

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

1130417

**VYUŽITIE RAPID PROTOTYPINGU**

**2011**

**Kamil Blažek**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

**VYUŽITIE RAPID PROTOTIPINGU**

**Bakalárska práca**

Študijný program:	Prevádzková bezpečnosť techniky
Študijný odbor:	2386700 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Ing. Róbert Drlička

## **Čestné vyhlásenie**

Podpísaný Kamil Blažek vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Využitie Rapid Prototypingu“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 5. mája 2011

**Kamil Blažek**

## **Pod'akovanie**

Týmto by som chcel poďakovať môjmu školiteľovi Ing. Róbertovi Drličkovi za čas, ktorý mi venoval, odborné vedenie a cenné rady pri písaní bakalárskej práce. Poskytol mi dôležité informácie, ktoré mi pomohli pri jej vypracovaní.

## **Abstrakt**

Bakalárska práca sa zaoberá využitím jednotlivých metód Rapid Prototypingu. V úvode je prototypovanie charakterizované ako dôležitá fáza pri vývoji produktu. V druhej časti je rozpísaný hlavný princíp metódy, uvedené sú výhody a nevýhody súvisiace so zavedením prototypovania do výroby. Ďalej sú podrobne popísané osobité technológie Rapid Prototypingu, Stereolitografia, Laser Sintering, Laminated Manufacturing a Fused Depositon Modeling. Posledná časť s názvom prípadová štúdia obsahuje konkrétne príklady, kde bola metóda Rapid Prototyping zavedená.

**Kľúčové slová:** Rapid Prototyping, 3D modelovanie, navrhovanie výrobkov

## **Abstract**

This Bachelor's thesis deals with the use of rapid prototyping methods. In the introduction is prototyping characterized as an important stage in product development. In the second part is described main principle of the method, shown are the advantages and disadvantages associated with the implementation of prototyping into production. In the following are described in detail specific technologies as Rapid Prototyping, Stereolithography, Laser Sintering, Laminated Manufacturing and Fused Deposition Modeling. The last part entitled as case study, contains specific examples where the method of Rapid Prototyping was implemented.

Keywords: Rapid Prototyping, 3D modeling, product design

# Obsah

Úvod .....	7
<b>1 Cieľ práce.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Metodika práce.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Prototyp a prototypovanie.....</b>	<b>10</b>
3.1.1 História prototypovania.....	11
<b>3.2 Technológia Rapid Prototyping .....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Princíp metódy RP .....	13
3.2.2 Výhody a nevýhody RP .....	16
3.2.3 Metódy pre RP .....	17
3.2.3.1 Stereolitografia .....	18
3.2.3.2 Laser Sintering.....	19
3.2.3.3 Laminated Manufacturing .....	20
3.2.3.4 Fused Deposition Modeling (FDM) .....	21
3.2.4 Prenos dát.....	23
3.2.5 CAD/CAM a RP .....	25
<b>3.3 Využitie technológií RP .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 Možnosti použitia a potenciál metód RP vo vývoji výrobkov.....	26
3.3.2 RP a stratégia firmy.....	29
3.3.3 Začlenenie systému RP do procesu vývoja výrobku .....	31
3.3.4 Nekomercializované technologické metódy systému RP.....	32
<b>3.4 Prípadová štúdia .....</b>	<b>34</b>
3.4.1 Výroba master modelov technológiou RP na cnc stroji.....	34
3.4.1.1 Výroba modelu adaptáciou CNC stroja pomocou tlačovej hlavy .....	34
3.4.1.2 Materiál pre tvorbu modelu .....	35
3.4.1.3 Použitie tlačovej hlavy, rezné podmienky, metodika merania .....	35
3.4.1.4 Zhodnotenie použitia tlačovej hlavy ako RP technológie .....	35
3.4.1.5 Výroba foriem .....	36
3.4.2 Kombinovaný kotol Bahama 100 .....	37
<b>4 Diskusia.....</b>	<b>39</b>
<b>5 Záver .....</b>	<b>42</b>
<b>6 Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>43</b>

# Úvod

Výrobná technológia označovaná ako RP nachádza veľké uplatnenie vo všetkých odvetviach strojárkej výroby. RP je vhodný ako pre kusovú, tak malosériovú výrobu a to predovšetkým v etape vývoji výrobku. S RP úzko súvisí nadväzujúce odvetvie, ako je zlievarenstvo alebo CNC obrábanie. Väčšina prototypov vzniká pomocou špecializovaných zariadení napríklad spekaním práškov rôznych materiálov (kov, plast) alebo nanášaním vrstiev taveniny (plast, vosk), poprípade spojovaním špeciálnych fólií. Všetky spôsoby výroby ale majú spoločnú vlastnosť spočívajúcu v postupnom nanášaní vrstiev materiálu.

Technológiám RP je venovaná čoraz väčšia pozornosť vďaka významnému ekonomickému prínosu v procese vývoja nových produktov. Technológie RP umožňujú výrobu fyzického prototypu priamo z digitálneho modelu ukladaním vrstiev daného materiálu, čím je možné relatívne jednoducho vyrábať aj také tvary súčiastok, ktoré klasickým obrábaním je možné vyrobiť len ťažko, či dokonca nie je možné vyrobiť vôbec. V porovnaní s konvenčnými výrobnými metódami trvá výroba prototypu metódami rýchleho prototypovania podstatne kratšie (dni namiesto mesiacov).

Cieľom je skrátenie doby vývoja a rýchle zavádzanie výrobkov na trh tak, aby sa vyhovel požiadavkám zákazníkov. Výhodou metód RP je nielen možnosť rýchlej výroby prototypu v ľubovoľnej fáze vývoja, ale hlavne možnosť výroby celého radu modifikácií a konštrukčných usporiadaní navrhovaného výrobku.



# 1 Cieľ práce

Cieľom mojej bakalárskej práce po preštudovaní dostupnej odbornej literatúry, firemných prospektov a internetových stránok daných firiem je poukázať na trendy v technológiách a využívaní Rapid Prototypingu. Na základe cieľu práce som zhromaždil potrebné dokumenty na charakteristiku a vývoj metód Rapid Prototypingu, ktoré sa v súčasnosti zavádzajú do praxe. Ďalej by som sa chcel zaoberať možnosťami použitia metód vo vývoji výrobku a stratégiou firmy. Taktiež zavediem prípadovú štúdiu, ktorá sa bude zaoberať aplikáciou danej metódy na konkrétnych prípadoch.

## 2 Metodika práce

Pre dosiahnutie cieľa budeme zohľadňovať nasledujúcu metodiku práce, zostavenú z týchto krokov:

- štúdium odbornej literatúry (knihy, články z odborných časopisov, firemné manuály a materiály a internetové zdroje),
- charakteristiky a vývoj metód Rapid Prototypingu,
- možnosti použitia metód vo vývoji výrobku,
- začlenenie systému Rapid Prototyping do procesu vývoja výrobku,
- prípadová štúdia – výber a popis reálnych prípadov použitých v praxi.

## 3 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

### 3.1 Prototyp a prototypovanie

Prototyp, ako prvá materiálová vizualizácia výrobku, ktorá sa nachádza v cykle vývoja, je pre ďalšie rozpracovanie návrhu výrobku nevyhnutný, pretože poskytuje praktické informácie o funkčnosti a kvalite výrobku ako aj o nákladoch na jeho zhotovenie. Často úplne zodpovedá sériovému vzoru. Od sériového výrobku sa odlišuje najmä aplikovanými metódami výroby. Umožňuje skúšanie jednotlivých funkcií a vlastností výrobku, výrobu náradia a pod. Umožňuje vstup na trh. Stupeň detailnosti je vypracovaný ako pri sériovom výrobku (Medvecký, 2007).

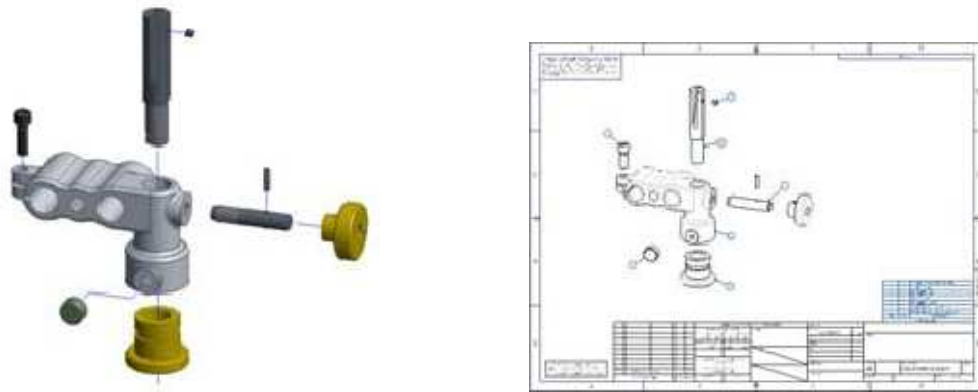
Pri použití tradičných výrobných metód je však výroba prototypu zdĺhavá, často spotrebuje až 25 % celkového času vývoja a trvá až niekoľko mesiacov. Dôsledkom býva, že prototyp mnohokrát nie je k dispozícii pri riešení ďalších krokov vývoja a pri niektorých dôležitých rozhodnutiach. Dlhá priebežná doba výroby prototypu je okrem organizačných nedostatkov zapríčinená najmä vysokým podielom manuálnej práce. Na výrobu prototypov sa v niektorých výrobných odboroch spotrebuje až 50% všetkých nákladov plánovaných na vývoj.

Spĺňa niekoľko funkcií:

- marketingová funkcia
- technická funkcia ( testovanie )
- overenie vyrobiteľnosti

Prototypovanie je možné rozdeliť do niekoľkých skupín, podľa toho, za akým účelom sú prototypy vyvíjané :

- **Mock-Up** - prototyp dáva užívateľovi náhľad ako to asi bude vyzerat'
- **Bread-Board** - prototyp beží ale ešte nemá vyvinuté užívateľské rozhranie
- **Scale Model** - má užívateľské rozhranie ale podporuje iba časť všetkých podmienok
- **Concept-Car** - kde prototyp je vyvinutý za účelom zistenia trhovej ceny
- **Simulácia** - kde prototyp extrahuje scenáre a predstavy užívateľa
- **Charakteristický model** - formálna špecifikácia systému
- **Blue-Print** - popis ako urobiť reálnu implementáciu systému
- **vykonateľný Blue-Print** - popis ako urobiť reálnu implementáciu (Kuffner, 2003).



Obr. 1 Príklad konštrukčného prototypovania

zdroj: [www.sjf.tuke.sk](http://www.sjf.tuke.sk)

### 3.1.1 História prototypovania

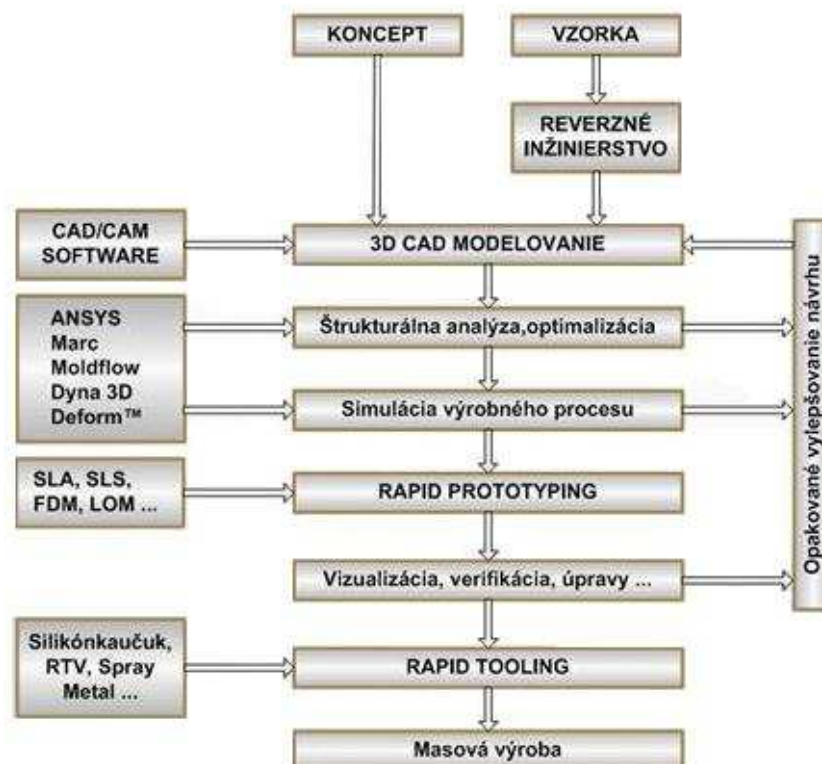
Pri výskumoch využitia ultrafialového (UV) žiarenia v polygrafii prišiel Charles Hull, autor stereolitografie, na to, že fotopolyméry po osvetení UV lúčmi pomerne ľahko a rýchlo hustnú a tvrdnú. Napadlo ho, že by tento jav mohol byť využitý v zariadení, ktoré by zabezpečovalo rast trojrozmerných objektov po vrstvách. Po dvoch rokoch vývoja uzrelo svetlo sveta prvé zariadenie, po úspešnom odskúšaní ktorého podal žiadosť o udelenie patentu na novú metódu priestorovej výroby objektov. Patent mu bol udelený v roku 1986. V tom istom roku založil firmu 3D Systems, ktorá po zabezpečení financovania projektu vyrobila prvé komerčné zariadenia a položila základy širokého využitia stereolitografie vo výrobnej praxi (Kováč, 2003).

## 3.2 Technológia Rapid Prototyping

Metódy rýchleho prototypovania Rapid Prototyping (ďalej RP), komercializované koncom 80-tych rokov, umožňujú rýchlu výrobu modelu, vzorky, alebo prototypu na základe 3D modelu vytvoreného v CAD systéme alebo z 3D scanovaných dát získaných priestorovou digitalizáciou. V porovnaní s konvenčnými výrobnými metódami trvá výroba prototypu metódami RP podstatne kratšie (niekoľko dni namiesto mesiacov). Aby boli využité všetky výhody RP je dôležitá správna integrácia celého priebehu vývoja výrobku a vhodné začlenenie technológie rýchleho prototypovania do vývojového cyklu. (Kuffner, 2003).

Prototypovanie je dôležitou fázou vývoja produktu, ktorá je nevyhnutná pre hodnotenie tvaru, vhodnosti a funkčnosti návrhu skôr, než sa realizujú značné investície do nástrojového vybavenia, potrebného pre hromadnú výrobu. Metóda RP zahŕňa celý rad nových technológií pre výrobu presných dielov priamo z CAD modelu, a to v relatívne krátkom čase (rádovo hodiny až dni) a minimálnou potrebou ľudského zásahu, t.j. proces výroby prototypu je vysoko automatizovaný.

Výstupom fázy testovania, skúšania nového výrobku je analýza, ktorá slúži ako podklad pre rozhodovanie o tom, či sa navrhovaný výrobok vráti konštruktérovi (resp. dizajnérovi apod.) na prepracovanie, alebo sa začne s prípravou sériovej výroby. Vo všeobecnosti existujú z hľadiska posudzovania východiska dva spôsoby vývoja nového produktu. Prvým východiskom je koncept návrhu, druhým je referenčná vzorka. Dobrý návrh produktu musí súčasne uvažovať aj s výrobným procesom a výrobnými podmienkami. Z toho vyplýva, že do systému rýchlej prípravy výroby sa musí zahrnúť tiež štrukturálna analýza a optimalizácia a CAE výrobného procesu. Jednotlivé prvky systému ilustruje schéma na obr. 2.



Obr. 2 Schéma systému rýchlej prípravy výroby

zdroj: [www.sjf.tuke.sk](http://www.sjf.tuke.sk)

### 3.2.1 Princíp metódy RP

V podstate ide o počítačovú interpretáciu objektu, t.j. súčiastky, ktorá slúži ako priamy vstup do technologického zariadenia, ktoré bez zložitých prípravných fáz a špeciálnych nástrojov vytvára fyzický objekt s vlastnosťami podobnými finálnemu výrobku.

Všeobecným znakom metód RP je, že tvarovanie súčiastky sa nevykonáva odoberaním materiálu ako u trieskového obrábania, ale postupným pridávaním materiálu vo forme prášku alebo taveniny v malých vrstvách, alebo postupne z vrstiev fotopolyméru (plastickej hmoty citlivej na svetlo), ktorá je postupne vytvrdzovaná UV laserom až do výslednej podoby prototypu (Kováč, 2002).

Týmto spôsobom možno vyrobiť akúkoľvek tvarovú geometriu súčiastky s dutými vnútornými priestormi, šikmými i vodorovnými spodnými stenami, rebrami kde sú inak metódy klasického obrábania limitované a to vo veľmi krátkom čase.

Základný princíp RP je, že počítačová interpretácia objektu slúži, ako priamy vstup do technologického zariadenia, ktoré v podstate bez prípravných fáz a špeciálnych nástrojov vytvára fyzický objekt s vlastnosťami blízky finálnemu objektu.

RP technológie z 3D CAD modelov odvodí informácie na rozčlenenie objemového telesa na vrstvy a spodnou špeciálnych postupov vytvorí vrstvy.  
Postup:

- generovanie informácií vo vrstvách v počítači
- generovanie fyzických vrstiev
- spájanie vrstiev

RP sa zrodil na báze potreby radikálneho skrátenia vývojových prác (stereolitografia, vákuové odliatky, CNC obrábanie). V polovici 90-tych rokov sa rozmáhajú ďalšie technológie.

Metódy RP využívajú 3D CAD modely výrobkov ako vstupnú informáciu pre rozčlenenie objemového telesa (výrobku, dielca, súčiastky) na vrstvy a následné vytvorenie a spájanie jednotlivých vrstiev do fyzikálneho modelu s využitím špeciálnych materiálov a zariadení splňajú základné požiadavky kladené na nové stratégie vývoja výrobkov. Aplikácia prostriedkov výpočtovej poskytuje efektívnu

výmenu informácií a komunikáciu a vytvára uzavretú CIM štruktúru. Typy modelov výrobkov je možné klasifikovať na základe ich vlastností a aplikácie nasledovne:

Tab. 1 Typy modelov výrobkov

Typ modelu	Aplikácia a vlastnosti
Proporčný model	Zobrazuje vonkajší tvar a najdôležitejšie proporcie. Slúži na komunikáciu a motiváciu, podporuje rýchlu výmenu informácií. Výroba modelu by mala byť rýchla, jednoduchá a lacná. Stupeň detailnosti: nízky
Ergonomický model	Podporuje rýchle rozhodovanie o realizovateľnosti. Zobrazuje detaily, ktoré ovplyvňujú možnosť obsluhy a užívania výrobku, respektíve aj najdôležitejšie čiastkové funkcie. Stupeň detailnosti: nízky
Dizajnerský model	Zodpovedá čo možno najúplnejšie vonkajšiemu vzhľadu budúceho výrobku. Vonkajšie plochy sú v kvalitne (farba, štruktúra a pod.) približujúcej sa budúcemu výrobku. Umožňuje skoré zohľadňovanie názoru zákazníkov, odberateľov a dodávateľov. Stupeň detailnosti: vysoký
Funkčný model	Umožňuje skúšanie jednotlivých funkcií výrobku (kinematika, zmontovateľnosť, spôsob údržby a manipulácie a pod...). Zobrazuje jednotlivé alebo všetky dôležité funkcie pri súčasnom zohľadnení vonkajšieho tvaru. Charakterizuje podmienky pre výrobu nástrojov a foriem a výber strojov. Stupeň detailnosti: vysoký
Prototyp	Často úplne zodpovedá sériovému vzoru. Od sériového výrobku sa odlišuje najmä aplikovanými metódami výroby. Umožňuje skúšanie jednotlivých funkcií a vlastností výrobku, výrobu náradia a pod.
Vzor	Pochádza z prvej, resp. nulte série. Umožňuje úplné testovanie všetkých vlastností výrobku.

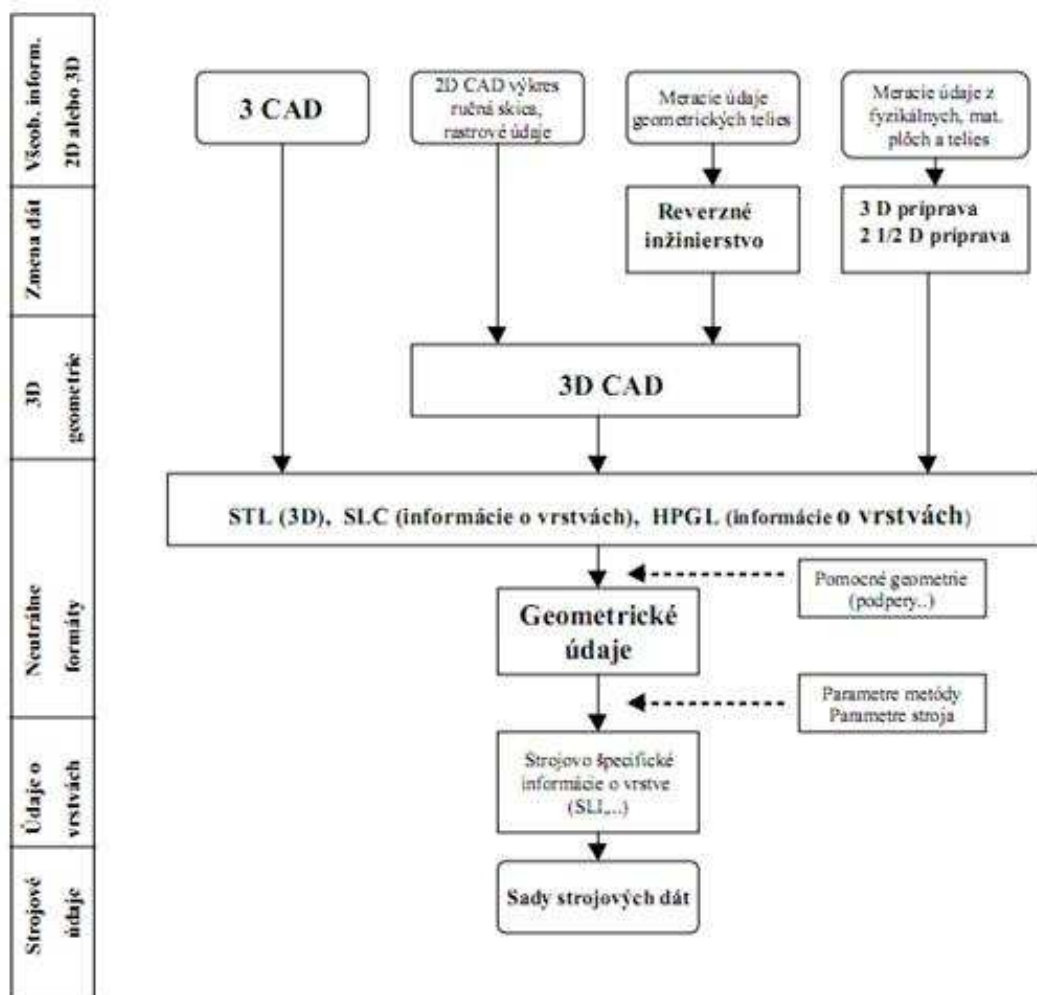
zdroj: Kováč, Inovácie a technická tvorivosť, 2002

Metódy RP sú aditívne metódy pri ktorých sa tvar objektu vytvára vzájomným spojením inkrementálnych objemových elementov.

Je možné ich považovať za 2 ½ D metódy, ktoré sa z hľadiska tvorby modelov rozdeľujú do dvoch hlavných častí:

- generovanie informácií o vrstvách (virtuálne v počítači)
- generovanie fyzikálnych vrstvomových modelov (fyzikálne v RP zariadení)

Základom všetkých metód RP je trojrozmerný CAD model, ktorý musí mať primerané rozhranie (napr. STL, SLC, HPGL). V určitých prípadoch je možné používať aj údaje získané meraním, ktoré sa potom prevedú do 3D modelov. Na obr.3 je uvedený tok dát v metódach RP.



Obr. 3 Tok dát v metódach RP

zdroj: Kováč, Inovácie a technická tvorivosť, 2002



Trendy v tejto oblasti sú :

- Nástup systému Rapid Tooling (aplikácie RP v oblasti nástrojov.) Nástroje sú použiteľné pre výrobu v malých sériách
- Zdokonaľovanie metód RP z hľadiska výkonnosti a nákladov
- Prototyping ready to use (použitie prototypov v praxi)

Príkladom uplatnenia technológie RP v automobilovom priemysle je firma Bertrand Group (Nemecko). Uskutočňuje vývojové práce typu dielce karosérie, interiéry vozidla, motory, podvozky a agregáty pre automobilky Volkswagen, BMW, Opel, Daimler Chrysler, Ford, PSA, Porsche, Renault a ich subdodávateľov (Kováč, 2002).

### **3.2.2 Výhody a nevýhody RP**

Zavedenie RP je strategickým rozhodnutím v živote firmy. Všetky takéto rozhodovania sú nutné podložiť podrobnou analýzou, ktorá ozrejní jeho výhody a nevýhody. Zo začiatku je dobré si uvedomiť, že technológia RP je nový smer, ktorým sa uberá konštrukčná prax. Medzi hlavné výhody môžeme zaradiť:

- skrátenie času vývoja (o 30 až 70 %),
- zníženie nákladov na vývoj (lacnejšia výroba vzoriek, prototypov),
- skvalitnenie vývojových prác (možnosť porovnať viacero variantov),
- identický tvar (presnosť podľa modelu v 3D),
- zvýšenie efektívnosti komunikácie,
- eliminovanie nákladných chýb,
- minimalizovanie zmien v procese schvaľovania,
- zvýšenie životnosti produktu pridaním potrebných a eliminovaním redundantných prvkov už vo fáze navrhovania,
- zvýšenie komplexnosti produktu,
- redukcia času potrebného na uvedenie výrobku na trh (redukcia počtu iterácií),
- redukcia nákladov (priame úspory vo výrobe a predchádzanie chybám),
- zvyšovanie kvality (predchádzanie chybám).

Hlavnými nevýhodami je predovšetkým:

- cenová náročnosť,

- pre výrobu presnejších súčiastok zatiaľ nedostatočná presnosť (v súčasnosti  $\pm 0,1$  % rozmeru),
- vysoké počiatočné investície,
- obmedzený výber modelovacích materiálov,
- vytvorený model je potrebné dopracovať ručne. (Babjak, 2005).

### 3.2.3 Metódy pre RP

V priebehu rokov sa presadilo hneď niekoľko technológií, ktoré pracujú na princípe modelovania pomocou postupného pridávania alebo vytvrdzovania vrstiev materiálu. Počet systémov inštalovaných koncom roka 1995 vo svete je asi 1250. Medzi tieto technológie, ktoré sú súhrne označované termínom RP môžeme zaradiť:

- stereolitografia – Stereolithography (SL),
- vulkanizácia objemových telies – Solid Ground Curing (SGC),
- selektívne laserové vytvrdzovanie – Selective Laser Sintering (SLS),
- modelovanie roztaveným povlakovaním – Fused Deposition Modeling (FDM),
- výroba laminátových objektov – Laminated Object Manufacturing (LOM),
- priame pokovovanie vyrobených prototypov – Direct Shell Production Casting (DSPC),
- výroba na 3D plotri – Model Maker 3D Plotting (MMP),
- výroba balistických čiaščiek – Ballistic Particle Manufacturing (BPM).

Uvedené postupy sa od seba odlišujú princípom vytvárania a priebehom procesu a tiež spektrom spracúvaného materiálu (Kuric, 2002).

Výroba prototypov ľubovoľnou technológiou RP má určité kritické miesta. Jedným z nich je nutnosť prevedenia dokončovacích operácií buď z dôvodov estetických, alebo sú vynútené nadväzujúcimi činnosťami, napríklad v okamžiku použitia fyzickej súčasti ako modelu pre výrobu silikónovej alebo pevnej formy. Jedná sa predovšetkým o tmelenie, brúsenie a lakovanie, čo sú činnosti vyžadujúce manuálnu zručnosť a vyznačujú sa časovou náročnosťou potrebnou pre uschnutie povrchových vrstiev aj pre manuálnu opravu (brúsenie pod vodou). Navyše je silikónová forma

používaná pre odlievanie voskových modelov, kde je opäť potrebná časová prestávka medzi odliatím a vybratím modelu.

metóda	presnosť / mm	max veľkosť modelu	čas výroby (hod:min)
Fused deposition modeling	0.005	254 x 254 x 254 (Stratasys)	12:39
Laminated object modeling	0.01	812 x 558 x 508 (Cubic Technologies)	11:02
Selective laser sintering	0.005	381 x 330 x 457 (3D Systems)	4:55
Stereolithography	0.003	990 x 787 x 508 (Sony)	7:03

Obr. 4 Porovnanie metód

zdroj: [www.cad.cz](http://www.cad.cz)

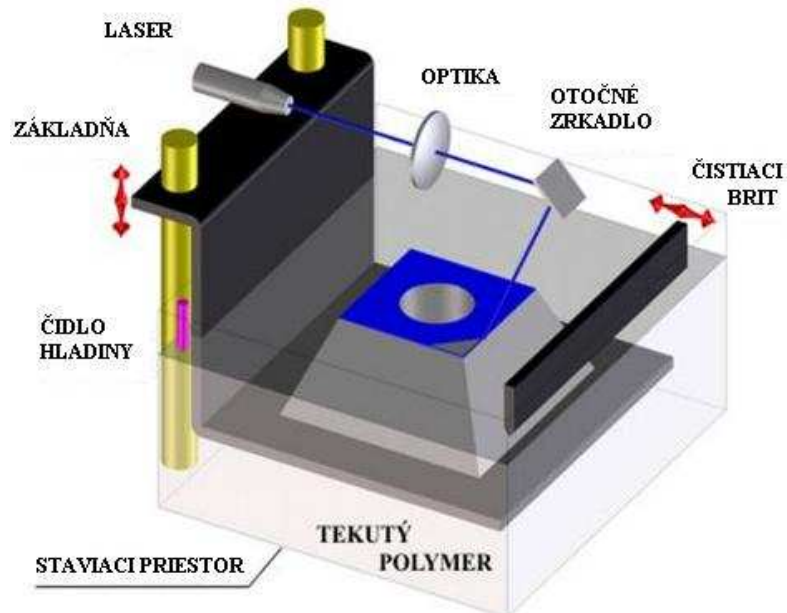
Všetci dizajnéri snívajú o bezproblémovom pretvorení svojich predstáv do skutočného trojrozmerného objektu natoľko blízkeho skutočnosti, aby sa s ním mohli zaoberať a skúšať ho v takých súvislostiach, pre aké je predpísaný. Metódy rýchlej výroby prototypov pomocou lasera - jedného z najrýchlejších sa rozvíjajúcich odvetví výrobných technológií - to umožňujú. Vstupom je CAD súbor, ktorý popisuje tvar súčiastky; výstupom je jej realizácia z polymérov, kovov alebo stlačeného laminovaného papiera (Jerz, 2007).

### 3.2.3.1 Stereolitografia

Patrí medzi najpresnejšie a najstaršie z hore uvedených metód, pri ktorej sa vytvára model fotosenzitívnou živcou, ktorá polymerizuje vplyvom UV žiarenia laserového lúča, ten má za úlohu skenovať povrch kúpeľa s tekutou živcou. Každý sken znamená tenký rez predmetom; keď je sken dokončený, podstavec, na ktorom je uložená spolovice zhotovená zložka, sa mierne zníži (obvykle o 0,1 mm), čím sa povrch ponorí do čerstvej tekutiny, ktorá polymerizuje pri ďalšom skene. Takto sa po vrstvách predmet vytvorí smerom zdola hore. Na dokončenie polymerizácie je nutné dodatočné vytvrdenie (Jerz, 2007).

Pomocou stereolitografie je možné vytvárať modely s milimetrovými otvormi. Modely sa používajú pre vizuálnu kontrolu návrhu výrobku, v niektorých prípadoch

i k funkčným skúškam. Môžeme ich použiť ako formy pre vstrekovanie a liatie. Nevýhodou stereolitografie je pomalý proces tvrdnutia polyméru (Kuric, 2002).



Obr. 5 Princíp rýchleho prototypovania metódou laserovej stereolitografie

zdroj: [www.matnet.sav.sk](http://www.matnet.sav.sk)

### 3.2.3.2 Laser Sintering

Pri selektívnom laserovom spekaní (SLS - Selected Laser Sintering) sa kvapalná živica nahradí jemným, teplom tavitelným práškom (termoplast alebo vosk), ktorý sa roztopí skenujúcim laserovým lúčom, pričom vytvorí rez predmetom. Podstavec sa následne zníži a kefkou sa na povrch nanesie nová vrstva prášku, pripravená na ďalší sken. Využitím nylonu alebo ABS prášku sa dá vyrobiť predmet s otvormi na nity, závitmi na skrutky alebo napr. funkčnými pántmi. Táto metóda sa už úspešne používa ešte aj pri výrobe prototypov zo spekaných kovov, čo zjednodušuje technologický postup výroby komplikovaných výliskov, odliatkov a turbínových lopatiek (Jerz, 2007).

Podľa druhu použitého modelovacieho materiálu je možné v rámci tejto technológie rozlišovať tieto metódy:

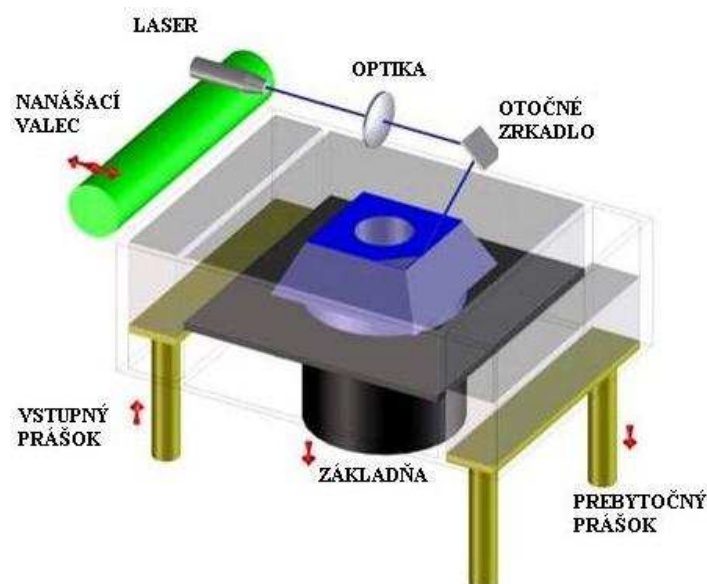
- Laser Sintering Plastic,
- Laser Sintering Metal,

- Laser Sintering Foundry Sand (zlievarenský piesok).

Pri Laser Sinteringu – Plastic je možné voliť z niekoľkých druhov plastických materiálov, ktoré svojimi vlastnosťami určujú aj spôsob využitia hotového modelu. Pri použití nylónu dosahujú výsledné modely vynikajúce mechanické vlastnosti ako tvrdosť, húževnatosť, teplotná odolnosť atď.

Modely vzniknuté metódou Laser Sintering Metal dosahujú dostatočnej pevnosti a mechanickej odolnosti, preto je možné ich využiť hlavne pre výrobu plastových súčiastok vstrekováním alebo lisovaním.

Jednou z najnovších technológií RP je Laser Sintering Foundry Sand. Táto metóda využíva upravený zlievarenský piesok, pričom jeho vytvrdzovaním môžeme vytvoriť na prototypovacom zariadení klasickú pieskovú formu pre liatie (Kuric,2002).



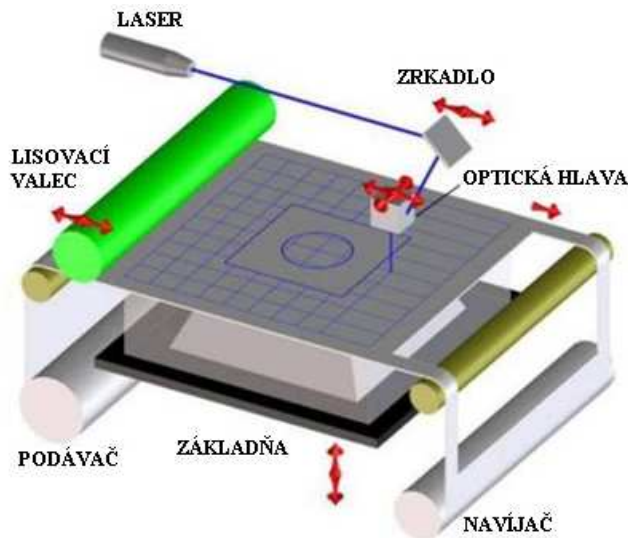
Obr. 6 Princíp Laser Sintering

zdroj: [www.matnet.sav.sk](http://www.matnet.sav.sk)

### 3.2.3.3 Laminated Manufacturing

Pri metóde výroby prototypov z laminovaného papiera (LOM - Laminated Paper Manufacture) sa rezy vytvárajú laserovým rezaním plátov z papiera, pokrytého termoplastom. Papier sa privádza valcom a laserom sa odreže profil jedného rezu; vyhrievaný valec ho ďalej pritlačí na stĺpec predtým odrezaných rezov a upevní ho na ne. Tento postup je rýchlejší ako oba predchádzajúce, lebo laser iba sleduje obrys rezu.

Je nejlepší pro velké součástky s hrubostennými úseky. Finální materiál sa podobá drevu (Jerz, 2007).



Obr. 7 Princíp Laminated Manufacturing

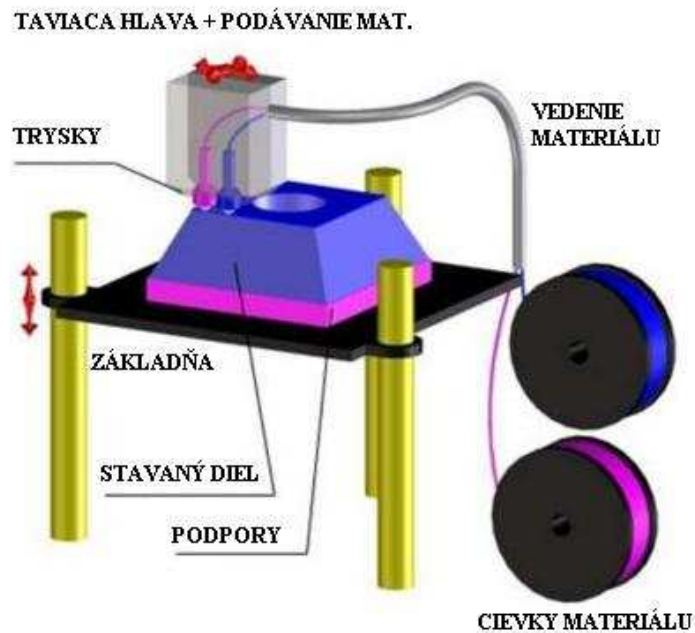
zdroj: [www.matnet.sav.sk](http://www.matnet.sav.sk)

### 3.2.3.4 Fused Deposition Modeling (FDM)

Pozoruhodným kompromisom odolnosti modelu, rýchlosti a presnosti tvorby, je metóda FDM. Pri tejto metóde sa modely a prototypy tvoria narastaním krok za krokom z rôznych netoxických termoplastov alebo voskov.

Pri modelovaní metódou FDM sú objekty vytvorené v CAD aplikáciách najskôr rozrezané pomocou tzv. Slice-Software. Ten počítačový model primerane zorientuje, vykoná slicing (rozrezanie na tenké vrstvy) a automaticky generuje dáta. Jeho výstupný formát STL, ktorý zahŕňa geometrické údaje o jednotlivých vrstvách, môže byť potom prenesený priamo do modelovacieho zariadenia (nielen FDM).

Pomocou tejto metódy je polotekutý termoplastický materiál vytlačovaný tryskou do špecifického tvaru podľa dát v STL súbore. Model je vytváraný po tenkých vrstvách. Keď je vrstva dokončená, model poklesne o jej výšku a začne sa vytvárať vrstva nová. Výška vrstvy sa pohybuje obvykle okolo 0,25 mm, môže však v prípade potreby (modelovanie detailov, ostrých prechodov a hrán) klesnúť až na 0,05 mm.



Obr. 8 Princíp Fused Deposition Modeling

zdroj: [www.matnet.sav.sk](http://www.matnet.sav.sk)

Taktiež v technológii FDM sú používané rôzne materiály:

- Plast ABS – vysoko pevný materiál s dostatočnou rázovou pevnosťou, húževnatosťou aj tepelnou a chemickou odolnosťou,
- vosk pre presné odlievanie,
- plast MABS – odoláva pôsobeniu gama lúčov,
- elastomery – vynikajú zvýšenou tepelnou odolnosťou.

Rozhodujúcou výhodou technológie FDM je relatívna rýchlosť a operatívnosť. Zväčša nie sú potrebné žiadne dodatočné úpravy. Konštruktér môže rýchlo a jednoducho vypracovať rozličné verzie návrhu súčiastky pre designové a funkčné štúdie (Kuric,2002).

## MATICA APLIKÁCIE TECHNOLOGIÍ RAPID PROTOTYPINGU

POUŽITIE	TECHNOLÓGIA						
	SLA	LOM	FDM	3D TLAČ	Ink Jet	SLS	
HODNOTENIE DIZAJNU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ VHODNÉ
TESTY FUNKČNOSTI	⚖		⚖	✓	⚖	★	⚖ OBMEDZENÉ POUŽITELNÉ
TESTY ZMONTOVATEĽNOSTI	⚖		✓	★	⚖	★	★ ZVLÁŠŤ VHODNÉ
VÝROBA FORIEM PRE ODLIEVANIE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
VÝROBA VYTAVITELNÝCH MODELOV	⚖		✓	⚖	★	✓	
VÝROBA PLNE FUNKČNÝCH PROTOTYPOV / MALOSÉRIOVÁ VÝROBA						✓	

Obr. 9 Aplikácie technológií RP

zdroj: [www.sjf.tuke.sk](http://www.sjf.tuke.sk)

### 3.2.4 Prenos dát

Od uvedenia prvého RP zariadenia americkou spoločnosťou 3D Systems Corp. v roku 1988 prekonala metóda RP, ako aj jej jednotlivé prvky dynamický vývoj. Podmienkou pre využitie všetkých metód RP je existencia úplného trojrozmerného geometrického popisu vyrábanej súčiastky. 3D geometria súčiastky popísaná v CAD systéme je za účelom zjednodušenia ďalšieho matematického spracovania v prvom rade aproximovaná pomocou trojuholníkov (triangulácia) a prevedená do výstupného formátu STL (štandardného pre postupy RP) (Kuric, 2002).

Parametre triangulácie ovplyvňujú výslednú presnosť modelu a je možné ich nastaviť. Prvá voliteľná hodnota je Chord Height, čo je maximálna prípustná tangenciálna chyba v mm. Druhým parametrom je Angle Control, ktorý určuje maximálny prípustný uhol medzi dvoma trojuholníkmi.

Väčšina moderných CAD/CAM systémov ponúka uloženie dát do STL formátu. V niektorých prípadoch však môže dôjsť k situácii, že konverzia dát nie je optimálna pre dané RP zariadenie. Niektoré riadiace systémy RP zariadení preto umožňujú vstup dát v univerzálnych 3D CAD výstupných formátoch, ako napr. IGES, STEP ap., a tieto sú schopné následne upraviť do formátu STL optimálne podľa požiadaviek daného RP zariadenia.



Údaje STL sú potom spracované v nezvyčajnom výpočtovom postupe, ktorý rozloží 3D geometriu na osobité priečne rezy definovanej výšky (Slicen, SLI-formát). Obvyklá výška vrstiev je 0,1 až 0,2 mm. S takým softwarom je možné vykonávať ešte celý rad pomocných operácií, ako napr. stanovenie meradla rozmerov súčasti, skúšanie a oprava chybných STL dát, alebo navrhnutie podpornej konštrukcie. Zmena dát STL na formát SLI sa uskutoční pomocou špeciálnych softvérových nástrojov, ktoré sú súčasťou systémov RP. Následne získané údaje o jednotlivých rezoch sa odovzdajú priamo na existujúce výrobné zariadenie RP. Inovačné centrum bude vďaka týmto technológiám na najvyššej úrovni a doba vykonávania jednotlivých operácií bude skrátaná na minimum. Možnosťou výroby prototypov dielov v príslušnom meradle a možnosťou okamžitej funkčnej aplikovateľnosti dielov sa dosahuje najvyššia efektívnosť navrhovania dielov.

Príklad takéhoto postupu a použitia možno predložiť technické zariadenia a softvérové produkty firmy 3D Systems. Hlavným krokom je modelovanie v trojrozmernom systéme CAD/CAM alebo model získaný skenovaním (z počítačového tomografu). Model vo forme súborov STL, poprípade SLC je transportovaný do softvéru Magics firmy Materialise, ktorý pracuje na multiplatforme (PC, Hewlett Packard, Silicon Graphics), kde prichádza k rozmiestneniu na pracovnú nosnú dosku stereolitografu. Program rovnako umožňuje rozdelenie zložitých dielcov na bloky a sám opraví chyby. Takto zhotovený model je pripravený na odovzdanie do počítača Silicon Graphics s inštalovaným softvérom firmy 3D Systems Maestro. Tento program prichystá model priamo pre vlastný proces výroby v stereolitografe tak, že celý model je „rozrezaný“ na plátky podľa počiatočných podmienok a požiadaviek na presnosť. Týmto spôsobom vytvorený model vo forme matematického popisu je priamo nahraný do stereolitografu a pripravený na vlastný proces výroby (Havrila, 2001).

Na obr. 10 je pohľad na unikátne zariadenie „ThermoJet“ (výrobok nemeckej firmy 3D Systems), určené na zhotovenie modelov a prototypových súčiastok z termopolymérnych materiálov technologickou metódou Multi-Jet Modeling (MJM) v systéme RP (Havrila, 2001).



Obr. 10 Unikátne zariadenie ThermoJet

zdroj: [www.atpjournalsk](http://www.atpjournalsk)

### 3.2.5 CAD/CAM a RP

Z pohľadu bezproblémového používania metód RP a potreby zaistenia kompletnej integrácie v procese vývoja výrobku je adekvátne na prípravu dát pre zariadenia rýchleho prototypovania aplikovať jeden zo špičkových CAD/CAM/CAE systémov, pričom je užitočné, ak systém obsahuje špecializovaný modul na podporu využitia uvedenej technológie.

Modul umožňuje rozpracovať dáta pre výrobu prototypov 3D súčiastok z objemových alebo povrchových modelov bez nutnosti využívať externé systémy. Tým, že sa pracuje s priemyselne štandardným STL formátom výstupných súborov, je dovolené pre výrobu prototypu využiť prakticky každú technológiu RP. STL súbory sú adekvátne tiež pre import do rôznych aplikácií nesúvisiacich s rýchlym prototypovaním. Pre vytváraný STL súbor je dôležité, že modul RP umožňuje rýchle a účinné zobrazovanie objemových, alebo povrchových modelov vo forme radov trojuholníkov s použitím stanovenej tolerancie. Pri použití povrchového modelu RP lokalizuje susediace povrchy a uzatvorené otvory s použitím vhodných tolerancií, ktoré sú definované užívateľom. Rovnako upozorňuje konštruktéra v prípade, že povrchy modelu nevytvárajú definované uzavreté teleso. Trojuholníky je možné bežnými

vizualizačnými nástrojmi rýchle zachytiť vo vytieňovanom tvare. Ukážka schopností triangulácie modelu využitím modulu RP je na obr. 11 (Kuric, 2002).



Obr. 11 Triangulácia modelu súčiastky



Obr. 12 Prototyp výrobku  
zhotovený metódou RP

zdroj: [www.rapidtoday.com](http://www.rapidtoday.com)

Medzi základné funkčné vlastnosti modulov určených pre RP v CAD/CAM systémoch patria hlavne:

- možnosť tvorby 3D súčiastok z objemových alebo povrchových modelov vytvorených v CAD/CAM systéme bez prídavných softwarových nástrojov,
- upozornenie na možnú neuzavretosť povrchových telies,
- podpora užívateľom definovanej trojhrannej tolerancie (tetiva deviácie),
- podpora užívateľom definovanej tolerancie príľahlosti plôch,
- podpora existujúcich metód rýchleho prototypovania,
- schopnosť špecifického spájania, ktoré umožňujú užívateľovi spojiť viaceré súčiastky do jedného súboru určeného pre rýchle prototypovanie.

Rozsah uplatnenia bude aj naďalej limitovaný vysokými investičnými nákladmi.

### **3.3 Využitie technológií RP**

#### **3.3.1 Možnosti použitia a potenciál metód RP vo vývoji výrobkov**

V súčasnosti je vysoké použitie týchto metód RP hlavne v automobilovom, leteckom, elektrotechnickom a strojárskom priemysle, ako aj vo výrobe spotrebného tovaru. Výsledkom a prednosťou využitia tejto novej a mladej technológie je skrátenie

času vývoja, zníženie nákladov a v neposlednom rade došlo aj k skvalitneniu vývojových prác. Touto technológiou rýchleho prototypovania je možné vyrábať až 90 % súčiastok a komponentov automobilového priemyslu. Využitím tejto metódy sa dá našetriť 30 až 70 % času potrebného na vývoj. Najlepšie výsledky sa dosahujú pri aplikácii metód RP vo vývoji celých montážnych skupín alebo zariadení.

V oblasti výrobných zariadení sa pozornosť sústreďuje na :

- Zjednodušenie konštrukcie a obsluhy výrobného zariadenia, zníženie ceny zariadenia.
- Zrýchlenie vlastného výrobného procesu.
- Zvyšovanie presnosti rozmerov vyrobenej súčasti.
- Vyššia automatizácia procesu.
- Zníženie rizika vzniku chýb.

V oblasti softwaru je pozornosť zameraná na:

- vývoj systémov umožňujúcich vykonanie komplexnej simulácie funkcií výrobku, jeho správanie sa pri rôznych režimoch zaťaženia a pri dlhodobej prevádzke a to priamo na počítači. To je cesta k ďalšiemu znižovaniu nákladov a k skracovaniu času, ktorý je potrebný na vývoj nového výrobku (Kuffner, 2003).

### **Využitie RP v iných oblastiach priemyslu**

RP nie je výrobnou technológiou, ktorá by mala uplatnenie iba v automobilovom priemysle. Jej možnosti sú zaujímavé pre každé priemyslové odvetvie. RP sa vyskytuje v oblastiach obuvníckeho, textilného, zlievarenského, leteckého priemyslu, pri návrhu náradia, strojného vybavenia a ďalších. Veľmi významnú rolu hrá RP i v lekárstve. Ako príklad sa môže uviesť 3D model vytvorený pomocou dát z tomografu, vďaka ktorému získajú lekári veľmi veľa informácií a sú schopní postupovať pri operácii oveľa presnejšie.

Príklady RP z iných oblastí priemyslu:

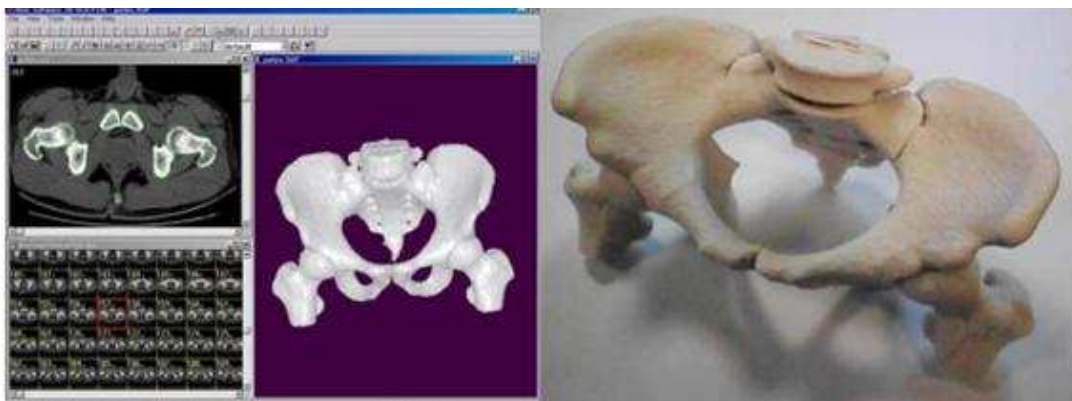
- Obuvnícka firma Reebok použila pri návrhu novej atletickej topánky technológiu RP. Model bol vytvorený na stroji od firmy Z Corporation.



Obr. 13 Hore hotová topánka, dole model podrážky

zdroj: [www.solidweb.cz](http://www.solidweb.cz)

- Využitie v oblasti chirurgie, kde bol pomocou dát z počítačovej tomografie vytvorený model panvovej kosti. Vďaka tomuto modelu si môžu lekári presne naplánovať postup operácie.



Obr. 14 Vľavo počítačový model, vpravo reálny RP model

zdroj: zdroj: [www.solidweb.cz](http://www.solidweb.cz)

- RP veľmi uľahčuje prácu dizajnérom. Pomocou tejto technológie môžu jednorázovo vytvoriť reálny model svojou designovou štúdiou. A to lacnejšie a rýchlejšie.

- Využitie RP je vhodné i v oblasti architektúry. Kvalitný 3D model je základom kvalitnej prezentácie.



Obr. 15 Využitie RP v architektúre

zdroj: zdroj: [www.solidweb.cz](http://www.solidweb.cz)

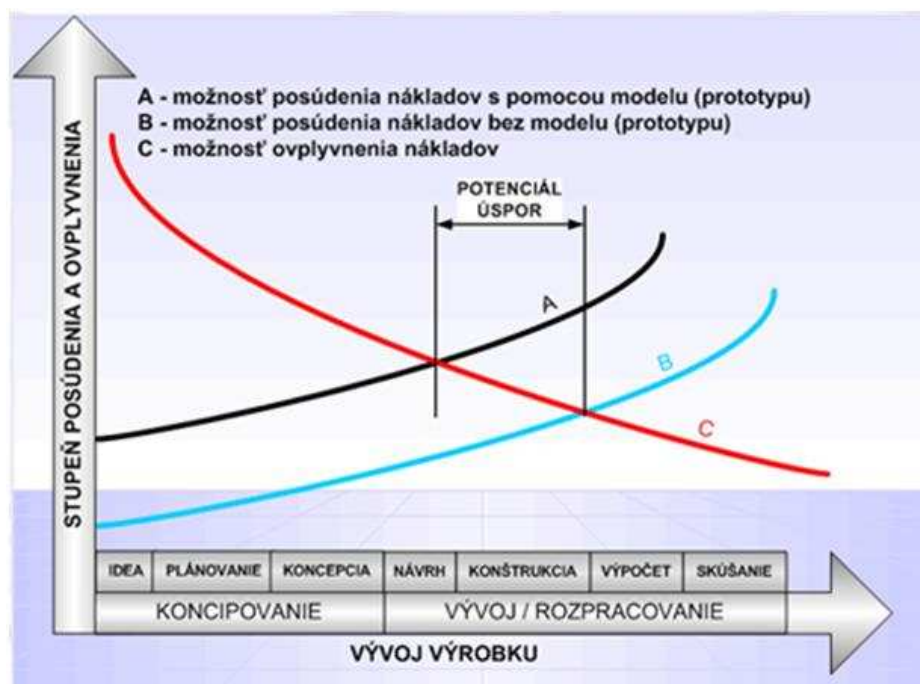
### 3.3. 2 RP a stratégia firmy

Produkty systému RP značne pomáhajú i v marketingu. Keď chceme ukázať obchodnému partnerovi produkt, ktorý pre neho vyvíjame. Ak máme k dispozícii digitálne dáta z konštrukčného CAD programu a vyžadujeme fyzický model, technológie RP ponúkajú cestu ako tieto dáta rýchle previest' na fyzický objekt. Pre management firmy je, vedľa kvality výrobu a jeho ceny, najdôležitejším faktorom čas, ktorý najväčšou mierou ovplyvňuje konkurencieschopnosť výrobku na trhu. Ide o čas, za ktorý sme schopný zareagovať na aktuálnu zmenu požiadavky a uviesť nový prípadne, inovovaný výrobok na trh. Pre manažérov moderných firiem sa stáva magickým zaklínadlom anglické "time-to-market". Kto príde na trh neskoro, stráca zákazníkov a tým i zisky. Každý týždeň oneskorenia môže naznačovať bezprostredný finančný prepád pri uvedení nových výrobkov na trh.

RP v prvom rade láme komunikačné bariéry, diskusia nad skutočným prototypom je rozhodne rýchlejšia a plodnejšia, než nad výkresmi či rendrovanými obrázkami. Ďalej je to ľahšie overenie konštrukcie a schopnosti tento výrobok vyrobiť. To, že si môžeme výrobok pozrieť zo všetkých strán či sa ho dotknúť, skontrolovať jeho rozmery či funkčnosť, prináša väčšiu kvalitu do vývoja.



Ekonomická nákladnosť tejto techniky vyžaduje realizáciu RP v centrách (veľké automobilky, národné centrá v malých štátoch a firmy špecializované na vývoj). Viaceré modely taktiež použiť i pre funkčné skúšky. Napríklad automobilka Chrysler udáva, že po zavedení RP sa skrátil čas výroby modelov o 50–60 % a pri celkovom designu ušetrili 12 % doby vývoja. Pokiaľ sa pozeráme na rozdelenie jednotlivých segmentov priemyslu využívajúcich RP, tak 58 % zákazníkov je z oblasti spotrebného tovaru, 48 % v automobilovom priemysle, 32,5 % v leteckom priemysle, 12 % zaberá výroba kancelárskych zariadení a asi 9 % medicína. Vo svete sa najviac zariadení RP používa v USA a Japonsku. V Európe najviac RP využívajú Nemci, Angličania a Francúzi.



Obr. 16 Možnosti posúdenia a ovplyvnenia nákladov

zdroj: [www.sjf.tuke.sk](http://www.sjf.tuke.sk)

Samotné zariadenia nepatria medzi najlacnejšie, sú však i relatívne schodnejšie cesty k “rýchlym modelom”. Jednou z nich je tzv. 3D tlač, ktorá naberá na popularite práve v oblasti koncepčného návrhu. Podľa uskutočnených analýz sa vyplatí investovať do nákupu RP zariadení, ak potrebujeme vyrobiť viac než 50 modelov ročne. Pre lepšiu predstavivosť: výroba stredne veľkého a zložitého dielu z dodaných CAD dát stereolitografickou metódou trvá cca 18–24 hodín, náklady na výrobu takéhoto modelu

formou služby sa pohybuje v rozmedzí 1300 až 3300 € Oproti tomu výroba modelu z 3D tlačiarňi stojí v rozmedzí 70 až 330 € , podľa veľkosti (Kuffner, 2003).

### **3.3.3 Začlenenie systému RP do procesu vývoja výrobku**

Značné úsilie je venované zdokonaleniu softwarových a hardwarových technológií, ktoré by umožnili vykonávať celý vývojový proces výrobku na digitálnom modeli priamo v CAD systéme (vizualizácia, renderovanie, virtuálna realita, MKP, dynamické analýzy, a pod.). Ukazuje sa však, že potrebou súčasných dizajnérov a konštruktérov je pracovať skôr s modelom fyzickým, pri ktorom sa dá ľahšie meniť dizajn, odstraňovať prípadné chyby. Výhody fyzického modelu majú za následok zrýchlenie celého procesu vývoja výrobku. Výroba modelov a prototypov klasickými technológiami je ale veľmi náročná a zdĺhavá. Ako najvhodnejšia cesta splňujúca väčšinu požiadaviek konštruktéra sa javí RP, čo je rýchla technológia a umožňuje priamu väzbu na vývojové prostredie, teda na CAD/CAM systém (Havrila, 2001).

Využitím metód RP je možné dosiahnuť reálnu predstavu o uvažovanom produkte vo veľmi krátkom čase. Na vyrobenom modeli možno uskutočňovať pohľadové skúšky, testy zmontovateľnosti, prípadne i skúšky funkčných vlastností budúceho výrobku. Najväčšou prednosťou je rýchle overenie dizajnu. Model je aplikovateľný i pre marketing, pretože ho možno zapojiť do rozbiehania marketingovej kampane ešte pred výrobou prvých výrobkov. Ďalej v interakcii „potenciálny zákazník - model“ je možné v predstihu získavať názory na budúci výrobok a ešte pred začiatkom výroby zladať vlastnosti výrobku s potrebami zákazníkov.

Viditeľné potenciálne možnosti na urýchlenie výroby prototypov, a tým urýchlenie samotného vývoja výrobku poskytujú metódy RP, komercializované koncom osemdesiatych rokov, ktoré umožňujú rýchlu výrobu modelu, vzorky alebo prototypu na základe trojrozmerného modelu vytvoreného v systéme CAD.

Nevyhnutným predpokladom pre úplné využitie všetkých výhod metód RP je ich správna integrácia do celého priebehu vývoja výrobku. Nasadenie metód RP má dôležitý vplyv na filozofiu procesu vývoja výrobkov. Výroba prototypu nepredstavuje už žiadnu prekážku na ceste ku konečnému výrobku, stáva sa nepostrádateľným



pomocníkom. Pre vývoj bezchybného výrobku je prospešné, ak má vývojový pracovník k dispozícii viac funkčných vzoriek prototypov, ktoré sú potom v rade interaktívnych cyklov preverované a modifikované dovtedy, kým sa nedosiahne splnenie všetkých požiadaviek kladených na výrobok. Výhodou RP je nielen možnosť rýchlej výroby prototypu v ľubovoľnej fáze vývoja, ale hlavne možnosť výroby celého radu modifikácií a konštrukčného usporiadania výrobku.

Tento postup zároveň dáva príležitosť klientovi otestovať reakciu trhu na pripravovaný výrobok. Odpadá tým riziko marketingového neúspechu z dôvodov vzhl'adu, dodatočného odhalenia funkčných chýb a pod., až po zahájenie sériovej výroby, kedy sa investujú do formy stovky tisíc a zhotovujú sa veľké série výrobkov (Havrila, 2001).

RP je respektíve univerzálna metóda na výrobu modelov, ktorá je použiteľná v každom výrobnom odvetví, lebo je schopná vyrobiť prakticky akýkoľvek tvar. Zväčša ju využívajú podniky automobilového priemyslu pri tvorbe nového dizajnu, kde sa touto metódou dá vyrobiť prakticky hocijaký dielec auta. Okrem toho sa používa v elektronickom i elektrotechnickom odvetví, v spotrebnom priemysle („čierna“ i „biela“ spotrebná elektronika) a vo viacerom ďalších výrobných odvetviach. Možnosti a presnosť RP dokazuje tiež to, že sa využíva aj v zdravotníctve, v prvom rade na výrobu kľbových náhrad, ale tiež na získanie modelov pre nacvičovanie operácií a overovanie uvažovaných postupov na konkrétnom modeli ešte pred realizáciou požadovaného výkonu.

RP je skrátka široko použiteľná metóda tvorby modelov, ktorá je prakticky neobmedzene použiteľná pre ľubovoľné výrobné odvetvie a prináša výhody veľmi rýchleho a presného spracovania modelu s možnosťou mnohokusovej výroby (Havrila, 2001).

### **3.3.4 Nekomercializované technologické metódy systému RP**

Aj pri súčasnom rozsiahlom počte priemyselne využívaných technologických metód systému RP, sú vo výskume a vývoji pripravované a overované ďalšie nové metódy. Ide o nateraz nekomercializované technologické metódy, ktoré ponúkajú nové invenčné riešenia i určitú jedinečnosť. Medzi ne je možné zaradiť technologickú

metódu Laser Engineered Net Shaping, koncepciu riadenej automatickej výroby (DesCAF), Quadra Systém, Electrosetting materiál a vytváranie prototypových súčiastok priamym nanášaním kovových vrstiev (rezov).

Technologická metóda Laser Engineered Net Shaping (LENS) je metóda, ktorá bude komercionalizovaná v blízkej budúcnosti. Vysoko silná stránka tejto metódy je v tom, že dokáže vyrábať kovové prototypové súčiastky s dobrými metalurgickými vlastnosťami v krátkom výrobnom čase. Táto technologická metóda bola vyvíjaná v mnohých vládnych a univerzitných laboratóriách v USA a v Európe.

Koncepcia kontrolovanej automatickej výroby (DesCAF) bola vyvinutá Efremom Fudimom v roku 1986. Táto technologická metóda bola už pred niekoľkými rokmi len na krok od komercionalizácie a bola rozvíjaná spoločnosťou Light Sculpting Inc. Môže byť považovaná tak ako metóda SGC za obmenu Stereolitografie. Táto metóda používa fotopolymér, ktorý je ožiarený a vytvrdený naraz cez masku. Na rozdiel od metódy SGC, ktorá používa xerograficky generovanú masku v závislosti na procese, táto metóda používa na generáciu masky nezávislú štandardnú laserovú tlačiareň.

Izraelská spoločnosť Objet Geometries Ltd., začiatkom roku 2000 uviedla Quadra System a oznámila jej komercionalizáciu v blízkyh rokoch, čo je potencionálny prísľub nahradenia technologickej metódy Stereolitografie. Táto technológia je založená na fotopolyméroch, ale používa široký rozsah vstrekovacej hlavy na nanášanie základného a pomocného materiálu súbežne. Po osvetlení vyhotoveného rezu UV lampou namontovanou na vstrekovacej hlave, je každý rez úplne vytvrdený. Podporný materiál, tiež fotopolymér, je iba odstránený zo súčiastky, pretože je naprojektovaný tak, aby sa neprilepil na základný materiál.

Výskumníci amerického Navy Taylor Research Laboratory objavili, že keď je zavedené elektrické pole, tak na istom bežnom materiáli ako napr. epoxid, silikón, farby a pod., môže byť vykonaná zmena zo skupenstva kvapalného na skupenstvo pevné relatívne oveľa rýchlejšie v miestach kde pôsobilo dané elektrické pole. Ak by sa vyvinula vodivá elektróda, ktorá by sa dala používať v bežných tlačiarňach na tvorbu rezov daným postupom, tak by to bola veľmi jednoduchá a lacná nová technologická metóda systému RP.

Mnoho výskumných tímov pracuje na vývoji technologických metód vytvárania prototypových súčiastok priamym nanášaním kovových vrstiev. Sú známe minimálne štyri takéto technologické metódy a to: nanášanie kovových vrstiev striekaním (inkjet-based), nanášanie kovových vrstiev zvráňaním (weld deposition), nanášanie kovových vrstiev pomocou šablóny (masked deposition) a tavenie vrstiev kovového prášku laserom (laser fusing) (Vasilko, 2003).

## **3.4 Prípadová štúdia**

### **3.4.1 Výroba master modelov technológiou RP na cnc stroji**

#### **3.4.1.1 Výroba modelu adaptáciou CNC stroja pomocou tlačovej hlavy**

Virtuálny model tlačovej hlavy bol vymodelovaný v systéme CAD SolidWorks. Väčšina tepelne i mechanicky namáhaných súčastí bola vyrobená bežnými technológiami trieskového obrábania, preto bola pre ne vygenerovaná odpovedajúca výkresová dokumentácia. Súčiastky, u ktorých nedochádzalo k tepelnému alebo mechanickému namáhaniu boli vyrobené modernou technológiou RP (zariadenie Dimension FDM – Obr.17). Tlačová hlava bola zostavená a osadená podpornými zariadeniami (digitálne multimetre, termočlánky, elektroinštalácie atd.) a ďalej upnutá pomocou strmého kužeľa ISO 30 do vretena frézky FCC 16 CNC/PC. Pre zafixovanie rotačnej polohy sa použil doraz, ktorý bol opretý o skriňu CNC frézky.

Tlačová hlava je schopná nanášaniu vrstiev vosku v hrúbkach od 0,1 do 1 mm.

K ohrevu boli použité dva zdroje tepla:

- prvým zdrojom ohrevu bolo topné teleso z horkovzdušného ohrievača, ktoré predohrievalo valec s voskovým polotovarom a vnútorný priestor tlačovej hlavy v rozsahu teplôt 49-55°C,
- druhým zdrojom ohrevu bol drôtový rezistor navinutý na keramickom jadre (topné teleso) napájané pomocou regulovaného zdroja 24V/max. 2A. Rezistor predhrieval prírodné potrubie k tryske (medenou trúbkou) a vlastnú trysku na teplotu v rozsahu 60-63°C (zahrievanie hlavy) alebo 53-55°C (vytláčanie).

### **3.4.1.2 Materiál pre tvorbu modelu**

Tryskou tlačovej hlavy bol kladený zlievarenský vosk A7-FR/60 s 30% plniva podľa ISO 9002, jeho chemické zloženie je uvedené v Tab. 2. Pracovná teplota v priestore 70-73°C, zaisťuje oddeľovanie plniva od vosku. Polotovár voskového materiálu bol gravitačne odliati do jaderníka a požitý ako dávkovací polotovár do podávacieho valca. Rozmery voskového polotovaru: valček o priemere 16 mm a dĺžke 50 mm.

### **3.4.1.3 Použitie tlačovej hlavy, rezné podmienky, metodika merania, spôsob snímania teplôt**

Po spracovaní a odladení simulačného CNC riadiaceho programu v riadiacom systéme TSC-98-F bolo prevedené odskúšanie pohybu upnutej hlavy. Následne bola do podávacieho valca vložená náplň vosku (polotovár vo forme valčeka priemeru 16mm a dĺžky 50mm). Hlava (tryska a pracovný priestor) bola vyhriata na prevádzkovú teplotu a po spustení riadiaceho programu bol podľa potreby (optická kontrola) manuálne dodávaný vosk do trysky.

Z rezných podmienok bola použitá iba posuvová rýchlosť  $v_f = 200$  mm/min. Otáčky a rezná rýchlosť neboli použité, lebo pre kladenie materiálu nie je nutné tlačovú hlavu rotovať.

Pretože sa jedná o využitie CNC stroja, sú pre charakteristiky pohybu hlavy využité údaje z prístrojových snímačov. V priebehu činnosti tlačovej hlavy sú sledované teploty v zásobníku vosku, v okolí výstupnej trysky a teplota vnútorného priestoru tlačovej hlavy. Pri nábehu tlačovej hlavy bolo potrebné dosiahnuť v okolí trysky teplotu dosahujúcu bod tavenia vosku (z dôvodu odstránenia zatuhnutého materiálu z predchádzajúceho procesu). Počas vytlačovania materiálu (vosku) sa teploty vo všetkých merných oblastiach museli pohybovať tesno nad bodom tuhnutia.

### **3.4.1.4 Zhodnotenie použitia tlačovej hlavy ako RP technológie**

Adaptácia CNC frézky pomocou tlačovej hlavy ako nástroja upnutého do vretena umožňuje kladenie jednotlivých vlákien, ktoré sa navzájom spájajú a vzniká kompaktný objekt – model. V úvodnej fáze testovania hlavy bolo kladené vlákno

hrúbky 0,95 mm, čím vznikala výrazná schodovitá štruktúra modelu – tento typ trysky bude aj naďalej využívaný, ale iba pre tvorbu výplne medzi stenami.

#### **3.4.1.5 Výroba foriem**

Doteraz sa používajú formy z nástrojových ocelí vyrábané obrábaním trieskovým, elektroerozívným alebo kombináciou oboch spôsobov. Značnou nevýhodou je ich vysoká cena (samozrejme v závislosti na zložitosti formy). Z tohto dôvodu je výhodné vyrábať formy, najmä pre tvorbu prototypových súčiastok, nasledujúcimi technológiami:

1. vákuový liací systém – technológia Soft Tooling (niekedy Rapid Tooling).
2. spekanie práškových materiálov – technológia Hard Tooling.

##### **1. MK – vákuový liací systém pre Rapid Prototyping/Rapid Tooling**

Vákuové liatie je vhodné pre malé série prototypových súčiastok, väčšinou max. 20 kusov (podľa zložitosti materiálu modelu), ktoré sa svojimi vlastnosťami veľmi blížia materiálu sériových dielov. Liatie sa prevádza do delených silikónových foriem. Vlastná forma sa vyrobí zaliatím master modelu (silikónom vytvrdeným pri izbovej teplote). Po zatuhnutí silikónu a vytiahnutí modelu je vytvorená dutina formy, do nej sú vo vákuu odlievané z vhodného liateho materiálu sériové súčiastky (väčšinou dvojzložkové materiály). Vlastnosti odlievaných dielov je možné upraviť pomerom odlievaných zložiek presne podľa vlastností sériového dielu (tvrdosť, farba, pružnosť atd.). Odliatky možno ďalej mechanicky opracovávať, lakovať a následne použiť ako overovanie plne funkčných súčiastok.

##### **2. Technológia Hard Tooling**

Pre dosiahnutie väčších sérií (radovo stoviek kusov) je vhodné zhotoviť silikónovú formu zaformovaním prototypového modelu. Do vzniknutej dutiny sa naleje zmes epoxidu a kovového, hliníkového alebo ocelového prášku. Po prvotnom vytvrdení epoxidu sa odliatok vytiahne z formy. Potom v peci pri teplote asi 1200°C epoxidové spojivo vyhorí a kovový prášok sa spečie v pevný kovový výrobok. Inverzným postupom získame formu použiteľnú pre veľkosériovú výrobu.

Tab. 2 Používané technológie

Technológie RP	Skratka	Materiál modelu
Stereolitografia	SLA, SL	Fotopolymer
Solid Ground Cutting	SGC	Fotopolymer, nylon
Selective Laser Sintering	SLS	Polyamid, nylon, vosk, kovové prášky – niklový bronz
Laminated Object Manufacturing	LOM	Papier s jednostranným spojivom
Fused Deposition Modeling	FDM	ABS, vosk, polykarbonát
Multi Jet Modeling	MJM	Akrylátový fotopolymér

zdroj: Sedlák, Strojárska technológia, 2007

Tab. 3 Chemické zloženie zlievarenského vosku A7-FR/60 podľa ISO 9002

Chemické zloženie	Viskozita [Pa * s]	Bod tuhnutia [°C]	Kvapka bodu tavenia [°C]	Obsah plniva [%]	Merné skupenské teplo [KJ/Kg]
A7-FR/60	2,1 – 2,5	63 - 67	70 - 73	30	3,4

zdroj: Sedlák, Strojárska technológia, 2007



Obr. 17 Zariadenie Dimension FDM

zdroj: [www.red-arete.co.uk](http://www.red-arete.co.uk)

### 3.4.2 Kombinovaný kotol Bahama 100

Firma Baxi v Prestonu (Veľká Británia) je hlavným výrobcom systému vykurovaniu plynom a dodávateľom vysoko kvalitných elektronicky riadených kotlov ústredného kúrenia, kúrenísk a nástenných ohrievačov.

Rýchle prototypovanie prinieslo časové i finančné úspory pri zavedení kombinovaného kotla na lukratívny trh vykurovania domácností.

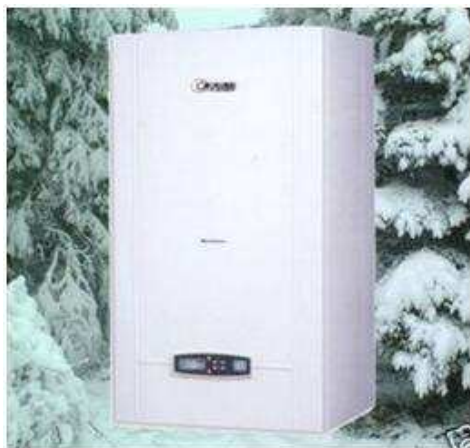
Zavedením rýchleho prototypovania výrazne ovplyvnilo stratégiu vývoja vo firme a spôsoby, akými chce v budúcnosti vykonávať vývoj nových výrobkov.

Na začiatku r. 1997 firma prijala strategické rozhodnutie uviesť na trh vcelku nový kombinovaný kotol Bahama 100, skonštruovaný a vyrábaný vo Veľkej Británii v závode Bamber Bridge. Baxi si stanovila náročný cieľ – navrhnúť a vyrobiť funkčný prototyp kotla za desať mesiacov, aby mohla byť sériová výroba spustená v marci 1998.

Bola to najkratšia doba od návrhu na trh, ktorou si kedy firma pre nový výrobok stanovila. Aby boli tieto náročné úlohy splnené, vedúci prototypovania vo firme Baxi, Jim Astin-Kilgallon, sa obrátil na AMSYS, prednú európsku firmu v odbore rýchleho prototypovania technikou selektívneho laserového spekania (SLS).

Množstvo vnútorných komponentov pre Bahama 100 a ovládacieho panelu boli pomerne zložité, preto museli prijať nevyhnutne výzvu s novou fázou vývoja produktov. Znamenalo to, že nemohli použiť konvenčné metódy tvorby modelu, pretože boli príliš drahé a časovo náročné. Osobitný význam bol fakt, že prototypy naznačili niektoré konštrukčné chyby už v rannej fáze celkového dizajnu výrobku. To umožnilo, aby zmeny boli vykonané ešte pred zahájením výroby, tým sa ušetrili náklady na výskum a vývoj v dlhodobom horizonte.

Bez použitia RP by bolo ťažké mať pre firmu Baxi ukončený projekt Bahama 100 na čas. Daňové výhody tiež povzbudili návrhárske oddelenie firmy Baxi, aby zväžili väčšie využívanie RP aj v budúcnosti vo vývoji nových výrobkov.



Obr. 18 Kotol Bahama 100

zdroj: [www.baxi.co.uk](http://www.baxi.co.uk)

## 4 Diskusia

Keď sa rozhodneme pre výrobu prototypov niektorou z metód RP, môžeme si vybrať z dvoch kritérií akými sa chceme uberať. Prvou je že nakúpime výrobné zariadenie, software, materiál a budeme vyrábať modely vo vlastnej produkcii a tou druhou je že si objednáme zákazku u špecializovanej firmy na RP. Rozhodnutie by sme mali vykonať podľa toho, aký počet daných súčiastok chceme ročne vyrobiť. Podľa určitých analýz vyplýva, že pri výrobe 30 – 50 modelov ročne, sa do nákupu RP zariadení oplatí investovať, avšak treba brať do úvahy aj zložitosť a veľkosť modelov.

Výroba súčiastok metódou RP je vhodná než klasické obrábanie z dôvodu veľkého úbytku materiálu a času zhotovenia. Okrem týchto hlavných dôvodov musíme zohľadniť aj prečo vôbec chceme súčiastku zhotoviť. Či sa jedná o obyčajnú kontrolu súčiastok do sériovej linky, kde je výhodné do toho investovať, alebo výrobu náročných súčiastok, ktoré by bolo zložité vyrobiť klasickým obrábaním.

Z ekonomického hľadiska sa výroba prototypov pomocou metód RP oproti konvenčným technológiám vyplatí, pretože je lacnejšia. Pri rozhodnutí výroby väčšieho počtu kusov je efektívnejšie využitie niektoré z metód Rapid Tooling v kombinácii s odlievaním či vstrekováním do foriem. Budúcnosť RP technológií sa javí veľmi pozitívne avšak je jasné, že sa neobíde bez ďalších pokrokov v tejto oblasti. Súčasnosť nám ponúka vývoj veľkého počtu metód založených na rôznych princípoch so spoločnými cieľmi. Je to najmä väčšia variabilita v oblasti použiteľných materiálov, využitie väčšieho stupňa automatizácie, zvyšovanie presnosti rozmerov vyrobenej súčiastky, zrýchlenie vlastného výrobného procesu a zvýšenie kvality konečného produktu s čo možno najhladšou povrchovou štruktúrou. Okrem toho potom zníženie rizika vzniku chýb a cien výrobných zariadení. RP je skrátka moderný smer, ktorý sa stále vyvíja a umožňuje nám omnoho rýchlejšie prísť na trh ako pri tradičných postupoch vývoja a konštruovania, čo môže byť pre podnik významnou konkurenčnou výhodou. V priebehu času je dosť zjavné, že sa budú rozvíjať nové technológie, ktoré budú využívať väčší rozsah použitých materiálov za nižšiu cenu.



V súčasnosti existuje okolo 20 rôznych technológií. Podľa použitého predvoleného materiálu ich možno rozdeliť na tri skupiny: zariadenie spracovávajúce kvapalnú, pevnú alebo práškovú materiál. Tento predvolený materiál zásadne ovplyvňuje mechanické vlastnosti hotovej súčiastky. Všetky RP technológie využívajú špecifické vlastnosti predvoleného materiálu pre výrobu súčiastok. Pre príklad môžeme uviesť vytvrdzovanie kvapalnej živice, spekanie kovových súčiastok a tavenie termoplastov. Dané technológie sa od seba líšia hlavne v štruktúre povrchu, rýchlosti výroby súčiastok, v presnosti a použitým materiálom.

Najstaršou technológiou je Stereolitografia, ktorá spracováva kvapalnú materiál. Zhotovené súčiastky sa používajú hlavne na predvádzanie ako funkčné modely a ako master modely pri metódach presného liatia.

Výhody: vysoko rozlíšenie súčiastok, dostatočná presnosť, zhotovenie objemnejších modelov, rozličný výber materiálu, súvislý priebeh procesu, nie je potreba obsluhy počas procesu, vynikajúca akosť povrchu

Nevýhody: potrebné dokončovacie práce na finálny model a následné sušenie.

V strojárstve patrí kov poprípadne plast medzi najpoužívanejšie materiály. Na zhotovenie súčiastky z kovu a plastu sa preto používajú obzvlášť zariadenia pre spracovanie pevného a práškového materiálu. Tieto technológie sú založené na spojovaní prášku pomocou spojiva alebo natavovania pevného materiálu a spekania kovového prášku. Zariadenia sú vhodné na výrobu nástrojov, foriem a pre malosériovú výrobu. Avšak tu môže prísť na povrchu dielu k tzv. schodovitosti v závislosti od použitej technológie a nastavenej hrúbky vrstvy. Z toho dôvodu musíme vo funkčných miestach dielov vykonať dodatočné opracovanie niektorou z dokončovacích metód. Tvar vyrobenej súčiastky je v podstate limitovaný len veľkosťou pracovného priestoru a minimálnej hrúbky steny, ktorá je z hľadiska funkčnosti doporučená na 1 mm.

Medzi technológie, ktoré spracovávajú pevnú materiál môžeme zaradiť:

Fused Deposition Modeling (FDM):

Výhody: zhotovenie funkčných častí, minimálny odpad, ľahké odstránenie podpor

Nevýhody: obmedzená presnosť, pomalý proces, možnosť zmrštenia modelu

Laminated Manufacturing (LOM):

Výhody: výroba modelu väčších rozmerov

Nevýhoda: veľký odpad (malé percento využitia pásu)

Metóda založená na spracovávaní práškového materiálu je Laser Sintering (SLS). Zásluhou materiálov, ktoré u nej používame, môžeme vytvoriť model vhodný pre záťažové a napäťové testovanie. Takýto kvalitný model môžeme získať už počas niekoľko hodín maximálne dní .

Výhody: dobrá stabilita výrobku, veľký rozsah použitých materiálov, požiadavky na konečné opracovanie sú malé

Nevýhody: vysoké napájanie, veľké rozmery zariadenia zlá akosť povrchu.

Ako bolo uvedené už na začiatku je dôležité, pre aký účel sa daná súčiastka zhotovuje vybranými metódami. Pokiaľ nám výrobok slúži iba na prezentáciu výrobku alebo k nastaveniu nástrojov pri sériovej výrobe a ku skúšaniam výrobku, postačí nám zvoliť lacnejšiu metódu RP, ktorá používa značne lacnejší materiál.

Bohužiaľ na našej fakulte nie je možnosť stretnúť sa s takým zariadením, ktoré vytvára 3D modely niektorou z metód RP. Avšak už dlhšiu dobu je naša univerzita v rokovaní s jednou komerčnou firmou, ktorá sa zaoberá rýchlym prototypovaním, o vytvorení spolupráci na zostrojení zariadenia ktoré by vyrábalo 3D modely. Zariadenie by slúžilo ako učebná pomôcka pre študentov, ktorý by si vedeli lepšie predstaviť a hlavne pochopiť princípy danej metódy RP. Je otázkou budúcnosti kedy sa tento projekt uskutoční.

## 5 Záver

Rýchla výroba prototypov sa dnes už stala neoddeliteľnou súčasťou vývojových etáp výrobného procesu. RP zrýchľuje komunikáciu medzi výrobcom a zákazníkom (diskusia nad skutočným prototypom). Ďalšia výhoda spočíva v overení konštrukcie a schopnosti konkrétneho výrobku vyrobiť. Napokon to, že je možné si výrobok chytiť zo všetkých strán a prehliadnúť ho, skontrolovať jeho rozmery aj funkčnosť prináša vyššiu kvalitu do vývojového cyklu. Viacero modelov možno použiť aj pre funkčné skúšky. V neposlednom rade je to schopnosť využiť RP modely k rýchlej výrobe foriem a nástrojov.

Technológia RP je v súčasnosti implementovaná do viacerých oblastí priemyslu, avšak obzvlášť úspešne je využívaná najmä v oblasti vývoja nových výrobkov. Veľké množstvo firiem dokázalo s pomocou RP prísť na trh s dokonalejšími produktmi a oveľa rýchlejšie než pri tradičných postupoch konštruovania a vývoja s klasickou výrobou prototypu. Naznačený trend rozvoja systému RP predpokladá, že technologické metódy RP sa budú stále širšie využívať. Popri výrobe prototypov bude možné v budúcnosti používať tieto metódy na rýchlu a cenovo výhodnú výrobu koncepčných modelov (Rapid Modelling), na výrobu nástrojov a prípravkov (Rapid Tooling) a kusovú i malosériovú výrobu a výrobu náhradných dielcov (Rapid Manufacturing).

Nevyhnutné je zvládnuť dobu výroby modelov a prototypov v najkratšom možnom čase, čím sa dosiahne skrátenie času potrebného tak na samotný vývoj produktu, ako aj jeho uvedenie na trh. Takéto skrátenie inovačného cyklu následne prináša výrobcovi významnú konkurenčnú výhodu a predpoklad úspešného uplatnenia sa na trhu a tým aj optimálny ekonomický prínos.

## 6 Zoznam použitej literatúry

1. HAVRILA, M. 2000. *Pokroky v použití metód Rapid Prototyping*: In: Zborník referátov z V. medzinárodnej konferencie Nové smery vo výrobných technológiách, FVT TU Prešov, 2000.
2. HAVRILA, M. 2000. *Progresívne technológie vo výrobe náradia*: In: Zborník referátov z medzinárodnej konferencie Náradie 2000, Trenčín 2000.
3. HAVRILA, M. 2001. *Nové technológie - Rapid Prototyping* [online] [cit. 2009-11-01] Dostupné na internete: <[http://www.atpjournal.sk/pdf/2001\\_05\\_88-89.pdf](http://www.atpjournal.sk/pdf/2001_05_88-89.pdf)>.
4. JERZ, J. 2007. *Laserová stereolitografia* [online] [cit. 2011-02-14] Dostupné na internete: <<http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=769>>.
5. KOVÁČ, Milan. 2002. *Inovácie a technická tvorivosť*. 1. vyd. Prešov : Vydavateľstvo Michala Vaška, 2002 ; Obr., tab., grafy, lit. - (Techn. univ. v Košiciach : Strojnícka fakulta), 2002. 153 s. ISBN 80-7165-369-1.
6. KOVÁČ, Milan a kol. 2003. *Znalostná báza modernej technológie tvorby fyzických vzoriek a modelov výrobkov – Rapid Prototyping*, Košice 2003.
7. KURIC, Ivan - KOŠTURIK, Ján - JANÁČ, Alexander - PETERKA, Jozef - MARCINČIN, Jozef. 2002. *Počítačom podporované systémy v strojárstve*. Žilina: Žilinská univerzita / EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2002. 351 s. ISBN 80-7100-948-2.
8. Guangchun, W. et al.: A rapid design and manufacturing system for product development applications. In: *Rapid Prototyping Journal*, 3/2004, s.200-206, ISSN 1355-2546.
9. MARCINČIN, Jozef. 1999. Problematika prepojenia CAD/CAM/CAE systému a systému rýchleho prototypovania. *Strojárstvo*, č. 6, 1999.
10. MEDVECKÝ, Štefan. 2007. *Konštruovanie 1*. Žilina: Žilinská univerzita / EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2007. 626 s. ISBN 978-80-8070-640-1.
11. Technická dokumentácia firiem 3D Systems, Rapid Product Developmnet, Protorapid, Inofo, Materialise, Modelltechnik a Rapid Prototyping Corporation.
12. *Rapid prototyping – metódy rýchlej výroby prototypov* [online] [cit. 2009-11-01] Dostupné na internete: <[http://www.entro.sk/grafik\\_rappro.htm](http://www.entro.sk/grafik_rappro.htm)>.

13. *Rapid prototyping – to je 3D SYSTEMS* [online] [cit. 2010-01-15] Dostupné na internete: <<http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/1559-rapid-prototyping-to-je3d-systems.html/>>.
14. SEDLÁK, Josef – PÍŠA, Zdeněk. 2007. Výroba master modelu technologií rapid prototyping na cnc stroji pomocí tiskové hlavy. *Strojářenská technologie*, roč. 12, 2007, č. 1, s. 15-19.
15. VASILKO, Karol - MARCINČIN, Jozef - HAVRILA, Michal. 2003. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Edícia vedeckej a odbornej literatúry – Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove, 2003. 423 s. ISBN 80- 7099-995-0.
16. *Využitie technológií Rapid Prototyping* [online] [cit. 2010-02-14] Dostupné na internete: <<http://www.green-machines.sk/pdf-zelene-stroje/108-vyuzitie-technologie-rapid-prototyping.html/>>.