

Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A2: Rozvoj v oblasti distanční výuky, online výuky a blended learning

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Počítačová grafika 3D

Zdeněk Kůs



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



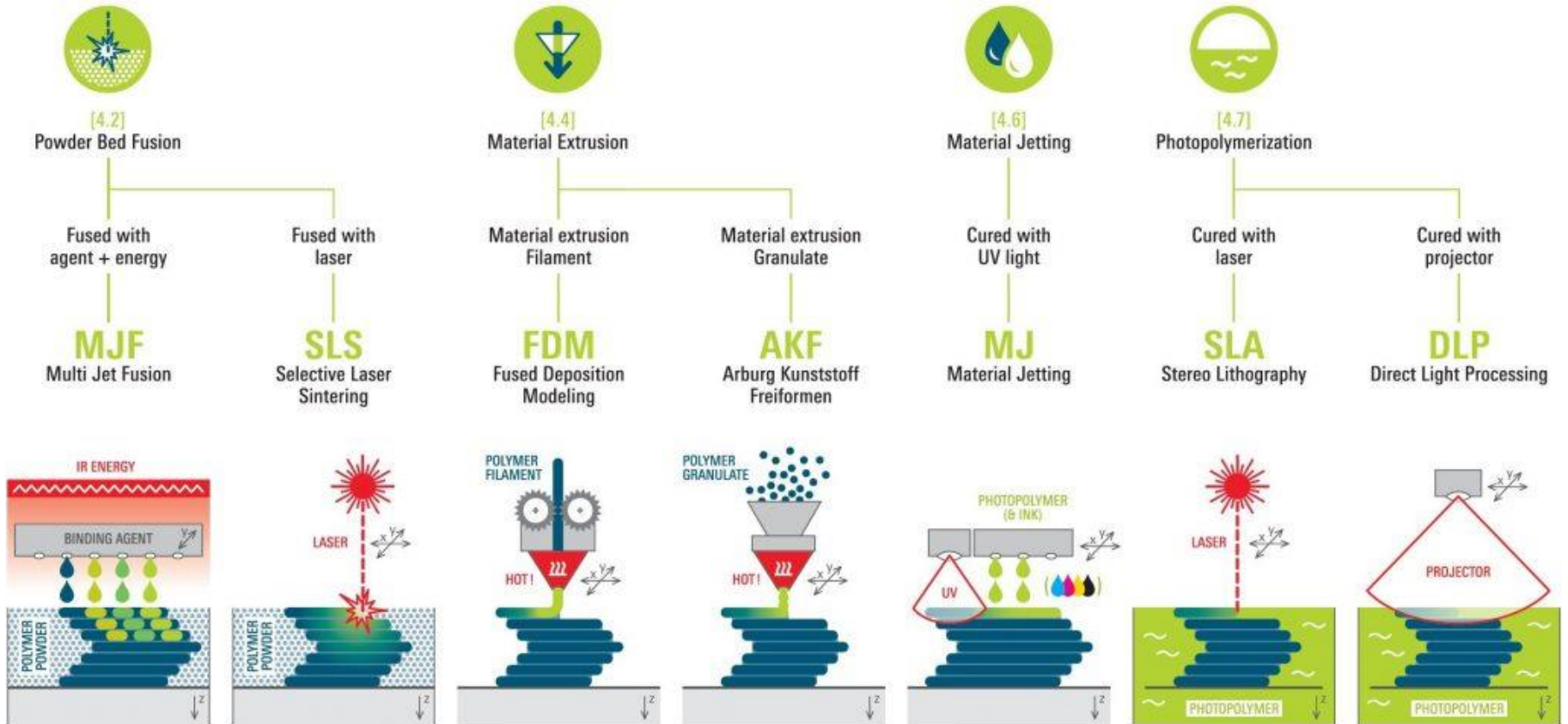
Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

PLASTY

Plasty



MJF

MJF (Multi Jet Fusion)

- Hewlett Packard (2014)
- tisk spékáním polymerového prášku.
- spojovadlem je rozprašovaný inkoust (pomáhá absorpci IR záření práškem)
- vrstva prášku se ohřeje se na teplotu blízkou teplotě spékání.
- tisková hlava stříká kapičky inkoustu
- IR lampa vytvrdí postříkaná místa

MJF (Multi Jet Fusion)

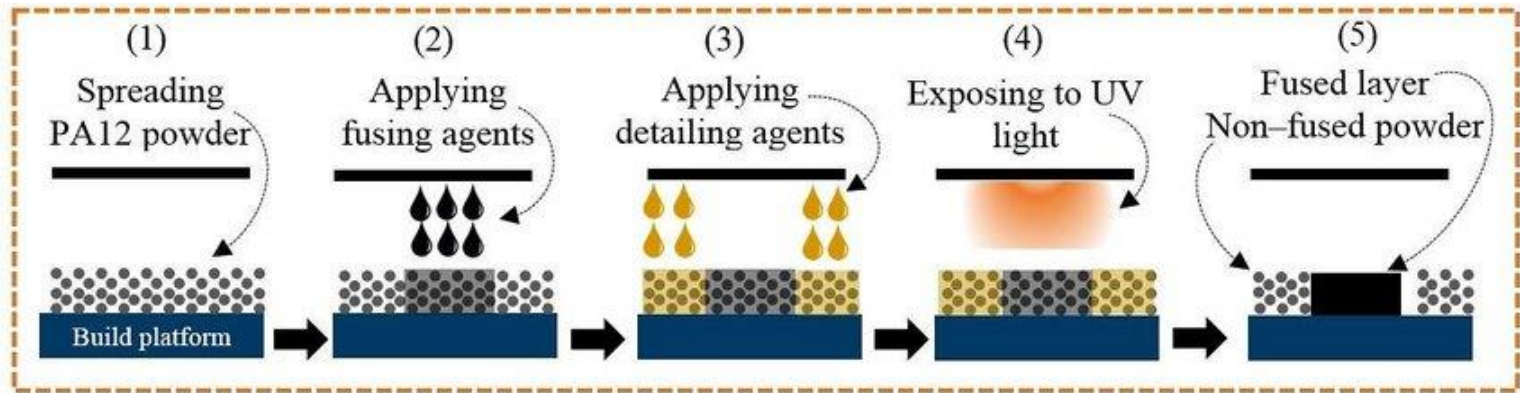
Výhody

- vhodné pro sériovou výrobu
- vysoké rozlišení a detaily
- úspora materiálu v porovnání s metodou SLS
- rychlejší než SLS

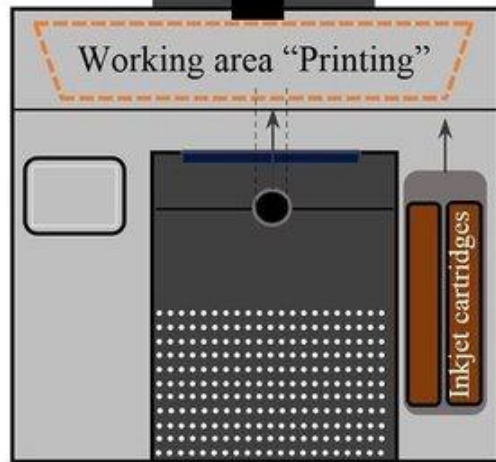
Nevýhody

- cena
- porézní povrch
- patentováno HP

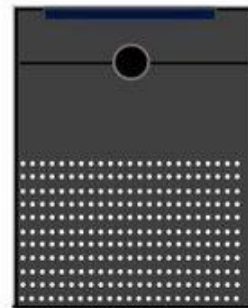
MJF (Multi Jet Fusion)



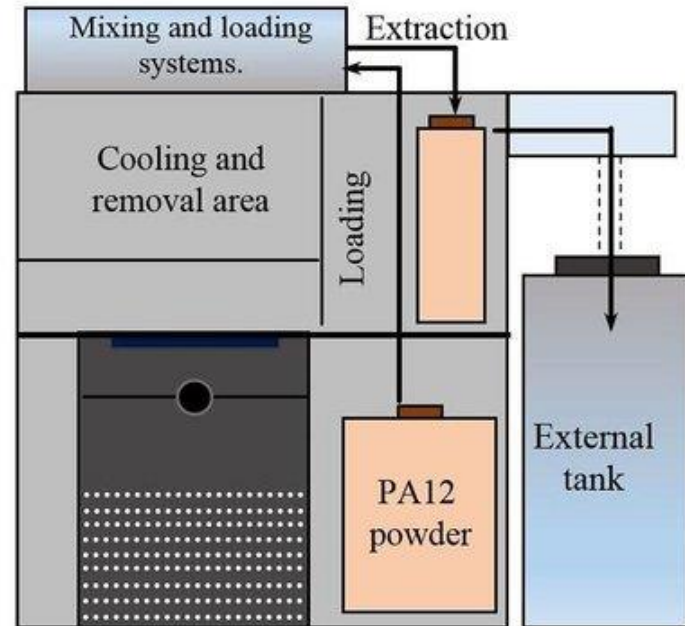
Fusing technique



(a) HP Jet Fusion 3D Printer 4200

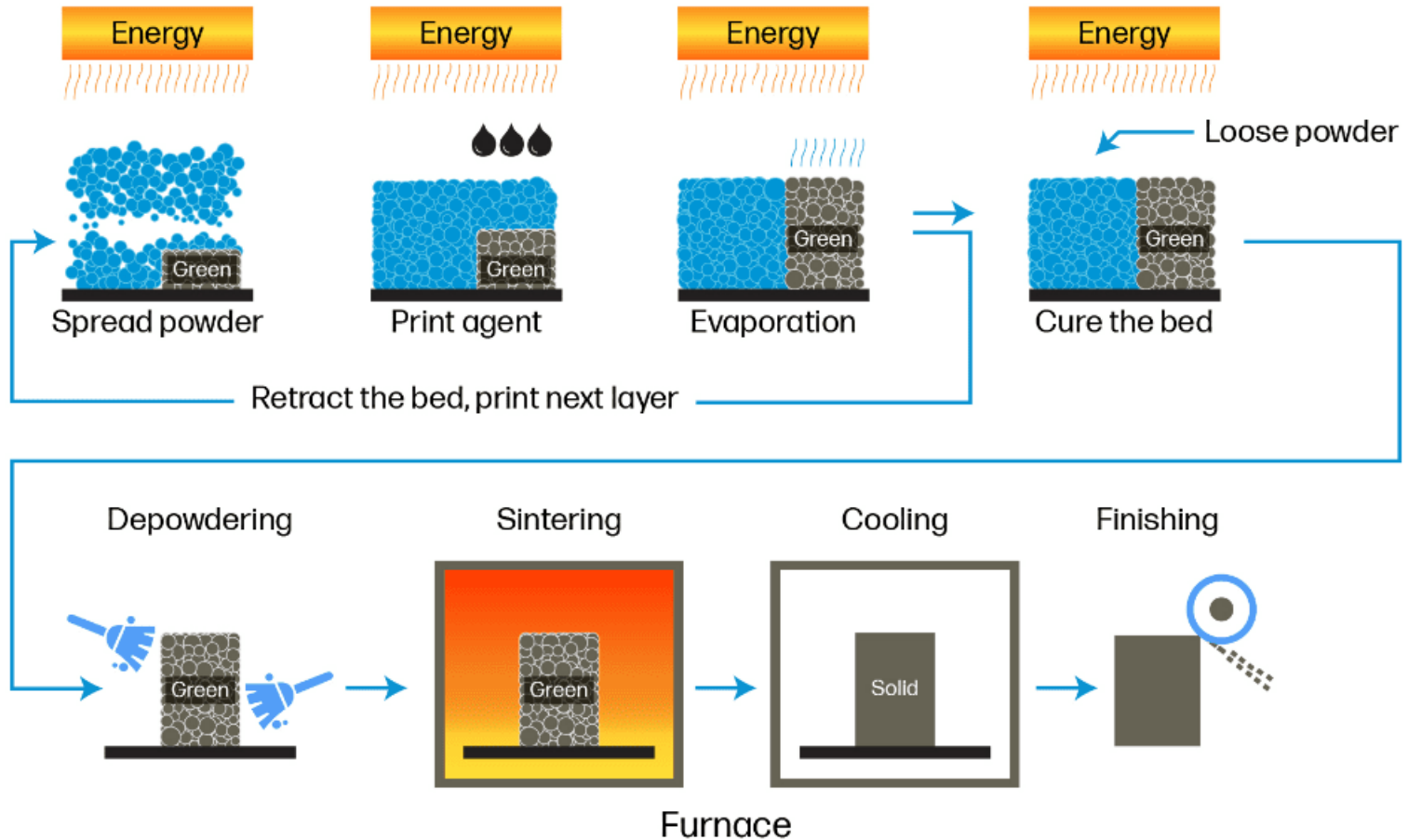


(b) 3D build unit



(c) Processing Station

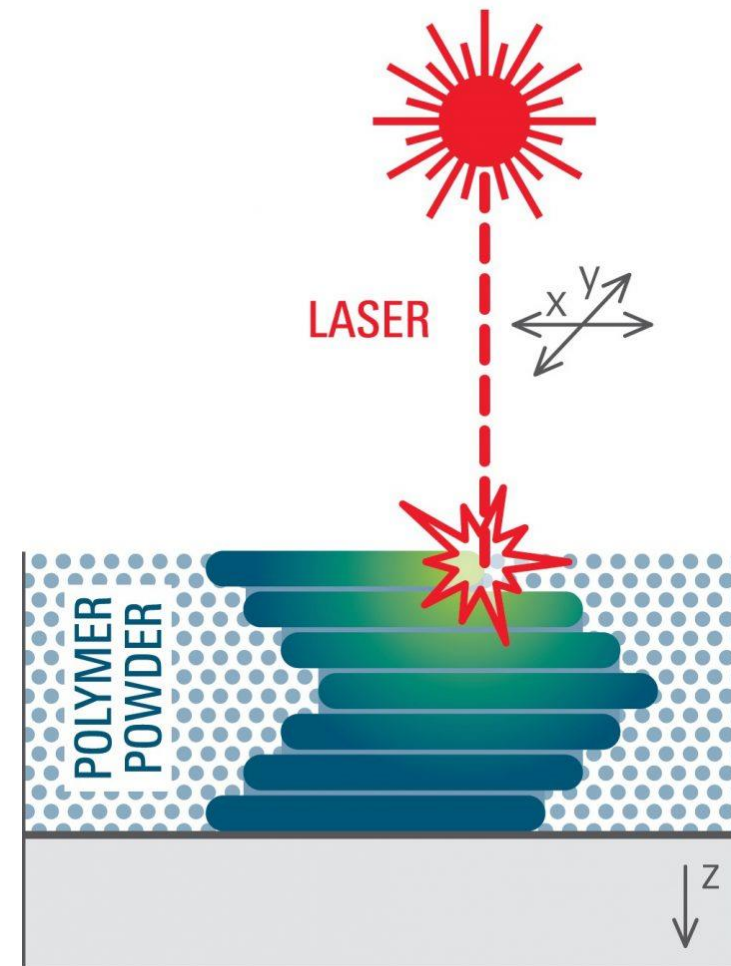
HP Metal jet



SLS

SLS (Selective Laser Sintering)

- Práškový materiál je spékán pomocí tepelné energie laseru paprskem.



<https://matca.cz/technologie/aditivni-technologie/>

SLS (Selective Laser Sintering)

- Práškový materiál je spékán pomocí tepelné energie laseru paprskem.
- Patentováno 1987
- Spékání práškových materiálů laserem
- Postupně se spékají jednotlivé vrstvy
- energii dodá laser, spékací teplota se pohybuje mezi poloviční hodnotou teploty tavení a teplotou tavení.
- Spékáním vzniká pevný objekt.
- Ve srovnání s SLA jsou výrobky přesnější a pevnější.
- Povrch součástí - velmi porézní
- Výrobky nejsou vhodné pro pohledové díly (porézní povrch)
- Vhodné materiály – např. nylon nebo polystyren, keramika nebo plasty (Nylon, ABS, PET atd.)

SLS (Selective Laser Sintering)

Výhoda:

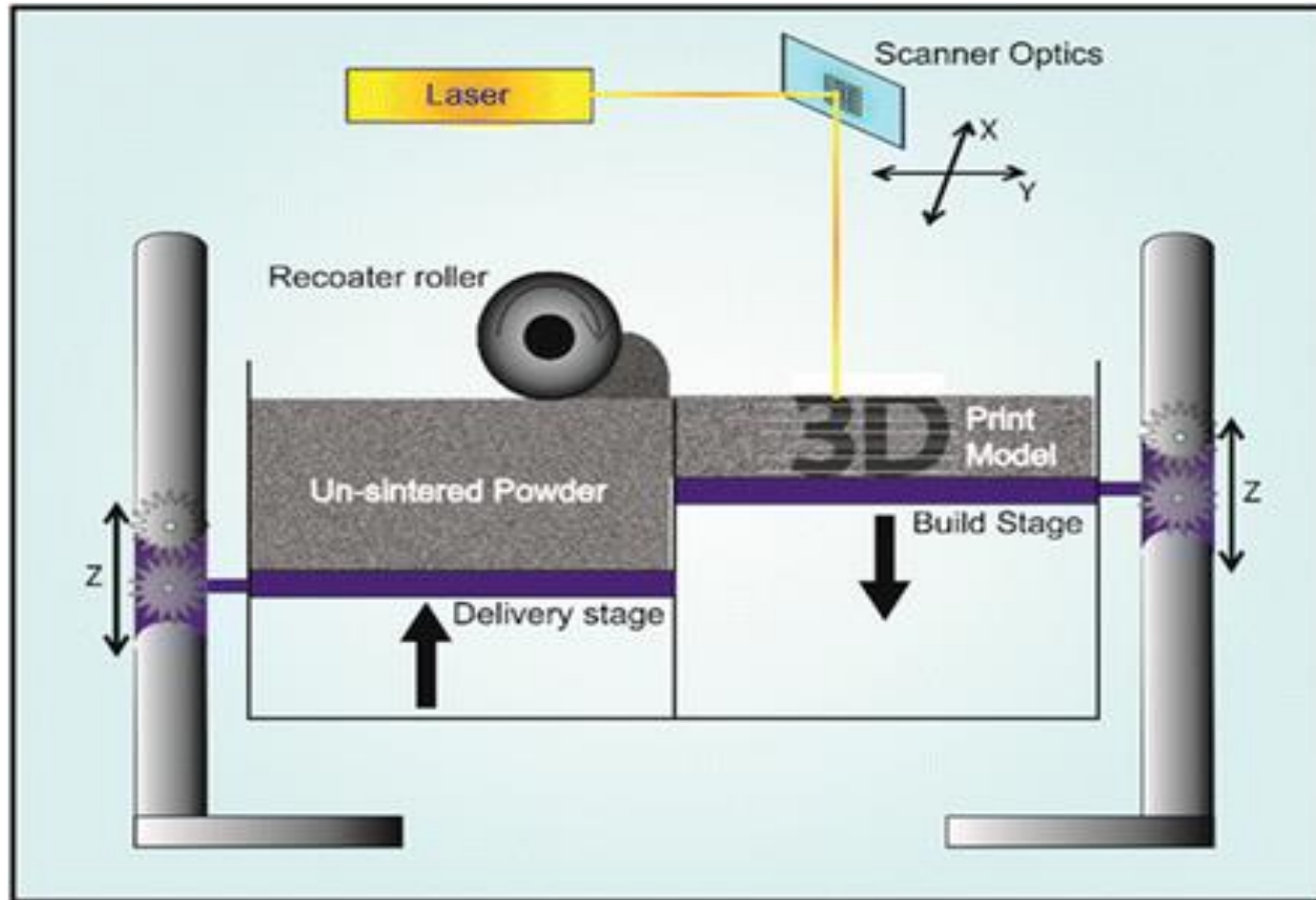
- nízká pořizovací cena materiálu
- přebytečný prášek se může použít při výrobě dalšího model
- nejsou zapotřebí podpory - výtisk je vždy obklopen zbytkovým nespečeným materiálem
- relativně silné a odolné výtisky
- dobrá chemická odolnost
- bohaté možnosti povrchové úpravy

Nevýhoda:

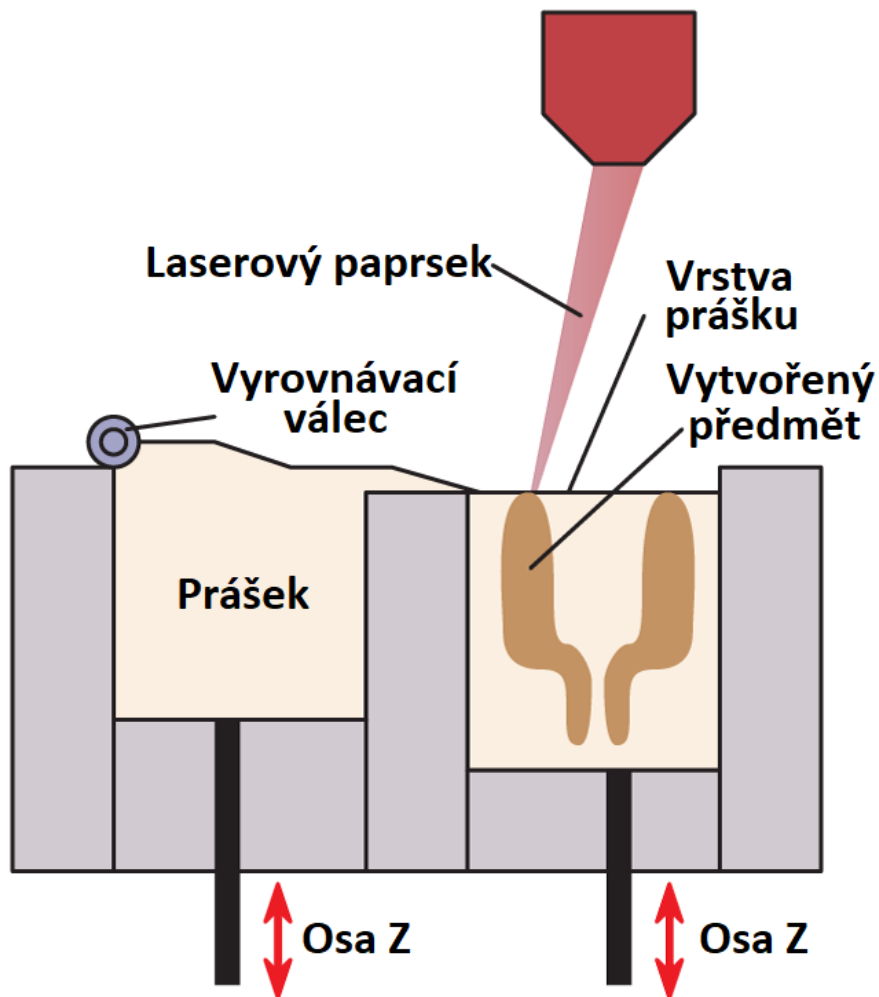
- vysoká pořizovací cena stroje (tiskárny)
- nedokonalý povrch, Výtisky mají na povrchu póry
- minimální velikost vrstvy: cca 0,06 mm
- pořizovací cena tiskárny: cca 5 milionů Kč, vysoké náklady tisku
- limitovaný rozsah použitelných materiálů
- možnost smršťování výtisku

Příklady realizace tiskárny

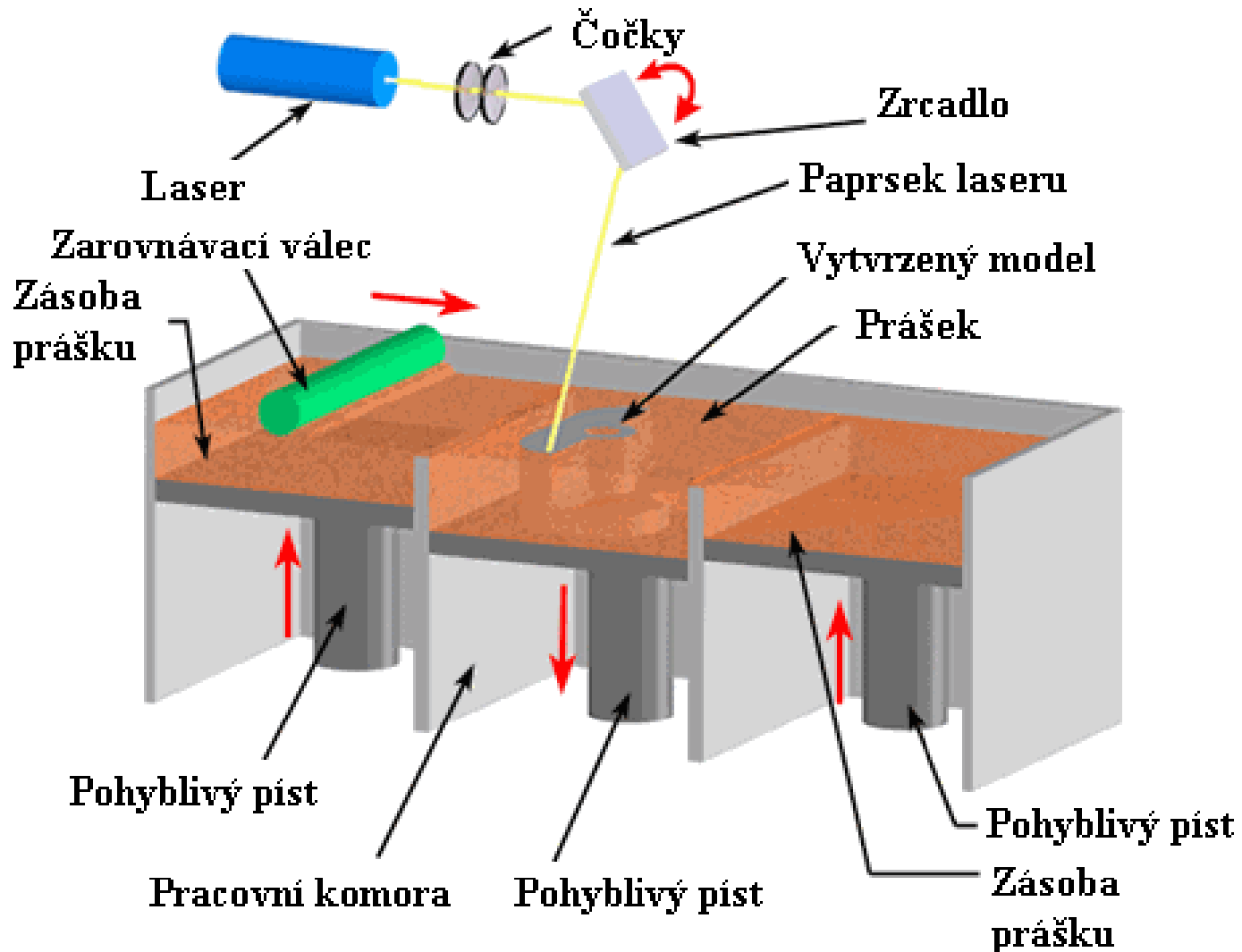
SLS (Selective Laser Sintering)



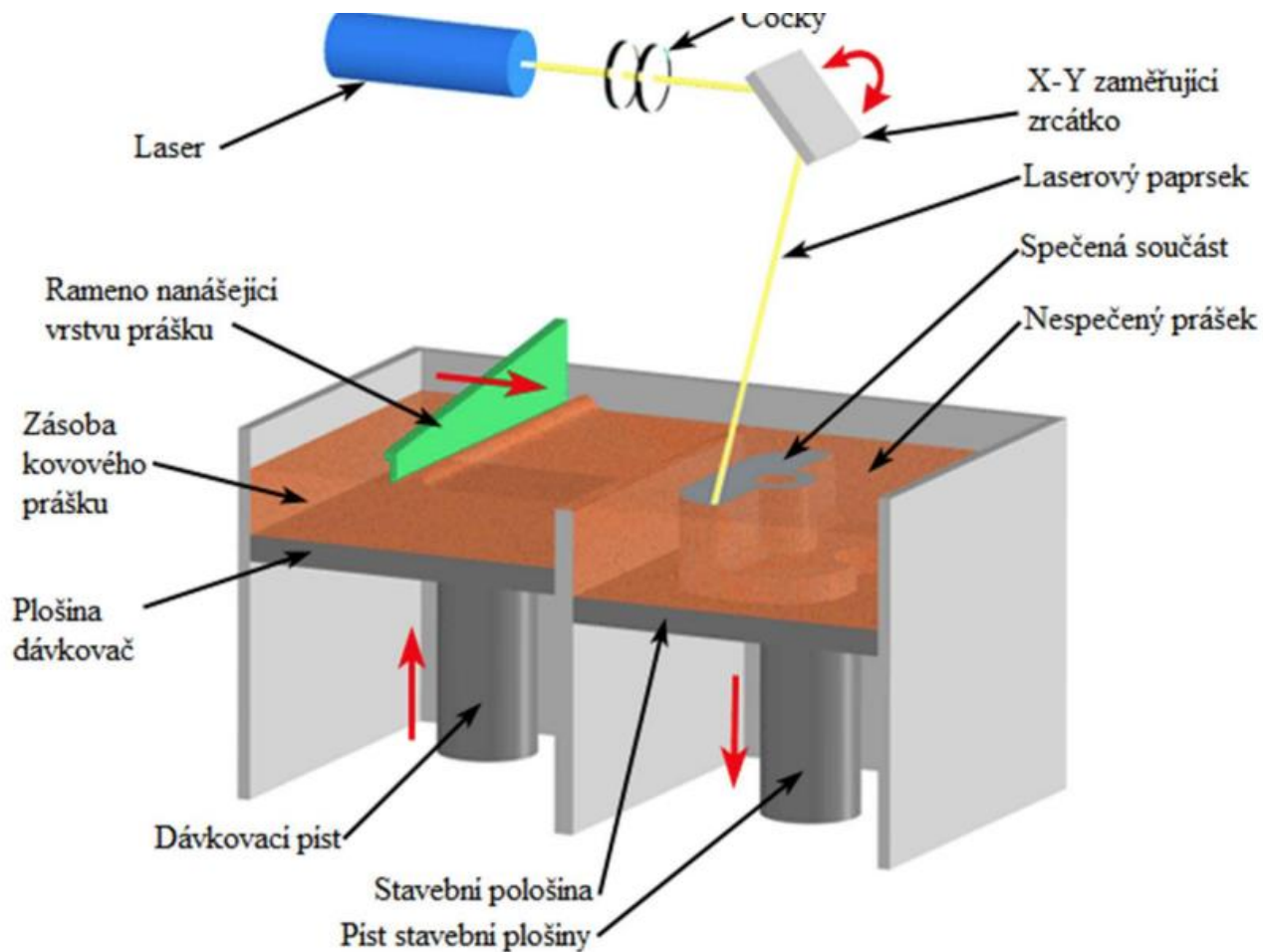
SLS (Selective Laser Sintering)



SLS (Selective Laser Sintering)



SLM (Selective Laser Melting) (DMLS Direct Metal Laser Sintering)



FDM

FMD – Fused Deposition Modelling

Vytváření tenkých vrstev z roztaveného materiálu, které jsou na sebe postupně nanášeny, dokud není dosaženo výsledného tvaru.

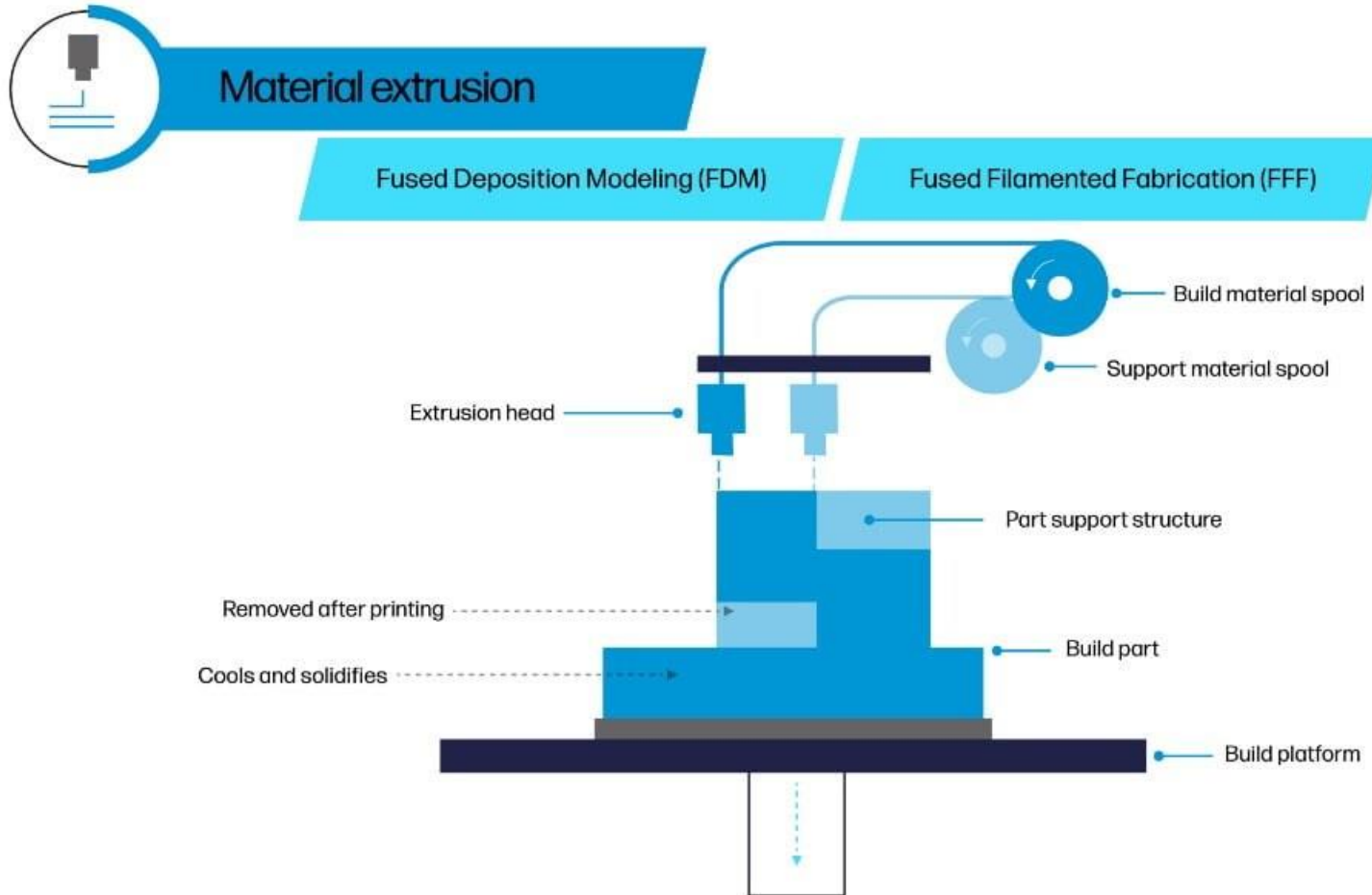
Vstupní materiál ve formě tenkých cívek, nebo prášků je roztaven tiskové hlavě, odkud je vytlačován malým otvorem na cílový povrch.

Oproti technologiím SLA nebo SLS je možné použít širší spektrum materiálů. Mezi nejběžněji tisknuté materiály patří polymery ABS, PLA, nylon, PET, ale technologie umožňuje tisk vosků, keramických hmot.

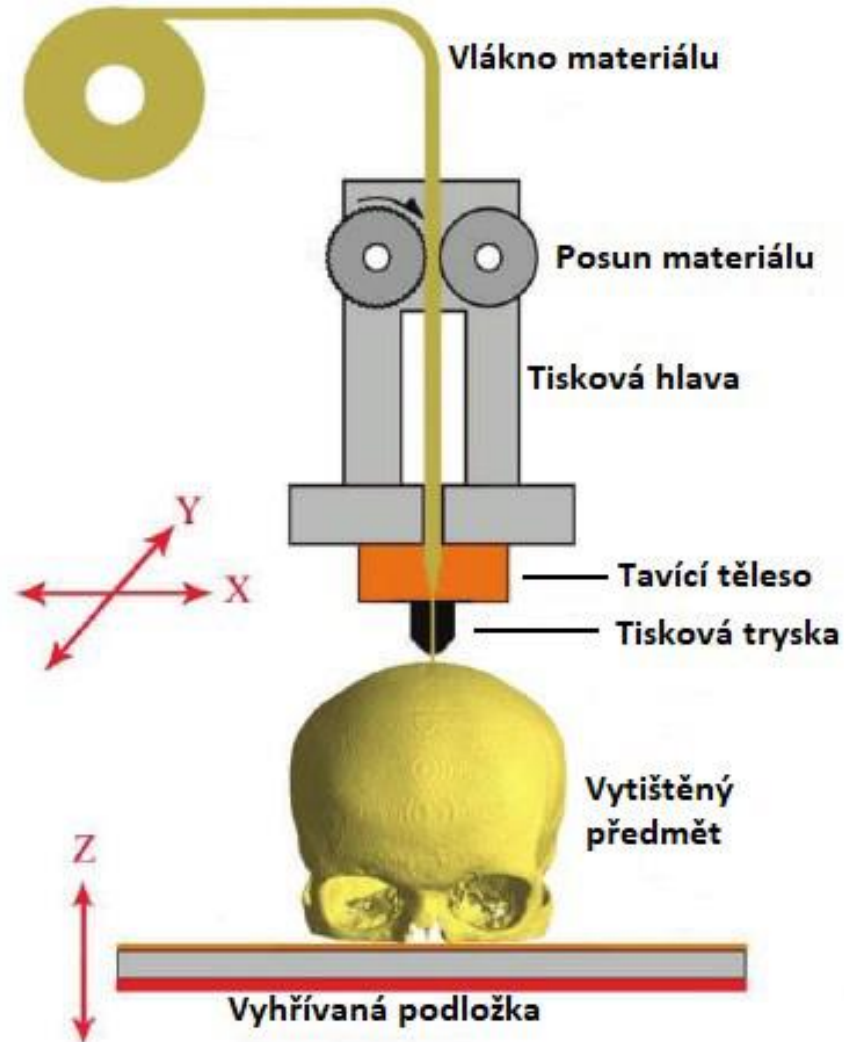
Díly vytištěné metodou FDM jsou díky silným vazbám mezi jednotlivými vrstvami vhodné pro výrobu funkčních dílů.

Nevýhodou technologie je špatný povrch součástí. Na vytištěných dílech jsou vidět jednotlivé vrstvy a na vodorovných plochách jde vidět dráha nástroje

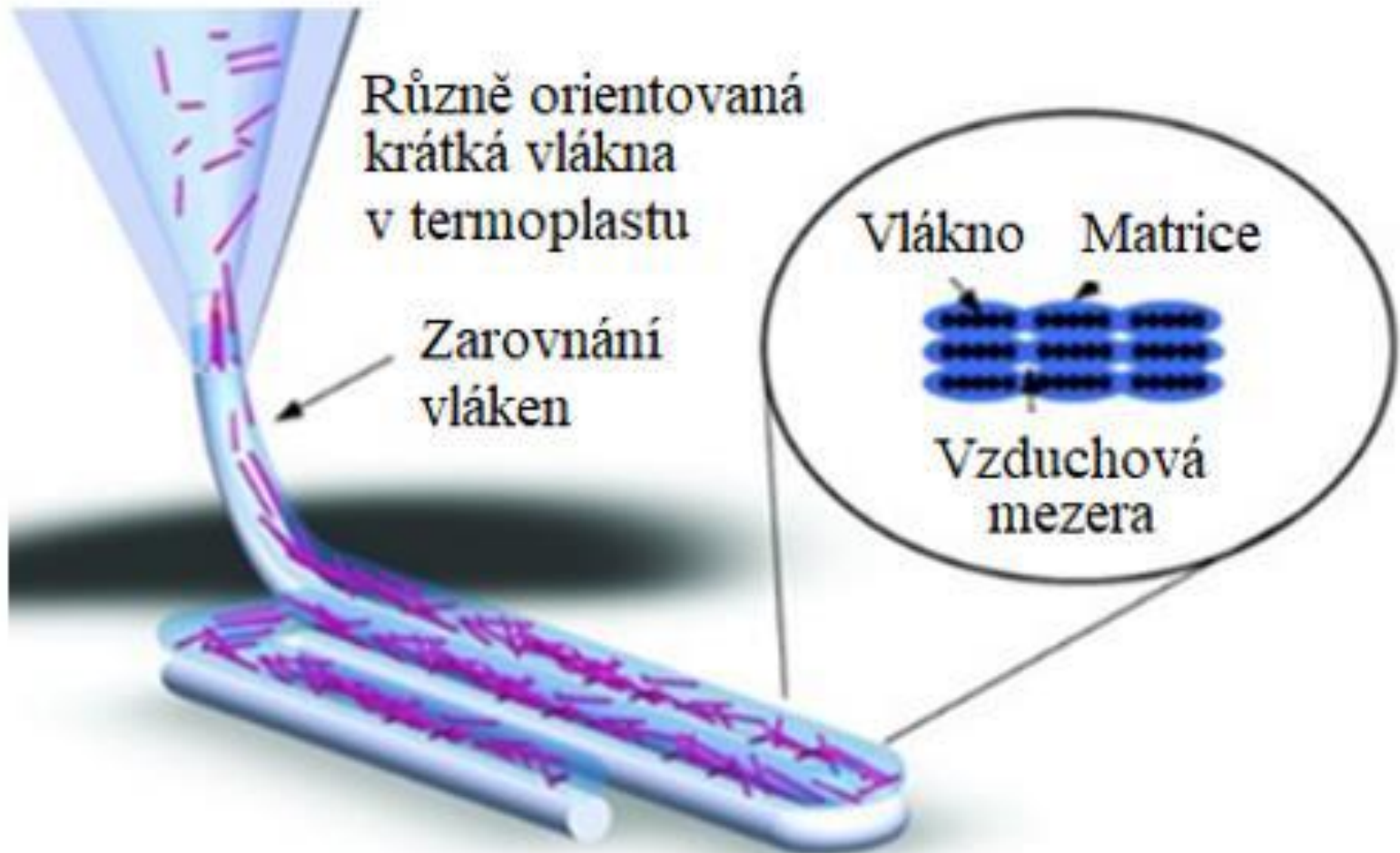
FDM



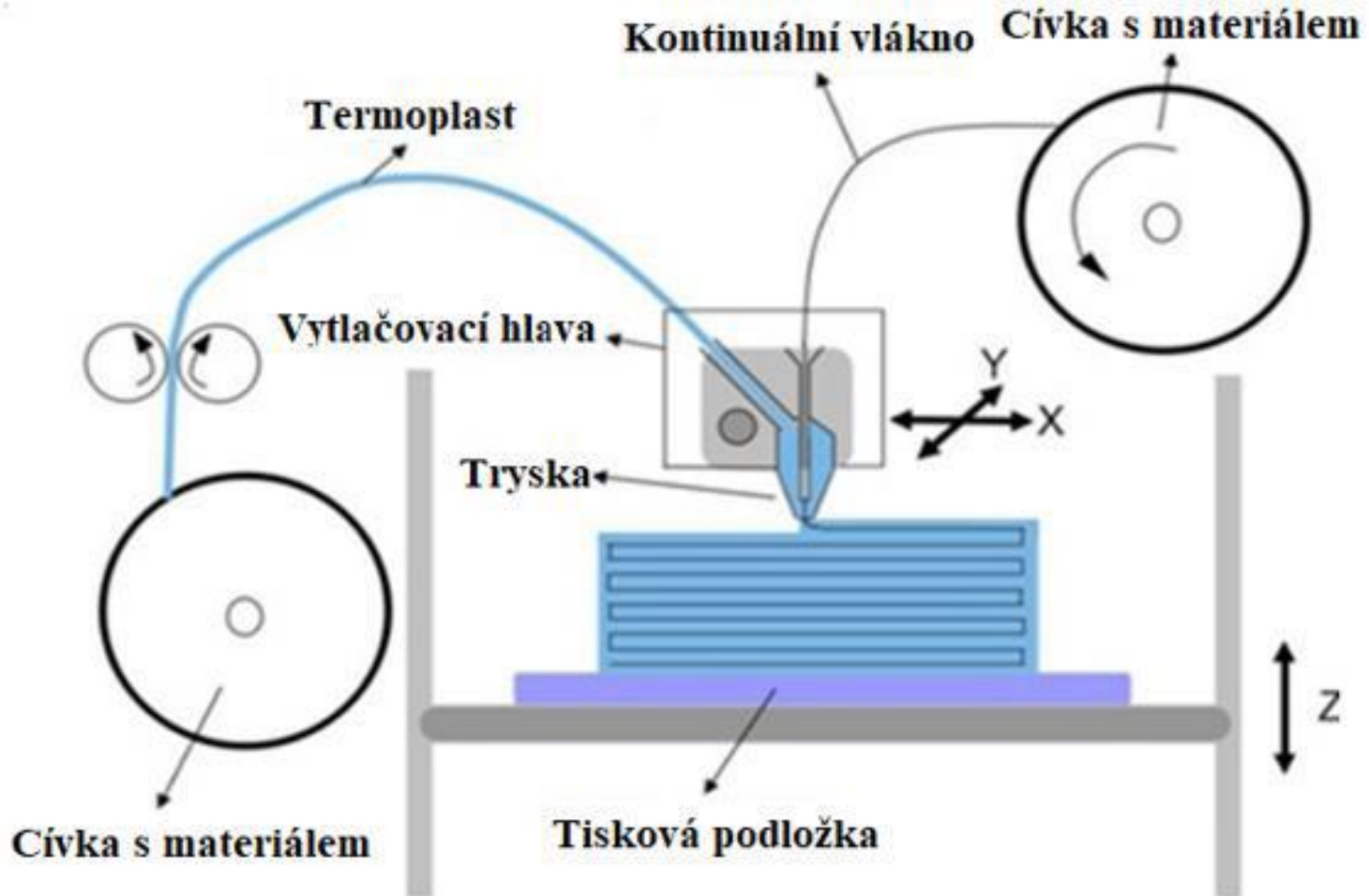
FDM – Fused Deposition Modelling



FDM – Fused Deposition Modelling

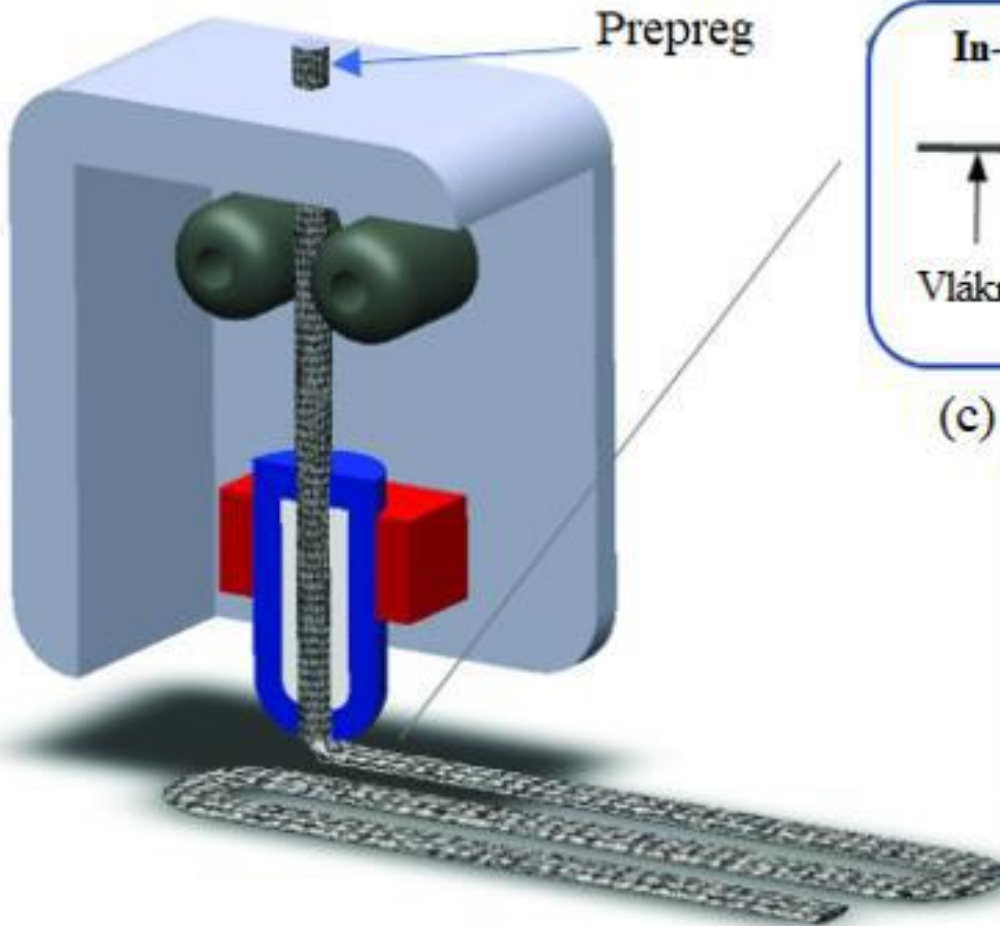


FDM – Fused Deposition Modelling

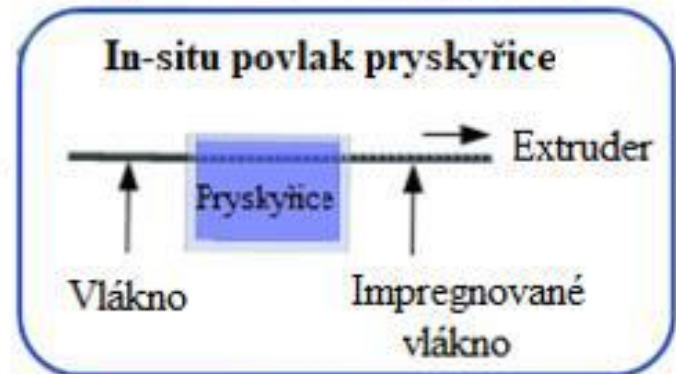


FDM – Fused Deposition Modelling

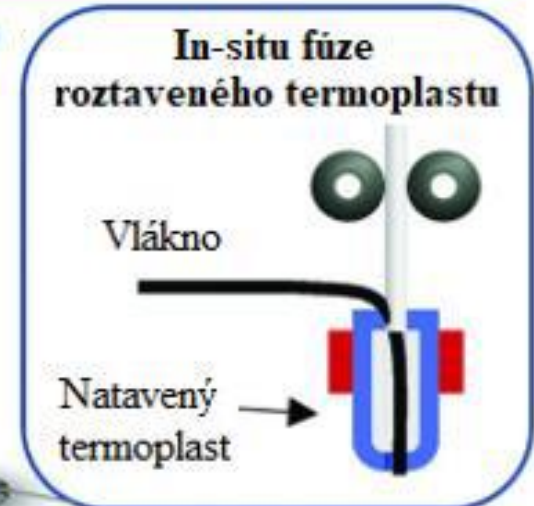
(a) Fused Filament Fabrication



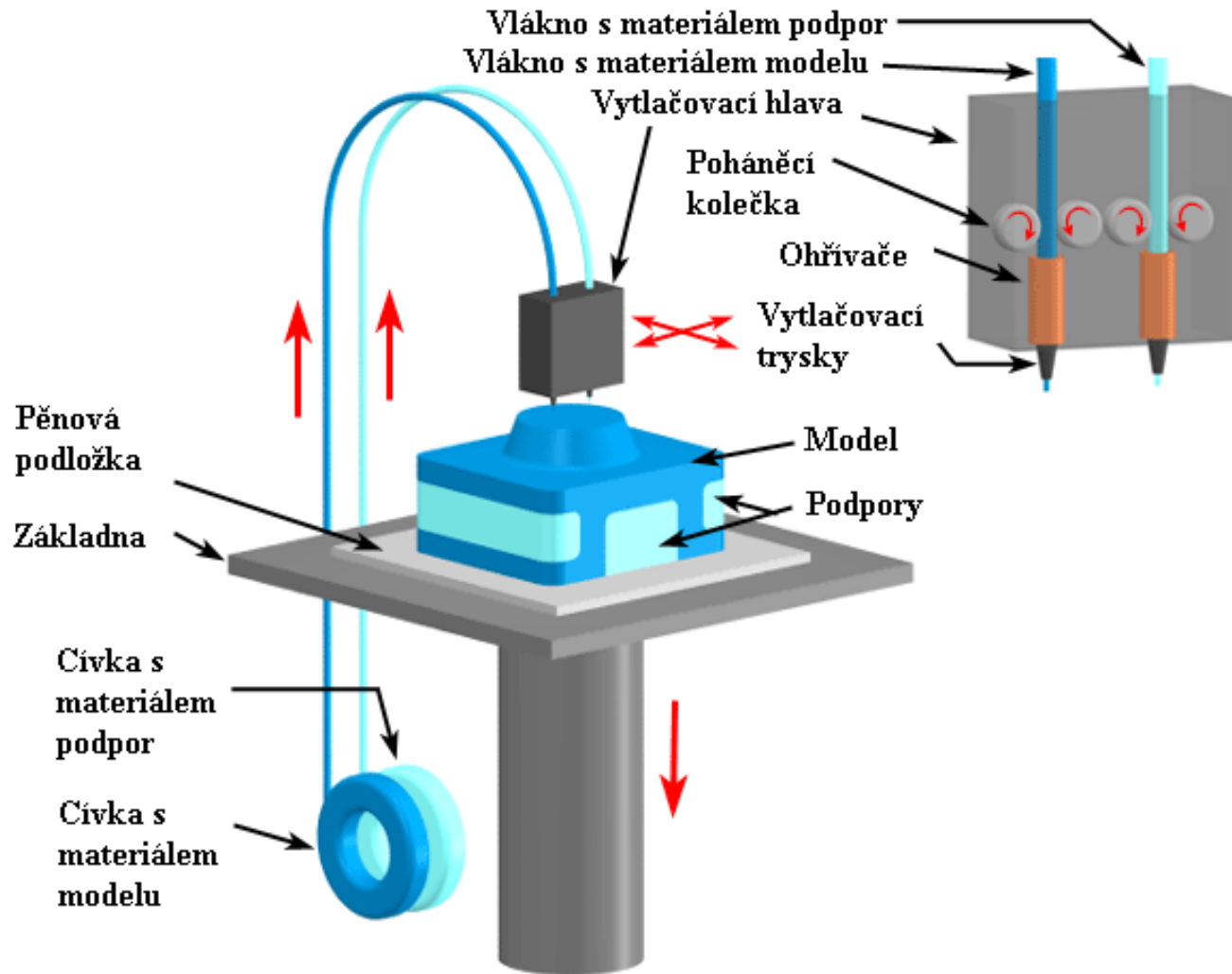
(b) Další přístupy



(c)



FDM – Fused Deposition Modelling



FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

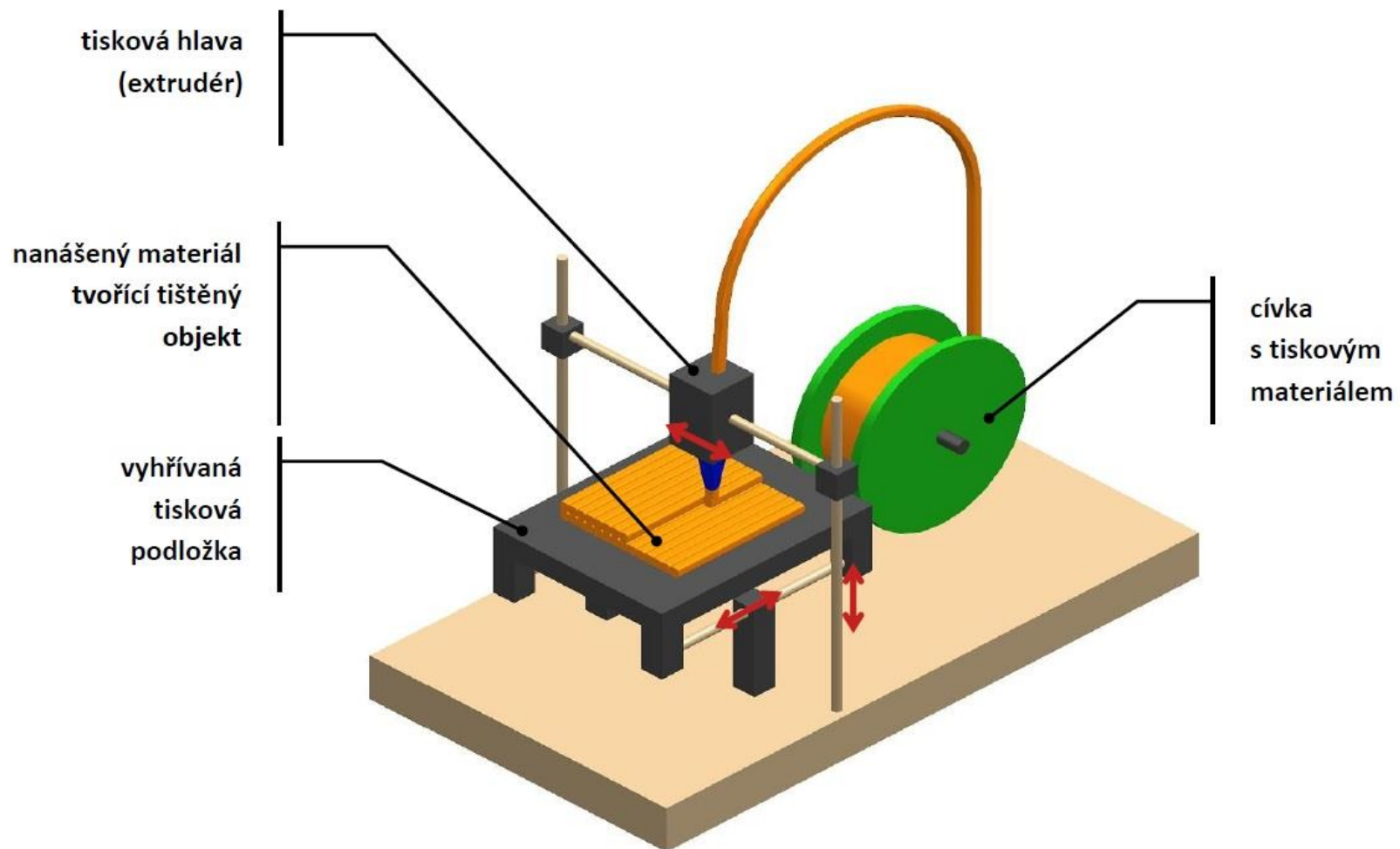
- Patent, pro tuto technologii 3D tisku, byl podán roku 1989. FDM je v dnešní době nejrozšířenější technologie 3D tisku.
- Princip: Roztavený materiál se, ve formě tenkého vlákna, nanáší na pracovní stůl pomocí trysky. Nanášení probíhá po vrstvách. Materiál, který se využívá pro výrobu modelu, musí být ve formě struny (filamentu). Pro tisk složitějších součástí se musí navíc použít podpůrný materiál.
- Druhy materiálu - PLA, ABS, PC, PC-ABS, PET, XT, ASA, FDM Nylon 12 a mnoho dalších. Dále se mohou využívat filamenty s příměsí bronzu, uhlíkového vlákna, nebo například dřeva.

Výhoda:

- minimální odpad
- vyrobený model dosahuje dobré pevnosti

Nevýhoda:

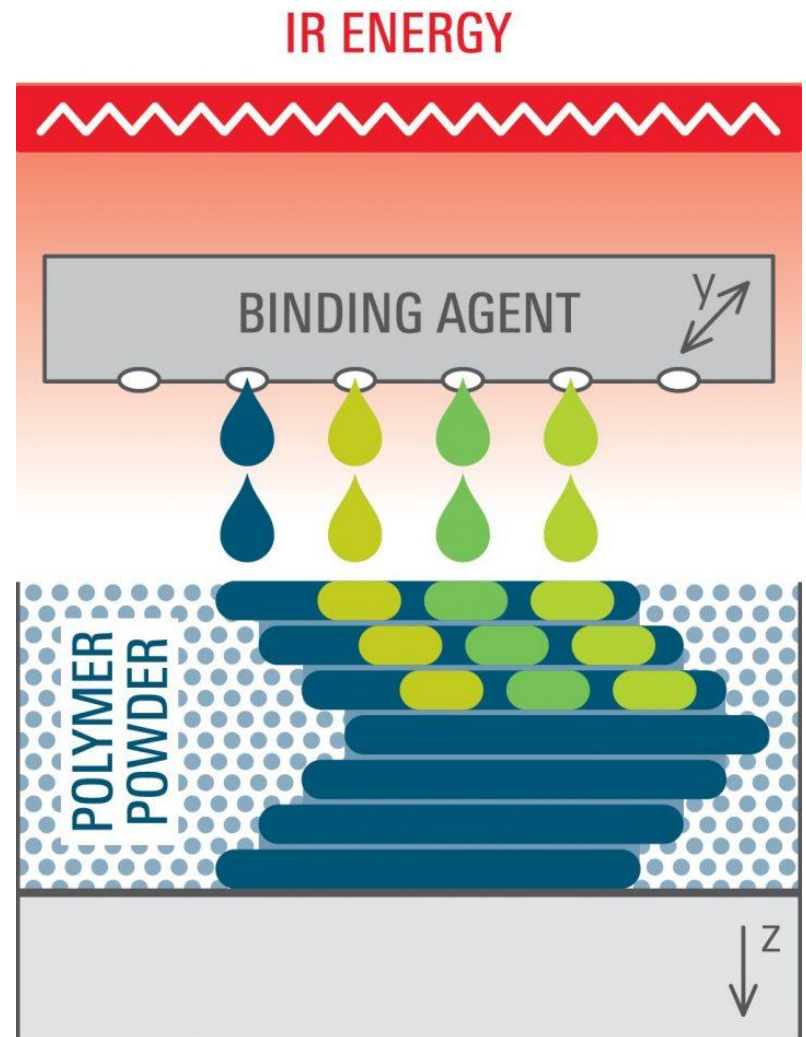
- hrubá struktura
- odstraňování podpůrného materiálu
- Minimální velikost vrstvy: cca 0,1 mm
- Pořizovací cena tiskárny se odvíjí od technických parametrů tiskárny. Základní modely mají cenu kolem 20 tisíc, za to cena lepších tiskáren se může pohybovat ve stotísících Kč.



MJF

MULTIJETFUSION (MJF)

- Prášek plastu
- Lepidlo
- Vytvrdí se působením IR záření
- Rychlé, pevné výtisky



<https://matca.cz/technologie/aditivni-technologie/>

MJP

MULTIJETPRINTING (MJP)

MJP

- možnost vytvořit model různými barvami,
- model o několika různých tuhostech.

Patentováno (1991) - 3D Systems.

MULTIJETPRINTING (MJP)

Princip:

Práškový materiál je nanášen na podložku.

Na nanesenou vrstvu se nanese pojivo.

Práškový materiál je s pojivem vytvrzen UV zářením. Následně další vrstva prášku a proces se opakuje.

Podpůrný materiál je vosk, lze jej snadno odstranit působením tepla v peci.

Materiály pro výrobu modelů - od výrobce tiskárny 3D Systems.

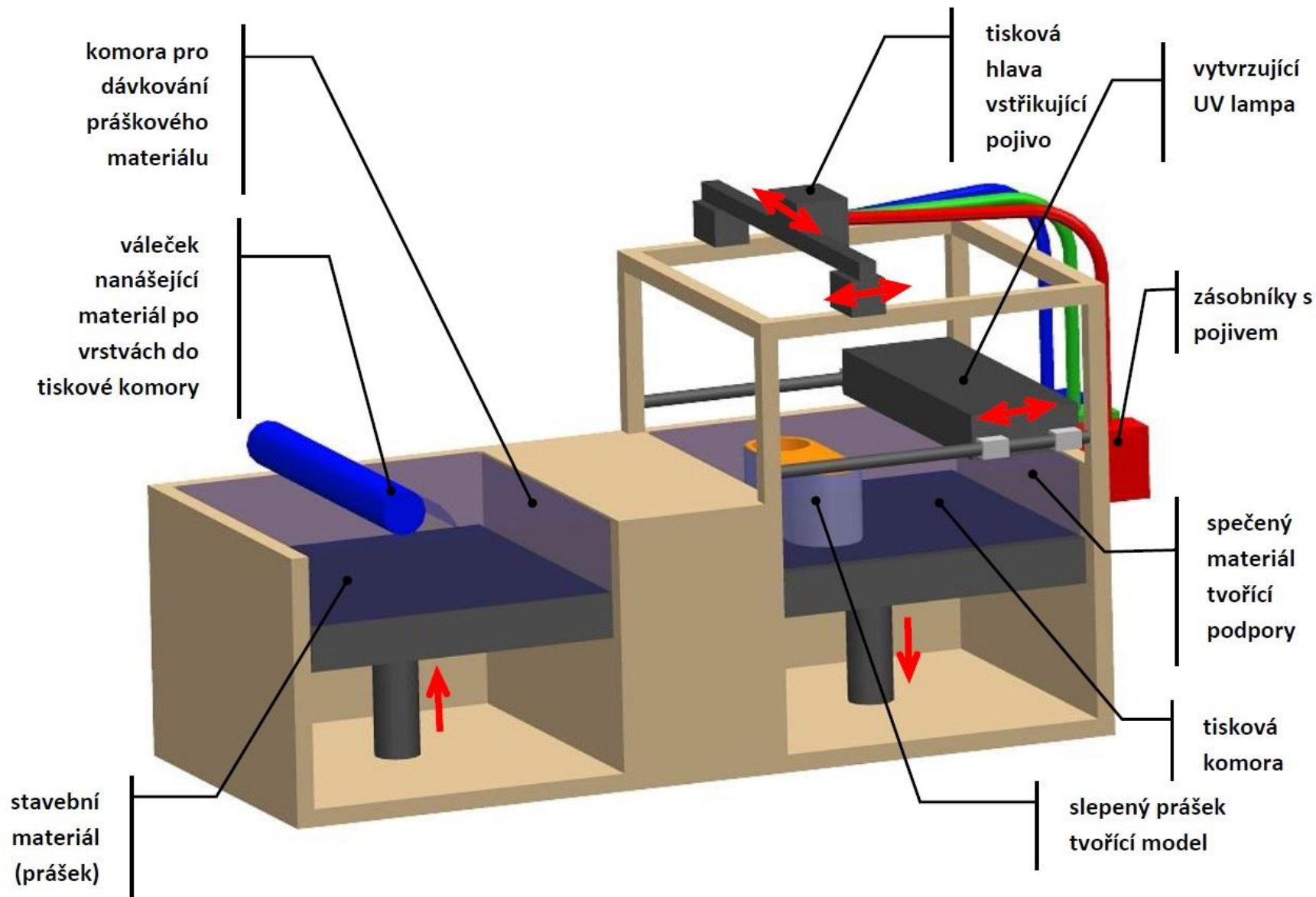
Například: VisiJet M3, nebo VisiJet M5.

MULTIJETPRINTING (MJP)

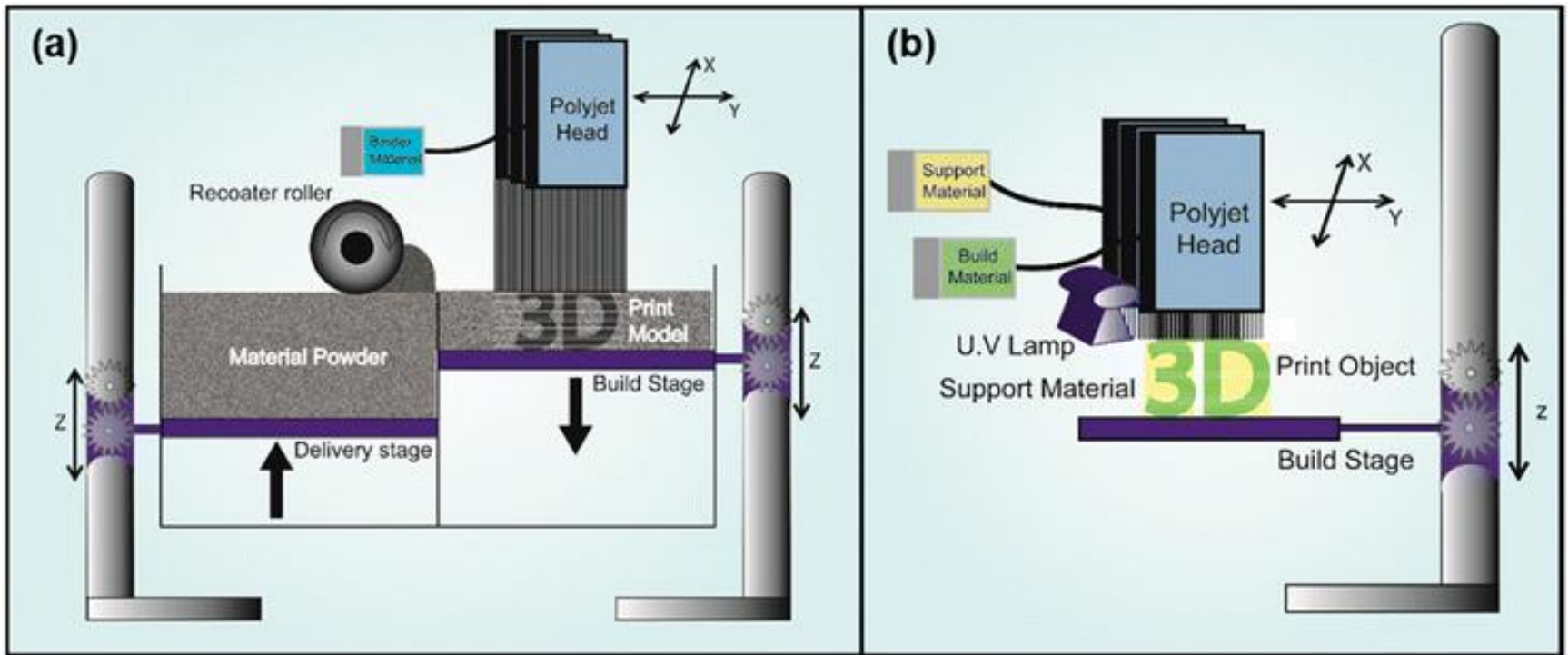
Výhoda:

- kvalitní a přesný povrch
- dobré mechanické vlastosti
- rychlý tisk
- minimální velikost vrstvy: cca 0,016 mm
- pořizovací cena tiskárny: cca 1,5 miliónu Kč

Příklady realizace tiskárny



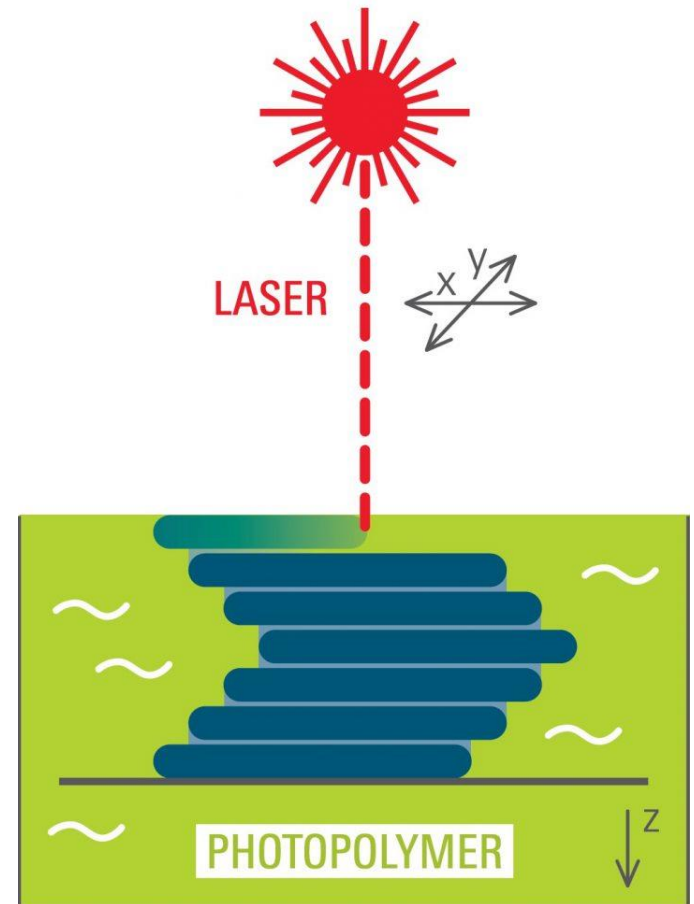
Obr.: <https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>



Obr.: <https://roboticsbiz.com/3d-printing-different-methods-pros-and-cons/>

SLA

SLA - Stereolitografie



<https://matca.cz/technologie/aditivni-technologie/>

SLA - Stereolitografie

- Stereografie je založen na možnosti vytvrdit speciální materiály např. ozařováním ultrafialovým zářením (UV), laserem.
- Tvoří se postupně jednotlivé vrstvy, ty jsou vždy po vytvrzení posunuty o krok (např., 5 mm) směrem dolů v nádrži s tekutým fotopolymerem.
- SLA - velmi přesné výrobky, kvalitní povrch.
- ALE - špatné mechanické vlastnosti vytištěných dílů, nedostatečná pevnost.
- Technologie je vhodná pro pohledové díly, mále mechanicky namáhané.

STEREOLITOGRAFIE (SLA)

Historicky je stereolitografie je nejstarší technologií 3D tisku. (první 3D tiskárna -1987).

- Laserový paprsek vytvrdí fotopolymer v místech, kde má vzniknout model a poté se pracovní plocha spolu s modelem ponoří opět o velikost jedné vrstvy do tekutého fotopolymeru. Tento proces se opakuje až do úplného vyhotovení modelu.
- Jako materiál pro výrobu modelu se používají fotopolymery, jako například fotopolymerická pryskyřice.

Mohou být realizovány dvěma způsoby:

Princip 1 (obr. a):

Pracovní plocha je na **začátku úplně ponořena v nádobě** s tekutým fotopolymerem. Postupně, vrstvu po vrstvě, vytvrzuje laserem vytvořené UV záření. Laser působí na pracovní plochu zespoda, skrze nádobu s fotopolymerem. Pracovní plocha se tak pohybuje směrem vzhůru, přičemž doslova vytahuje zhotovovaný model ven z nádoby.

Princip 2 (obr. b):

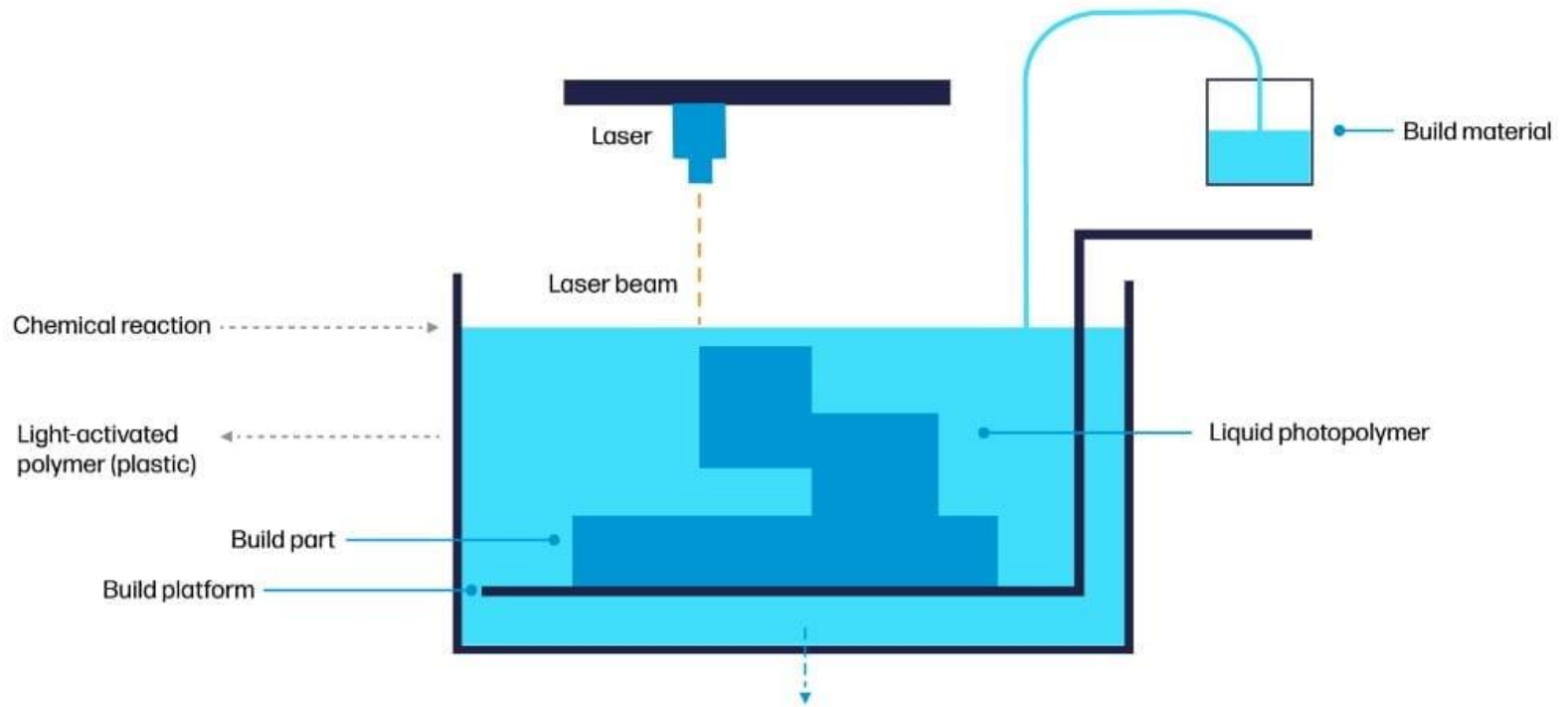
V tomto případě je pracovní plocha, na kterou má být vyhotoven model, **postupně ponořována do tekutého fotopolymeru**. Laserový paprsek působí na rozdíl od předešlého principu shora. To znamená, že se pracovní plocha na začátku procesu ponoří do hloubky o velikosti jedné vrstvy.

SLA

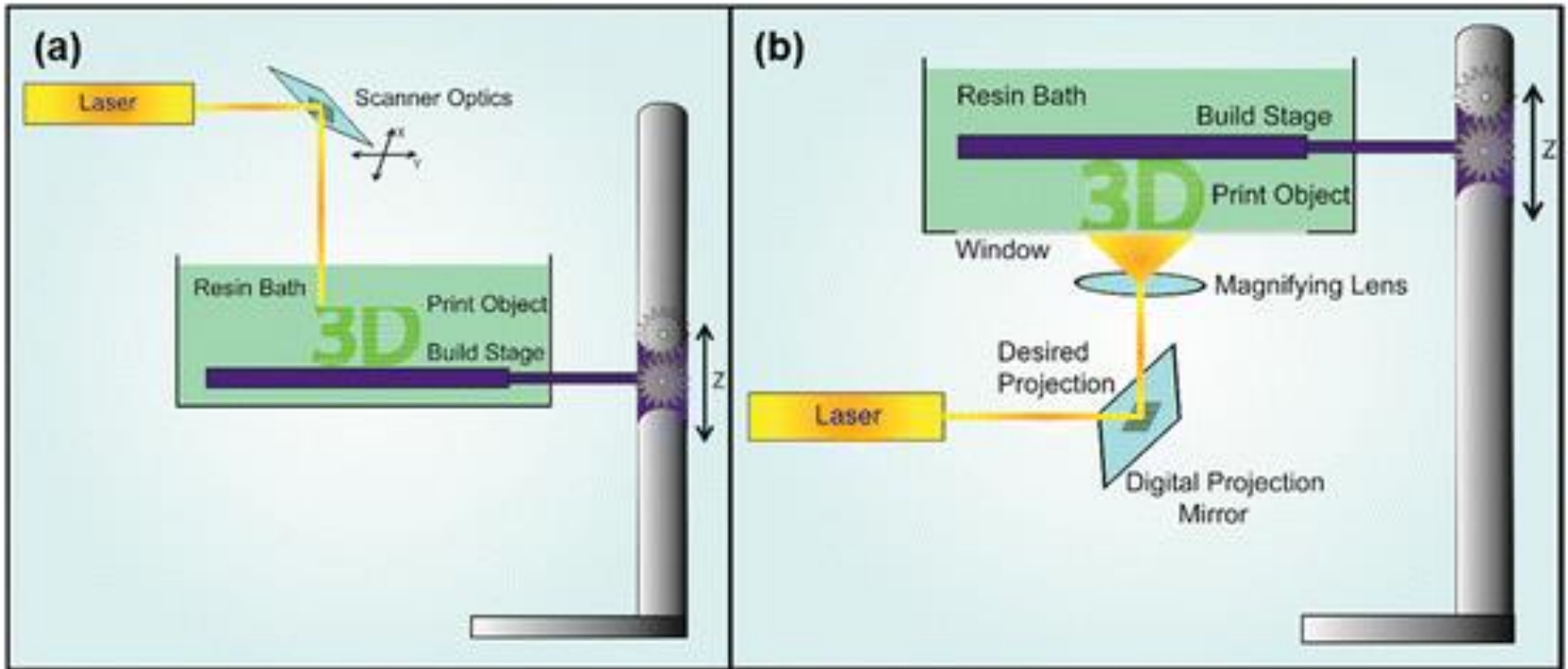


Vat photopolymerization

Stereolithography (SLA)



SLA - Stereolitografie



Zdroj.obr. <https://roboticsbiz.com/3d-printing-different-methods-pros-and-cons/>

STEREOLITOGRAFIE (SLA)

Historicky je stereolitografie je nejstarší technologií 3D tisku. (první 3D tiskárna -1987).

- Laserový paprsek vytvrdí fotopolymer v místech, kde má vzniknout model a poté se pracovní plocha spolu s modelem ponoří opět o velikost jedné vrstvy do tekutého fotopolymeru. Tento proces se opakuje až do úplného vyhotovení modelu.
- Jako materiál pro výrobu modelu se používají fotopolymery, jako například fotopolymerická pryskyřice.

Mohou být realizovány dvěma způsoby:

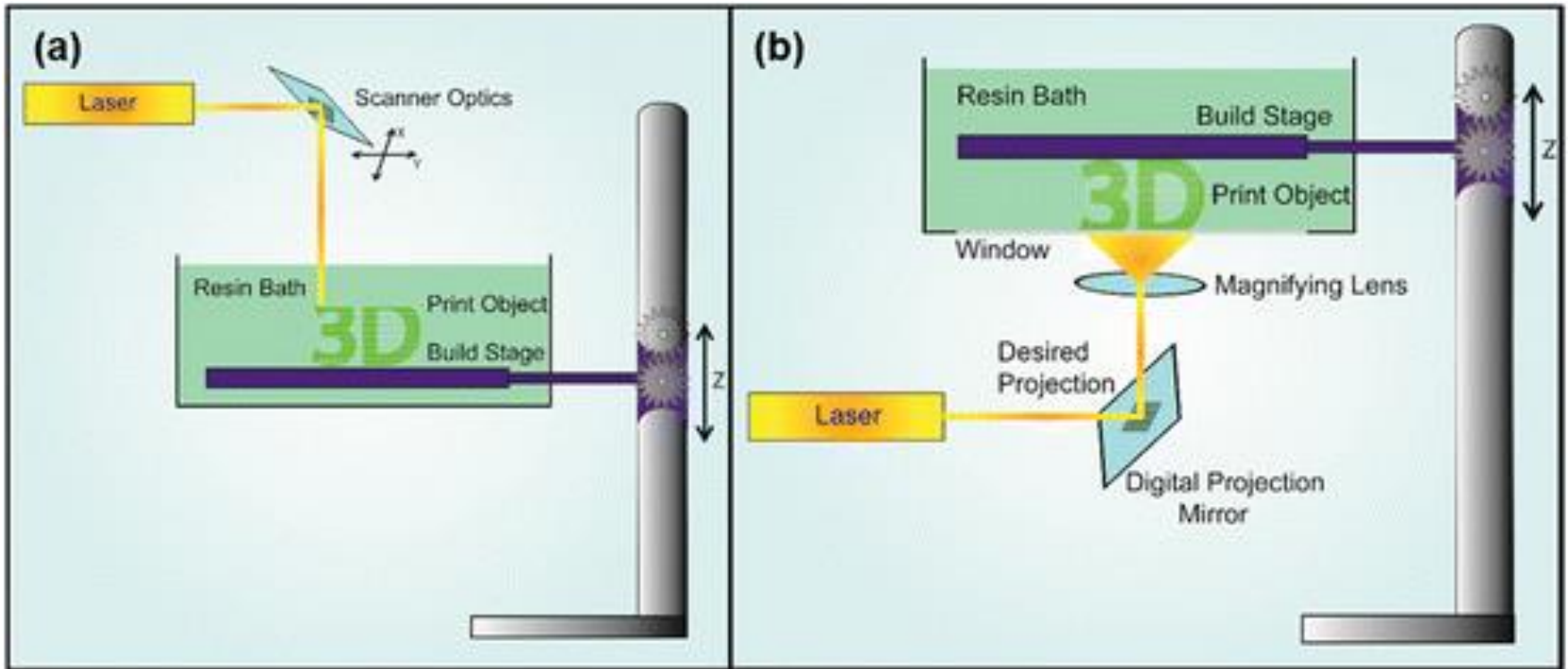
Princip 1 (obr. a):

Pracovní plocha je na **začátku úplně ponořena v nádobě** s tekutým fotopolymerem. Postupně, vrstvu po vrstvě, vytvrzuje laserem vytvořené UV záření. Laser působí na pracovní plochu zespoda, skrze nádobu s fotopolymerem. Pracovní plocha se tak pohybuje směrem vzhůru, přičemž doslova vytahuje zhotovovaný model ven z nádoby.

Princip 2 (obr. b):

V tomto případě je pracovní plocha, na kterou má být vyhotoven model, **postupně ponořována do tekutého fotopolymeru**. Laserový paprsek působí na rozdíl od předešlého principu shora. To znamená, že se pracovní plocha na začátku procesu ponoří do hloubky o velikosti jedné vrstvy.

SLA - Stereolitografie



Zdroj.obr. <https://roboticsbiz.com/3d-printing-different-methods-pros-and-cons/>

STEREOLITOGRAFIE (SLA)

Výhoda:

- výborná přesnost v řádu mikronů

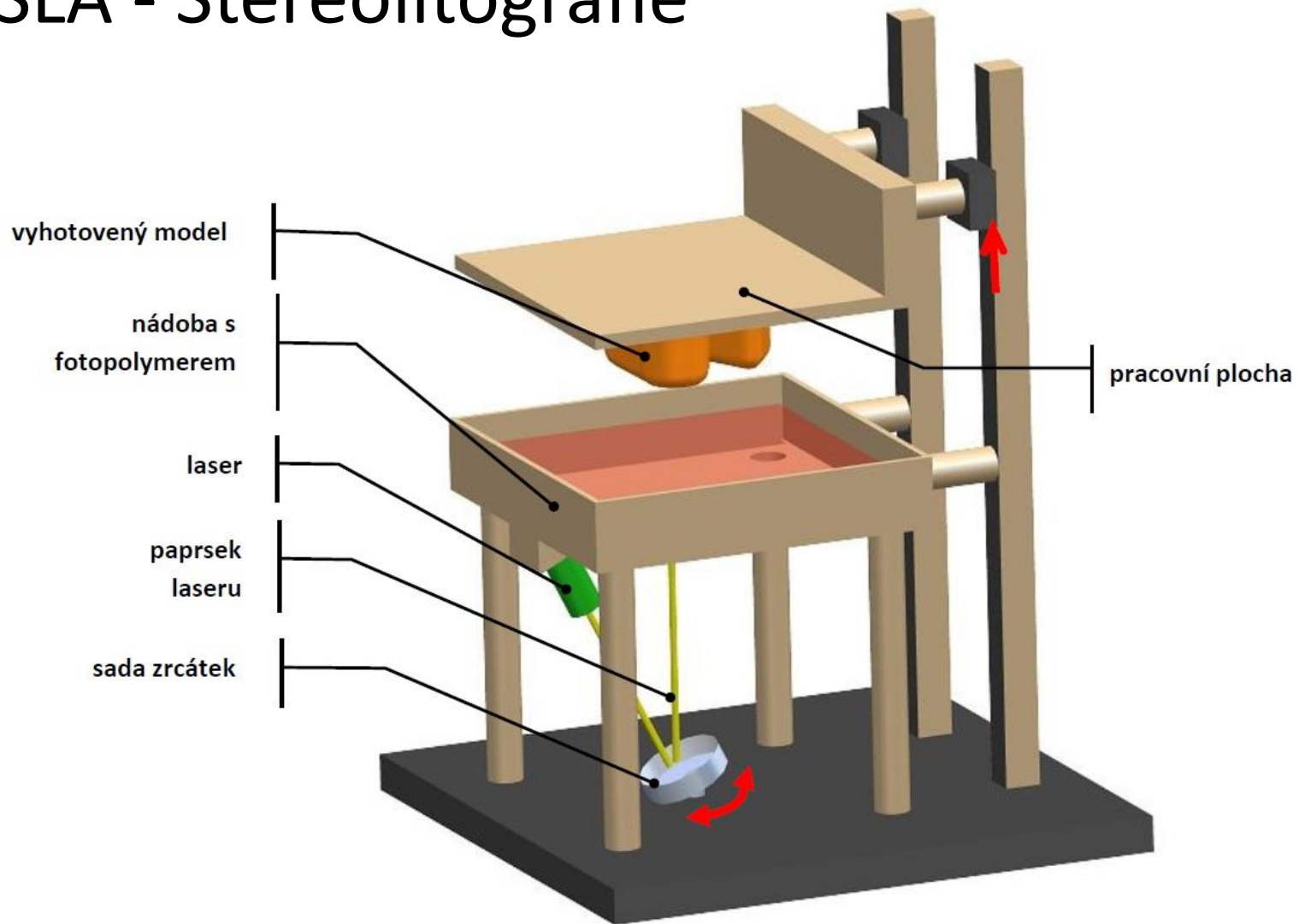
Nevýhoda:

- model se po vytisknutí musí dále dotvrdit, aby se zlepšily jeho mechanické vlastnosti
- výběr materiálu je omezen pouze na fotocitlivé materiály (fotopolymery)
- Minimální velikost vrstvy: cca 0,01 mm

STEREOLITOGRAFIE (SLA)

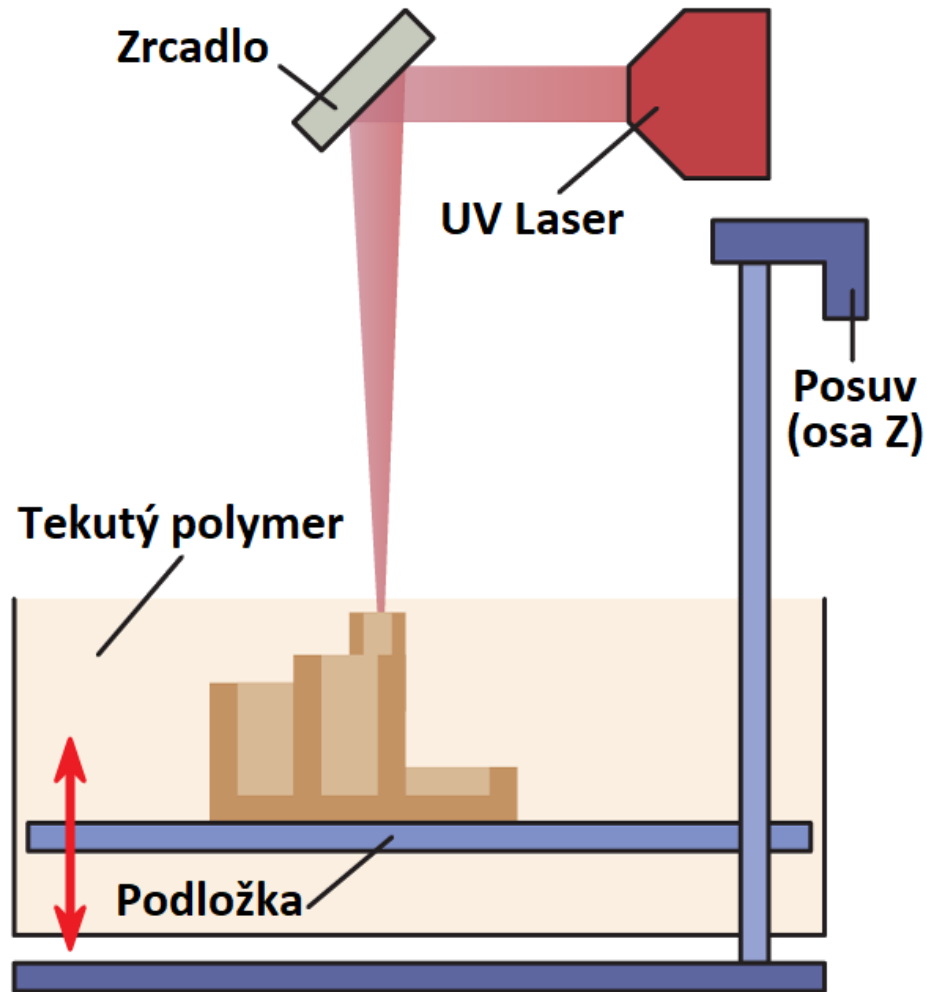
Příklady realizace tiskárny

SLA - Stereolitografie



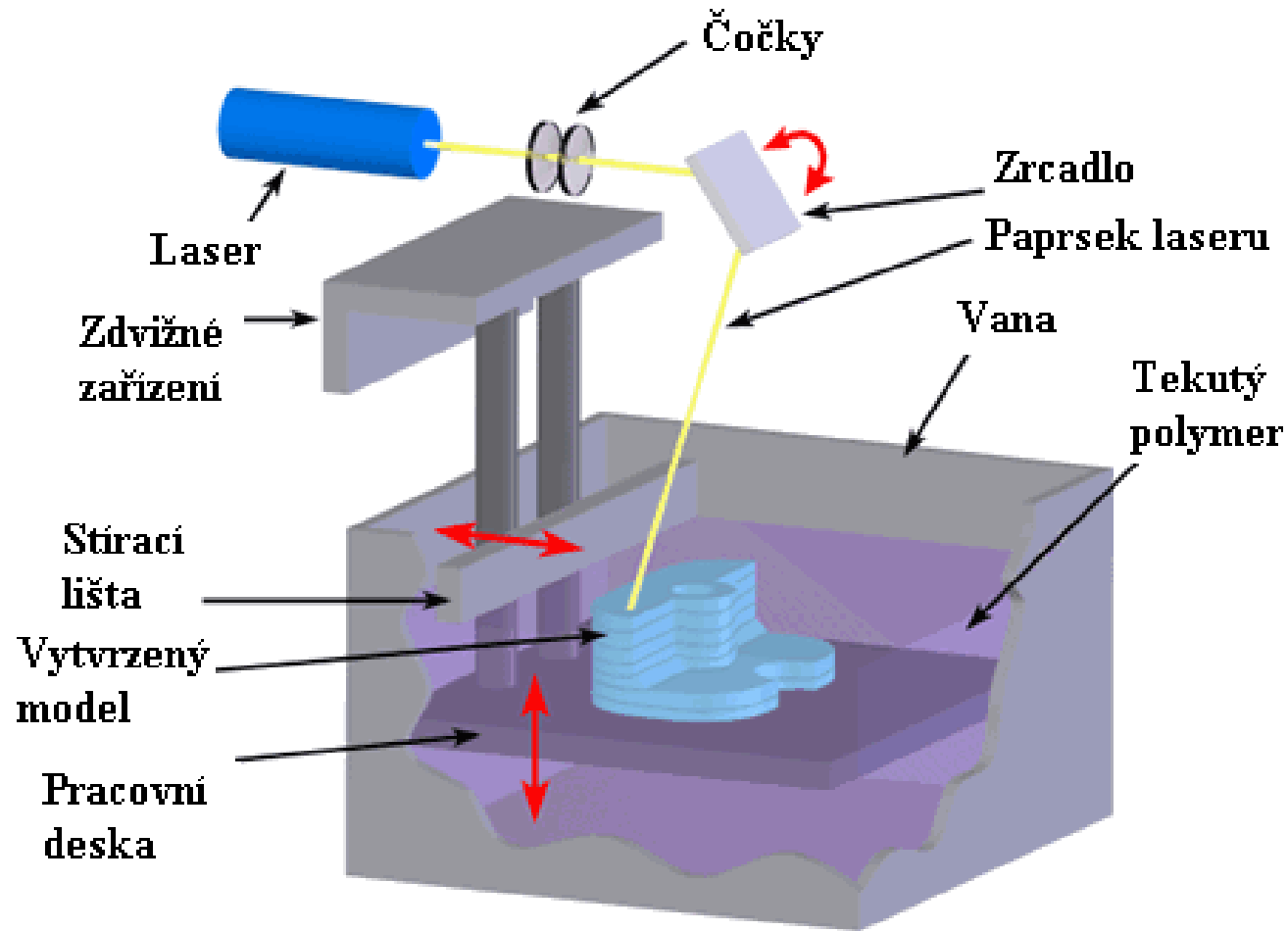
Obr.zdroj: <https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>

SLA - Stereolitografie



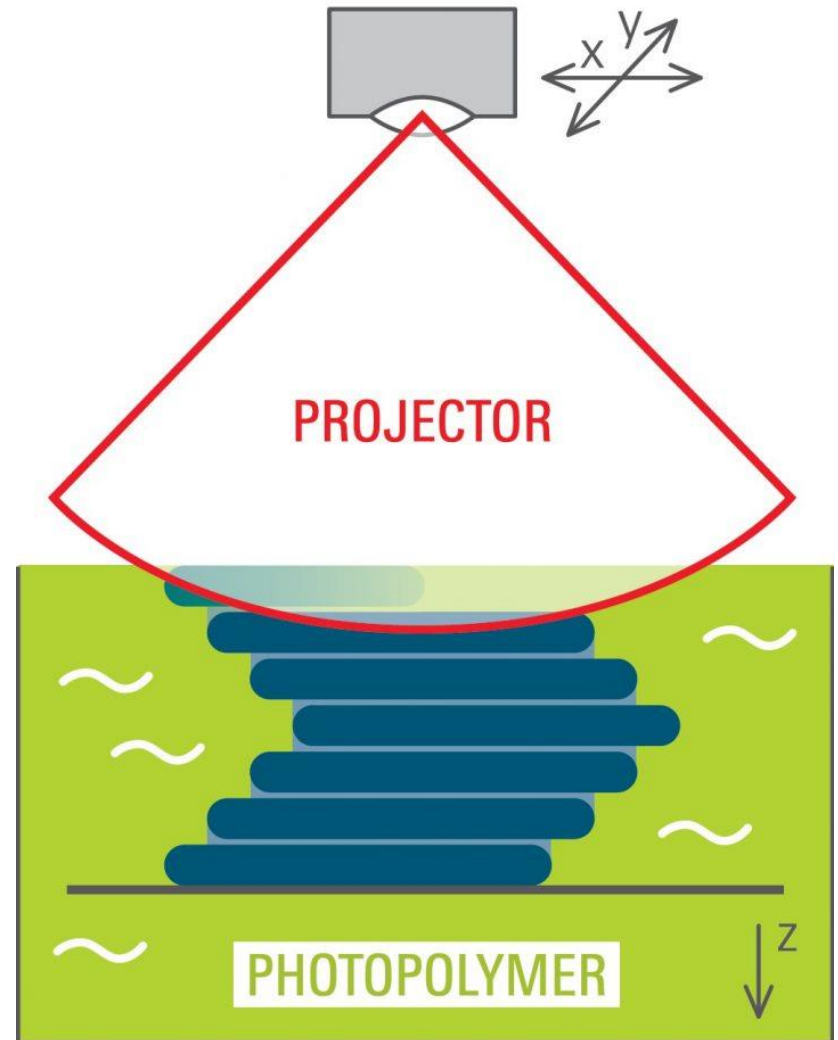
Obr.: <https://openwetware.org/wiki/Stereolithography>

SLA - Stereolitografie



DLP

DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP)



<https://matca.cz/technologie/aditivni-technologie/>

DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP)

Patent 2012

Princip:

Je obdobný jako u technologie SLA. Energie, vzniknutá UV zářením, ztvrdzuje vrstvy tekutého fotopolymery do požadovaného tvaru. Na rozdíl od technologie SLA se k tvrdnutí fotopolymery využívá speciální projektor, který osvítí (vytvrdí) celou pracovní plochu v jedné vrstvě.

Jako materiál pro výrobu modelu se používají fotopolymery, jako například fotopolymerická pryskyřice.

Výhoda:

- rychlost a přesnost procesu
- poměrně levná výroba

Nevýhoda:

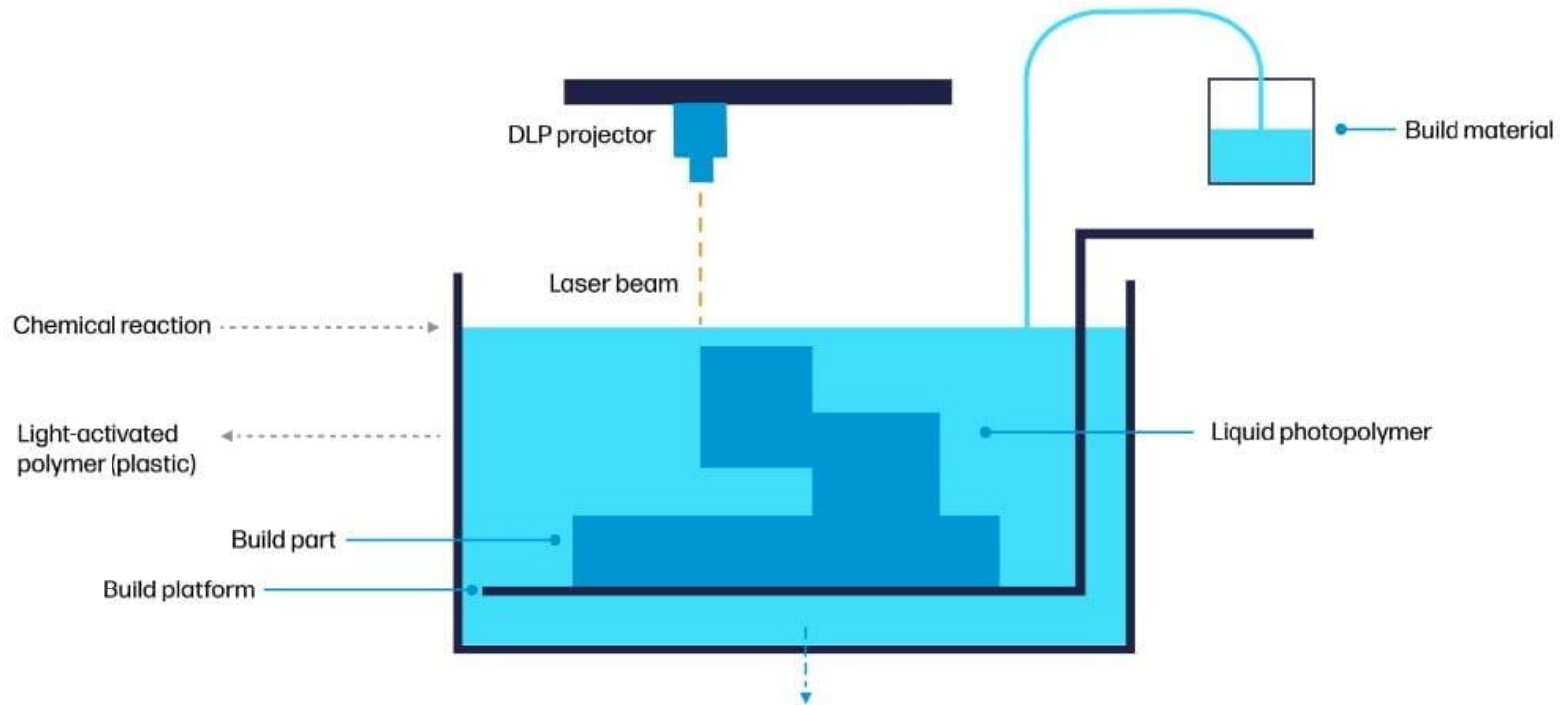
- model se po vytisknutí musí dále dotvrdit, aby se zlepšily jeho mechanické vlastnosti
- výběr materiálu je omezen pouze na fotocitlivé materiály (fotopolymery)
- Minimální velikost vrstvy: cca 0,01 mm
- Pořizovací cena: cca 100 tisíc Kč

DLP



Vat photopolymerization

Direct Light Processing (DLP)

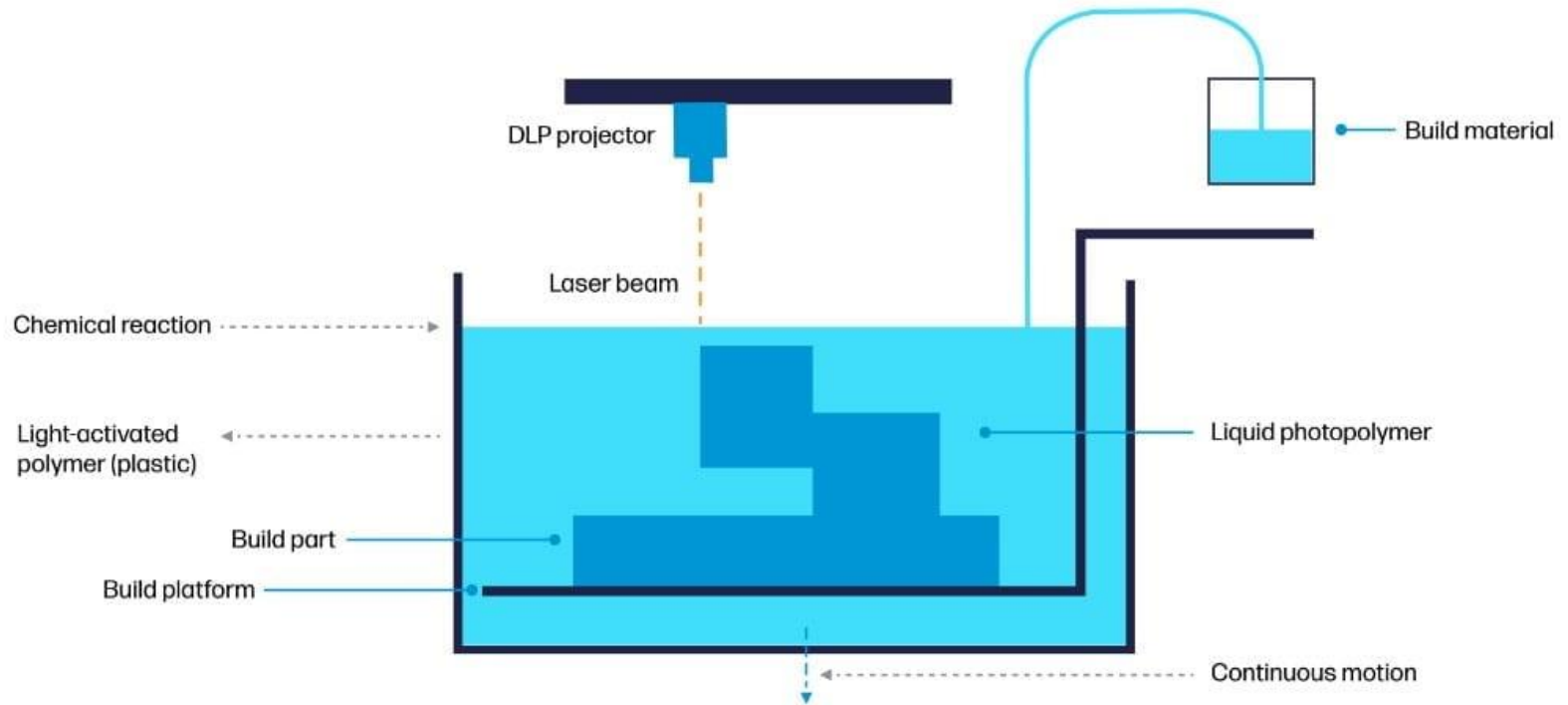


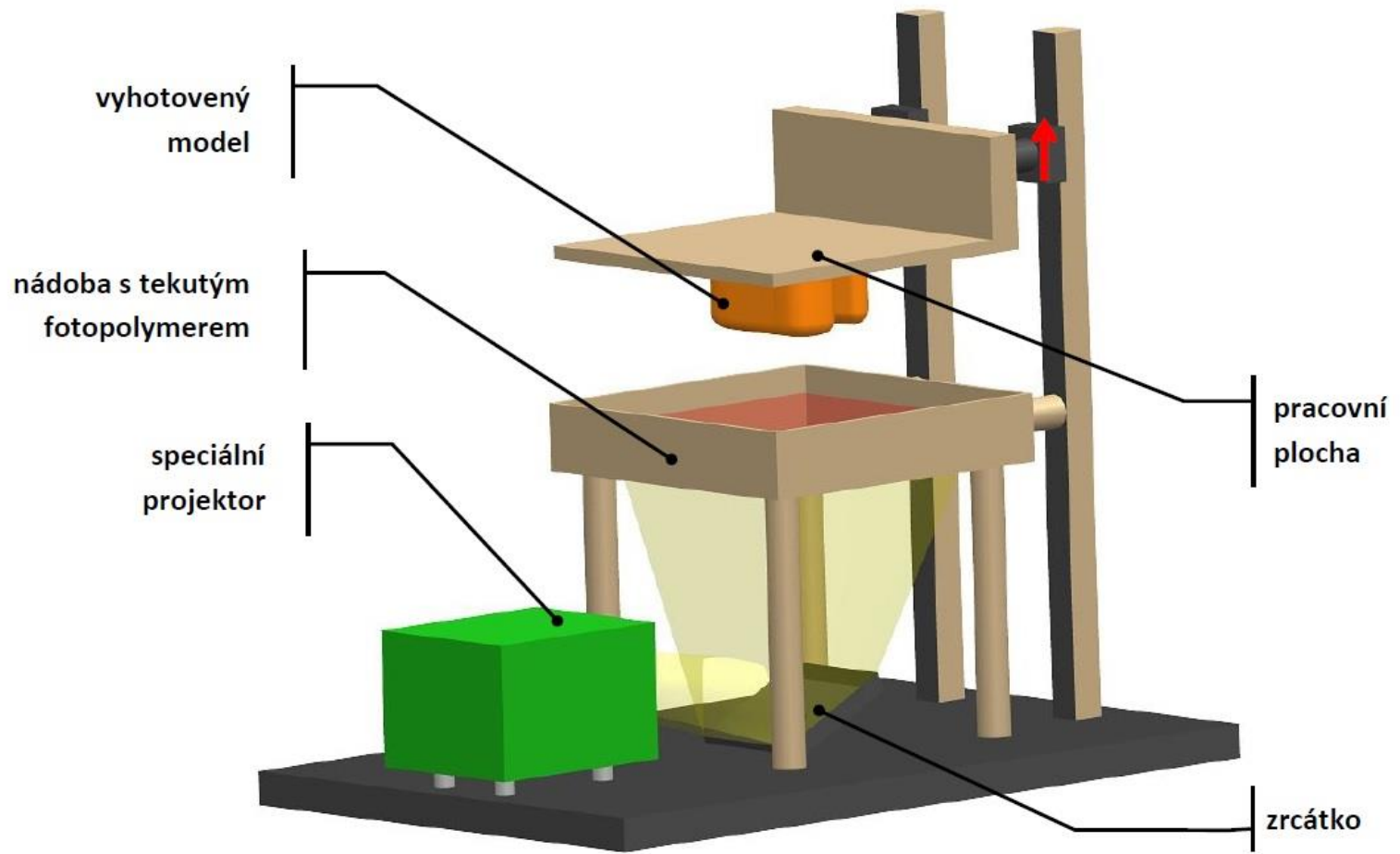
CDLP



Vat photopolymerization

Continuous Direct Light Processing (CDLP)





SHS

SELECTIVE HEAT SINTERING (SHS)

Technologii SHS vlastní firma BLUE PRINTER. Byla patentována roku 2002.

Princip:

Prášek je nanesen v tenké vrstvě na pracovní plochu. Namísto laseru využívá technologie SHS topné těleso. Tisková hlava s topným tělesem vytvrzuje prášek v místech, kde má být vytvořen hotový model. Když je vrstva vytvrzena, stůl s modelem se posune o velikost vrstvy dolů a proces se opakuje.

Materiály - PLA, ABS, PET, NYLON atd.

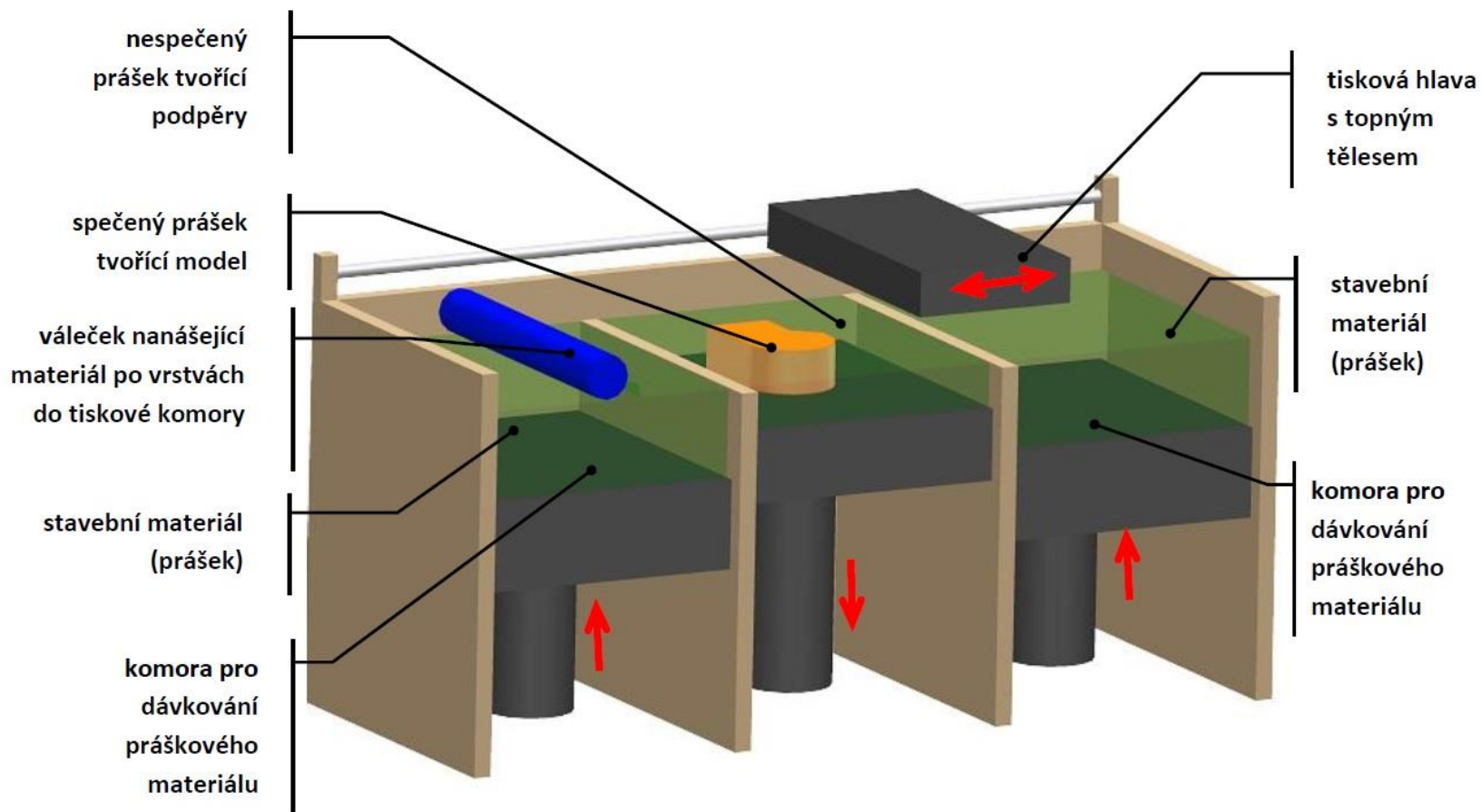
SELECTIVE HEAT SINTERING (SHS)

Výhoda:

- tvorba tvarově složitých součástí
- není potřeba využívat podpůrný materiál
- nepoužitý prášek je 100% recyklovatelný, a tak se může použít v další výrobě
- nízká pořizovací cena

Nevýhoda:

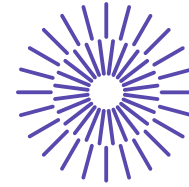
- hotový model se musí od přebytečného materiálu očistit stlačeným vzduchem
- Minimální velikost vrstvy: cca 0,1 mm
- Pořizovací cena tiskárny: cca 300 tisíc Kč



Obr.zdroj: <https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>

Literatura

- <https://roboticsbiz.com/3d-printing-different-methods-pros-and-cons/>
- https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191231
- <https://openwetware.org/wiki/Stereolithography>
- [https://www.akademienunion.de/fileadmin/au-uploads/publikationen/Publikationen_PDFs/2017/2017 Stellungnahme Additive-Fertigung_EN.pdf](https://www.akademienunion.de/fileadmin/au-uploads/publikationen/Publikationen_PDFs/2017/2017_Stellungnahme_Additive-Fertigung_EN.pdf)
- <https://matca.cz/technologie/aditivni-technologie/>
- https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191231



Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A2: Rozvoj v oblasti distanční výuky, online výuky a blended learning

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Předmět Počítačová grafika 3D

Prof.Dr.Ing. Zdeněk Kůs



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Konec