

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



KATEDRA VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ



Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping

učební text



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

LIBEREC 2012



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Vznik tohoto materiálu byl podpořen v rámci projektu OP VK (CZ 1.07/2.2.00/07.0291) „In-TECH 2“
spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.*

Realizace projektu : 2009 – 2012.

Partneři projektu: Technická univerzita v Liberci - Škoda Auto a.s. - Denso MCZ s.r.o.

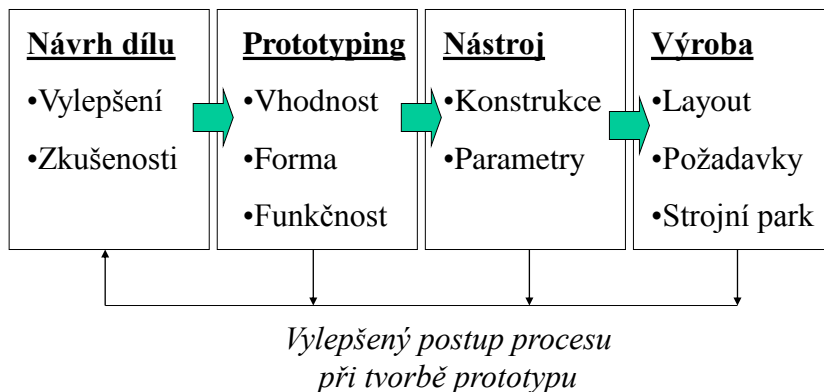
Manažer projektu Doc. Dr. Ing. Ivan Mašín.



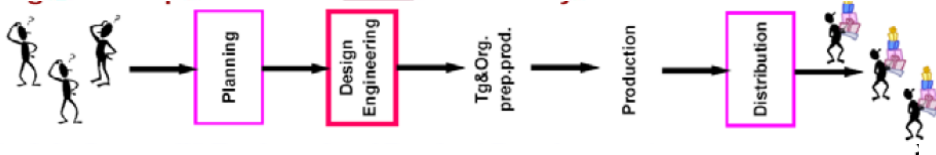
RAPID PROTOTYPING

1. Definice, specifikace
2. Metody, vlastnosti
3. Aplikace, zkušenosti
4. Výzkum a vývoj

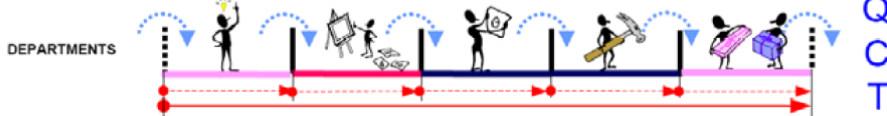
Tradiční výrobní proces nového dílu



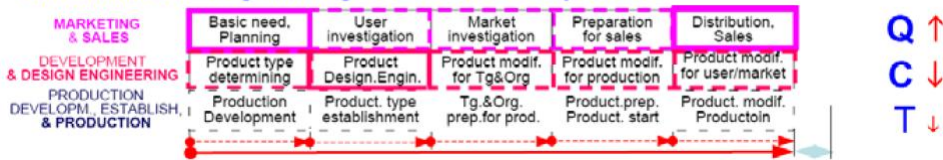
Originations phases of the Product Life Cycle:



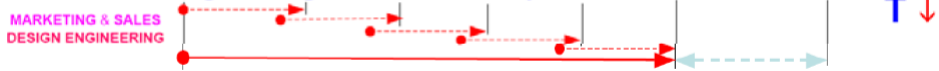
Serial „Overwall“ Engineering / Product Development: Seriové



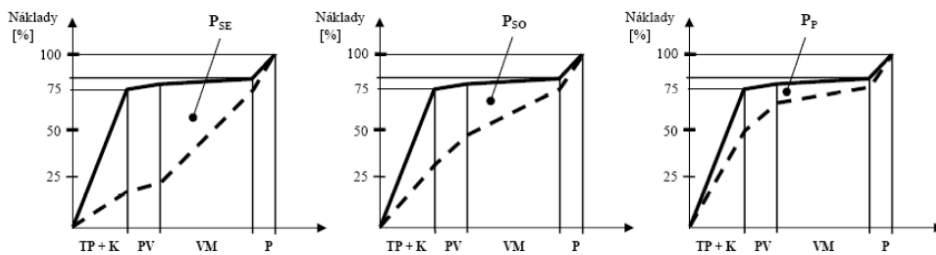
Simultaneous Engineering / Product Development: Souběžně



Concurrent Engineering / Product Development: Paralelní



Q – quality; C – Cost; T – Time

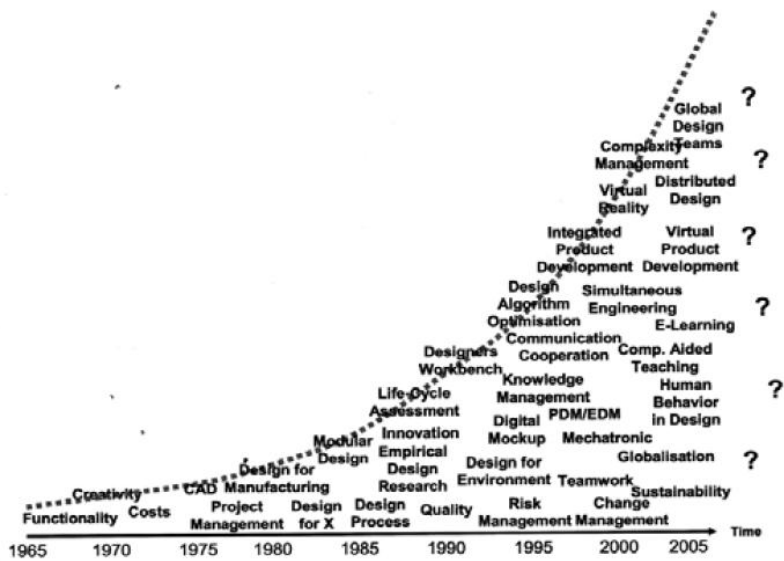


- ovlivnění ceny a technické úrovně výrobku
- - - vyvolané náklady
- TP + K technický projekt a konstrukce
- PV příprava výroby
- VM výroba a montáž
- P prodej

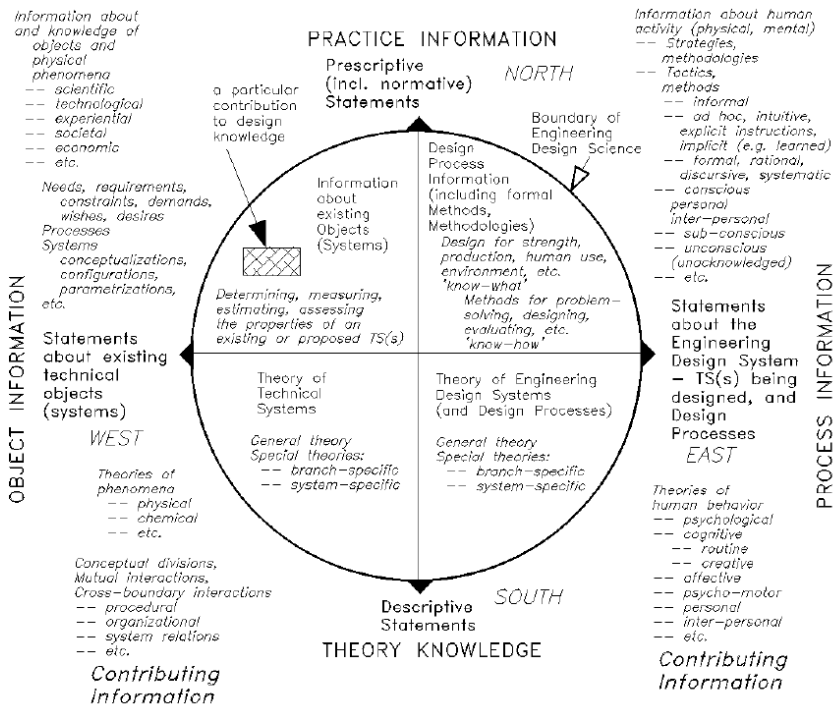
P_{SE} - plocha promarněných příležitostí

P_{SO} – menší u souběžné metody

P_P - nejmenší u paralelní metody



Evoluce ve vědeckém konstruování



Integrovaný výrobní proces

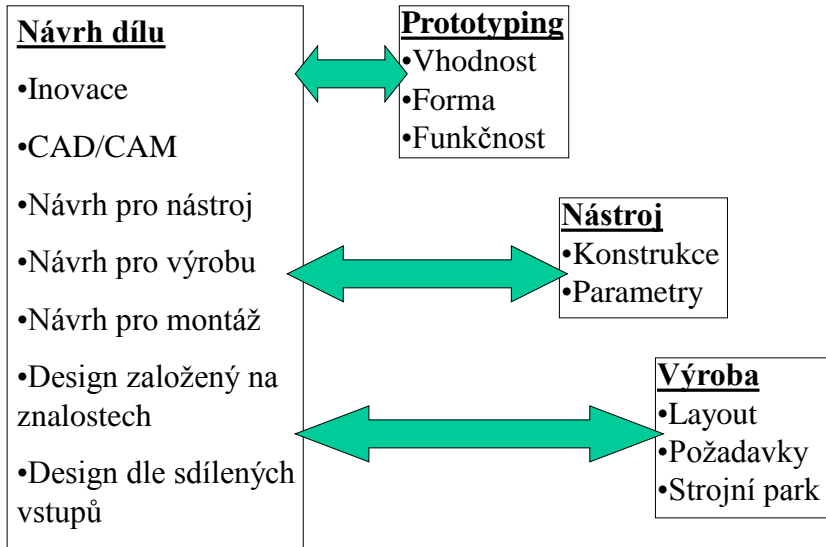
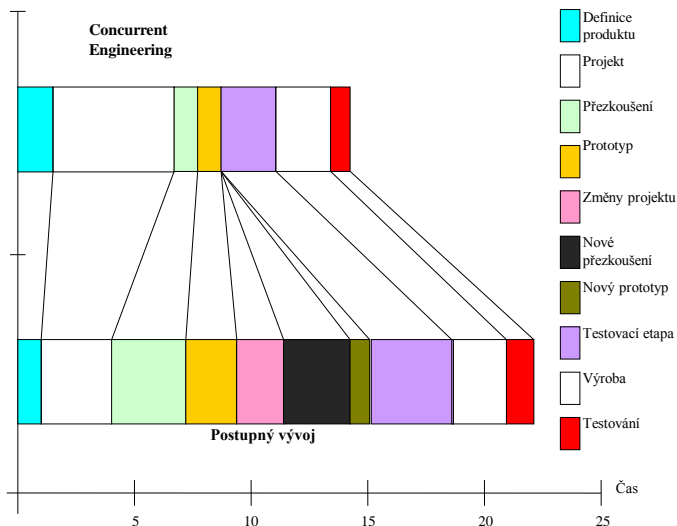
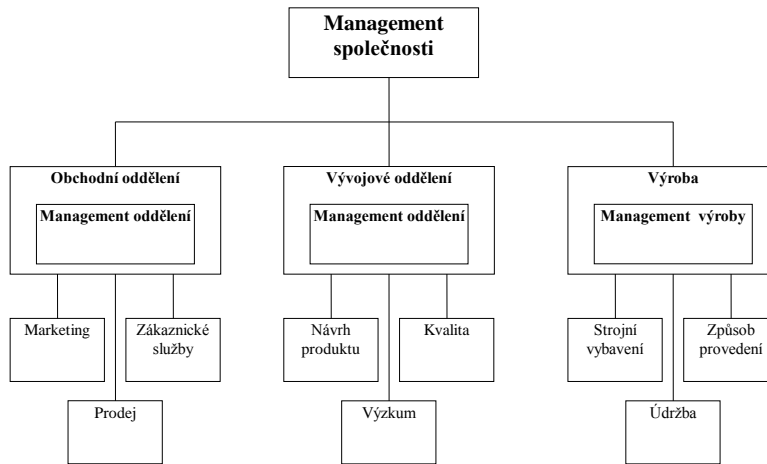


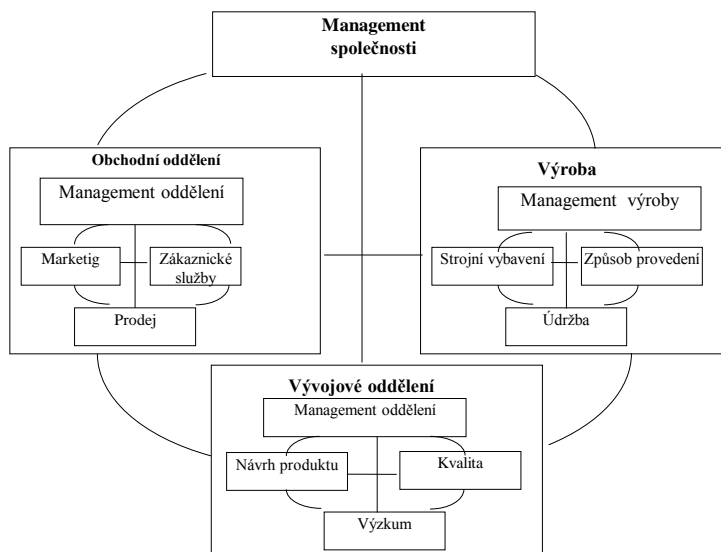
DIAGRAM ČASOVÉHO PRŮBĚHU VÝVOJE PRODUKTU



tradiční organizační schéma a informační cesty

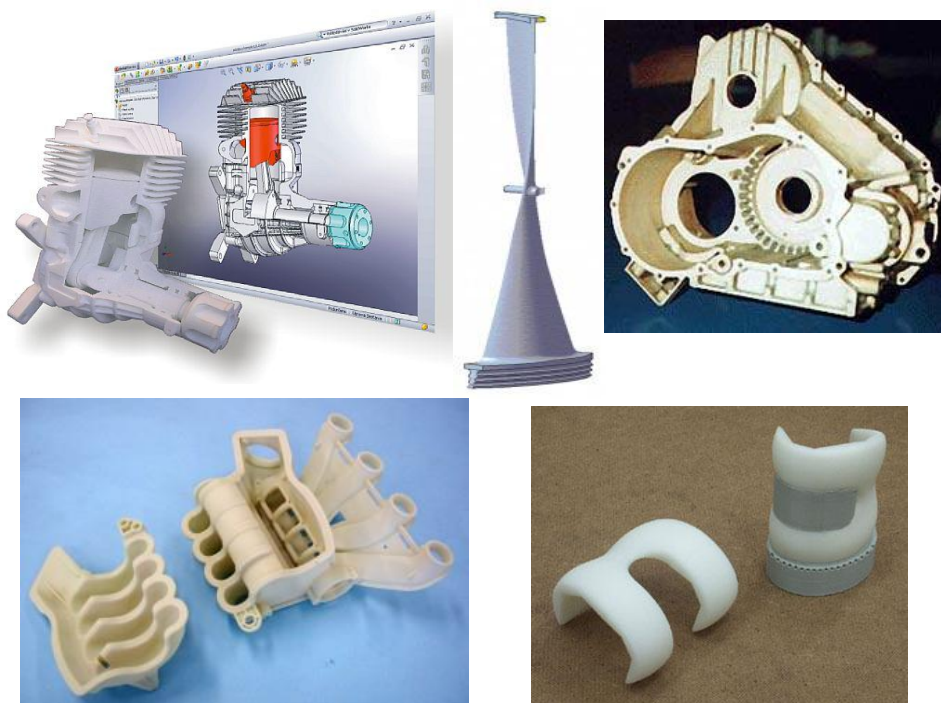


organizační schéma a informační cesty při využití Concurrent engineering



Funkce a význam prototypování

- **Koncept** – Sdílení všech nápadů
- **Vhodnost** – Testování rozměrů na návrhu
- **Tvar** – Zhodnocení estetičnosti a ergonomie dílů
- **Funkčnost** – Testování v pracovním prostředí
- **Nabídka** – Ocenění produktu z hlediska nabídky
- **Marketing** – Komunikace o designu se zákazníkem



DEFINICE, SPECIFIKACE

RAPID PROTOTYPING = Rychlý vývoj prototypu

je postup vývoje od návrhu ideje po vytvoření fyzického modelu.
Dosud miněny metody nanášení materiálu

Související aktivity: souběžné inženýrství, zpětné navrhování, rychlá tvorba nástrojů, rychlá výroba

Standartní postup:

Návrh - CAD data (idea, digitalizovaný fyzický model) , *Pro_engineer, CATIA*

Kontrola - úplnost povrchu, orientace, převod STL formát, *Magic*

Vrstvení - tvorba řezů, podpůrné konstrukce, orientace, *Inside, Catalyst*

Stavba - nanášením vrstev tvorba fyzického modelu, *FDM (PRODIGY), SLS, LOM*

Dokončení - dotvrzení, úprava povrchu

Pokračující činnosti:

Vizuální hodnocení, testy funkčnosti, testy montáže

Silikonová forma - modely : vosk, pryskyřice

Keramická skořepina - odlitky ocel, litina, hliník

Typy prototypů

•Konstrukční prototypy

Kontrola geometrie a montáže, (*materiály nejsou tak podstatné*)

•Prototypy designu

Ve skutečné velikosti či v měřítku zlepšují komunikaci mezi partnery – výhodné pro kontrolu návrhu / estetiky atd., přesnost není podstatná

•Funkční prototypy

Dovolují testování a analýzy typu obtékání, modely do větrných tunelů atd. (*Podobné a nebo shodné materiály*)

•Technické prototypy

Mají všechny funkční rysy, výrobní proces může být lehce odlišný

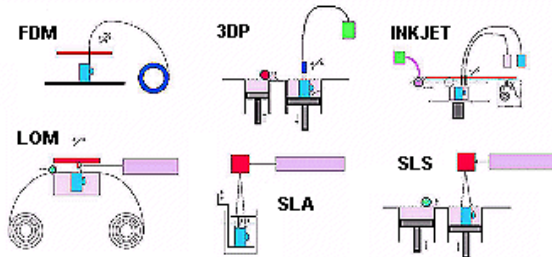
Definice Rapid Prototyping

▪ Jsou to všechny technologie, které automatizují proces pro výrobu 3-rozměrných, celistvých objektů z původních materiálů

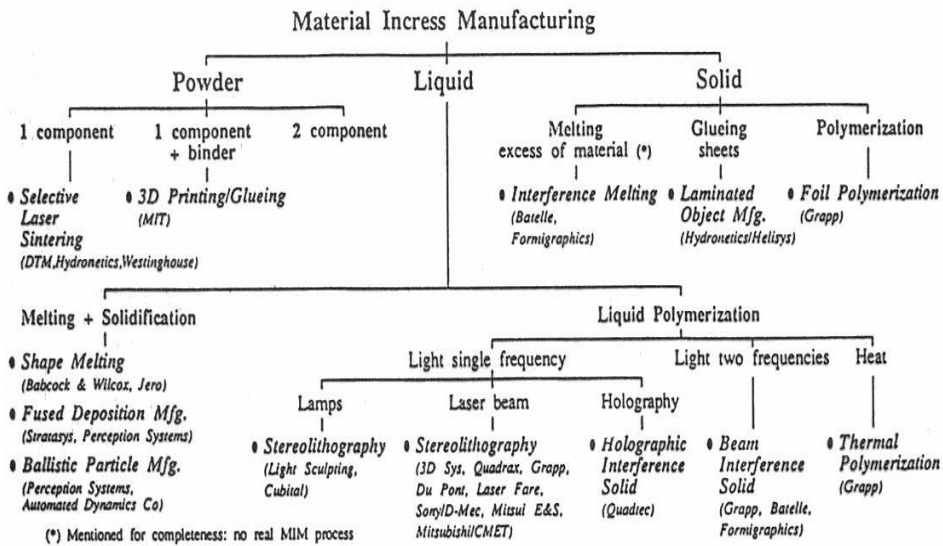
Skupina technologií které umožňují výrobu modelů a prototypů komplikovaných dílů přímo z 3D dat CADů. Objekty mohou být vyrobeny z rozdílných materiálů závislých na vybavení.

(bez použití nástrojů nebo přípravků)

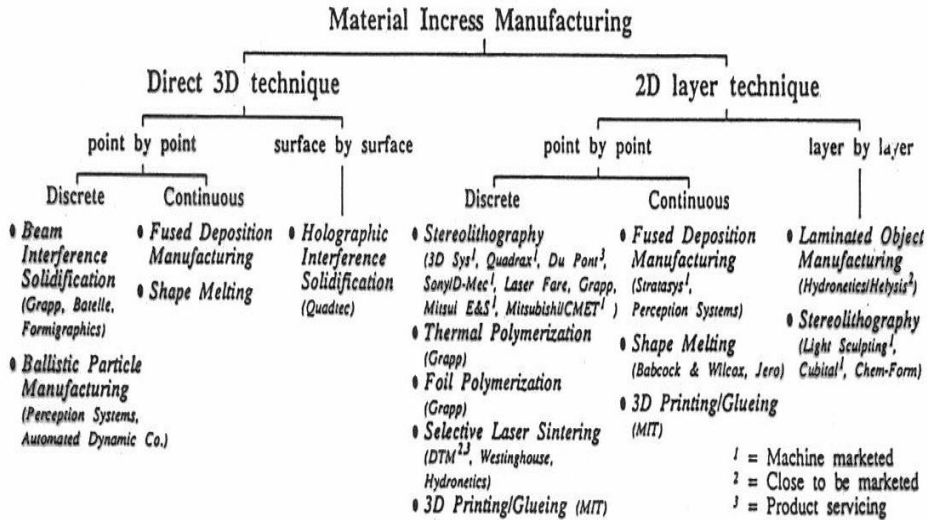
Přehled metod:



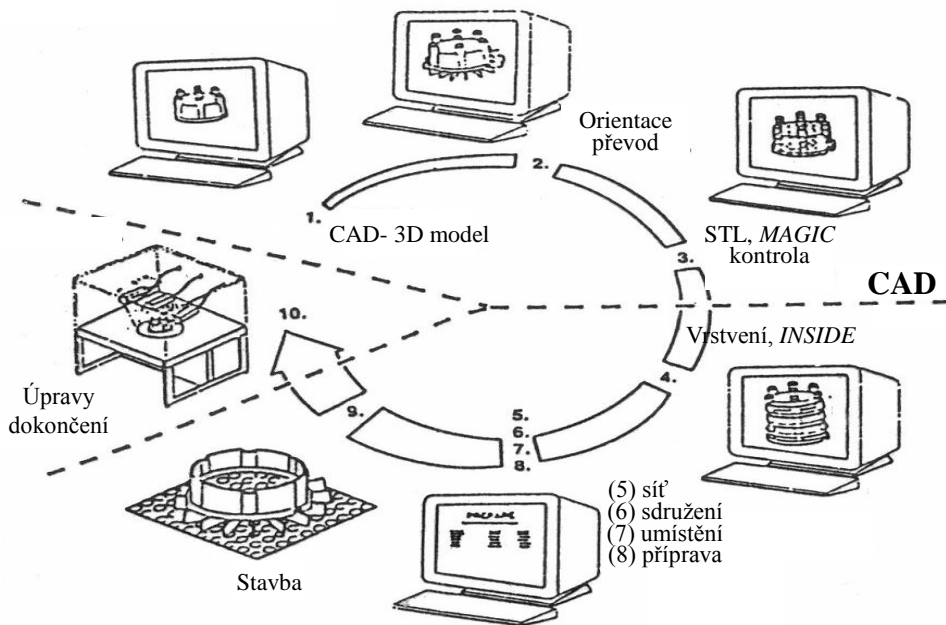
CLASSIFICATION 1: MATERIAL CREATION TECHNIQUE

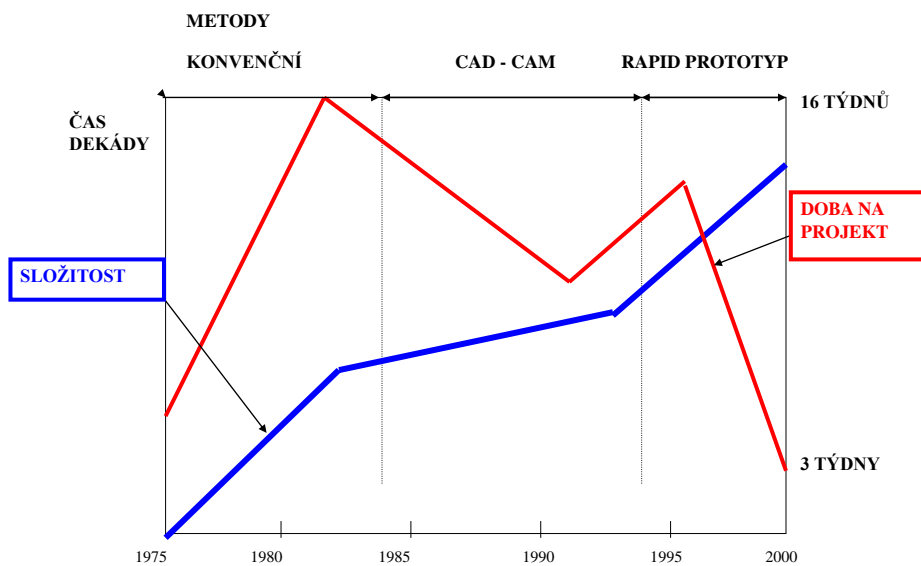
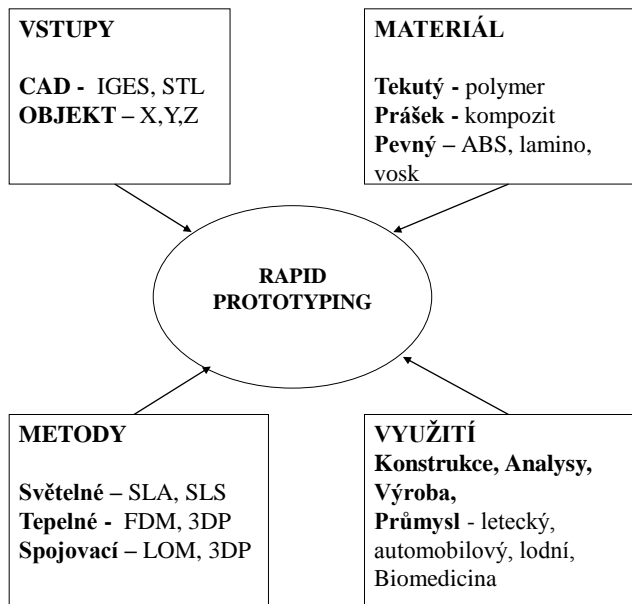


CLASSIFICATION 2: SHAPE BUILDING TECHNIQUE



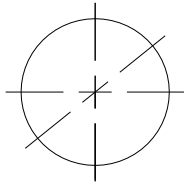
Postup od CAD po prototyp



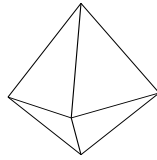


Vývoj komplexnosti versus potřebného času k dokončení

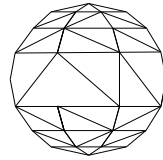
Tvorba elementů povrchu



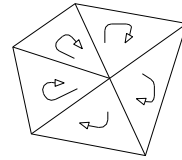
KOULE



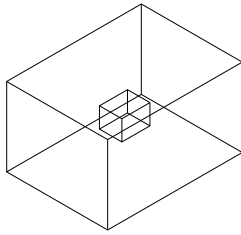
HRUBÉ



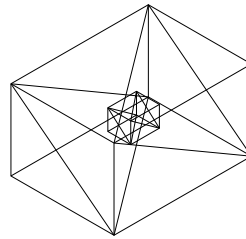
JEMNÉ



ORIENTACE



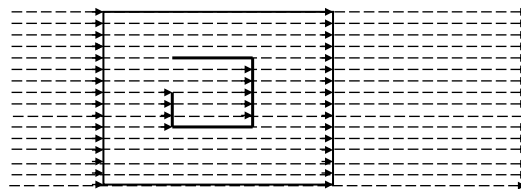
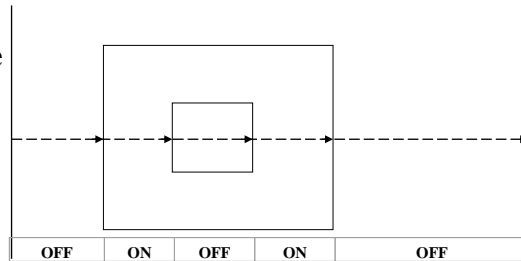
Hranol s dutinou



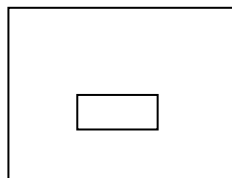
S elementy

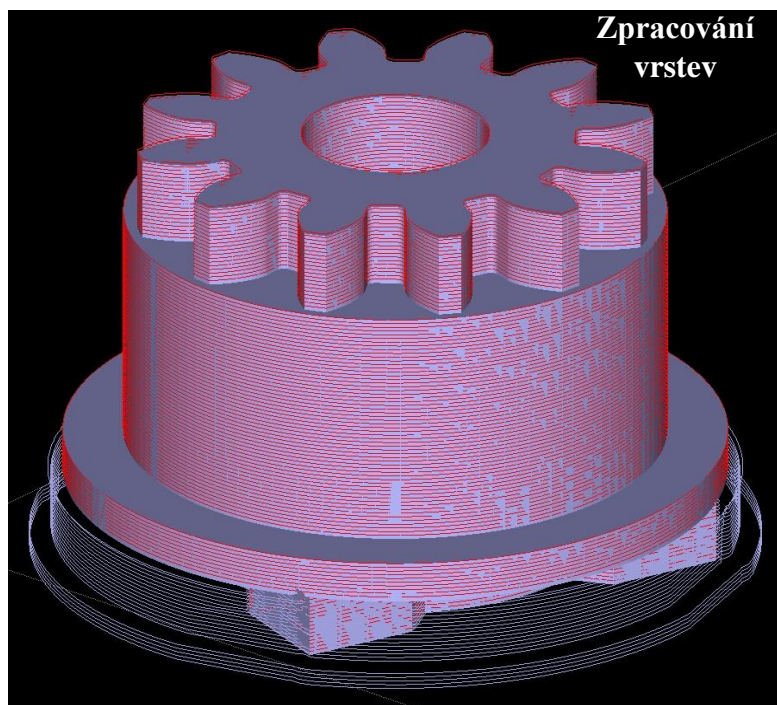
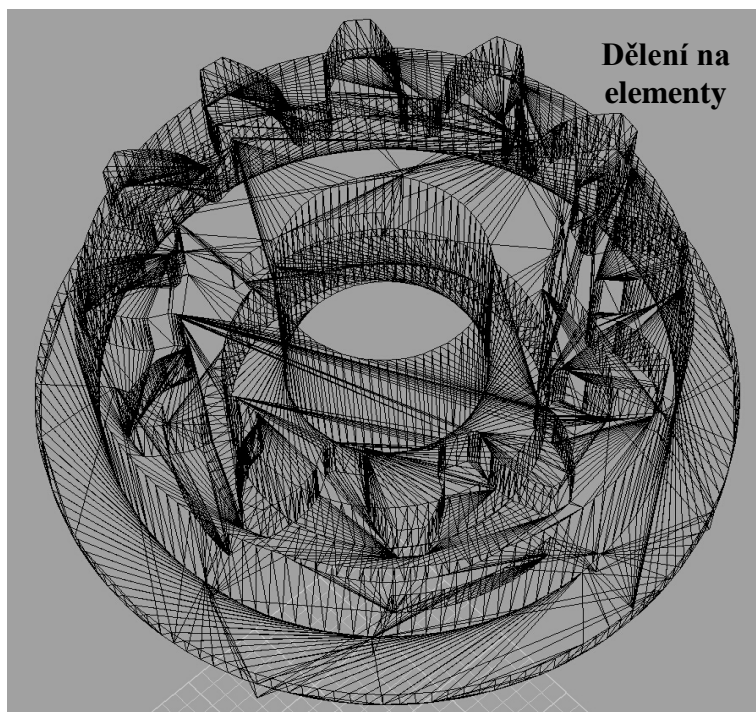
ROZLIŠENÍ orientace

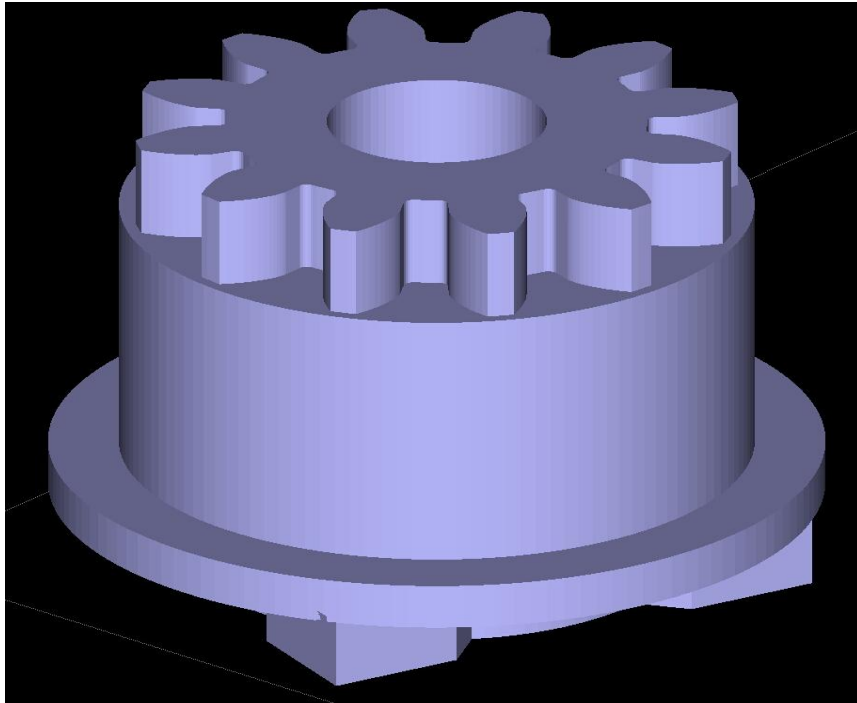
**Příklad vlivu
vynechání elementu
při stavbě**



Chybný výrobek







METODY, VLASTNOSTI TYPY RAPID PROTOTYPING

SLA - StereoLithography Aparatus, *tekutý akrylát bod po bodu, laser*

SGC - Solid Ground Curing, *tekutý akrylát plošně, UV lampa*

SLS - Selective Laser Sintering, *kompozit 2 prášků spékáný*

FDM - Fuse Deposition Modelling, *plast ABS nanášený vytlačáním*

LOM - Laminated Object Modelling, *laminace papíru a laser*

3DP - Three Dimensional Print - *Tisk po vrstvách, slepováním prášku*

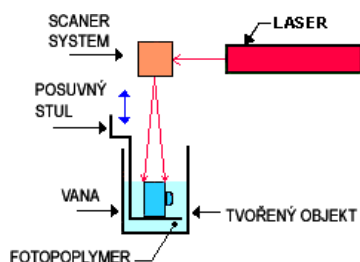
Fotopolymerizace

5 fází polymerizace:

- Fotoiniciator je smíchán s monomerem
 - Fotonické buzení a volné radiální generování
 - Řetězové zahájení
 - Řetězové šíření
 - Řetězové ukončení - je zapotřebí rychlého zakončení
-
- Akryláty se váží na dvojitě vazby
 - Epoxidy se váží na uzavřenou reakci přes katodickou fotopolymeraci jejíž výsledky jsou lepší v mnohem stálejším řetězci s minimálním smrštěním

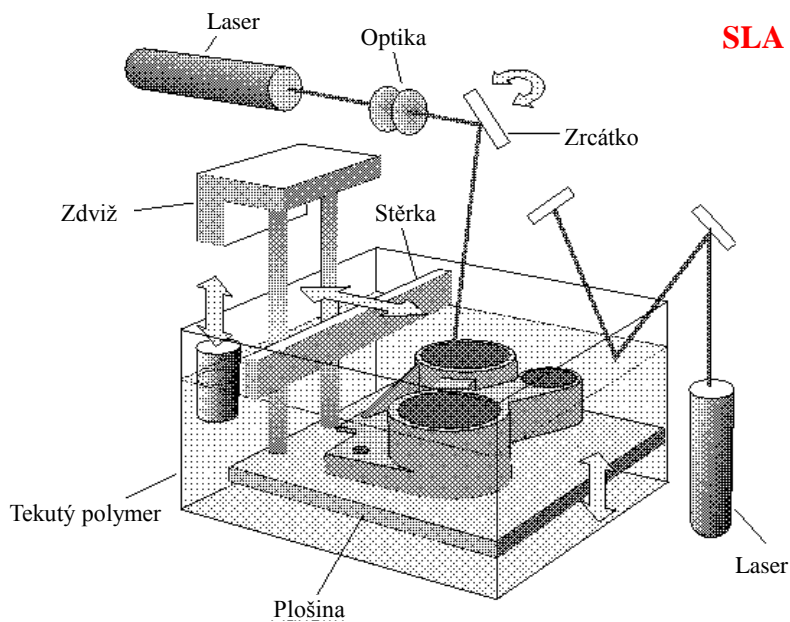
Řízení procesu ozařování

- Ozařování přesným laserem přímo ovlivňuje kvalitu modelu
- Nedostatečné ozáření způsobuje de-laminaci
- Přílišné ozáření vede k nadměrnému zkroucení
- Ozařování ovlivňuje šířku polymerizované vrstvy
- Ozařování musí být dostačující aby proniklo do předchozí vrstvy



Stereolitografie

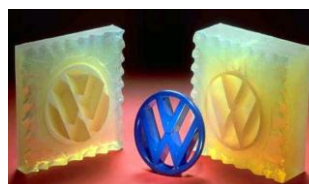
SLA



Stereolitografie SLA

Výhody technologie SLA

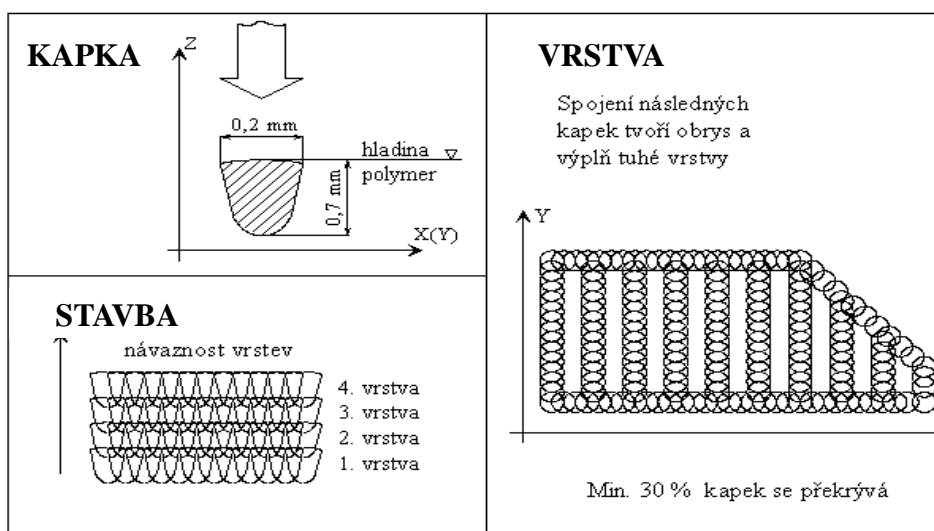
- Masivní materiál
- Dobrá povrchová drsnost
- Velký stavební objem
- Vysoká přesnost ($\pm 0.05\text{mm}$)
- Nejlepší RP proces pro nepřímou výrobu nástrojů
- Dobré hodnocení procesu (hardware, software & materiály)



Nevýhody technologie SLA

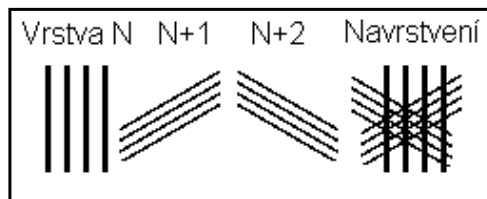
- Je nákladné mít velkou vanu s pryskyřicí
- Uzavřené objemy
- Křehké díly
- Viditelné krokování vrstev
- Horší povrch/jakost bočních ploch
- Limitované materiály
- Tekutá SL pryskyřice je potenciální hazard
- Je zapotřebí další vytvrzování po vytvoření dílu (*Post-processing*)

Princip tvorby vrstev bod po bodu



Tvorba vrstev pomocí šrafů

- Laser je skenován v jednom směru na vrstvu
- Následující vrstvy se skenují po 60° přírůstcích vzhledem k první vrstvě
- Vrstva má sklon ke smrštění v jednom směru



Důležité vlastnosti materiálů pro SLA

- Viskozita
- Rychlost výroby
- Pevnost polotovaru
- Odolnost vůči vlhkosti
- Přesnost
- Povrchové vlastnosti
- Dvousložkovost
- Průzračnost nebo neprůsvitnost
- Změna barvy
- Napětí v tahu
- Modul pružnosti
- Napětí v ohybu
- Rázové napětí
- Poměrné prodloužení
- Teplota při sklovitosti
- Odolnost vůči teplotě
- Koefficient tepelné roztažnosti
- Obrobitelnost

Vlivy na rozměrovou přesnost

Laser je skenován přesně na povrch pryskyřice, deformace dílu může také nastat:

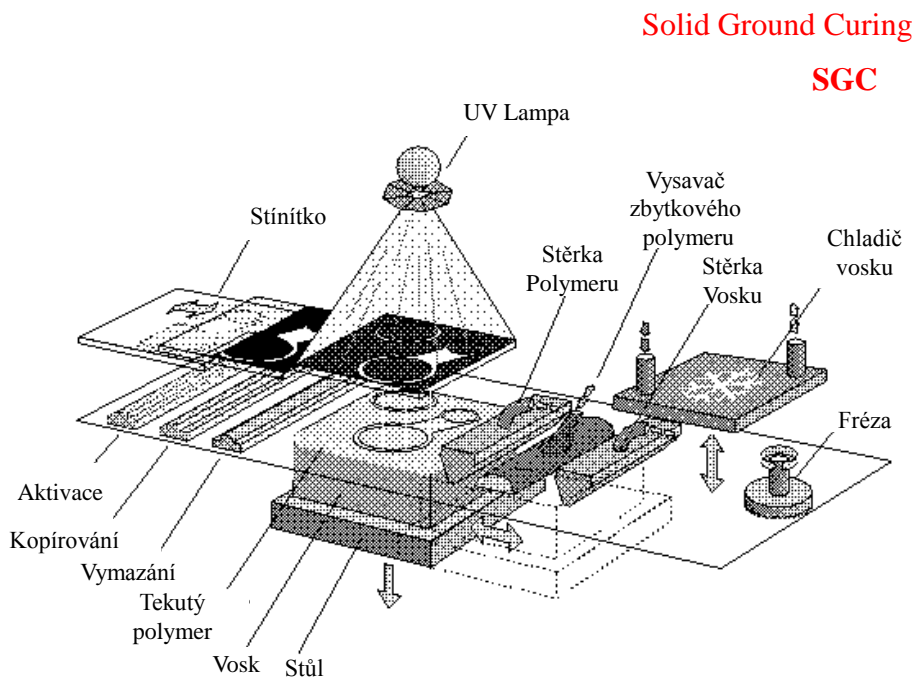
- Zkroucením
- Objemovým smrštěním
- Vnitřním pnutím
- Nabobtnáním
- Změnou vlhkosti a teploty

Vlhkost/Teplota

- Většina pryskyřic je navlhavá
- Pryskyřice v kontaktu s vodou a vysokou vlhkostí absorbuje vlhko lineárně
- Všechny SLA stroje jsou udržovány v klimatizovaných místnostech
- Nadměrná absorpce vlhkosti přírodní pryskyřicí zhoršuje rychlost fotopolymerizace
- Sirové (nedotvrzené) díly ve vlhkém prostředí měknou
- Pro přepravu mají být používána sušiva (*silikagel*)

Zkroucení vlivem nedotvrzení

- Objevuje se pokud nejsou díly dovytvrzené poté co je díl vytvořen
- Typické, pokud jsou díly částečně dokončeny během víkendů
- Vzniká během tvorby modelu vlivem vnitřního prnutí
- Testování při měření pokřivení na pruhu 200*6.4*6.4 mm (vysoké poměrové měřítko)
- Deformace je měřená po 24 hodinách
- Největší pokřivení akrylátů se objeví v prvních dvou hodinách (přibližně 1.2mm)



SGC: Solider



Stroj	Solider SGC 4600	Solider SGC 5600
Pracovní plocha [mm]	350 x 350 x 350	500 x 350 x 500
Přesnost [mm]	±0,084	±0,084
Rovinnost [mm]	0,15	0,15
Tloušťka vrstvy [mm]	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2
Produkce	120 s/vrstva	65 s/vrstva
Cena [USD]	cca 200000	cca 350000

Stereolitografie SLA

Základní typy materiálů

•Akryláty

- Starší materiál
- Veliká smrštitivost
- Menší přesnost

•Epoxydy

- Moderní materiál
- Malá smrštitivost
- Lepší přesnost

•Plněné pryskyřice

- Pro namáhání nebo spékání v praktickém využití
- Vyplňované organickými materiály, keramikou nebo kovy

Mechanické vlastnosti materiálů – modul v tahu

Modul v tahu je vztah mezi namáháním a napětím

Je zapotřebí k určení toho jak je materiál tuhý

Typické hodnoty (při pokojové teplotě):

- Accura SI 40 – 2840 to 3048 MPa
- SL7560 – 2400 – 2560 MPa
- Prototool – 10100 – 11200MPa
- ABS (Terluran HH-106) – 2400MPa

Mech. vlastnosti materiálů – max. napětí v tahu

Maximální napětí při kterém dojde k prasknutí součásti

Typické hodnoty (při pokojové teplotě):

- Accura SI – 62 MPa
- SL7560 – 40 – 62 MPa
- Prototool – 70 – 79 MPa
- ABS (Terluran HH-106) – 51 MPa

Mech. vlastnosti materiálů – poměrné prodloužení

Maximální prodloužení do prasknutí

Dobré znát při návrhu dílů které se ohýbají

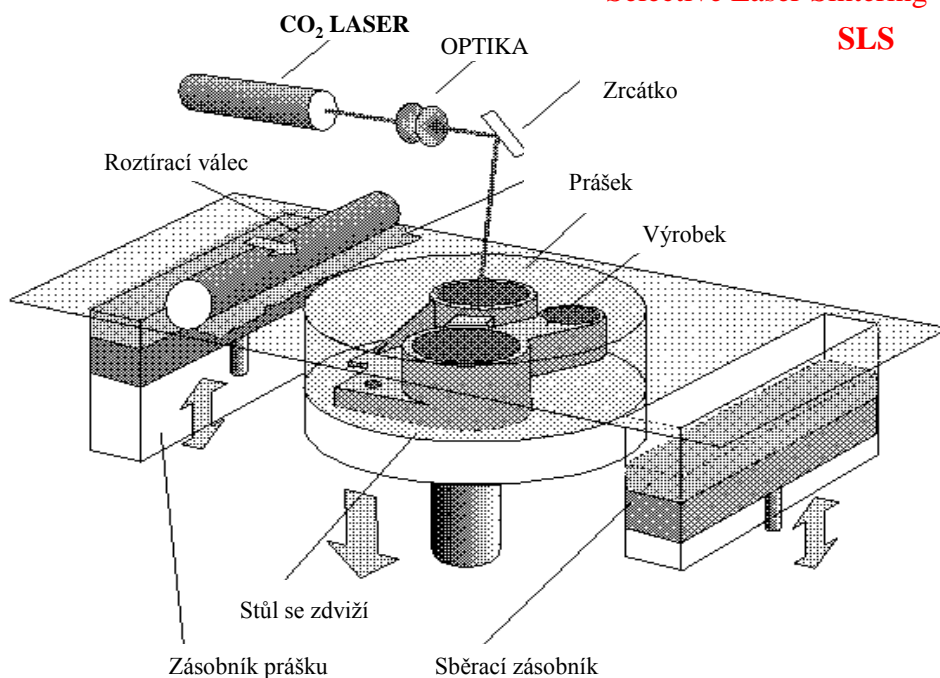
Typické hodnoty:

- Accura SI 40 ~ 4.9 – 6.4%
- SL7560 ~ 6 – 15%
- Prototool ~ 1.2 – 1.3%
- ABS (Terluran HH-106) ~ 9%

Základní popis procesu Laser sintering

- ✓ Vrstvy jemného prášku jsou aplikovány na pracovní desku
- ✓ Data ze souboru se přesouvají do CO₂ laseru
- ✓ Laser skenuje obraz na prášek na vyhřívaném pracovním stole
- ✓ Taví materiál a váže ho ke struktuře která je kolem
- ✓ Díl chladne a stabilizuje se
- ✓ Hotový díl se vyjímá z vany
- ✓ Nepoužitý materiál se zčásti recykluje
- ✓ Dosažitelná hustota 75-98 % (záleží na použitém materiálu)

Selective Laser Sintering SLS



Laser sintering SLS

Co je spékání (slinování)

- Termín souvisí s výrobou pevných komponentů z prášků
- Formování prášku do dané formy (s přísadou pojiva)
- Výroba ekologicky nezávadných dílů
- Vyhřívání v peci k vypálení pojiva, tavení zrn a zhuštění
- Někdy se používá vedlejší profukování vzduchem pokud se vyrábí pórovité struktury



Základy Laser Sintering

System využívá CO₂ lasery (50-200 wattů)

Jednotlivá zrna musí být exponovaná po dostatečný čas aby mohla být spečena

Doba sintrování by neměla být kratší než 10 ms

Výkon a čas prodlevy paprsku ovlivňuje spojování zrn

Je potřeba dostatek tepla k vazbě zrn v každé vrstvě a ve vrstvě pod

Základem úspěšnosti je použití vhodného prášku

Proces spékání

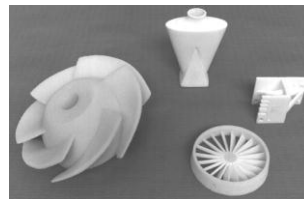
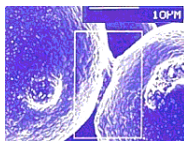
Spékání spočívá v částečném tavení pod tavný bod dané složky

Během sintrování se tvoří můstky mezi částicemi

Propojení zmenšuje povrch plochy a zvyšuje hustotu prášku

Zhuštění založené na redukci povrchové energie zrna

K zajištění propojení, hmota musí proudit z jednoho zrna k druhému



Limity a omezení

- Podobně, smrštění které se vyskytne musí být kompenzováno
- Je zapotřebí mnohem vyšší vstupní energie
- Mohou se vyskytnout vnitřní napětí při chladnutí dílů
- Relativně malý pracovní objem
- Kontrola prašnosti v okolí a jeho částic
- Prášky mohou být hořlavé
- Nespojené vrstvy a uzavřené objemy
- Vysoký odpad nepoužitého materiálu

Laser Sintering – 3D Systems

Nazývá se “Selective Laser Sintering“ (SLS)

Jeden stroj pro všechny materiály

Plast, kov a písek (formovací směs)

- Prášky z kovu a písku jsou polymer coated
- Písek a kov vyžaduje post-processing
- Pracovní prostor 370 x 320 x 445mm
- Rychlost skenování 7,500 mm/s
- Tloušťka vrstvy 0,1mm
- Tvary velikosti 0,5mm
- Možnost volby dvou laserů 25 nebo 100 W

Zařízení EOSINT S700



Laser sintering SLS

Dokonalý prášek

- Přestože každý prášek může být teoreticky spékán, v realitě tomu tak není
- Různé materiály se chovají různě když jsou vystaveny teplu
- Některé se rozpínají, některé smršťují
- Ideálně chceme aby materiály nevykazovaly žádné stažení či expanze když jsou vystaveny energii laseru
- Tato situace nikdy nenastane primárně protože objem sypaného prášku je vyšší než zpevněného (60%)

Hustota prášku

Velikost použitého prášku záleží na:

- ✓Potřebné rychlosti pro výstavbu dílu
- ✓Rozlišení potřebného na daný díl
- ✓Požadované hustotě dílu
- ✓Na homogenitě dílu

Vysoké zhuštění směsi prášku zajišťuje vyšší hustotu dílů

Vysoká hustota je dosažena malými kruhovými zrny prášku

Vlivy zhutnění prášku

Prášek je vrstven tak, aby zajistil:

- Zhutnění co nejvíce, jak je jen možné
- Rovnou a hladkou plochu pro efektivní působení laseru
- Pevné podpory pro díly s letnými prvky

Používaný stavební materiál

- Polyamid PA 2200,
- Polyamid se sklem PA 3200 GF (obsahuje 30 % skelných vláken)
- Polyamid s hliníkem Alumide,
- PrimeCast 100
- Polystyren PS 2500

Modely postavené z polyamidových materiálů na tomto zařízení je možné okamžitě namontovat a použít jako plně funkční díly, protože zaručují 99% mechanických hodnot (pevnost, pružnost, tepelná odolnost atd.) jako materiály používané na vstřikolisech.

- Druh použitého materiálu závisí na požadovaných vlastnostech např:

- PA 2200 je klasický Polyamid.
- PA 3200 GF se skelnými vlákny je ořezuvzdorný, ovšem méně pružný než PA 2200.
- Alumide je polyamid s obsahem 50% hliníkového prášku. Tento materiál má velmi dobrou tepelnou vodivost, je pružnější než PA 3200 GF a přitom si zachovává dobrou odolnost vůči otěru. Díl postavený z tohoto materiálu po dokončení povrchu dokonale imituje kovové výrobky.

Kovy ke spékání

➤Kovy (kromě nízko tavných slitin) se netaví stejně jako polymery

➤Proces nemusí spočívat pouze na vazbě materiálu dohromady ale někdy také k dosažení slitinových elementů s žádanými vlastnostmi

➤Většina SLS kovů je vyráběna s nízko-tavným pojivem

Kovy ke spékání

Slinování kovových dílů obsahující dvě složky:

- Konstrukční elementy nebo kovy s vysokým bodem tavení
- Pojivo nebo materiál který taví a spojuje konstrukční elementy

Materiály pojiva obsahují:

- Termoplastické polymery
- Nízkotavné slitiny
- Měď

Kovy ke spékání

➤ Laser taví pojivo

➤ Pojivo spojuje a uzamyká sousední zrna materiálu do dané pozice

➤ Termoplastická pojiva vyžadují málo energie laseru ale musí být vypáleny v peci (přechodový stav)

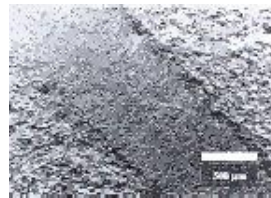
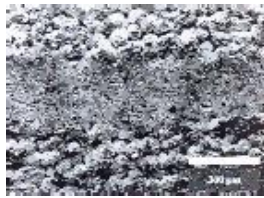
➤ Kovové materiály vyžadují více energie ale výsledek se zhodnotí v konečném dílu

➤ Pórovitost se liší do 0-40% a záleží na druhu použitého pojiva

Leštění povrchu pomocí laseru

Leštění spékaných povrchů působením laseru

- Při natavení povrchu plochy dochází k její vyhlazení
- Obtížné pro některé díly



Spékané kosti - Materiály

Apatite Ceramics často bioaktivní

Hydroxy-apatite prášky se nevyrábějí dobře pomocí LS

Některé sklo-keramické materiály krystalizují s exotermickou reakcí

Ztuhnutí apatitu během LS nebo post-procesním ohřevem

Hydroxy-apatite prášky mohou být spojené bio-kompatibilním práškem s nižším bodem tavení



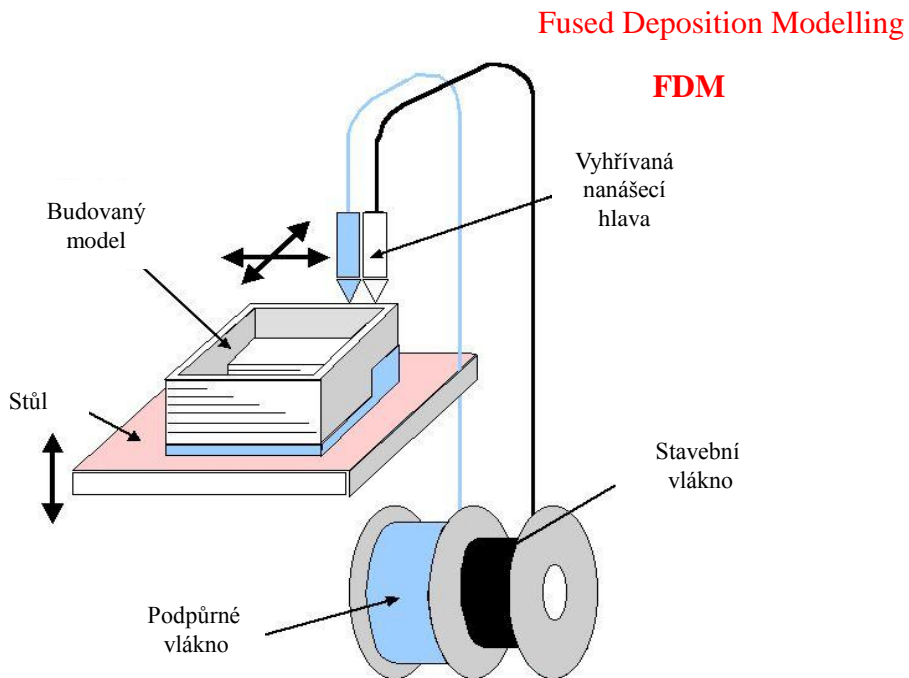
CT data



Spékané kosti - Materiály

LS může být přímé i nepřímé:

- Přímý LS of apatite – mullite skleněná keramika
- Přímý LS of hydroxyapatite s nižším bodem tavení calcium sodium phosphate
- Nepřímý LS of apatite – mullite glass ceramic, s pojivem z pryskyřice + post-process tepelná úprava



Definování Fused Deposition Modelling (FDM)

- ✓ Pojem souvisí s konstrukcí 3D modelů přes spojitě nanášení vytlačovaného vlákna daného materiálu
- ✓ Proces je závislý na teplotě vytlačovací hlavice nanášeného materiálu
- ✓ Obdobné vymačkávání zubní pasty přes trysku
- ✓ Jakýkoliv materiál který teče když se zahřívá a tuhne když chladne (polymery, kovy a keramika/bioslurries)

Tvorba dílů

- Materiál je vytlačován skrz otvor o průměru 0,3 mm
- Díly jsou tvořeny na teplotně kontrolovaném kovovém podkladu
- Vytlačovací hlava, stůl a portál se pohybují v ose X, Y a Z navzájem
- Tenké hraniční plochy se vytváří jako první
- Vnější plochy se doplňují podpůrnou konstrukcí
- Každá vrstva stavěné struktury musí být vytvořena se sruženou podpůrnou vrstvou
- Vytlačovací hlava vyplňuje oblast, vytváří plochý povrch

Výhody procesu

- ✓ Jednoduchý proces snižuje cenu stroje
- ✓ Některé typy strojů v deskovém provedení
- ✓ Kancelářské stroje
- ✓ Robustní prototypy mohou být vytvořeny z různých materiálů
- ✓ Nízká cena funkčních prototypů
- ✓ Díly nevyžadují post-processing
- ✓ Snadné ukončení
- ✓ Dobrá 'micro' povrchová drsnost
- ✓ Proces může být zastaven a materiál změněn
- ✓ Žádné zdravotní a bezpečnostní problémy



PRODIGY

Prostor:

203 x 203 x 305 mm

Teplota: 250°C a 70°C

Vrstvy:

Fine 0.178 mm

Standard 0.245 mm

Draft 0.33 mm

Materiál ABS:

1. podpůrný

2. Stavební

Stavba :

SOLID - plný

SPARSE - řídký

DOUBLE WIDE stěny zesílené





PŘILBA

Dělení z 10 dílů

Lepeno a mechanicky
spojeno



Výsledná montáž

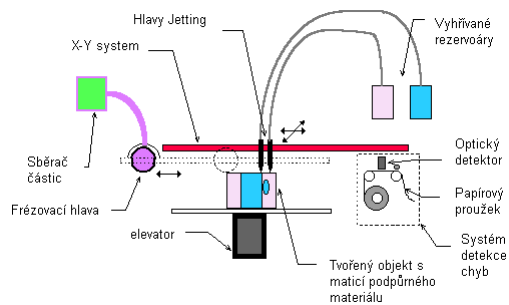
Dimension

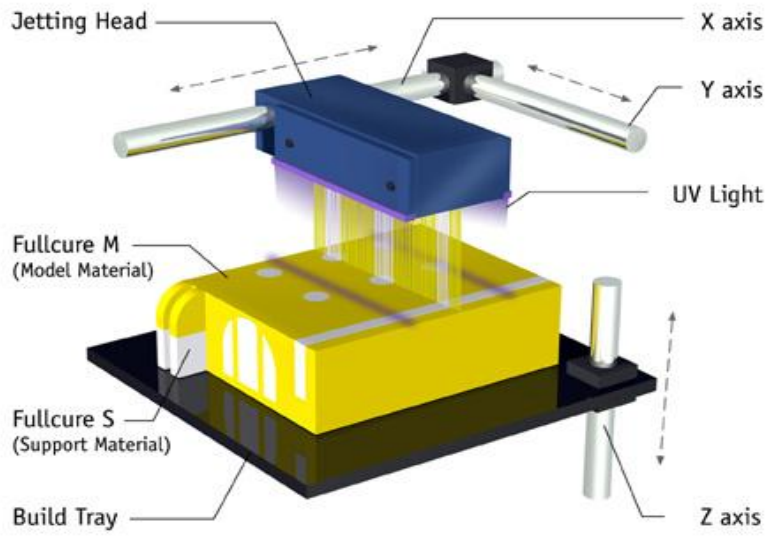


Jetting

Definice 3D Tisku

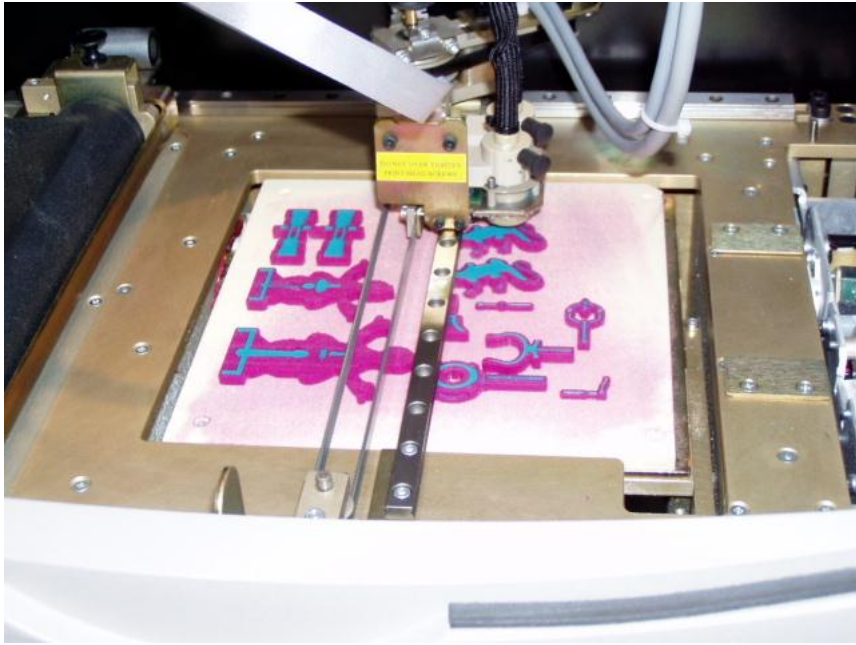
Souvisí s technologiemi které se vztahují k procesům nanášení inkoustových tiskáren termoplastové /termosetové polymery a vosky k vytvoření 3D pevných objektů





The Objet PolyJet Process





Pozadí 3D Tisku

Návrh tryskání materiálu je v průmyslu nejméně již jednu dekádu

Technologie potřebovala vývoj přesných a spolehlivých inkjet printer hlav

Používají se dvě hlavní technologie

- Výroba pomocí jedné trysky
- Výroba pomocí několika trysek

Dva hlavní typy materiálů

- Vosk
- Teplem tvrditelná UV pryskyřice

Typické rozměry stroje

Stavěná vrstva: 0,013mm

Minimální rozměry tvořené geometrie: 0,254mm

Velikost micro-kapky: 0,076mm

Kalibrace válce plotru: automatická, před každým cyklem

Rychlost válce: do 500mm/s

Typy materiálů

➤Hlavní/stavební

Nízkotavící termoplasty (vosk a ester)

Bod tání 90° - 113°C

Netoxické

➤Podpurný

neutrální a syntetické vosky a mastné estery

Bot tání 54° - 76°C

Rozpustnost při 50° - 70°C

Nezbytné drobné dokončení či úprava

Materiály

Nemohou být recyklované – jedna se o vysoce přefiltrovaný produkt

Materiály:

- Termoplastické polymery obsahující parafin, hydrokarbonové vosky a barviva
- Termoplastické polymery obsahující hydrokabróny, amidy a estery pro zvýšenou trvanlivost

Jetting

Dokončovací operace

- ✓ Horkovzdušná pistole k přetavení a vyhlazení povrchu
- ✓ Díly mohou být nasprejovány barvou
- ✓ Doporučuje se použít lehký základní podklad a pak lesklý potah
- ✓ Mít se na pozoru před použitím rozpustitelných barev

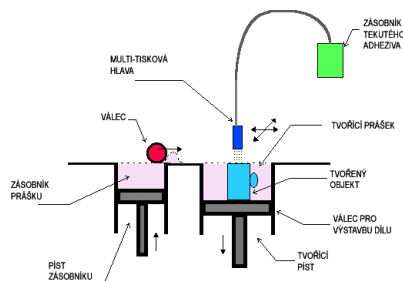
3D Printing

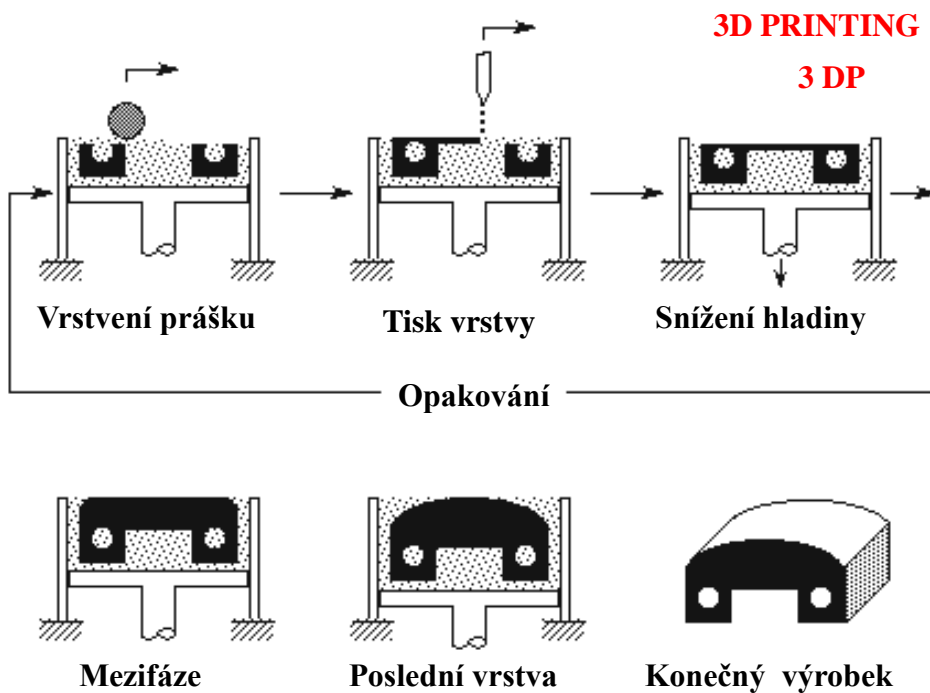
Co je 3D Printing

“3D printing zahrnuje ty technologie které používají přístup tvorby dílů vrstva po vrstvě k nanesení vrstev prášku a poté následné selektivní vazbě do tvaru pevného tělesa“

Je to proces podobný Laser sintering s výjimkou že tryskání pojiva váže prášek

3DP používá inkjet hlavy k nanášení pojiva





3D Printing

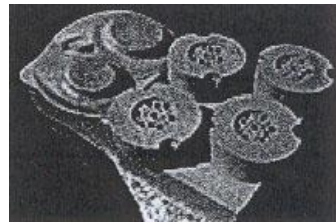
Proces tvorby dílů

- Importování STL souboru do softwarového rozhraní
- Naplnění vany práškem
- Rozprostření vrstvy prášku z vany
- Tisk pojiva na sytký prášek s tvarování prvního řezu
- Zbývající prášek podpírá vrstvy které budou převislé
- Snížení nosné desky a rozprostření nové vrstvy po povrchu
- Proces se opakuje

3D Printing

3D Printing - Kovy

- Nanášení a vazba kovových prášků
- Vlastní proces je stejný, liší se post processing kde se díly spékají v peci k odstranění pojiva a propojení kovových molekul



Laminated Object Manufacturing

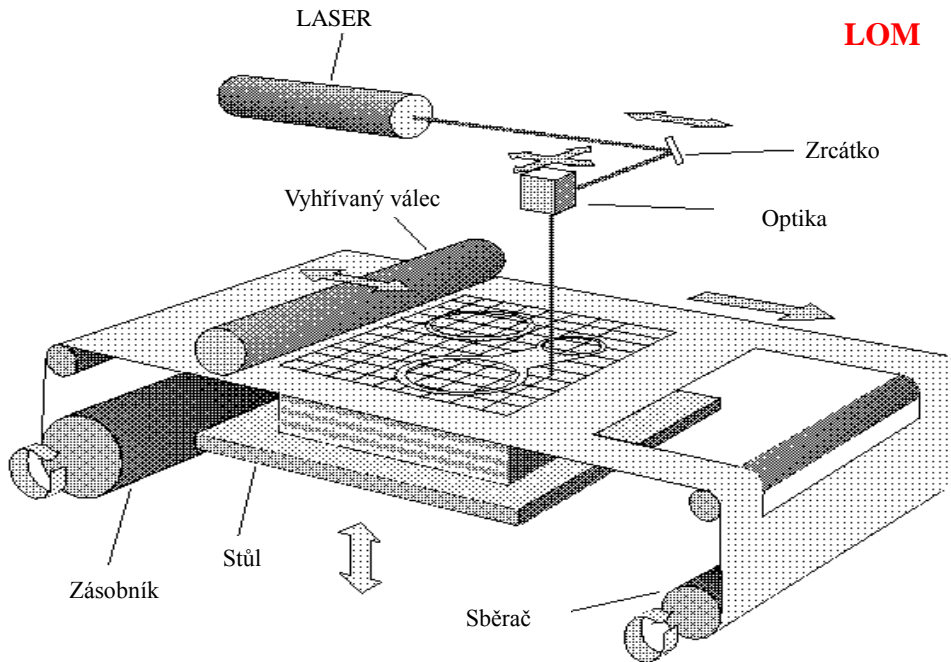
Základní informace LOM

Princip je laminování jednotlivých vrstev na sebe

Materiál může být papír, plast, dřevo, plech

Laminated Object Manufacturing

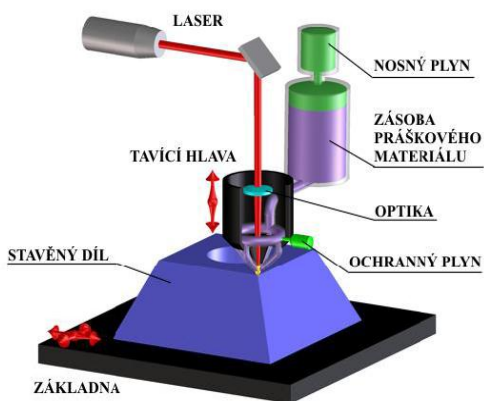
LOM



Přímá metoda LOF

- Úspěšně používané materiály:
 - Hliník (Al_2O_3)
 - Monolitický zirkon oxidu (ZrO_2)
 - Kompozity $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
 - SiC a SiC/SiC kompozity
- Materiály procházející technologií LOF, dále procházejí fází spékání podobné k DTM SLS
- Vlastnosti LOF dílů mají podobné fyzické a mechanické vlastnosti s keramickými díly připravovanými pomocí konvenčních metod

Laser Engineering Net Shaping LENS

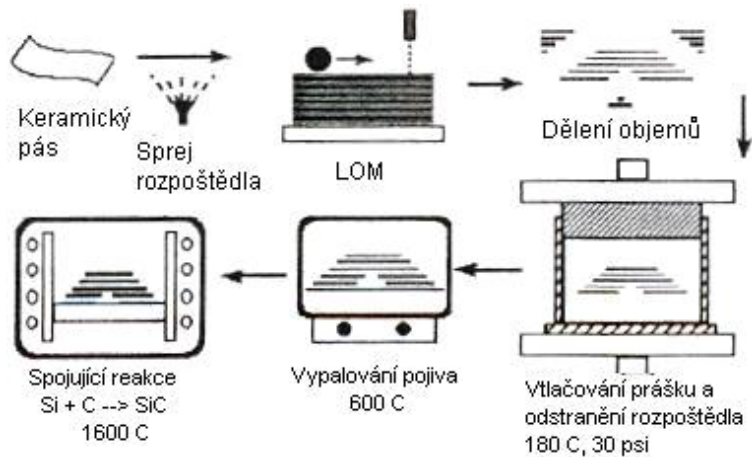


metoda umožňuje získat plně homogenní strukturu kovového dílu s výbornými metalurgickými vlastnostmi. K tomuto procesu dochází v uzavřeném prostředí nanášecí hlavy, kde je do malého místa přes optiku koncentrován výkonný laser. Za pomoci stlačeného plynu je přiváděn kovový prášek aplikací laseru roztaven a nanášen přes trysku do aplikovaného místa. Takto zhotovené díly nevyžadují další tepelné zpracování a mohou být přímo užity pro výrobu a opravu nástrojů např. pro vstřikování plastů nebo pro opravu dílů z titanu pro letecký průmysl.

Silicon Nitride/Carbide Ceramics

- Proces využívá keramické předlisované pásy
- Zahrnuje formování green shape parts
- Následuje vypálení organických částí a konečné zhutňování
- Pásky vyrobené s použitím SiC/Si₃N₄ prášku s přísadami polymerů a modelovací hmoty
- Stroje LOM používají sekvenční laminování a rozřezávání řezů vrstev
- Přebytečný okolní materiál je odstraněn stejně jako u papírové varianty

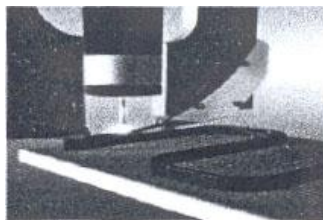
LOF pro monolitický SiC/Si₃N₄



Další procesy RP ve vývoji

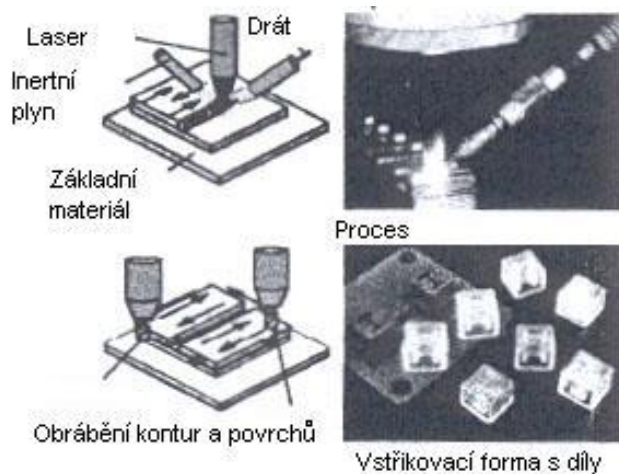
Precizní nanášení kovů pomocí laseru (PMD)

- Tavení plochého drátu pomocí laseru



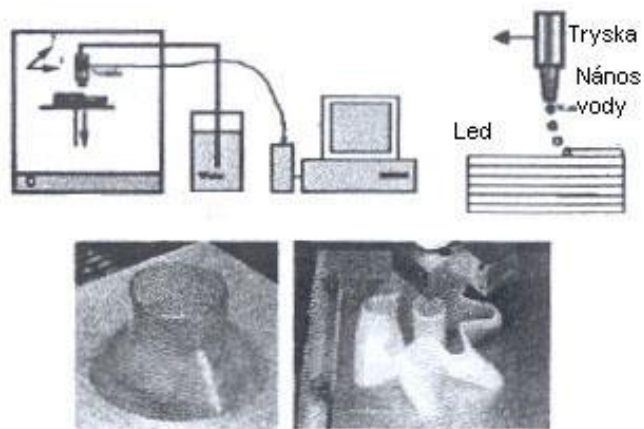
Další procesy RP ve vývoji

Kontrolované nanášení kovů



Další procesy RP ve vývoji

Výroba objektů pomocí mrznoucí vody



Další procesy RP ve vývoji

Plaster Casting Moulds Sádrové formy k odlévání

- Hliníkové a neželezné odlitky
- Formy vyráběné v celku nebo jako jádra
- Není potřeba púlit formu
- Musí se odstranit všechen nepotřebný prášek
- Formy se vysoušejí v pecích k odstranění vlhkosti
- Min. tloušťka stěny 3mm
- Min. velikost jádra 3.5 – 4 mm

	<i>Písek Silica 120</i>	<i>Písek Zircon 120</i>	<i>Písek Silica</i>	<i>ZCast 500</i>
Napětí v tahu	285 psi	468 psi	280 psi	285 psi

Další procesy RP ve vývoji

Materiálové vlastnosti prášků

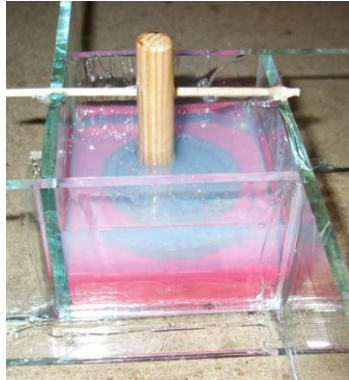
	prášek zp14	prášek zp100
<i>Složení</i>	škrob/celulóza	sádra
<i>Tloušťka vrstvy</i>	0,004 - 0,01 inch	0,003-0,004 inch
<i>Pevnost dílů</i>	3 Mpa	10Mpa
<i>Rychlost (závisí na velikosti dílu)</i>	25 mm za hodinu	15 mm za hodinu

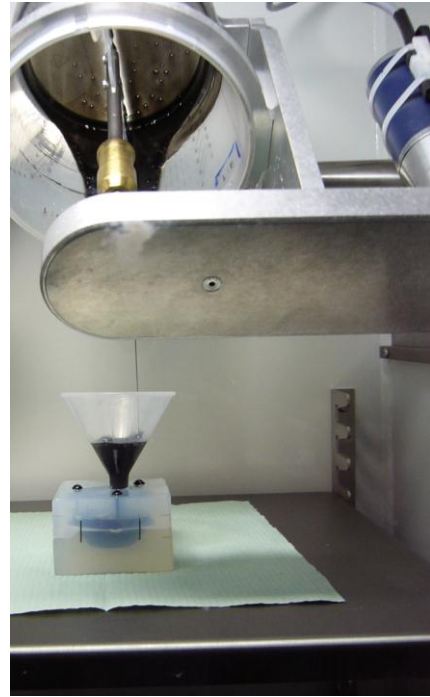
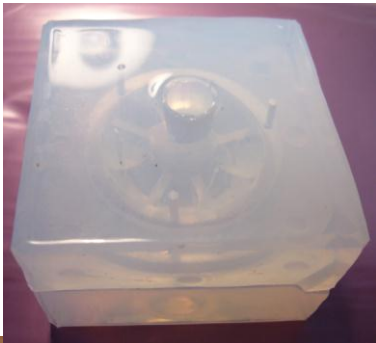
<i>TECHNIKA TVORBY PARA- METRY</i>	FDM FUZE DEPOSITION MODELING	SLA STEREOLITO- GRAPHY	SGC SOLID GROUD CURING	LOM LAMNATED OBJECT MODELING	SLS SELECTIVE LASER SINTERING
POŘIZOVACÍ CENA <i>[poměr]</i>	1,7	1,9	5,7	1	2,4
RYCHLOST-ČAS VÝROBY <i>[hod]</i>	1 4,5	4 7,2	2 6,3	5 11	3 5,4
NÁKLADY NA PROVOZ <i>[US\$]</i>	1 3	4 21	5 33/2	2 10	3 16,9
NÁKLADY NA MATERIÁL <i>[US\$]</i>	4 11,4	1 4	5 73/2	3 5	2 3,4
CENA DÍLU <i>[US\$]</i>	1 69	2 76	5 461	4 230	3 81
PŘESNOST	0,08 %	0,13 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
NÁROKY POSTOPERACÍ	NE	ANO	ANO	NE	ANO
TLOUŠŤKA VRSTVY	0,025 ÷ 1,2	0,1 ÷ 0,7	0,05 ÷ 0,15	0,01 ÷ 0,15	0,08 ÷ 0,13

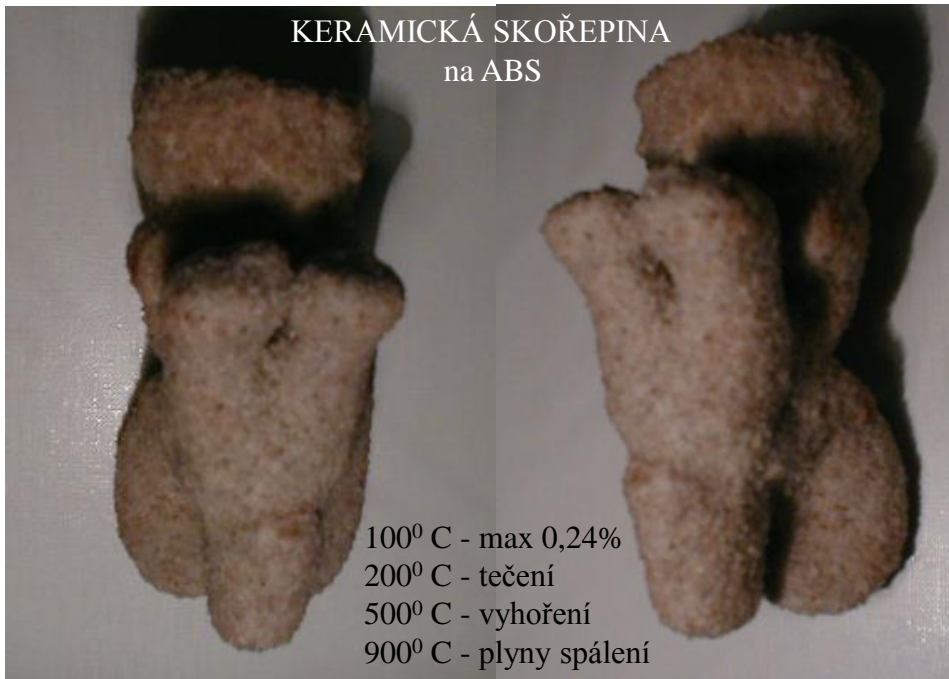
Navazující technologie

Odlévání ve vakuu

- Potřeba fyzického dílu
- Odlítí silikonové formy
- Odlítí dílu z polyuretanu
- Možnost odlévání vosků do silikonových forem
- Malosériová výroba, předvýrobní série

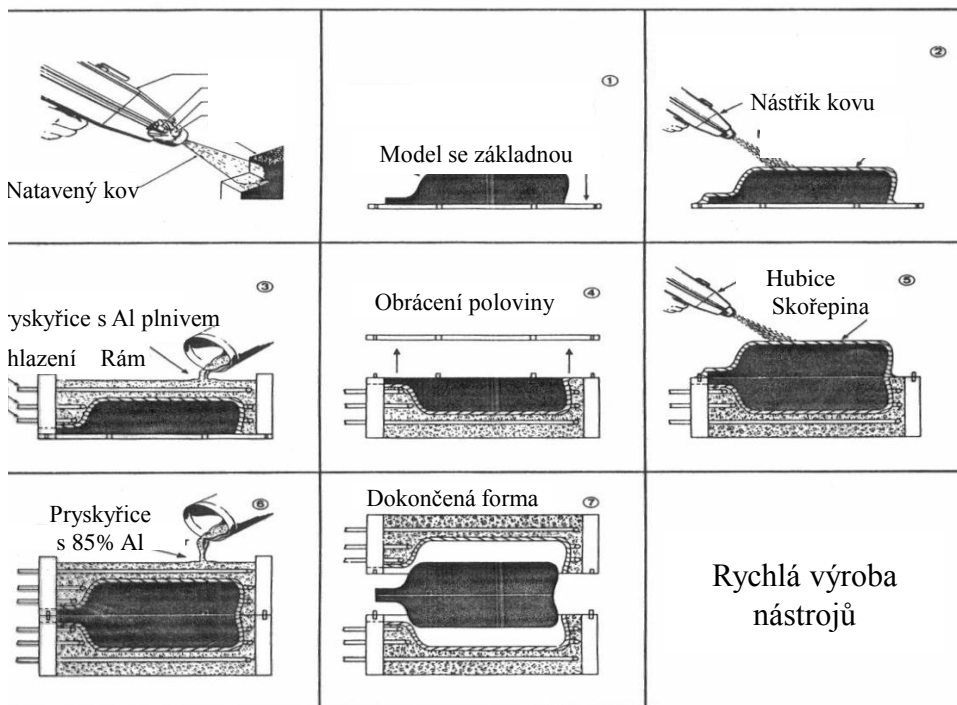


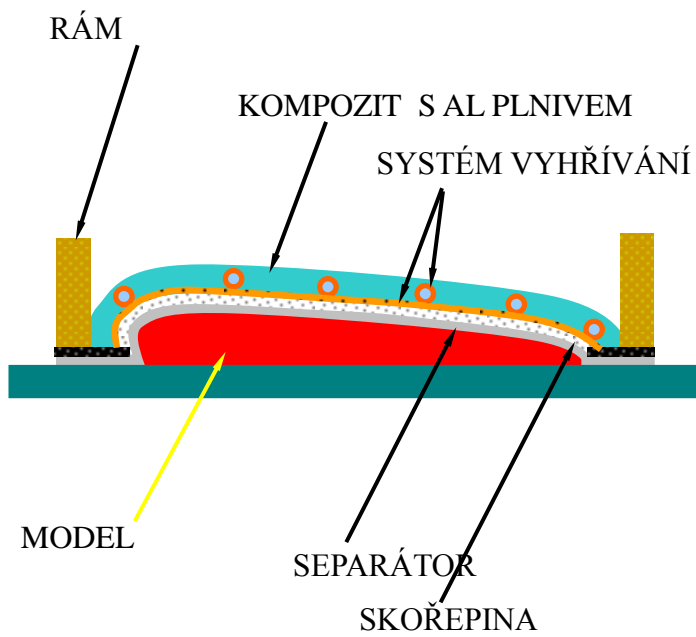




Lití kovů

- Lití kovů metodou na ztracený model je nejsnazší a nejrychlejší cesta, jak získat kovový odlitek ze slitin hliníku, mědi a železa.
- V podstatě jsou dvě metody :
 - ztraceného modelu, kde je model přímo vytvořen metodou SLS z materiálu PS 2500 (polystyren). Tento se zformuje a přímo se provede odlití
 - vytavitelného modelu, kde je vytvořena silikonová forma a do té je odlit voskový model. Na voskový model se vytvoří skořepinová forma. Vosk se odtaví a odlévá se na vytvrzenou vyhřátou formu.

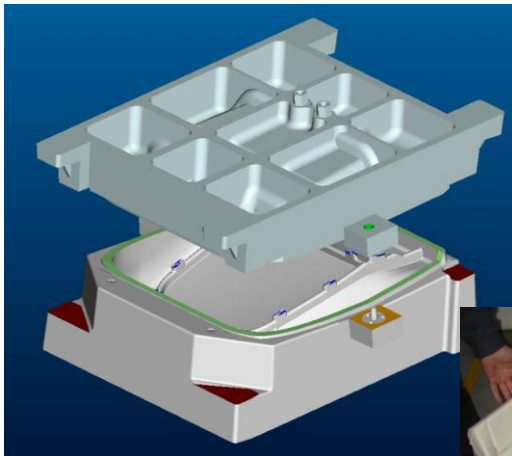




TVARY MODELU A FORMY



HOTOVÁ FORMA



Forma hliníkové slitiny

Forma na bázi kompozitu

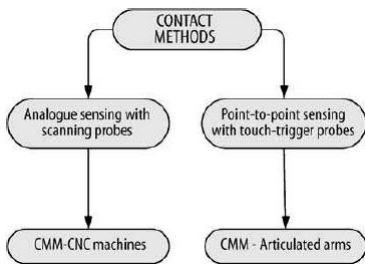
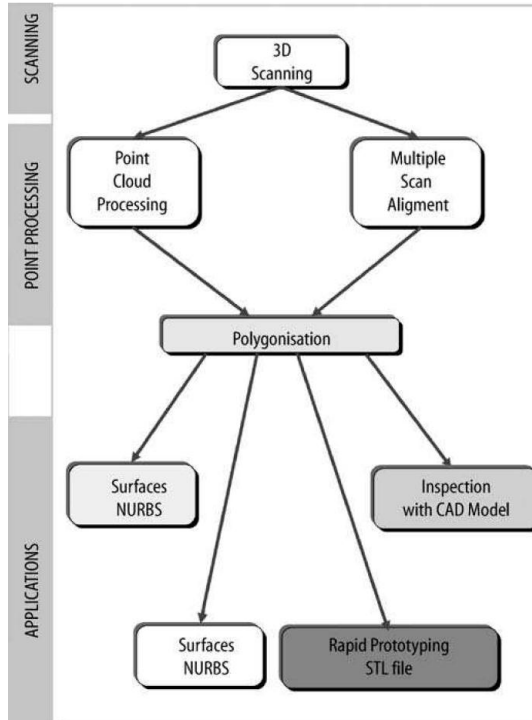


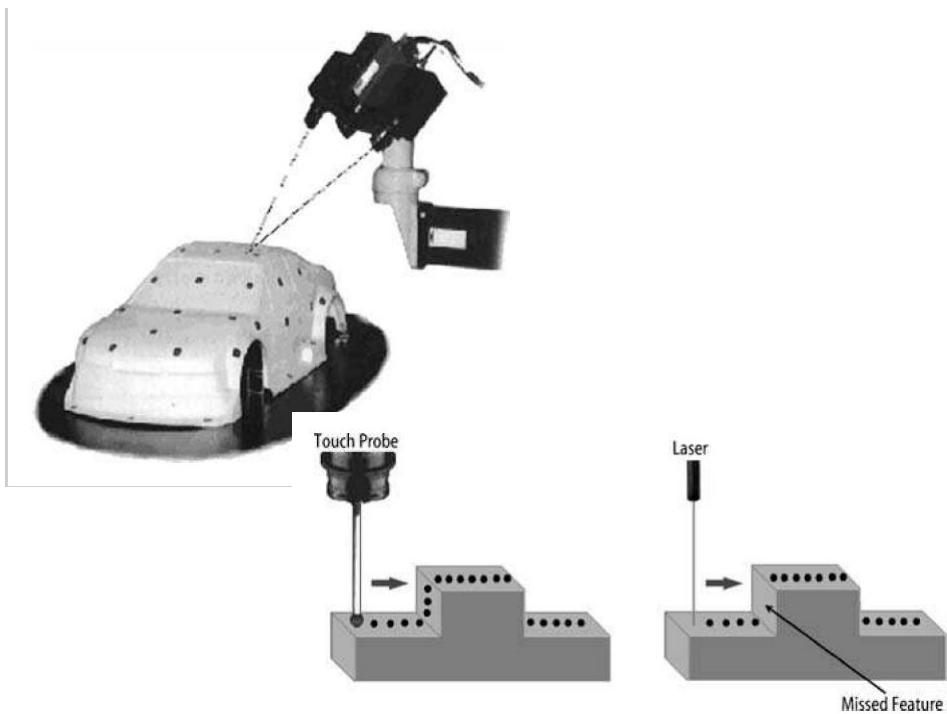


Nanášecí hlava

Reverse Engineering

NURBS – Non Uniform Rational B Splines (Surfaces)

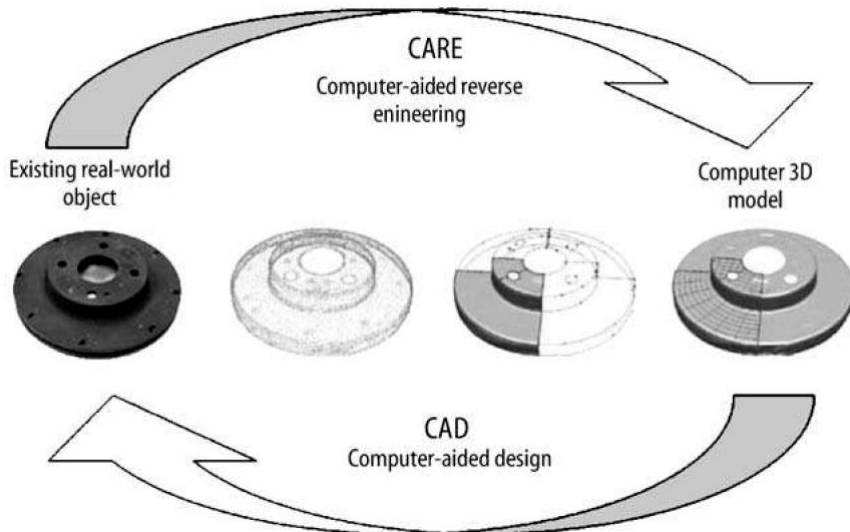
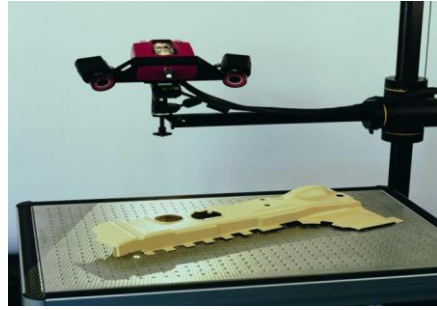


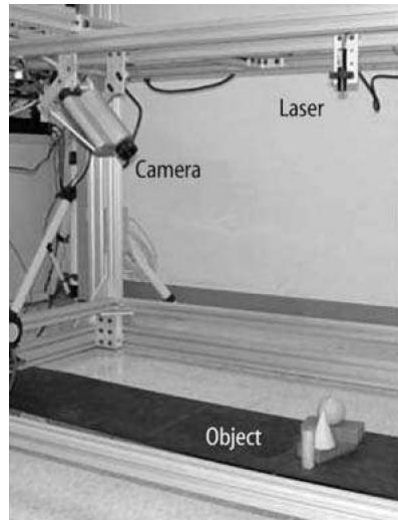
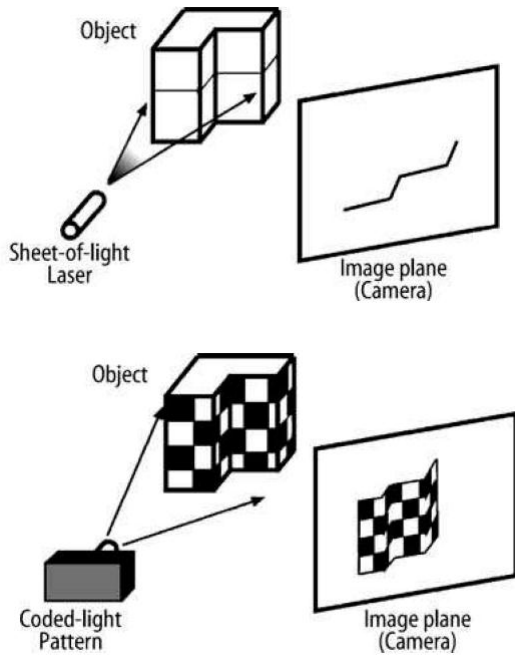
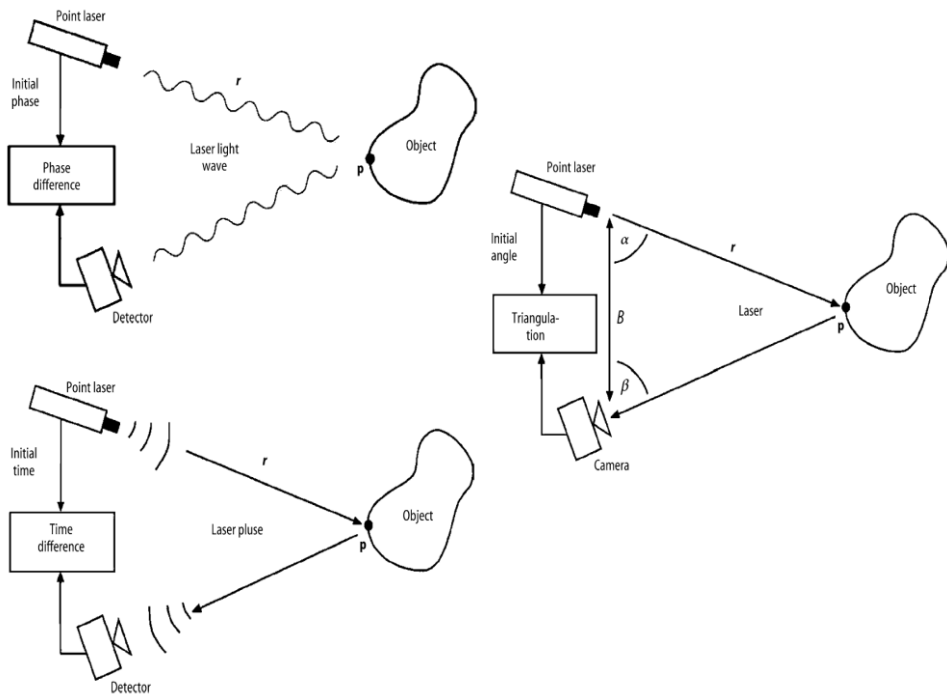


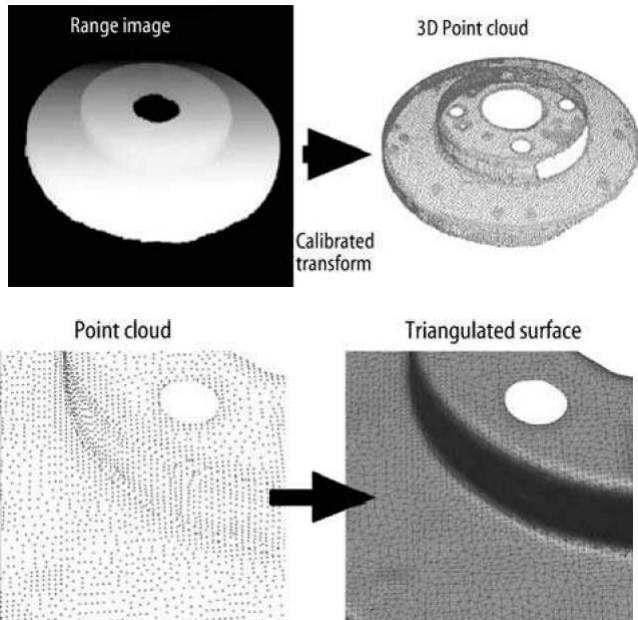
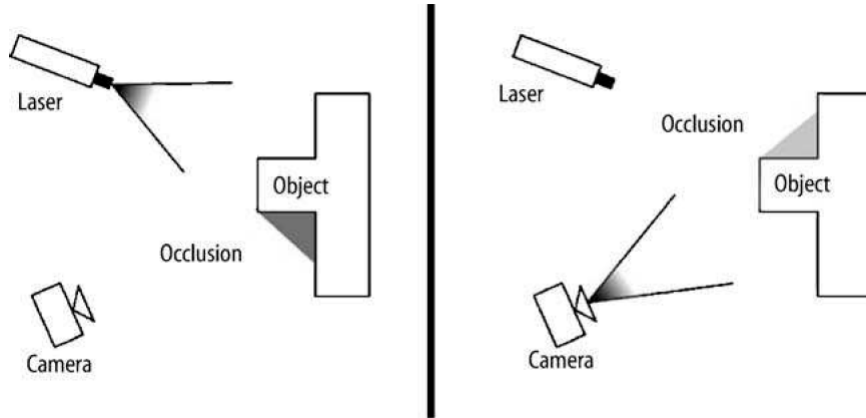
SMS-Somet Berox

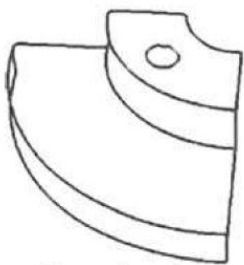
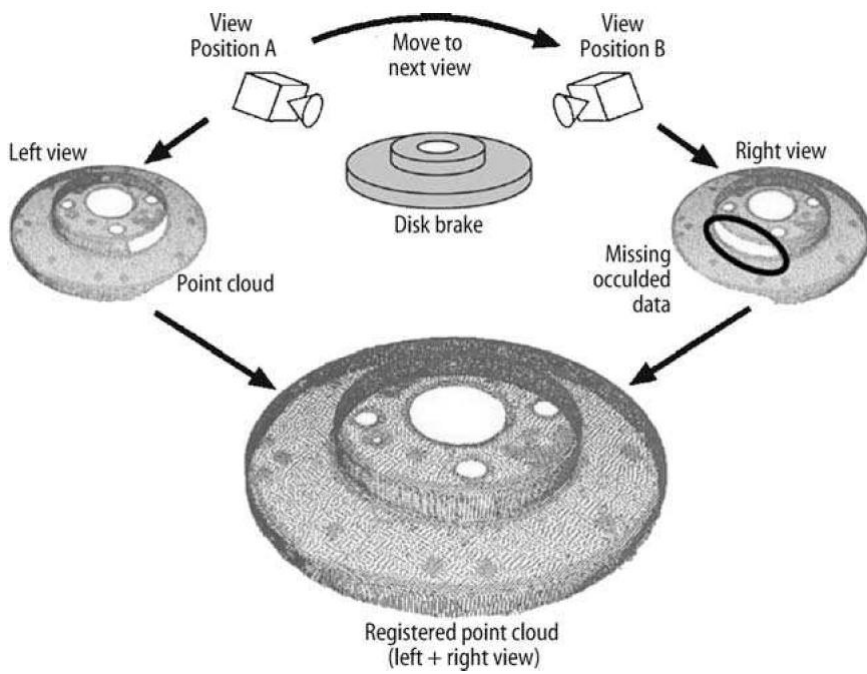


Kontaktní zařízení
 Přesnost 5 μm
 Velikost pracovního
 prostoru 400 x 600 x
 400 mm
 Mostová konstrukce
 Elektrokontaktní
 měřicí hlava

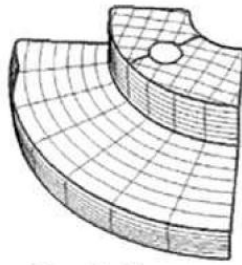




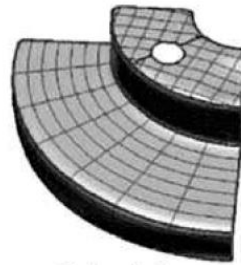




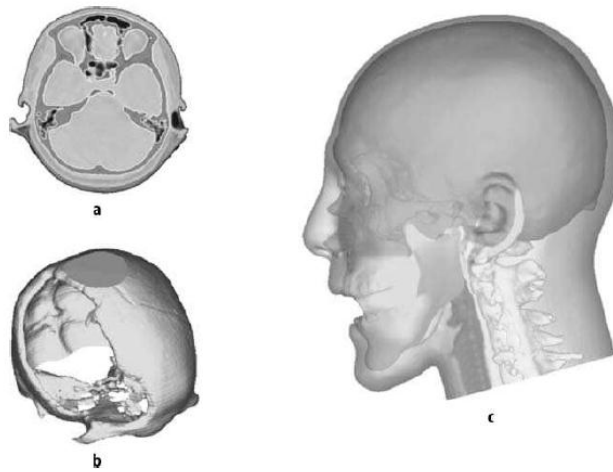
Feature detection



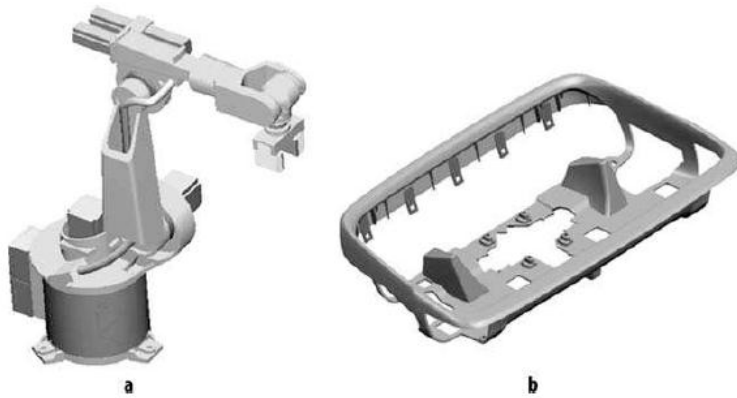
Control grid



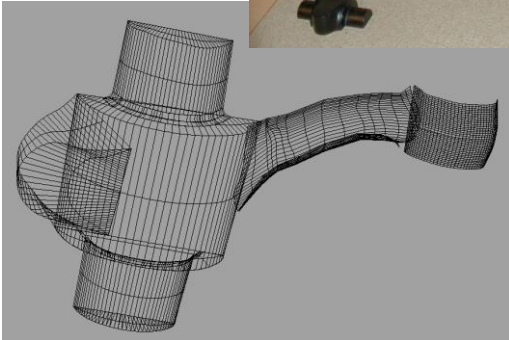
Surface fitting



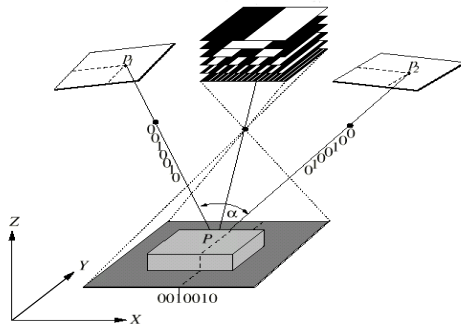
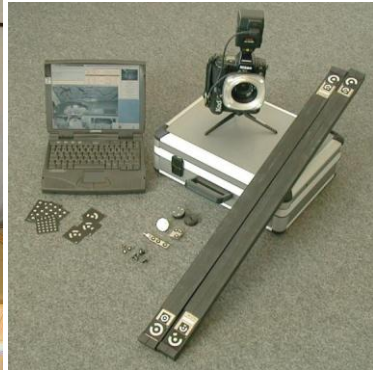
(a) A skull defined by the thresholding technique. (b, c) 3-D models of the cranial defect skull (b), and other anatomical structures of the head (c).



(a) An RE model of a mechanical part with simple geometries (KUKA robot).
 (b) An RE model of a complex part with free-form surfaces.



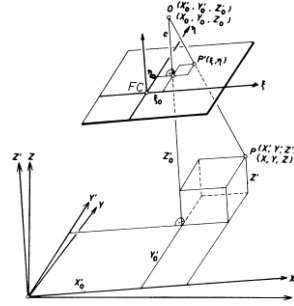
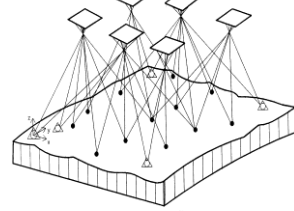
DIGITALIZACE - Bezkontaktní Atos





DIGITALIZACE

Tritop



$$\xi_{11} = f(\xi_0, c, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega_1, \kappa_1, X_1, Y_1, Z_1)$$

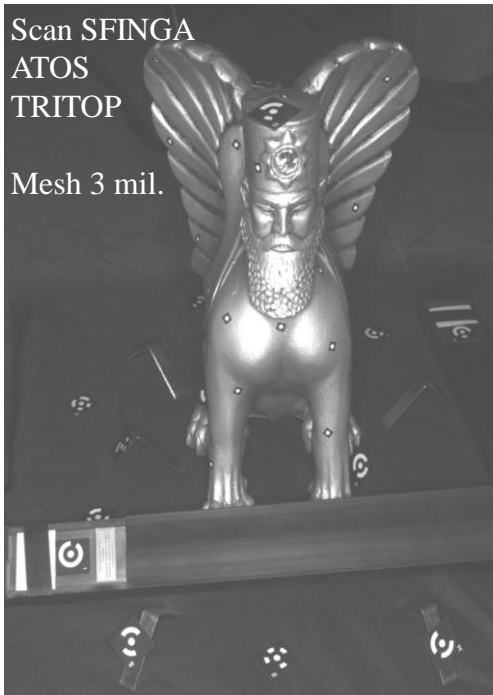
$$\eta_{11} = f(\eta_0, c, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega_1, \kappa_1, X_1, Y_1, Z_1)$$

$$\xi_{12} = f(\xi_0, c, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega_2, \kappa_2, X_2, Y_2, Z_2)$$

$$\eta_{12} = f(\eta_0, c, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega_2, \kappa_2, X_2, Y_2, Z_2)$$

Scan SFINGA
ATOS
TRITOP

Mesh 3 mil.



SFINGA



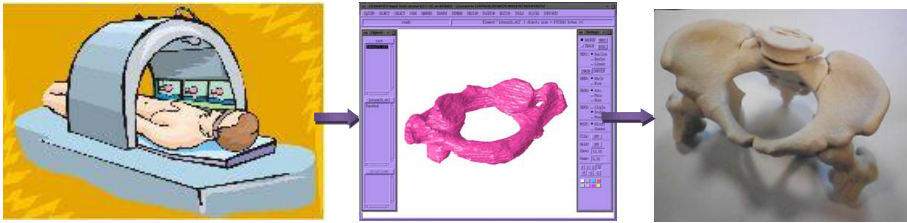
Handyscan 3D - REVscan



Technické parametry REVscan

Hmotnost	0,98 kg
Rozměry	160 x 260 x 210 mm
Snímání	18,000 snímků/s
Laser	II (eye safe)
Rozlišení v ose Z	0.1 mm (0.004 in.)
Přesnost	až 50 μ m (0.002 in.)
ISO	20 μ m + 200 μ /m

Lekařství



- Data potřebná pro výrobu modelu jsou získávána z CT lékařského tomografu, který do paměti ukládá matematický popis řezů pevné a měkké tkáně.
- Pro filtraci a oddělení pevné tkáně (kostí) od měkké tkáně (např. svaly), uvedla belgická firma Materialise na trh software Mimics, který je modulem programu Magics jež slouží ke zpracování dat před vlastním procesem výroby na stereolitografickém zařízení. Mimics odfiltruje měkkou tkáň a výsledně tak dostáváme data jednotlivých řezů pouze pevné, kostní tkáně.



Obr. 10 3D rekonstrukce obličeje [11]



Obr. 11 Doplnění tváře s využitím symetrie [11]



Obr. 12 Tvář s přiloženým doplňkem [11]

PŘEHLED SM

	Přesnost	Mobilita	Rychlost scanování	Nároky na obsluhu	Cena
Atos II	Nižší (0,05mm)	Dobrá	Nízká	Vysoké	Vysoká
Microscribe	Střední (0, 25mm)	Velmi dobrá	Střední	Střední	Nízká
Handyscan	Nižší (0,05mm)	Velmi dobrá	Vysoká	Nízké	Vysoká
SMS	Vysoká (0,005mm)	Špatná	Nízká	Střední	Střední

Informace a literatura

- <http://home.att.net/~castleisland/>
- <http://www.wohlersassociates.com>
- <http://ltk.hut.fi/~koukaa/RP/rptree.html>
- <http://www.rapidprototyping.net>
- <http://www.time-compression.com>
- <http://www.dsmsomos.com/pages/products/en/optoform.htm>
- <http://www.raptia.org>
- <http://www.veltec.us/forum>
- <http://www.3trpd.co.uk>
- <http://www.cadcarnet.com>
- <http://www.3dsystems.com>

<http://www.time-compression.com>
<https://utwired.engr.utexas.edu/lff/symposium/index.cfm>
<http://femando.emeraldinsight.com>