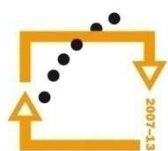




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1**

**Šablona: Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT**

**Název: Obrábění**

**Téma: Obrábění vysokými rychlostmi. Rapid prototyping**

**Autor: Ing. Kubíček Miroslav**

**Číslo: VY\_32\_INOVACE\_19 – 20**

**Anotace:** Slouží jako podklad pro výuku obrábění. Podstata obrábění vysokými rychlostmi. Vysvětlení pojmu rapid prototyping. Rozdělení a podstata jednotlivých metod. Text určen pro studenty 2. ročníku střední odborné školy oboru strojírenství.

# OBRÁBĚNÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI - HSC

- Při tomto obrábění se mění podmínky vzniku třísky v místě řezu
- Zavádíme s **cílem zkrácení strojních časů** na obrábění součásti
- Dochází k odlišným pochodům než při obrábění za nižších rychlostí
- Teplota třísky se blíží teplotě tavení obráběného materiálu
- Při určité rychlosti dojde k náhlé změně řady metalurgických a mechanických vlastností třísky
- Velké nároky kladené na stroje a nástroje
- Použití – automobilový průmysl, letectví, výroba forem a nástrojů,

# OBRÁBĚNÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI - HSC

- řezná síla je jedním z nejcitlivějších indikátorů výkonu při obrábění a podává informaci o celkovém množství vygenerovaného tepla
- **Zvyšování rychlosti** přináší tepelné děje, které snižují řezný odpor, což má za důsledek **razantní pokles řezných sil**
- **U materiálů tvárných** ( plastické, ocel, Al a slitiny) – platí **výrazné snížení řezných sil** při zvyšování rychlostí
- **U materiálů křehkých** ( elementární tříska, litiny) – pokles řezných sil **je minimální** při zvyšování rychlostí – z důvodu rostoucího odporu proti přetváření
- Vliv materiálu obrobku
- Vliv ostatních parametrů – se zvětšujícím se posuvem a hloubkou řezu roste velikost jednotlivých složek řezné síly
- S poklesem hloubky řezu výrazně roste měrný řezný odpor

# OBRÁBĚNÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI - HSC

- Kapaliny se při HSC téměř nepoužívají – nemohou – jejich chladící účinek by zabraňoval vlastnímu vysokorychlostnímu účinku
- HSC proto také nazýváme
- tzv. „ **SUCHÉ OBRÁBĚNÍ**“
  
- Vhodná optimalizace řezných podmínek z hlediska řezných sil přináší mnoho kvalitativních i kvantitativních aspektů pro zlepšování obrábění

# OBRÁBĚNÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI - HSC

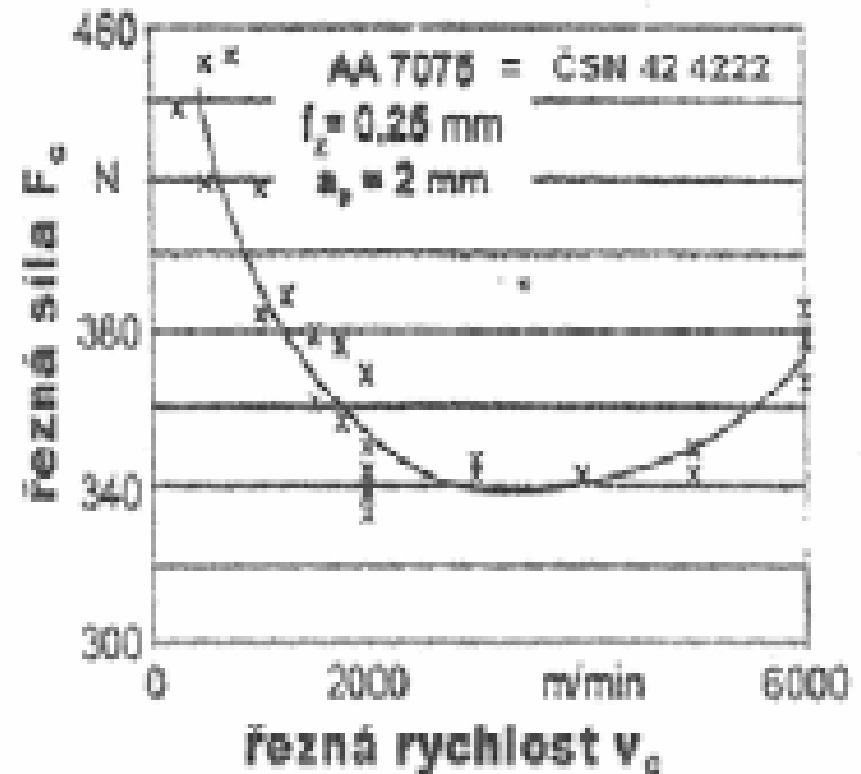
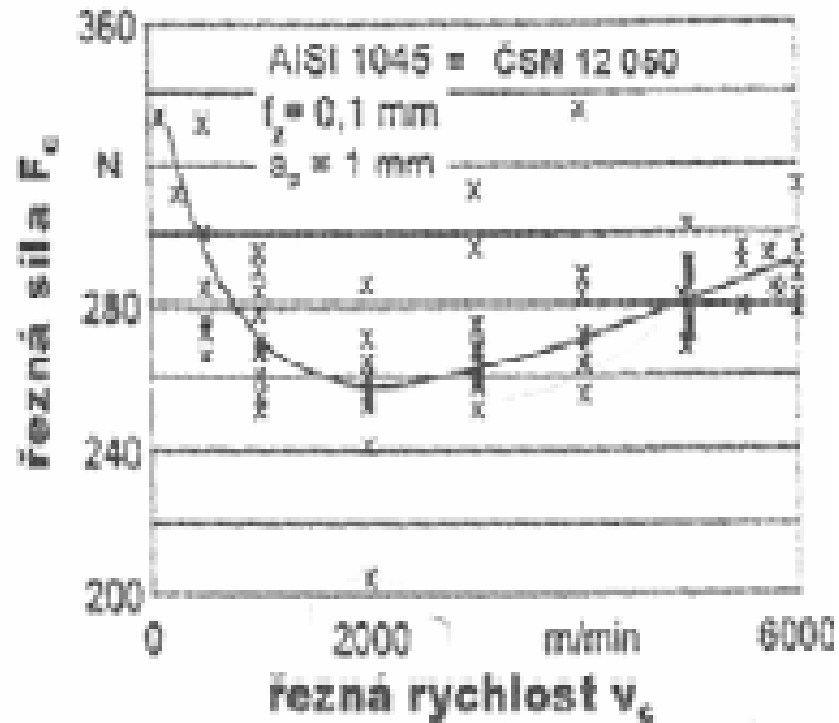
GRAF ZÁVISLOSTI ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA ŘEZNÉ SÍLE

A) PRO UHLÍKOVOU KONSTRUKČNÍ OCEL

B) PRO AL SLITINU

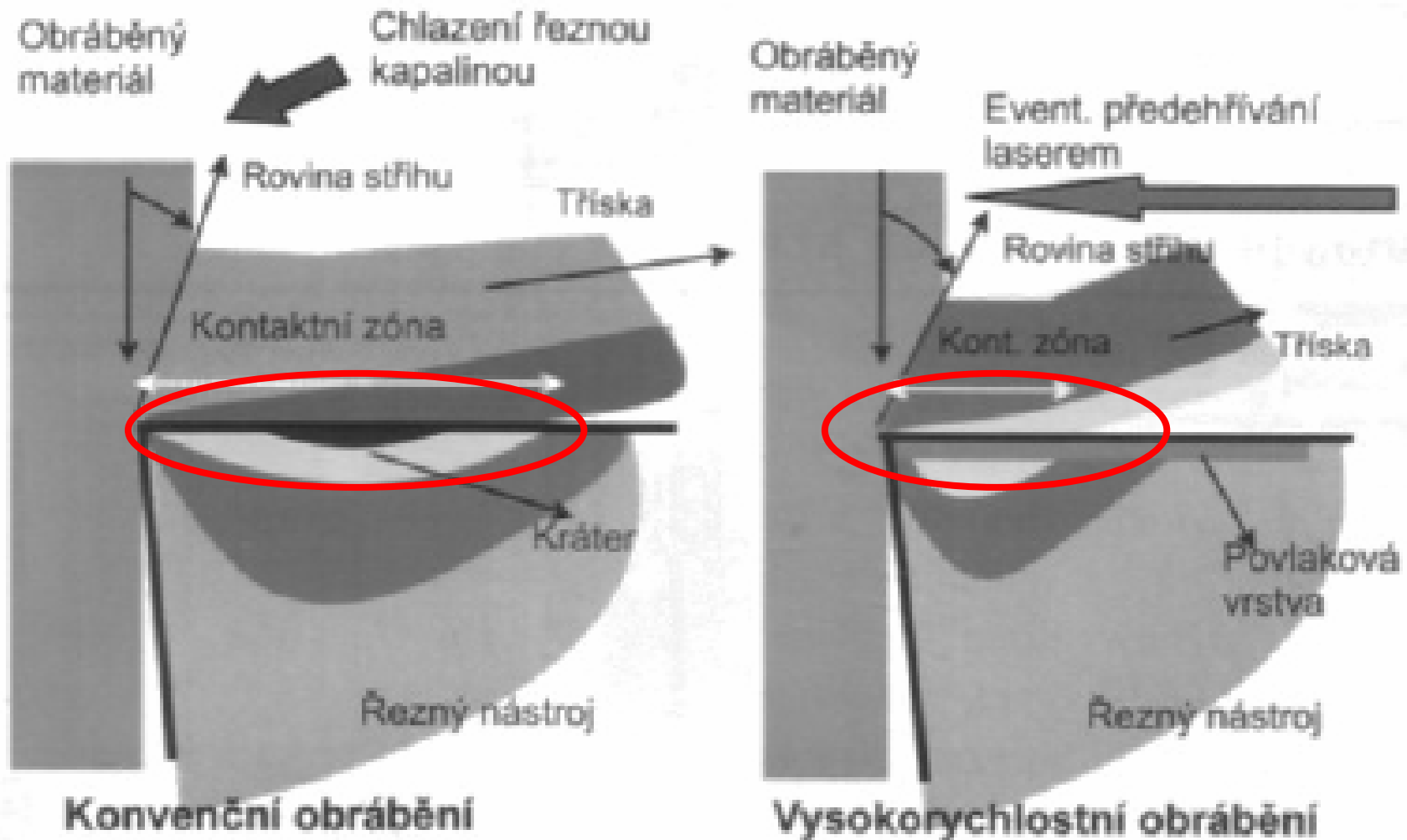
B

A



# OBRÁBĚNÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI - HSC

Porovnání konvenčního a vysokorychlostního obrábění



# OBRÁBĚNÍ VYSOKÝMI POSUVOVÝMI RYCHLOSTMI HCM

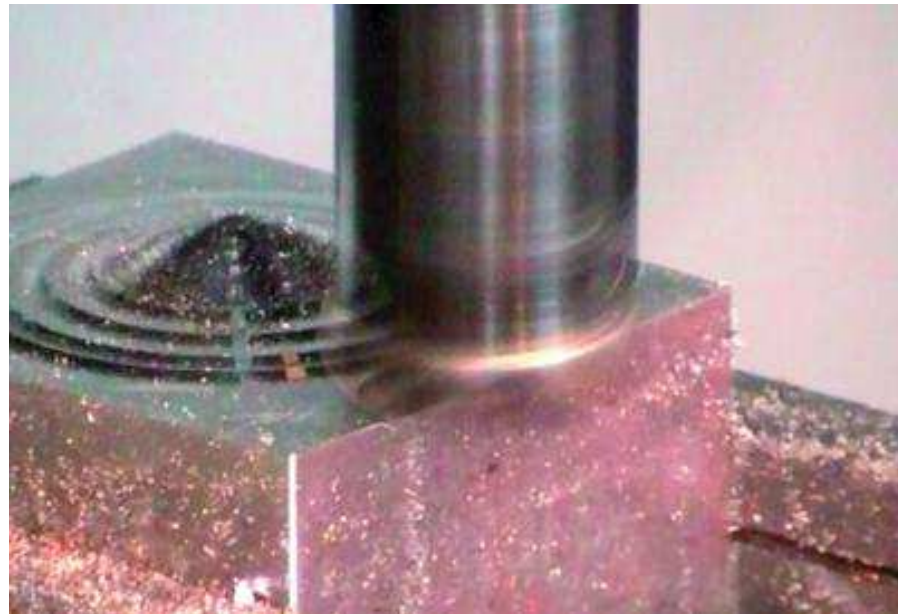
- Tato metoda obrábění se používá především u frézování (High Feed Milling) je produktivní, ale vyžaduje speciální nástrojové a strojní vybavení včetně nutnosti dodržovat určitá nezbytná pravidla NC programování ( v desetínách až jednotkách na zub  $f_z = 3 \text{ mm}$ )
- Přináší ekonomické a ekologické úspory
- **HPC** – ( High Productive Cutting )- vysokovýkonné obrábění založené na požadavku velkého úběru třísky
- Typické pro hrubovací operace a obrábění těžkoobrobitelných materiálů
- Striktní dodržování pravidel v obráběcí soustavě S-N-O
- Největší nároky na stroje i nástroje
- Provozní kapalina představuje až 20 % celkových nákladů na obrábění
- **HSPC** – ( High Speed Precision Cutting ) – vysokorychlostní přesné obrábění

# TVRDÉ FRÉZOVÁNÍ TEPELNĚ ZPRACOVANÝCH MATERIÁLŮ HSC

- při výrobě forem a zápusťek představuje inovační výrobní postup – **výrazně zkracuje výrobní časy**
- OBRÁBĚNÍ těžkoobrobitelných legovaných materiálů, jako jsou nástrojové oceli o vysoké pevnosti a tvrdosti (až 60 HRC,  $R_m > 1800$  MPa) nebo i slitiny na bázi kobaltu (Co-Ni)
- Aby bylo možné účinně aplikovat tyto obráběcí metody, je nezbytné disponovat dostatečně výkonným strojním zařízením a odpovídajícími nástroji, hlavně pak řezným materiálem.
- U obráběcích strojů jsou nejsledovanějšími veličinami zejména
  - otáčky vřetena
  - posuvové rychlosti
  - počet řízených os
  - schopnosti a rychlost řízení
- Nové koncepce frézovacích nástrojů jsou silně ovlivněny společným základem - **snaha o co nejmenší dynamické hmotnosti a nejvyšší tuhost (celé soustavy)**

# TVRDÉ FRÉZOVÁNÍ TEPELNĚ ZPRACOVANÝCH MATERIÁLŮ HSC

- tzv. spirálové kapsování, pro dokončování převážně rovinných ploch spirálové frézování a pro dokončování převládajících svislých ploch pak vrstevnicové frézování. Přitom je vhodné většinou využívat kruhový tvar břitu nástroje (z hlediska zbytkových objemů) a jednoznačně sousledného způsobu frézování
- *Hrubovací etapa – spirála*
  - *frézovací hlava Hofmeister s VBD*
  - *směsná řezná keramika ( $\varnothing 32/\varnothing 12$  mm)*
  - *čas trvání operace: 45 min*
  - *vrstevnicové frézování*  
*optimální řezné podmínky:*  
 *$vc = 360$  m.min<sup>-1</sup> ( $n = 4600$  min<sup>-1</sup>),*  
 *$fz = 0,1$  mm,*  
 *$ap = 0,5$  mm,*



# TVRDÉ FRÉZOVÁNÍ TEPELNĚ ZPRACOVANÝCH MATERIÁLŮ HSC

- *Dokončovací etapa 1. – spirála*
  - *monolitní nástroj Rübig Ø 12 mm*
  - *čas trvání operace 7 min*
  - *vrstevnicové konturování**optimální řezné podmínky:*  
 *$vc = 360 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $n = 24\,000 \text{ min}^{-1}$ ),*  
 *$fz = 0,24 \text{ mm}$ ,*  
 *$ap = 0,25 \text{ mm}$ ,*



# TVRDÉ FRÉZOVÁNÍ TEPELNĚ ZPRACOVANÝCH MATERIÁLŮ

## HSC

- *Dokončovací etapa 2. – spirála*
    - *monolitní nástroj Rübig Ø 12 mm*
    - *čas trvání operace 1,5 min*
    - *vrstevnicové a spirálové konturování*
- optimální řezné podmínky:*  
 $vc = 360 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $n = 24\,000 \text{ min}^{-1}$ ),  
 $fz = 0,18 \text{ mm}$ ,  
 $ap = 0,25 \text{ mm}$ ,



# RAPID PROTOTYPING RP

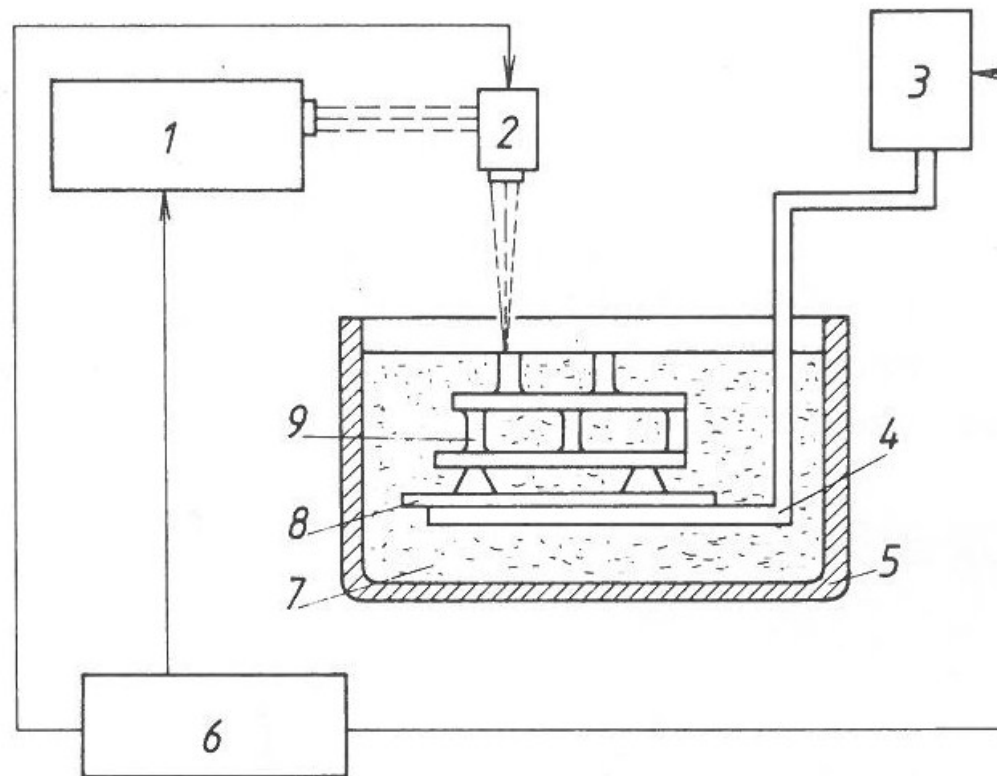
- Charakteristickým rysem všech druhů metod RP je rychlá výroba modelu, funkčního vzorku a prototypu přímo na základě souboru dat vytvořených při modelování výrobku na PC
- Bez použití forem, zápustek, lisovacích a řezných nástrojů
- Výroba součásti se provádí **postupným přidáváním materiálu po vrstvách**
- U obrábění řeznými nástroji se výroba realizuje postupným oddělováním materiálu ve tvaru třísek

# RAPID PROTOTYPING RP

- Obecný postup
  - Na PC se vytvoří prostorový model výrobku
  - Pomocí speciálního programového vybavení se vytvoří příčné řezy součásti v rovinách od 0,05 – 0,2 mm podle tvaru součásti a požadované přesnosti rozměrů výrobku
  - Získaná data slouží pro vlastní výrobní zařízení
  - Výroba součásti

# RAPID PROTOTYPING RP - druhy

- STEREOLOGRAFIE – princip spočívá ve vytvrzování tenkých vrstev fotopolymeru citlivých na UV záření, paprskem vhodného laseru



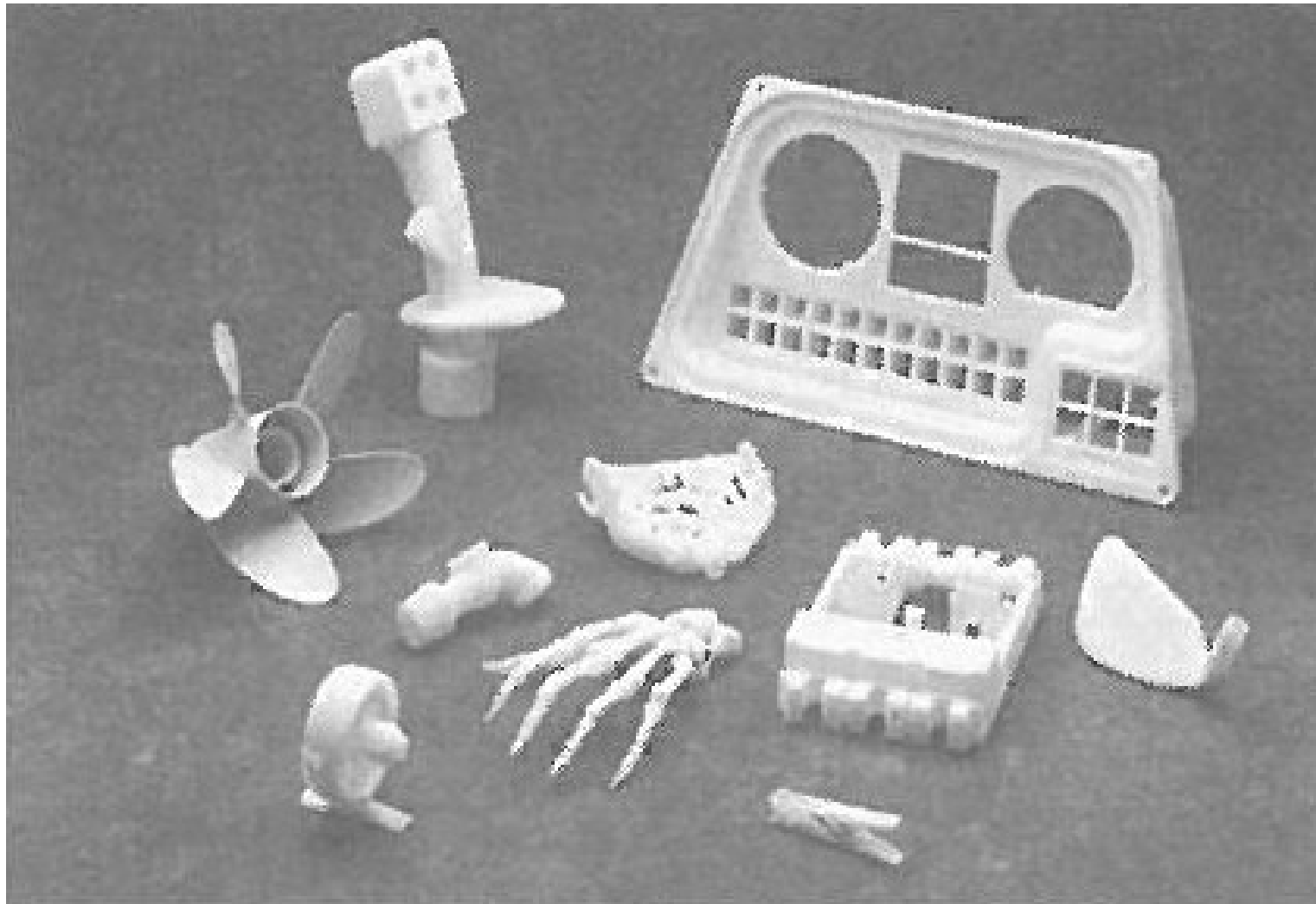
Obr. 5.1. Zařízení pro stereolitografii

a) princip

1 – laser, 2 – pracovní hlava laseru, 3 – systém pro posuv nosné desky, 4 – nosná deska, 5 – pracovní vana, 6 – CNC řídicí systém, 7 – fotopolymer, 8 – podložka, 9 – vyráběná součást

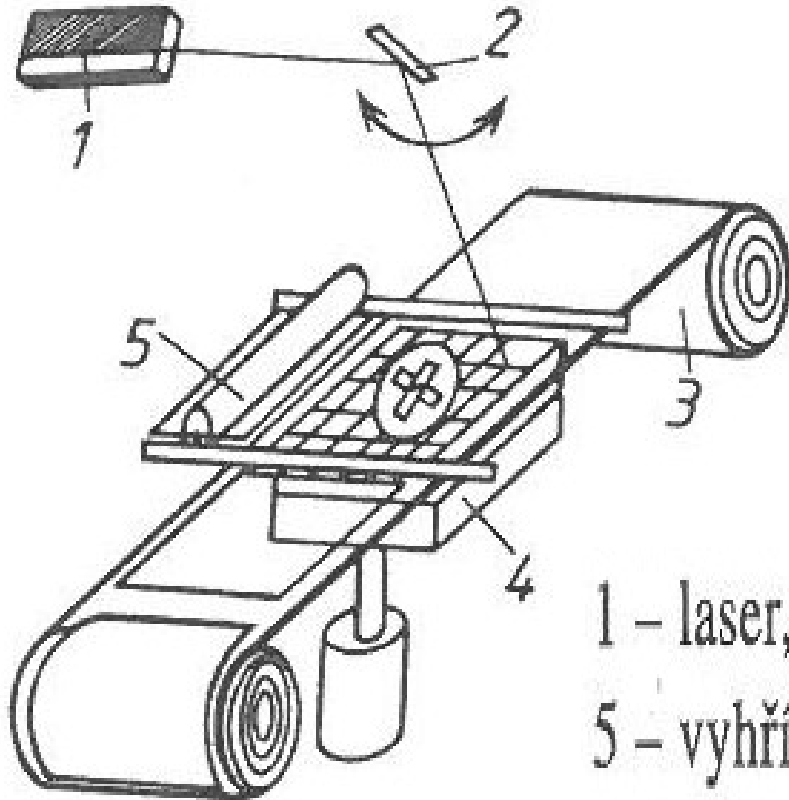
# RAPID PROTOTYPING RP - STEREOLITOGRAFIE

PŘÍKLADY VÝROBKŮ VYROBENÝCH METODOU STEREOLITOGRAFIE



# RP - TECHNOLOGIE LOM

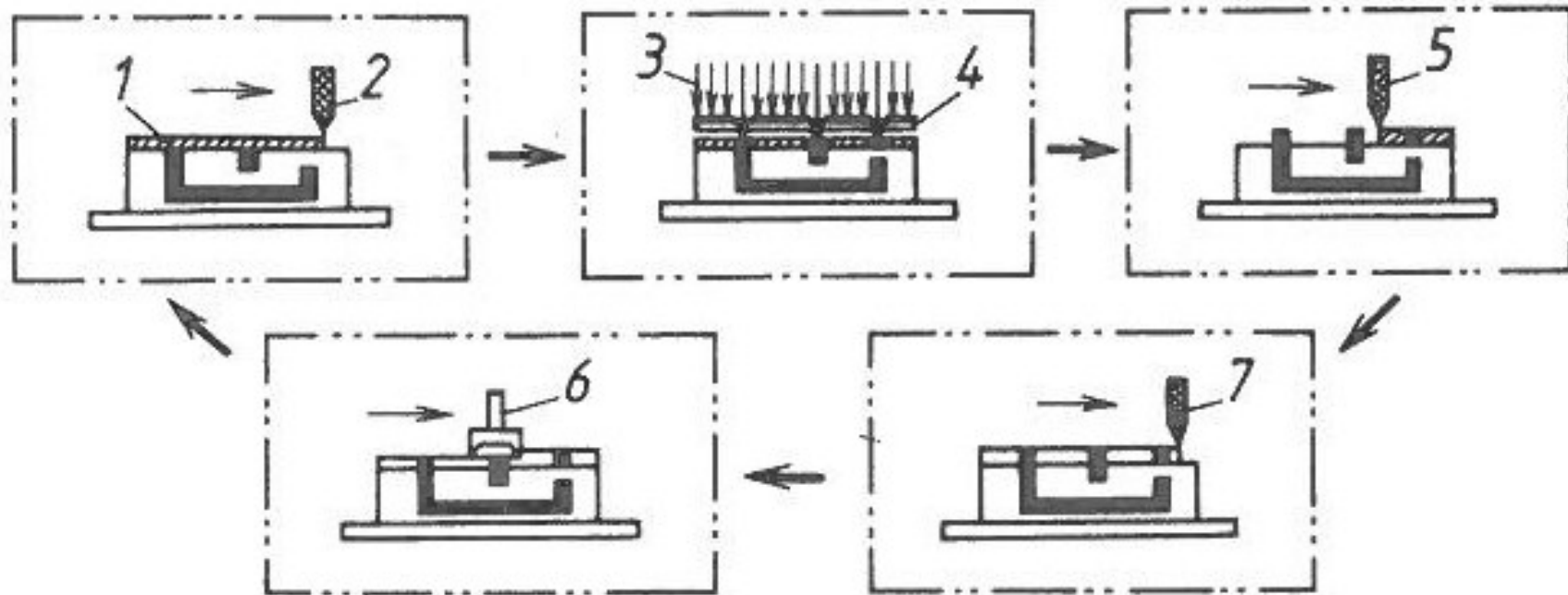
- LEPENÍ VRSTEV – spočívá ve vyřezávání tvarů jednotlivých vrstev ze speciální fólie laserem a jejich postupném vrstvení nalepováním na sebe
- Princip LOM



1 – laser, 2 – zrcadlo, 3 – role fólie, 4 – podložka,  
5 – vyhřívané přítlačné válce

# RP - TECHNOLOGIE SGC

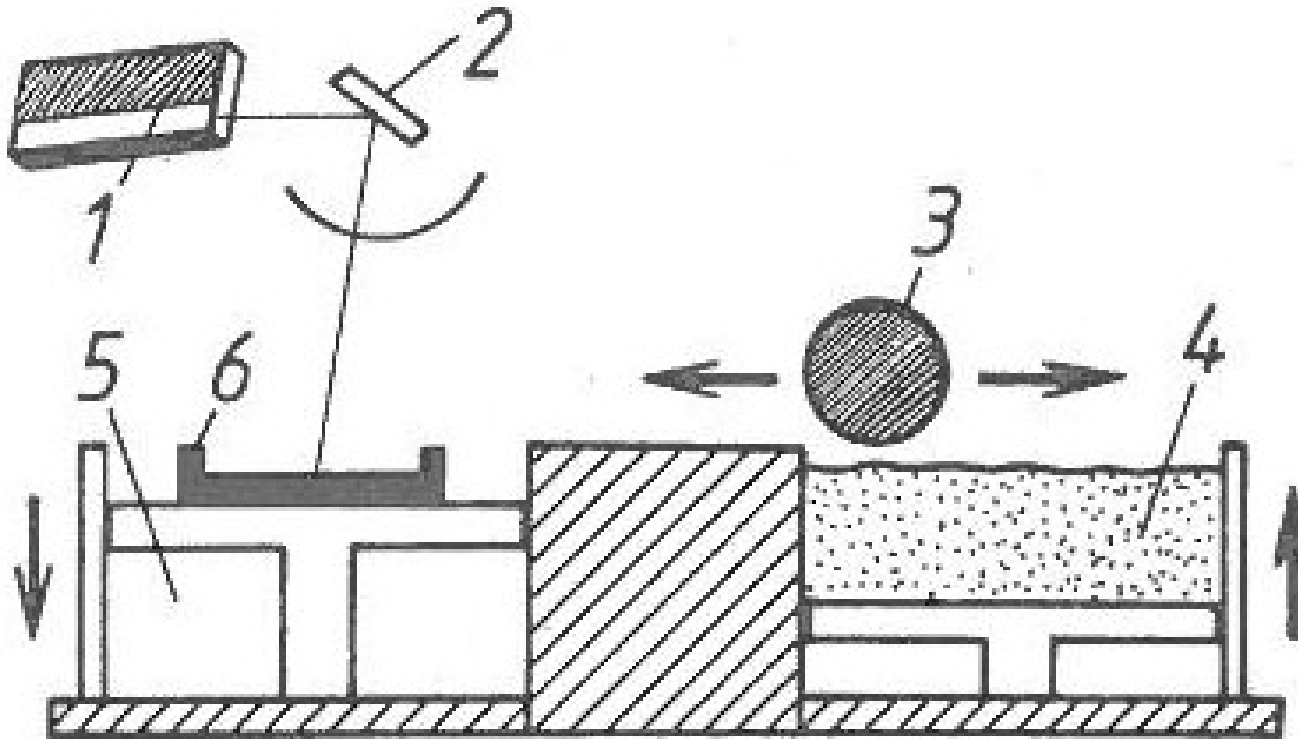
- VYTVRZOVÁNÍ VRSTEV – je založen na vytváření součásti po vrstvách vytvrzováním fotonolymérů
- Princip technologie **SGC**



1 – obrobek, 2 – nanášený fotonolymér, 3 – vytvrzování fotonolyméru osvitom UV zářením, 4 – negativní maska, 5 – odstranění přebytečného fotonolyméru, 6 – fréza, 7 – nanášení vrstvy vosku

## RP - TECHNOLOGIE SLS

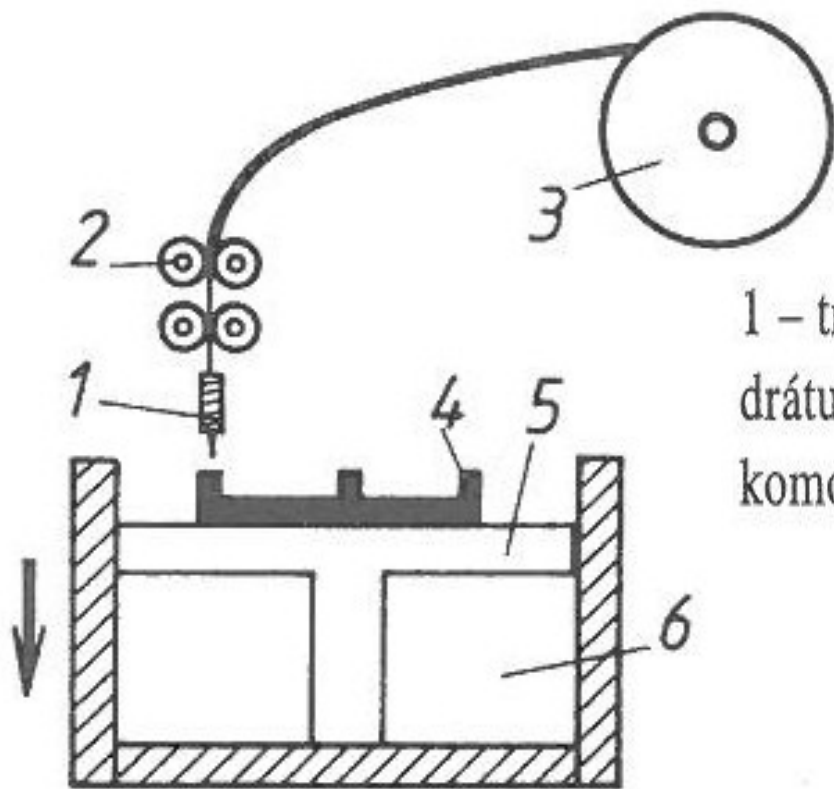
- Spočívá ve vytváření vrstev nanášením materiálu ve formě prášku a jeho následným slinováním paprskem laseru



1 – laser, 2 – zrcadlo, 3 – válec pro dopravu prášku materiálu obrobku, 4 – zásobník prášku, 5 – pracovní komora, 6 – vyráběná součást

## RP - TECHNOLOGIE FDM

- Součást je vytvářena postupným vrstvením materiálu, který vychází z trysky pohybující se nad pracovním stolem – materiál ve tvaru drátu je v trysce ohříván na teplotu asi  $1^{\circ}\text{C}$  nad teplotu tání, při styku s vytvářeným povrchem tuhne a vytváří požadovanou vrstvu – vhodné pro polyamid, polyetylén nebo vosk



1 – tryska, 2 – systém podávání drátu, 3 – zásobník drátu, 4 – obrobek, 5 – nosná deska, 6 – pracovní komora

## RP - TECHNOLOGIE MJS

- **NANÁŠENÍ VRSTEV MATERIÁLU TRYSKOU** – spočívá v zahřátí materiálu ze kterého má být součást vyrobena a v postupném nanášení vrstev materiálu tryskou
- V zásobníku je materiál – většinou ve formě prášku, ať již čistého kovu, keramiky nebo směsi kovů, příp. keramiky s vhodným pojivem – zahříván na teplotu a pístovým systémem vytlačován tryskou
- Cyklus obdobný jak u FDM
- Pro součásti z ušlechtilých ocelí, titanu, siliciumkarbidu, oxidu hliníku, apod...

## RP - TECHNOLOGIE **DSPC**

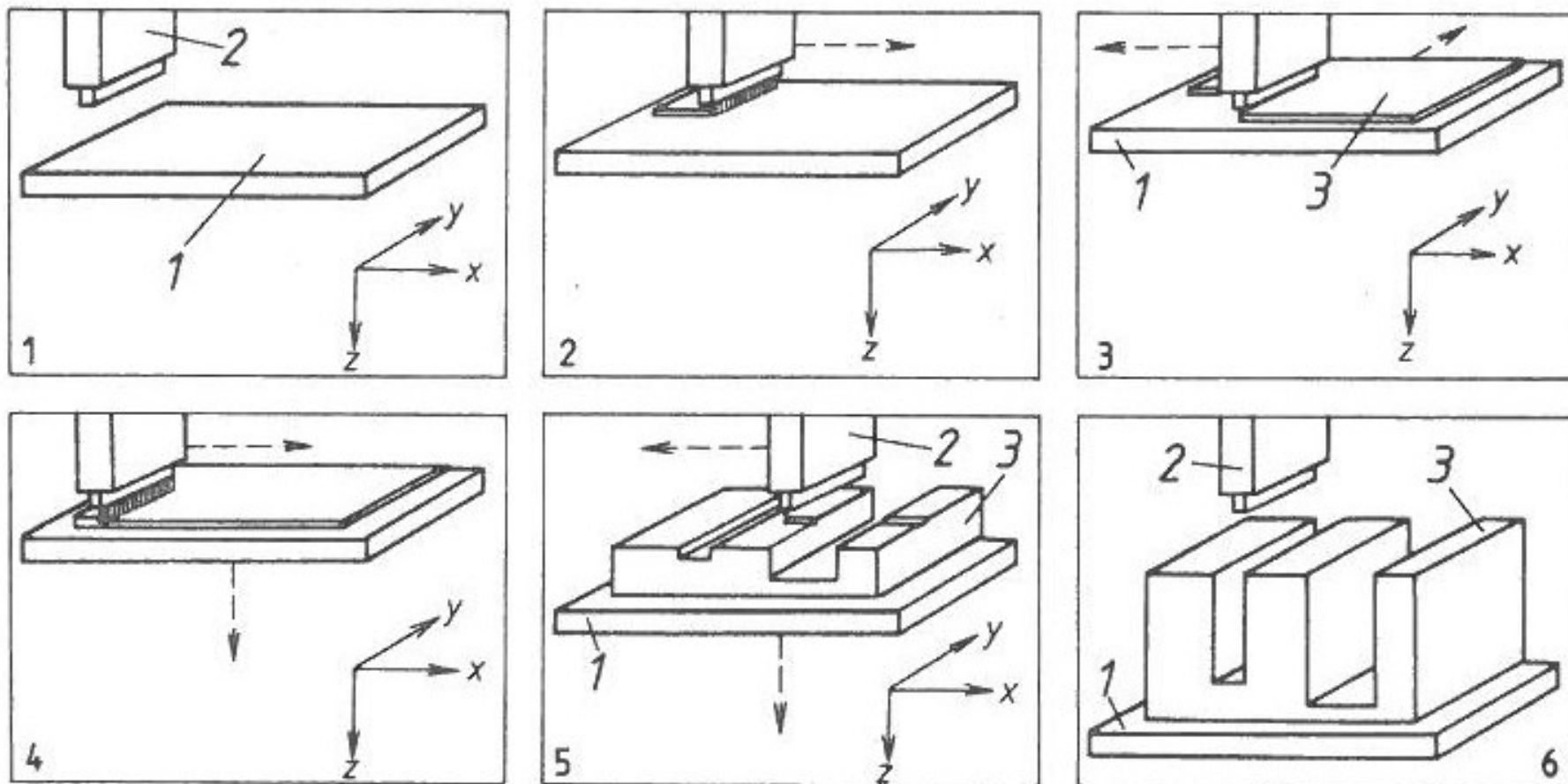
- Princip obdobný jako u **SLS**
- Výchozí materiál – keramický prášek je spojován tekutým pojivem
- Spočívá ve vytváření vrstev nanášením keramického prášku spojovaného tekutým pojivem a jeho následným slinováním paprskem laseru
- Nanášení pojiva se provádí pomocí Ink-Jet hlavy, jejíž pohyb je řízen PC

## RP - TECHNOLOGIE **MM 3D P** a **BPM**

- Metody využívají princip inkoustových tiskáren
- Jsou založeny na tlakovém nanášení materiálu ( termoplastu) ve formě kapek a jejich následném vytvrzení
- Cíleným nanášením dalších kapek na již nanesený materiál se vyrobí celá součást
- Technologie **MM 3D P** pracuje se dvěma tlakovými hlavami, jedna materiál nanáší a druhá hlava ho tvaruje
- Technologie **BPM** pracuje pouze s jednou tlakovou hlavou s pěti stupni volnosti

# RP - TECHNOLOGIE M-J-M

- Princip spočívá v nanášení jednotlivých vrstev termopolymeru pomocí speciální tlakové pracovní hlavy
- Tlaková pracovní hlava má 96 trysek – každá z nich je samostatně řízena programem



1 – nosná deska, 2 – tlaková hlava, 3 – vyráběná součást

# TRENDY VÝVOJE RP

- Prudký rozvoj technologií RP je v současné době zaměřen na
  - Výrobu součástí z plastů plněných různými druhy vláken ( skelnými, kevlarovými, uhlíkovými, apod.), keramických materiálů a kovů
  - Využití laseru pro nanášení materiálů kde je práškový materiál taven přímo v pracovní hlavě. Jednotlivé stopy se kladou vedle sebe a součást se dále opracovává třískovým obráběním
  - Zvýšení přesnosti rozměrů vyrobené součásti ( současná přesnost je 1% rozměrů součásti
  - Vývoj nových principů
- Kromě výroby prototypů se technologie RP zaměřují na uplatnění pro
  - Rychlou a cenově výhodnou výrobu *koncepčních modelů* ( *Rapid Modelling*)
  - Výrobu nástrojů, forem, a přípravků ( Rapid Tooling)
  - Kusovou a malosériovou výrobu součástí a výrobu náhradních dílů ( Rapid Manufacturing)

# Zdroje:

- **Suché obrábění snižuje výrobní náklady, Nomenklatura:** [Obráběcí stroje a technologie](#), Kód článku: 030419 Vyšlo v MM : 2003 / 4, 23.04.2003 v rubrice Trendy / Obrábění, Strana 44
- **Akademie CNC obrábění**, Článek vznikl za spolupráce Vysokého učení technického v Brně, FSI, ÚST, Odboru technologie obrábění, s firmou Siemens a redakcí Technického týdeníku, Ing. Aleš Polzer, Ph.D
- **ŘASA J., POKORNÝ P., GABRIEL V.**, Strojírenská technologie 3, díl 2., SCIENTIA. PRAHA, 2001, ISBN 80-7183-227-8