VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ ROZMĚROVÉ PŘESNOSTI SOUČÁSTI PŘI TECHNOLOGII 3D TISKU

COMPARISON OF DIMENSIONAL ACCURACY OF A PART IN 3D PRINTING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Tereza Chlostová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	**Tereza Chlostová**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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:

Porovnání rozměrové přesnosti součásti při technologii 3D tisku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se bude zabývat porovnáním rozměrové přesnosti u zvolené zkušební součásti vyrobené aditivní technologií 3D tisku. Teoretická část práce bude zaměřena na zpracování rešerše v oblasti aditivní technologie 3D tisku a použitých aditivních materiálů. Praktická část práce se bude zabývat konstrukčním návrhem 3D modelu zkušební součásti a její výrobou s využitím dostupných 3D tiskáren a zvolených aditivních materiálů. Zhotovené zkušební součásti budou analyzovány z hlediska dosažené rozměrové přesnosti při použité technologii. Práce bude ukončena zhodnocením dosažených výsledků s ohledem na použité výrobní zařízení a celkovým doporučením pro uživatele z hlediska praktického použití.

Cíle bakalářské práce:

Teoretická část – rešerše v oblasti aditivní technologie 3D tisku a použitých materiálů.
Experimentální část – návrh a výroba zkušební součásti zhotovené na dostupných 3D tiskárnách.
Analýza rozměrové přesnosti – měření, zpracování a vyhodnocení výsledků.
Zhodnocení aditivní technologie 3D tisku z hlediska praktického použití.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

CHUA, C. K., LEONG, K. F., LIM, C. S. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010. 512 pp. ISBN 978-981-277-897-0.

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING, C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004. pp. 112. ISBN 186-058-465-9.

SLOTA, J., MANTIČ, M., GAJDOŠ, I. Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve. 1. vyd. Košice: Strojnícká fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2010. 207 s. ISBN 978-80-553-0548-6.

GEBHARDT, A. Rapid Prototyping. 1st edition. [s.l.]: Hanser Gardner Publications, 2003. 379 s. ISBN 3-446-21259-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním rozměrových přesností 3D tisku na dostupných 3D tiskárnách. V první části práce je rozebrána podstata 3D tisku a metody této technologie. Dále jsou navrženy 3D modely vzorků v CAD systému Autodesk Inventor. Tyto 3D modely jsou následně vyrobeny na dostupných 3D tiskárnách a jsou porovnány jejich rozměrové přesnosti.

Klíčová slova

3D tisk, rozměrové přesnosti, aditivní technologie, Fused Deposition Modeling, Sterelitografie

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the comparison of dimensional accuracies of 3D printing on available 3D printers. The first part of the thesis discusses the essence of 3D printing and methods of this technology. Furthermore, 3D models of samples in the CAD system Autodesk Inventor are designed. These 3D models are then produced on available 3D printers and their dimensional accuracy is compared.

Key words

3D printing, dimensional accuracy, additive manufacturing, Fused Deposition Modeling, Stereolitography

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHLOSTOVÁ, Tereza. *Porovnání rozměrové přesnosti součásti při technologii 3D tisku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136990. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Porovnání rozměrové přesnosti součásti při technologii 3D tisku vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Tereza Chlostová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, dále Ing. Lence Chlostové a Ing. Ondřeji Chlostovi, MBA za velkou oporu při studiu.

OBSAH

ÚVOD ... 9
1 ROZMĚROVÉ PŘESNOSTI 3D TISKU ... 10
1.1 Přesnost ... 10
1.2 Přesnosti metod 3D tisku ... 10
1.3 Dosažitelné tolerance v 3D tisku ... 10
2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE NEBOLI 3D TISK ... 11
2.1 Historie 3D tisku ... 11
2.2 Využití 3D tisku ... 12
2.3 Získání dat 3D modelu ... 12
2.4 Metody 3D tisku ... 13
2.4.1 Selective Laser Sintering (SLS) ... 14
2.4.2 Direct Metal Laser Sintering (DMLS) ... 15
2.4.3 Selective Heat Sintering (SHS) ... 16
2.4.4 Binder Jetting (BJ) ... 17
2.4.5 Multi Jet Printing (MJP) ... 18
2.4.6 Fused Deposition Modeling (FDM) ... 19
2.4.7 Stereolitografie (SLA) ... 20
2.4.8 Digital Light Processing (DLP) ... 21
2.4.9 Laminated Object Manufacturing (LOM) ... 22
3 NAVRHNUTÍ ZHOTOVENÍ ZKUŠEBNÍCH SOUČÁSTÍ NA DOSTUPNÝCH 3D TISKÁRNÁCH ... 23
3.1 Navržení zkušebních součástí ... 23
3.2 Zhotovení součástí metodou SLA ... 24
3.3 Zhotovení součástí metodou FDM ... 25
3.3.1 Materiál PLA, 3D tiskárna Rebel sCube ... 25
3.3.2 Materiál PLA, 3D tiskárna Creality ENDER 3 ... 26
3.3.3 Materiál PETG, 3D tiskárna Creality ENDER 3 ... 27
3.3.4 Materiál TPU, 3D tiskárna Creality ENDER 3 2V ... 28
4 MĚŘENÍ A POROVNÁNÍ ROZMĚROVÝCH PŘESNOSTÍ U VYTIŠTĚNÝCH VZORKŮ ... 29
4.1 Měření vzorků ve tvaru krychle ... 30
4.2 Měření vzorků ve tvaru koule ... 31
ZÁVĚR ... 32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ ... 33
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK ... 35

ÚVOD

Rychlá doba posledních let přinesla v technologii 3D tisku mnoho nového. Dříve byla tato technologie používaná spíše pro rychlou a levnou výrobu prototypů, kde se nyní více a více mění ve výrobu plně funkčních součástí. Z toho důvodu je potřebné, aby se tato technologie zdokonalovala v některých parametrech, jako je například rozměrová přesnost.

V první časti práce je popsáno, co jsou to rozměrové přesnosti, jak je rozdělujeme a v čem jsou důležité. Dále je rozebrána podstata technologie 3D tisku, jak vznikala, jak se dále rozvíjí a v jakých oblastech je využívána. Následně jsou zde rozebrány jednotlivé metody této technologie.

Ve druhé části jsou vymodelovány 3D modely vzorků v CAD systému Autodesk Inventor, které jsou následně zhotoveny na dostupných 3D tiskárnách. Použity jsou tiskárny metody SLA neboli stereolitografie a FDM neboli Fused Deposition Modeling. U FDM metody jsou použity materiály PLA, PETG a TPU.

Takto vytištěné vzorky jsou následně změřeny. U každé metody je z výsledků měření vypočtena průměrná hodnota. Tato hodnota je dále porovnána s hodnotou, která je zadána v navrženém 3D modelu. V závěru práce je z výsledků označena nejpřesnější metoda 3D tisku.

1 ROZMĚROVÉ PŘESNOSTI 3D TISKU

Rozměrové přesnosti jsou často v parametrech 3D tiskáren zaměňovány s rozlišením. V tomto je ale velký rozdíl, protože rozlišení ukazuje, jakého detailu je tiskárna schopná docílit, avšak zdaleka tím není popsáno, jakých přesností se u konkrétního tisku dosahuje. Přesností je dále také myšleno opakovatelnost tisku neboli schopnost tiskárny opakovat vytištění stejného dílu s totožnými rozměry.[1]

1.1 Přesnost

Za přesný výrobek lze označit takový výrobek, u kterého rozměry a povolené odchylky jsou totožné jako u navrženého modelu. Toto ale není dostatečné, proto jsou přesnosti posuzovány podle dalších kritérií a parametrů. Nejprve jsou to parametry rozměrové a geometrické přesnosti, to znamená jak se tyto parametry blíží k zadaným rozměrům v modelu. Dalším parametrem je opakovatelnost, kterou je myšleno to, jak se od sebe liší výrobky zhotovené na stejném zařízení podle stejného modelu. Posledním kritériem jsou zde tolerance, jejichž úkolem je definovat přípustnou odchylku od modelu tak, aby byla stále zaručena funkčnost dílu v sestavě, do které spadá.[1]

1.2 Přesnosti metod 3D tisku

Jako jedny z nejpřesnějších metod 3D tisku jsou odznačovány metody SLA a DLP, který jsou založeny na vytvrzování fotocitlivé pryskyřice. Použití těchto metod má však svá úskalí, a to hlavně ve vlastnostech použitého materiálu. Tato metoda je tedy využívána převážně u výrobků, kde se klade důraz na povrchovou kvalitu a jemnost detailu.[1]

Metody, ve kterých je největší důraz kladen na mechanické vlastnosti výrobku, jsou ty založeny na práškových termoplastických materiálech. Na nekovových materiálech jsou založeny metody SLS a MJF. Na kovových materiálech jsou založeny metody SLM a DMSL, u těchto metod však hrozí vyšší riziko deformace, které je způsobeno vnitřním pnutím.[1]

Nejrozšířenější metoda 3D tisku je FDM, která je založena na výrobě z termoplastického filamentu. Při pečlivém seřízení zařízení je možné dosáhnout slušné přesnosti. Je zde však stále horší schopnost opakovatelnosti výrobku. Dále zde hrozí kroucení výrobku, a to hlavně u 3D tisku bez temperované komory.[1]

1.3 Dosažitelné tolerance v 3D tisku

U současných technologií 3D tisku je možné docílit přesností okolo ±0,01mm, kde takovéto přesnosti dosahuje metoda SLA v průmyslových aplikacích. Tyto hodnoty přesnosti lze srovnat s přesnostmi konvenčního obrábění. U dalších metod 3D tisku jsou přesnosti znatelně horší. U metody SLM je dosahováno přesnosti ±0,1mm, u metody SLS ±0,3mm a u FDM ±0,2mm až ±0,5mm.[1]

2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE NEBOLI 3D TISK

Technologie 3D tisku neboli aditivní výroba byla vytvořena hlavně za účelem rychlého prototypování výroby součástí v malých sériích. Jedná se o technologie, která z digitálního 3D návrhu zhotoví fyzický model nebo plně funkční součást. Součást je zhotovována postupně po jednotlivých vrstvách oproti konvenčním metodám velkosériových výrob.

Výhodou použití této metody při prototypování jsou několikanásobně nižší náklady na výrobu, snadné provedení změn na digitálním modelu a opětovném zhotovení. Dále je zde možnost použití velkého množství materiálu a tím možnost i otestovaní mechanických vlastností a vzhled součásti ještě před spuštěním velkosériové výroby.

Nevýhodou této metody je delší čas na výrobu součásti, jelikož je zhotovována po jednotlivých vrstvách. Další nevýhodou jsou také možné vady tisku a tím zkreslené mechanické a rozměrové vlastnosti součásti, což je hlavním tématem této práce. [2,3,4,5]

2.1 Historie 3D tisku

Vynález technologie 3D tisku již není čerstvou novinkou poslední doby, její oblíbenost ale s dobou roste. Na úplném počátku této technologie byl Rapid Prototyping, tímto bylo myšleno rychlá výroba prototypů. Již v roce 1981 byla představena metoda rychlého prototypování s využitím fotopolymeru od Hideo Kodama z Národního institutu průmyslového výzkumu Nagoya.

O založení 3D tisku jako takového se však zasloužil v roce 1984 Charles Hull vynálezem takzvané stereolitografie. Díky této technologii byl poprvé vytištěný 3D model (viz. obrázek 1) z digitálních dat. Model byl vytvořen ze speciálního druhu akrylátového materiálu. Princip této metody spočívá v přeměně tekutého fotopolymeru z pevného plastu za pomoci UV laserového paprsku. Tato technologie se nazývá SLA a používá se dodnes. V roce 1982 firma, kterou založil Charles Hull s názvem 3D Systems, začala prodávat první 3D tiskárnu založenou na technologii SLA, jenž byla volně dostupná pro širokou veřejnost. [3,6]

Obr. 1 První výtisk 3D tiskárnou metodou SLA od Charlese Hulla [7]

Když byly stanoveny základy 3D tisku, další vývoj aditivních výrob v 90. letech 20. století byl velmi rychlý. Objevilo se velké množství výrobců 3D tiskáren, které byly stále zdokonalovány. Dále se začaly vyvíjet nástroje pro 3D modelování, které 3D tisk posunuly na vyšší úroveň. [8]

V roce 2000 byla poprvé vytištěna funkční ledvina, ale na první transplantaci pacientovi bylo nutné počkat dalších 13 let. Dnes ledviny zhotovené 3D tiskem perfektně fungují a vědci dále experimentují s dalšími orgány. V roce 2004 byl spuštěn projekt RepRap, ve kterém se jednalo o samoreprodukovatelné 3D tiskárny. Tento open-source projekt je dodnes velmi úspěšný a přinesl velké rozšíření 3D stolních FDM tiskáren mezi veřejnost. První barevná 3D tiskárna Spectrum Z510 byla představena v roce 2005 společností ZCorp. Dále se 3D tisk dostal do povědomí lidí díky mediím, kdy byl zveřejněn další lékařský projekt, který se zabýval vytištěním první protetické končetiny. [8,9,10]

Na Cornell University v roce 2011 byl zahájen vývoj 3D potravinové tiskárny. V roce 2012 byla belgickými lékaři vytištěna a implantována první funkční lidská čelist. Další úspěch na poli vědy přišel, když bylo oznámeno laboratoří Daniela Kelly v roce 2016, že je možné vytisknout kosti. Dalším odvětvím, kde byl použit 3D tisk, je stavebnictví. V roce 2018 byl vytištěn první plně funkční dům, kde jeho tisk zabral pouhé dva dny. [8]

2.2 Využití 3D tisku

Z počátku byl 3D tisk využíván pro rychlé a levné zhotovení prototypů, ale po příchodu nových a levnějších metod se 3D tisk začlenil do dalších odvětví výroby. Nově byl 3D tisk využíván v malosériových výrobách, čímž se dosáhlo mnohonásobných úspor oproti konvenční výrobě. [3]

3D tisk je využíván i při výrobě náhradních dílů, které se již nevyrábí a kde je jejich sehnání časově i finančně náročné. Příkladem je oprava starých spotřebičů nebo automobilů. V automobilovém průmyslu se dále 3D tisk využívá pro výrobu prototypů různých součástí, nebo pro výrobu specifických nástrojů, jejíž výroba konvenční metodou by byla mnohonásobně dražší. [11]

V letectví a kosmonautice je 3D tisk čím dál tím víc využívanou technologii. Při výrobě dílů v tomto odvětví se jedna spíše jen o malé série, takže příprava výroby jinou technologii bývá značně nákladnější. Dále se tento tisk využívá i s posunem v technologii tisknutí z kovu, kde je vysoký požadavek na tepelnou odolnost a robustnost dílu. Tato technologie se tak v tomto odvětví stává velmi přínosnou a začíná být často využívána. [11]

V medicíně je už také velmi často využíván 3D tisk. Běžně jsou tisknuty různé implantáty, personifikovaná protetika, specializované nástroje. Také jsou před náročnými operacemi tištěny orgány v životní velikosti tak, aby operatéři měli přesnou představu, jak budou při zákroku postupovat. [11]

V architektuře a stavebnictví je 3D tisk využíván, jak při vytištění 3D modelu navržené budovy, tak také při samotném tisku reálného a plně funkčního domu z betonu. Nevýhodou při tisku reálného domu je, že stavba má z principu této technologie všechny rohy zaoblené. [8,11]

2.3 Získání dat 3D modelu

Předtím než je možné tisknout je potřeba získat zdroj dat a to tím, že je vytvořen 3D model v libovolném CAD programu. Ten je získán naskenováním reálného předmětu pomocí 3D skeneru nebo stažením modelu z internetu. [3,5,12]

Po získání modelu je potřeba ho převést do STL formátu, který je dále nahrán do programu obecně známého pod označením „Slicer“. Tento program má za úkol rozdělit model na jednotlivé vrstvy, jenž se budou postupně tisknout. V tomto programu je možné nastavit druh materiálu, kvalitu tisku, hustotu výplně, tloušťku stěn a výšku vrstev. V posledním kroku je model umístěn na podložku a je určeno, jak se bude model tisknout. Když jsou definovány

všechny potřebné parametry ve sliceru, je vygenerován soubor, který je tiskárna schopna přečíst. Následně se z tohoto souboru zhotoví model. [3,5,12]

2.4 Metody 3D tisku

Všechny metody 3D tisku jsou založeny na postupném tištění jednotlivých vrstev. Je mezi nimi rozdíl v tom z jakého materiálu je výrobek zhotovován, v jakém je materiál skupenství a jak jsou jednotlivé vrstvy spojovány. Základní shrnutí všech dostupných metod je zaznamenáno v následujících tabulkách (viz. tabulka 1 a tabulka 2). [2,12]

Tab. 1 Práškové metody 3D tisku [12].

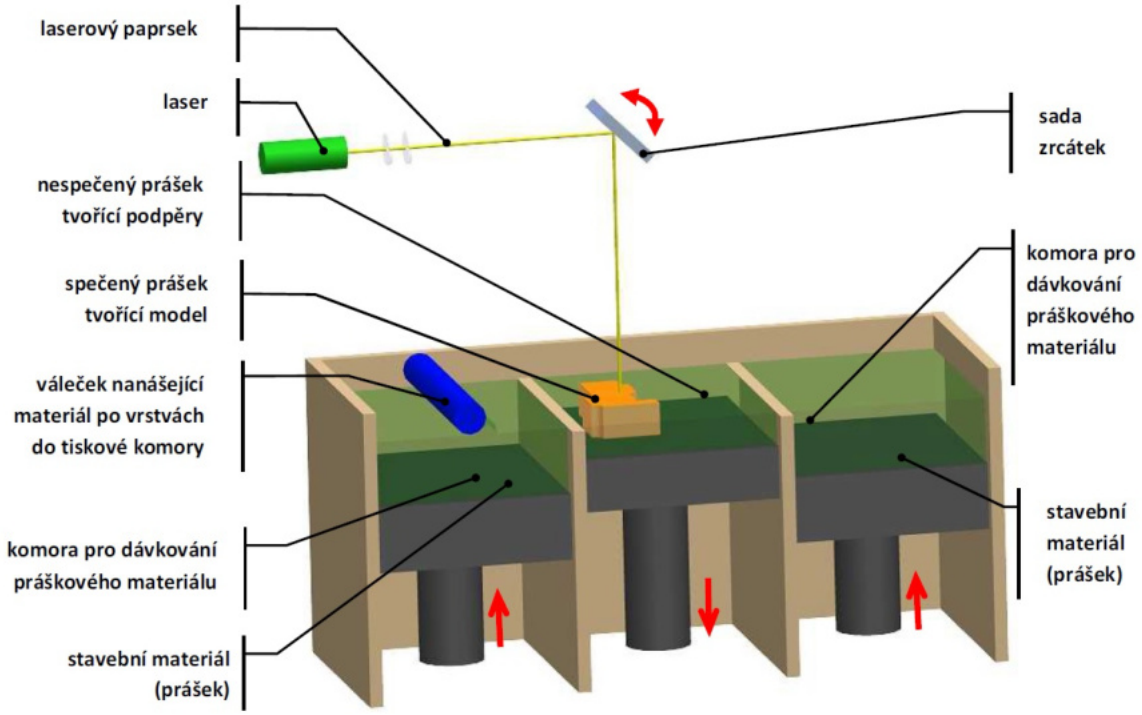
PRÁŠKOVÉ METODY					
	SLS	DMLS	SHS	BJ	MJP
Používané materiály	keramika, plasty (nylon, ABS, PET atd.)	kov (nerez.ocel, titan, bronz, inconel)	PLA, ABS, PET, NYLON atd.	keramika, hliník, nerez.ocel, kompozity	na míru od výrobce 3D Systems
Výhody	nízká cena pořiz.mat., využitelnost zbytk.prášku	výroba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

Tab. 2 Ostatní metody 3D tisku [12].

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

2.4.1 Selective Laser Sintering (SLS)

Metoda SLS je jedna z práškových metod 3D tisku, principem je postupné zapékaní tenkých vrstev materiálu v podobě prášku pomocí tepelné energie, kterou vyvine laserový paprsek na bázi CO_2. Dochází ke spékání jen v požadovaném místě, okolní materiál zůstává neovlivněný a pro další vrstvy je využíván jako podpora. Dokončená vrstva je pokryta další vrstvou prášku a proces je opakován (viz. obrázek 2). [2,12]



Obr. 2 Selective Laser Sintering [12].

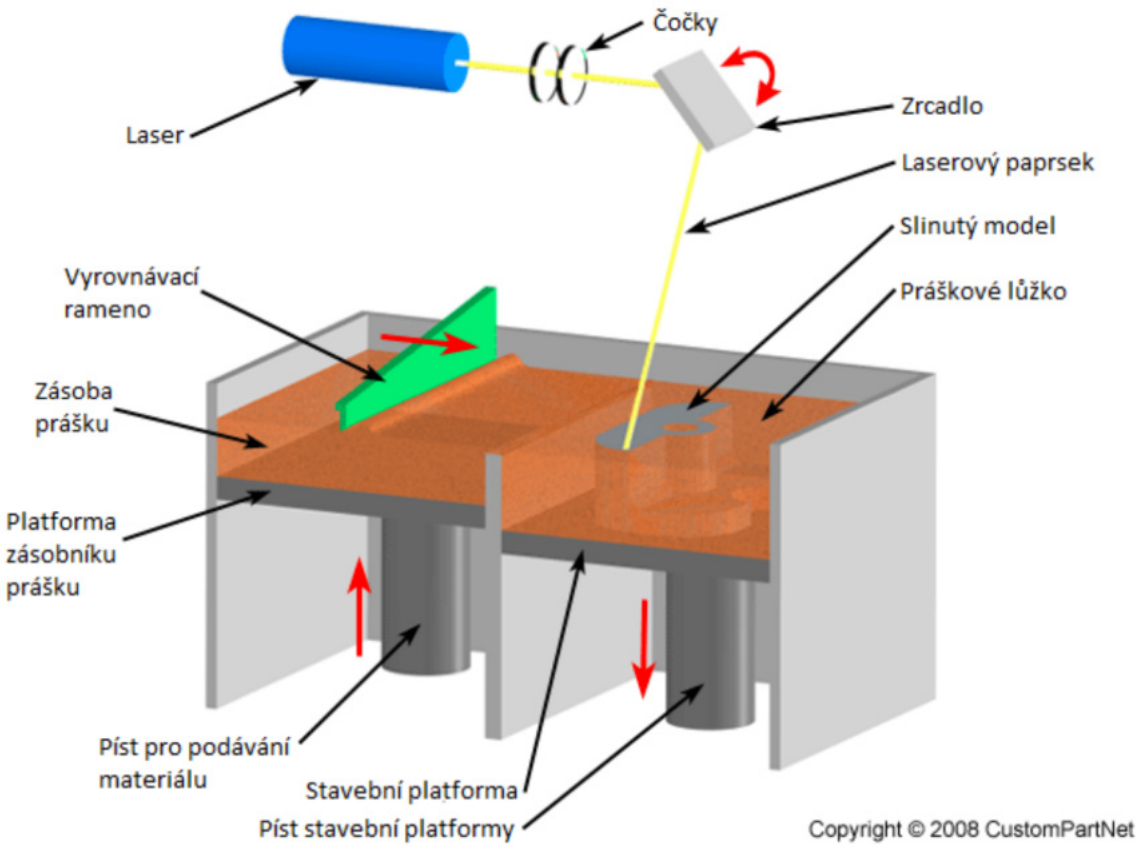
Materiály vhodné pro tuto metodu jsou: keramika, kov, plasty a speciální písky. Použitý materiál je v podobě velmi jemného prášku. [2,12]

Výhody této technologie jsou nízké pořizovací náklady na materiál, kde nespotřebovaný prášek je možné použít při další výrobě. Součásti vyrobené touto metodou se vyznačují vysokou pevností. Součásti nepotřebují vytvrzené podpory, takže nevzniká odpad. [2,12]

Nevýhody této metody jsou vysoké náklady na pořízení zařízení a jeho následný provoz, kvalita povrchu je nízká oproti ostatním práškovým metodám. [2,12]

2.4.2 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

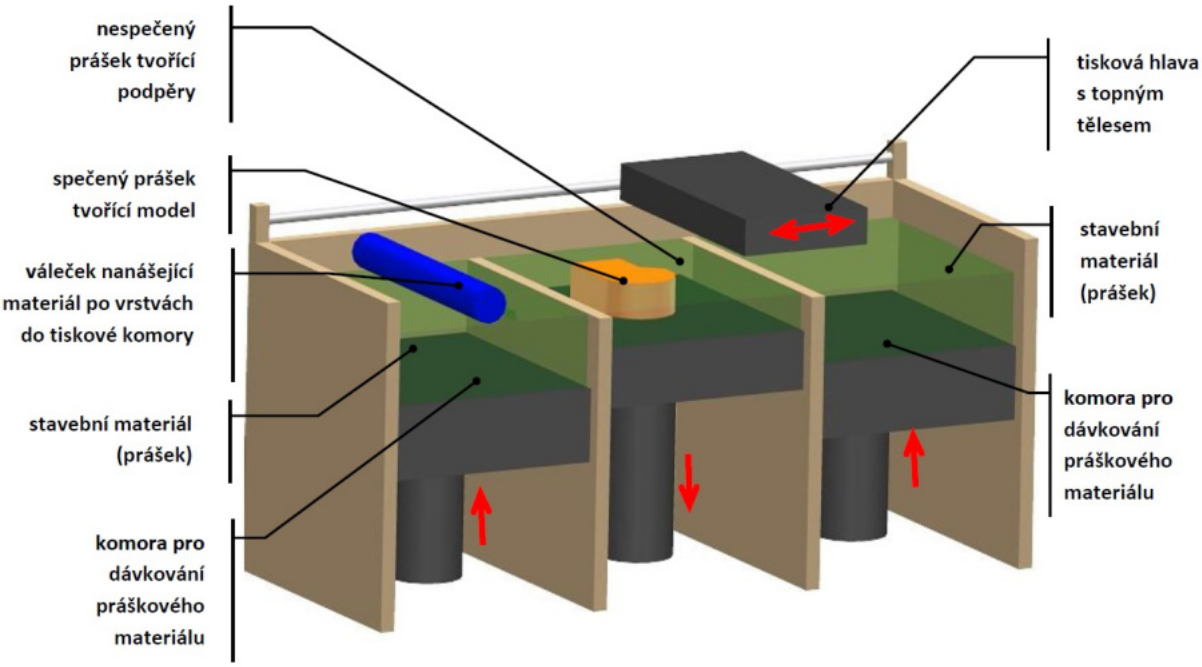
Metoda DMLS je založená stejném principu jako metoda SLS, ale u této metody je potřebné, aby laserový paprsek vyvinul podstatně větší teplotu, protože se tu jedná o metodu založenou na přetavení kovového prášku (viz. obrázek 3). Po většinu materiálů je pracovní komora vyplněna ochranou atmosférou (argon, dusík), aby se zabránilo oxidaci. [2,12,]



Obr. 3 Direct Metal Laser Sintering [13].

2.4.3 Selective Heat Sintering (SHS)

Metoda SHS je také řazena do práškových metod, ale namísto laseru je využívána technologie SHS topného tělesa. Prášek je vytvrzován tiskovou hlavou najednou, oproti postupnému vytvrzování jako o metody SLS laserem. Po vytvrzení vrstvy je nanesena válečkem další vrstva a proces se opakuje (viz. obrázek 4). Pro tuto metodu jsou využívány plastové materiály v podobě jemného prášku. [12]



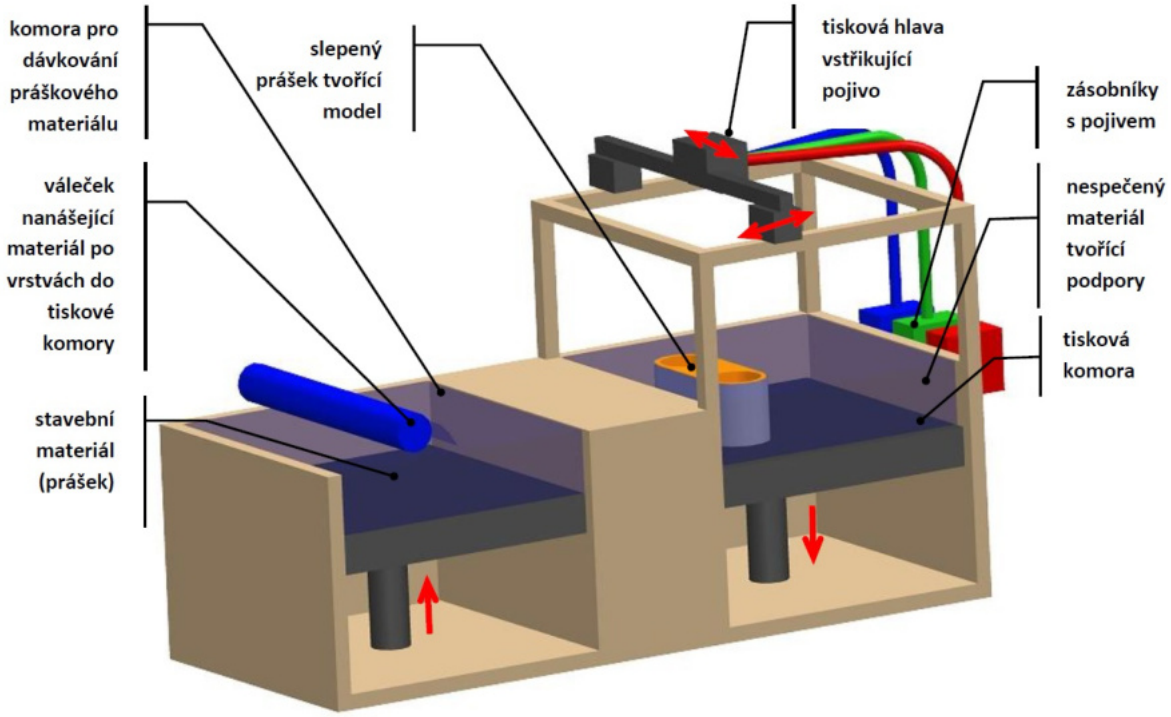
Obr. 4 Selective Heat Sintering [12].

Výhody této metody jsou nízká pořizovací cena, při tisku nejsou potřebné podpory, nevyužitý materiál je plně recyklovatelný a je možné ho využít v další výrobě a je možné tvořit tvarově složité součásti. [12]

Nevýhoda této technologie je nutnost očistit součást po výrobě stlačeným vzduchem. [12]

2.4.4 Binder Jetting (BJ)

Metoda BJ je řazena mezi práškové metody, je však rozdílná v tom, že vrstvy jsou vytvrzovány chemicky a to pojivem. Princip je takový, že je nanesena tenká vrstva materiálu, na kterou je postupně vstřikováno pojivo pomocí tiskové hlavy. Dále je nanesena další vrstva prášku a princip se opakuje (viz. 5 obrázek). [12]



Obr. 5 Binder Jetting [12].

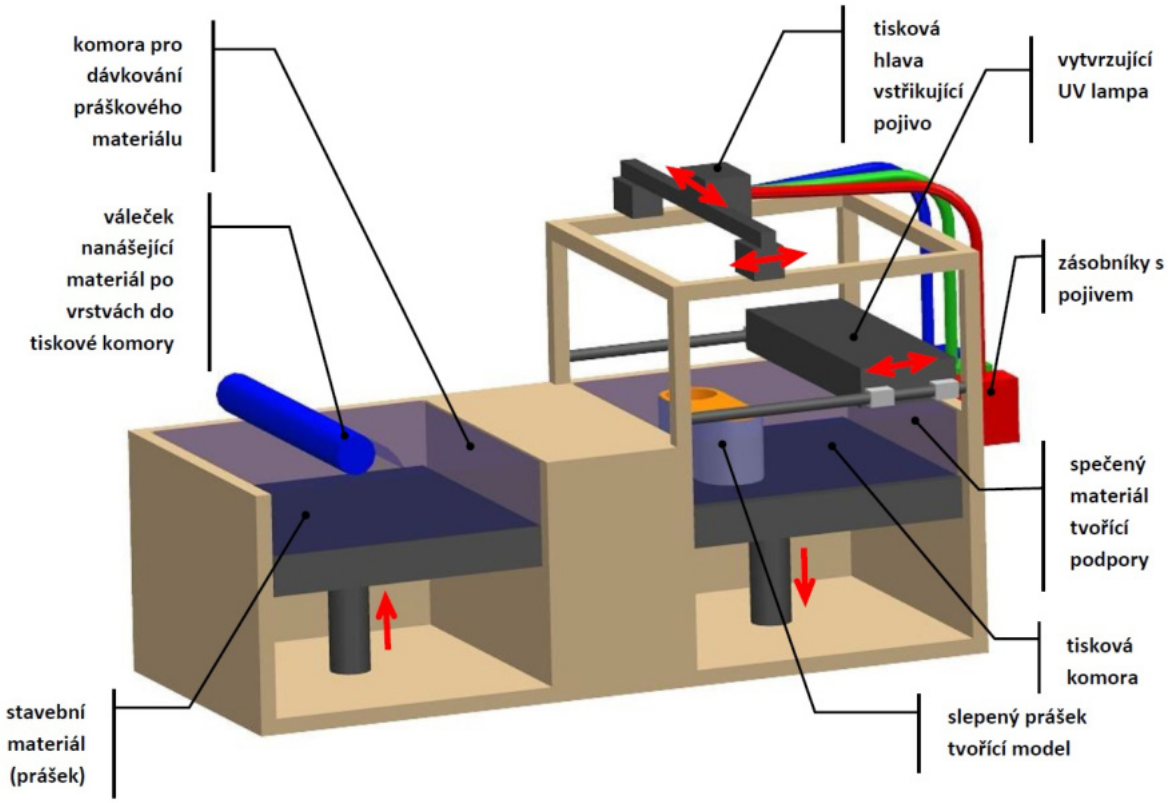
Materiály vhodné pro tuto metodu jsou keramika, hliník, nerezová ocel a další různé kompozitní materiály. [12]

Výhody této metody jsou rychlost tisku a možnost širokého výběru materiálu. [12]

Nevýhody této metody jsou vysoká pořizovací cena zařízení a nutnost dalších úprav povrchu součásti za účelem zlepšení mechanických vlastností. [12]

2.4.5 Multi Jet Printing (MJP)

Metoda MJP je podobná předchozí metodě, ale narozdíl od BJ je zde možné vytvářet součásti, které jsou zhotoveny z více materiálu a barev najednou. Takže je možné, aby v jedné součásti tuhý i pružný materiál zároveň. Principem je postupné nanášení vrstev prášku z různého materiálu, na který následně naneseno pojivo v podobě kapiček pomocí tiskové hlavy, pojivo je následně vytvrzeno pomocí UV lampy (viz. obrázek 6). [12,14]

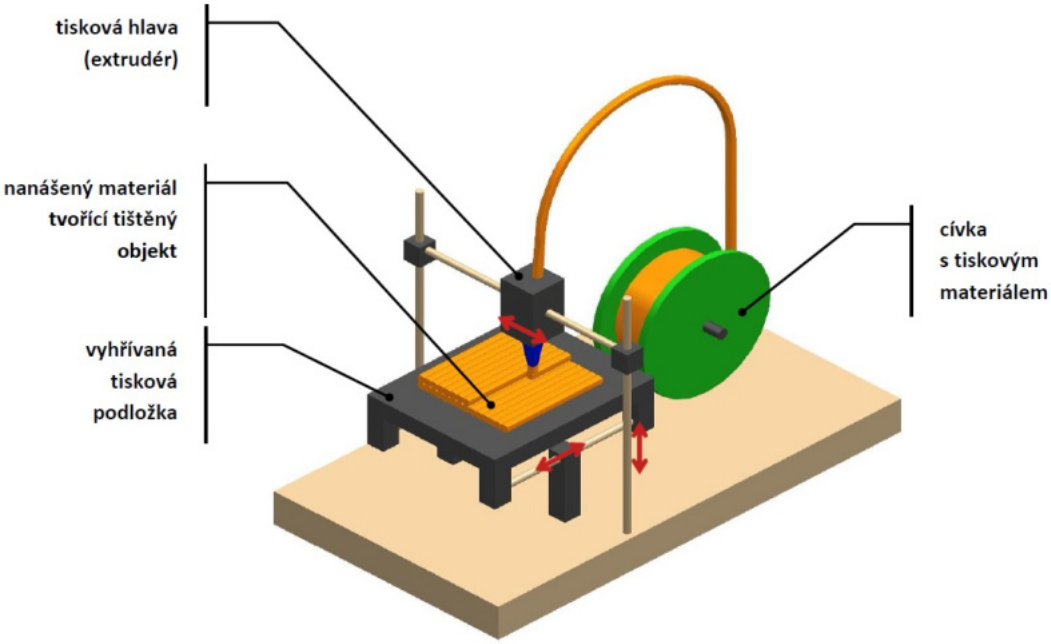


Obr. 6 Multi Jet Printing [12].

Výhody této metody jsou přesný a kvalitní povrch ihned po vytištění, součást má dobré mechanické vlastnosti a tisk touto metodou je rychlý. [12]

2.4.6 Fused Deposition Modeling (FDM)

Metoda FDM je dnes nejrozšířenější metodou 3D tisku mezi širokou veřejností. Principem této metody spočívá v roztavení tuhého materiálu v podobě filamentu, který je následně ve formě tenkého vlákna nanášen na podložku, kde následně tuhne. Součást je zhotovována postupně po vrstvách (viz. obrázek 7). [2,3,12]



Obr. 7 Fused Deposition Modeling [12].

V této metodě je využíván převážně materiál v podobě roztaveného plastu. Je zde velký výběr v tom, jaký plast lze použít. [2,3,12,15]

Nejvíce používaným plastem je PLA neboli polylaktid. Tisk z tohoto materiálu je snadný, nehrozí zde velké smrštění, povrch výsledné součásti je hezký. PLA je tvrdý plast, je ale bohužel také křehký. [2,3,12,15]

Dalším velmi používaným materiálem je ABS neboli akrylonitrilbutadienstyren. Jedná se o jeden běžných termoplastických polymerů, který je na rozdíl od PLA houževnatý. Není křehký, ale při tisku dochází často k nepřesnostem, které jsou způsobené velkou smrštivostí materiálu. [2,3,12,15]

Běžně používaným materiálem je PET neboli polyethylentereftalát. Této plast je dobře odolný proti chemikáliím a také se dobře obrábí. Hlavní využití má v potravinářském průmyslu. [2,3,12,15]

Materiál odolný proti nárazům je PC neboli polykarbonát, ten má ale bohužel nízkou odolnost proti oděru. [2,3,12,15]

Používaný nylon je velmi odolný materiál, kde je ale častým problémem přilnavost mezi jednotlivými vrstvami. [2,3,12,15]

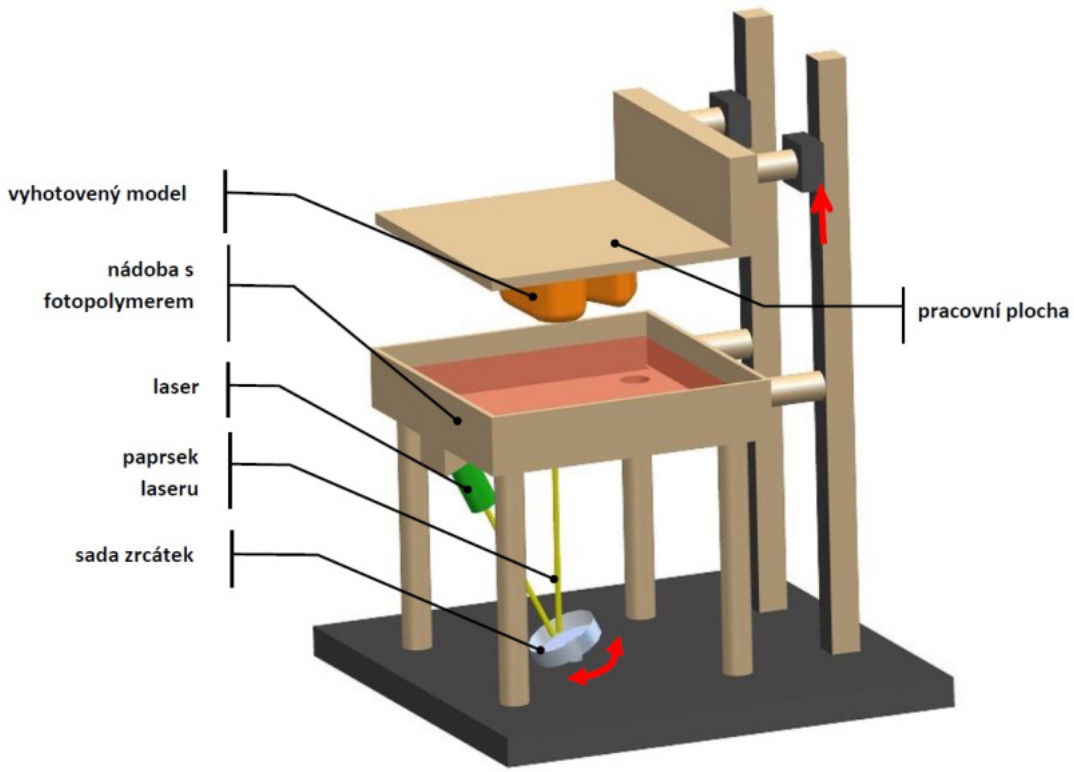
Dále jsou používány i další druhy plastových materiálů a mohou být používány i filamenty s různými příměsemi jako je například bronz, uhlíková vlákna nebo třeba dřevo. [2,3,12,15]

Výhody této metody jsou vysoká pevnost u vyráběné součásti, minimum odpadu a nízké pořizovací náklady jak na zařízení, materiál, tak i na celkový provoz.

Nevýhody jsou hrubá struktura povrchu součásti, odstraňování podpor a není možné urychlit proces. [2,12]

2.4.7 Stereolitografie (SLA)

Metoda SLA je založena na stereolitografii, která je známá jako nejstarší technologie 3D tisku. Principem této metody je postupné vytvrzování fotopolymeru za pomocí laseru. Tento proces se opakuje po jednotlivých vrstvách až to vytvoření součásti (viz. obrázek 8). Fotopolymerní materiál je například fotopolymerická pryskyřice. [2,12]

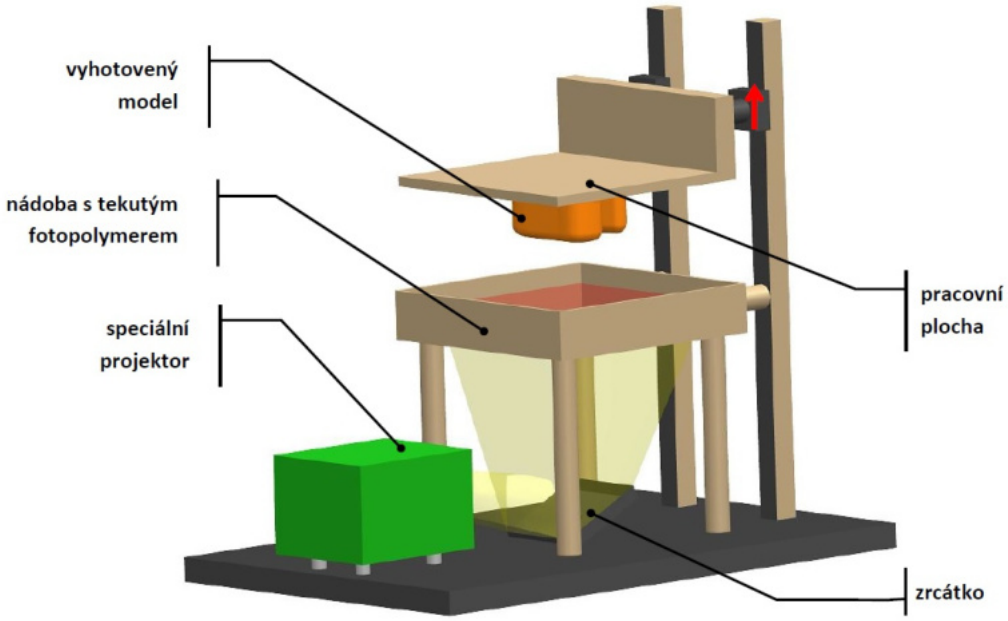


Obr. 8 Stereolitografie [12].

Výhodou této metody je vysoká přesnost, která je v řádu mikronů. Nevýhody jsou nutnost dotvrzení součásti po vytištění, aby byly zlepšeny mechanické vlastnosti a je zde malý výběr materiálů. [2,12]

2.4.8 Digital Light Processing (DLP)

Metoda DLP je založena na stejném principu jako předchozí metoda SLA. Princip je založený na postupném vytvrzování fotopolymeru, na rozdíl od předešlé metody je zde k vytvrzování používán speciální projektor, který vytvrzuje celou plochu jedné vrstvy najednou (viz. obrázek 9). V této metodě je také jako materiál požívána fotopolymerní pryskyřice. [2,12]

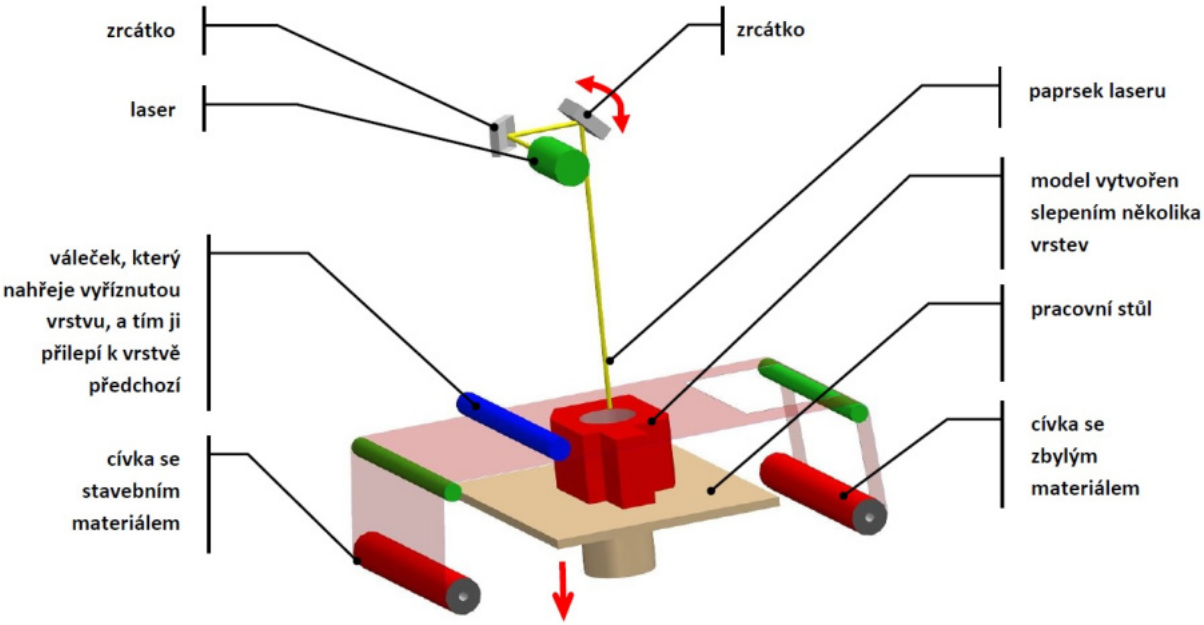


Obr. 9 Digital Light Processing [12].

Výhodou této metody je rychlejší a přesnější proces oproti SLA metodě. Nevýhody jsou jako u předchozí metody, to znamená nutnost dalšího dotvrzení k docílení lepších mechanických vlastností a malý výběr materiálu. [2,12]

2.4.9 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Metoda LOM je založena na postupném přilepování vyříznutých vrstev z papíru nebo plastu v podobě fólie. Princip metody je založený na vyříznutí požadovaného tvaru vrstvy pomocí nože nebo laseru, která je následně přilepena na další. Tento proces se následně opakuje u dalších vrstev. Materiál je převíjen přes pracovní plochu z jedné cívky na druhou (viz. obrázek 10). [2,12]



Obr. 10 Laminated Object Manufacturing [12].

Výhody této metody jsou nejlevnější materiál pro zhotovení součásti a je zde dosaženo velmi kvalitního povrchu.[2,12]

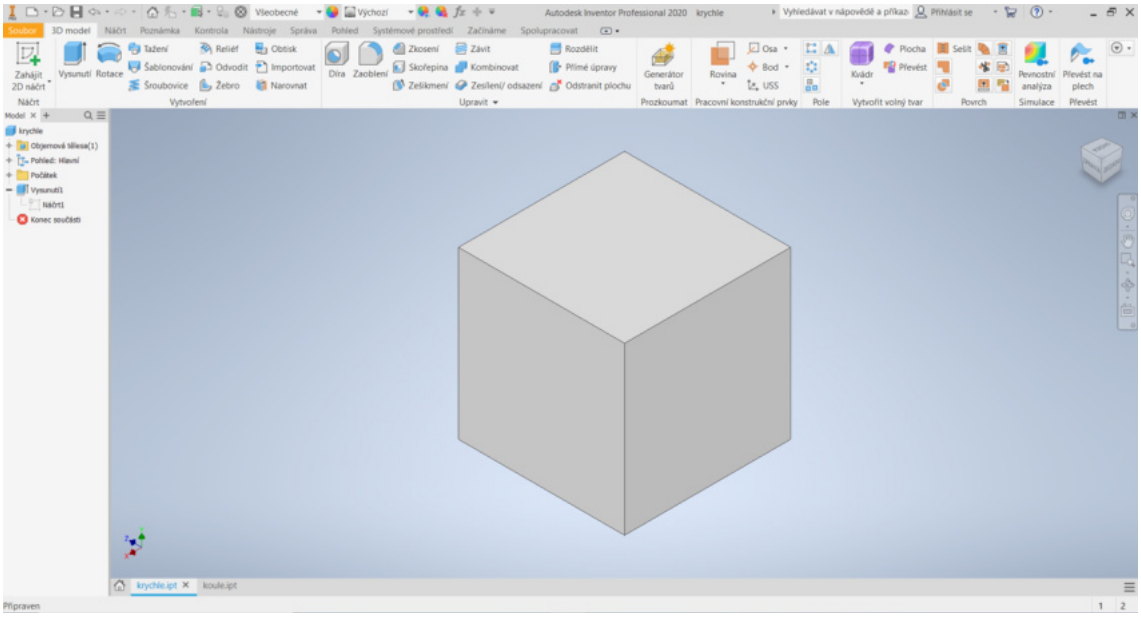
Nevýhody jsou velmi nízká produktivita, při procesu vzniká velké množství odpadu a je nutné mechanické odstraňování podpor. [2,12]

3 NAVRHNUTÍ ZHOTOVENÍ ZKUŠEBNÍCH SOUČÁSTÍ NA DOSTUPNÝCH 3D TISKÁRNÁCH

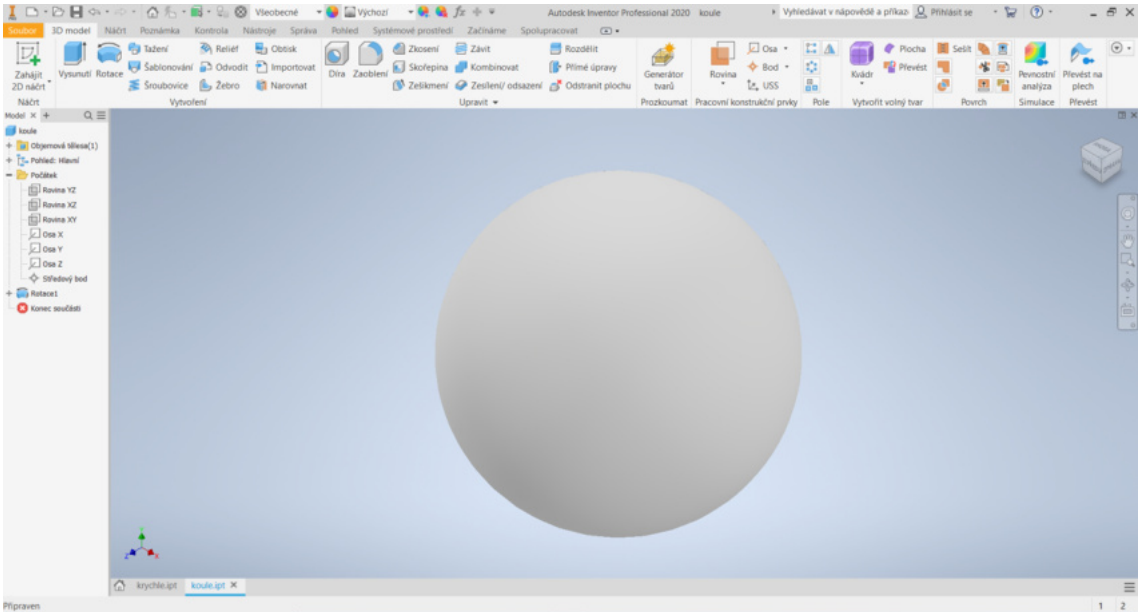
Pro zhotovení zkušebních součástí byly využity dvě dostupné metody 3D tisku, a to metoda SLA, založena na vytvrzovaní fotocitlivé pryskyřice laserem a metoda FDM, která je založena na tavení termoplastického filamentu. U metody FDM byly součásti zhotoveny z více druhů materiálu, a to z PLA, PTEG a TPU.

3.1 Navržení zkušebních součástí

Aby bylo možné součásti vyrobit, bylo nutné nejprve vytvořit modely v CAD systému. V tomto případě byl použit program Invertor. Jednalo se o modely dvou zkušebních součástí. Prvním modelem je krychle o straně 40 mm (viz. obrázek 11) a druhým je koule o průměru 40 mm (viz. obrázek 12).



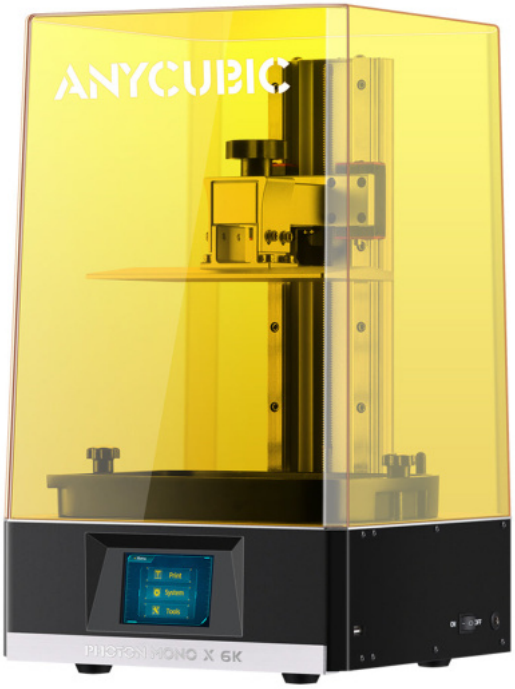
Obr. 11 Model krychle o stranách 40 mm v CAD systému Autodesk Inventor.



Obr. 12 Model koule o průměru 40 mm v CAD systému Autodesk Inventor.

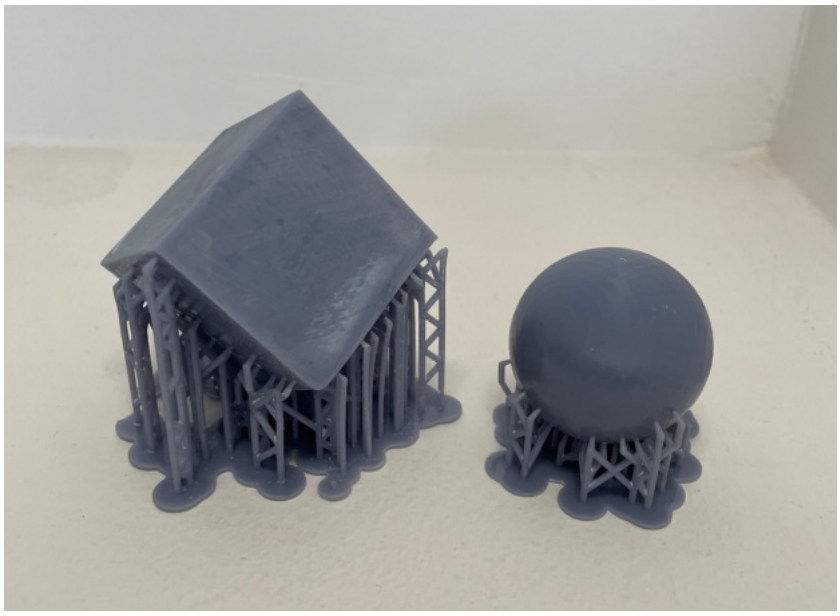
3.2 Zhotovení součástí metodou SLA

Jako první byly zhotoveny vzorky metodou SLA. Tato metoda pracuje s principem, postupného vytvrzování fotocitlivé pryskyřice laserem. Pro zhotovení byla použita tiskárna Anycubic Photon Mono X 6K (viz. obrázek 13).



Obr. 13 Anycubic Photon Mono X 6K [16].

Vzorky byly zhotoveny z materiálu Anycubic 3D Printer Resin, který má vytvrzovací vlnovou délku 405 nm a výška jednotlivé vrstvy je 0,05 mm. Po vytištění byly vzorky následně očištěny od podpor, bez kterých by nebylo možné vzorky vytisknout (viz. obrázek 14).



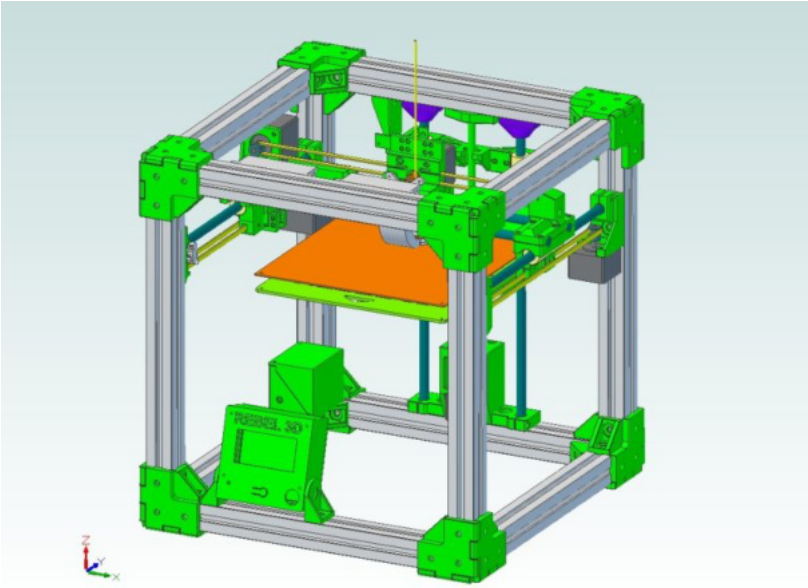
Obr. 14 Vzorky vytištěny metodou SLA.

3.3 Zhotovení součástí metodou FDM

Dále byly vytištěny vzorky metodou FDM, které byly zhotoveny ze tří různých druhů materiálů a na třech různých tiskárnách. Tato metoda je založena na tavení tuhého plastového materiálu v podobě filamentu, který je následně tryskou nanášen a vrstven.

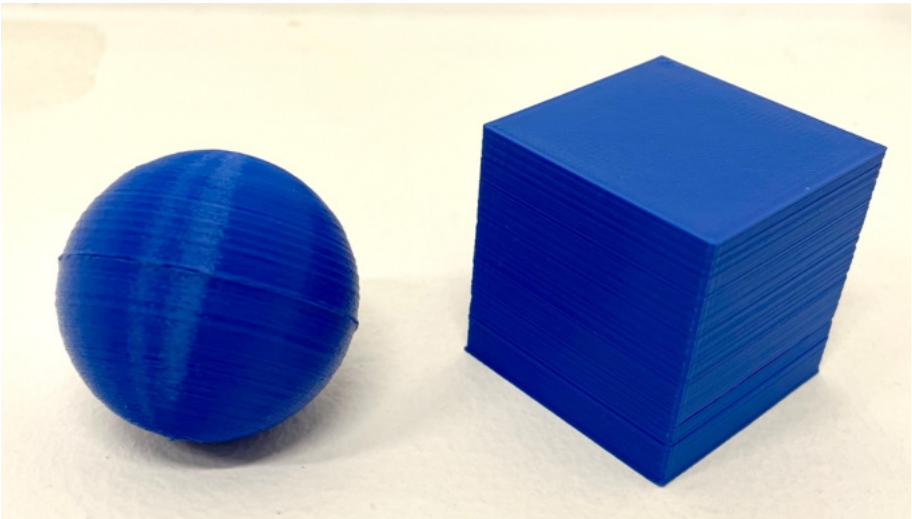
3.3.1 Materiál PLA, 3D tiskárna Rebel sCube

Při tisku těchto vzorků z materiálu PLA na tiskárně Rebel sCube (viz. obrázek 15) nastala komplikace s vytištěním koule v jednom kuse, takže byl model rozdělen na dvě poloviny a následně spojen.



Obr. 15 3D tiskárna Rebel sCube [17].

Tisk vzorků (viz. obrázek 16) byl prováděn tryskou o průměru 0,4 mm s výškou jednotlivých vrstev 0,2 mm. Rychlost tisku byla 50 mm/s, procento výplně bylo 15 %, teplota tištěného materiálu byla 203 °C a teplota podložky byla 55 °C.



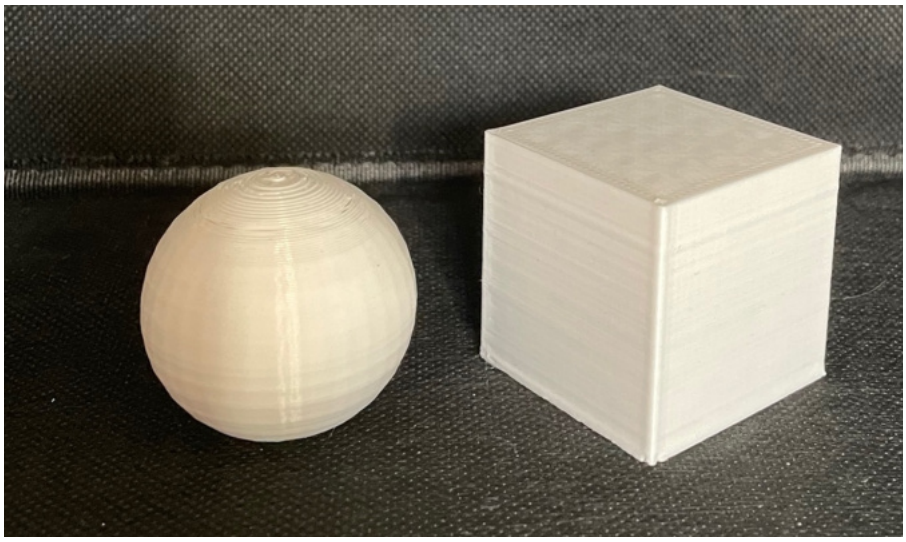
Obr. 16 Vzorky vytištěné na 3D tiskárně Rebel sCube, metodou FDM, z materiálu PLA

3.3.2 Materiál PLA, 3D tiskárna Creality ENDER 3

Při tisku na 3D tiskárně Creality ENDER 3 (viz. obrázek 17) byly vytištěny oba vzorky bez větších problémů v celku. Jediný viditelný defekt byl na vzorku ve tvaru koule, kde je možné pozorovat horší povrch na jeho spodní straně.

Obr. 17 3D tiskárna Creality ENDER 3 [18].

Vzorky (viz. obrázek 18) byly tištěny tryskou o průměru 0,4 mm, s výškou jednotlivých vrstev vzorků 0,28 mm. Rychlost tisku byla 60 mm/s, procento výplně bylo 25 %, teplota tištěného materiálu byla 200 °C a podložky 50 °C.



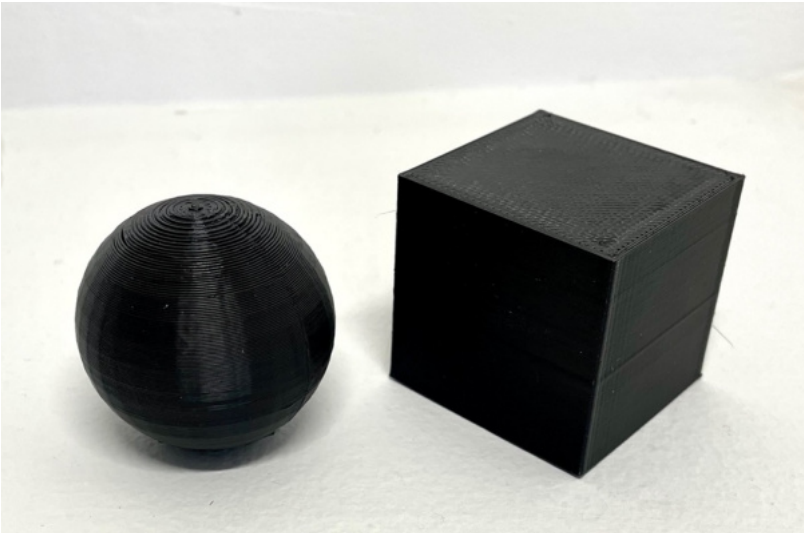
Obr. 18 Vzorky vytištěné na 3D tiskárně Creality ENDER 3, metodou FDM, z materiálu PLA.

3.3.3 Materiál PETG, 3D tiskárna Creality ENDER 3

Tyto vzorky byly vytištěny stejnou 3D tiskárnou (viz. obrázek 19) jako tomu bylo u předchozích vzorků, jen z houževnatějšího materiálu, to znamená z PETG. Jako u předchozích vzorků byl největší defekt vidět na vzorku ve tvaru koule, a to na jeho spodní straně.

Obr. 19 3D tiskárna Creality ENDER 3 [18].

Tisk vzorků (viz. obrázek 20) byl proveden tryskou o průměru 0,4 mm, jednotlivé vrstvy byly o výšce 0,28 mm, rychlost tisku byla 60 mm/s, procento výplně bylo 25 %, teplota tištěného materiálu byla 230 °C a podložky 80 °C.



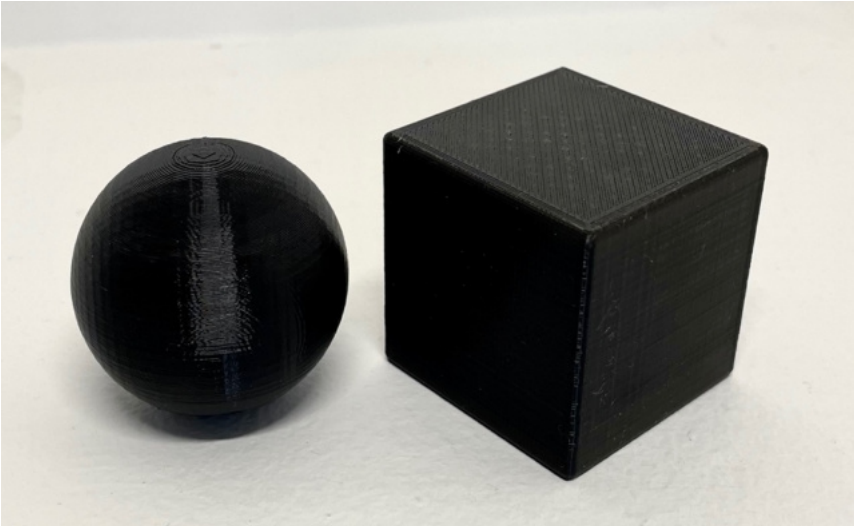
Obr. 20 Vzorky vytištěné na 3D tiskárně Creality ENDER 3, metodou FDM, z materiálu PETG.

3.3.4 Materiál TPU, 3D tiskárna Creality ENDER 3 2V

Poslední vzorky byly tištěny na 3D tiskárně Creality ENDER 3 2V (viz. obrázek 21). Vzorky byly tištěny z pružného materiálu TPU. Problémem tohoto materiálu bylo velké smrštění, které bylo viditelné již pouhým okem při porovnání s ostatními vzorky z jiných materiálů.

Obr. 21 3D tiskárna Creality ENDER 3 2V [19].

Tisk vzorků (viz. obrázek 22) byl proveden tryskou o průměru 0,3 mm, jednotlivé vrstvy byly o výšce 0,18 mm, rychlost tisku byla 50 mm/s, procento výplně bylo 30 %, teplota tištěného materiálu byla 215 °C a podložky 50 °C.



Obr. 22 Vzorky vytištěné na 3D tiskárně Creality ENDER 3 2V, metodou FDM, z materiálu TPU.

4 MĚŘENÍ A POROVNÁNÍ ROZMĚROVÝCH PŘESNOSTÍ U VYTIŠTĚNÝCH VZORKŮ

Po vytištění všech vzorků, bylo provedeno měření rozměrových přesností. Měření bylo prováděno mikrometrem značky Festa (viz. obrázek 23). Tento mikrometr má rozsah od 25 mm do 50 mm a jeho přesnost je na 0,01 mm.

Obr. 23 Mikrometr Festa.

Mikrometr byl upnut do držáku (viz. obrázek 24), tak aby bylo měření a odečítání naměřených hodnot jednoduché a přesné. Každý vzorek byl měřen desetkrát, vždy na jiném místě tak, aby byly zajištěny relevantní výsledky.

Obr. 24 Mikrometr upnutý v držáku se vzorky.

4.1 Měření vzorků ve tvaru krychle

Jako první bylo provedeno měření vzorků, které byly zhotoveny ve tvaru krychle. Každý vzorek byl měřen desetkrát, pokaždé v jiném místě tak, aby byly zajištěny přesné výsledky. Z naměřených hodnot (viz. tabulka 3) byly vypočítány průměrné hodnoty.

Tab. 1 Naměřené hodnoty vzorků ve tvaru krychle.

Materiál	SLA	PLA (modré)	PLA (bílé)	PETG	TPU
Měření č. 1 [mm]	40,36	39,94	39,90	39,94	39,25
Měření č. 2 [mm]	40,62	39,83	39,90	39,87	39,17
Měření č. 3 [mm]	40,72	39,78	39,95	39,98	39,26
Měření č. 4 [mm]	40,69	40,09	39,90	39,93	39,64
Měření č. 5 [mm]	40,90	40,11	39,85	40,04	39,71
Měření č. 6 [mm]	41,38	40,10	39,94	39,91	39,67
Měření č. 7 [mm]	40,59	39,98	39,89	40,02	39,76
Měření č. 8 [mm]	39,84	39,99	39,43	39,44	38,61
Měření č. 9 [mm]	40,21	40,02	39,42	39,43	38,72
Měření č. 10 [mm]	40,56	40,00	39,45	39,42	38,57
Průměrná hodnota [mm]	40,59	39,98	39,76	39,80	39,24

Následně byly porovnány průměrné hodnoty z naměřených hodnot s navrženými rozměry v modelu (40 mm u každé strany krychle). Jak je možno vidět, vzorek z materiálu PLA vytištěný na tiskárně Rebel sCube byl zhotoven s nejvyšší rozměrovou přesností. Oproti tomu byl s nejnižší rozměrovou přesnost vytištěn vzorek z materiálu TPU na 3D tiskárně Creality ENDER 3 2V. Tyto horší výsledky byly způsobeny smrštivostí materiálu TPU.

4.2 Měření vzorků ve tvaru koule

V dalším kroku bylo provedeno měření vzorků, které byly zhotoveny ve tvaru koule. Každý vzorek byl měřen desetkrát, vždy v jiném místě tak, aby bylo docíleno nejpřesnějších výsledků měření. Z naměřených hodnot (viz. tabulka 4) byla vypočítána průměrná hodnota.

Tab. 4 Naměřené hodnoty vzorků ve tvaru koule.

Materiál	SLA	PLA (modré)	PLA (bílé)	PETG	TPU
Měření č. 1 [mm]	39,64	40,30	39,68	39,56	38,17
Měření č. 2 [mm]	40,10	40,39	39,66	39,98	38,48
Měření č. 3 [mm]	39,97	39,97	39,69	39,73	38,19
Měření č. 4 [mm]	40,00	39,60	39,52	39,96	38,95
Měření č. 5 [mm]	40,11	39,71	39,99	39,62	38,76
Měření č. 6 [mm]	39,81	39,78	39,94	39,74	38,43
Měření č. 7 [mm]	40,01	40,07	39,82	40,80	39,21
Měření č. 8 [mm]	40,14	39,77	39,87	39,55	39,53
Měření č. 9 [mm]	39,61	39,63	39,20	39,61	39,01
Měření č. 10 [mm]	39,61	40,03	39,35	39,93	38,72
Průměrná hodnota [mm]	39,90	39,93	39,67	39,85	38,75

Následně byly porovnány průměrné hodnoty z naměřených hodnot s navrženými rozměry v modelu (průměr koule 40 mm). Jak je možné z výsledků vidět, vzorek z materiálu PLA vytištěný na tiskárně Rebel sCube byl zhotoven s nejvyšší rozměrovou přesností. Oproti tomu s nejnižší rozměrovou přesností byl vytištěn vzorek z materiálu TPU na 3D tiskárně Creality ENDER 3 2V. Tyto nepřesnosti byly způsobeny smrštivostí materiálu TPU.

ZÁVĚR

Záměrem bakalářské práce bylo zhodnotit rozměrové přesnosti technologie 3D tisku, docílené na dostupných tiskárnách. Zhotovené vzorky byly následně porovnány a vyhodnoceny.

V teoretické části práce bylo popsáno, co jsou to rozměrové přesnosti, jak jsou rozděleny a v čem jsou důležité. Dále v této části byla popsána technologie 3D tisku, jak tato technologie vznikla, její využití a další rozvoj v různých odvětvích. Jako poslední byly v této části rozebrány jednotlivé metody 3D tisku, které jsou využívány v současné době.

V praktické části byly nejprve vymodelovány v CAD systému Autodesk Inventor vzorky. Vzorky byly ve tvaru krychle o stranách 40 mm a koule o průměru 40 mm. Dále byly tyto vzorky zhotoveny na dostupných 3D tiskárnách. Využity byly dvě metody technologie 3D tisku, metoda SLA neboli stereolitografie a FDM neboli Fused Deposition Modeling. U metody FDM byly použity tři různé druhy 3D tiskáren a tři druhy materiálu a to PLA, PETG a TPU. Následně byly změřeny rozměry vytištěných vzorků. Z naměřených hodnot byly vypočítány průměrné hodnoty a ty byly následně porovnány se zadanými rozměry 3D modelu.

Dle vyhodnocení měření vzorku ve tvaru krychle bylo zjištěno, že nejpřesněji byl vytištěn vzorek na 3D tiskárně Rebel sCube, metodou FDM, z materiálu PLA. Druhé nejpřesnější hodnoty dosáhl vzorek vytištěný na 3D tiskárně Creality ENDER 3, metodou FDM z materiálu PETG. Třetí nejpřesnější byl vzorek vytištěný na 3D tiskárně Creality ENDER 3, metodou FDM, z materiálu PLA. Čtvrtý dle hodnot pak byl vzorek zhotoven na 3D tiskárně Anycubic Photon Mono X 6K, metodou SLA, z materiálu Anycubic 3D Printer Resin. Většinou tato metoda bývá jedna z nejpřesnějších, ale u tohoto vzorku došlo v deformaci a z toho důvodu byl vzorek rozměrově nepřesný. Jako nejméně přesný byl vzorek zhotoveny na 3D tiskárně Creality ENDER 3 2V, metodou FDM z materiálu TPU. Nepřesnost byla primárně způsobena bylo důsledkem smrštění použitého materiálu.

Dále bylo vyhodnoceno měření vzorku ve tvaru koule. Zde bylo zjištěno, že nejpřesněji byl vytištěn vzorek na 3D tiskárně Rebel sCube, metodou FDM, z materiálu PLA. Druhý nejpřesnější byl vzorek vytištěny na 3D tiskárně Anycubic Photon Mono X 6K, metodou SLA z materiálu Anycubic 3D Printer Resin. Třetí nejpřesnější byl vzorek vytištěný na 3D tiskárně Creality ENDER 3, metodou FDM, z materiálu PETG. Čtvrtý, dle hodnot přesnosti, byl vytištěný na 3D tiskárně Creality ENDER 3, metodou FDM, z materiálu PLA. Jako nejméně přesný byl vyhodnocen vzorek zhotoveny na 3D tiskárně Creality ENDER 3 2V, metodou FDM z materiálu TPU. Nepřesnost bylo způsobena důsledkem smrštěním použitého materiálu.

Na závěr lze konstatovat, že nejpřesnější 3D tisk byl dosažen na 3D tiskárně Rebel sCube, metodou FDM, z materiálu PLA. Výhodou materiálu PLA je jeho nesmrštivost. Proto bylo možné dosáhnout takové přesnosti, jaké bylo zařízení schopno vytisknout.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HOMOLA, Jan. *Jak přesný je 3D tisk? Co musíte vědět o tolerancích a rozměrové přesnosti u tištěných dílů* [online]. Brno: 3D-tisk.cz, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.3d-tisk.cz/jak-presny-je-3d-tisk-co-musite-vedet-o-tolerancich-a-rozmerove-presnosti-u-tistenych-dilu/
2. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. : il. ; 30 cm. ISBN 978-80-214-4025-8.
3. STŘÍTESKÝ, Ondřej. *Základy 3D tiksu s Josefem Průšou* [online]. Praha: Prusa Research as., 2019 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/#_ga=2.123374923.1769948866.1653049260-1409333386.1653049260
4. CHEN, Guangxue. *Color 3D Printing: Theory, Method, and Application*. IntechOpen, 2016. ISBN 953512479X. Dostupné z: doi:10.5772/63944
5. NOORANI, Rafiq. *3D Printing*. 1. Milton: CRC Press, 2018. ISBN 9781498783750. Dostupné z: doi:10.1201/9781315155494
6. MIKULECKÁ, Kristýna. POSOUZENÍ TECHNOEKONOMICKÉHO VYUŽITÍ NÍZKONÁKLADOVÉ 3D TISKÁRNY. *Mladá veda*[online]. Presov: Vydavatel'stvo UNIVERSUM-EU, s.r.o, 2017, **5**(5), 60-66 [cit. 2022-05-20].
7. Our Story. *3D Systems* [online]. Kanada: 3D Systems, c2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.3dsystems.com/our-story
8. *The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today* [online]. Oakland: Sculpteo, 2019 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/
9. RepRap. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://reprap.org/wiki/RepRap
10. Exo Prosthetic Leg. *Behance* [online]. USA: Behance, 2014 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.behance.net/gallery/20696469/Exo-Prosthetic-Leg
11. The Ultimate Guide: What is 3D Printing?. *Sculpteo* [online]. Oakland: Sculpteo, c2009-2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/what-is-3d-printing/
12. Přehled technologií 3D tisku. *Dk metal prominent s.r.o.* [online]. Libhošť: dk metal prominent, 2018 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologii-3d-tisku
13. Direct Metal Laser Sintering. *CUSTOM PART NET* [online]. USA: CUSTOM PART NET, 2008 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering
14. What is Multijet Printing (MJP)?. *Markforged* [online]. USA: Markforged, c2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-multijet-printing-mjp
15. MATERIÁLY pro tisk technologií FDM. *3D tisk-Online* [online]. Brno: 3D tisk-Online, c2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.3dtisk-online.cz/3d-tisk-brno-prehled-materialu-pro-3d/

16. ANYCUBIC Photon Mono X 6K. In: *ANYCUBIC* [online]. USA: ANYCUBIC, c2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.anycubic.com/products/photon-mono-x-6k
17. Novinky od českých vývojářů #1: Rebel sCUBE dorazí už letos na jaře (rozhovor s Danem Lencem). In: *3d-tisk.cz*[online]. Brno: 3d-tisk.cz, 2017 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.3d-tisk.cz/novinky-od-ceskych-vyvojaru-1-rebel-scube-dorazi-uz-letos-na-jare-rozhovor-s-danem-lencem/
18. Creality ENDER 3. In: *Alza.cz* [online]. Praha: Alza.cz, c1994 - 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.alza.cz/creality-ender-3-d5462906.htm
19. Creality ENDER 3 V2. In: *Alza.cz* [online]. Praha: Alza.cz, c1994–2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.alza.cz/creality-ender-3-v2-d5875570.htm

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratky

Označení	Legenda
3D	trojrozměrný
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
BJ	Binder Jetting
CAD	Computer Aided Design
DLP	Digital Light Processing
DMSL	Direc Metal Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJF	Multi Jet Fusion
MJP	Multi Jet Printing
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát
PETG	Polyethylentereftalát - glykol
PLA	Polylactic acid
SHS	Selective Heat Sintering
SLA	Stereolitografie
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Standard Triangle Language
TPU	Termoplastický polyuretan
UV	ultrafialové záření