři z nich připravují model pro tisk a ostatní dvě udávají informace z tiskárny.

V záložce „hlavní“ je model vložen do krychle vymezující maximální rozměry tisku zařízení (viz. Obr. 14). Šedá barva modelu zobrazuje objem podpor, kterých je potřeba při výrobě modelu. Klikneme-li pravým tlačítkem na okno modelu, zobrazí se, mimo jiné, seznam všech možných zobrazení. Nad těmito pohledy je možnost vybrání tlačítka

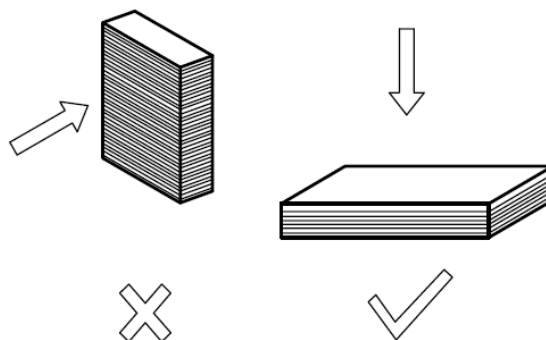
„měření“. Toto tlačítko umožňuje měřit vzdálenost přímo na modelu. Místo pravítka se v okně zobrazí obdélník s úhlopříčkou. Velikosti obou stran obdélníku a úhlopříčky jsou následně zobrazeny ve stavovém řádku. Následuje výběr tiskárny a nastavení jednotlivých parametrů. Pomocí tlačítka „správa tiskáren“ můžeme měnit název tiskárny, upravovat nastavení tiskáren a sledovat jejich adresu IP, ke které je tiskárna připojena. Založení nové tiskárny můžeme provést buď to ručně, kde je zapotřebí znát adresu IP nebo ze sítě, kde je zobrazen seznam všech připojených zařízení. Ve vlastnostech této karty lze nastavit tloušťku vrstev, ze kterých bude model složen. Tuto tloušťku je pro naši tiskárnu (Dimension BST 1200) možno zvolit 0,254 mm nebo 0,3302mm. Pro náš přípravek zvolíme tloušťku vrstvy 0,254mm. Dle způsobu namáhání zvolíme hustotu modelu. V případě našeho přípravku zvolíme řídké vyplnění. Model s větší hustotou by byl časově náročnější na zhotovení. Důležitým údajem je rovněž volba vyplnění podpor. Tato volba nám umožňuje výběr mezi:

- minimálním vyplněním – toto je použito v případě malých rozměrů součástí, na které je předpoklad malý objem podpor.
- základním vyplněním – toto vyplnění již může být použito pro součásti větších rozměrů a je využito pro většinu součástí s optimálními vlastnostmi.
- řídkým vyplněním – vyplnění, které minimalizuje množství materiálu podpor.
- okrajovým vyplněním – celý model je obklopen materiálem podpor.
- odtržené vyplnění – toto vyplnění je podobné jako řídké vyplnění, bez uzavření drah nástroje (zakřivení konce otáčky nástroje). Tato volba není dostupná pro všechny typy tiskáren. Podpory je snadné odstranit, ale rovněž časově náročnější operace.

Zvolíme „*řídké vyplnění*“. V této záložce můžeme zvolit měřítko, jakým bude model vytvořen. Ve stavovém řádku nám program vypíše jednotlivé souřadnice modelu.



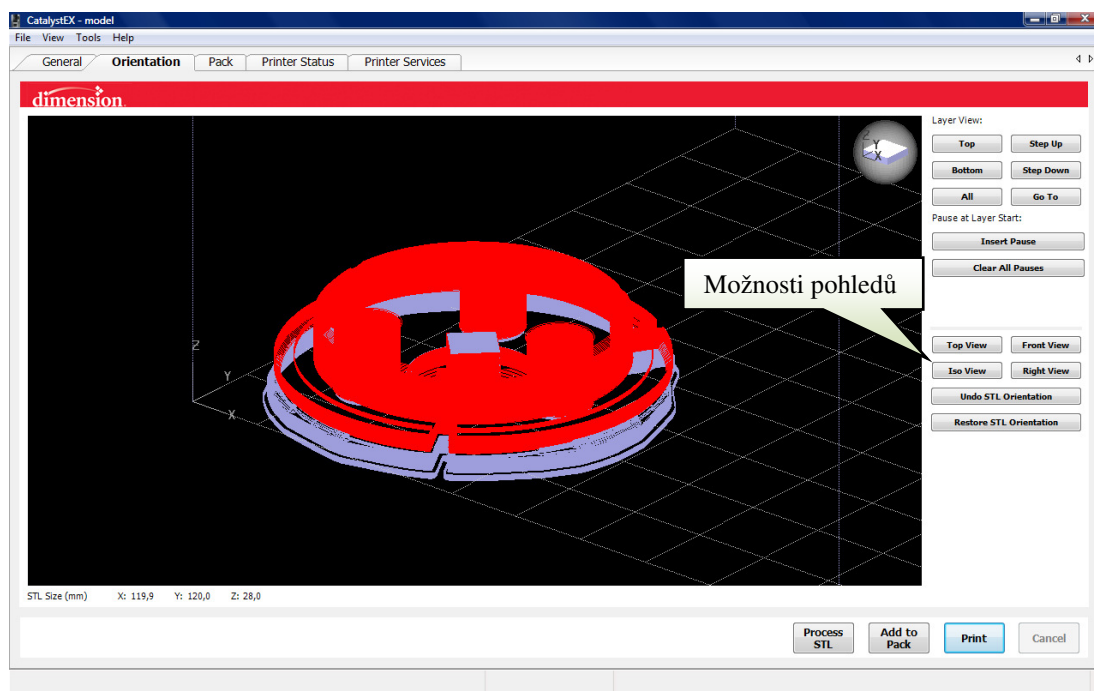
Obr. 14 Prostředí programu CatalystEX – záložka „Hlavní“ [20]



Obr. 15 Orientace modelu [20]

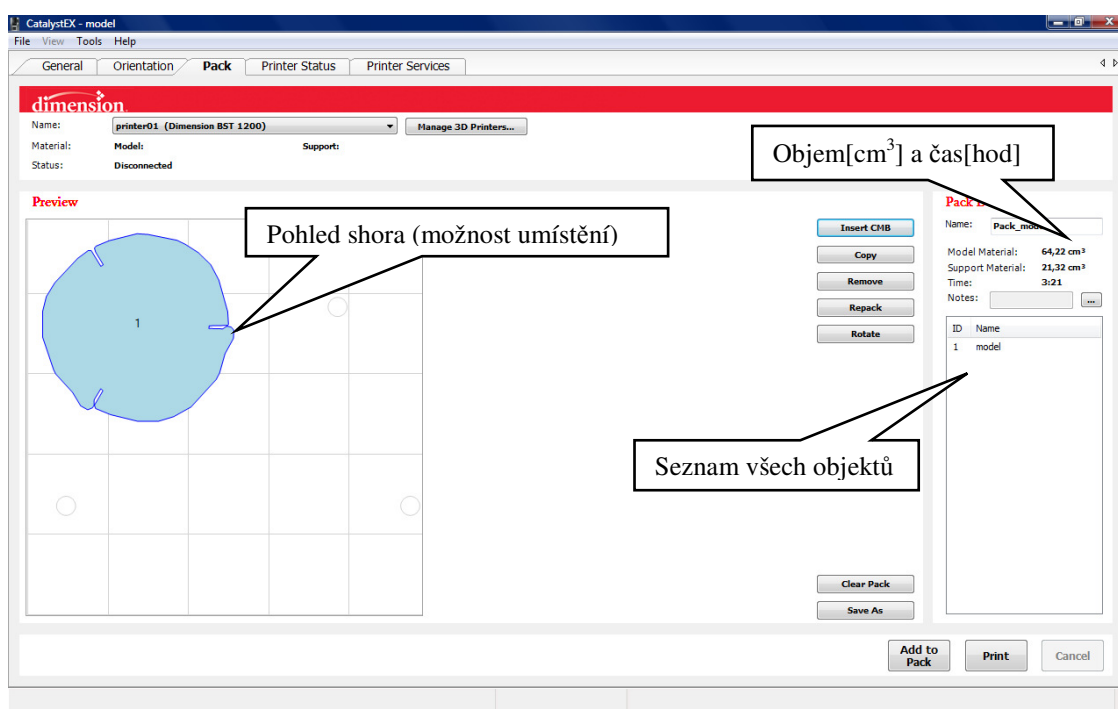
V záložce „**orientace**“ model natočíme dle našich požadavků (viz. obr. 16). Jeden z požadavků je např. vytvoření nejmenších objemů podpor. Pokud to jde a dovolují nám to rozměry modelu, tak model orientujeme tak, aby působení síly bylo kolmé na jednotlivé vrstvy (viz. obr. 15). Tlačítko „auto orientace“ si určitě oblíbí všichni uživatelé tohoto softwaru. Po aktivaci tohoto tlačítka program automaticky zvolí nejlepší orientaci modelu. Pokud nechceme zvolit automatickou orientaci modelu, můžeme součást libovolně otáčet po stupních kolem všech os. Tlačítka hlavních pohledů na model zde nechybí. Tyto hlavní pohledy jsou předem definované. Natočení modelu se může rovněž provádět klávesovými zkratkami. Pokud chceme model začít

znova umisťovat v prostoru, použijeme tlačítko „znovu zavést orientaci“, kdy nám program uvede model do počátečních pozic a umísťování může začít od začátku. Po stisknutí tlačítka „proces“ nám program převede stl formát do cmb formátu. Tento soubor se automaticky uloží do složky, ve kterém je umístěn stl formát.



Obr. 16 Prostředí programu CatalystEX – záložka „Orientace“ [20]

Tlačítko „přidat do svazku“ nám převede model do karty „svazek“ (viz. obr. 17), ve které nám program vypočítá objem modelu v cm^3 a vypočítá potřebný čas pro vytvoření samotného modelu. Objem přípravku na výroby armatury je $64,22 \text{ cm}^3$ a potřebný čas 3 hodiny a 21 minut. Tyto údaje jsou potřebné k předběžné ceně zhotovení. V tomto softwaru můžeme vytvářet najednou několik modelů. Pozice modelů lze upravovat. Jednotlivé modely se ze samotného rozhraní tiskárny dají kopírovat a odstraňovat. Program umí načítat cmb formáty. Tzn., že uživatel nemusí po každé importovat stl formát a volit správnou orientaci kvůli jednoduché změny polohy jednotlivých modelů. Samozřejmostí tohoto programu je volba mezi jednotkami, a to milimetr nebo palec. Tlačítkem „print“ pak následně pošleme soubor do zařízení a tisk je spuštěn.



Obr. 17 Prostředí programu CatalystEX – záložka „Svazek“ [20]

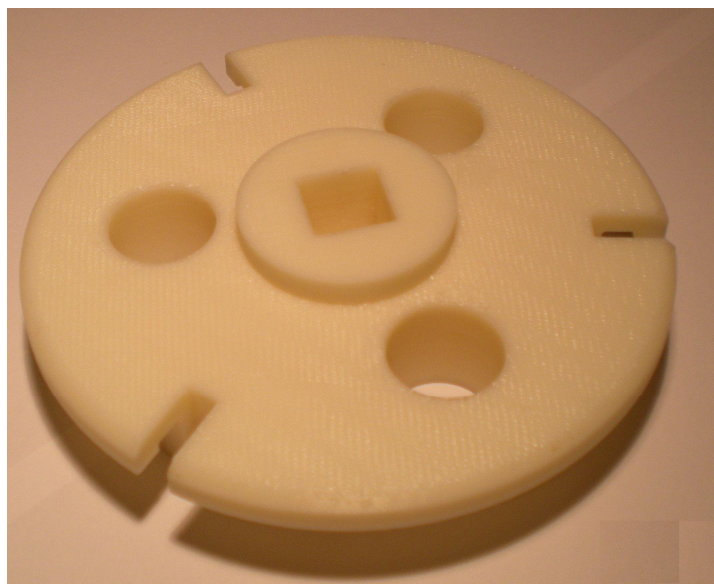
Další dvě karty „stav tiskárny“ a „správa tiskárny“ udávají informace o připojené tiskárně. Tyto informace jsou: zbývající čas, uplynulý čas (v procentech), fronta tiskárny, zda je připojena tiskárna aktivní či nikoliv, celkový čas provozu tiskárny a možnost aktualizace softwaru. V záložce „správa tiskárny“ je možnost zhlédnutí historie tiskárny. V této historii jsou uvedeny informace, kdy byl tisk zahájen a ukončen, kým byl tisk spuštěn, jak dlouho tisk trval a zda byl tisk úspěšný či nikoliv. [20]

Tab. 13 Klávesové zkratky CatalystEX [20]

F5	pohled shora
F6	pohled ze předu
F7	pohled zprava
F8	ISO pohled
F9	Pohled na model
F10	pohled na maximální rozhraní tiskárny
Shift + šipka vpravo/vlevo	otočení kolem osy X v kladném/záporném smyslu
Shift + šipka nahoru/dolů	otočení kolem osy Y v kladném/záporném smyslu
Home	zobrazí vrchní vrstvu
End	zobrazí spodní vrstvu
F11	otočení kolem osy Z v kladném smyslu
F12	otočení kolem osy Z v záporném smyslu

Tab. 14 Parametry zvolené a získané z programu CatalystEX

tloušťka vrstvy (mm)	0,254
hustota modelu	řídke vyplnění
vyplnění podpor	řídke vyplnění
objem modelu (cm³)	64,22
objem podpor (cm³)	21,32
celkový objem (cm³)	85,54



Obr. 18 Zhotovený přípravek

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Vyrobění součástí metodou RP je vhodné, oproti klasickému obrábění, z důvodu velkému úbytku materiálu a času zhotovení. Ovšem tyto hlavní důvody nejsou jediné a musíme brát v úvahu počet vyráběných součástí a z jakého důvodu tuto součást zhotovujeme. Zda se jedná o pouhou kontrolu součástí do sériové linky, kdy se vyplatí do tohoto investovat, nebo výrobu náročnějších součástí, které by bylo složité vyrobít klasickým obráběním.

Jak již bylo uvedeno, zhotovení přípravku metodou RP (FDM) zabere 3 hodiny a 21 minut. Tento čas je čas výroby. Do celkového času musíme zahrnout čas přípravy, který je v našem případě 5 minut. Celkový objem činí 86 cm³. Cena této výroby se odvíjí na základě objemu materiálu, který byl pro tuto součást potřeba. Tzn. objem podpor a samotné součásti. Od poskytovatele zhotovení přípravku se za jeden cm³ platí 13 Kč,-. Tzn., že zhotovení přípravku metodou FDM nás vyjde na **1118 Kč,-**.

Od výrobce armatury, pro který je tento přípravek určen, máme k dispozici ekonomické náklady pro jeho výrobu. Přípravek se bude soustružit a frézovat. Hodinová sazba práce na stroji je 550 Kč,-. Doba technologické přípravy je 1 hodina. Cenu cementace budeme předpokládat 300,-Kč. Jednotlivé mezioperační časy jsou 20 minut. K ceně se připočítává cena materiálu, ze kterého bude součást zhotovena. Tato cena je 27 Kč/kg. Hmotnost přípravku je 0,499kg. Této hmotnosti odpovídá cena 14 Kč,-. Tab. č. 14 popisuje jednotlivé časy operací.

Tab. 15 Strojní časy jednotlivých operací

operace	potřebný čas (min)	cena (Kč)
technologická příprava výroby	60 min	-
soustružení tvaru	33 min	0,55 hod x 550=303,-
mezioperační čas	20 min	-
frézování 4hranného otvoru	30 min	0,5 hod x 550=275,-
mezioperační čas	20 min	-
ofrézování drážek	50 min	0,8 hod x 550=440,-
mezioperační čas	20 min	-
cementování	150 min	300,-

Celková cena pro vyrobení přípravku je tedy **1332,-Kč**.

Tab. 16 Shrnutí časů a cen jednotlivých typů výroby

-	čas (hod:min)	cena (Kč)
Rapid Prototyping	3:26	1118,-
klasické obrábění	6:23	1332,-

ZÁVĚR

Tato práce byla zvolena z důvodu zájmu o pochopení jednotlivých principů, kterých při výrobě technologie RP užívá. V zájmu bylo rovněž zhotovení přípravku pro výrobu armatury společnosti Armaturka Krnov a.s. se sídlem: Bruntálská 5, Krnov, 794 01.

Jak již bylo řečeno úvodem ekonomického zhodnocení je důležité, pro jaký účel součást metodou RP zhotovujeme. Volbu metodou RP bychom zvolili pro přezkoušení mechanickým vlastností výrobku, který se bude po tomto přezkoušení vyrábět. Podmínkou je, že materiál má podobné nebo shodné vlastnosti jako konečný výrobek. Slouží-li nám výrobek k pouhé demonstraci výrobku nebo ke zkoušení výrobku k seřízení nástrojů při sériové výrobě, postačí nám zvolit levnější metodu RP. Tato metoda používá značně levnějších materiálů.

Přípravek pro výrobu armatury byl vyroben o 214,-Kč laciněji než výrobou klasickým obráběním. A to především z toho důvodu, že přípravek je nutno jak soustružit tak frézovat. Materiál přípravku je ABS+. V případě, že by přípravek nebyl určen pro demonstrativní účely, zvolili bychom materiál PC. Tento materiál má podstatně vyšší mechanické vlastnosti. Rovněž bychom nezvolili řídké vyplnění. Důležitým faktorem zde hraje čas výroby. Metodou FDM bychom přípravek zhotovili o cca 3 hodiny dříve.

V současné době jsou jednotlivé metody RP stále ve vývoji a v průběhu času můžeme předpokládat nové technologie, které budou používat větší rozsah použitých materiálů za nižší cenu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. OHUA, C. K. *Rapid prototyping: Principles and applications*, 2nd ed. Hackensack: World Scientific, 2005. 420 s. ISBN 981-238-120-1
2. *FDM Rapid Prototyping* [online]. 1999 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://img.alibaba.com/photo/12214846/FDM_Rapid_Prototyping_Services.jpg>
3. *3DS iPRO 9000, 8000* [online]. 1997 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://www.3dsystems.com/products/datafiles/ipro/3DS_iPro_9000_8000_Brochure_web.pdf>.
4. *Aplikace technologie rapid prototyping* [online]. 2001 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologie-rapid-prototyping>>. ISSN 1212-2572.
5. HUGH, Jack. *Solid ground curing* [online]. 2001 , 31-08-2001 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.eod.gvsu.edu/eod/manufact/manufact-310.html>>.
6. *SGC proces* [online]. 2000 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://rpdrc.ic.polyu.edu.hk/images/images/sgc_process.gif>.
7. *Nekonvenční metody obrábění* [online]. 2001 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvecni-metody-obrabeni-10-dil>>. ISSN ISSN 1212-257.
8. *FDM proces* [online]. 2002 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.arptech.com.au/fdmhelp.htm>>.
9. *Fused deposition modeling* [online]. 2205 , 07-02-2208 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <http://home.att.net/~castleisland/fdm_int.htm>.
10. *Fortus 3D production systems* [online]. 2009 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <http://www.fortus.com/fortus_products.aspx>.
11. *LOM proces* [online]. 2008 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.me.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/lom.gif>>.
12. *MJM proces* [online]. 2009 , 26-03-2009 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.objet.com/Portals/0/images/PolyJetProcess-in72dpi.jpg>>.
13. *Technologie rapid prototypingu* [online]. 2001 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>>. ISSN 1212-2572.
14. *SLS proces* [online]. 2007 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.rapidpro.com.au/images/SLS.jpg>>.

15. *Sinterstation* [online]. 1997 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW:
<http://www.3dsystems.com/products/datafiles/sinterstation_pro_slm/DS-Sinterstation_Pro_DM250_DM_100_SLM_Systems_0408web.pdf>.
16. *3DP proces* [online]. 2009 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW:
<<http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/3dp.png>>.
17. *3D Printers* [online]. 2000 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW:
<<http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/spage.aspx>>.
18. HUGH , Jack . *DSPC proces* [online]. 2001 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW:
<<http://www.eod.gvsu.edu/eod/manufact/manufact-313.html>>.
19. Chvála, Břetislav. Přípravky a zařízení pro zkrácení vedlejších časů ve výrobě /díl 1. Praha : SNTL, 1963. 243 s.
20. Manuál softwaru: CatalystEX, verze: 4.0.1, 1991-2009.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**Zkratka Popis (anglický název)**

LOM	Vrstvení lepidla (Laminated object manufacturing)
MJM	Nanášení termoplastů (Multi jet modeling)
SLS	Slinování laserem (Selective laser sintering)
3DP	3D tisk (3 dimensional printing)
MJS	Vytlačování (Multiphase jet solidification)
DSPC	Výroba forem pro kovové součásti (Direct shell production casting)
SGC	Vytvrzování citlivého polymeru (Solid ground curing)
FDM	Nánosové modelování (Fused deposition modeling)
*.stl	Formát pro RP
*.cmb	Formát softwaru CatalystEX

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Zhotovený přípravek metodou FDM

PŘÍLOHA 1