

## 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



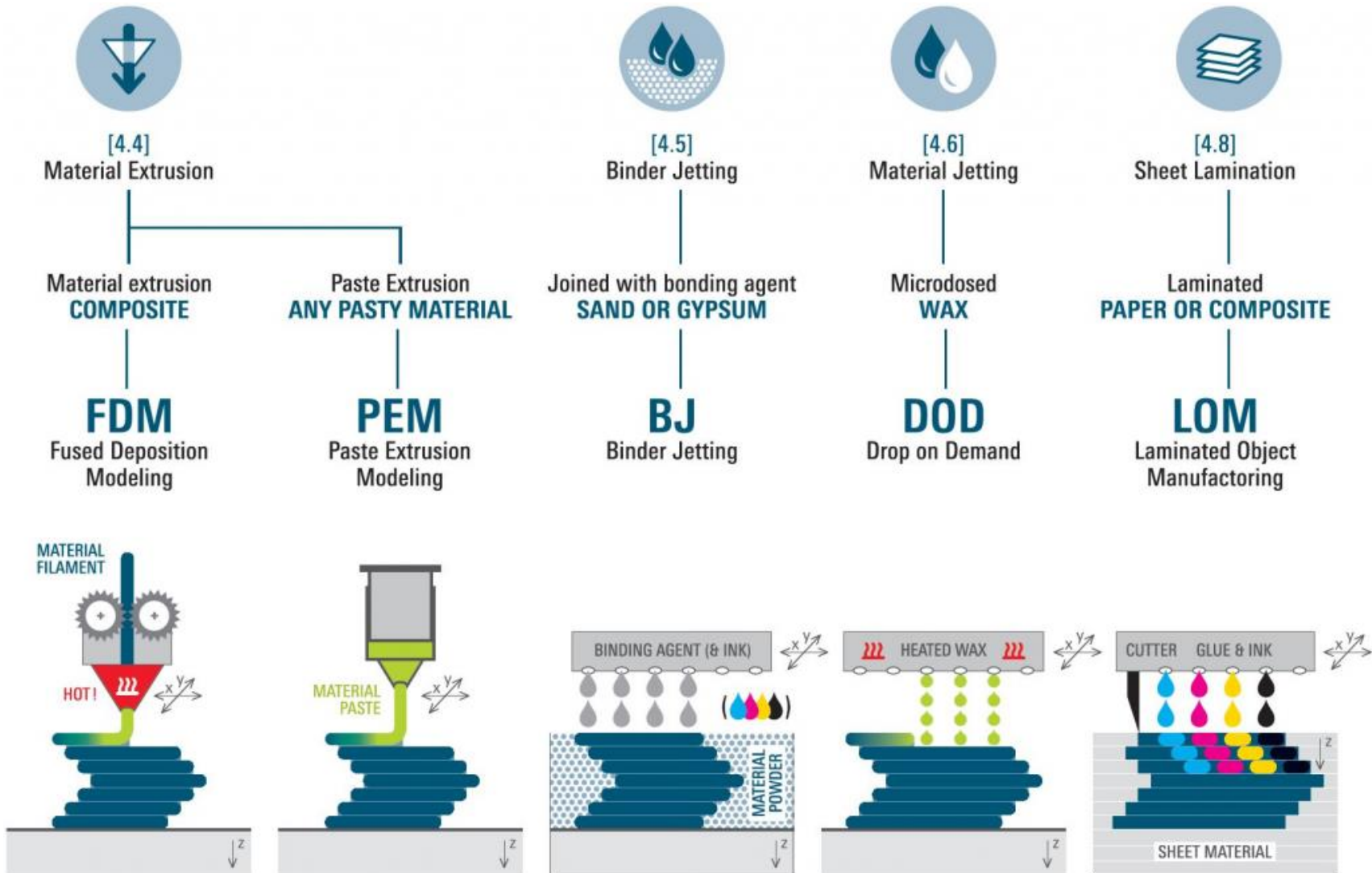
Národní  
plán  
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# OSTATNÍ MATERIÁLY

# Ostatní materiály



FDM

# FMD – Fused Deposition Modelling

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

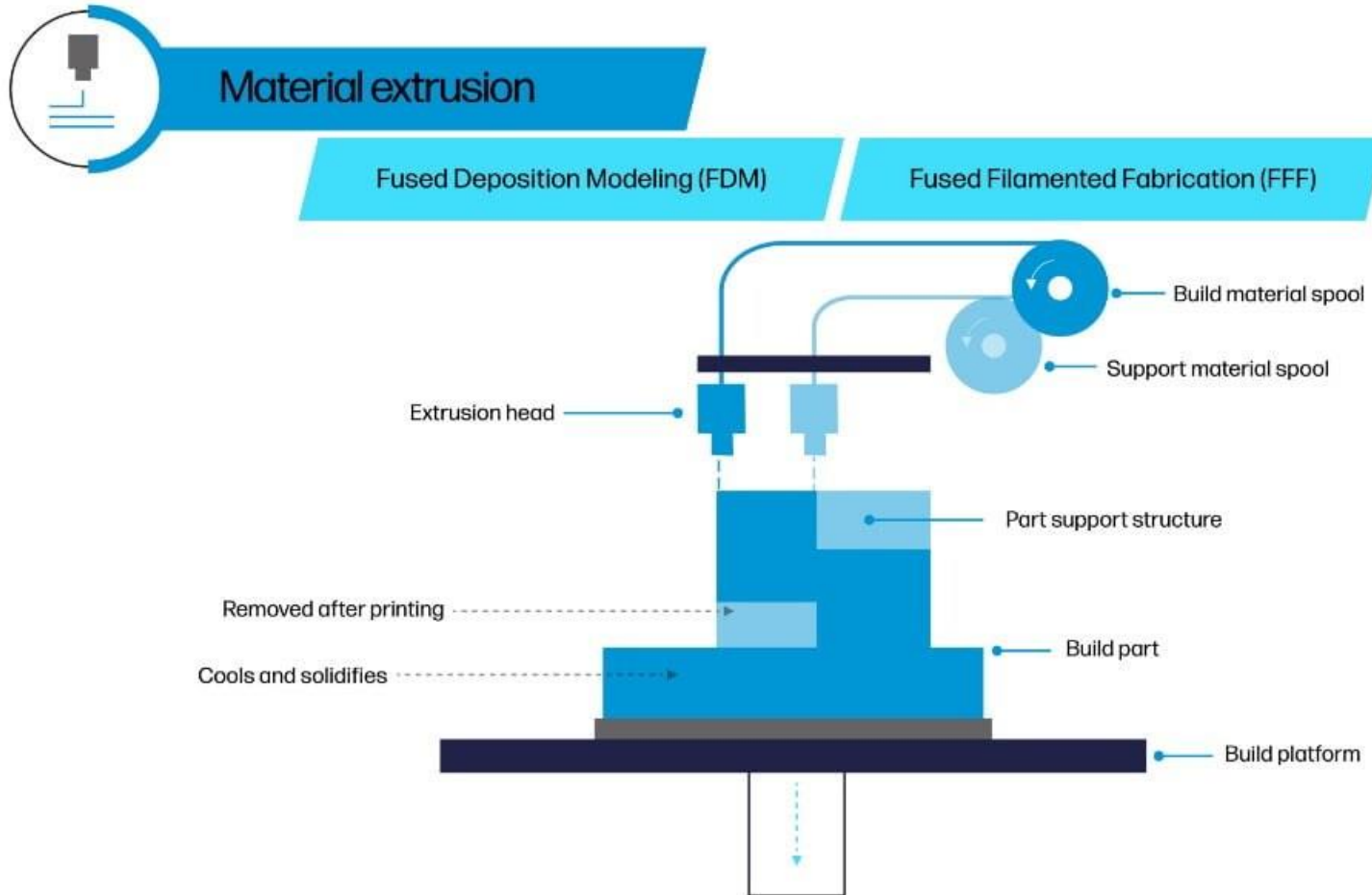
Vstupní materiál ve formě tenkých cívek, nebo prášků je roztaven tiskové hlavě, odkud je vytlačován malým otvorem na cílový povrch.

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.

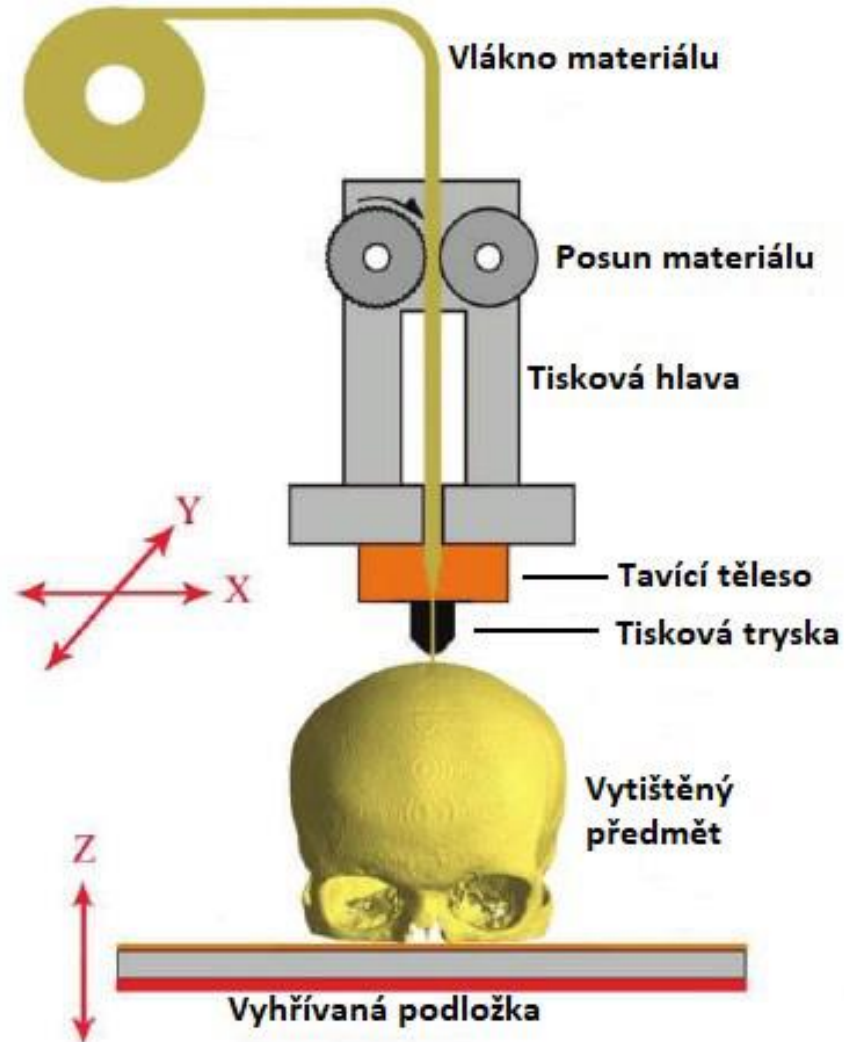
Díly vytištěné metodou FDM jsou díky silným vazbám mezi jednotlivými vrstvami vhodné pro výrobu funkčních dílů.

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

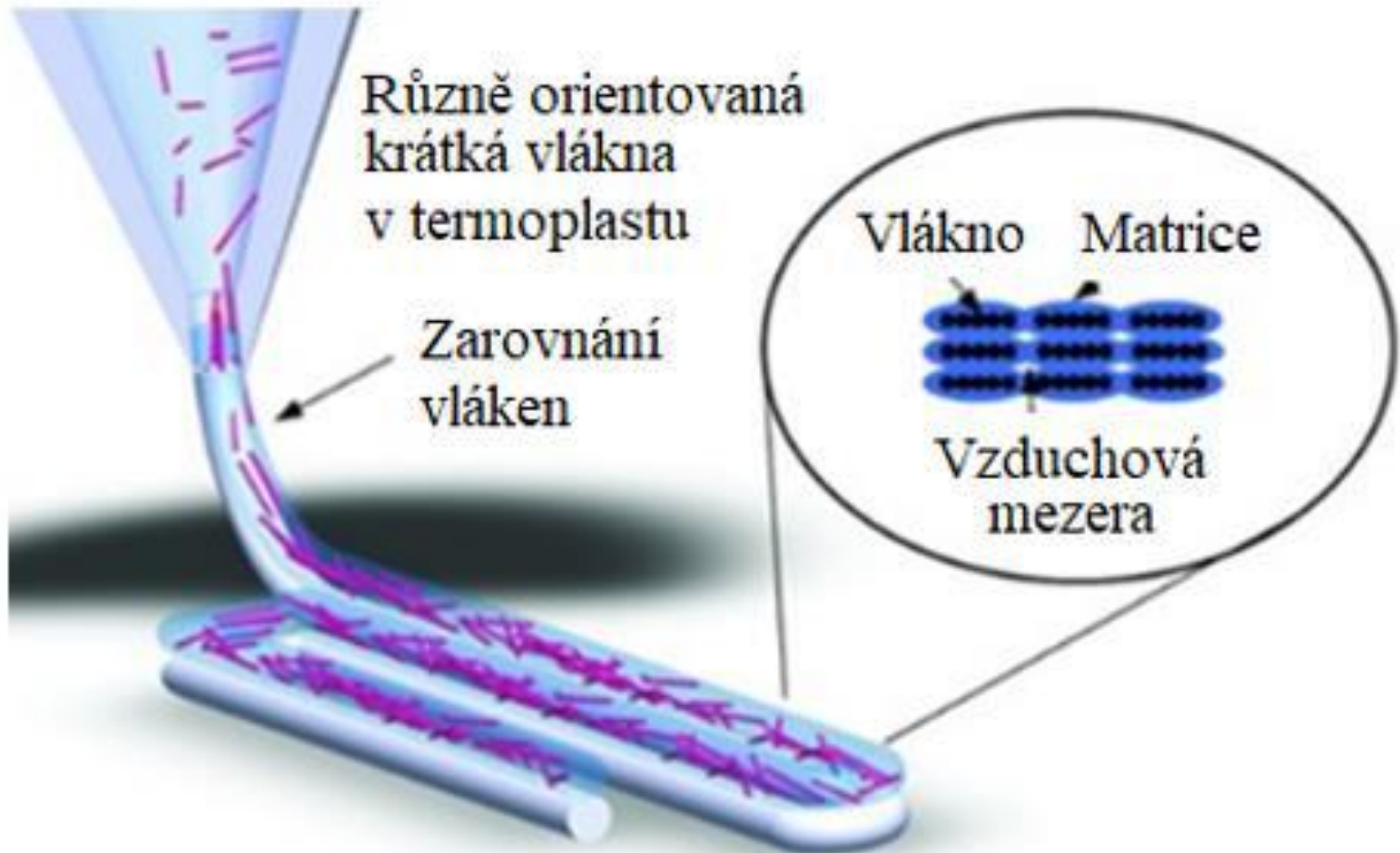
# FDM



# FDM – Fused Deposition Modelling

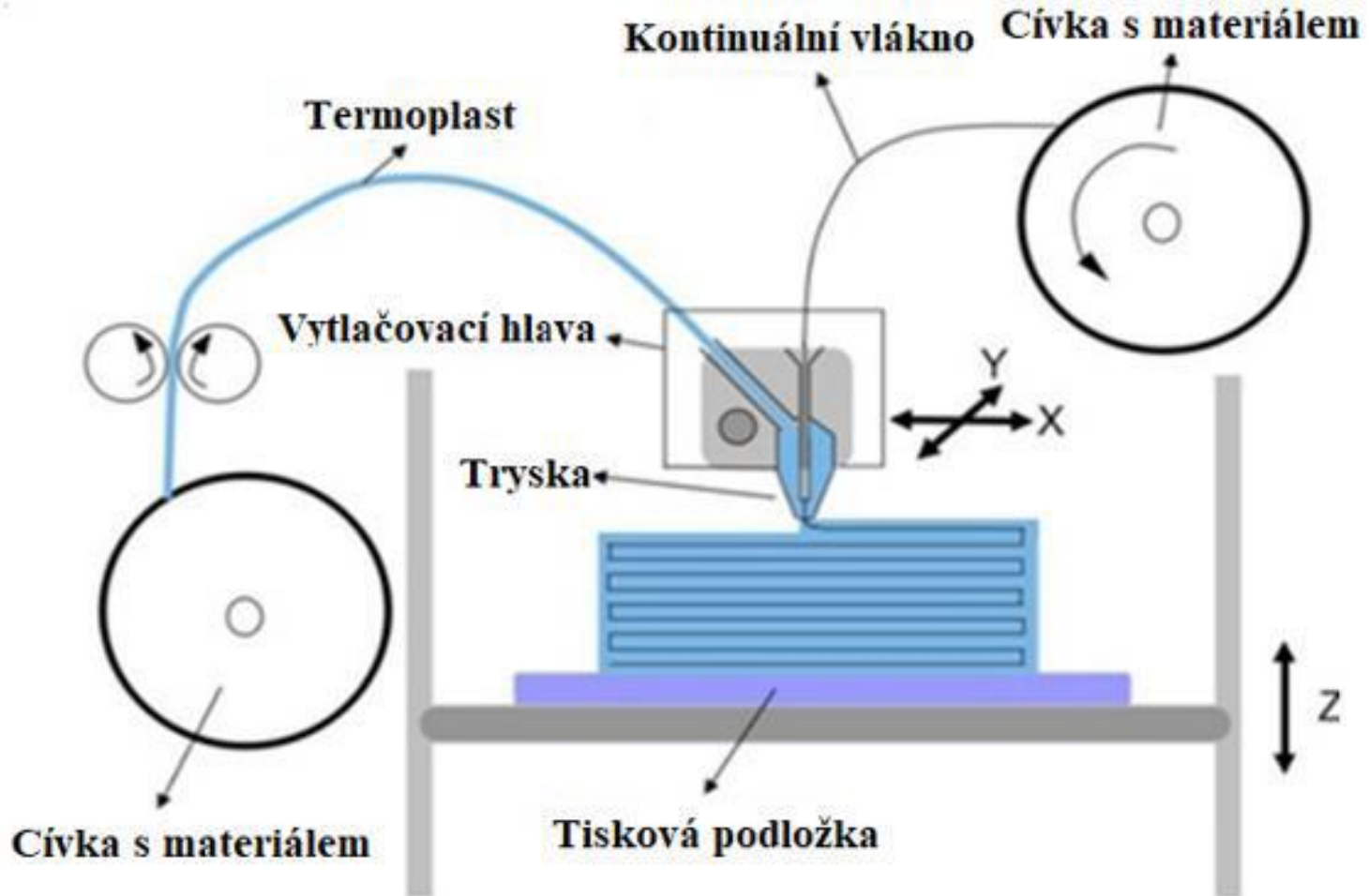


# FDM – Fused Deposition Modelling



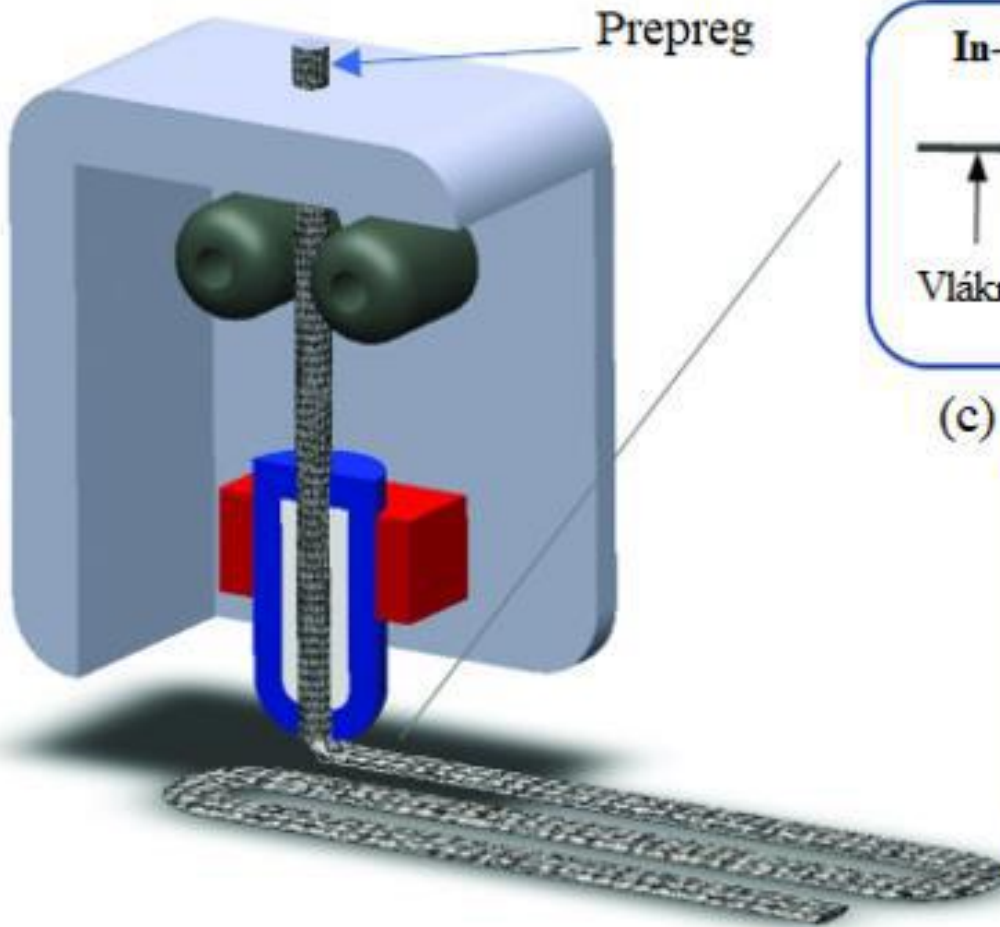


# FDM – Fused Deposition Modelling

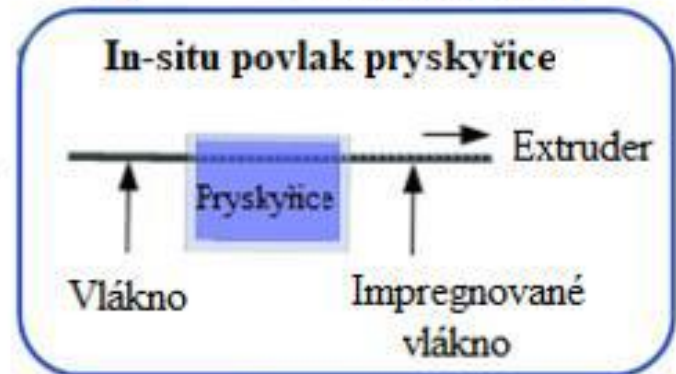


# FDM – Fused Deposition Modelling

(a) Fused Filament Fabrication

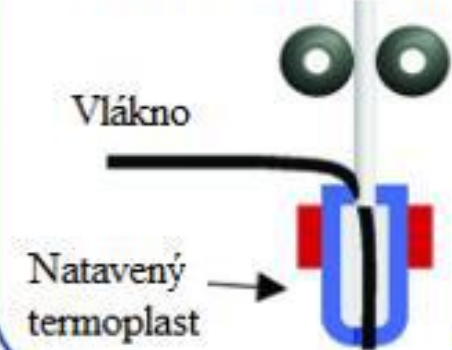


(b) Další přístupy

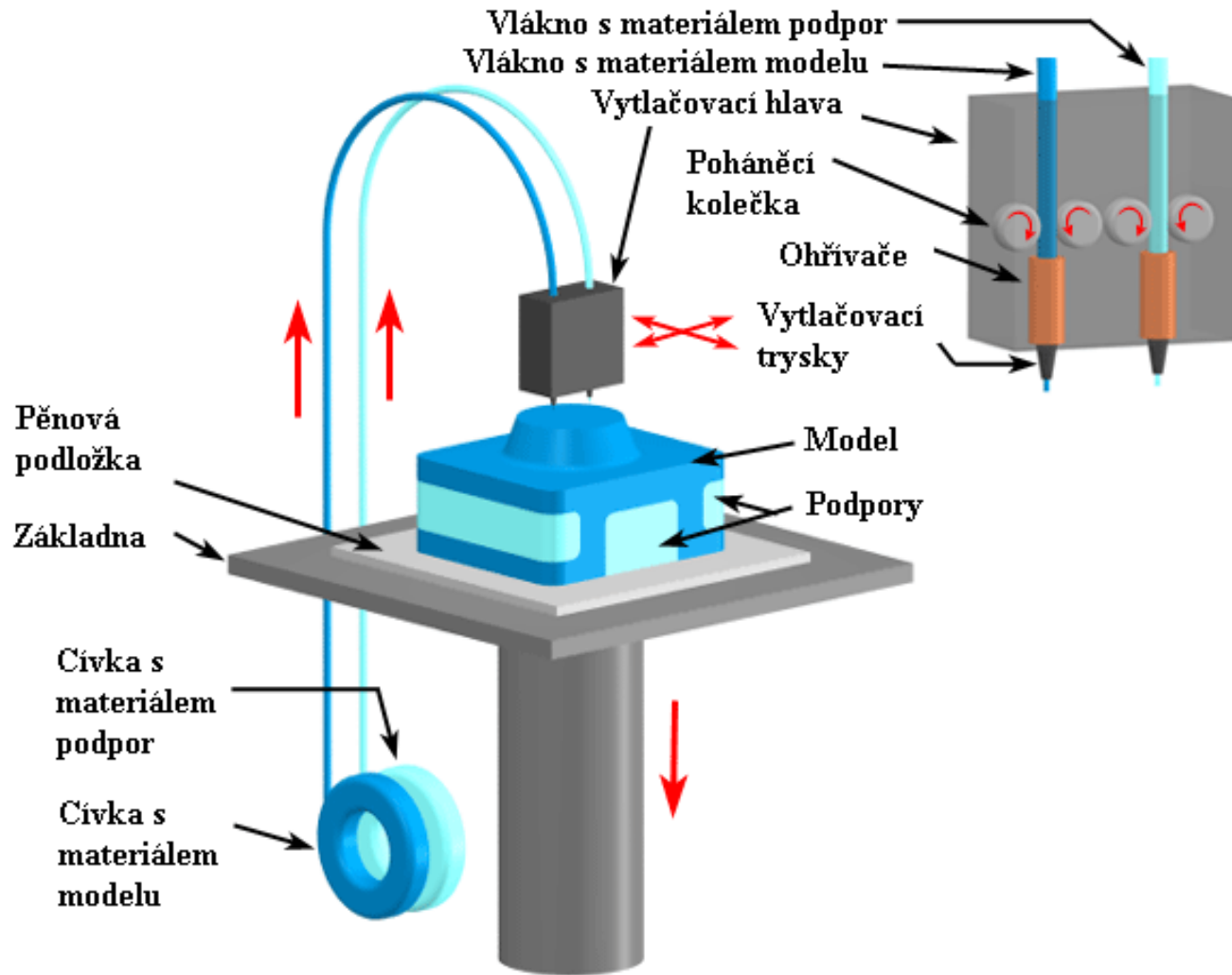


(c)

**In-situ fúze roztaveného termoplastu**



# FDM – Fused Deposition Modelling



# FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

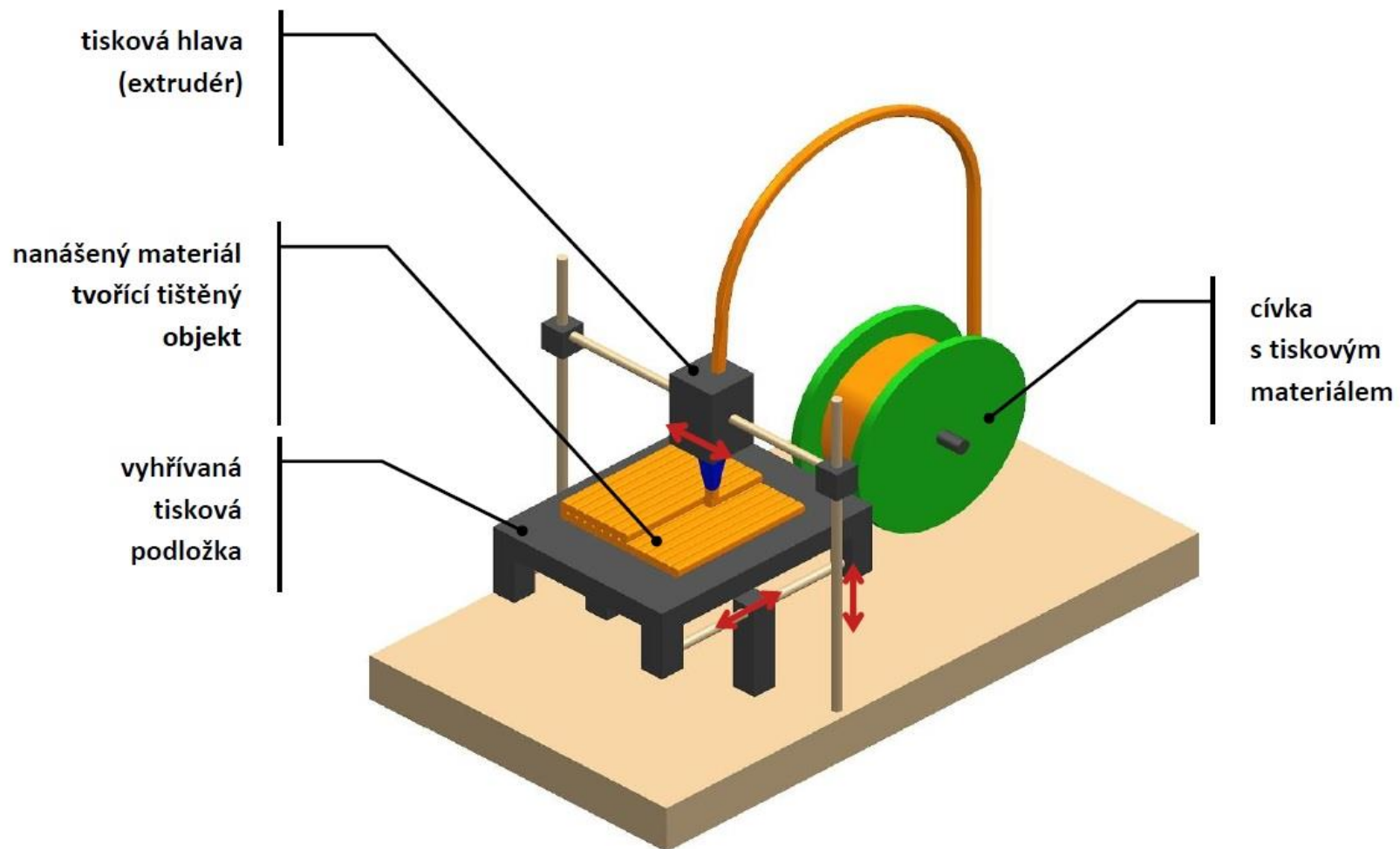
- Patent, pro tuto technologii 3D tisku, byl podán roku 1989. FDM je v dnešní době nejrozšířenější technologie 3D tisku.
- Princip: Roztavený materiál se, ve formě tenkého vlákna, nanáší na pracovní stůl pomocí trysky. Nanášení probíhá po vrstvách. Materiál, který se využívá pro výrobu modelu, musí být ve formě struny (filamentu). Pro tisk složitějších součástí se musí navíc použít podpurný 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 podpurného 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.



# Paste Extrusion Modelling (PEM)

- tisk hustých hmot ve formě pasty
- tato je pod vysokým tlakem vytlačována vrstvu po vrstvě
- vrstva po vytlačení ihned tvrdne.
- experimentální aplikace v uměleckých projektech, materiálovém výzkumu a dekoracích na zakázku.
- bezpečný



**BJ**

# BINDER JETTING (BJ)

Jedná se o technologii, při které dochází k vytvrzování materiálu chemicky, a to pomocí pojiva. Patentováno roku 1993. Společnost vlastníci technologii BJ je 3D Systems.

Princip:

Na pracovní stůl se nanese tenká vrstva prášku. Práškový materiál je v tomto případě spojován pojivem. Pojivo je na tenké vrstvy materiálu vstříkováno z tiskové hlavy. Výrobek je tak tvořen slepováním jednotlivých částic prášku.

Materiály, které se mohou použít pro výrobu modelu jsou například: keramika, hliník, nerezová ocel, nebo různé kompozitní materiály jako třeba Visijet PXL.



# BINDER JETTING (BJ)

## Výhoda:

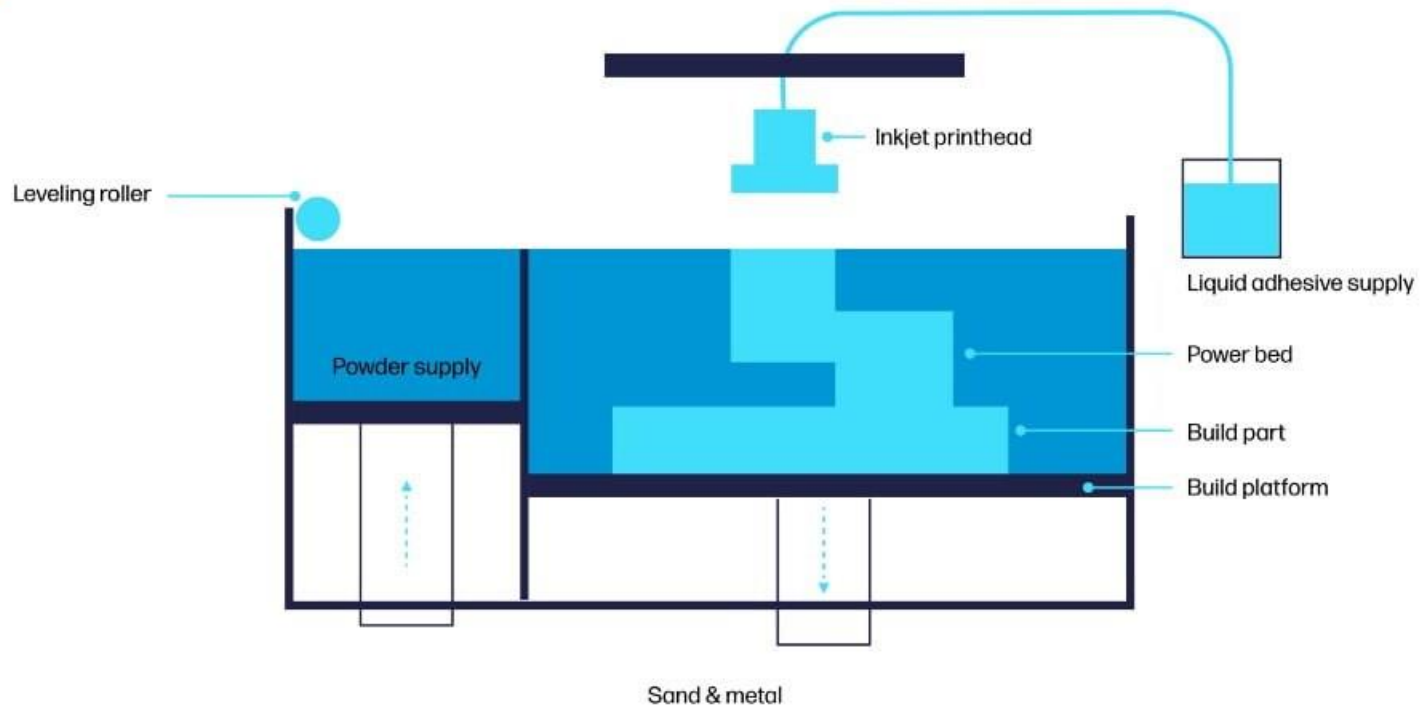
- široký výběr materiálu
- možnost výroby barevných modelů
- rychlost tisku

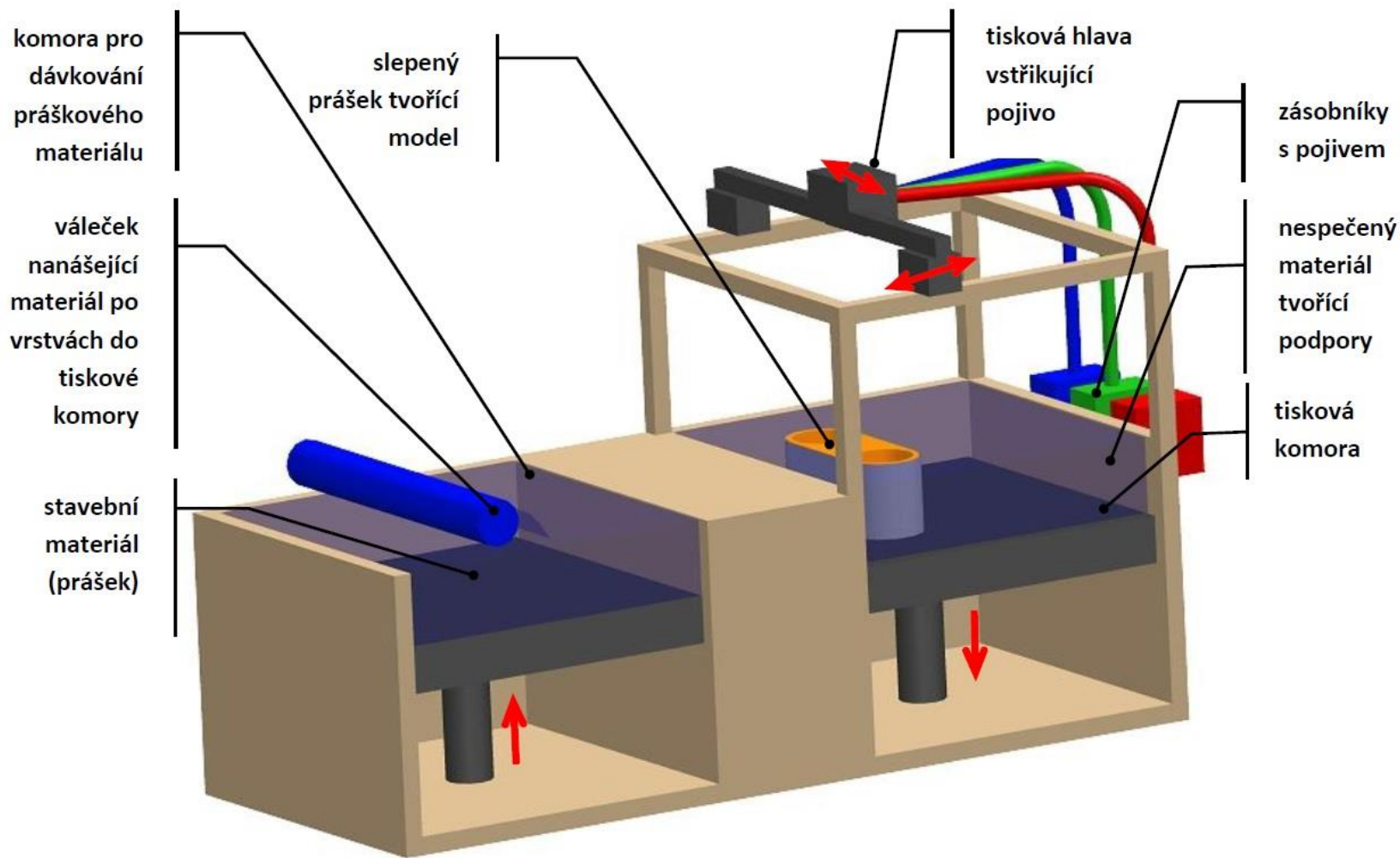
## Nevýhoda:

- dodatečné úpravy povrchu, za účelem zlepšení mechanických vlastností
- vysoká cena tiskárny
- Minimální velikost vrstvy: cca 0,09 mm
- Pořizovací cena tiskárny: cca 6 milionů Kč

# BJ

## Binder jetting (BJ)



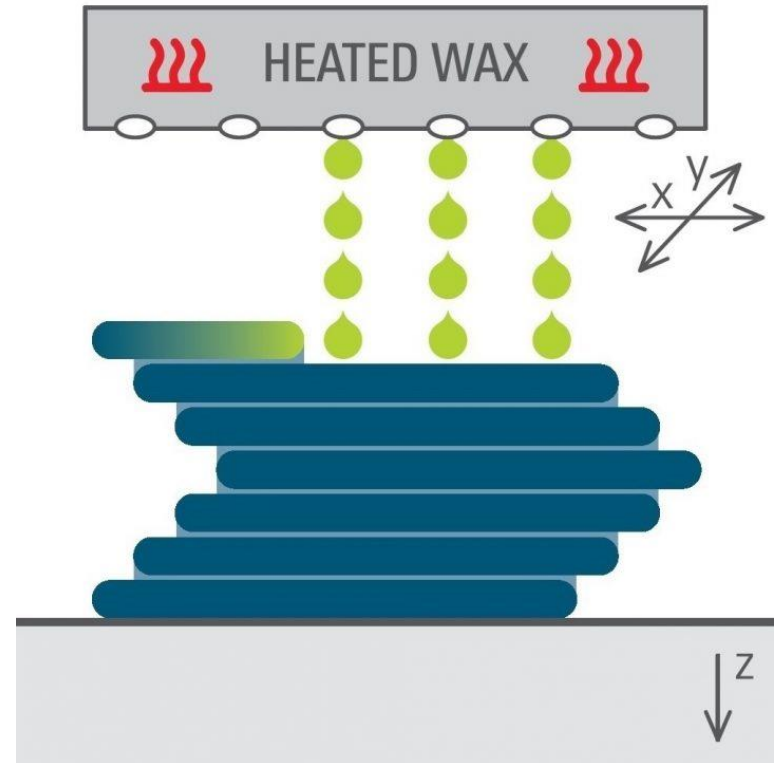


Obr.zdroj: <https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>

DOD

# Drop on Demand (DOD)

- v tiskové hlavě se taví materiál
- tvoří se kapky materiálu
- ty se nanášejí postupně na tiskovou podložku nebo předchozí vrstvu.
- voskové modely ve šperkařství.



LOM

# LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)

Společnost, která vlastní technologii LOM pochází z Izraele. Patent byl podán roku 1996.

Princip: Každá vrstva je vyříznuta buď z plastu, nebo z papíru a poté přilepena na plochu předchozí vrstvy. Fólie s materiálem se převijí z jedné cívky na druhou. Převíjení probíhá přes pracovní plochu, kde se vždy převíjení zastaví. Vyřízne se právě jedna vrstva a to buď nožem a nebo laserovým paprskem. Vyříznutá vrstva se přilepí na předešlou vrstvu a proces se opakuje.

Materiál pro výrobu modelu je buď papír, nebo plast dodávaný ve fólii, namotaný na roli.

# LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)

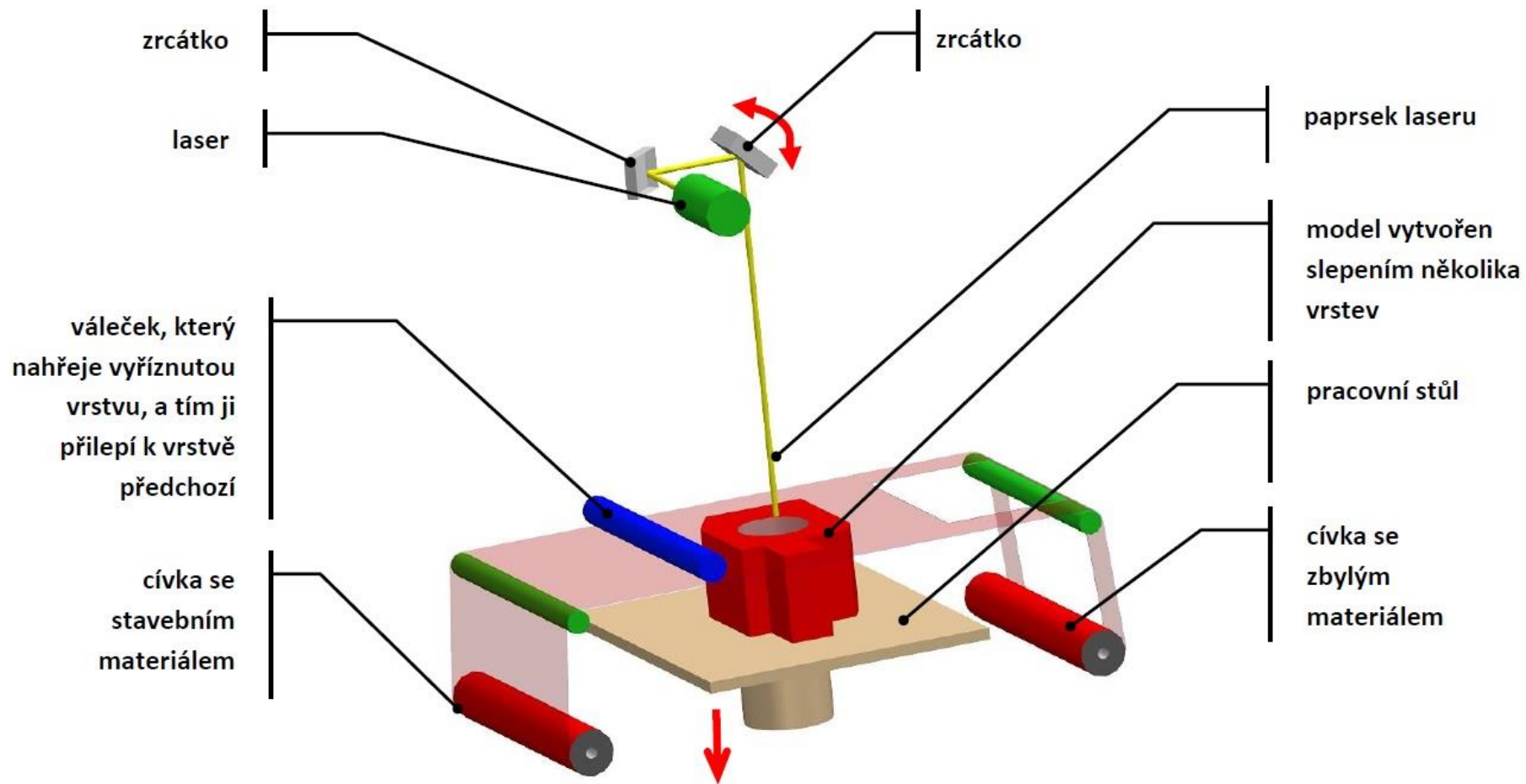
Výhoda:

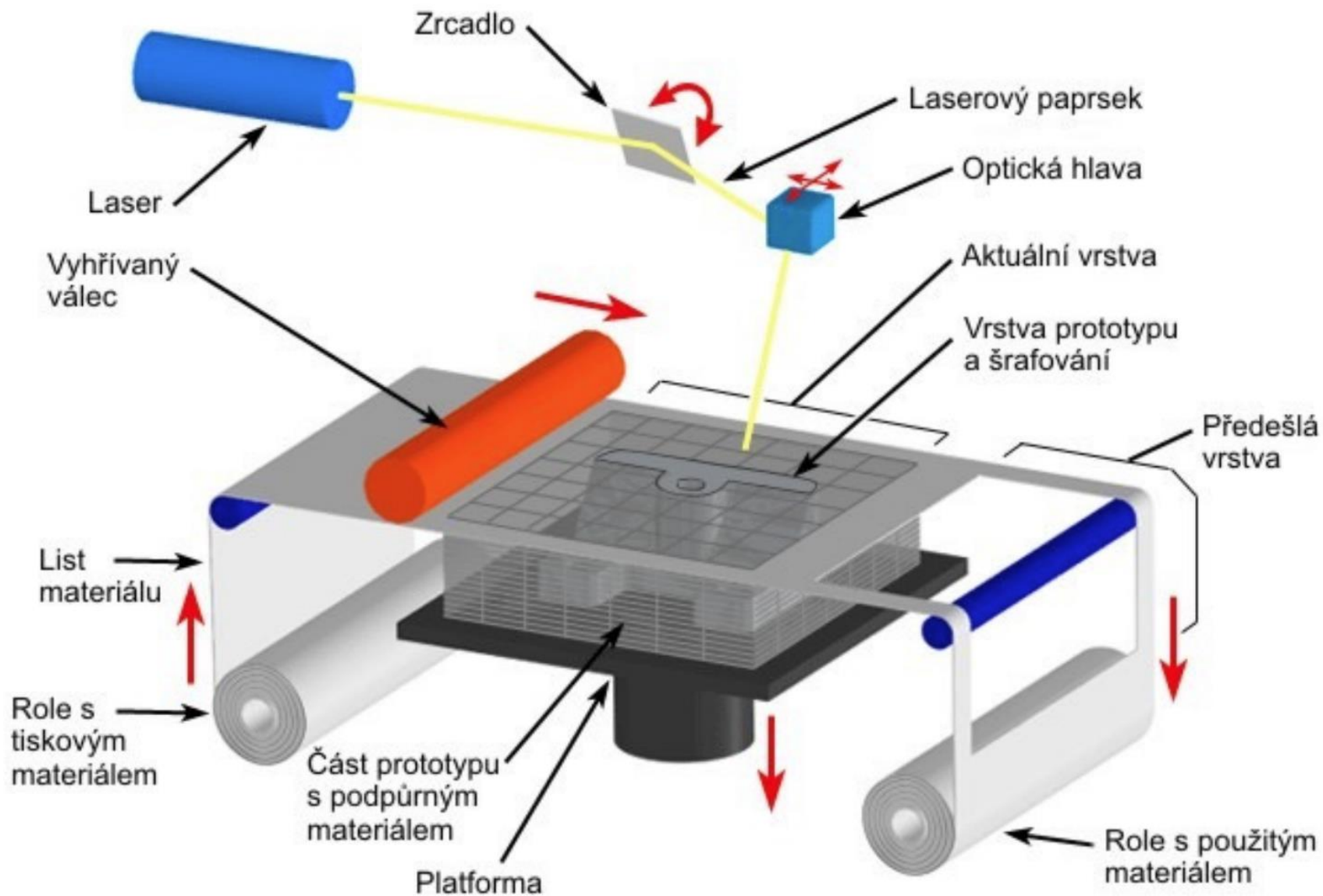
- nejlevnější stavební materiál pro model
- vysoce kvalitní povrch

Nevýhoda:

- malá produktivita (velké množství nevyužitého materiálu, nebo-li odpadu)
- mechanické odstraňování podpůrného materiálu
- Minimální velikost vrstvy: cca 0,1 mm
- Pořizovací cena tiskárny: cca 250 tisíc Kč







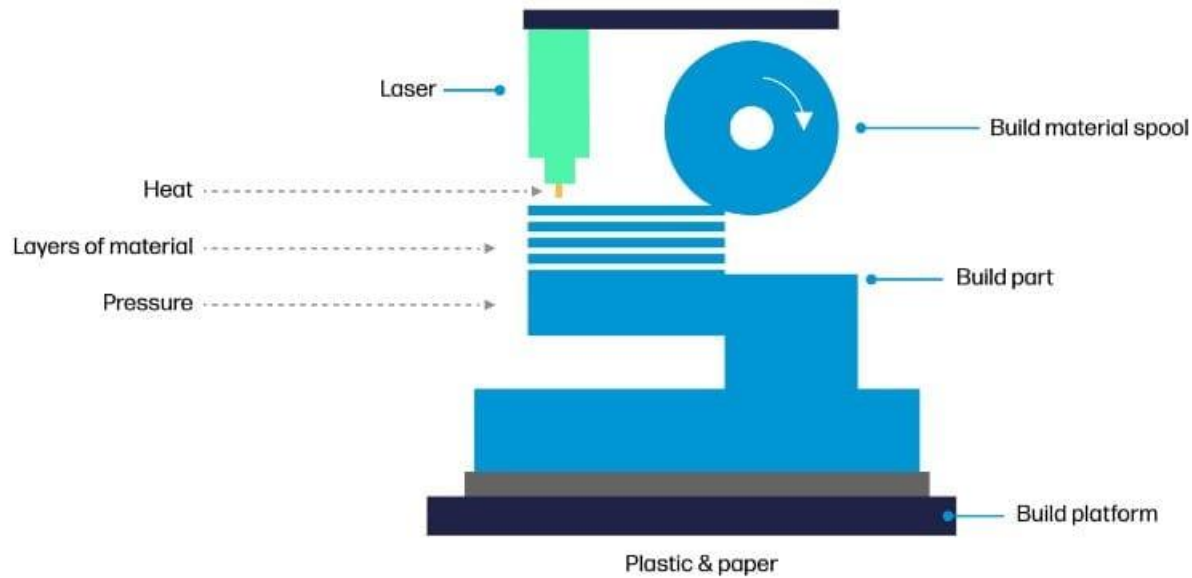
Zdroj: custompartnet, 2018

# LOM



## Sheet lamination

Laminated Object Manufacturing (LOM)



# Porovnání některých metod

# PBF

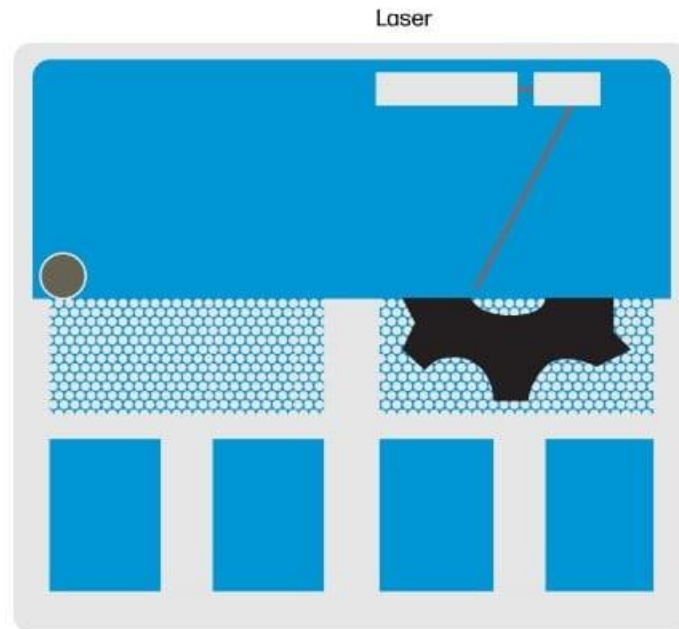


## Powder bed fusion

Selective Laser Sintering (SLS)

Selective Laser Melting (SLM)

Direct Metal Laser Sintering (DMLS)



Does not fully melt the material (SLS)

Fully melts the material and requires support structure (SLM)

Near melts the material used with metals and alloys (DMLS)

# Porovnání některých metod

## PRÁŠKOVÉ METODY

	SLS	DMLS	SHS	BJ	MJP
<b>Používané materiály</b>	keramika, plasty (nylon, ABS, PET atd.)	kov (nerez.ocel, titan, bronz, inconel)	PLA, ABS, PET, NYLON atd.	keramika, hliník, nerez.ocel, kompozity	na míru od výrobce 3D Systems
<b>Výhody</b>	nízká cena pořiz.mat., využitelnost zbytk.prášku	výroba složitých tvarů, kvalitní povrch	výroba složitých tvarů, využitelnost zbytk.prášku, nízká pořiz.cena tiskárny	široký výběr materiálu, barevnost tisku, rychlost tisku	kvalitní a přesný povrch, dobré mech.vlastnosti , rychlost tisku
<b>Nevýhody</b>	vysoká pořiz.cena tiskárny, nedokonalý povrch	vysoká pořiz.cena tiskárny	z hotového modelu nutno odstranit přebyt.mat.	dodatečné opravy povrchů k vylepšení mech.vlastností , vysoká cena tiskárny	
<b>Velikost vrstvy</b>	0,06 mm	0,02 mm	0,1 mm	0,09 mm	0,016 mm
<b>Cena</b>	5 mil. Kč	10 mil. Kč	300 tis. Kč	6 mil. Kč	1,5 mil. Kč

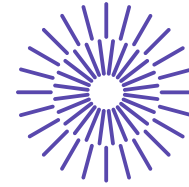
## OSTATNÍ METODY

	FDM	SLA	DLP	LOM
<b>Používané materiály</b>	PLA, ABS, PC, PC-ABS, PET, XT, ASA, DM Nylon 12 atd.; filamenty s příměsí bronzu, uhlík.vlákn a, dřeva atd	fotopolymery (např. fotopolym.pryskyřice apod.)	fotopolymery (např. fotopolym.pryskyřice)	papír nebo plast dodávaný ve folii, namotaný na roli
<b>Výhody</b>	minimální odpad, vysoká pevnost modelu	výborná přesnost v řádech mikronů	rychlost a přesnost procesu, levná výroba	nejlevnější materiál pro model, vysoce kvalitní povrch
<b>Nevýhody</b>	hrubá struktura	nutnost model dotvrdit ke zlepšení mech.vlastností; výběr materiálu je omezený na fotopolymery	nutnost model dotvrdit ke zlepšení mech. Vlastností, výběr materiálu je omezený na fotopolymery	velké množství nevyužitého materiálu
<b>Velikost vrstvy</b>	0,1 mm	0,01 mm	0,01 mm	0,1 mm
<b>Cena</b>	cca od 20 tis. Kč	cca 100 tis. Kč	cca 100 tis. Kč	cca 250 tis. Kč



# 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://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](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