



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## 3D TISK NEROZEBÍRATELNÉ SESTAVY

3D PRINTING OF A NON-DISMANTLING ASSEMBLY

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Halíř

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2024

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jan Halíř**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## 3D tisk nerozebíratelné sestavy

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Existují výrobky, kdy v jejich nerozebíratelných sestavách mohou být pohyblivé i nepohyblivé jednotlivé elementy. Zpravidla jde o různé stupně uložení dle lícovací soustavy. Typický případ je uložení s vůlí. Dle velikosti výrobku, stupně uložení a použité 3D tiskárny se stanoví programová data pro 3D tisk. Na vytištěném prototypu lze posoudit funkčnost, i když je v některých sestavách poměrně složitá.

### Cíle bakalářské práce:

- Možnosti 3D tisku v současné době.
- Porovnání se standardními druhy výroby.
- Rozbor nerozebíratelných sestav.
- Doložení reálných případů (spotřební zboží versus průmysl).
- Vyhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, Keith J. Shigleyho konstruování strojních součástí. Přeložil Martin Hartl et al. 10. vyd. Brno: VUTUM, 2023. 1296 s. ISBN 978-80-214-5471-2.

FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

IMAI, Masaaki. Kaizen. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. 651 s. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá 3D tiskem prototypových nerozebíratelných sestav. V teoretické části byly popsány jednotlivé nejpoužívanější technologie tisku, využívané druhy plastových a kovových materiálů, tiskárny, 3D skenery, a jejich využití ve zdravotnictví, stavebnictví a strojírenství. V praktické části byla pro tisk kloubového spoje, francouzského klíče, a valivého ložiska, jejichž funkčnost byla testována, využita technologie FDM. V poslední části byly zhodnoceny výsledky výtisků na základě zvolených parametrů a materiálu vzhledem k jejich funkčnosti.

### **Klíčová slova**

3D tisk, prototyp, nerozebíratelná sestava, FDM technologie, materiály

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with 3D printing of prototype non-disassemble assemblies. In the theoretical part, the individual most used printing technologies, the types of plastic and metal materials used, printers, 3D scanners, and their use in medicine, construction and engineering was described. In the practical part, FDM technology was used to print the ball joint, the french key, and the rolling bearing, the functionality of which were tested. In the last part, the results of the prints were evaluated based on the selected parameters and material about their functionality.

### **Keywords**

3D printing, prototype, non-disassemble assembly, FDM technology, materials

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HALÍŘ, Jan. *3D tisk nerozebíratelné sestavy*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157774>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma 3D tisk nerozebíratelné sestavy vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

místo, datum

---

Jan Halíř

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

---

---

## OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Variantní řešení výroby .....	11
2 3D TISK .....	13
2.1 Technologie 3D tisku .....	13
2.1.1 Tiskárny .....	16
2.2 Materiály .....	18
2.2.1 Filamenty .....	18
2.2.2 Resiny .....	20
2.2.3 Prášky .....	21
2.3 Reverzní inženýrství.....	23
2.3.1 Výstupní data.....	25
2.4 Možnosti 3D tisku v současné době .....	26
2.4.1 Zdravotnictví .....	26
2.4.2 Stavebnictví .....	28
2.4.3 Strojírenství .....	29
3 PROTOTYPOVÁ VÝROBA NEROZEBÍRATELNÝCH SESTAV .....	31
3.1 Kloubový spoj .....	31
3.2 Francouzský klíč.....	33
3.3 Valivé ložisko.....	37
4 VYHODNOCENÍ.....	39
ZÁVĚR.....	40

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých zkratk

Seznam příloh

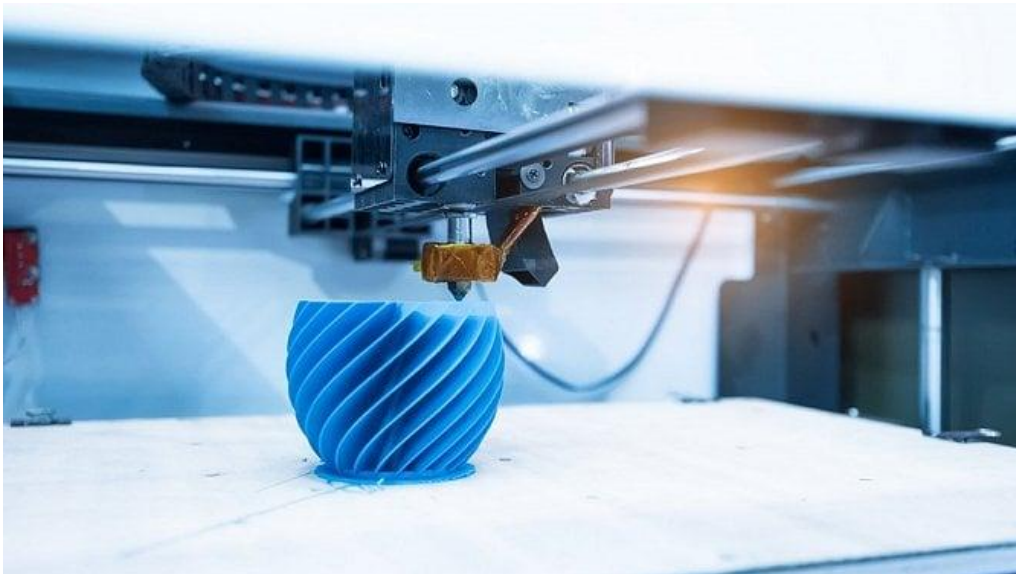
---

## ÚVOD

V dnešní době může být voleno pro zhotovení požadovaného výrobku z široké škály technologií. Od tváření, objemového či plošného, obrábění, konvenčního či nekonvenčního, přes slévárství železných nebo neželezných kovů, až po svařování a jejich speciálních metod. Nemělo by se však zapomenout na stále se rozvíjející aditivní technologie.

3D tisk (obr. 1), výroba označována jako aditivní, zahrnuje hned několik metod, jejichž společným principem je tvorba požadovaného objektu po jednotlivých vrstvách. Program v tiskárně, udávající dráhu nástroje, je tvořen z dat 3D modelu, který je nejčastěji zhotoven prostřednictvím softwaru CAD, počítačem podporovaným konstruováním, nebo reverzně pomocí 3D skeneru z reálného objektu. Lze tvořit s téměř neomezenou tvarovou složitostí. Ať už se jedná o prototyp či model, náhradní díl, strojní či konstrukční součást, nástroj, kryt, protézu nebo sofistikovanou sestavu, která je jinak jen těžce vyrobitelná.

Ačkoliv je nejčastěji využívána k tisku plastového materiálu v podobě filamentu, prášku či resinu, tisk z dalších materiálů, jako jsou kovy, beton nebo keramika, není výjimkou. Z nástrojové oceli, korozivzdorné oceli, slitiny hliníku, titanu nebo třeba mědi lze zhotovit plně funkční součásti, jejichž výstupní vlastnosti jsou srovnatelné s výrobky ostatních výrobních metod. Není tedy divu, že nachází uplatnění v řadě odvětví. V automobilovém průmyslu k navrhování a inovacím jednotlivých dílů, ve zdravotnictví pro výrobu personalizovaných ortéz a modelů vnitřních orgánů, ve stavebnictví pro tisk budov a stavebních prvků, ve vědeckých a výzkumných pracovištích, ve světě umění a módy. Oblíbenosti a rozvoji tisku napomáhá fakt, že k němu má přístup díky ceně a uživatelsky přívětivému procesu tvorby prakticky kdokoliv.



Obr. 1 3D tisk [1].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Bakalářská práce se zabývá 3D tiskem nerozebíratelných sestav, které nemohou být rozebrány bez trvalého poškození. Skládají se z několika částí, které jsou vůči sobě nejčastěji uloženy s vůlí dle lícovací soustavy. Pro jejich koncové zhotovení se často musí zhotovit přípravky, použít speciální technologie či jejich kombinace, které jsou zpravidla finančně náročné, a tak je žádoucí, aby byl výstup funkční. Proto je vhodné funkčnost nejprve otestovat na prototypu.

Prototypová výroba prostřednictvím aditivních technologií je pro svou maximální materiálovou využitelnost při tvorbě libovolného modelu bez omezení tvarovou složitostí ideální volbou. Zvládá takové sestavy zhotovit velice rychle od návrhu, a to za použití minimálních nákladů. To je umožněno také tím, že není nutná konstrukce přípravků či čehokoliv dalšího.

Sestavy by mohly být zhotoveny přímo jako koncové, to však v řadě případů není možné. Pomocí 3D tisku lze dosáhnout jen určité kvality povrchu, na což má vliv například velikost spékanych zrn při použití kovového prášku jako materiálu. To může být v případě nerozebíratelných sestav problém kvůli omezenému přístupu pro navazující operace, které by požadované parametry umožnily splnit. Pokud jich je dosaženo, lze uvažovat pouze kusové či malosériové výroby. Se zvyšující se produkcí aditivní technologie strádají svou rychlostí konkurenceschopnost oproti jiným metodám. Nejen z těchto důvodů bývá tedy upřednostněna prototypová výroba, kterou je „pouze“ otestována funkčnost. Po úspěšné kontrole lze s jistotou financovat potřebné prostředky k zhotovení koncové sestavy s požadujícími vlastnostmi. Jako příklady bylo zhotoveno několik nerozebíratelných sestav, mezi které patřilo valivé ložisko, francouzský klíč a kloubový spoj (obr. 2).



Obr. 2 Tisknuté sestavy.

## 1.1 Variantní řešení výroby

I přes široké spektrum existujících výrobních technologií jich jen málo z nich dokáže zhotovit tvarově složitou sestavu, která je navíc nerozebíratelná. Na základě požadavků, jako je především schopnost tvorby tvarově složitých ploch, byly porovnány standardní druhy výroby:

- Odlévání (obr. 3) – umožňuje výrobu tvarově složitých dílů s vysokou využitelností materiálu. Přestože náklady na formy a další nutné příslušenství na lití nepatří k těm nejvyšším, stále je potřeba pro výrobu jejich zhotovení, což značně prodlužuje proces výroby, a to je zejména u prototypové a náběhové výroby stěžejní.



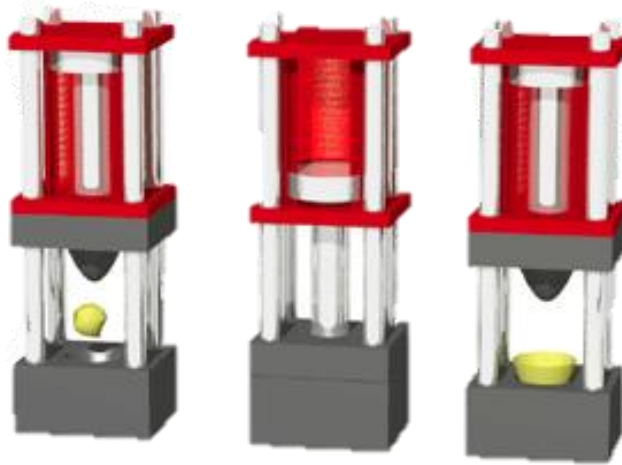
Obr. 3 Odlévání [4].

- Třískové obrábění (obr. 4) – vlastnosti kovů v různých směrech zůstávají izotropní, lze zpracovat díly velkých rozměrů a dosáhnout vysoké rozměrové přesnosti a kvality povrchu. Pro výrobu stačí tvorba programu, což je již běžně zjednodušeno pomocí CAM softwarů. Je však značně tvarově omezeno přístupem rezného nástroje a disponuje nižší využitelností materiálu, jelikož požadovaného tvaru dosahuje jeho odebráním. [3]



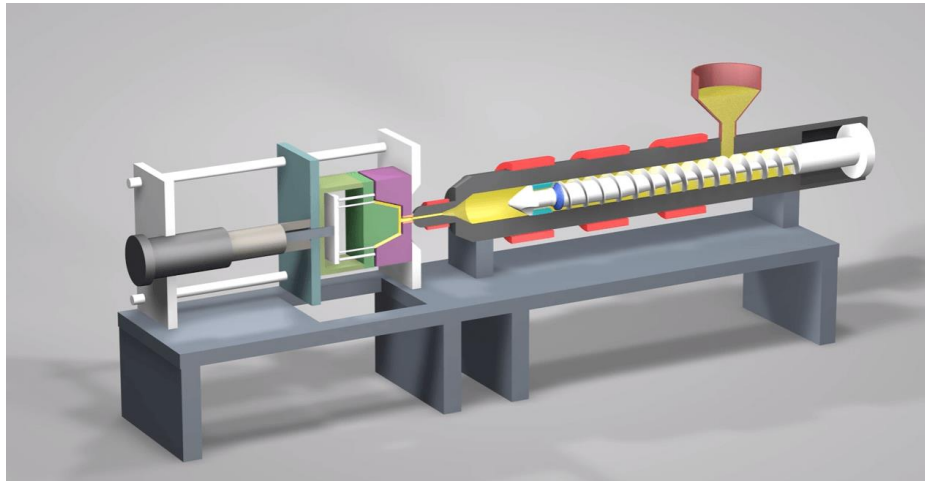
Obr. 4 CNC obrábění [5].

- Lisování a přetlačování (obr. 5) – způsob tváření plastů ve vytápěné nejčastěji ocelové formě, jejíž negativního tvaru je působícím tlakem dosaženo. Dobré mechanické vlastnosti dílů, minimální vnitřní pnutí. Tvarová omezenost, která neumožňuje tvorbu složitějších sestav, přičemž je navíc nutnost výroby individuální formy. [6]



Obr. 5 Lisování plastů. [6]

- Vstřikování (obr. 6) – umožňuje tvorbu tvarově složitých objektů s vysokou rozměrovou i geometrickou přesností, velmi krátké výrobní cykly a výbornou kvalitu povrchu. Využívá se ke zpracování plastů pro hromadnou výrobu, a to především kvůli nutnosti konstrukce individuální vstřikovací formy. Ta je finančně příliš náročnou pro kusovou i malosériovou výrobu, proto se se snižujícím počtem vyráběných dílů upřednostňují jiné metody. [7]



Obr. 6 Vstřikování plastů [7].

3D tisk dokáže ušetřit výrobní náklady, snížit spotřebu materiálu díky jeho efektivnímu využívání či zkrátit dodací lhůty. Navíc je schopen zdokonalit vlastnosti nebo odlehčit díly díky specifickým tvarům či vnitřním strukturám. Dokáže zhotovit tvarově velmi složité výrobky, pro které není nutná konstrukce žádného příslušenství, výroba tedy může začít ihned po dokončení modelu. Nedostatky zahrnující nižší dosažitelnou přesnost nebo omezení velikostí tiskové plochy v prototypové výrobě nebývá problémem, a tak je tato technologie ze všech zmíněných nejvhodnější.

Nelze říci, která metoda je lepší, což ani není potřeba. 3D tisk je často milně vnímán jako všehoschopná nebo naopak neschopná technologie. Nemá však ostatní metody výroby nahradit, ale doplnit je a rozšířit možnosti o způsoby, na které nestačí.

## 2 3D TISK

Proces tvorby začíná u modelu, který může být vytvořen buďto v CAD softwaru, nebo reverzně z reálného objektu prostřednictvím skeneru bez nutnosti práce s technickou dokumentací. Model je následně převeden do používaným programem podporovaného formátu, což bývá nejčastěji .stl. V tomto programu jsou určeny veškeré parametry samotného tisku, na základě čehož je vytvořen soubor s dráhou nástroje a všemi potřebnými informacemi. Výrobek (obr. 7) je tvořen po jednotlivých vrstvách, ve kterých je materiál taven či nanášen na konkrétních souřadnicích. Forma samotného materiálu závisí na používané technologii tisku. [2]

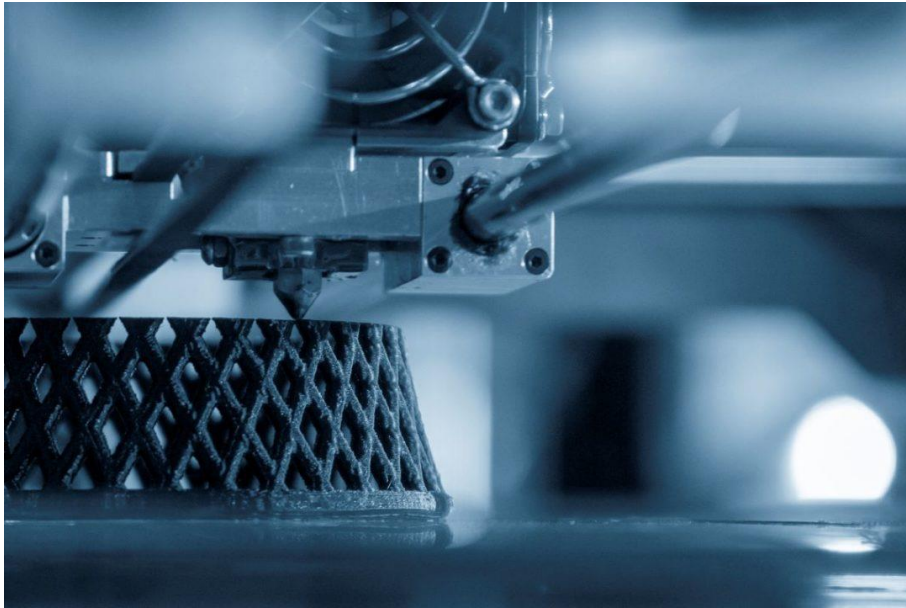


Obr. 7 Výrobky aditivních technologií [29].

### 2.1 Technologie 3D tisku

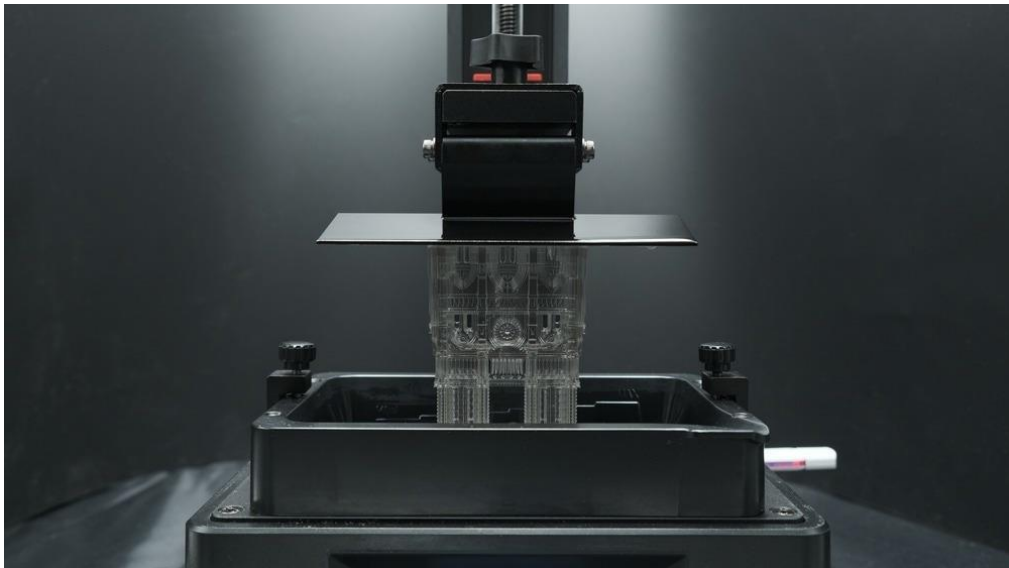
3D tisk nabízí mnoho metod, ze kterých je voleno na základě požadovaných parametrů. Mezi ty nejdůležitější patří požadavky na výstupní mechanické vlastnosti, přesnost či rychlost tisku, kvality povrchu nebo pořizovací ceny. Je také třeba dbát na nutné příslušenství, zkušenosti operátora, cenu a kvalitu použitelného materiálu, údržbu a další. Mezi nejpoužívanější technologie patří [2]:

- Fused Deposition Modeling (obr. 8) – FDM nebo také Fused Filament Fabrication, FFF, tvoří výrobek z termoplastického materiálu ve formě drátu navinutého na cívce, ze které je postupně vtačován do tiskové hlavy, kde je taven a nanášen tryskou na vyhřívanou podložku. U složitějších tvarů je využíváno podpěr, které jsou následně mechanicky nebo chemicky odstraňovány v závislosti na zvoleném druhu materiálu. Díky své dostupnosti a skvělému poměru cena-výkon je nejpoblárnější metodou. Lze volit z široké škály tiskáren i materiálů, které na moderních tiskárnách mohou být vzájemně kombinovány. Nevýhodou je omezená přesnost a výstupní kvalita povrchu ovlivněna tloušťkou nanášených jednotlivých vrstev.



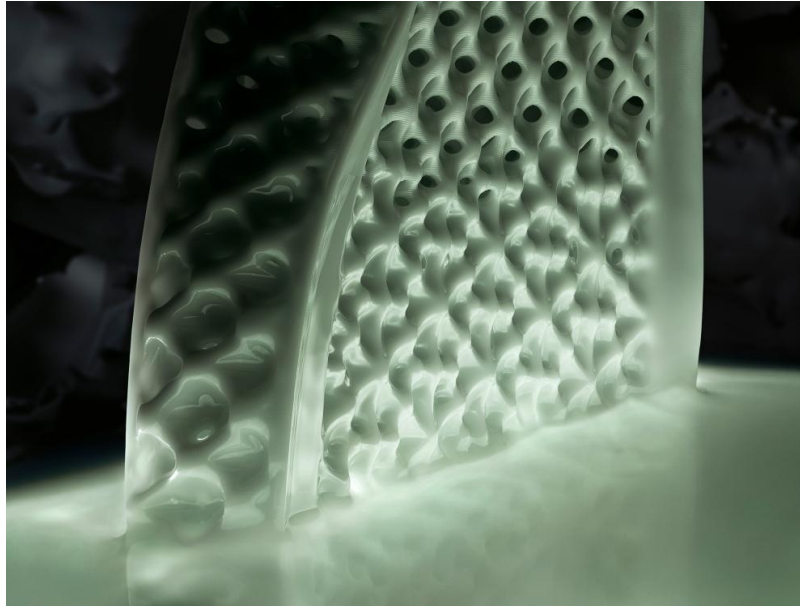
Obr. 8 FDM [8].

- Stereolitografie (obr. 9) – SLA, nejstarší technologie aditivní výroby vyznačující se vysokou přesností a kvalitou povrchu. Vstupním materiálem je fotopolymer, fotocitlivá polymerní pryskyřice, v tekuté formě, která je po jednotlivých vrstvách vytvrzována pomocí UV laserového paprsku v pracovní komoře. Výstupem jsou izotropní a vodotěsné díly. Používá se například pro výrobu forem, modelů s malými otvory, přesnými detaily. Možnost výroby z transparentního materiálu. Nevýhodou je náročnější údržba, nižší životnost výtisků, nutnost úpravy povrchu, sušení a zdravotní rizika, kterým se musí přecházet používáním bezpečnostních prostředků. [24]



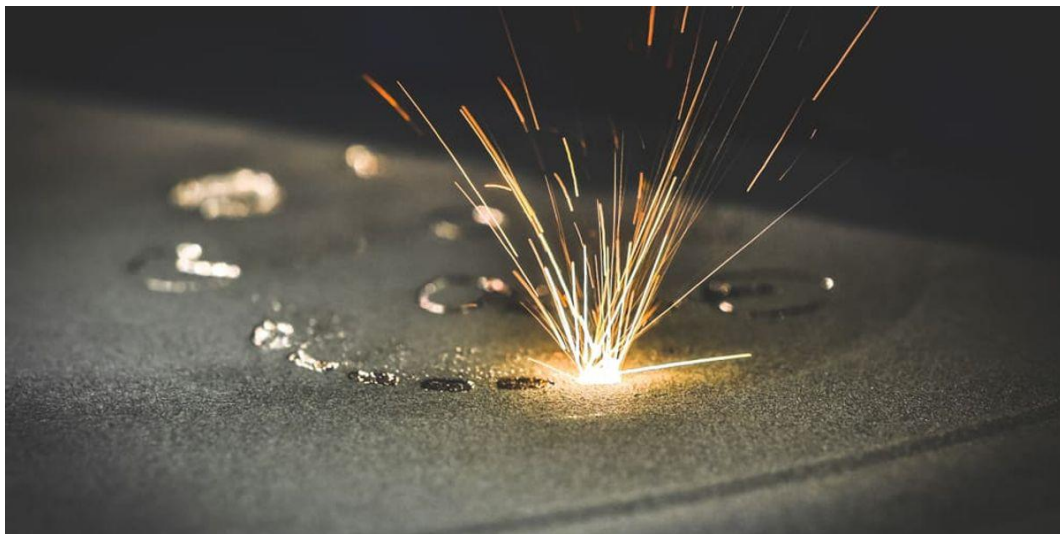
Obr. 9 SLA [9].

- Digital Light Processing a Liquid Crystal Display (obr. 10) – DLP a LCD, moderní technologie založené na stereolitografii, SLA. Nabízejí rychlé časy tisku díky promítání celé vrstvy najednou. DLP využívá digitální projektor, kterým je tvořen vysoce přesný a detailní tisk. LCD používáním LED pole dosahuje horších mechanických vlastností a nižší přesnosti, což je způsobeno méně přesným vytvrzením vrstev díky pronikání světla mezi pixely u některých využívaných obrazovek. Na druhou stranu je LCD levnější a vhodnější pro tisk větších předmětů. [10; 24]



Obr. 10 DLP [11].

- Selective Laser Sintering (obr. 11) – SLS, výrobní proces založen na spékání materiálu z plastů, pryže, kovu nebo keramiky v práškové formě pomocí  $CO_2$  laseru ve výrobní komoře. Prášek je po vrstvách nanášen pomocí škrabky a taven v zadaných souřadnicích, přičemž všechny okolní prášek slouží po celou dobu jako opora pro vyráběný díl, který je po ukončení tisku odstraněn. Výtisky nepotřebují podpory a vynikají vysokou pevností. Nevýhodou je kvalita povrchu ovlivněná velikostí prachových částic vstupního materiálu.



Obr. 11 SLS [12].

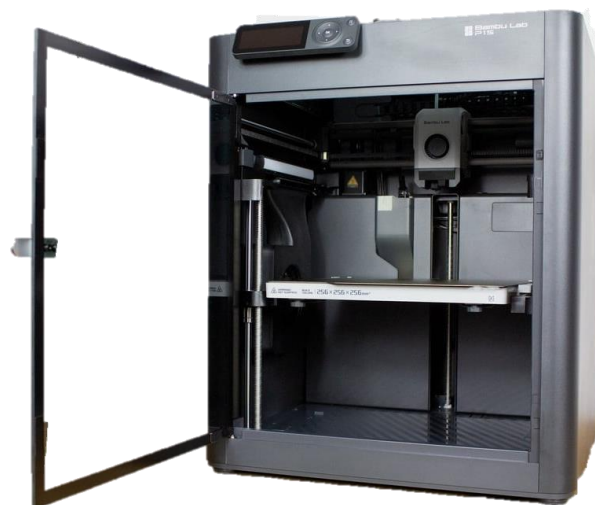
- Direct Metal Laser Sintering (obr. 12) – DMLS, metoda vhodná pro tisk plně funkčních výrobků pro různé aplikace z kovových materiálů v práškové formě, které jsou taveny pomocí laserového paprsku. Výstupní díly jsou homogenní s vlastnostmi srovnatelnými s konvenčně obroběnými díly. Vhodné například pro titanové, hliníkové nebo chromniklové oceli, které se nejčastěji používají v leteckém a zdravotnickém průmyslu. Téměř neomezená tvarová složitost dílů společně s maximální využitelností materiálu dělají z DMLS velice atraktivní metodu výroby. Rychlost tisku se odvíjí od počtu a výkonu používaných laserů, která se projeví zejména u velkorozměrových dílů. Po výrobě standardně následuje tepelné a povrchové zpracování dle požadavků.



Obr. 12 DMLS [13].

### 2.1.1 Tiskárny

Jsou děleny na kategorie na základě využívané technologie tisku, která je zásadní. Odvíjí se od ní forma používaného materiálu a základní technické parametry výstupních dílů. Jednotlivé kategorie se pak dále dělí dle výkonu, konstrukce, velikosti tiskové plochy, rychlosti tisku či dosahované přesnosti. Neoblíbenější tiskárny využívají technologii FDM (obr. 13) pro svou uživatelskou přívětivost a pořizovací cenu.



Obr. 13 FDM Bambu Lab P1S [30].

SLA tiskárny (obr. 14) jsou využívány pro malé díly s jemnými detaily a hladkým povrchem díky přesnosti UV laseru. Výtisky zde však nejsou vhodné pro dlouhodobé použití v závislosti na prostředí, jelikož se vytvrzením stávají křehkými. Jsou zpravidla uzavřeny konstrukcí. [32]



Obr. 14 SLA Photon Mono M5s [30].

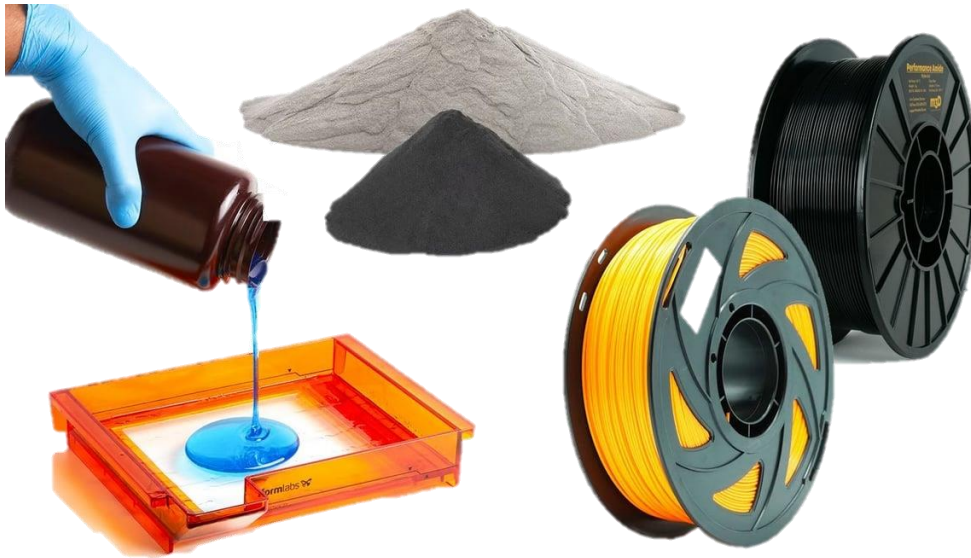
Další kategorií jsou tiskárny využívající SLS technologii (obr. 15), které jsou finančně náročnější a často vyžadují další příslušenství. Vytváří však díly technické kvality s vynikajícími mechanickými vlastnostmi a jemným rozlišením. Jsou využívány především pro funkční prototypy a díly pro konečné použití například v automobilovém, leteckém či lékařském průmyslu. [31]



Obr. 15 Sinterin Lisa X [31].

## 2.2 Materiály

3D tiskem je využívána celá řada materiálů (obr. 16). Plasty, kovy, keramika, beton, a další. Ve strojírenství jsou to především zmíněné kovy a plasty, a to nejčastěji ve formě filamentů, pryskyřice v tekutém stavu, či v práškové podobě, která je nejběžnější právě pro kovy. Forma je volena na základě používané technologie, konkrétní druh pak dle požadovaných výstupních vlastností výtisku. [14; 15]



Obr. 16 Materiály pro 3D tisk [15].

Výběrem materiálu jsou ovlivňovány veškeré výstupní vlastnosti zahrnující pevnost, pružnost, otěruvzdornost, chemickou odolnost, teplotní stabilitu a řadu dalších, které mají zásadní vliv na životnost samotného výtisku i přesnost zhotovení. Odvíjí se od něj jak proces tisku, tak i volená tiskárna, která musí být schopna zvolený materiál zpracovat. Jedná se především o potřebnou teplotu trysky nebo výkon a počet laserů. Je vhodné zohlednit také recyklovatelnost a cenu materiálu. [16]

### 2.2.1 Filamenty

Termoplast v podobě tenkého, dlouhého vlákna navinutého na cívce (obr. 17), ze které se při tisku postupně odmotává. Je používán speciálně pro technologii FDM. Umělá hmota je nejprve granulována na malé kousky známé jako pelety, které se následně tvarují do podoby lana a smíchávají se s přísadami, které dávají filamentu potřebné vlastnosti. Následuje fáze sušení, tvarování do konečného stavu a navíjení. Nakonec přichází kontrola průměru a navíjení na cívku. Jsou vyráběny nejčastěji v průměrech 1,75 mm a 2,85 mm. [18; 19] Patří sem:

- PLA – materiál vyráběný z polyaktidu, kyseliny polymléčné, je získáván z fermentovaného rostlinného škrobu a je biologicky odbouratelný, díky čemuž je také netoxický a vhodný pro kontakt s jídlem. Taví se při teplotách kolem 180 °C s minimálním smrštěním, díky čemuž se jedná o jeden z nejsnáze tisknutelných filamentů. Dostupnost v široké škále barev a průhledností. Patří mezi křehčí materiály s nízkou tepelnou odolností. Časem se jeho vlastnosti, především pevnost a pružnost, zhoršují. Ideální materiál pro zkušební tisk. [18; 19]
- ABS – akrylonitril butadien styren je snadno tvarovatelný a zároveň mechanicky i chemicky odolný materiál, který se však rychle smršťuje při ochlazení, což jej v kombinaci s nutností vyšších teplot pro tisk řadí mezi obtížně tisknutelné materiály, což lze eliminovat použitím tiskárny s vyhřívanou uzavřenou komorou. Jedná se o levný

materiál, jehož výstupem jsou výtisky s průměrnými mechanickými vlastnostmi. [18; 19]

- PETG – polyethyltereftalát obohacený o glykol je voděodolný materiál s minimální smrštitivostí a chemickou odolností. Kombinuje snadnou tisknutelnost s průměrnými mechanickými vlastnostmi, a navíc je vhodný i pro kontakt s jídlem. V kombinaci s nízkou cenou se jedná o jeden z nejvyužívanějších filamentů. Vhodné pro prototypy a méně namáhavé součásti. [18; 19]



Obr. 17 Filamenty [21].

- PA – polyamid také znám jako nylon, disponuje nadprůměrnými mechanickými vlastnostmi a chemickou odolností, díky čemuž je vhodný pro výrobu mechanických součástí pro uplatnění v průmyslu. Obtížnější tisk a vyšší cena je vykoupena vysokou pevností, pružností a ořezuvzdorností. Je nutné brát v potaz absorpci vlhkosti v závislosti na konkrétním druhu zvoleného polyamidu. [16]
- PC – polykarbonát je svými mechanickými vlastnostmi, které si zachovává až do 150 °C bez deformace, vhodný pro technické aplikace. Je nutné stejně jako u polyamidu dát pozor na absorpci vlhkosti. Je ekologicky odbouratelný i snadno recyklovatelný. Využíván i pro svou transparentnost. [20]
- TPU – materiál z termoplastického polyuretanu se po deformaci rychle vrátí do původního tvaru. Povrch je ořezuvzdorný a odolný vůči mnoha chemikáliím. Mimo to velmi účinně tlumí rázy a vibrace. Dělí se dle tvrdosti. Vhodné pro potisk pneumatik, součástí nástrojů, těsnění. Obtížnost tisku se zvyšuje se snižující se tvrdostí. [18; 19]
- ASA – akrylonitril styren akrylát nabízí vysokou odolnost proti vnějším vlivům, díky čemuž se používá pro součásti používané ve venkovních prostor. Odolný materiál považovaný za vylepšenou verzi ABS, který je rovněž obtížně tisknutelný. [19; 20]
- HIPS – high impact polystyrene je snadno zpracovatelný, rozměrově stabilní a vysoce odolný proti nárazům. Nejčastěji využíván jako podpůrný materiál, který je rozpustný v limonenu. Je znám svou vysokou teplotní stálostí a zdravotní nezávadností, díky čemuž se používá i v potravinářském průmyslu. [18; 19]

- PVA – polyvinyl alcohol je biologicky odbouratelný polymer, který je vodou rozpustný. Disponuje mimo jiné vynikající přilnavostí k ostatním materiálům, díky čemuž je nejčastěji používán pro tisk podpěr. [16]
- PEEK – polyether ether ketone udržuje své mechanické vlastnosti, které jsou srovnatelné s kovy, až do 260 °C. Je odolný vůči širokému spektru chemikálií a UV záření, díky čemuž se jedná o ideální polymer pro náročné provozní prostředí. Běžně se využívá v automobilovém a leteckém průmyslu. Díky své biokompatibilitě je vhodný i jako materiál pro implantaci. Po tisku může být žihán. [20]
- Kompozity – základní materiály jako PLA, PETG, PC, ABS či PA vyztužené uhlíkovými, kevlarovými či skleněnými vlákny získávají zlepšení jejich mechanických vlastností, pružnosti, tuhosti a pevnosti. Vlákna snižují smrštivost filamentu, čímž zlepšují jejich stabilitu a snižují hmotnost. Je třeba brát v potaz obtížnější tisk a náchylnost k ucpávání trysky. Vhodné pro výrobu lehkých, ale pevných dílů (obr.18). [20]



Obr. 18 Výtisky z vyztužených plastů uhlíkem [22].

### 2.2.2 Resiny

Je kapalný fotocitlivý materiál (obr. 19) používající se pro tisk u technologií SLA, DLP či LCD. Je naléván do nádrže tiskárny, která jej pomocí laserového záření vytvrzuje po jednotlivých vrstvách v požadovaných místech. Možnost tisku komplexních a geometrických náročných objektů díky vyrovnávací podpoře. [2; 23]

Umožňuje vytváření objektů s vysokým rozlišením a detaily, které jsou technologiemi FDM či SLS nevyrobitelné. Široký výběr materiálu s různými vlastnostmi i barvami nám umožňuje přizpůsobit výsledný objekt i náročnějším požadavkům. Vysoká přesnost a hladký povrch při správně zvolených podmínkách je při tisku resinu standardem. Ve srovnání s ostatními způsoby 3D tisku nabízí relativně rychlejší proces tisku. Není vhodný pro potravinářské účely a pro vysoké aplikační teploty nad 100 °C. Mezi nejčastěji používané druhy resinů patří [23]:

- Standardní – základní cenově dostupné resiny, jejichž výstupem je výtisk s hladkým povrchem a dobrými detaily. Kvůli křehkosti jsou vhodné pro prototypy či modely nepodléhající časté manipulaci a zátěži.

- Tvrdé – resiny dle názvu používané pro svou odolnost. Vhodné pro prototypy podstupující zátěžové testy a díly vystavované většímu zatížení. Dělí se na základě trvanlivosti a pevnosti. Patří sem také vysokoteplotní resiny vhodné zejména pro výborní a průmyslové aplikace.
- Flexibilní – v čirých nebo barevných variantách. Liší se svou vysokou elasticitou po vytvrzení, kterou však postupem času ztrácí vlivem působení světla, před kterým je vhodné je chránit. Vhodné pro předměty s nízkou životností.

Po dokončení tisku je nutné výtisk zbavit podpěr, které jsou ze stejného materiálu jako tištěná součást. Následuje úprava povrchu včetně opracování v UV komoře, kde je dosaženo požadovaných parametrů. Doba vytvrzování se liší v závislosti na konkrétním typu zvoleného druhu, tloušťce výtisku, intenzitě světla a typu vytvrzovací jednotky. [2]



Obr. 19 Resin [24].

### 2.2.3 Prášky

Prášková forma materiálů (obr. 20) pro 3D tisk patří mezi ty nejpoužívanější. U plastu se používá především u technologie SLS a u kovů pak mimo jiné u DMLS. Prášek je spékán pomocí jednoho či více laserů, a v závislosti na jejich výkonu je volen konkrétní druh materiálu.



Obr. 20 SLS materiál [28].

Kovový prášek (obr. 21) je vyráběn použitím nejmodernějších způsobů atomizace. Dle zvoleného materiálu a požadavků zákazníka může být vyroben ve vakuové indukční peci a rozprašován pod inertním plynem, čímž se zajistí vysoký standard kvality a minimální obsah nežádoucích prvků. Standartní velikosti zrn jsou nejčastěji od 15 až po 150 mikronů dle požadavků. Mezi konkrétní kovové prášky patří například [2; 25]:

- Nástrojová ocel 1.2709 – ocel s vynikajícími mechanickými vlastnostmi, které jsou dále upravitelné následujícím tepelným zpracováním. Tato martenzitická precipitačně vytvrditelná nástrojová ocel se vyznačuje velmi vysokou pevností, tvrdostí a mezí kluzu, díky čemuž je využívána ve strojírenských aplikacích, jako například u forem pro vstřikování.
- Korozivzdorná ocel 1.4404 – jedna z nejčastěji používaných ocelí využívána při požadavku na maximální korozní odolnost doplněnou o vysokou pevnost, tažnost, houževnatost a tepelnou odolnost. Jedná se o austenitickou ocel se zvýšeným obsahem molybdenu. Využití v potravinářském, chemickém, loďařském a zdravotním průmyslu.
- Slitina hliníku AlSi10Mg – široce používaná slitina kombinující nízkou hmotnost a dobré mechanické vlastnosti. Disponuje také vysokou tepelnou a elektrickou vodivostí a korozivzdorností. Kombinace těchto vlastností dělají z této slitiny vhodnou volbu pro aplikace v leteckém a automobilovém průmyslu.



Obr. 21 Kovový prášek [25].

V jemně mleté práškové formě jsou využívány i plasty, a to zejména u technologie SLS. Jsou spékány laserem stejně jako prášky kovové, svým výkonem by však na natavení kovu nestačily. Mezi nejběžnější materiály patří polyamid, elastomer či polystyren. Tyto materiály jsou většinou doplňovány různými přísadami jako jsou uhlíkové částice, skelné částice či hliníkové přísady pro zlepšení tuhosti, pevnosti, pružnosti, chemických vlastností nebo samotného vzhledu výtisku (obr. 22). Konkrétně sem například patří [26; 27; 28]:

- Nylon PA12 – nejrozšířenější výrobní materiál pro technologii SLS díky svým dlouhodobě stálým vlastnostem v kombinaci s nízkou hmotností a dobrou chemickou odolností. Je vyráběn z PA2200, snadno barvitelného bílého polyamidu. Díky svým mechanickým vlastnostem se používá i pro koncové funkční díly. Sám se používá i jako základ pro další přísady:

- PA3200GF – je tvořen PA12 s přídavkem skelných částic. Disponuje vysokou tuhostí a hustotou. Je otěruvzdorný, dobře obrobitelný a zachovává si dlouhodobou stálost svých vlastností. Stabilita a minimální deformace při výrobním procesu. Vhodné pro staticky zatížené prvky.
- Alumide – PA12 s přídavkem 50 % hliníkových částic, které materiálu výrazně zvyšují tuhost a obrobitelnost. Vhodný pro silnostěnné a deskové díly jako jsou vodící plochy, upínací prvky a další.
- PA11 – vyráběn z obnovitelných přírodních zdrojů a zajišťující vysokou pružnost, houževnatost a odolnost proti chemikáliím. Vhodný pro absorbování deformační síly, například u chráničů.



Obr. 22 Výtisk SLS [28].

### 2.3 Reverzní inženýrství

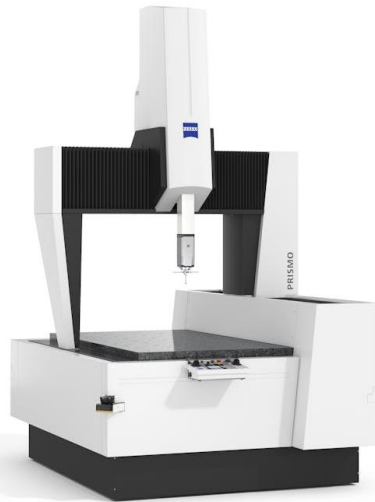
Proces převedení reálného objektu do počítačových dat (obr. 23), na základě kterých je vytvořen virtuální model v příslušném softwaru. Výsledkem je mrak bodů, který je následně převeden na trojúhelníkovou síť polygonů, která je uložena do vhodného formátu dat pro další zpracování. [33]



Obr. 23 Reverzní inženýrství [34].

V porovnání s klasickými postupy měření umožňuje naměřit nebo zkontrolovat součást v relativně krátkém čase. Toho je dosaženo prostřednictvím 3D skenerů, které jsou využívány i pro kontrolu kvality, pro mapování terénu, v lékařství, počítačových hrách nebo třeba dokumentaci památek. Dělí se dle použité technologie, přesnosti měření, velikosti skenovaného objektu, časové náročnosti, výstupu dat či místa samotného skenování na [2]:

- Kontaktní souřadnicové CMM systémy (obr. 24) – využívají se pro přesnou kontrolu rozměrů součástí, ale nachází využití i pro digitalizaci. Pro své vysoké pořizovací náklady a nízkou rychlost jsou pro skenování využívány spíše výjimečně. Fungují na principu zkoumání povrchu objektu pevně přichyceného k podložce hmotným dotykem, kterým může být bodová nebo kuličková sonda. Nedochází zde k zachycení celého objektu, ale pouze určitých míst povrchu.



Obr. 24 Dotykový CMM skener [36].

- Laserové (obr. 25) – komplexní kontrola součástí o vysoké přesnosti, kterou předčí ostatní metody. Pro svou vysokou cenu se používá většinou pouze tam, kde jsou ostatní druhy nedostačující. Laserový paprsek promítaný na měřeném objektu je snímán umístěnými senzory, které paprsek rozdělí na jednotlivé body o určitých souřadnicích. Využití především při kontrole výroby.



Obr. 25 Bezkontaktní laserový scanner 3D EinScan HX [37].

- Ultrazvukové – jedna z cenově nejpřístupnějších metod založená na principu snímání povrchu součásti ultrazvukovou sondou. Vysílaný ultrazvukové signály jsou po odrazu dekódovány pomocí čidel do prostorových souřadnic. V porovnání s ostatními metodami disponuje nízkou přesností, která je však pro mnoho oblastí dostačující.
- Optické (obr. 26) – výhodou je rychlost skenování, která je však vykompenzována nižší přesností, než je tomu u laseru. Jedná se o nejdostupnější variantu, kde k zachycení objektu slouží přirozeně odražené světlo a jedna nebo více kamer, kterými jsou pořízeny snímky z mnoha různých úhlů, jejichž digitální realizace se provádí ve skenovacím programu v počítači.

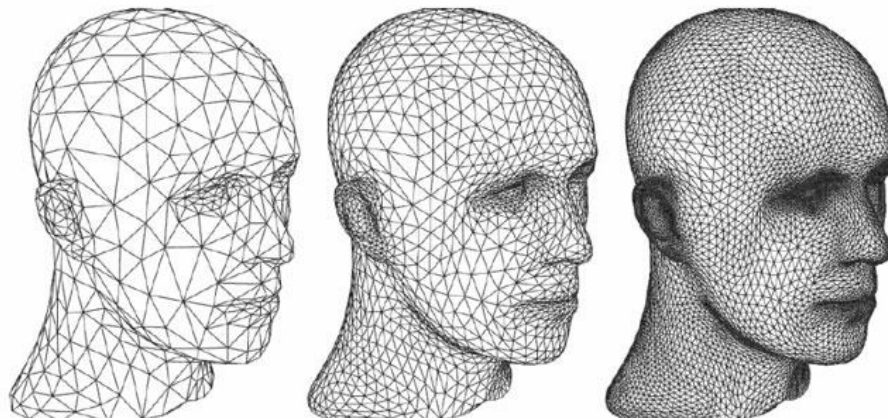


Obr. 26 3D optický skener GOM ATOS Q [38].

### 2.3.1 Výstupní data

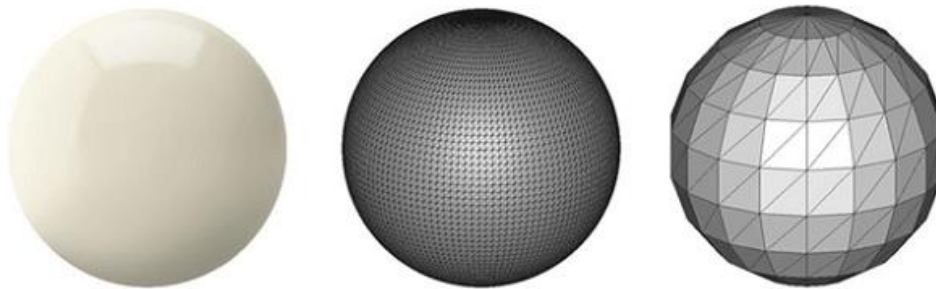
Skenerem jsou vytvářeny informace ve formě jednotlivých bodů na povrchu snímaného objektu, z kterých je sestaven počítačový prostorový model. Tyto informace mohou být exportovány ve formě dat pouze v předem určeném formátu dle druhu skeneru. Mezi nejčastější formáty patří [2; 39; 40]:

- STL (obr. 27, obr. 28) – model je vytvořen pomocí sítě složené z trojúhelníků nesoucí data, která jsou pro další úpravu přehlednější díky vytvořenému povrchu modelu. Ten vytváří reálný dojem plošného modelu. STL dokáže většina CAD systémů načíst pouze jako dále neupravitelnou grafiku. Některé programy však dokážou tato data zpracovat do ploch čitelných v CAD aplikacích. STL je používáno pro přímý tisk na 3D tiskárnách jako nejjednodušší vyjádření tvaru 3D modelu.



Obr. 27 STL formát [41].

- OBJ – data opět vyjádřena pomocí trojúhelníkové sítě, jsou však přehlednější díky obsažené textuře, která je tvořena zachycenými snímky během skenování. Používán často jako převodní formát. Často bývá svou nepřiměřenou velikostí obtížně upravitelný.
- PLY – běžně používaný ve stomatologii pro svou schopnost ukládání podrobných informací, jako je barva a textura pomocí sítě definovaných trojúhelníků. Na rozdíl od STL jsou menší, ale přesto nabízí dostatečnou přesnost a detaily, díky čemuž může být příjemnější pro práci a sdílení.
- 3MF – formát určen pro použití v pracovních postupech zachycující informace o měřítku, barvách a texturách. Je prostorově nenáročný a umožňuje zahrnutí více modelů najednou.



Obr. 28 Optimalizace STL dat [42].

## 2.4 Možnosti 3D tisku v současné době

Pro průmyslový 3D tisk je nutné využití tiskáren, které nabízejí rychlou produkci, vysokou přesnost, kvalitu povrchu či širokou nabídku materiálů s dostatečnými mechanickými vlastnostmi. Nachází využití zejména [2; 43]:

- Náběhová výroba – velmi rychlé zahájení výroby v porovnání se standardními metody výroby, které je běžně v řádu hodin. Ideální pro pokrytí doby, než naběhne běžná výrobní technologie, jako je například vstřikování, kde výroba formy může trvat až několik měsíců. Příkladem náběhové výroby jsou ochranné masky proti covidu, které pokryly prvotní období, než byly dovezeny v dostatečném množství kvalitní respirátory.
- Sériová výroba menších a geometricky složitých produktů – při výrobě kusové nebo sériové výrobě se ekonomicky nevyplatí konstrukce forem či speciálních nástrojů, což u 3D tisku není potřebné. Navíc v takových případech vyniká svou bezkonkurenční rychlostí výroby. U hromadné výroby však svou rychlost vůči konkurenci ztrácí.
- Personalizovaná výroba – v rámci jednotek až tisíců kusů personalizované třeba jménem zákazníka. Prostřednictvím 3D tisku není personalizace problém díky jednoduché upravitelnosti.
- Výroba náhradních dílů – dostupnost spousty dílů je častá slabina řady produktů. Ať už z důvodu vysoké ceny, dlouhé doby dodání, nebo ukončení výroby těchto dílů. 3D nabízí ideální řešení, jak náhradní díl vyrobit.

### 2.4.1 Zdravotnictví

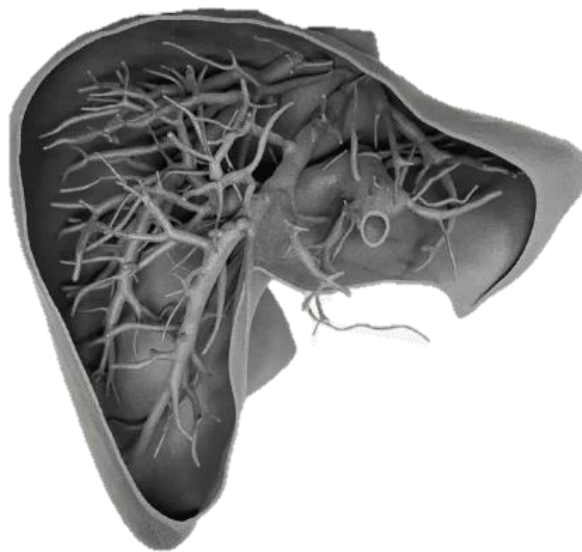
Díky individualizaci se stal 3D tisk oblíbenou metodou zdravotníků při plánování operací, tvorbě ortopedických a protetických pomůcek, ve výzkumu, výrobě nástrojů i vzdělávání. Nižší cena, rychlost a pružnost výroby, možnosti použití nejrůznějších materiálů či přesnost takto personalizovaných výrobků jsou důvody, proč se využití aditivních technologií nejen ve zdravotnictví tak rychle rozšiřuje. Uplatnění nachází zejména v podobě [44]:

- Ortézy na míru (obr. 29) – lehké plastové ortézy na míru vyrobené aditivními technologiemi jako náhrada těžkých a tvrdých sáder. Prostřednictvím 3D skeneru lze jednoduše nasnímat potřebnou část těla a tím individualizovat danou ortézu. Jsou tištěny především z termoplastického polyuretanu nebo plně obnovitelného rostlinného materiálu pocházejícího z olejnatých semen. [45]



Obr. 29 Ortéza [45].

- Detailní výtisky orgánů – od drobných mechanických součástek pro magnetickou rezonanci přes zjednodušené modely až po detailní výtisky ledvin, jater (obr. 30) a dalších orgánů převážně prostřednictvím SLS tisku, které umožňují lékařům snazší rozhodování v předoperační přípravě i přímo na sále. Díky těmto modelům může lékař názorně ukázat postup operace pacientovi, rodičům dětských pacientů apod., což je pro běžného člověka mnohem uchopitelnější než sada snímků z CT. Operatér si model může brát jako pomůcku přímo na sál, díky čemuž si může v průběhu operace připomenout tvar i vnitřní strukturu orgánu. Jelikož se jedná o unikátní model pro každého pacienta na základě jeho vyšetření, musí být tisk co nejpřesnější a nejrychlejší. [46]



Obr. 30 Model jater [46].

- Implementovatelné polymery – běžné polymery pro 3D tisk ortopedických nástrojů jsou většinou určeny pro krátkodobý, dočasný kontakt s pokožkou nebo dentální použití. Polymery však mohou nabídnout výhody oproti kovům pro dlouhodobé implantáty (obr. 31). Jednou z výhod je menší tuhost, což je faktorem ochrany proti pnutí. Když kovový implantát převezme veškerou zátěž, kost kolem něj se vstřebává, protože již není zatěžována. Polymer ale více odpovídá síle a tuhosti přirozené kosti, díky čemuž je získáno lepší společné sdílení zátěže. [47]



Obr. 31 Implantáty [62].

#### 2.4.2 Stavebnictví

Výrazné zvýšení využitelnosti materiálu a času až o desítky procent, ať už aktivní použití tiskárny na místě stavby nebo v továrně vyrábějící součásti stavebního projektu, které se následně sestavují dohromady. Schopnosti 3D tisku umožňují konstruovat libovolné geometrické tvary, které nejsou vyplňovány v celém objemu, ale jen na potřebných místech, aby dosahoval stejných či vyšších pevnostních vlastností. Tištěné prvky jako schodiště nebo opěrné zdi dokážou ušetřit až 80 % práce v místě výstavby a tím zrychlit celý proces až o 60 %. Hrubá stavba rodinného domu by mohla být postavena v řádu jednotek dnů. Aplikace této technologie v praxi by mohla pomoci řešit nedostatek kvalifikovaných pracovníků na stavbách. Nejběžnější tiskovou technologií ve stavebnictví je tisk vytlačováním cementového kompozitu (obr. 32). [45; 48]



Obr. 32 3D tisk ve stavebnictví [61].

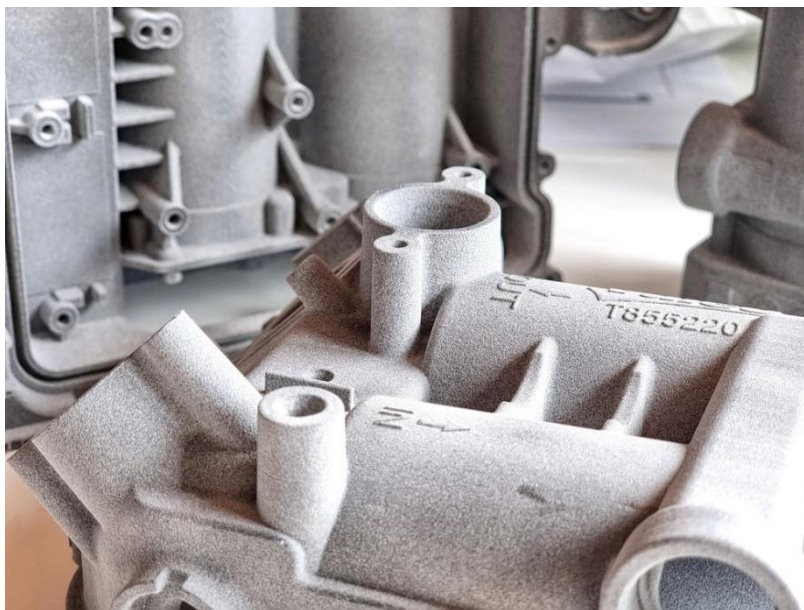
3D tisk také umožňuje ovlivnit vnější i vnitřní strukturu stavebních prvků (obr. 33) pro maximalizaci bezpečnosti a ekonomických úspor. Tyto chytré výplně využívají mimo jiné principu dvojí křivosti, která ideálně přenáší zatížení. Při rozměrech 20 centimetrů na výšku a hmotnosti 1,2 kilogramu unesla takto konstruovaná výplň zátěž pěti tun. Navíc díky této struktuře lze minimalizovat hrozbu náhlého kolapsu a získat možnost sledování historie nadměrného zatěžování. [49]



Obr. 33 Stavební výplně [49].

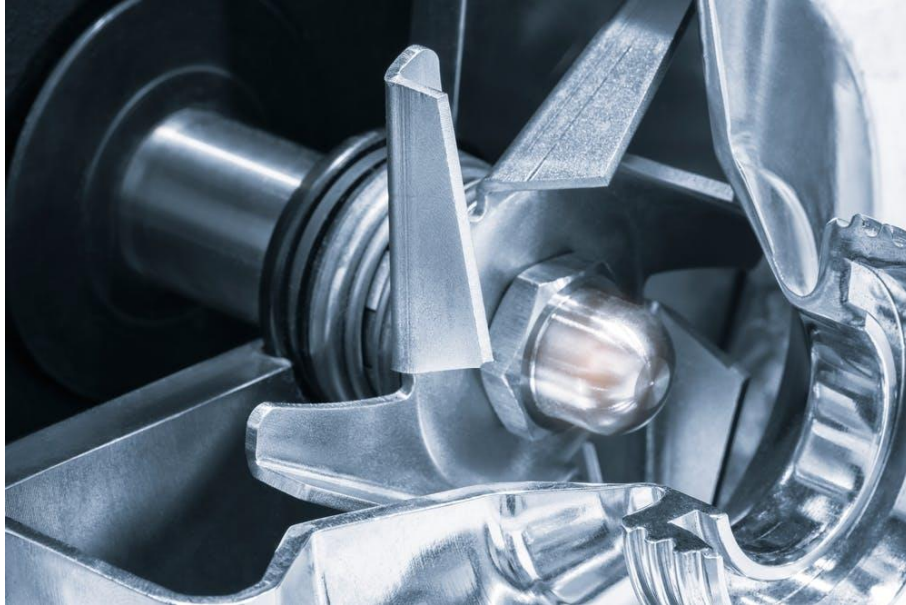
### 2.4.3 Strojírenství

Svou schopností rychlého zhotovení návrhů na fyzické modely (obr. 34) se začal 3D tisk již před lety využívat i v automobilovém průmyslu. Rychlý, efektivní a úsporný způsob výroby prototypů umožňující testovat výtvořů návrhářů v reálném světě zcela změnil proces vývoje díky téměř okamžité zpětné vazbě. Je využíván od koncepčních návrhů až po výrobu náhradních dílů. Tímto zrychlením dochází k podstatnému zkrácení doby uvedení na trh. [50]



Obr. 34 SLS výtisk části motoru [50].

V leteckém průmyslu jsou aditivní technologie využívány pro výrobu lehkých, ale odolných součástí (obr. 35) od vybavení kabiny až po díly samotného motoru. Jako materiál jsou využívány kovy, plasty, kompozity s uhlíkovými vlákny, keramika i sklo. Snížením hmotnosti je dosaženo výrazného snížení výrobních nákladů a maximalizaci využitelnosti materiálu, což vede k úspoře paliva a lepšímu výkonu při menším dopadu na životní prostředí. [51]



Obr. 35 Tištěné součástky z kovu [51].

### 3 PROTOTYPOVÁ VÝROBA NEROZEBÍRATELNÝCH SESTAV

Byly zvoleny tři nerozebíratelné sestavy. Kloubový spoj, francouzský klíč a valivé kuličkové ložisko, pro jejichž vyrobení byla zvolena technologie FDM umožňující v případě tisku tvarově složitějších částí použití podpěr. Vzhledem k výrobě prototypů jednotlivých sestav byl kladen důraz na co nejlepší poměr mechanických vlastností při co nejnižších nákladech a nejkratší době zhotovení na základě volby materiálu a parametrů tisku. V následujících podkapitolách byla u jednotlivých nerozebíratelných sestav popsána jejich testovaná funkce, a především postup výroby. Ten zahrnoval použité softwary pro vytvoření modelů a jejich následného zpracování do formátu čitelného pro používané tiskárny, zvolený materiál včetně jeho základních vlastností, popis vybraných tiskáren, které musely být schopny daný materiál zpracovat v požadované kvalitě. Byly také popsány nejdůležitější zvolené parametry samotného tisku. Nakonec bylo uvedeno množství spotřebovaného materiálu a čas jednotlivých tisků.

Kromě volby všech parametrů bylo nutné zvolit samotné umístění tisknutých sestav na pracovní prostor tiskáren, které mělo zásadní vliv na výstupní vlastnosti nehledě na zvolený materiál a podmínky samotného tisku. Umístění muselo být zohledněno zejména kvůli:

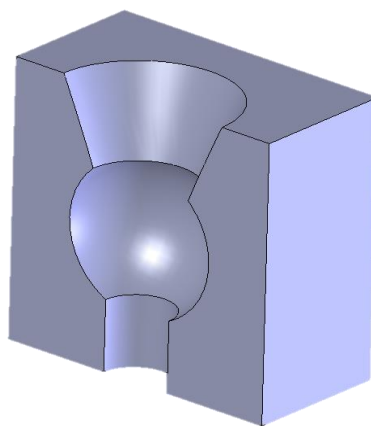
- Anizotropii – jelikož FDM technologie tvoří model po jednotlivých vrstvách nanášením materiálu, jsou v závislosti na směru rozdílné výstupní vlastnosti. Jednotlivé vrstvy jsou náchylnější na oddělení než destrukce vrstvy samotné. Proto bylo nutné model pozicovat tak, aby měl nejlepší mechanické vlastnosti v potencionálním směru zatížení.
- Podpěry – každá vrstva musí být pokládána na tu předchozí, a tak bylo nutné mít model natočený tak, aby muselo být použito minimum podpěrných vrstev, které by musely být po dokončení odstraněny.

#### 3.1 Kloubový spoj

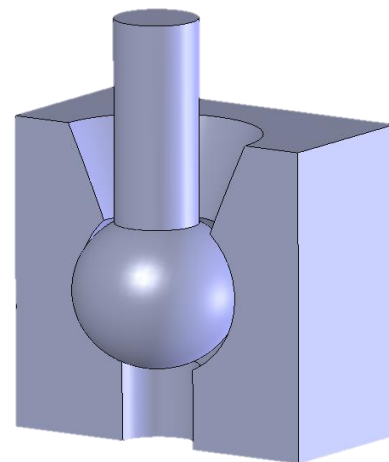
Krychle (obr. 37) o rozměrech 40x40x40 mm s vnitřní kulovou dutinou o průměru 21 mm, opatřena na jedné straně funkčním otvorem o průměru 15 mm udávajícím svou kuželovitostí 20° rozsah pohybu, a válcovým otvorem o průměru 9,5 mm na druhé straně pro možnost odstranění podpěr, které zde zajistily potřebnou vůli. Společně s kloubem (obr. 36) skládajícího se z koule, negativního tvaru dutiny kostky, o průměru 20 mm a stopky z ní vystupující o délce 27 mm a průměru 9,5 mm tvořil kloubový spoj (obr. 38). [52]



Obr. 36 Kloub.

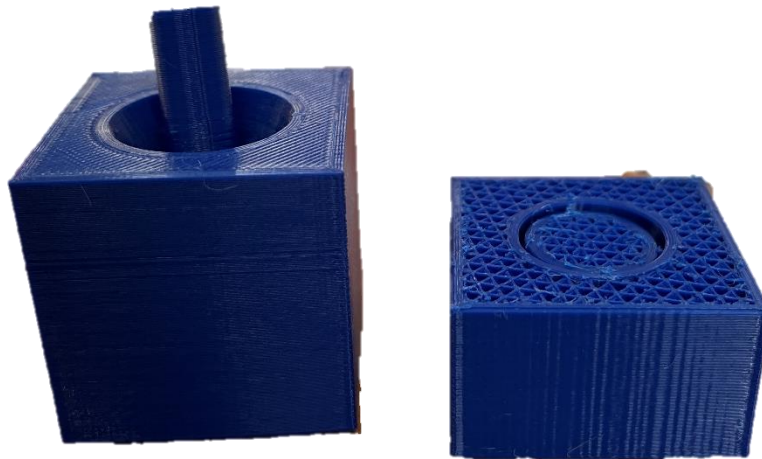


Obr. 37 Krychle v řezu.



Obr. 38 Kloubový spoj v řezu.

Model byl vytvořen v programu SolidWorks verze 2018 a výstupní .stl formát pak použit ve slicerovacím programu UltiMaker Cura. Jako materiál byl zvolen PET-G, lehce tisknutelný, pevný a houževnatý s dobrou teplotní stálostí, od společnosti Fiber3D. Pro zpracování tohoto materiálu byla použita teplota 245 °C u trysky a 80 °C na podložce. Byly vytisknuty tři kusy s rozdílnou kvalitou (obr.42). První měl tloušťku vrstvy 0,28 mm a 10 % výplň, další tloušťku 0,2 mm s 50 % výplní a poslední s nejmenší možnou tloušťkou 0,12 mm a úplnou výplní. Pro možný vhled dovnitř sestavy byla sestava také vytisknuta pouze do poloviční výšky (obr. 39).



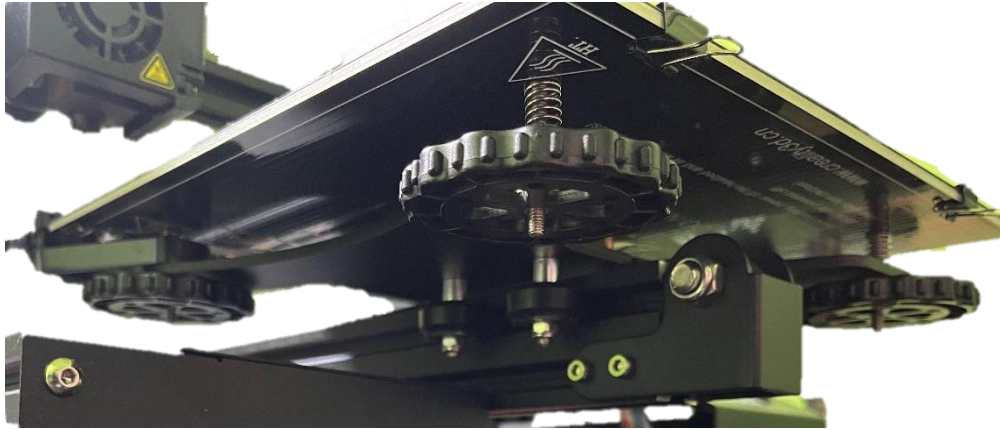
Obr. 39 Kulový spoj [55].

Pro tisk byla použita 3D tiskárna Creality ENDER-3 (obr. 40) s otevřenou konstrukcí, ruční kalibrací a velikostí tiskové plochy 220x220x250 mm, kde bylo možné dosáhnout teploty trysky až 255 °C a podložky až 110 °C. Rychlost tisku 50 mm·s<sup>-1</sup>, tloušťka vrstvy 0,12 až 0,28 mm při velikosti trysky 0,4 mm. [53]



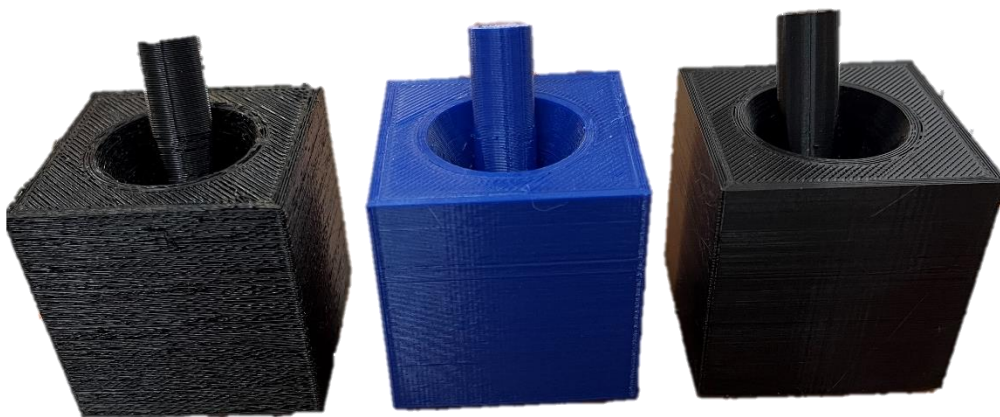
Obr. 40 Creality ENDER-3 [53].

Po spuštění tiskárny byla zahřáta tryska na pracovní teplotu 245 °C, s kterou byla provedena manuální kalibrace podložky (obr. 41). Na tu byl před zahřátím na pracovních 70 °C nanesen lak pro 3D tiskárny, který zvýšil přilnavost první vrstvy výtisku. Následovalo navedení filamentu do tiskové hlavy a vložení micro SD karty s programem nesoucím potřebnou dráhu nástroje a veškeré parametry tisky.



Obr. 41 Kalibrace pracovní plochy.

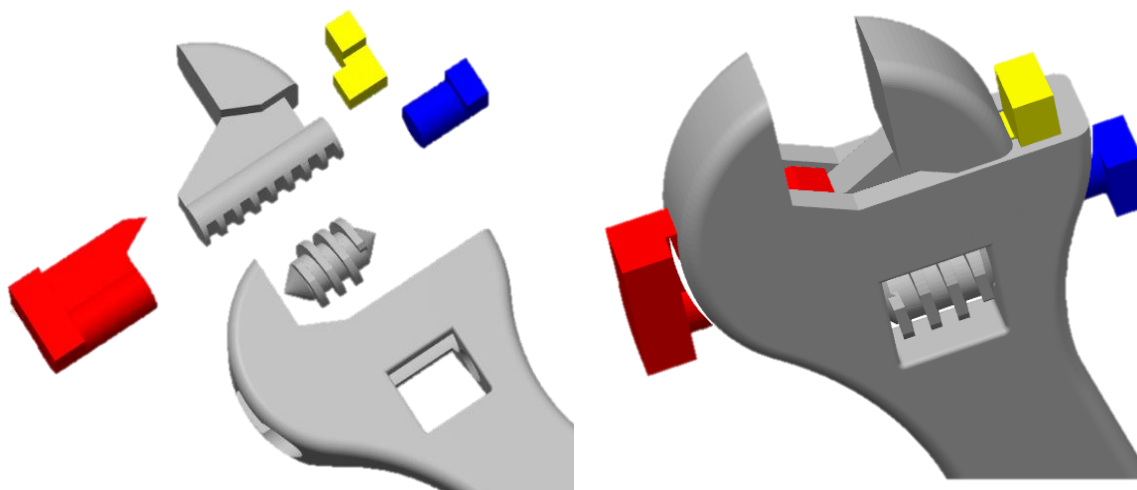
Po samotném tisku bylo nutné nechat vychladnout podložku, jelikož nanesený lak ztrácí svou funkci se snižující se teplotou. Nakonec byl odejmut konečný výtisk v podobě kloubového spoje. Vše se opakovalo pro každý kus. Tisk nejméně přesného dílu trval 2 hodiny a 38 minut a spotřeboval 9,6 metrů neboli 29 gramů filamentu. Následující kus s 50 % výplní trval 5 hodin a 15 minut a spotřeboval 16,57 metrů, 51 gramů. Poslední kus trvalo vytisknout 16 hodin a 50 minut při spotřebě 25,33 metrů filamentu neboli 77 gramů.



Obr. 42 Výtisky kulového spoje.

### 3.2 Francouzský klíč

Další vyráběnou nerozebíratelnou sestavou byl francouzský klíč, který se skládal ze samotného těla nesoucí pevnou čelist, čelisti pohyblivé a šroubu. Poslední dvě zmíněné části umožnily funkci klíče, která spočívala v přeměně rotačního pohybu šroubu na posuvný pohyb čelisti. Pro možnou vyrobiteľnost byly implementovány další tři části (obr. 43, obr. 44), které byly po tisku mechanicky odstraněny.



Obr. 43 a obr. 44 Hlava francouzského klíče  
v rozpadlém a celistvém stavu.

Nejprve byl pomocí tiskárny Creality Ender-3 a slicerovacího programu UltiMaker Cura při velikosti vrstvy 0,12 mm vytisknut zkušební kus (obr. 45) při teplotě trysky 200 °C z materiálu PLA, lehce tisknutelného materiálu s minimálními mechanickými vlastnostmi a nízkou tepelnou odolností, následně zde byl za stejných podmínek použit i materiál PETG se značně lepšími vlastnostmi při podobné tisknutelnosti. Výroba trvala 6 hodin a 38 minut při spotřebě 28 gramů materiálu.



Obr. 45 Zkušební francouzský klíč z PLA.

Materiál PETG byl poté opět zvolen prostřednictvím slicerovacího programu Bambu Studio i u tiskárny Bambu Lab X1E s AMS s kalenou tryskou o velikosti 0,4 mm, která nabídla větší přesnost díky menší tloušťce vrstvy 0,08 mm a také několikanásobně vyšší rychlost. Všechny kusy (obr. 46) byly zhotoveny s plnou výplní při teplotě trysky 245 °C a teplotě podložky 75 °C bez vyhřívání komory. Díky podstatně rychlejšímu tisku zde tisk trval pouze 1 hodinu a 47 minut při spotřebě 27 gramů materiálu.



Obr. 46 Prototypy francouzského klíče z PETG.

Nakonec byl tisk proveden z materiálu ePAHT-CF (obr. 47), vylepšené verze PA-CF, nylonu vyztuženého uhlíkovými vlákny. Jednalo se o kompozit PA12 a uhlíkových vláken vyznačující se nízkou absorpcí vody s vynikajícími mechanickými vlastnostmi při vysoké tepelné odolnosti. Tento materiál byl před použitím sušen při 80 °C po dobu 12 hodin. Dále bylo nutné použít větší tloušťku vrstvy 0,2 mm, což mělo vliv na výstupní kvalitu a přesnost zhotovení. Kvůli několikanásobně vyšším mechanickým vlastnostem v porovnání s PETG nebylo možné odstranění částí umožňující pohyb (obr. 43 a obr. 44) požadovaného mechanismu. Výroba trvala 1 hodinu a 45 minut a spotřebovala 22,85 gramů materiálu (obr. 49).



Obr. 47 Hlava francouzského klíče z ePAHT-CF.

Pro možné použití tohoto materiálu byla nutná teplota podložky 100 °C a teplota trysky 290 °C, což tiskárna Creality Ender-3 neumožňovala. Proto byla i zde zvolena tiskárna Bambu Lab X1E s AMS (obr. 48), nabízející využití více materiálu během jednoho tisku, rychlosti tisku až 500 mm·s<sup>-1</sup>, připojení prostřednictvím ethernetového portu a komunikaci na dálku prostřednictvím LAN bez nutnosti připojení k internetu. Umožnila teplotu kalené trysky až 320 °C. Byla využita také její aktivně vyhřívaná komora teplotou 60 °C, která zajistila lepší kvalitu tisku. Díky umělé inteligenci a snímačům disponovala nadprůměrnou přesností v rámci kategorie FDM tiskáren. [54; 55]



Obr. 48 Bambu Lab X1E s AMS [54].

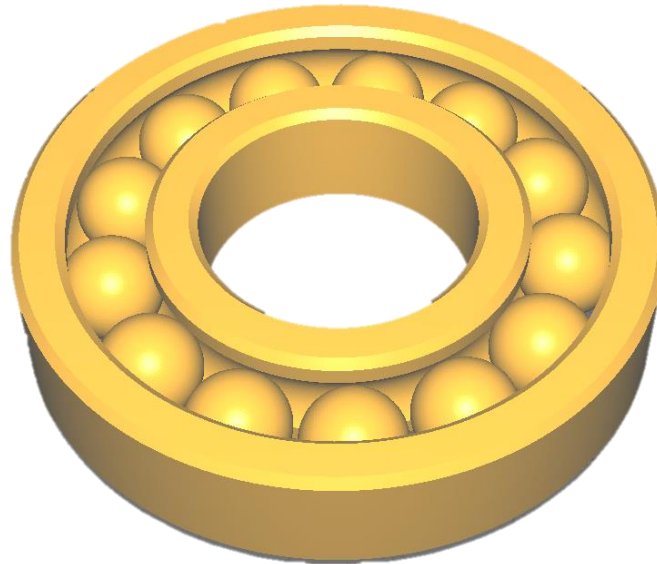
Kalibrace vibrací byla stejně jako vyrovnání zajišťující stabilní tisk automatická a byla zakomponována už do samotného programu vytvořeného v Bambu Studio, odkud byl program pomocí LAN komunikace odeslán přímo do tiskárny. Po dokončení zmíněných kalibrací byla vytisknuta první vrstva, která byla pomocí snímače zkontrolována a vyhodnocena její správnost.

Typ Linky	Čas	Procento	Displej
Vnitřní stěna	22m49s	21,8%	✓
Vnější stěna	15m27s	14,7%	✓
Převíslá stěna	34s	0,5%	✓
Vnitřní výplň	12m2s	11,5%	✓
Vnitřní plná výplň	8m12s	7,8%	✓
Horní plocha	2m32s	2,4%	✓
Spodní plocha	1m21s	1,3%	✓
Most	17s	0,3%	✓
Výplň mezery	1m41s	1,6%	✓
Podpěry	1m1s	1,0%	✓
Kontaktní vrstva podpěr	18s	0,3%	✓
Vlastní	32m59s	31,5%	✓
Rychloposun	5m47s	5,5%	✓
Retrakce			✓
Deretrakce			✓
Čištění			✓
Švy			✓
<b>Celkový odhad</b>			
Filament:	8,96 m	22,85 g	
Náklady:	2,17		
Čas přípravy:	32m44s		
Doba tisku modelu:	1h12m		
Celkový čas:	1h45m		

Obr. 49 Spotřeba materiálu a doba tisku u ePAHT-CF.

### 3.3 Valivé ložisko

Poslední sestavou bylo valivé kuličkové ložisko (obr. 50), které se skládalo z vnějšího a vnitřního kroužku a valivých těles. Výroba této základní technické součásti měla ukázat schopnost tisku funkční sestavy skládající se z většího počtu dílů. Jednalo se o zjednodušené prototypové zpracování bez klece.



Obr. 50 3D model ložiska.

Pro tisk prvního a druhého kusu byl použit opět materiál PETG (obr. 51), který se nejvíce osvědčil. Modrý kus byl vytisknut na tiskárně Creality Ender-3 při tloušťce vrstvy 0,12 mm, plné výplni a trval 11 hodin a 48 minut při spotřebě materiálu 49 gramů. Šedý na Bambu Lab X1E při tloušťce 0,16 mm už jen 2 hodiny a 38 minut a spotřeboval necelých 47 gramů. Teplota trysky 245 °C, teplota podložky 80 °C.



Obr. 51 Valivá ložiska z PETG.

Pro konečný kus (obr. 53) byl jako materiál zvolen termoplast PEEK, jeden z nejvýkonnějších funkčních materiálů na světě pro svou vynikající biokompatibilitu, chemickou odolnost, mechanické a tepelné vlastnosti. Pro zpracování tohoto materiálu byla nutná teplota trysky 400 °C a 150 °C podložky, proto byla jako tiskárna zvolena Intamsys Funmat HT (obr. 52) s velikostí pracovní plochy 260x260x260 mm a rychlostí tisku až 300 mm·s<sup>-1</sup>, která se specializovala právě na tisk odolných filamentových materiálů, což dokazovala možná teplota trysky až 450 °C a podložky až 160 °C. Využita byla také vyhřívaná komora na 90 °C. [56]



Obr. 52 Intamsys FUNMAT HT [56].

Pro tisk ložiska byla zvolena nejnižší možná tloušťka vrstvy 0,1 mm s plnou výplní při rychlosti 60 mm·s<sup>-1</sup>. Vzhledem k nutnosti vyhřátí komory tiskárny na maximální teplotu 90 °C došlo k značnému navýšení doby tisku, a to na 9 hodin a 34 minut při spotřebě 51 gramů.



Obr. 53 Ložisko z materiálu PEEK.

## 4 VYHODNOCENÍ

Všechny tři nerozebíratelné sestavy, kloubový spoj, francouzský klíč i valivé kuličkové ložisko, byly prostřednictvím FDM technologie úspěšně vytisknuty, a to v několika provedeních. U všech případů bylo nutné použití podpěr, tudíž po samotném tisku následovalo jejich mechanické odstranění.

Kloubové spoje byly tisknuty ze stejného materiálu, PETG, s rozdílnou tloušťkou nanášené vrstvy a velikostí výplně. Se zvyšující se tloušťkou a zmenšující se výplní se snižovala tuhost a s tím spjaté mechanické vlastnosti sestavy, zároveň se však snižovala spotřeba materiálu a doba tisku. Celkem byly zhotoveny 3 kusy, u nichž neměly rozdílné parametry zásadní vliv na požadovanou funkčnost sestavy, ale na její přesnost a výslednou kvalitu výstupu.

Pro francouzský klíč byly použity 3 druhy materiálů i různé parametry tisku. Ukázalo se, že pro tisk prototypu byl nejvhodnější co nejnázve tisknutelný materiál s nezbytně nutnými mechanickými vlastnostmi. Nejlepší výsledky prokázalo PLA a PETG. Při tisku z řádově odolnějšího materiálu, ePAHT-CF, nebylo možné odstranit segmenty soustavy, které by umožnily chod pohyblivé čelisti.

Nakonec bylo tisknuto valivé kuličkové ložisko, které bylo zhotoveno nejprve z nejvíce osvědčeného PETG prostřednictvím dvou různých tiskáren při výrazné rozdílnosti rychlosti tisku. Následně bylo ložisko vytisknuto z technického vysoce odolného plastu PEEK, čímž se kvůli náročnosti zpracování zvýšil čas výroby i následného odstraňování podpěr. Rozdílná rychlost tisku ani druh zvoleného materiálu zde neměli vliv na výstupní funkčnost sestavy.

V závislosti na druhu materiálu bylo využito třech různých FDM tiskáren. U kusů tištěných z PLA či PET-G byla použita tiskárna Creality Ender-3 a Bambu Lab X1E, která byla využita i pro tisk z kompozitního ePAHT-CF u francouzského klíče. Poslední Intamsys Funmat HT pro tisk materiálu PEEK u prototypového dílu valivého ložiska.

FDM technologie dokázala úspěšně zhotovit funkční prototypové verze všech vyráběných nerozebíratelných sestav, přesto však přinesla několik nepříjemností. Tou nejpodstatnější bylo nutné mechanické odstraňování podpěr, které na jednotlivých výtiscích zanechalo očividné stopy. Na konečnou funkci neměly zásadní vliv, a dalo se tomu předejít použitím chemicky odstranitelného materiálu, což by vyžadovalo využití tiskárny s více tiskovými hlavami nebo značné navýšení výrobní doby. Ideálním řešením by mohlo být použití jiné aditivní technologie, například SLS, kde funkci podpěr plní materiál samotný, a tak by jejich odstranění nebylo potřebné.

## ZÁVĚR

Po úvodní části zabývající se rozbohem 3D tisku nerozebíratelných sestav a srovnáním aditivních technologií se standardními druhy výroby byl v bakalářské práci popsán obecný postup výroby pomocí 3D tisku, čemuž navazovalo jeho rozdělení na jednotlivé metody. Byly popsány nejpoužívanější plastové a kovové druhy materiálů na základě jejich formy, možnost využití reverzního inženýrství prostřednictvím 3D skenerů, jejichž základní dělení a možnosti použití zde byly rovněž popsány. Nechybělo ani využití ve zdravotnictví, stavebnictví či strojírenství.

Praktickou částí bylo využití aditivních technologií k vyrobení třech prototypových nerozebíratelných sestav, mezi které patřil kloubový spoj, francouzský klíč a valivé kuličkové ložisko. Všechny byly zhotoveny prostřednictvím FDM metody v několika provedeních, které se vzájemně lišily buďto použitým materiálem nebo parametry tisku, zejména rychlostí tisku, tloušťkou vrstvy a velikostí výplně, které nejvíce ovlivnily výstupní tuhost společně s množstvím spotřebovaného materiálu a dobou tisku. Byly voleny i s ohledem na velikost výtisku a jeho částí. Všechny výtisky bez ohledu na rozdílné parametry byly zhotoveny jediným tiskem.

Pro tisk i tvarově složitějších prototypů se ukázaly lehce tisknutelné materiály jako ideální řešení. Pro dosažení minimální spotřeby materiálu a také doby výroby, by se tloušťka tisknuté vrstvy a rychlost tisku měla volit jako největší možná a výplň jako nejmenší možná tak, aby byly splněny požadavky zejména na výstupní kvalitu. Vzhledem ke spojitosti s dobou tisku se musí zohlednit také urgence termínu zhotovení. Díky použití 3D tisku nebylo nutné použití žádných přípravků či speciálních nástrojů, navíc díky své využitelnosti materiálu nebyl produkován téměř žádný odpad.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PR ČLÁNEK, 2023. *3D tisk – jaké jsou náklady na 3D tisk?* Online. Dostupné z: <https://www.channelworld.cz/clanky/3d-tisk-jake-jsou-naklady-na-3d-tisk/>. [cit. 2024-04-13].
  2. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
  3. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav, 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-2374-9.
  4. KNITL, Martin, 2023. *Soud vyhlásil moratorium na majetek Vítkovické slévárny*. Online. Dostupné z: <https://ostrava.rozhlas.cz/soud-vyhlasil-moratorium-na-majetek-vitkovicke-slevarny-veritelum-dluzi-pres-700-9107029>. [cit. 2024-04-14].
  5. MRÓZ, Mateusz, 2023. *CNC – Co to je a k čemu se používá*. Online. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/cnc-co-to-je-a-k-cemu-se-pouziva/>. [cit. 2024-04-14].
  6. LENFELD, Petr, 2023. *LISOVÁNÍ A PŘETLAČOVÁNÍ PLASTŮ*. Online. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/09.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm). [cit. 2024-04-14].
  7. ZEMAN, Lubomír, 2018. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0614-1.
  8. KENIK, Doug, 2023. *The Benefits of Data-Driven 3D Printing for the Supply Chain*. Online. Dostupné z: <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/37489-the-benefits-of-data-driven-3d-printing-for-the-supply-chain>. [cit. 2024-04-14].
  9. DAVEY, Reginald, 2023. *SLA vs. FDM 3D Printing: What to Know*. Online. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22853>. [cit. 2024-04-14].
  10. KNIGHT, Dorian, 2023. *Often considered to be similar, DLP and LCD technology are actually very different*. Online. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/resources/blog/dlp-vs-lcd/>. [cit. 2024-04-14].
  11. HANSON, Kip, 2023. *DLP 3D printing advantages, pros and cons*. Online. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/additivereport/article/additive/dlp-3d-printing-advantages-pros-and-cons>. [cit. 2024-04-14].
  12. WASIM, Hamza, 2023. *SLS Printing: Unlocking the Potential of Selective Laser Sintering*. Online. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/sls-printing-unlocking-the-potential-of-selective-laser-sintering>. [cit. 2024-04-14].
  13. DURBIN, David, 2023. *What is 3D printing? How do types of 3D printers work?* Online. Dostupné z: <https://ultimaker.com/learn/what-is-3d-printing/>. [cit. 2024-04-14].
  14. TURNEY, Drew, 2023. *Metal, concrete, and wood are the next frontiers in 3D-printing materials*. Online. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/design-make/articles/what-materials-are-used-in-3d-printing>. [cit. 2024-04-15].
-

- 
15. SCHWAAR, Carolyn, 2024. *All 3D Printing Materials – The Ultimate Guide*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>. [cit. 2024-04-15].
  16. WASIM, Hamza, 2023. *The Ultimate Guide to Types of 3D Printing Materials*. Online. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/the-ultimate-guide-to-types-of-3d-printing-materials>. [cit. 2024-04-15].
  17. PTÁČEK, Luděk, 2002. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM. ISBN 80-720-4248-3.
  18. MARCINKOWSKA, Sandra, 2023. *Co je to filament do 3D tiskárny a jak si ho vybrat?* Online. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/co-je-to-filament-do-3d-tiskarny-a-jak-si-ho-vybrat/>. [cit. 2024-04-20].
  19. LESIŃSKI, Marcin, 2023. *Filamenty pro 3D tisk – typy, vlastnosti a použití*. Online. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/filamenty-pro-3d-tisk-typy-vlastnosti-a-pouziti/>. [cit. 2024-04-20].
  20. P., Alexandra, 2023. *A Closer Look at 3D Printing Materials: Plastics*. Online. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/plastics-used-3d-printing110420174/>. [cit. 2024-04-20].
  21. GEHRKE, Florian; FREY, Shawn a EDGE, Jonny, 2024. *The Best PLA Filaments in 2024*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/best-pla-filament/>. [cit. 2024-05-05].
  22. LOTH, Nick, 2023. *3D Printing Carbon Fiber*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/carbon-fiber-3d-printing-guide/>. [cit. 2024-05-05].
  23. FABIANSKI, Adam, 2024. *Types of Resins for 3D Printing: Which is Best?* Online. Dostupné z: <https://www.bridgewaterstudio.net/blog/types-of-resins-for-3d-printing-which-is-best>. [cit. 2024-05-05].
  24. SCHWAAR, Carolyn, 2024. *Resin 3D Printing*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/sla-resin-3d-printing-guide/>. [cit. 2024-05-05].
  25. WANG, Yihao, 2023. *Comprehensive Material List of Metal 3D Printing Materials*. Online. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/comprehensive-material-list-metal-3d-printing-materials-yihao-wang/>. [cit. 2024-05-05].
  26. MRÓZ, Mateusz, 2023. *Technologie SLS*. Online. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/technologie-sls/>. [cit. 2024-05-05].
  27. HOGANOVÁ, Madeline, 2023. *Types & Benefits of SLS Materials for 3D Printing*. Online. Dostupné z: <https://nexa3d.com/blog/sls-materials/>. [cit. 2024-05-05].
  28. SCHWAAR, Carolyn, 2022. *SLS Powder Buyer's Guide*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/sls-powder-buyers-guide/>. [cit. 2024-05-05].
  29. SCHWAAR, Carolyn, 2024. *The 7 Main Types of 3D Printing Technology*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>. [cit. 2024-05-06].
  30. MENSLEY, Matthew, 2024. *The Best 3D Printers in 2024 – Buyer's Guide*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/best-3d-printer-reviews-top-3d-printers-home-3-d-printer-3d/>. [cit. 2024-05-07].
-

- 
31. KAUPPILA, Ile, 2024. *The Best SLS 3D Printers in 2024*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/>. [cit. 2024-05-07].
  32. VOLLARO, Chloe, 2024. *FDM vs. SLA: Comparing Filament and Resin 3D Printers*. Online. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/resources/blog/prototyping-technologies-for-3d-printing-sla-vs-fdm/>. [cit. 2024-05-07].
  33. STRONG, Chris, 2024. *WHAT IS 3D REVERSE ENGINEERING AND WHY DO WE NEED IT?* Online. Dostupné z: <https://www.rapidscan3d.com/blogs/news/what-is-3d-reverse-engineering-and-why-do-we-need-it>. [cit. 2024-05-07].
  34. WILLIAMS, Lee, 2019. *FEATURE: Cheap 3D scanning makes reverse engineering easier than ever*. Online. Dostupné z: <https://www.imeche.org/news/news-article/feature-cheap-3d-scanning-makes-reverse-engineering-easier-than-ever>. [cit. 2024-05-07].
  35. ALL3DP, 2024. *The Best 3D Scanners in 2024 – Buyer’s Guide*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/best-3d-scanner-diy-handheld-app-software/>. [cit. 2024-05-07].
  36. ZEISS, 2024. *ZEISS PRISMO*. Online. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/souradnicove-merici-stroje/portalove-souradnicove-merici-stroje/prismo.html>. [cit. 2024-05-07].
  37. SHINNING 3D, 2023. *EinScan HX*. Online. Dostupné z: <https://www.einscan.com/einscan-hx/>. [cit. 2024-05-07].
  38. VOJÁČEK, Antonín, 2021. *Robotické 3D skenování a kontrola kvality*. Online. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/roboticke-3d-skenovani-a-kontrola-kvality-gom-scancobot.html>. [cit. 2024-05-08].
  39. SHIELDS, Gerard, 2023. *3D Printing File Formats*. Online. Dostupné z: <https://www.printpool.co.uk/articles/3d-printing-file-formats>. [cit. 2024-05-08].
  40. PARAS, Alessandra, 2023. *Understanding STL, PLY, and OBJ Files in Digital Dentistry*. Online. Dostupné z: <https://instituteofdigitaldentistry.com/3d-printing/understanding-stl-ply-obj-files-in-digital-dentistry/>. [cit. 2024-05-08].
  41. SCULPTEO, 2023. *What is an STL file?* Online. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/create-3d-file/what-is-an-stl-file/>. [cit. 2024-05-08].
  42. ALL3DP, 2023. *What Is an STL File? – The STL Format Simply Explained*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/stl-file-format-3d-printing/>. [cit. 2024-05-08].
  43. ŘEHÁK, Adam, 2023. *Využití 3D tisku v průmyslu se stále rozšiřuje*. Online. Dostupné z: <https://www.e15.cz/reklama/vyuziti-3d-tisku-v-prumyslu-se-stale-rozsiruje-1397809>. [cit. 2024-05-08].
  44. 3DEES INDUSTRIES S.R.O., 2023. *3D tisk se uplatňuje řadě nových oblastí zdravotnictví*. Online. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/3d-tisk-se-uplatnuje-rade-novych-oblasti-zdravotnictvi/>. [cit. 2024-05-08].
  45. SOTONA, Jiří, 2023. *3D tiskárny už dovedou skoro zázraky*. Online. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/internet-a-pc-hardware-3d-tiskarny-uz-dovedou-skoro-zazraky-40439256>. [cit. 2024-05-08].
-

- 
46. VÍT, Tomáš, 2023. *3D tisk pomáhá v IKEM zachraňovat lidské životy*. Online. Dostupné z: <https://3dwiser.com/3d-tisk-v-ikem-zachranuje-lidske-zivoty-studie/>. [cit. 2024-05-08].
  47. HAMMERAND, Jim, 2024. *3 inevitable innovations in materials for 3D printing orthopedics*. Online. Dostupné z: <https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/3d-printing-orthopedics-inevitable-materials-innovations/>. [cit. 2024-05-08].
  48. ČÍHAL, Bohumír, 2023. *3D tisk staveb 05: Princip fungování 3D tiskáren*. Online. Dostupné z: [https://www.stavebniklub.cz/33/3d-tisk-staveb-05-princip-fungovani-3d-tiskaren-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EvlcoRunmztNQaTJQL2--OeMB8q2Z8oGSQ/?uri\\_view\\_type=4](https://www.stavebniklub.cz/33/3d-tisk-staveb-05-princip-fungovani-3d-tiskaren-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EvlcoRunmztNQaTJQL2--OeMB8q2Z8oGSQ/?uri_view_type=4). [cit. 2024-05-08].
  49. PODROUŽEK, Jan, 2018. *Prostorové materiály pro 3D tisk: Odborník z Brna navrhuje unikátní stavební výplně*. Online. Dostupné z: <https://www.vut.cz/vut/f19528/d164630>. [cit. 2024-05-09].
  50. ELGENDY, Mohamed, 2023. *The Impact of 3D Printing on Prototyping in the Automotive Industry*. Online. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=23053>. [cit. 2024-05-09].
  51. XOMETRY, 2023. *3D Printing in Aerospace: Materials, Processes, and Classifications*. Online. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-in-aerospace/>. [cit. 2024-05-09].
  52. STRNAD, Jan, 2018. *Možnosti tvorby sestav na 3D tiskárně*. Diplomová práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati.
  53. CREALITY, 2023. *Crealty Ender-3 3D Printer*. Online. Dostupné z: <https://www.crealty.com/products/ender-3-3d-printer>. [cit. 2024-05-12].
  54. BAMBU LAB, 2024. *Bambu Lab X1E*. Online. Dostupné z: <https://bambulab.com/cs/x1e>. [cit. 2024-05-13].
  55. BAMBU LAB, 2023. *Bambu Lab X1E Technical Specification*. Online. Dostupné z: <https://cdn1.bambulab.com/x1e/spec/X1E%20Spec%28EN%29.pdf>. [cit. 2024-05-16].
  56. INTAMSYS, 2020. *FUNMAT HT 3D PRINTER*. Online. Dostupné z: <https://www.intamsys.com/custom/pdf/HT/320-0207%20P03%20Funmat%20HT-User%20Manual-20200102.pdf>. [cit. 2024-05-16].
  57. POLYMAKER, 2020. *Technical Data Sheet PLA*. Online. Dostupné z: [https://3d.nice-cdn.com/upload/file/PolyTerra\\_PLA\\_TDS\\_V5.pdf](https://3d.nice-cdn.com/upload/file/PolyTerra_PLA_TDS_V5.pdf). [cit. 2024-05-16].
  58. ESUN, 2021. *PETG technical data sheet*. Online. Dostupné z: [https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN\\_PETG-Filament\\_TDS\\_V4.0.pdf](https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN_PETG-Filament_TDS_V4.0.pdf). [cit. 2024-05-16].
  59. ESUN, 2021. *EPATH-CF technical data sheet*. Online. Dostupné z: [https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN\\_ePAHT-CF-Filament\\_TDS\\_V4.01.pdf](https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN_ePAHT-CF-Filament_TDS_V4.01.pdf). [cit. 2024-05-16].
  60. *PEEK Technical Data Sheet*, 2022. Online. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/files/shop/5-2023/01-peek-tds.pdf>. [cit. 2024-05-16].
-

61. XOMETRY, 2023. *3D Printing Technology for Construction*. Online. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-in-construction/>. [cit. 2024-05-19].
  62. GOGUELIN, Steven, 2022. *3D Printing in Orthopedics: Better Knee, Hip & Spine Implants*. Online. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printing-orthopedics-knee-hip-spine-implants/>. [cit. 2024-05-19].
  63. BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, J. Keith, 2023. *Shigleyho konstruování strojních součástí*. 10. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM. ISBN 978-80-214-5471-2.
  64. IMAI, Masaaki, 2004. *Kaizen: metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Business books (Computer Press). Brno: Computer Press. ISBN 80-251-0461-3.
  65. KARPÍŠEK, Zdeněk, 2007. *Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost*. 3. vyd. CERM. ISBN 978-80-241-3380-9.
  66. LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel, 2006. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra. ISBN 80-736-1033-7.
  67. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*, 1997. Praha: Scientia. ISBN 91-972-2994-6.
  68. PTÁČEK, Luděk, c2003. *Nauka o materiálu I*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-720-4283-1.
  69. SHAW, Milton Clayton, 2005. *Metal Cutting Principles*. 2. opr. a rozš. vyd. Oxford University Press. ISBN 0-19-514206-3.
  70. ZEMČÍK, Oskar, 2003. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-2336-6.
-

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

### Zkratky

Označení	Legenda
CAM	Computer aided manufacturing
CAD	Computer aided design
FDM	Fused deposition modeling
FFF	Fused filament fabrication
SLA	Stereolithography
UV	Ultraviolet
DLP	Digital light processing
LCD	Liquid crystal display
LED	Light emitting diode
SLS	Selective laser sinterin
CO	Carbon dioxide
DMLS	Direct metal laser sintering
PLA	Polylactic acid
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene
PETG	Polyethylene terephthalate glycol
PA	Polyamide
PC	Polycarbonate
TPU	Thermoplastic polyurethane
ACA	Acrylic styrene acrylonitrile
HIPS	High impact polystyrene
PVA	Polyvinyl alcohol
PEEK	Polyether ether ketone
CMM	Coordinate measuring machine
CT	Computer tomography
SD	Secure digital
AMS	Automatic material system
LAN	Local area network

---

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1      Technická specifikace Bambu Lab X1E
  - Příloha 2      Technická specifikace Intamsys Funmat HT
  - Příloha 3      Technická data materiálu PLA
  - Příloha 4      Technická data materiálu PETG
  - Příloha 5      Technická data materiálu ePAHT-CF
  - Příloha 6      Technická data materiálu PEEK
-



## Bambu Lab X1E Technical Specification

### Body

---

Build Volume:	256*256*256 mm <sup>3</sup>
Chassis:	Steel
Shell:	Aluminum & Glass

### Supported Filament

---

PLA, PETG, TPU, PVA, BVOH:	Optimal
ABS, ASA, PC, PA, PET:	Superior
Carbon/Glass Fiber Reinforced PLA, PETG, PA, PET, PC, ABS, ASA:	Superior
PPA-CF/GF, PPS, PPS-CF/GF:	Ideal

### Heating

---

Active Chamber Heating:	yes
Maximum Chamber Control Temperature:	60°C

### Air Purification

---

Pre-filter grade:	G3
HEPA filter grade:	H12
Activated Carbon Filter type:	Coconut Shell Granulated
VOC Filtration:	Optimal
Particulate Matter Filtration:	Yes

### Network Control

---

Ethernet:	yes
Wireless Network:	Wi-Fi
Network Kill Switch:	Wi-Fi & Ethernet
Removable Network Module:	Yes
802.1X Network Access Control:	Yes

---

## Cooling

---

Part Cooling Fan:	Closed Loop Control
Hot End Fan:	Closed Loop Control
Control Board Fan:	Closed Loop Control
Chamber Temperature Regulator Fan:	Closed Loop Control
Auxiliary Part Cooling Fan:	Closed Loop Control

---

## ToolHead

---

Hot End:	All-Metal
Extruder Gears:	Hardened Steel
Nozzle:	Hardened Steel
Max Hot End Temperature:	320 °C
Nozzle Diameter (Included):	0.4 mm
Nozzle Diameter (Optional):	0.2 mm, 0.6 mm, 0.8 mm
Filament Cutter:	Yes
Filament Diameter:	1.75 mm

---

## Heatbed

---

Build Plate:	Flexible Steel Plate
Build Plate Surface (Included):	Bambu Smooth PEI Plate
Build Plate Surface (Optional):	Bambu High Temperature Plate, Bambu Textured PEI Plate, Bambu Cool Plate
Max Build Plate Temperature:	110°C@220V, 120°C@110V

---

## Speed

---

Max Speed of Toolhead:	500 mm/s
Max Acceleration of Toolhead:	20 m/s <sup>2</sup>
Max Hot End Flow:	32 mm <sup>3</sup> /s @ABS(Model: 150*150mm single wall; Material: Bambu ABS; Temperature: 280°C)

---

## Sensors

---

Bambu Micro Lidar:	Yes
Chamber Monitoring Camera:	1920*1080 Included
Door Sensor:	Yes
Filament Run Out Sensor:	Yes
Filament Odometry:	Optional with AMS
Power Loss Recover:	Yes

---

### Physical Dimensions

---

Dimensions:	389*389*457 mm <sup>3</sup>
Net Weight :	16 kg

---

### Electrical Requirements

---

Voltage:	100-240 VAC, 50/60 Hz
Max Power:	1400W@220V, 750W@110V

---

### Electronics

---

Display:	5-inch 1280*720 Touch Screen
Storage:	4GB EMMC and Micro SD Card Reader
Control Interface:	Touch Screen, APP, PC Application
Motion Controller:	Dual-Core Cortex M4
Application Processor:	Quad ARM A7 1.2 GHz
Neural-Network Processing Unit:	2 Tops

---

### Software

---

Slicer:	Bambu StudioSupport third party slicers which export standard G-code such as SuperSlicer, PrusaSlicer and Cura, but certain advanced features may not be supported.
Slicer Supported OS:	MacOS, Windows

---

### Wi-Fi

---

Frequency Range:	2412 MHz - 2472 MHz (CE) 2412 Mhz - 2462 MHz (FCC) 2400 MHz - 2483.5 MHz (SRRC)
Transmitter Power (EIRP):	≤ 21.5 dBm (FCC) ≤ 20 dBm (CE/SRRC)
Protocol:	IEEE 802.11 b/g/n

---

### Ethernet

---

Socket:	RJ45
Speed:	100 Mbps / Full Duplex

---

### Laser

---

Laser (CLASS 1):	850 nm, 850 nm  < 0.778 mW
---------------------	----------------------------------

## PRINTER SPECIFICATIONS

### Printer Specifications

PRODUCTS	FUNMAT HT
Printing Technology	FFF
Extruder	Single
Extruder Diameter	Swappable 0.25, 0.4, 0.6 and 0.8mm nozzle, default 0.4mm
Layer Resolution	0.05-0.4mm
Position Accuracy	XY:0.025mm, Z:0.0025mm
Print Speed	30-200mm/s
Filament Diameter	1.75mm
Build Platform	PI + Glass Ceramics
Supported Filament	PEEK, PEKK, PEI, PPSU, ABS, PC, Nylon, Carbon Fiber-Filled, PETG, PVA, PLA, TPU, HIPS, Woodfill, Metalfill, etc.
Language	Chinese & English
User Interface Features	Full-color Touch Screen
Connectivity	SD card, USB
Camera	Yes
Power Failure Recovery	Yes
Filament Absent Warning	Yes
Build Plate Leveling	Auto Leveling, Manual Leveling
Build Volume	10.3**10.3**10.3"(260*260*260mm)
Dimensions	530*490*645mm
Weight	46kg
Heated-Plate Temperature(MAX)	160°C/320°F
Extruder Temperature(MAX)	450°C/842°F
Heated Chamber(MAX)	90°C/194°F
Software	INTAM-Suite(our free 3D printing slicing software); Compatible Software: Simplify3D & Cura
Input Supported File Type	.Std, .Obj, .Obj, .X3D
Output Supported File Type	Gcode
Operating Environment	Temperature: 15°C To 32°C (59°F To 89.6°F) Humidity: 30% To 70%
Storage Environment	Temperature: 0°C To 54°C (32°F To 129.2°F) Humidity: 10% To 85%
Material Storage Environment	Temperature: 13°C to 24°C (55.4°F To 75.2°F) Humidity: 20% To 50%
Voltage Input	100~120VAC (110V Version only, refer to the nameplate) 200~240VAC (220V Version only, refer to the nameplate) 47~63Hz
Power	1200W

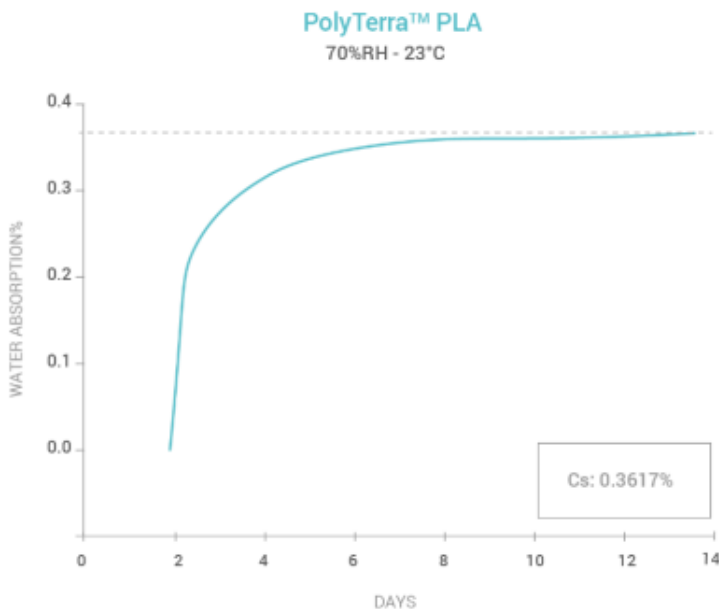
### PHYSICAL PROPERTIES

Property	Testing Method	Typical Value
Density	ISO1183, GB/T1033	1.31±0.02 g/cm <sup>3</sup> at 21°C
Melt Index	210°C, 2.16kg	14-20 g/10min
Light Transmission	N/A	N/A

### CHEMICAL RESISTANT DATA

Property	Testing Method
Effect of weak acids	Not Resistant
Effect of strong acids	Not Resistant
Effect of weak alkalis	Not Resistant
Effect of strong alkalis	Not Resistant
Effect of organic solvent	No data available
Effect of oils and grease	No data available
Effect of Sunlight	No data available

### MOISTURE ABSORPTION CURVE

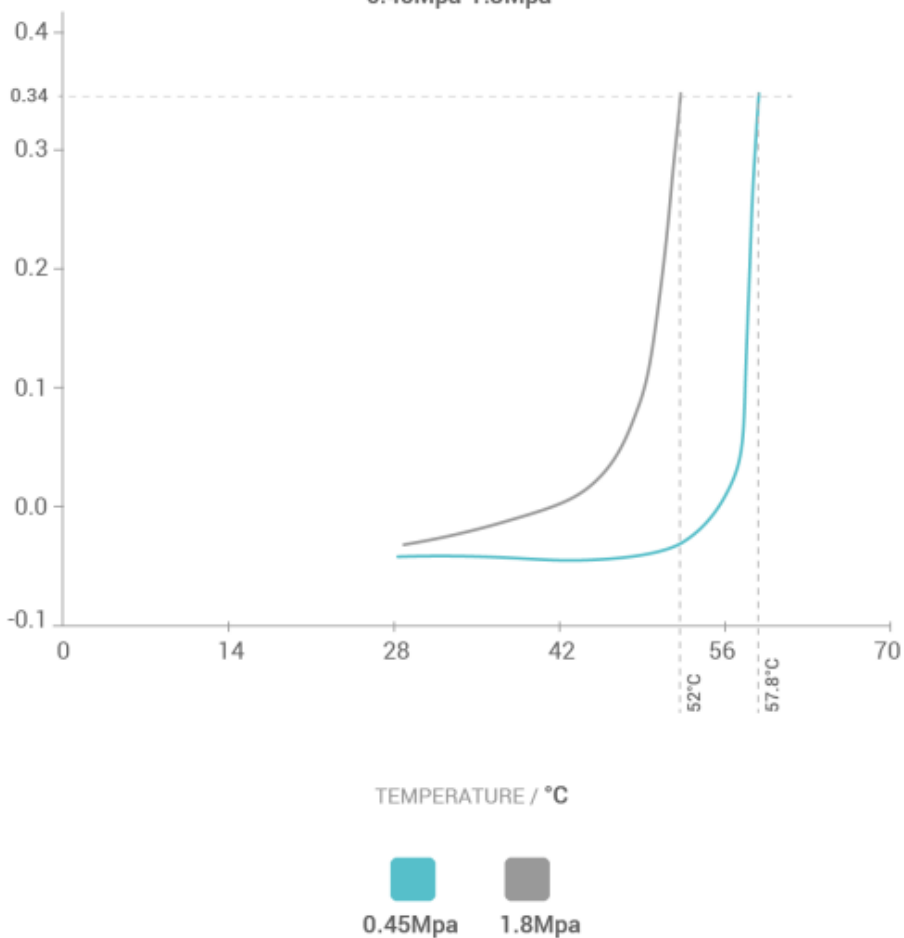


### THERMAL PROPERTIES

Property	Testing Method	Typical Value
Glass transition	DSC, 10°C/min	60.6 °C
Melting temperature	DSC, 10°C/min	162.6 °C
Decomposition temperature	TGA, 20°C/min	N/A
Vicat softening temperature	ISO 306 GB/T 1633	62.7 °C
Heat deflection temperature	ISO 75 1.8MPa	°C
Heat deflection temperature	ISO 75 0.45MPa	°C
Thermal conductivity	N/A	N/A
Heat shrinkage rate	N/A	N/A

### HDT CURVE

PolyTerra™ PLA  
 0.45Mpa-1.8Mpa



## MECHANICAL PROPERTIES

Property	Testing Method	Typical Value
Young's modulus (X-Y)	ISO 527, GB/T 1040	1882 ± 141 MPa
Young's modulus (Z)		1869.7±38
Tensile strength (X-Y)	ISO 527, GB/T 1040	20.9 ± 2.0 MPa
Tensile strength (Z)		18.0 ± 0.3 MPa
Elongation at break (X-Y)	ISO 527, GB/T 1040	34.5 ± 8.1 %
Elongation at break (Z)		2.51 ± 0.83
Bending modulus (X-Y)	ISO 178, GB/T 9341	2695 ± 541 MPa
Bending modulus (Z)		N/A
Bending strength (X-Y)	ISO 178, GB/T 9341	39.6 ± 1.1 MPa
Bending strength (Z)		N/A
Charpy impact strength (X-Y)	ISO 179, GB/T 9343	5.7 ± 0.4 kJ/m <sup>2</sup>
Charpy impact strength (Z)		N/A

## RECOMMENDED PRINTING CONDITIONS

Parameter	
Nozzle temperature	190 – 230 (°C)
Build Surface material	BuildTak®, Glass, Blue Tape
Build surface treatment	Glue, Magigoo
Build plate temperature	25 - 60 (°C)
Cooling fan	Turned on
Printing speed	30-70 (mm/s)
Raft separation distance	0.2 (mm)
Retraction distance	1 (mm)
Retraction speed	20 (mm/s)
Environmental temperature	Room temperature - 60 (°C)
Threshold overhang angle	60 (°)
Recommended support material	PolySupport™ and PolyDissolve™ S1

\* Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.0. Printing conditions may vary with different nozzle diameters

Material Status	Mass Production	
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparent</li> <li>• Great toughness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemical resistance</li> <li>• Water resistance</li> </ul>
Applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Advertisement</li> <li>• Waterproof application</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snap-in parts</li> <li>• Flower pot</li> </ul>
Form	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filament</li> </ul>	
Processing method	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D Print, FDM Print</li> </ul>	

	testing method	Typical value	
<b>Physical Properties</b>			
Density	GB/T 1033	1.27	g/cm <sup>3</sup>
Melt Flow Index	GB/T 3682	20	(190°C/2.16kg)
<b>Mechanical Properties</b>			
Tensile Strength	GB/T 1040	52.2	MPa
Elongation at Break	GB/T 1040	83	%
Flexural Strength	GB/T 9341	58.1	MPa
Flexural Modulus	GB/T 9341	1073	MPa
IZOD Impact Strength	GB/T 1843	4.7	kJ/m <sup>2</sup>
<b>Thermal Properties</b>			
Heat distortion Temperature	GB/T 1634	64	°C
Continuous Service Temperature	IEC 60216	N/A	
Maximum (short term) Use Temperature		N/A	
<b>Electrical Properties</b>			
Insulation Resistance	DIN IEC 60167	N/A	
Surface Resistance	DIN IEC 60093	N/A	

Material Status	Mass Production
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High strength</li> <li>• High impact resistance</li> <li>• Abrasion resistance</li> <li>• Excellent printability</li> <li>• High toughness</li> <li>• Chemical resistance</li> <li>• Matte surface effect</li> <li>• High rigidity</li> <li>• Heat resistance</li> <li>• Antistatic</li> </ul>
Applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machinery</li> <li>• Electrical and electronic</li> <li>• Drone</li> <li>• Textile</li> <li>• Chemical industry</li> <li>• Robot</li> <li>• Automobile</li> <li>• Aerospace</li> </ul>
Form	• Filament
Processing method	• 3D Print, FDM Print

	Testing method	Typical value
<b>Physical Properties</b>		
Density	GB/T 1033	1.4 g/cm <sup>3</sup>
Melt Flow Index	GB/T 3682	19.68 (270°C/2.16kg)
<b>Mechanical Properties</b>		
Tensile Strength	GB/T 1040	173.37 MPa
Elongation at Break	GB/T 1040	8.93 %
Flexural Strength	GB/T 9341	171.64 MPa
Flexural Modulus	GB/T 9341	5612.41 MPa
IZOD Impact Strength	GB/T 1843	12.74 kJ/m <sup>2</sup>
<b>Thermal Properties</b>		
Heat distortion Temperature	GB/T 1634	190 (°C,0.45MPa)
Continuous Service Temperature	UL 746B	150 °C
Maximum (short term) Use Temperature		180 °C

**PEEK Technical Data Sheet(TDS)**

Mechanical Properties	Conditions	Methods	Value
Tensile Strength	Yield,23°C	ISO 527	100 MPa
Tensile Elongation	Break,23°C	ISO 527	40%
Flexural Strength	Yield,23°C	ISO 178	170 MPa
Flexural Modulus	23°C	ISO 178	4.2 GPa
Compressive Strength	23°C	ISO 604	125MPa
Charpy Impact Strength	Notched,23°C	ISO 179	$6kJm^{-2}$
Izod Impact Strength	Notched,23°C	ISO 180	$6kJm^{-2}$

**Thermal Data**

Melting Point		ISO 11357	343°C
Glass Transition	Onset	ISO 11357	143°C
Coefficient of Thermal Expansion	Along flow below	ISO 11359	$45ppmK^{-1}$
Heat Deflection Temperature	1.8Mpa	ISO 75-f	152°C
Thermal Conductivity	Along flow, 23°C	ISO22007-4	$0.29Wm^{-1} K^{-1}$

**Other**

Density	Crystalline	ISO 1183	$1.30Gcm^{-3}$
Shore D Hardness	Saturation, 23°C	ISO 868	85
Water Absorption by Immersion	23°C	ISO 62-1	0.40%