

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Technická fakulta**



**Katedra materiálu a strojírenské technologie**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**3D tisk**

**Vedoucí práce:**

**prof. Ing. Milan Brožek, CSc.**

**Autor práce:**

**Petr Švrčula**

**PRAHA 2018**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Švrčula

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

**3D tisk**

Název anglicky

**3D printing**

---

### Cíle práce

- shromáždit informace o metodách 3D tisku, jeho výhodách, nevýhodách a využití v praxi,
- shromáždit informace o používaných materiálech a zařízeních.

### Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

**Doporučený rozsah práce**

cca 30 stran

**Klíčová slova**

3D tisk; prototyp; plasty; kovy

---

**Doporučené zdroje informací**

- BENIAK, J.: Systém rapid prototyping. Vydavatelství STU 2015, 134 s.
- BERMAN, B.: 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons, 2012, 55 (2), s. 155-162.
- COOPER, K. G.: Rapid Prototyping Technology: Selection and Application. Taylor & Francis Inc. 2001, 248 s.
- GALLIMORE, J. J., BROWN, M. E.: Visualization of 3-D Computer-Aided Design Objects. International Journal of Human-Computer Interaction, 1993, 5 (4), s. 361-382.
- HOPKINSON, N., HAGUE, R., DICKENS, P.: Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age. John Wiley & Sons 2006. 304 s.
- CHUA, CH. K., LEONG, K. F., LIM, Ch. S.: Rapid Prototyping. Principles and Applications. 3rd Edition. WSPC 2010. 600 s.
- CHUA, CH. K., LEONG, K. F.: 3D Printing and Additive Manufacturing. Principles and Applications. Fifth Edition. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 2014. 540 s.
- KHOO, Z. X., TEOH, J. E. M., LIU, Y. et al.: 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. Virtual and Physical Prototyping, 2015, 10 (3), s. 103-122.
- OROPALLO, W., PIEGL, L. A.: Ten challenges in 3D printing. Engineering with Computers, 2016, 32 (1), s. 135-148.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L.: From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 102, s. 214-224.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – TF

**Vedoucí práce**

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 13. 1. 2017

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2018

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: 3D tisk vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne:

.....

Petr Švrčula

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za poskytnuté podnětné návrhy, odborné vedení práce, vstřícný přístup a za čas, který mi věnoval při konzultacích.

Dále bych rád poděkoval mé přítelkyni za podporu během mého studia vysoké školy.

**Abstrakt:** Tato práce pojednává o současných technologiích 3D tisku. Obsahem práce je vysvětlení základních principů 3D tisku a rozbor jednotlivých technologií pro výrobu součástí z různých materiálů např. plasty, kovy nebo chytré materiály.

Rychlý vývoj v této oblasti umožnil vznik různých metod 3D tisku. Práce se zaměřuje na výhody a nevýhody jednotlivých metod, praktické využití a v neposlední řadě shromažďuje informace o materiálech využívaných pro tisk součástí.

Použité informace o technologiích a materiálech v této práci, pochází především od společností 3D Systems, Stratasys a EOS, protože tyto společnosti stály u zrodu tohoto oboru. V dnešní době existuje velké množství společností nabízející různé typy tiskáren, ale přesto většinou vychází z technických principů výše uvedených společností.

**Klíčová slova:** 3D tisk; prototyp; plasty; kovy; 4D tisk; chytré materiály

## 3D printing

**Abstract:** This work overviews current 3D printing technologies. It describes basic principle of 3D printing and analysis of individual technologies to produce components made off various materials eg. plastics, metals or smart materials.

Rapid development in this field allows to create various 3D printing methods. The work focuses on advantages and disadvantages of individual methods, practical use and collects the information about materials used for printing of components.

The information about technologies and materials used in this work comes mainly from the 3D Systems, Stratasys and EOS since these companies are at the forefront of this industry. Nowadays, there are many companies offering several types of printers, but they are mostly based on the technical principles of the above - mentioned companies.

**Key words:** 3D printing, prototype, plastic materials; metallic materials; 4D printing; smart materials

# **Obsah**

1.	Úvod .....	1
2.	Cíle práce .....	2
3.	Metodika .....	2
4.	Technologie 3D tisku .....	2
5.	JP – systém .....	3
6.	MultiJet a PolyJet technologie .....	4
6.1	Materiály .....	5
6.2	Využití .....	6
7.	Modelování vrstvením plastové taveniny .....	7
7.1	Vytlačovací hlava .....	7
7.1.1	Vytlačovací mechanismus .....	8
7.1.2	Topná komora .....	9
7.1.3	Tryska .....	9
7.2	Tisková podložka .....	9
7.3	Příprava souboru s podporou počítače .....	9
7.3.1	Velikost a orientace součásti .....	10
7.3.2	Řezání .....	10
7.1	Materiály .....	10
7.2	Využití .....	11
7.2.1	Využití ve slévárenství .....	12
7.2.2	Lékařské aplikace .....	12
7.2.3	Flexibilní součásti .....	12
7.3	Výhody a nevýhody .....	13
8.	Stereolitografie .....	13
8.1	Materiály .....	14
8.2	Využití .....	16
8.3	Výhody a nevýhody .....	16
9.	Selektivní laserové slinování .....	17

9.1	Materiály .....	18
9.2	Využití .....	19
9.3	Výhody a nevýhody .....	19
10.	Přímé kovové laserové slinování .....	20
10.1	Materiály .....	20
10.2	Využití .....	21
10.2.1	Průmyslové aplikace .....	21
10.2.2	Zdravotnická zařízení .....	22
10.2.3	Vytváření prototypů .....	23
10.2.4	Nástroje .....	23
10.3	Výhody a nevýhody .....	23
11.	3D tisk chytrých materiálů .....	24
11.1	Materiály .....	25
11.1.1	Vylepšené chytré nanokompozity .....	25
11.1.2	Slitiny s tvarovou pamětí .....	25
11.1.3	Materiály reagující na vnější podněty .....	26
11.1.4	Materiál jako pohon pro jemnou robotiku .....	27
11.1.5	Aktivní origami - materiály pro řízené sekvenční skládání .....	27
11.1.6	4D Biotisk .....	28
12.	Závěr .....	29
	Seznam použité literatury .....	30
	Seznam zkratk .....	33
	Seznam obrázků .....	34
	Seznam tabulek .....	34



# 1. Úvod

3D tisk je považován za největší pokrok v technologiích od vzniku internetu a je často spojován s pojmem třetí průmyslová revoluce. [1] Neustále se zvyšující spotřeba a nároky lidstva kladou stále větší důraz na technologický pokrok ve všech oblastech lidské činnosti. 3D tisk je perspektivní technologie, která již v současné době prostupuje napříč celým průmyslem.

Vznik 3D tisku je datován od roku 1983, kdy vynálezce Charles Hull poprvé vytvořil objekt pomocí 3D tisku, o rok později si nechal patentovat technologii zvanou Stereolitografie. V roce 1986 se společnost 3D Systems stává první 3D tiskovou společností se vznikem první komerční 3D tiskárny SLA 1 (Stereolithographic apparatus – 1). [2]

V roce 2004 je zahájen projekt RepRap, který pracuje s myšlenkou vývoje levné 3D tiskárny pro studijní a domácí použití, která by byla schopna replikovat sama sebe. V roce 2005 se tento projekt stává celosvětově známým. Od té doby v rámci projektu RepRap vzniklo několik typů tiskáren pracujících s technologií modelování vrstvením plastové taveniny. [5]

Počátkem 21. století došlo k významnému pokroku v metodách selektivního laserového slinování a přímého laserového slinování kovů, které vedlo k širší aplikaci 3D tisku pro výrobu kovových částí a širšímu nasazení v průmyslových aplikacích, kde jsou těmito metodami vyráběny finální produkty pro přímé použití.

V současné době existuje mnoho společností, které se zabývají výzkumem a výrobou v oblasti 3D tisku, ale do popředí se již dostává i takzvaný 4D tisk.

## **2. Cíle práce**

Cílem této práce je shromáždit informace o metodách 3D tisku, jeho výhodách, nevýhodách a praktickému využití, včetně dostupných materiálů pro tuto oblast.

## **3. Metodika**

Vyhledat a zpracovat informace o současném stavu technologií a materiálů pro 3D tisk z odborných publikací a firemních materiálů, především od společností, které stojí za vývojem nových metod v této oblasti a také od společností, které využívají 3D tisk v průmyslové výrobě.

Přínosem této práce je vytvoření přehledného souboru informací od ranného vývoje 3D tisku až po budoucí technologie 4D tisku, který může poskytnout ucelený pohled na tuto problematiku pro odbornou i laickou veřejnost.

## **4. Technologie 3D tisku**

3D tisk je jednou z metod rychlého prototypování (RP – Rapid Prototyping), které je definováno jako (3D) konstrukce trojrozměrných fyzických modelů přímo z počítačem podporovaného designu (CAD – Computer Aided Design). Tento proces výroby poskytuje návrhářům, inženýrům a designérům schopnost vytvořit své představy a nápady ve 3D prostoru. [3]

Základní popis technologie RP vyplývá ze samotného názvu, kde slovo rychlý, označuje jednoduchost vytvoření objektu, neboť od návrhu objektu v CAD systému je poměrně jednoduchá cesta převést model na strojový kód, který je následně zpracován 3D tiskárnou do hmotného trojrozměrného objektu. Termín prototypování naopak označuje postup jako příliš pomalý pro použití v sériové výrobě.

Procesy RP poskytují rychlou a nenákladnou alternativu pro výrobu prototypů a funkčních modelů ve srovnání s konvenčními metodami pro výrobu dílů. Základním principem 3D tisku je postup vytváření objektů, který je stejný u všech metod 3D tisku. [3]

Všechny metody 3D tisku vytvářejí objekty jako velmi tenké řezy objektu, které skládají na sebe, dokud nedojde k dokončení celého objektu (obr. 1). Tento postup zjednodušuje složitou trojrozměrnou tvorbu na vytváření dvourozměrných řezů, které se poté skládají dohromady. Tento princip umožňuje vytvářet velmi složité tvary s vnitřní strukturou, které by prakticky nebylo možné vytvořit jinou výrobní metodou. 3D tiskem je možné vytvářet složité vnitřní struktury, části uvnitř částí, nebo velmi tenké stěnové prvky. [3]

3D tisk také snižuje množství lidského času potřebného pro výrobu objektu. Po zahájení výroby běží tyto stroje obvykle bez dozoru, a to až do dokončení finálního produktu. Lidské úkony se v tomto procesu omezují pouze na počáteční nastavení stroje a po dokončení tisku na čištění stroje a výrobku. Čištění nebo případná úprava vytvořeného výrobku jako je broušení a lakování je označované jako postprocessing. Celková doba zásahu uživatele však stále zůstávají mnohem menší než u tradičních obráběcích procesů. [3]

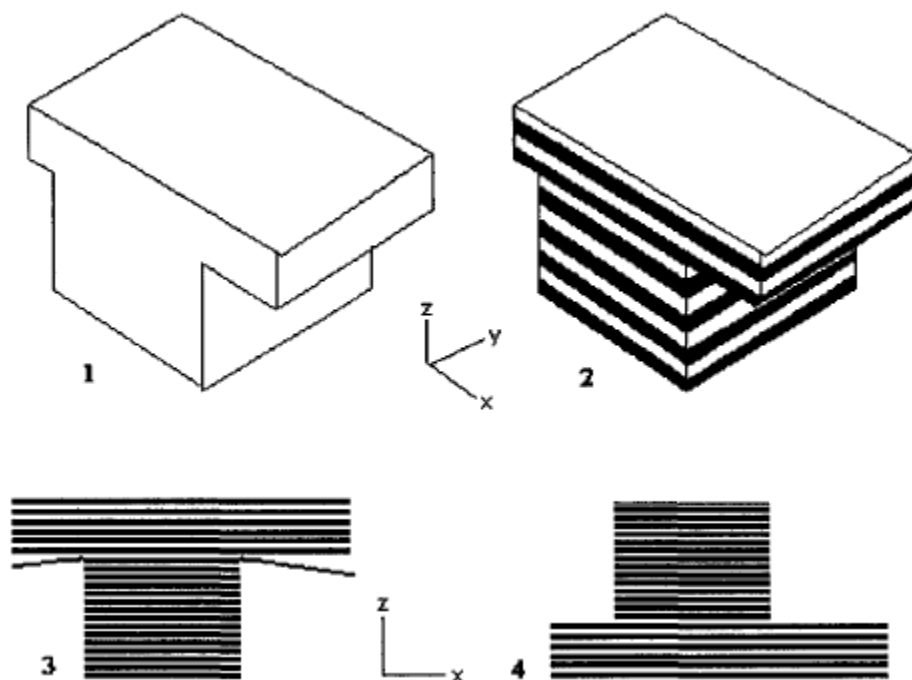


Obr. 1 Princip 3D tisku - model, „naplátkovaný model“ 3D tisk.  
Zdroj: <https://hotmess3d.com/en/iimg/265/950x/i.png>

Některé modely 3D tiskáren jsou malé a šetrné k životnímu prostředí, takže mohou být umístěny přímo do kanceláře designéra, stejně jako běžný kopírovací stroj. Mít přístup k přesným a funkčním prototypům, které ověřují koncepce v počátečních fázích projektu, je neocenitelným zdrojem pro každou instituci v oblasti sériové i kusové výroby. [1]

## 5. JP – systém

JP - Systém 5 (JP-5) je zřejmě nejjednodušší metodou v oblasti 3D tisku. Jedná se o kombinaci plotteru a řezného kotouče. JP-5 vytváří přesné řezy objektu z lepicího papíru, které jsou následně slepeny ve výsledný objekt (obr. 2). Ačkoliv JP-5 není přímo 3D tiskárna, představovala zajímavou technologii rychlého prototypování pro vytváření levných modelů. [3] V současné době je tato metoda již zastaralá a nevyužívá se.



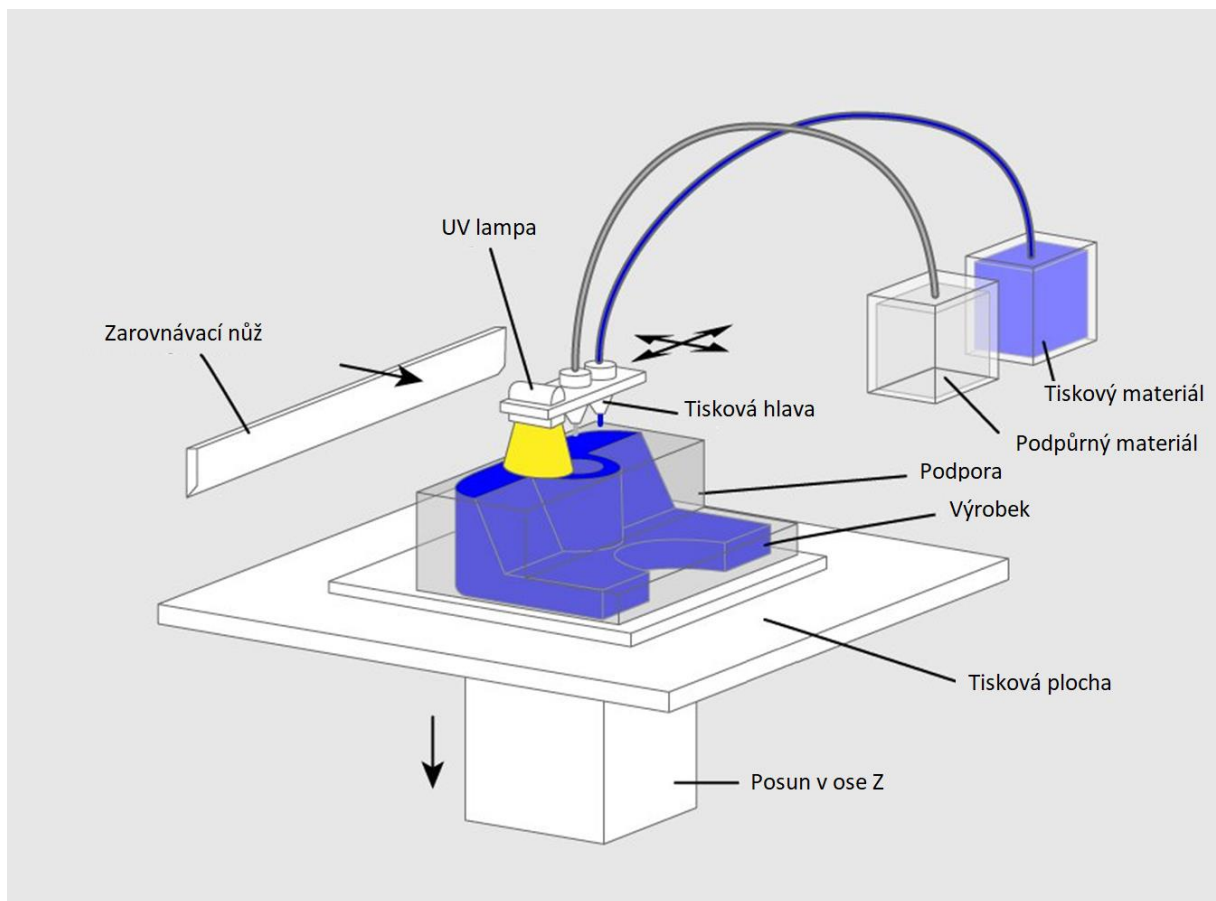
Obr. 2 Princip tisku pomocí JP-5 - 1. model, 2. „nařezaný“ model, 3., 4. vyřezané plátky slepené dohromady. [3]

## 6. MultiJet a PolyJet technologie

MultiJet printing (MJP) je technologie 3D tisku představená společností 3D Systems. [29] PolyJet printing (PJP) je technologie pracující na stejném principu od společnosti Stratasys [28].

Jedná se o proces inkoustového tisku, který využívá technologii piezo tiskové hlavy, která nanáší vrstvu z fotopolymerovatelných plastových pryskyřic, nebo z vrstev voskových materiálů. Během tisku je každá jednotlivá vrstva vytvrzena pomocí UV záření (obr. 3). MJP systém dovoluje tloušťku vrstvy až 16  $\mu\text{m}$ . [3]

Tato technologie se vyznačuje tvorbou objektů s vysokým rozlišením. Během procesu používá hlavní stavební materiál a podpurný materiál, díky kterému umožňuje tisknout složité struktury a tvary. Jako podpurný materiál slouží vosk s nízkou teplotou tání. Díky této vlastnosti, je možné po tisku dokonale vyčistit i složité tvary a vnitřní dutiny bez poškození výrobku, například v peci. [3]



Obr. 3 Princip metody MJ a PJP.  
 Zdroj: <https://3Dprinting.com/wp-content/uploads/2012/06/material-jetting.jpg>

## 6.1 Materiály

K výrobě objektů touto technologií je možné použít několik druhů materiálů. Jedná se převážně o plastové, kompozitní, voskové, elastické, biokompatibilní nebo biologicky rozložitelné materiály. V tab. 1 jsou uvedeny informace o vybraných materiálech společnosti 3D Systems. [8]

Tab. 1 Srovnání vybraných materiálů pro MJM od společnosti 3D Systems. [8]

Název	Materiál	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplotní odolnost [°C]	Použití
CR – BK	plast	45–52	2200–2900	61	univerzální, vysoká pevnost
CR – CL 200	plast	37–47	1000–1600	46	univerzální
M2 CAST	vosk	neuvádí se	neuvádí se	61–66	pro přímé odlévání kovů
M2 EBK	elastomer	0,2–0,4	0,27 – 0,43	-	univerzální
M2G – CL	plast	30–35	1500–2000	47	univerzální
M2R-BK	plast	45–55	2000–2500	61	univerzální
M3 Black	plast	35,2	1594	57	univerzální
M3 CAST	vosk	neuvádí se	neuvádí se	61–66	odlévání kovů
M3 Crystal	plast	42,4	1463	56	zdravotnictví – biokompatibilní
M3 Hi-Cast	vosk	neuvádí se	neuvádí se	70	odlévání kovů
M3 Stoneplast	plast	41	1850	56	zdravotnictví – biokompatibilní
M3-X	plast	49	2168	88	univerzální, vysoká pevnost

## 6.2 Využití

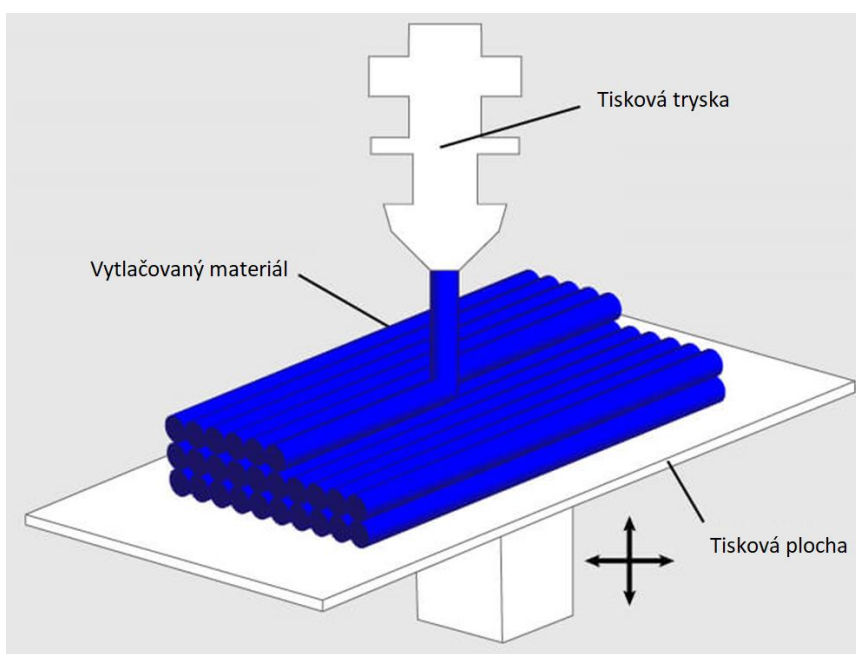
Vlastnosti této technologie jsou ideální pro tisk pevných, funkčních prototypů ve vysokém rozlišení. Materiály odolné vysokému tlaku nacházejí uplatnění ve výrobě forem pro přímé vstřikování plastů. Technologií MJP je možné vyrobit formu v řádu několika hodin, což oproti tradičnímu postupu vytváření kovových forem šetří čas a náklady. Díky širokému portfoliu používaných materiálů, nachází také uplatnění v odlévání kovů metodou ztraceného vosku (obr. 4). Některé biokompatibilní materiály, splňující certifikaci pro použití v medicíně, nachází využití v lékařství. [3, 8]



Obr. 4 Model a následný odlitek zhotovený metodou ztraceného vosku.  
Zdroj: <https://www.projct-3d-drucker.de/3d-drucker/wachsdruker/>

## 7. Modelování vrstvením plastové taveniny

Modelování vrstvením plastové taveniny (FDM - Fuse Deposition Modelling) je technologie 3D tisku založená na vytlačování roztaveného plastového materiálu, který je podobně jako u jiných systémů skládán v jednotlivých vrstvách (obr. 5). Datovým vstupem technologie FDM je standardizovaný datový soubor STL. Tento formát dovoluje používat více materiálů pro výsledné vytvoření modelovaného objektu. Tato vlastnost umožňuje výrobu objektu z několika druhů materiálů, toho se využívá například pro tvorbu podpěr při tisku složitých tvarů. Jako podpůrný materiál je často používán polyvinilalcohol (PVA), který je rozpustný ve vodě, což umožňuje dokonalé odstranění PVA pouhou vodní lázní během následného postprocesingu. Za vznikem této technologie stojí společnost Stratasys, Inc., která počátkem minulého století vyvinula tuto technologii jako koncepční modelovací metodu. [3]

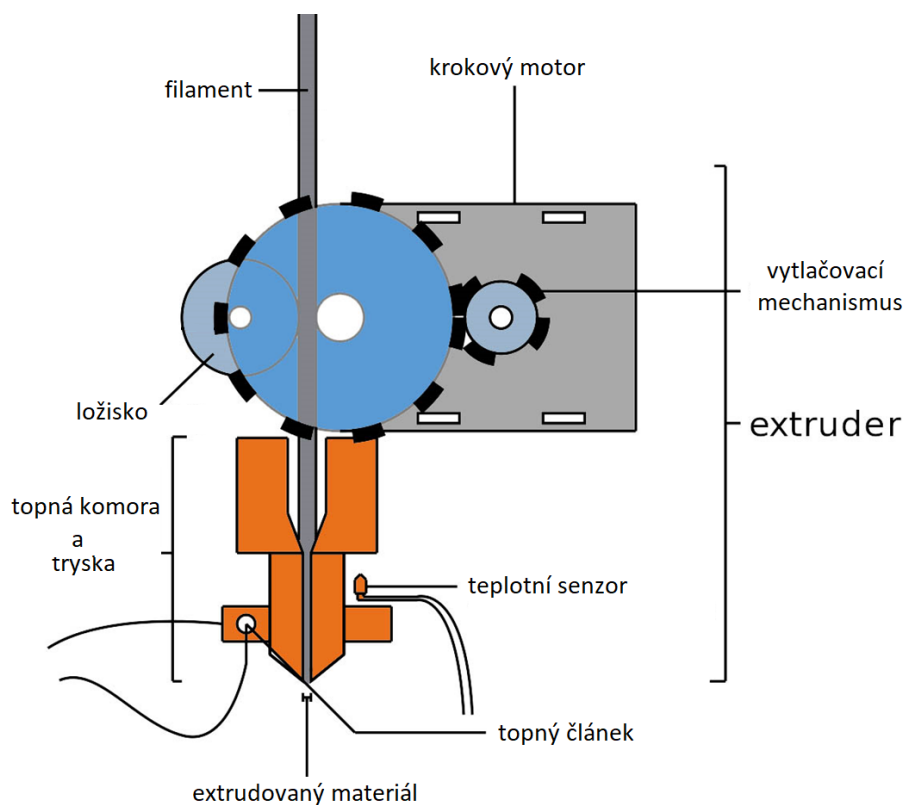


Obr. 5 Princip technologie FDM.

Zdroj: <https://3Dprinting.com/wp-content/uploads/2017/06/fused-deposition-modeling.jpg>

### 7.1 Vytlačovací hlava

Vytlačovací hlava je klíčovým komponentem technologie FDM. Jedná se o kompaktní, odnímatelnou jednotku, která může být uzpůsobena pro jeden nebo více materiálů a sestává z následujících klíčových součástí (obr. 6) [3]



Obr. 6 Schéma tiskové hlavy.

Zdroj: <https://www.engineersgarage.com/sites/default/files/Material-Extrusion-3D-Printer-Head-02.jpg>

### 7.1.1 Vytlačovací mechanismus

Vytlačovací mechanismus je tvořený motorem a posuvným kolem. Toto soustrojí zajišťuje podávání materiálu, ve většině případů je přímo součástí vytlačovací hlavy. Podávání tiskového materiálu (filamentu) je řízeno počítačem pomocí krokového motoru a dosahuje velmi přesného odměřování. Existuje několik konstrukčních řešení tohoto soustrojí, nejběžněji se vyskytuje převodovaný extruder, který se skládá ze dvou paralelních kol s malým krokovým motorem. Při podávání je filament zatlačován do další části vytlačovací hlavy, tou je topná komora. [3]



### **7.1.2 Topná komora**

V topné komoře dochází k tavení filamentu na nastavené teplotě, podle druhu použitého materiálu. Teplota tavení je důležitým parametrem, který je odlišný pro různé druhy tiskových materiálů. Teplota by měla být konstantní a stabilní po celou dobu tisku, proto je topná komora regulována počítačem a vybavena teplotním senzorem, sloužícím pro zpětnovazební regulaci. [3]

Ohřívací členy jsou nastaveny na teplotu těsně nad bodem tání tiskového materiálu, tím je zajištěn polotekutý stav materiálu na výstupu komory. To umožňuje hladké vytlačování a přesné umístění materiálu na tiskovou plochu. Na konci ohřívací komory se nachází vytlačovací tryska. [3]

### **7.1.3 Tryska**

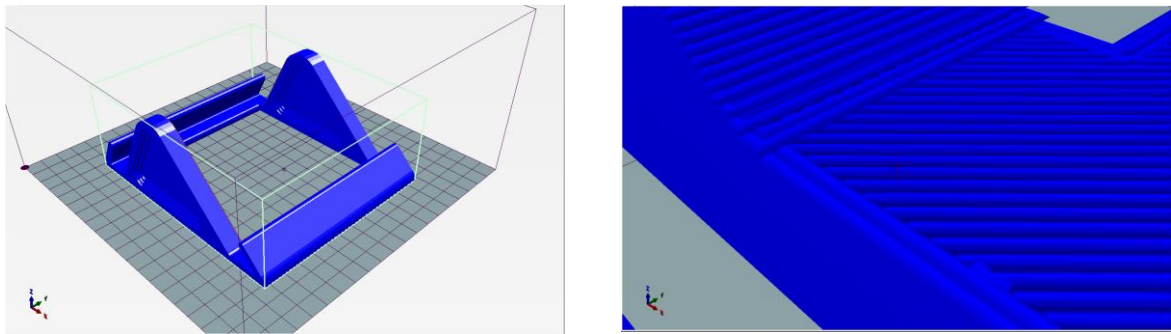
Tryska je vybavena vnějším závitem a šroubuje se přímo do topné komory, používá se ke snížení průměru extrudovaného vlákna. Trysky jsou vyráběny v několika velikostech, nejběžnější rozměry jsou 0,35 mm a 0,4 mm. Špička trysky je plochá a slouží jako horká stříhová plocha pro udržení hladkého horního povrchu extrudovaného materiálu. Extrudovaný materiál je nanášen a vrstven na tiskovou podložku, která je v některých případech vyhřívaná. [3]

## **7.2 Tisková podložka**

Tisková podložka musí být hladká, ale zároveň mít určitou adhesi. Pro tisk plastu ABS (ABS - akrylonitrilbutadienstyren) je nutné mít tiskovou plochu vyhřívanou tak, aby nedocházelo k teplotním deformacím během prudkého zchladnutí tištěného objektu. [3]

## **7.3 Příprava souboru s podporou počítače**

Po vytvoření modelu v CAD aplikaci je nutné uložit ho do datového souboru STL. STL soubor je možné otevřít ve speciálních softwarech, takzvaných „slicerech“, ve kterých proběhne nařezání modelu a jeho následný převod do strojového jazyka. Po načtení souboru STL je model zobrazen graficky na obrazovce a umístěn v kartézském souřadném systému (x, y, z) (obr. 7). Před konečným zpracováním je možné navolit parametry řezu, jako tloušťku vrstvy, konstrukční a podpůrné materiály, nebo rozměr vytlačovací hrotu. [3]



Obr. 7 Objekt umístěný ve sliceru - vlevo před řezání, vpravo detail jednotlivých vrstev.  
Zdroj: Repetier software

### 7.3.1 Velikost a orientace součásti

Nejprve je nutné ověřit, že se model vejde do ohraničujícího rámečku ve všech osách. V opačném případě je potřeba objekt zmenšit, nebo rozdělit tak, aby bylo možné jeho finální složení. Po zvolení vhodné velikosti, následuje umístění objektu do optimální polohy pro tisk. Optimální poloha objektu na tiskové ploše může zvýšit kvalitu a rychlost tisku. [3]

### 7.3.2 Řezání

Po finálním umístění modelu na tiskové ploše je potřeba model fiktivně nařezat a převést do strojového kódu. Řezání je operace softwaru, která vytváří tenké horizontální řezy souboru STL, který je následně převáděn do strojového kódu. Tloušťka jednotlivých vrstev záleží na velikosti vytlačovacího hrotu a na požadované kvalitě tisku od které se odvíjí doba tisku. Tloušťka vrstvy se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,1 - 0,5 mm, maximální rozměr je omezen průměrem vytlačovacího hrotu. [3]

## 7.1 Materiály

K výrobě objektů technologií FDM se nejčastěji využívá termoplastický průmyslový kopolymer ABS, který je odolný vůči mechanickému poškození, nízkým i vysokým teplotám, kyselinám, je málo nasákavý, zdravotně nezávadný a pevný. Dalším často používaným materiálem je termoplastický polyester polylactic acid (PLA), ten je díky svým vlastnostem rozšířený hlavně pro edukační a modelářské účely. Vyrábí se z obnovitelných zdrojů jako je bramborový nebo kukuřičný škrob a jeho velkou výhodou je biologická rozložitelnost. PLA není náchylné k deformacím a vadám vlivem chladnutí, nevyžaduje tedy nutně použití vyhřívané podložky pro tisk, tak jako v případě použití ABS. PLA není tak odolný jako ABS a má nižší teplotu tání. Z materiálového hlediska jsou výrobky z PLA více lesklejší a méně pružné. Tyto materiály jsou jedny z nejrozšířenějších, na trhu jsou ale dostupné různé druhy materiálů s různými vlastnostmi. V tab. 2 jsou vybrány materiály od společnosti Stratasys s různými vlastnostmi, většina popsaných materiálů je dostupná v široké paletě barev. [3, 9]

Tiskový materiál je vyráběn ve formě vláken o průměru 1,75 mm a 3 mm, nejčastěji je navinut na plastových cívkách o hmotnosti 1 kg. Cívky jsou uloženy na vřetenu v zadní nebo boční straně stroje a vlákno se přivádí přes ohebný bowden do vytlačovací hlavy. [3]

Tab. 2 Vlastnosti vybraných materiálů pro technologii FDM. [9]

Název	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplotní odolnost [°C]	Vlastnosti
<b>ABS-ESD7</b>	36	2400	96	potlačení statického náboje
<b>ULTEM</b>	33-47	2150-2270	153	pevný materiál, velká teplotní odolnost
<b>NYLON 12CF</b>	28,9-63,4	2300-7515	143	velmi pevný materiál s příměsí uhlíkových vláken
<b>POLYCARBONAT</b>	30-40	1944-1958	138	pevný materiál pro výrobu vstřikovacích forem
<b>ABS-M30I</b>	26-31	2180	82	biokompatibilní materiál využívaný ve zdravotnictví, chemicky odolný
<b>PLA</b>	26-45	2539-3039	53	pevný, levný, nízká teplotní odolnost, bio rozložitelný materiál
<b>ASA</b>	27-29	1950-2010	98	pevný, UV stabilní materiál
<b>ULTEM 1010</b>	42-64	2200-2770	216	velmi pevný materiál, odolný vysokým teplotám, biokompatibilní pro styk s potravinami
<b>ICW06</b>	neuvádí se	neuvádí se	76	voskový materiál pro odlévání kovových materiálů metodou ztraceného vosku

## 7.2 Využití

Díky vlastnostem tiskových materiálů mohou být objekty vytvořené touto metodou přímo použity v různých aplikacích, kde mohou nahradit tradičně obrobené, extrudované nebo vstřikované plastové díly. Toho je využíváno k výrobě již nevyráběných, nebo unikátních součástí, jejichž výroba konvenční cestou by byla příliš nákladná. Pro správnou funkci součásti musí být zvolen vhodný materiál, který má vlastnosti podobné originálu. Díky široké nabídce dostupných tiskových materiálů nachází tato metoda 3D tisku uplatnění ve velkém množství průmyslových a domácích aplikacích. [3]

### 7.2.1 Využití ve slévárenství

Voskový odlitek vytvořený technologií FDM, je využíván ve slévárenství pro tvorbu modelu požadovaného odlitku. S využitím tohoto modelu je následně možné vyrobit slévárenskou formu a provést proces odlévání pro získání požadovaných kovových součástí. [3]

### 7.2.2 Lékařské aplikace

Materiál ABS s lékařským atestem byl schválen Úřadem Spojených států pro potraviny a léčiva (FDA), a je používán ve zdravotnictví, k výrobě přípravků a modelů pro léčebné účely. Pomocí dat z magnetické rezonance mohou být rekonstruovány a zkoumány vlastní modely vnitřních orgánů, kostí atd. [3]

### 7.2.3 Flexibilní součásti

Materiály elastomeru rozšiřují další využitelnost systémů FDM. Flexibilní materiál je vhodný k výrobě prototypových nebo atypických flexibilních součástí jako jsou těsnění, kryty a trubky. Použití tohoto materiálu se dostalo i do oděvního průmyslu, k výrobě bot (obr. 8), vložek a dokonce šatů. [3, 10]



*Obr. 8 Boty vytištěné z elastického materiálu metodou FDM.  
Zdroj: <http://www.fabbaloo.com/blog/2014/1/1/filaflex-is-indeed-flexible.html>*

### **7.3 Výhody a nevýhody**

Mezi hlavní výhody technologie FDM patří vysoká pevnost a teplotní odolnost používaných stavebních materiálů. Díky jednoduchému principu této technologie, jí lze snadno aplikovat v nenáročných podmínkách v bezpečném provozu. Dalšími výhodami technologie jsou snadný postprocessing a nízká pořizovací cena základních typů tiskáren s levným provozem. Tyto vlastnosti zajistily velkou oblibu mezi rozšířenou základnou uživatelů. [3]

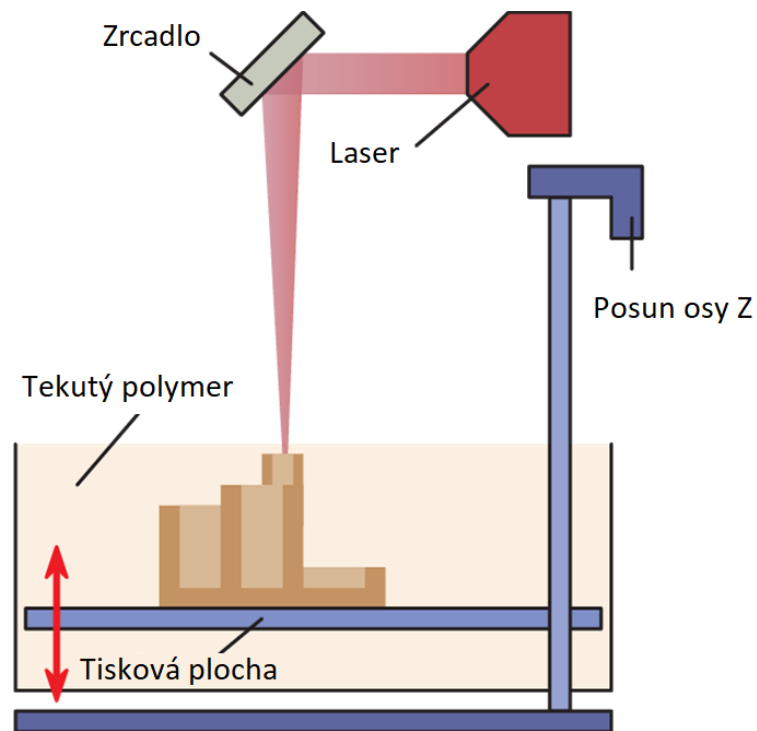
I přes významný pokrok v rychlosti tisku u novějších systémů FDM, je samotný mechanický proces tisku stále o mnoho pomalejší než 3D tiskárny, založené na využívání laseru. Hlavní nevýhodou tohoto systému je nedostatečná rychlost výroby, tyto systémy také velice špatně vytvářejí drobné, jemné prvky, jako například tenký sloup nebo tenkou stěnu. Povrch takto vyrobených částí je hrubší a nese stopy jednotlivých vrstev po 3D tisku, ve většině případů je nutný postprocessing. [3]

## **8. Stereolitografie**

Stereolitografie (SLA) byla první komerčně využívanou metodou 3D tisku. Za vznikem první komerční 3D tiskárny SLA 1 stála společnost 3D Systems, která stále drží majoritní podíl v oblasti 3D tisku. [2]

SLA je proces 3D tisku založený na selektivním vytvrzování kapalné fotosenzitivní pryskyřice s relativně nízkým výkonem světelného zdroje (obr. 9). Základem tohoto procesu je fotopolymerace, která spojuje malé molekuly (monomery) do molekul s větším řetězcem (polymery), ty se nakonec přetvoří do plně zesíťovaného pevného polymeru pomocí zavedeného katalyzátoru ve formě světelné energie. Světelná energie začíná radikálovou polymerací, kde je kapalný fotopolymer postupně převáděn z kapaliny do gelu až na pevnou látku. [3]

V procesu SLA slouží jako zdroj světelné energie UV lampa, nebo zaostřený laser, který selektivně vytvrzuje pryskyřici v požadovaném tvaru z datového souboru. Systémy SLA v současnosti nabízejí pravděpodobně nejpřesnější tvorbu funkčních prototypů na trhu. [3, 11]



Obr. 9 Princip stereolitografie.

Zdroj: <http://www.machinedesign.com/3d-printing/what-s-difference-between-stereolithography-and-selective-laser-sintering>

## 8.1 Materiály

Původní tiskové materiály pro technologii SLA byly na bázi akrylátové pryskyřice, postupně však byly nahrazeny epoxidovými materiály, které jsou známé jako ACES (Acrylic Clear Epoxy System). Epoxidové materiály poskytují lepší vlastnosti materiálu a jsou méně nebezpečné v porovnání s akrylátovou pryskyřicí. Zavedení epoxidových materiálů vyžadovalo delší dobu expozice při vytvrzování a větší výkony světelných zdrojů. V současné době existuje široká škála nabízených materiálů. V tab. 3 jsou uvedeny vlastnosti některých materiálů společnosti 3D Systems. [3, 8]

Tab. 3 Vlastnosti vybraných materiálů pro metodu SLA. [8]

Název	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplotní odolnost [°C]	Vlastnosti
<b>Accura 25</b>	55-58	1380-1660	63	flexibilní, model pro vakuové lití plastů
<b>Accura 48HTR</b>	105-118	2760-3400	130	teplotně odolný, odpuzující vlhkost, používaný v automobilovém průmyslu
<b>Accura Xtreme</b>	75-79	1520-2070	62	pevný, odolný materiál
<b>Accura 60</b>	58-68	2969-3100	55	transparentní polykarbonát používaný pro funkční prototypy, biokompatibilní, použití ve zdravotnictví
<b>Accura Amethyst</b>	22-38	3514-3996	77	pro tisk ve vysokém rozlišení, pro přímé odlévání kovů, vlhkost odpuzující, použití při výrobě šperků
<b>Accura ABS</b>	45-47	1890-2440	51	pevný plast podobný ABS pro tisk funkčních částí
<b>Accura ClearVue</b>	41-46	2030-2220	46	pevný plast, vysoce transparentní, použití v automobilovém průmyslu
<b>Accura CastPro Free</b>	45-48	1940-2350	62	vodě odpudivý, bez těžkých kovů, pro odlévání metodou ztraceného vosku
<b>Accura eStone</b>	37-39	1500-1750	63	biokompatibilní, použití v dentálním oboru, modely čelistí, studium ortodoncie
<b>Accura Peak</b>	57-78	4220-4790	153	teplotně odolný, pevný, biokompatibilní materiál pro styk s potravinami, použití k výrobě nádob a modelů pro testování ve větrném tunelu

## 8.2 Využití

Tato metoda vytváří velmi přesné části, modely nebo funkční prototypy, které se vyznačují hladkým povrchem, velkou pevností a tepelnou odolností. Díky široké nabídce materiálů nalézá tato metoda uplatnění v průmyslu (slévárenský, automobilový, letecký). Některé biokompatibilní materiály jsou využívány ve zdravotnictví (obr. 10).



*Obr. 10 Model čelisti pro výrobu rovátek vytištěný metodou SLA.*

*Zdroj: <https://www.3ders.org/images2016/form2-sla-3dprinter-touted-future-digital-dentistry-4.jpg>*

## 8.3 Výhody a nevýhody

Předměty vytvořené metodou SLA mají velmi jemný a kvalitní povrch, jejich předností je vysoká rozměrová přesnost. Nejnovější systémy SLA výrazně pokročily v oblasti tiskové rychlosti. Jemné detaily, jako jsou tenké svislé stěny, ostré rohy a vysoké sloupky, lze snadno vyrobit pomocí systému SLA. Rozšiřující se nabídka tiskových materiálů nabízí stále větší mechanickou a teplotní odolnost vyrobených součástí.

Hlavní nevýhodou tiskového procesu SLA je obtížné čištění výrobku, na kterém jsou residua nevyužitých pryskyřice či epoxidu. A i když se výrobci snaží vyvíjet materiály bezpečnější a jednodušší, stále je nutné při manipulaci s těmito látkami dodržovat postupy bezpečného nakládání, neboť se v některých případech může jednat o toxické látky, nebezpečné pro lidské zdraví. Nevýhodou jsou také vysoké pořizovací náklady a drahý provoz. Cena tiskového materiálu je zhruba desetinásobná než například u materiálu pro metodu FDM.

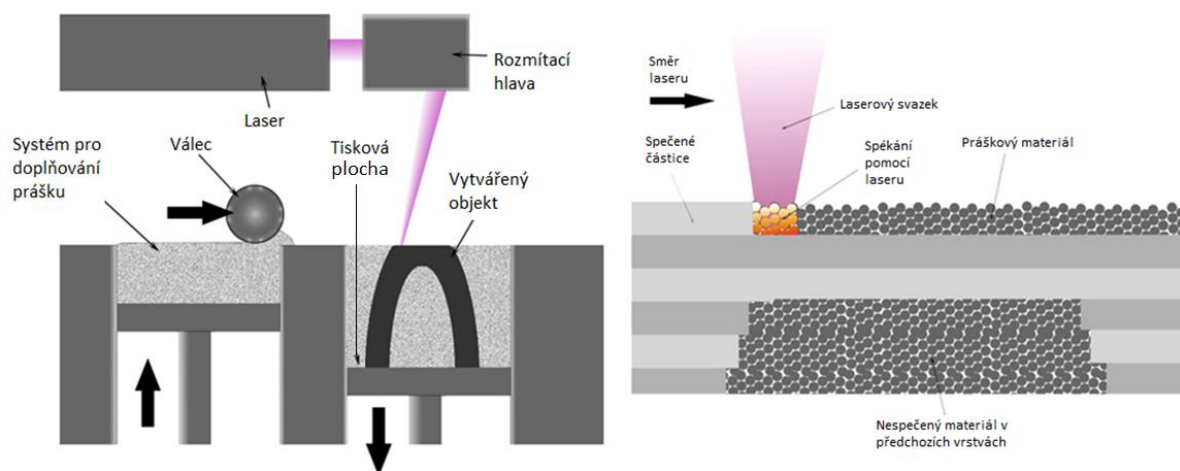


## 9. Selektivní laserové slinování

Selektivní laserové slinování (SLS) je technologie 3D tisku, založená na spékání práškového materiálu pomocí laseru s automatickým zaměřováním na jednotlivé body v prostoru, definující požadovaný 3D model. Tímto postupem dochází k vytvoření pevné struktury (obr. 11). [12]

SLS je relativně nová technologie, která se používá především pro rychlé prototypování a kusovou výrobu. V poslední době dochází k větší komercializaci a tato metoda nachází stále nová uplatnění.

Tato technologie spojuje pomocí vysoce výkonného laseru (např. CO<sub>2</sub> laser) malé částice plastového, kovového, keramického nebo skleněného prášku do požadovaného trojrozměrného tvaru. Laser selektivně spéká práškový materiál podle řezů vytvořených z 3D modelu z CAD softwaru na tiskovou plochu. Po dokončení každé vrstvy se tisková plocha snižuje o jednu vrstvu, na vrchní stranu je nanášena nová vrstva materiálu a celý proces se opakuje, až do dokončení tištěné části. Sypký práškový materiál je předehříván na tiskové ploše těsně pod bod tání, což usnadňuje laseru zvýšit teplotu vybraných bodů až na teplotu tání. [6, 13]



Obr. 11 Princip metody SLS – vlevo schéma tisku, vpravo detail spékání. [7]

Na rozdíl od některých dalších technologií 3D tisku, jako je SLA či FDM, které často vyžadují speciální nosné konstrukce pro výrobu složitých struktur, nepotřebuje SLS samostatný podavač pro nosný materiál, jelikož je obklopen neporézním práškem po celou dobu tisku, což umožňuje konstrukci dříve nemožných geometrií. Tím, že je komora stroje vždy naplněna práškovým materiálem, má výroba více dílů daleko menší dopad na celkovou obtížnost a výslednou cenu konstrukce, neboť je možné do komory umístit části vedle sebe, nebo dokonce části vnořené do sebe. Na druhou stranu není touto technologií možné vytvářet duté a zároveň plně uzavřené struktury, neboť nezpracovaný prášek uvnitř části by nemohl být odstraněn. [3, 12]

## 9.1 Materiály

Některé stroje SLS (například pro přímé laserové slinování kovu) používají jednosložkový prášek. Práškové materiály pro tuto technologii se běžně vyrábějí mletím v kulových mlýnech. Většina strojů SLS však používá dvou - komponentní prášky, typicky povlakovaný prášek nebo práškovou směs. V jednosložkových prášcích dochází k roztavení pouze vnějšího povrchu částic (povrchové tavení), tím dochází ke vzájemnému spojení neroztavených jader jak mezi sebou, tak i s předchozí vrstvou. [13]

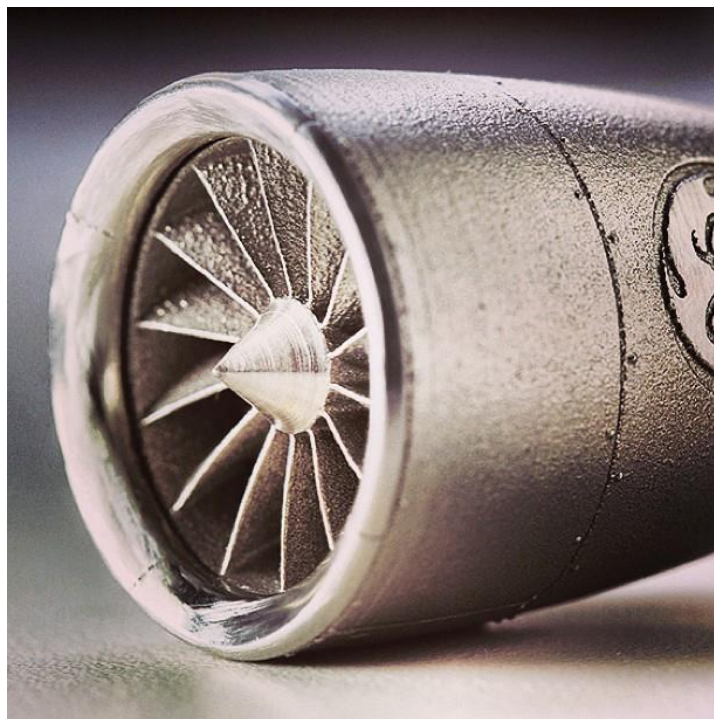
Ve srovnání s jinými technologiemi 3D tisku, může SLS vyrábět díly z poměrně širokého spektra komerčně dostupných práškových materiálů. Mezi tyto materiály patří polymery, jako je nylon (čistý, plněný sklem nebo s jinými plnivými), polystyren, kovy včetně oceli, titanu, slitin a kompozitů. Fyzikálním procesem spojování může být úplné tavení, částečné tavení nebo sintrování v kapalně fázi. V závislosti na materiálu lze dosáhnout až 100 % hustoty s vlastnostmi materiálů srovnatelnými s obvyklými výrobními postupy. V tab. 4 jsou uvedeny vlastnosti vybraných materiálů společnosti Stratasys. [8, 13]

Tab. 4 Vlastnosti vybraných materiálů pro metodou SLS. [9]

Název	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplotní odolnost [°C]	Vlastnosti
<b>Nylon 11</b>	47	1647	163	materiál odolný nárazu, používaný v leteckých a vesmírných aplikacích
<b>Nylon 12 GF</b>	36-44	2896-3585	179	nylon plněný sklem, větší modul pružnosti
<b>Nylon 12 HST</b>	31-48	2900-5500	194	vysoce pevnostní, odolný vyšším teplotám, plněný minerálním vláknem
<b>Nylon 12 AF</b>	32	2580	177	hliníkem plněný nylon, povrch výsledný částí je podobný hliníku
<b>PEKK CF HT23</b>	59,6-72,5	5850-6,610	275	nejlepší poměr mezi odolností a hmotností, hmotnost vyrobených částí je o polovinu menší v porovnání s hliníkovým materiálem

## 9.2 Využití

Technologie SLS je v celém světě rozšířena díky své schopnosti snadno vytvářet velmi složité geometrie. I když technologie vznikla za účelem tvorby prototypových částí v návrhovém cyklu, tak se stále více používá i pro kusovou výrobu. SLS stále častěji nachází využití v průmyslu, zejména v situacích, kdy je potřebná kusová výroba vysoce kvalitních součástí např. v leteckém průmyslu, pro vytváření prototypových dílů pro letadla. Jelikož jsou letadla téměř vždy vyráběna v omezených množstvích, ale zůstávají v provozu po celá desetiletí, stává se výroba forem pro výrobu dílů neúčinným způsobem údržby, a právě proto se v tomto odvětví stalo SLS vynikajícím řešením. Jedním z méně očekávaným, ale rychle rostoucím odvětvím, které využívá technologii SLS je umění. [7]



*Obr. 12 Pohyblivý model motoru společnosti General Electric vytištěn v jednom kuse pomocí metody zvané hníždění.  
Zdroj: <http://aviationweek.com/site-files/aviationweek.com/files/archive/www.aviationweek.com/Portals/AWeek/TWW/3D%20printed%20model%20jet.jpg>*

## 9.3 Výhody a nevýhody

Významnou výhodou procesu SLS je tvorba samonosných součástí a možnost procesu nazývaného hníždění (obr. 12), který umožňuje konstrukci součásti uvnitř jiné části, a to i s velmi složitou geometrií, kterou by nebylo možné vytvořit jiným způsobem. Vytvořené části mají vysokou pevnost a tuhost, dobrou chemickou odolnost, mohou být biokompatibilní podle EN ISO 10993-1 a USP / úroveň VI / 121 °C. SLS je také nejrychlejší způsob 3D tisku pro výrobu funkčních, trvanlivých, prototypů, nebo částí pro koncové uživatele. Výhodou je také možnost opětovného použití zbylého nevyužitého materiálu z předešlého tisku. [3]

Nevýhodami technologie SLS je velká počáteční investice a nemožnost vytvářet duté a zároveň plně uzavřené struktury. U některých materiálů může být problémem vzniklá pórovitost na povrchu výrobku, to je ale možné řešit použitím těsnicího prostředku jako je kyanoakrylát. Manipulace s některými materiály vyžaduje zvýšené bezpečnostní podmínky, jelikož tyto prášky mohou být vznětlivé nebo výbušné. [3, 12]

## **10. Přímé kovové laserové slinování**

Přímé kovové laserové slinování (DMLS - Direct Metal Laser Sintering) je technologie 3D tisku, vyrábějící kovové výrobky selektivním pojením jemného kovového prášku pomocí laseru. Metoda je někdy označovaná jako selektivní laserové tavení (SLM – Selective Laser Melting) [14]

Prvním komerčním systémem pro laserové slinování byl přístroj Sinterstation 2000 od firmy DTM Corporation v Texasu. První systémy byly distribuovány na konci roku 1992. Druhý komerční systém pro laserové slinování byl vytvořen společností EOS v Německu, jehož produkce byla zahájena v dubnu roku 1994. [3]

S DMLS je možné používat celou řadu slitin, to umožňuje výrobu funkčního prototypu ze stejného materiálu, jako výsledná součást. Vzhledem k tomu, že součásti jsou konstruovány vrstvou po vrstvě, je možné navrhnout složité geometrie, vnitřní prvky a náročné průchody, které nemohou být odlévány nebo obráběny. DMLS vytváří odolné kovové součásti, které dobře fungují jako funkční prototypy nebo části pro konečné použití. [3, 15]

Zařízení DMLS využívá vysoce výkonný vláknový optický laser o výkonu 200 W. Uvnitř tiskové komory je podavač materiálu a tisková plocha společně s čepem pro přestavování, tento čep se používá k přesunutí nového prášku. Technologie přetváří kovový prášek na pevnou součást lokálním tavením pomocí zaostřeného laserového paprsku. Stavba součásti probíhá vrstvou po vrstvě s obvyklou tloušťkou vrstvy 20  $\mu\text{m}$ . [16]

### **10.1 Materiály**

Materiály používané pro tisk metodou DMLS jsou nerezové oceli 17-4 a 15-5, super slitiny Inconel 625 a 718 a slitiny Co-Cr, AlSi10Mg, Ti6Al4V. V tab. 5 jsou uvedeny informace o vybraných materiálech společnosti Stratasys [9, 17]

Tab. 5 Tabulka materiálů pro tisk metodou DMLS. [9]

<b>Materiál</b>	<b>Pevnost v tahu [MPa]</b>	<b>Mez kluzu[MPa]</b>	<b>Pružnost [GPa]</b>	<b>Teplotní odolnost [°C]</b>	<b>Vlastnosti</b>
<b>Nerezová ocel 17-4 PH</b>	1041	730	170	550	výborná svařitelnost, korozi vzdorné
<b>Nerezová ocel 316L</b>	537	475	168	649	výborná svařitelnost, korozi vzdorné, kujnost
<b>Slitina AISi10Mg</b>	379	234	69	399	nízká hmotnost, teplotní vodivost
<b>INCONEL 625</b>	1006	668	179	871	vysoká pevnost, odolnost v tečení (creep)
<b>INCONEL 718</b>	875	772	179	871	vysoká pevnost, odolnost v tečení (creep), únavová odolnost
<b>Slitina Ti6Al4V</b>	1144	1034	110	349	biokompatibilní, korozi vzdorné
<b>Slitiny CoCrMo</b>	1048	799	170	1149	vysoká pevnost a tvrdost, biokompatibilní
<b>MONEL K500</b>	482	365	169	871	extra korozi vzdorné, kompatibilní s tekutým kyslíkem
<b>Měď C18150</b>	206	151	103	371	výborná elektrická a tepelná vodivost, mechanické a materiálové vlastnosti

## 10.2 Využití

Součásti vyrobené metodou DMLS se vyznačují vysokou kvalitou, přesností a odolností, proto jsou využívány v různých oblastech.

### 10.2.1 Průmyslové aplikace

Metoda DMLS nachází uplatnění především v oboru letectví a kosmonautiky, kde jsou pomocí této metody vyráběna vzduchová potrubí, svítidla nebo držáky pro specifické letecké přístroje. Laserové slinování vyhovuje jak potřebám komerčního, tak i vojenského letectví. Severozápadní polytechnická univerzita v Číně používá podobný systém k výrobě konstrukčních částí z titanu pro svá letadla. [3, 18, 25]

V letech 2013 - 2014 byl touto metodou vyroben raketový motor „SuperDraco“ od společnosti SpaceX. Jednalo se o první plně vytištěný raketový motor, který byl vytvořen na tiskárně EOS 3D ze super slitiny Inconel. Motor pracuje při tlaku 6900 kPa při velmi vysokých teplotách. Motor je usazen v ochranné schránce, také vytištěné metodou DMLS. Tato schránka vytváří ochranu proti šíření poruchy v případě poškození motoru. V květnu 2014 byl dokončen

úplný kvalifikační test motoru a jeho první orbitální let je plánován na duben 2018. [19, 20, 21, 22]

Možnost výroby složitých částí motoru pomocí 3D tisku (obr. 13), byla klíčem k dosažení nízké hmotnosti motoru. Tento proces výroby dramaticky snižuje dobu výroby v porovnání s tradičními odlitými součástmi a zároveň má vynikající pevnost, tažnost a odolnost proti lomu. [23, 24]



*Obr. 13 Součást motoru „SuperDraco“ vyrobená technologií DMLS. [23]*

### **10.2.2 Zdravotnická zařízení**

Zdravotnické přístroje jsou složité výrobky s vysokou cenou, které musí přesně splňovat požadavky zákazníků. Tyto požadavky nevyplývají pouze z osobních preferencí provozovatele, ale je třeba respektovat i právní požadavky nebo normy, které se mezi jednotlivými regiony mohou značně lišit. Tato skutečnost vede k velkému množství individuálních variant přístrojů

s maloobjemovou produkcí. Technologie DMLS je také ideální pro výrobu protéz nebo implantátů. Při výrobě implantátů je individuální anatomie pacienta klíčovým faktorem. Výroba pomocí DMLS je schopna uspokojit specifické anatomické potřeby pacienta a snižuje tím nejen čas strávený v nemocnici, ale také riziko problémů, které jsou obvykle způsobeny nevhodnými implantáty. Flexibilní způsob výroby, který je schopný produkovat stovky individuálních zubních korunek v jednom tisku, nabízí neustálou konkurenční výhodu. Laserové slinování díky těmto specifickým, nachází stále větší využití právě v tomto oboru. [25]

### **10.2.3 Vytváření prototypů**

Pomocí laserového slinování kovů je možné vytvořit přesné pohledové a funkční prototypy. Rychlost procesu zaručuje rychlé a pružné testování během návrhu funkčních částí. Současně lze tyto prototypy využívat pro zpětnou vazbu od cílové skupiny zákazníků. S využitím technologie DMLS se snižují náklady na vývoj a současně dochází k rychlejší reakci na podněty od zákazníků. [25]

### **10.2.4 Nástroje**

Technologie DMLS je přední technologií pro výrobu nástrojů. S vysokou přesností a kvalitou povrchu jsou 3D tiskárny DMLS ideálními platformami pro tuto aplikaci. Přímý proces eliminuje nutnost generování dráhy nástroje a odstraňuje použití ostatních procesů obrábění. Nástroje jsou vytvořeny ve velmi krátkých časech, někdy i během několika hodin. Flexibilita návrhu může být použita k optimalizaci výkonu nástroje, například integrací konformních chladičích kanálů do nástroje. [25].

## **10.3 Výhody a nevýhody**

Jedinečná výhoda DMLS spočívá ve schopnosti rychlé výroby požadované součásti. Technologie DMLS je schopna vytvářet velmi složité a jedinečně vnitřní struktury v požadované kvalitě pro funkční celek, které by jinou cestou nebylo možné vyrobit. I proto je tato metoda jednou z mála technologií 3D tisku, která je nasazena v průmyslové výrobě. Komplexní geometrie a sestavy s více komponentami lze zjednodušit na méně částí, jejichž výroba bude ekonomicky výhodnější. DMLS je ekonomicky a časově velmi efektivní technologie. Studie společnosti Airbus, dříve EADS, ukazuje, že používání tohoto procesu může přinést úsporu materiálu, snížení odpadů a CO<sub>2</sub> emisí. [26] Značná výhoda je také využívání této metody 3D tisku pro výrobu součástí z kovů, včetně tzv. super slitin. Výrobky tak dosahují vysoké pevnosti, a zároveň nižší hmotnosti. [3]

Nevýhodou této technologie je nižší kvalita povrchu vytvořených objektů. Nezávisle na použitém stroji nebo materiálu, zanechává metoda DMLS zrnitý povrch výrobku, kvůli velikosti práškových částic, vrstvení a rozvířování prášku těsně před slinování. Pro dosažení zrcadlového nebo extrémně hladkého povrchu je nutné povrchy následně leštit. Demontáž kovové podpěrné konstrukce a následné opracování vyrobené části, může být časově náročný proces a v některých případech vyžaduje následné obrábění. Použité obráběcí stroje musí mít minimálně stejnou úroveň přesnosti, kterou poskytuje stroj DMLS.

Laserové leštění pomocí mělkého povrchového tavení je schopno snížit drsnost povrchu součástí vyrobených technologií DMLS s využitím rychle se pohybujícího laserového paprsku, který poskytuje dostatečnou tepelnou energii, která způsobí tání povrchové vrstvy. Roztavená hmota pak vlivem gravitace, povrchového napětí a tlakem laseru proudí do povrchových prohlubní, čímž se snižuje drsnost výrobku. [27]

## **11. 3D tisk chytrých materiálů**

Chytré materiály jsou takové materiály, které mají schopnost měnit svůj tvar nebo své vlastnosti pod vlivem vnějších podnětů. Zavedení těchto materiálů do oblasti aditivní výroby, umožnilo předmětům vyrobeným metodou 3D tisku, měnit jejich vlastnosti nebo tvar v čase (4. dimenze). Tato změna vlastností, či tvaru je reakcí na aplikované vnější podněty. Pro tento účel vzniká nový termín nazvaný „4D tisk“. Oblast 4D tisku se věnuje výrobě komponent, jejichž vlastností je strukturální rekonfigurace v čase. Ne všechny 3D tiskové technologie, které jsou schopné produkovat pohyblivé díly, jako například pohyblivé panty, klouby a jiné mechanismy, jsou kategorizovány jako 4D tisk. Aby technologie tisku mohla být označována jako 4D, je nutné demonstrovat „chytré chování“ materiálu, tím může být samosnímání, samoaktivace, nebo definovaná změna tvaru. [4]

Vývoj v oblasti 4D tisku je z velké části možný jen díky nedávným pokrokům v technologiích PJP [28] a výrobě kovových komponent pomocí technologie SLM. [4]

Nedávné zlepšení technologie PolyJet, umožňuje těmto tiskárnám tisknout s více materiály současně. Tato vlastnost byla použita k vytvoření komponent složených z více materiálů a směsí složenou z chytrých a konvenčních materiálů. [4]

Technologie SLM je prášková metoda 3D tisku, která využívá vysokou energii laseru pro roztavení vrstev kovového prášku za účelem vytvoření husté a homogenní 3D kovové struktury bez pojiva a potřeby podpěr. Tato technologie byla upravena pro potřeby 4D tisku, pro vytváření objektů, složených z chytrých materiálů. [4]



Mezi základní schopnosti chytrých materiálů patří možnost přizpůsobení, samosnímání, tvarová paměť a rozhodovací schopnosti. To jsou charakteristické vlastnosti, které určují způsob tisku součástí, tak aby mohly měnit své vlastnosti v reakci na vnější podněty. [4]

## **11.1 Materiály**

V 4D tisku je možné tisknout buď jedním chytrým materiálem, nebo směsí chytrého a konvenčního materiálu.

### **11.1.1 Vylepšené chytré nanokompozity**

Do této skupiny lze zařadit piezoelektrický materiál, který je schopen pod vnějším tlakem vytvářet elektrický náboj. Piezoelektrické polymerní materiály mají jedinečné vlastnosti ve srovnání s jinými typy piezoelektrických materiálů. Tento druh materiálu je vhodný pro systémy, které vyžadují mechanickou flexibilitu, malé aktivní elementy a biokompatibilitu. I přes velkou obtížnost výroby předmětů z tohoto materiálu, je proces výroby pomocí 3D tisku neustále zlepšován. [4]

### **11.1.2 Slitiny s tvarovou pamětí**

Slitiny s tvarovou pamětí (SMA - Smart Memory Alloy) je druh chytrých materiálů, které mohou přímo měnit tepelnou energii na mechanickou práci. Tato vlastnost je známa jako efekt tvarové paměti (SME - Shape Memory Effect). SME je výsledkem transformace mezi dvěma různými fázemi v SMA. Konkrétně se jedná o martenzitické a austenitické fáze. Původní tvar deformované slitiny je obnoven při změně martenzitické fáze zpět na austenitickou. [4]

Další vlastností SMA je superelasticitu. Díky této vlastnosti dosahují tyto slitiny vysokých hodnot vratné elastické deformace. Příkladem materiálu SMA, který vykazuje super elasticitu a zároveň SME je slitina NiTi. Ta vykazuje vysoké procento tvarového obnovení a vratné elastické deformace. Tato slitina se díky svým funkčním vlastnostem často využívá ve strojírenských aplikacích, biomedicíně, chytrých kompozitních materiálech, pohonech a elektrických zařízeních. [4]

NiTi je obtížné zpracovat konvenčními metodami, jelikož je tento materiál extrémně citlivý na chemické složení. Během tepelného zpracování může snadno dojít ke znečištění materiálu, to způsobuje problémy jako je oxidace a mikrostrukturní vady. Tyto problémy mohou vést k posunutí teploty fázové přeměny. Díky svému složení je tento materiál velmi obtížně obrobitelný a při obrábění dochází ke značnému opotřebení nástroje. [4]

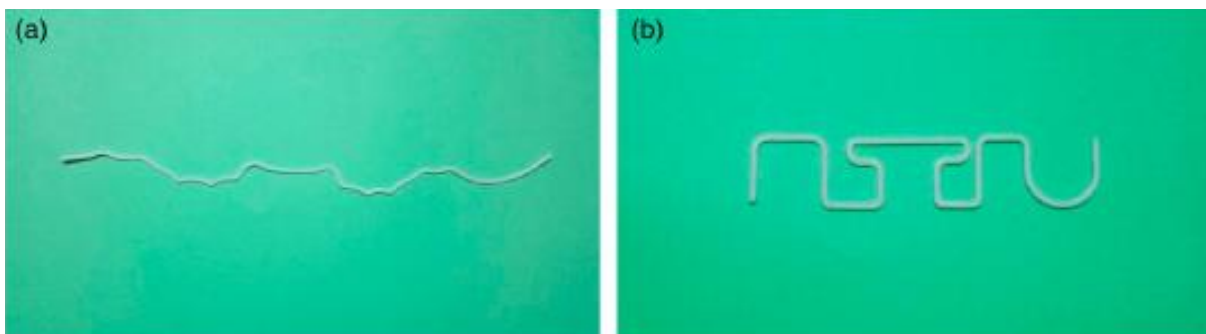
Jednou z možných metod výroby předmětu ze slitiny NiTi, je použití technologie 3D tisku, konkrétně metody SLM. Problémem při výrobě dílů z NiTi pomocí SLM je výsledný nižší

obsah Ni v důsledku odpařování. Odpařování je způsobené vyšší tendencí Ni k odpařování, kvůli rozdílným teplotám odpařování Ni (3168,15 K) a Ti (3560,15 K). Snížení obsahu Ni ve výsledné slitině způsobuje posun teploty fázové přeměny pro transformaci materiálu do původního tvaru. [4]

### 11.1.3 Materiály reagující na vnější podněty

Tyto materiály mají vlastnosti umožňující návrat z deformovaného dočasného tvaru do původního trvalého tvaru v reakci na vnější podněty. Těmi může být teplota, magnetické pole, světlo a vlhkost. [4]

Při výrobě součásti z chytrého materiálu pomocí 3D tisku, může být trvalý tvar této součásti nastaven procesem 3D tisku. Dočasný tvar součásti může být způsoben deformací nad teplotou  $T_g$ , po ochlazení na teplotu  $T < T_g$  zůstane součást v dočasném tvaru. Vnější podnětem (ohřátím nad teplotu  $T_g$ ) je obnoven původní trvalý tvar součásti. Příklad 3D tiskové struktury tohoto materiálu je na obr. 14. Tato struktura byla vytištěna metodou PolyJet a skládá ze tří propojených písmen „NTU“ v tištěné trvalé podobě. Tento vzorek byl po vytištění deformován při teplotě  $T > T_g$  konstantní tažnou silou, až do doby poklesu teploty vzorku na pokojovou teplotu. Po odstranění zatěžující síly zůstane vzorek v deformovaném dočasném stavu (obr. 14 a). Při zahřátí nad teplotu  $T_g$  se vzorek vrátí do původního trvalého tvaru (obr. 14 b). [4]



Obr. 14 Tvarová změna chytrého materiálu – vlevo dočasný tvar, vpravo trvalý tvar. [4]

Výhodami jsou vysoké procento vratné elastické deformace, nižší hustota, nižší náklady na výrobu, jednoduchý postup programování tvarů a dobře nastavitelná teplota zotavení. Tyto materiály mohou být chemicky modifikovány pro dosažení dalších vlastností, jako je biokompatibilita, nebo biologická rozložitelnost. Vlastnosti materiálu jsou předmětem výzkumu a vývoje v různých aplikačních oborech. Nevýhodami jsou nízká pevnost, nízký modul pružnosti a nízká tepelná odolnost. [4]

#### **11.1.4 Materiál jako pohon pro jemnou robotiku**

V roce 2009 byl představen nový způsob výroby dielektrického elastomerového pohonu (DEA - Dielectric Elastomer Accutator) pro měkkou robotiku, pomocí 3D tisku. [30]

Měkká robotika je vznikající vědní obor, který se snaží napodobit některé charakteristiky přirozených organismů pomocí převážně měkkých materiálů, zejména měkkých chytrých materiálů např. elektroaktivní polymery (EAP - Electro Active Polymer), které mohou snímat a měnit svou vlastní tvrdost. [30]

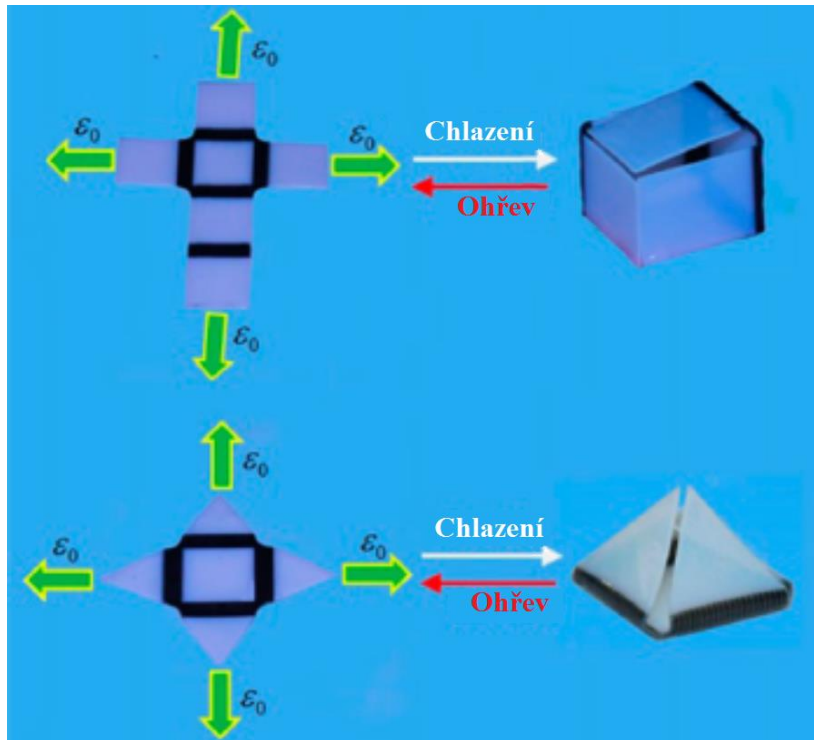
Výroba materiálů pro jemnou robotiku pomocí technologie 3D tisku pomáhá řešit problémy, které nastávají při výrobě DEA materiálů standardními metodami, které jsou často obtížné a náročné. Při dodání elektrické energie se struktura materiálu DEA deformuje a natahuje. Tento princip je využíván pro převod elektrické energie na mechanickou práci skrze materiál DEA. [4]

#### **11.1.5 Aktivní origami - materiály pro řízené sekvenční skládání**

Ačkoli je origami typ tradičního umění, poskytuje také inovativní řešení problémů při skládání velkých objektů do malého prostoru. Aktivní origami je definováno jako objekt, který je schopný sám sebe složit do požadovaného tvaru (obr. 15). [4]

Design a výroba aktivního origami z chytrých materiálů, se skládá z tisknutých plochých polymerních fólií, spojených panty, které jsou tištěné z aktivních kompozitů. [4]

Další oblastí výzkumu v této oblasti je dosažení postupného sekvenčního skládání nebo obnovení původního tvaru aktivního origami. Tato vlastnost může být dosažena pomocí materiálů reagujících na vnější podněty např. tepelné změny. Řízené skládání by tedy bylo dosažitelné pomocí termomechanického rozdělení jednotlivých částí a tím by bylo dosaženo postupného skládání výsledného objektu při různých teplotách. [4]



Obr. 15 Příklad aktivního origami různých tvarů. [4]

#### 11.1.6 4D Biotisk

Se zvyšující se úspěšností transplantace orgánů, se zvyšuje i poptávka po transplantovatelných orgánech. Tato poptávka velice převyšuje dodávku těchto orgánů. To vede k novému odvětví tkáňového inženýrství, kterým je 4D biotisk. Ten může být definován jako využití aditivní technologie výroby pro modelování a vytváření biologicky podobných materiálů, jako jsou molekuly, buňky, tkáně a biologicky rozložitelné materiály. [4]

## 12. Závěr

Od vzniku první metody 3D tisku v osmdesátých letech minulého století, udělaly výrobní systémy 3D tisku značný pokrok v oblasti kvality, rychlosti a přesnosti ve výrobě součástí. Tyto technologie jsou hojně zastoupeny v celém spektru lidských oborů, ať už se jedná o výrobu modelů, prototypů, návrhů, či funkčních částí. Výrobky vytvořené touto technologií je možné nalézt v letectví, vesmírných aplikacích, ve zdravotnictví, nebo v umění.

3D tisk se stále více stává běžnou součástí lidských životů a 3D tiskárny se stávají relativně dostupné pro širší část veřejnosti. Téměř každý si dnes může v omezené míře a pro omezené použití vytvářet vlastní předměty od modelů až po funkční části, a to přímo v domácím prostředí.

Zvětšující se význam technologie 3D tisku začíná být uplatňován v průmyslové výrobě, díky zvládnuté technologii pro tisk kovových a kompozitních součástí. Toho je využíváno především v leteckém a vesmírném odvětví, neboť výrobky vytvořené metodou 3D tisku se vyznačují vysokou pevností, tuhostí, teplotní odolností, sníženou hmotností a schopností vytvářet složité a jemné struktury, oproti komponentům vyráběných standardní cestou. Napříč celým průmyslem dává 3D tisk nové možnosti pro konstruktéry, kteří mají mnohem větší volnost při navrhování jednotlivých komponent a strojů. [8, 9]

3D tisk je budoucností nejen pro strojný průmysl, ale také pro stavební firmy. Již dnes existuje několik staveb, přímo vytisknutých z cementové směsi. Tato technologie je také nadějí pro chudé rodiny v zemích třetího světa, kde je pomocí 3D tisku možné stavět levné domy ve velmi krátkých časech. Společnost Apis - Corp 3D vyvinula systém, schopný vytisknout dům o rozloze 38 m<sup>2</sup> za 24 hodin s celkovými náklady do 10 000 USD. [31]

Budoucnost 3D tisku je nejen ve zlepšování stávajících technologií a materiálů, ale také ve výzkumu nových metod, jako je například výroba pomocí technologie 4D tisku.

## Seznam použité literatury

- [1] BERMAN, Barry. 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons [online]. 2012, 55(2), 155-162 [cit. 2018-03-22]. DOI: 10.1016/j.bushor.2011.11.003. ISSN 00076813. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007681311001790>
- [2] Our Story | 3D Systems. 3D Printers, 3D Scanning, Software, Manufacturing and Healthcare Services | 3D Systems [online]. Copyright © 2018 3D Systems, Inc. All rights reserved. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/our-story>
- [3] COOPER, Kenneth G. Rapid prototyping technology: selection and application. New York: Marcel Dekker, c2001. Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.). ISBN 0-8247-0261-1.
- [4] KHOO, Zhong Xun, Joanne Ee Mei TEOH, Yong LIU, Chee Kai CHUA, Shoufeng YANG, Jia AN, Kah Fai LEONG a Wai Yee YEONG. 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. Virtual and Physical Prototyping [online]. 2015, 10(3), 103-122 [cit. 2018-03-22]. DOI: 10.1080/17452759.2015.1097054. ISSN 1745-2759. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17452759.2015.1097054>
- [5] About - RepRapWiki. RepRap - RepRapWiki [online]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/About>
- [6] XOMETRY. Design Guide: Selective Laser Sintering (SLS)[online]. 2018 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/340051/Design\\_Guides/Xometry\\_DesignGuide\\_SL S.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/340051/Design_Guides/Xometry_DesignGuide_SL S.pdf)
- [7] What is Selective Laser Sintering?. Live Science: The Most Interesting Articles, Mysteries & Discoveries [online]. Copyright © [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>
- [8] Materials | 3D Systems. 3D Printers, 3D Scanning, Software, Manufacturing and Healthcare Services | 3D Systems [online]. Copyright © 2018 3D Systems, Inc. All rights reserved. [cit. 22.03.2018]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/materials>
- [9] 3D Printing Materials | Plastics, Metals, Urethanes | Stratasys Direct. 3D Printing Service | Order 3D Printed Parts Online | Stratasys Direct [online]. Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/materials>
- [10] The Process - Danit Peleg. Danit Peleg - 3D Printed Fashion [online]. Copyright © 2017 Copyrights [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://danitpeleg.com/the-process/>
- [11] Stereolithography | 3D Systems. 3D Printers, 3D Scanning, Software, Manufacturing and Healthcare Services | 3D Systems [online]. Copyright © 2018 3D Systems, Inc. All rights reserved. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/stereolithography-sla>

- [12] Selective Laser Sintering. Anubis 3D [online]. Copyright © 2012 Anubis 3D. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.anubis3d.com/technology/selective-laser-sintering/>
- [13] K. D. V. YARLAGADDA, Prasad. GCOMM 2004: 1st International Conference on Manufacturing and Management. Narosa Publishing House, 2005. ISBN 9788173196775.
- [14] DMLS | Direct Metal Laser Sintering | Metal 3D Printing - Xometry. Xometry: CNC Machining, 3D Printing, & Injection Molding Services - Xometry [online]. Copyright © 2018 Xometry [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.xometry.com/direct-metal-laser-sintering>
- [15] Direct Metal Laser Sintering (DMLS) | 3D-printed Prototypes & Production Parts. Rapid Prototyping & On-demand Production | Protolabs [online]. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/services/3d-printing/direct-metal-laser-sintering/>
- [16] How Direct Metal Laser Sintering (DMLS) Really Works | 3D Printing Blog | i.materialise. Online 3D Printing Service | i.materialise [online]. Copyright © Copyright 2018 Materialise [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://i.materialise.com/blog/direct-metal-laser-sintering-dmls/>
- [17] EOS Metal Materials for Additive Manufacturing. EOS Electro Optical Systems: Industrieller 3D Druck [online]. Dostupné z: <https://www.eos.info/material-m>
- [18] China commercializes 3D printing in aviation | ZDNet. Technology News, Analysis, Comments and Product Reviews for IT Professionals | ZDNet [online]. Copyright © 2018 CBS Interactive. All rights reserved. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <http://www.zdnet.com/article/china-commercializes-3d-printing-in-aviation/>
- [19] SpaceX Unveils ‘Step Change’ Dragon ‘V2’ | Space content from Aviation Week. Aviation Week | Aerospace Defense, Business & Commercial News [online]. Copyright © [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <http://aviationweek.com/space/spacex-unveils-step-change-dragon-v2>
- [20] SpaceX Unveils Dragon V2 Spaceship, a Manned Space Taxi for Astronauts (Video, Photos). Space.com: NASA, Space Exploration and Astronomy News [online]. Copyright © [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.space.com/26063-spacex-unveils-dragon-v2-manned-spaceship.html>
- [21] SpaceX lifts the lid on the Dragon V2 crew spacecraft – NASASpaceFlight.com. NASASpaceFlight.com [online]. Copyright ©2005 [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.nasaspaceflight.com/2014/05/spacex-lifts-the-lid-dragon-v2-crew-spacecraft/>
- [22] NASA’s Commercial Crew Program Target Test Flight Dates – Commercial Crew Program. NASA Blogs [online]. Dostupné z: <https://blogs.nasa.gov/commercialcrew/2017/10/05/nasas-commercial-crew-program-target-test-flight-dates/>
- [23] SpaceX unveils its “21st century spaceship” « NewSpace Journal. NewSpace Journal [online]. Copyright © 2018 [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <http://www.newspacejournal.com/2014/05/30/spacex-unveils-its-21st-century-spaceship/>

- [24] SpaceX Launches 3D-Printed Part to Space, Creates Printed Engine Chamber | SpaceX. SpaceX [online]. Copyright © 2017 Space Exploration Technologies Corp. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/news/2014/07/31/spacex-launches-3d-printed-part-space-creates-printed-engine-chamber-crewed>
- [25] DMLS Applications. DMLS Technology [online]. Copyright © 2018 DMLS Technology. All rights reserved. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://dmlstechnology.com/dmls-applications>
- [26] AM Benefits Environment Says EADS and EOS - 3D Printing Industry. 3D Printing Industry-The Authority on 3D Printing & Additive Manufacturing [online]. Copyright © Copyright 2017 [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/benefits-environment-says-eads-eos-19245/>
- [27] RAMOS, J. A. Surface Over-Melt During Laser Polishing of Indirect-SLS Metal Parts. Materials Research Society Symposium Proceedings, Volume 758 [online]. 2003, 53-61 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: [www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADP014219](http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADP014219)
- [28] PolyJet Technology for 3D Printing | Stratasys. 3D Printing & Additive Manufacturing |Stratasys [online]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/polyjet-technology>
- [29] What is MJP (MultiJet Printing)? | 3D Systems. 3D Printers, 3D Scanning, Software, Manufacturing and Healthcare Services | 3D Systems [online]. Copyright © 2018 3D Systems, Inc. All rights reserved. [cit. 22. 03. 2018]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp>
- [30] ROSSITER, Jonathan, Yoseph BAR-COHEN, Thomas WALLMERSPERGER, Peter WALTERS a Boyko STOIMENOV. *Printing 3D dielectric elastomer actuators for soft robotics* [online]. In:2009-3-26, 72870H- [cit. 2018-03-23]. DOI: 10.1117/12.815746. Dostupné z: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.815746>
- [31] San Francisco startup Apis Cor 3D-prints a house in 24 hours | ZDNet. *Technology News, Analysis, Comments and Product Reviews for IT Professionals | ZDNet* [online]. Copyright © 2018 CBS Interactive. All rights reserved. [cit. 23. 03. 2018]. Dostupné z: <http://www.zdnet.com/article/san-francisco-startup-apis-cor-3d-prints-a-house-in-24-hours/>



## Seznam zkratk

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ACES	Acrylic Clear Epoxy System
CAD	Computer Aided Design
DEA	Dielectric Elastomer Accutator
DMLS	Direct Metal Laser Sintering (přímé kovové laserové slinování)
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EAP	Electro Active Polymers (elektro aktivní polymery)
EOS	Electro Optical System
FDA	Food and Drug Administration
FDM	Fuse Deposition Modelling (modelování vrstvením plastové taveniny)
MJP	Mult Jet Printing
PJP	Poly Jet Printing
PLA	Polylactic Acid
PVA	Polyvinilalcohol
RP	Rapid Prototyping (rychlé prototypování)
SLA	Stereolithography (stereolitografie)
SLM	Selective Laser Melting (selektivní laserové tavení)
SLS	Selective Laser Sintering (selektivní laserové spékání)
SMA	Smart Memory Alloy (slitiny s tvarovou pamětí)
SME	Shape Memory Effect (efekt tvarové paměti)
UV	UltraViolet (ultrafialové)

## Seznam obrázků

Obr. 1 Princip 3D tisku - model, „naplátkovaný model“ 3D tisk.....	3
Obr. 2 Princip tisku pomocí JP-5 - 1. model, 2. „nařezaný“ model, 3., 4. vyřezané plátky slepené dohromady. ....	4
Obr. 3 Princip metody MJP a PJP. ....	5
Obr. 4 Model a následný odlitek zhotovený metodou ztraceného vosku.....	6
Obr. 5 Princip technologie FDM. ....	7
Obr. 6 Schéma tiskové hlavy.....	8
Obr. 7 Objekt umístěný ve sliceru - vlevo před řezání, vpravo detail jednotlivých vrstev. ....	10
Obr. 8 Boty vytištěné z elastického materiálu metodou FDM. ....	12
Obr. 9 Princip stereolitografie. ....	14
Obr. 10 Model čelisti pro výrobu rovnátek vytištěný metodou SLA. ....	16
Obr. 11 Princip metody SLS – vlevo schéma tisku, vpravo detail spékání. ....	17
Obr. 12 Pohyblivý model motoru společnosti General Electric vytištěn v jednom kuse pomocí metody zvané hníždění. ....	19
Obr. 13 Součást motoru „SuperDraco“ vyrobená technologií DMLS. ....	22
Obr. 14 Tvarová změna chytrého materiálu – vlevo dočasný tvar, vpravo trvalý tvar. ....	26
Obr. 15 Příklad aktivního origami různých tvarů. ....	28

## Seznam tabulek

Tab. 1 Srovnání vybraných materiálů pro MJM od společnosti 3D Systems. [8].....	6
Tab. 2 Vlastnosti vybraných materiálů pro technologii FDM. [9] .....	11
Tab. 3 Vlastnosti vybraných materiálů pro metodu SLA. [8] .....	15
Tab. 4 Vlastnosti vybraných materiálů pro metodou SLS. [9].....	18
Tab. 5 Tabulka materiálů pro tisk metodou DMLS. [9].....	21