



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra techniky a kybernetiky

Bakalářská práce

Porovnání plastových výtisků vyrobených na vybraných
modelech 3D tiskáren

Autor práce: Daniel Janovský

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Zoubek

České Budějovice
2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním mechanických vlastností a kvality povrchu u vybraných zkušebních vzorků vytištěných na třech různých 3D tiskárnách, které používají jako vstupní materiál PET-G. Na vytištěných vzorcích byly prováděny celkem tři zkoušky porovnávající jejich mechanické vlastnosti, konkrétně tahová zkouška, zkouška vrubové houževnatosti a optická zkouška kvality povrchu. Pro tištění vzorků byly použity odlišné 3D tiskárny, kterými jsou Creality Ender-3 V2, PRUSA i3 MK3 a upravená tiskárna Tevo Tarantula s vyměněnými komponenty. Modely byly pro 3D tisk zpracovány slicerem PrusaSlicer.

Klíčová slova: mechanické vlastnosti, kvalita povrchu, PET-G, technologie 3D tisku

Abstract

In this Bachelor Thesis I am comparing mechanical properties and a surface quality of selected samples, which were printed out using three different 3D printers. Input material used for all three printers was plastic. A total of three tests will be performed on the printed samples to compare their properties, namely material tensile test, notch impact test and optical surface quality test. Different 3D printers will be used to print the samples, which are the Creality Ender-3 V2, the PRUSA i3 MK3 and a modified Tevo Tarantula printer with replaced components. The models were processed for 3D printing with PrusaSlicer.

Keywords: mechanical properties, surface quality, PET-G, 3D print technology

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce Mgr. Tomáši Zoubkovi za odbornou přípravu a metodologickou pomoc při zpracování mé práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Františku Špalkovi Ph.D. za pomoc s přípravou zkušebních vzorků.

Obsah

Úvod.....	8
1 Technologie aditivní výroby	9
1.1 Historie	9
1.2 Použité 3D tiskárny a jejich nastavení	10
1.2.1 Creality Ender-3 V2	10
1.2.2 PRUSA i3 MK3	12
1.2.3 Tevo Tarantula	13
1.3 Druhy technologie tisku	14
1.3.1 FDM/FFF	16
1.3.2 SLS.....	19
1.3.3 SLA	20
1.3.4 SLM	21
1.3.5 EBM.....	22
1.3.6 MJF	22
1.3.7 3D tisk domů.....	23
1.3.8 3D biotisk.....	23
1.4 Druhy materiálů.....	25
1.4.1 PET/PET-G	26
1.4.2 PLA	27
1.4.3 ABS.....	27
1.4.4 FLEX.....	28
1.4.5 Kompozitní materiály.....	28
1.4.6 Pryskyřice/Fotopolymery/Resiny.....	28
1.4.7 Kovy.....	29
1.5 Využití.....	29

1.5.1	Strojní průmysl.....	29
1.5.2	Architektura a stavební průmysl	30
1.5.3	Lékařský průmysl.....	31
1.5.4	Potravinářský průmysl	32
1.5.5	Osobní účely	33
2	Cíl práce	34
3	Metodika	35
3.1	Tvorba a příprava 3D modelů.....	35
3.1.1	Vzorek pro zkoušku materiálu v tahu	36
3.1.2	Vzorek pro zkoušku vrubové houževnatosti	36
3.1.3	Vzorek pro optickou zkoušku	37
3.2	Úprava vytištěných vzorků.....	37
3.3	Metodika experimentálních zkoušek.....	37
3.3.1	Zkouška vrubové houževnatosti.....	38
3.3.2	Zkouška materiálu v tahu	39
3.3.3	Optická zkouška kvality povrchu.....	42
4	Výsledky a diskuse.....	44
4.1	Časy a teploty během tisku.....	44
4.2	Zkouška vrubové houževnatosti	46
4.2.1	Vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2	47
4.2.2	Vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3	47
4.2.3	Vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula	48
4.2.4	Porovnání zkoušek vrubové houževnatosti.....	48
4.3	Zkouška materiálu v tahu	49
4.3.1	Vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2	49
4.3.2	Vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3	50
4.3.3	Vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula	51

4.3.4	Porovnání zkoušek materiálu v tahu	52
4.4	Optická zkouška kvality povrchu	53
4.4.1	Vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2	53
4.4.2	Vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3	54
4.4.3	Vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula	55
4.4.4	Porovnání optické zkoušky kvality povrchu	56
	Závěr	57
	Seznam použité literatury	58
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	66

Úvod

3D tisk nebo také aditivní technologie výroby je ve své podstatě automatizovaný proces přeměny digitálního modelu na třídimenzionální fyzický objekt. K tomuto procesu se využívají stroje zvané 3D tiskárny, které mohou jako vstup využívat velkou škálu materiálů v závislosti na odvětví výroby a účelu konkrétního výrobku.

Tento způsob výroby je specifický především tím, že na rozdíl od jiných způsobů se zde materiál nanáší ve vrstvách na sebe místo toho, aby byl ubírán. Výhody 3D tisku spočívají v možnosti vytvářet i tvarově náročné součásti, které jinými způsoby budeme vyrábět velmi složitě, anebo to ani nejde.

3D tisk se stal velmi populárním a užitečným v mnoha odvětvích, to je možné právě díky snadné, ale zároveň velmi přesné výrobě tvarově složitých součástí a také díky rozmanitému výběru používaných materiálů. 3D tisk se dnes běžně používá ve strojírenském a stavebním průmyslu, nebo například v lékařství.

Existuje několik různorodých druhů technologií používaných pro 3D tisk, v zásadě se jedná o tři základní a nejčastěji používané technologie. Všechny tyto technologie mají společný postup vrstvení materiálu na sebe. Mezi základní technologie, které se používají nejčastěji patří například technologie FDM (fused deposition modeling) a FFF (fused filament fabrication), tyto technologie lze považovat za totožné. Další ze základních technologií je technologie SLA (Stereolitografie) a jako třetí z tohoto základního rozdělení je technologie SLS (Selective laser sintering).

Kromě těchto základních technologií existují ještě některé technologie speciální, které jsou méně používané. Mezi tyto speciální technologie lze zařadit například SLM (Selective laser melting) používanou pro 3D tisk kovů anebo také technologie pro 3D tisk domů, která využívá jako vstupní materiál beton. Mezi nejnovější technologie 3D tisku můžeme zařadit 3D tisk orgánů nebo potravin.

Materiálů používaných jako filament pro 3D tiskárny je mnoho, ale lze je zjednodušeně rozdělit na plasty, pryskyřice, kovy a pro speciální technologie například beton, jedlá hmota pro tištění orgánů a biologický materiál pro tištění orgánů.

Jak lze vidět, v současnosti existuje nespočet technologií a materiálů využívaných pro 3D tisk, a ještě více je výrobců samotných tiskáren pohybujících se v různých cenových hladinách. Výrobci udávají pouze parametry svých tiskáren a jejich porovnávání se často omezuje pouze na preciznost tisku, popřípadě čas tisku. Téměř nikde se ovšem neberou v potaz mechanické vlastnosti samotných výtisků.

1 Technologie aditivní výroby

1.1 Historie

První zmínky o 3D tisku se objevily v 80. letech 20. století v Japonsku. Impulzem pro pokus o vývin této technologie v roce 1981 byla především snaha člověka jménem Hideo Kodama o nalezení snadného a poměrně levného způsobu výroby prototypů. Nakonec přišel s metodou nanášení vrstev s využitím fotocitlivé pryskyřice, která je následně polymerizována UV světlem. O několik let později přišli francouzští vědci s podobnou, avšak ne totožnou metodou, která spočívala ve vytvrzování kapalných monomerů za pomoci laseru. Přestože jsou tyto objevy považovány za počátky 3D tisku, jak ho známe dnes, tak nebyly nikdy patentovány. S prvním patentem přišel až Chuck Hall v roce 1986, nechal si patentovat takzvanou stereolitografii (SLA) a dva roky poté založil svou firmu 3D Systems Corporation, která jako první zahájila komerční prodej 3D tiskáren s technologií SLA viz obr. 1.1 (ultimaker.com, 2022; Stříteský et al., 2019; fs.cvut.cz, 2022a)



Obrázek 1.1: První SLA 3D tiskárna Apparatus (fs.cvut.cz, 2022)

S dalším patentem přišel v roce 1988 Carl Deckard. Nechal si patentovat svou technologii Selective Laser Sintering (SLS). V podobnou dobu byla také patentována technologie Fused Deposition Modeling (FDM), se kterou se dnes běžně setkáváme.

Tyto tři hlavní technologie, které jsou podrobněji představeny dále v této kapitole, byly základem pro rozvoj 3D tisku. Během 90. let se začalo objevovat mnoho firem, které experimentovali s aditivní technologií. (ultimaker.com, 2022; Stříteský et al., 2019; fs.cvut.cz, 2022a)

K zásadní změně ve strojařském průmyslu došlo v roce 2006, kdy se začala komerčně prodávat první 3D tiskárna s technologií SLS. Dalším přelomovým bodem bylo vytištění první protetické nohy v roce 2008. V roce 2009 byly patenty dány do veřejné sféry a tím se otevřely neomezené možnosti pro výzkum a inovaci aditivní technologie. (ultimaker.com, 2022; Strítěský et al., 2019; fs.cvut.cz, 2022a)

1.2 Použité 3D tiskárny a jejich nastavení

3D tiskárny použité v této práci jsou od třech různých výrobců, nicméně používají stejnou technologii výroby tisknutých součástí a tou je technologie FDM. Při tisku byla na všech tiskárnách použita tryska o průměru 0,4 mm.

1.2.1 Creality Ender-3 V2

3D tiskárna Creality Ender 3 V2 je nejnovějším modelem z řady 3D tiskáren Ender 3 od firmy Creality, která používá technologii tisku FDM viz obr.1.2.(vseumel.cz, 2023; crealitystore.cz, 2023)



Obrázek 1.2: 3D tiskárna Creality Ender-3 V2

Odlišnost od předchozích modelů v první řadě spočívá ve znatelně nižší hlučnosti díky nové základní desce s tichým krokovým ovladačem TMC2208, ale také ve vylepšení

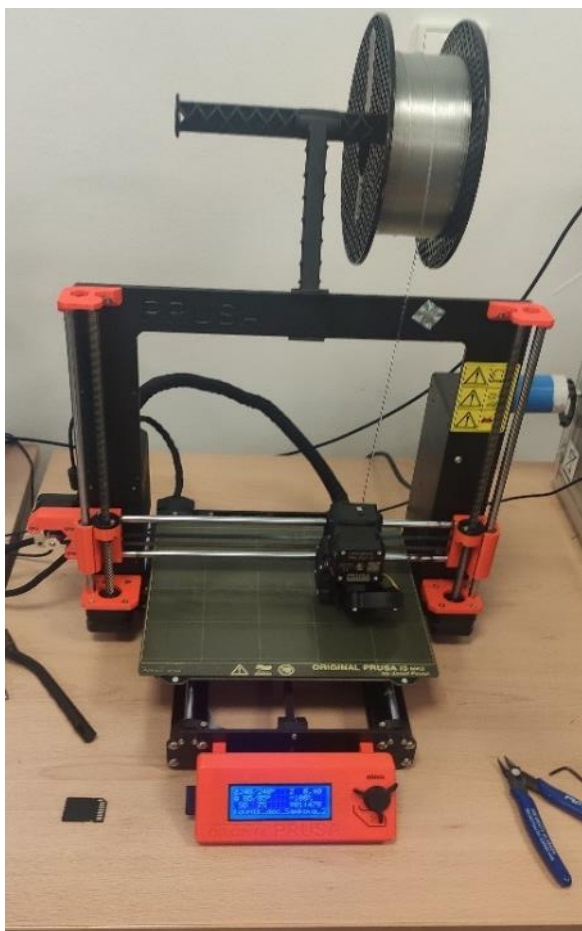
topného článku. Za zmínku také stojí vylepšený podavač vlákna a senzor vlákna, který umožňuje plynule navázat předchozí výtisk v místě přerušení. 3D tiskárna je také vybavena LCD displayem, který umožňuje přehledné ovládání. Parametry této tiskárny jsou uvedeny v tab.1. (vseumel.cz, 2023; crealitystore.cz, 2023)

Tabulka 1: Technické parametry 3D tiskárny Creality Ender-3 V2 (crealitystore.cz, 2023)

Technika formování	FDM
Velikost 3D tiskárny	438x424x472 mm
Velikost tiskové plochy	220x220x250 mm
Hmotnost 3D tiskárny	7,8 kg
Přesnost tisku	$\pm 0,1$ mm
Rychlost tisku	$\leq 120 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
Teplota podložky	≤ 100 °C
Teplota trysky	≤ 260 °C
Tloušťka vrstvy	0,1-0,4 mm
Přenos souborů	USB, paměťová karta
Slicer	Creality, Cura, Pepetier-Host, Simplify3D
Formát souboru	STL, OBJ, AMF
Podpora OS	WindowXP/7/8/10, MAC, Linux
Jmenovité napětí	Vstup 100-120V, 200-240V AC
Jmenovitý výkon	350 W
BL-Touch	ANO
Detekce filamentu	NE
Obnova tisku po výpadku napájení	ANO
Display	4.3" colour screen
Základová deska	32-bit, tichá
Extruder	kovový
Tisková podložka	PC spring steel magnetic
Materiál	PLA / TPU / PETG / ABS / dřevo

1.2.2 PRUSA i3 MK3

3D tiskárna Prusa i3 MK3 je novým modelem svého předchůdce Prusa i3 MK2, které pocházejí z firmy Českého podnikatele Josefa Průši viz obr. 1.3. Tiskárna používá technologii FDM a je schopna tisknout z velkého množství filamentů. (help.prusa3d.com, 2023)



Obrázek 1.3: 3D tiskárna PRUSA i3 MK3

Tiskárna má díky použití driverů Trinamic 2130 tišší chod než přechází modely, drivers navíc umožňují přesný tisk o rychlosti přibližně $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, k tichému chodu také napomáhají tiché větráčky, které slouží ke chlazení. Dále má tiskárna schopnost díky moderní základní desce EINSY RAMBO rozpoznat ztracené kroky a posunuté vrstvy a plynule na výtisk navázat. Tiskárna také disponuje senzorem filamentu, který je schopný sledovat přítomnost i pohyb filamentu. Za zmínku také stojí vyhřívaná magnetická podložka s vyměnitelnými tiskovými pláty s práškovým PEI povrchem, nebo schopnost automatická kalibrace a bezsenzorový homing. Parametry této tiskárny jsou blíže specifikovány v tab. 2. (heureka.cz, 2023; help.prusa3d.com, 2023)

Tabulka 2: Technické parametry 3D tiskárny PRUSA i3 MK3 (help.prusa3d.com, 2023)

Maximální rozměry tisku	250×210×210 mm
Výška vrstvy	0,05-0,35 mm
Tryska	0,4 mm jako základ, široká nabídka dalších podporovaných průměrů trysek
Průměr filamentu	1,75 mm
Podporované materiály	PLA, PETG, ASA, ABS, PC, CPE, PVA/BVOH, PVB, HIPS, PP, Flex, nGen, Nylon
Maximální rychlost posuvu	200 mm·s ⁻¹
Maximální teplota trysky	300 °C
Maximální teplota podložky	120 °C
Extruder	Přímý pohon, Bondtech podávací kolečka, hotend E3D V6
Tiskový povrch	Odnímatelné magnetické ocelové tiskové pláty s různými povrchy, vyhřívaná podložka s kompenzací studených rohů
Velikost tiskárny	500×550×400 mm
Spotřeba energie	PLA: 80 W, ABS: 120 W

1.2.3 Tevo Tarantula

Pro svou práci jsem použil 3D tiskárnu Tevo Tarantula, která má vyměněné velké množství komponentů, které zde budou popsány viz obr. 1.4. Tiskárna Tevo Tarantula je v originální verzi velmi jednoduchou a levnou verzí 3D tiskárny, je tedy vhodnou tiskárnou pro začátečníky. Výhodou této tiskárny je pevný rám a celkově poměrně odolná konstrukce, díky které je schopná pracovat při vysokých teplotách, nevýhodou naopak může být například poměrně malá pracovní plocha, která má rozměry pouze 200x200x200 mm. V základní verzi je tiskárna vybavena jednoduchým, snadno ovladatelným LCD displayem. Tevo Tarantula podporuje použití SD karet. Rychlost tisku této 3D tiskárny se pohybuje okolo 150 mm·s⁻¹. (letemsvetemapplem.eu, 2018)

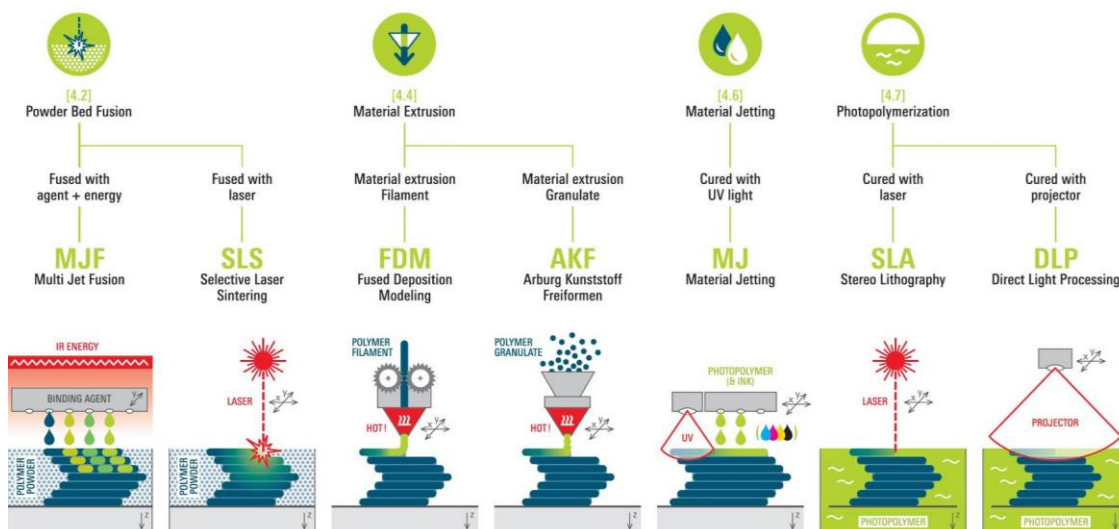


Obrázek 1.4: 3D tiskárna Tevo Tarantula s vyměněnými komponenty

Nejdůležitější část, která byla v této tiskárně nahrazena, je základová deska, původní deska byla nahrazena novou BIGTREETECH SKR V1.3. Další důležitou součástí, která byla nahrazena, jsou drivery. Jako nové drivery byl použit model LV8729. Vyměněn byl také extruder a byl použit model Reprap MK8 a CR10.

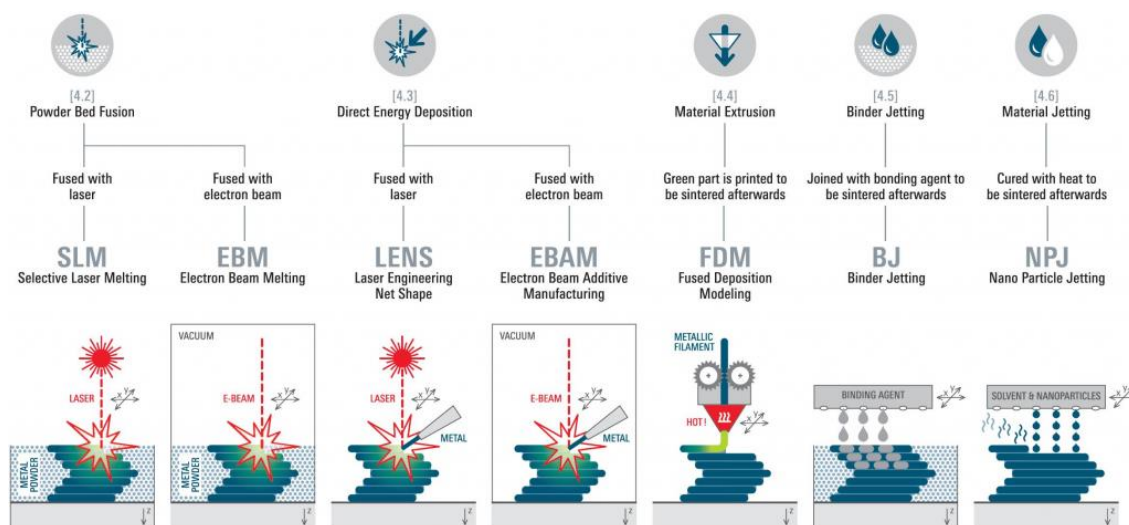
1.3 Druhy technologie tisku

Druhů technologie 3D tisku je několik, lze je rozdělit podle vstupního materiálu na tisk z plastu, kovu a ostatních materiálů. Mezi technologie, které používají jako vstupní materiál plast se řadí například FDM/FFF, SLS, SLA, MJ (material jetting), MJF (multi jet fusion), a také DLP (direct light processing) viz obr. 1.5. (matca.cz, 2023)



Obrázek 1.5: Rozdělení technologií používajících plast jako vstupní materiál (matca.cz, 2023)

Druhým běžně používaným materiálem je kov, kovů je několik druhů a pracuje s ním několik technologií aditivní výroby, jako například SLM, FDM, EBM (electron beam melting), BJ (binder jetting), nebo také NPJ (nano particle jetting) viz obr. 1.6. (matca.cz, 2023)



Obrázek 1.6: Rozdělení technologií používajících kov jako vstupní materiál (matca.cz, 2023)

Dalšími zajímavými technologiemi jsou například 3D tisk budov za použití betonu, 3D tisk náhradních orgánů používaný v lékařství a v nedávné době se objevila i poměrně zajímavá technologie pro 3D tisk potravin, ta je ovšem opravdu v počátku. Všechny tyto technologie spočívají na stejném principu, kterým je postupné nanášení vrstev na sebe. (Alvarado et al., 2021; Vermulen et al., 2017; Galdeano, 2015)

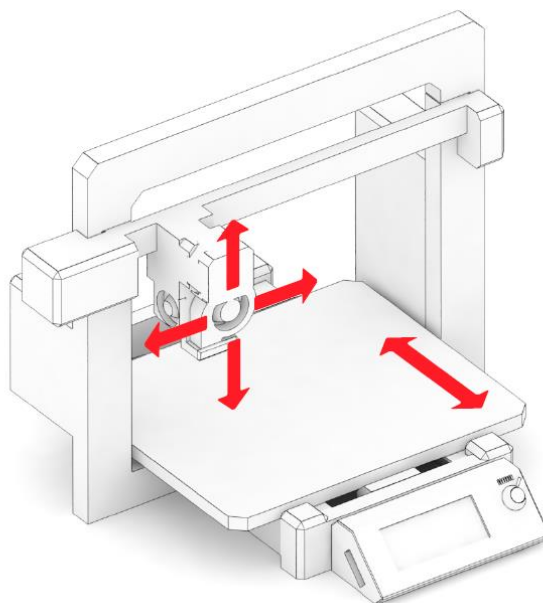
1.3.1 FDM/FFF

V současnosti se jedná o nejrozšířenější a cenově nejdostupnější technologii aditivní výroby. Tato technologie funguje na principu postupného nanášení vrstev nataveného termoplastu, který je do tiskové hlavy dodáván ve formě struny nebo granulátu. Dodávanému materiálu se také říká filament. Filamentové struny se vyrábějí z různých druhů plastů viz tab.3. Šířka struny může být buď 3 mm, nebo 1,75 mm, ta se dnes používá primárně. Velká výhoda této metody spočívá v tom, že práce s filamentem je bezpečná a také velmi jednoduchá. Výška tištěné vrstvy se běžně pohybuje v rozmezí hodnot od 0,05 mm až do 0,3 mm. Výsledná kvalita vytištěného produktu je závislá především na parametrech tiskárny i materiálu, nicméně na většině výtisků jsou znatelné jednotlivé vrstvy. Tiskárny používající tuto technologii můžeme rozdělit podle toho, jakým způsobem se pohybují v trojrozměrném prostoru. (Torta, 2019; Stříteský et al., 2019; fs.cvut.cz, 2022b)

Tabulka 3: Orientační ceny nejčastěji používaných materiálů (3djake.com, 2023)

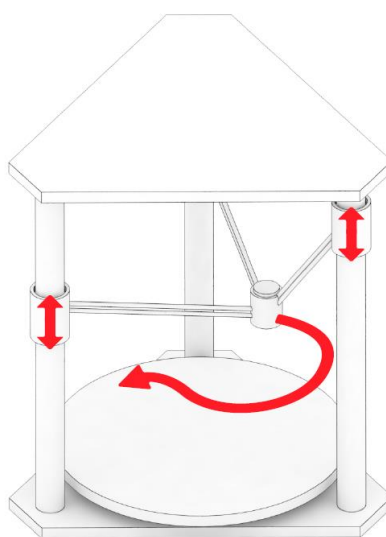
Materiál	Orientační cena v Kč za 1 kg
PLA	300-600
PET	500-800
ABS	700-900
FLEX	800-1200
Nylon	1200-1800

Asi nejčastěji používaným typem těchto tiskáren je takzvaná kartézská, ta se pohybuje ve třech základních osách, kterými jsou osy x, y a z, viz obr. 1.7. Extruder se pohybuje v osách x a z, podložka následně v ose y. (help.prusa3d.com, 2023)



Obrázek 1.7: Osy pohybu kartézské tiskárny (Stříteský et al., 2019)

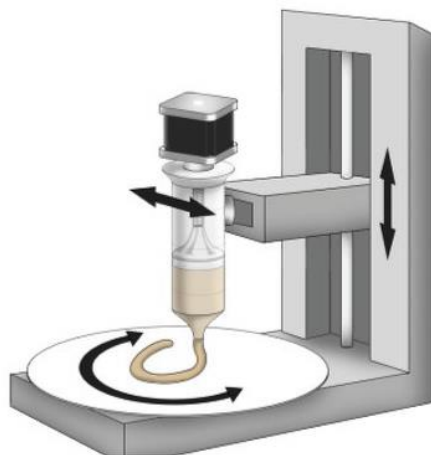
O něco méně používanou je takzvaná delta tiskárna, ta využívá extrudér zavěšený na třech ramenech viz obr. 1.8. Toto konstrukční řešení dává této tiskárně poměrně velký pracovní prostor, a to především v ose z. Nevýhodou této tiskárny je její poměrně náročné nastavení, tiskárna musí být sestavena přesně a musí být správně zkalibrována. (help.prusa3d.com, 2023)



Obrázek 1.8: Osy pohybu delta tiskárny (Stříteský et al., 2019)

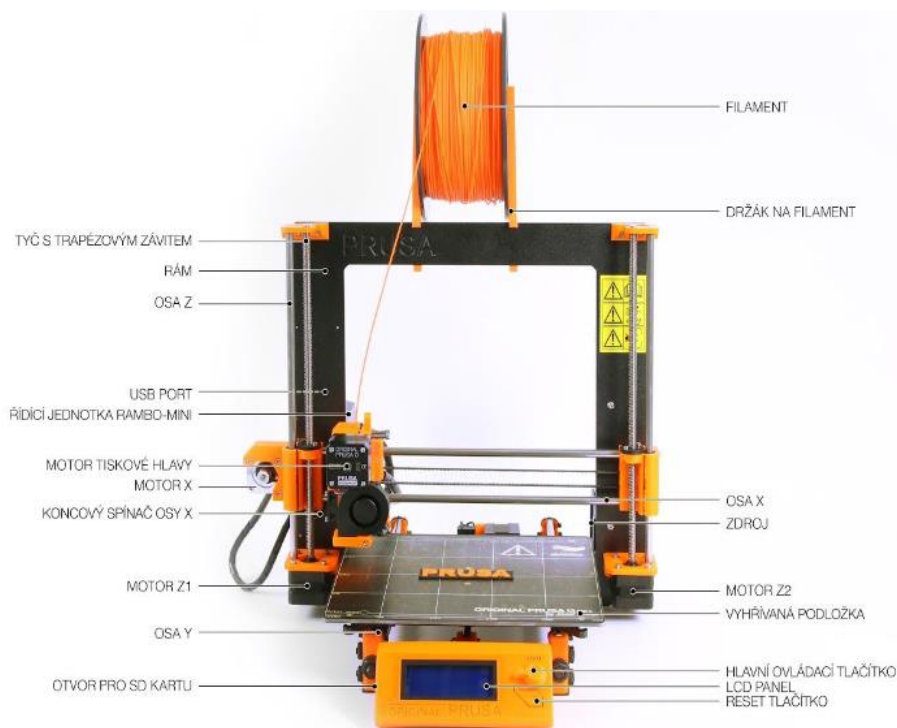
Nejméně používanou je takzvaná polar tiskárna, ta funguje na polárním pohybu extrudéru ve dvou osách a rotačním pohybu podložky viz obr. 1.9. Sám o sobě je tento

system konstrukčně jednoduchý, ale příprava a převod modelu jsou o poznání složitější. (help.prusa3d.com, 2023)



Obrázek 1.9: Osy pohybu polar tiskárny (vlabs.ac.in, 2023)

Konstrukce všech tiskáren pracujících s technologií FDM se skládá z několika hlavních částí, mezi které patří extruder, vyhřívaná podložka, rám, krokové motory a řídicí deska viz obr. 1.10.



Obrázek 1.10: Jednotlivé části FDM tiskárny (help.prusa3d.com, 2023)

Extruder, nebo také tisková hlava, je asi tou nejvíce podstatnou součástí celé tiskárny, jelikož především na ní záleží kvalita tisku. Jejím úkolem je tavit vstupní materiál a

nanášet ho do jednotlivých vrstev. Do extruderu putuje filament skrze teflonovou trubičku, dále je dodáván do chladiče neboli heat sinku, jehož úkolem je odvést teplo a snížit tak oblast mezi nataveným a pevným filamentem. Natavený filament je následně vytlačován ven skrze trysku. Tryska je vyměnitelná a její průměr má vliv na kvalitu a dobu tisku výsledného produktu. Nejčastěji používanou a dá se říct i základní je tryska o průměru 0,4 mm, nicméně existují i trysky s průměry 0,5 mm, 0,6 mm, dále 0,8 mm, 1 mm a 1,2 mm. (Hanzlíček, 2019; Stříteský et al., 2019; Torta, 2019)

Vyhřívanou podložku nalezneme téměř na všech modernějších tiskárnách a jejím účelem je zabránit kroucení materiálu kvůli příliš rychlému chladnutí. Toto je potřeba především u materiálů s výraznou tepelnou roztažností viz tab. 4.

Tabulka 4: Doporučené teploty předehřátí pro různé materiály (futlab.cc, 2023)

Materiál	Teplota trysky [°C]	Teplota podložky [°C]
PLA	200-235	50-60
ABS	230-240	90-100
PET	220-250	70-80
FLEX	210-230	50
Nylon	260	115
Kompozitní materiály	240-275	75-110

Dalším dílem 3D tiskáren je rám. Rám je v podstatě základní nosná konstrukce celé tiskárny, ke které jsou připevněny ostatní komponenty. Rám by měl být především pevný a měl by co nejlépe tlumit vibrace a tím i zlepšovat kvalitu výsledného tisku.

Krokové motory mají na starost veškeré mechanické pohyby extruderu a také podložky. V tiskárně je pak přítomen ještě jeden samostatný motor, který slouží k posunu materiálu.

Tím nejzákladnějším dílem celé tiskárny je řídicí jednotka a to proto, že má na starost chod celé tiskárny. U 3D tiskáren je její primární funkcí zpracování vstupního G-code na samotné pohyby extruderu a podložky a další procesy. (Hanzlíček, 2019; Stříteský et al., 2019; Torta, 2019)

1.3.2 SLS

Na rozdíl od předchozí metody je zde na podložku nanášen materiál ve formě prášku. Prášek je následně za pomoci laseru spečen v určitých bodech, následně se podložka posune níže a je spékána další vrstva, tímto způsobem postupně vzniká požadovaný

tvár výsledného výtisku. Tuto technologii lze použít pro 3D tisk z plastu, kovu či keramiky. Po dokončení tisku je výsledný výtisk v podstatě celý zasypaný ve vrstvě prášku, proto je nutné u dutých výtisků nechat otvor pro vyčištění. Zbylý prášek je možné znovu použít. Tato technologie má své výhody, ale i nevýhody viz tab.5. (cotu.cz, 2019; Chua et al., 2017; fs.cvut.cz, 2022b)

Tabulka 5: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie SLS (cotu.cz, 2019)

Výhody	Nevýhody
Není potřeba používat při tisku podpory	Obtížné čištění tiskárny a výtisku
Pevné a odolné výtisky	Póry na povrchu výtisku
Vysoká chemická odolnost	Vysoká pořizovací cena tiskárny i materiálu
Možnost následných povrchových úprav	Velká spotřeba materiálu
	Omezené množství použitelných materiálů

1.3.3 SLA

Tato technologie funguje na principu vytvrzování světlocitlivé pryskyřice za použití UV záření. Jedná se o nejstarší a jednou z nejpresnějších v současnosti dostupných technologií. Disponuje také velkým množstvím výhod, viz tab. 6. Nanesená vrstva pryskyřice je vytvrzena v požadovaných bodech, podložka se následně posune o výšku vrstvy a celý proces je opakován až do vytvoření výsledného výtisku. Výška tištěné vrstvy se pohybuje od 0,05 mm až do 0,25 mm. Tato technologie se velmi často používá v lékařství, a to právě díky své vysoké přesnosti. Podle způsobu ozařování materiálu lze tuto technologii rozdělit na SLA, DLP (Digital light processing) a MSLA (Mask stereolithography).

SLA je tou základní technologií a je při ní materiál ozařován UV laserovým paprskem, který postupně vykresluje požadovaný tvar. Délka tisku je závislá na tištěné ploše.

DLP technologie se liší tím, že při ní dochází k ozáření celé tiskové vrstvy najednou pomocí digitálního projektoru. Díky tomuto principu je doba tisku jedné vrstvy fixní, tudíž se jeden výrobek bude tisknout stejně dlouho jako tři výrobky na jednou.

Poslední verzí této technologie je MSLA. Zde dochází k maskování tiskové vrstvy LCD displejem a následnému ozáření UV LED světlem. Polymery se tedy vytvrdí

pouze tam, kde jsou aktivované pixely. Stejně jako u předchozího principu se ozařuje celá tisková vrstva najednou, a tudíž je i zde doba tisku jedné vrstvy fixní. (cotu.cz, 2019; Stříteský et al., 2019; fs.cvut.cz, 2022b)

Tabulka 6: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie SLA (fs.cvut.cz (b), 2022)

Výhody	Nevýhody
Přesnost tisku	Toxicita materiálu
Nízké náklady na materiál	Nutnost podpor pro tisk
Rychlost tisku	Vysoká pořizovací cena tiskárny
Trvanlivost výsledného výtisku	

1.3.4 SLM

Tato technologie je velmi účinná především pro výrobu tvarově složitých součástek z kovu. Princip je zde stejný jako u technologie SLS, prášek je nanášen na pracovní podložku a poté je ve vrstvách spékán výkonným laserem, nicméně má jednu odlišnost a tou je, že při této metodě, na rozdíl od metody SLS, je materiál roztaven do kapalného stavu a tím vzniká homogenní výrobek. Proces tisknutí probíhá v ochranné atmosféře inertních plynů, jako jsou například argon a dusík. Pro tisk za použití této technologie se používají různé druhy kovů a slitin, použít lze například měď, hliník, ocel, kobalt, chrom, titan, platinu, nebo i wolfram. Všechny tyto kovy musí být před použitím rozemlety na velmi jemný prášek. Součástky vyrobené touto metodou jsou velmi pevné a houževnaté a vynikají jemným povrchem viz tab. 7. Po vytištění je nutné nechat součástky po určitou dobu ve vysokoteplotní peci, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností. Díly vyrobené touto technologií je možné povrchově upravovat například broušením, leštěním, ale i jinými způsoby obrábění. (3dtech.cz, 2016; Kumar et al., 2019; cotu.cz, 2023)

Tabulka 7: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie SLM (3dtech.cz, 2016)

Výhody	Nevýhody
Jemný tisk	Možnost použití pouze kovových materiálů
Výroba tvarově složitých dílů	Nutnost tisku v ochranné atmosféře
Houževnatost a pevnost výrobků	Vysoká pořizovací cena tiskárny

1.3.5 EBM

Při použití této technologie je materiál vložen do vakua, kde je pomocí elektronového paprsku roztaven přibližně na 2000 °C a poté spojen. Materiálem použitým pro tuto technologii může být kovový drát, nebo prášek, při použití kovového prášku je tato technologie velmi podobná technologii SLM. Kvůli přítomnému vakuu během tisku je tato technologie vhodná pro práci s reaktivními materiály, jako je například titan a jeho slitiny viz tab. 8. (cotu.cz, 2019; matca.cz, 2023)

Tabulka 8: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie EBM (cotu.cz, 2019)

Výhody	Nevýhody
Možnost použití reaktivních materiálů	Velmi vysoká pořizovací cena tiskárny
Lze použít materiál ve formě prášku i drátu	Nutnost povrchových úprav výtisku
Lze ovlivnit pórovitost povrchu	Nutná pravidelná preventivní údržba
Velmi přesný tisk	Materiál musí být čistý

1.3.6 MJF

Při použití této technologie dochází ke spékání polymerového prášku pomocí inkoustu a infračerveného záření. Na tiskovou podložku je rozložena jemná vrstva polymerového prášku, která je ohřata téměř na teplotu tání. Na tuto vrstvu je posléze nanesen inkoustová mlha v požadovaném tvaru dané vrstvy, ta potom napomáhá absorpci infračerveného záření. Po nanesení inkoustu na vrstvu začne působit infračervená lampa, která daná místa vytvrdí. Tuto technologii lze použít za účelem snížení nákladnosti 3D tisku viz tab. 9. Prášek, který zůstane po dokončení tisku je možné znovu použít. (cotu.cz, 2019; matca.cz, 2023)

Tabulka 9: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie MJF (cotu.cz, 2019)

Výhody	Nevýhody
Vysoká rychlost tisku	Porézní povrch výtisků
Dobrá kvalita detailů	Vysoká pořizovací cena tiskárny
Nízké provozní náklady	Lze použít pouze polymerový prášek
Znatelná úspora materiálu v porovnání s ostatními metodami	Patentovaná technologie vyvíjená pouze jednou společností

1.3.7 3D tisk domů

Tato technologie ještě není plně rozvinuta, nicméně již existuje mnoho konceptů po celém světě. Princip této technologie je totožný s běžnými formami 3D tisku, především s technologií FDM. Samotné 3D tiskárny jsou většinou řešeny buď jako pojízdný portál, nebo jako robotická paže. Jako materiál pro 3D tisk budov se používá speciálně upravená směs rychleschnoucího betonu s velikostí zrn do 4 mm. Samotné stěny budov mohou mít různou výplň, ať už z betonu, izolačních materiálů či ocelových výztuží. Stavební 3D tiskárny jsou konstruovány do venkovních podmínek, tudíž není problém budovy tisknout přímo na místě, kde mají být postaveny viz obr. 1.11. Výhodou této technologie je poměrně velká rychlost tisku a taky nižší náklady než u běžné stavby. Naopak nevýhodou může být například pouze jeden možný stavební materiál v podobě betonu. (Alvarado et al., 2021; Hager et al., 2016; fs.cvut.cz, 2022b)

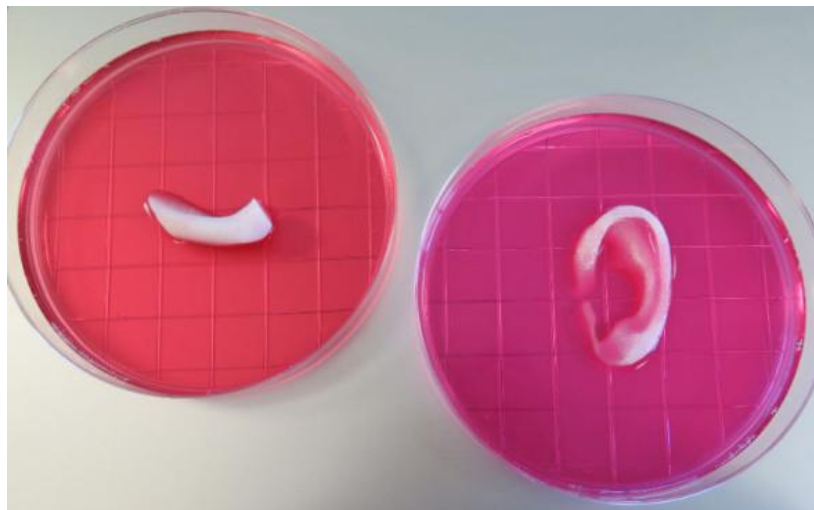


Obrázek 1.11: 3D tisk rodinného domu (all3dp.com, 2022)

1.3.8 3D biotisk

Koncept této technologie je opět stejný jako u všech ostatních, proces výroby spočívá v postupném nanášení vrstev materiálu na sebe až do vytvoření požadovaného produktu, nicméně samotný proces tisku je mnohem komplexnější a složitější. Jedná se o poměrně novou technologii, a tudíž existuje i mnoho různých variant a prototypů. Každá taková tiskárna zvládne trochu něco jiného. Prvotním cílem této technologie je možnost vytvoření živé tkáně, ať už lidské či zvířecí, kterou lze následně implantovat do těla viz obr. 1.12. Některé z posledních tiskáren jsou schopny tisknout tkáň přímo na určené místo uvnitř těla. Technologii 3D biotisku lze rozdělit do třech podkategorií,

podle toho, jakého principu výroby používají. Lze ji rozdělit na extruzní biotisk, biotisk pomocí laseru a inkoustový biotisk neboli inkjet. (Vermulen et al., 2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021)



Obrázek 1.12: Ucho z živé tkáně vyrobené pomocí 3D biotisku (svethardware.cz, 2016)

Extruzivní biotisk je metoda založená na vytlačování materiálu. Pro tuto metodu se používají tři druhy tiskových hlav a těmi jsou pneumatické, pístové a šroubové. Tisková hlava vytlačuje materiál uložený v zásobníku, kterým je nejčastěji stříkačka. Materiál je vytlačován přes mikrotrysku, ta může mít tvar jehly, nebo kónické špičky. (Vermulen et al., 2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021)

Metoda inkoustového biotisku funguje na základě tryskání materiálu na podložku. Inkoustový biotisk můžeme dále rozdělit podle principu na kterém funguje na termální a piezoelektrický typ. Termální typ zvyšuje teplotu materiálu pomocí ohřívače. Zvýšená teplota materiálu způsobí vznik bublin, které se postupně rozpínají. Bubliny se následně přemění v kapku, která dopadne na určené místo na podložce. Piezoelektrický typ naopak využívá k vytlačení kapky pulz, který vznikne průchodem elektrického proudu. (Vermulen et al., 2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021)

Poslední metodou je biotisk za použití laseru. Kapičky materiálu jsou zde nanášeny díky laserem indukovanému přenosu. Tiskárna využívající tuto metodu obsahuje pulzní laserový paprsek a pásku či folii obsahující materiál. Folie s materiálem absorbuje energii z laseru, která vytvoří na povrchu materiálu bublinu. Bublina následně vymrští kapičky materiálu na požadované místo. Oproti předchozím metodám zde nedochází k ucpávání trysky a také lze díky této metodě manipulovat s jednotlivými kapičkami a tím i přesně korigovat jejich umístění. Nevýhodou této metody je fakt, že

oproti předchozím metodám zde může docházet ke smrti buněk způsobené účinky laseru. (Vermulen et al.,2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021)

Jako základní stavební materiál pro tyto tiskárny se používají takzvané hydrogely na bázi polymerů, které jsou smíchány s buňkami. Nejčastěji používaným hydrogelem je PEG (polyethylenglykol) a pro podpory mohou být použity i další biologicky rozložitelné polymery. (Vermulen et al.,2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021)

1.4 Druhy materiálů

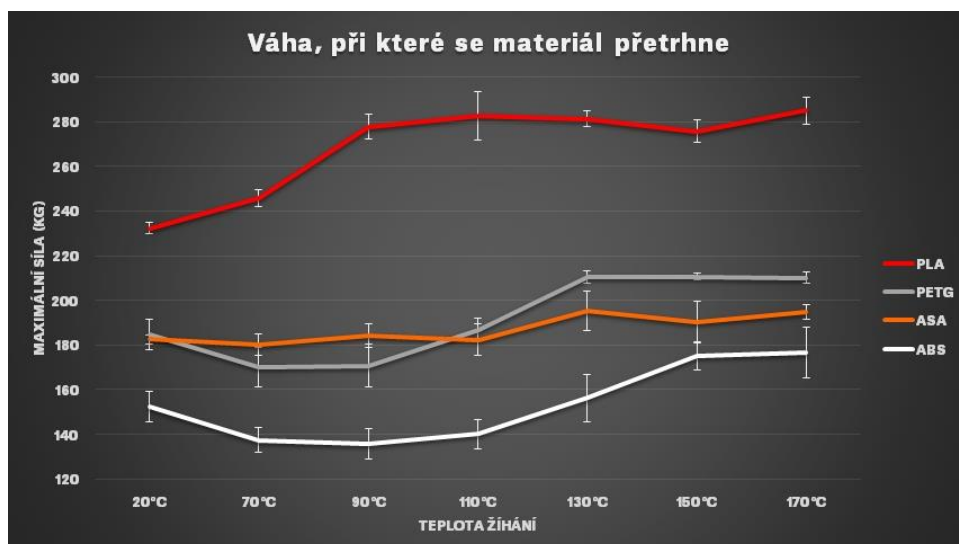
Při výrobě za použití technologie 3D tisku máme na výběr z opravdu široké škály materiálů, kde každý z nich má jiné vlastnosti a požadavky a využívá odlišné technologie 3D tisku. Materiály využívané pro technologii aditivní výroby by se dali rozdělit na tiskové struny, pryskyřice, kovy a speciální materiály viz tab. 10. (Protocast s.r.o., 2023)

Tabulka 10: Materiály používané pro jednotlivé technologie (Protocast s.r.o., 2023)

Technologie	Používané materiály
FDM/FFF	PLA, ABS, PC, PC-ABS, PET, XT, ASA, nylon atd.
SLA	fotopolymerická pryskyřice (Clear, White, Grey, Black, Durable Tough, Hi-Temp, Pro)
SLS	keramika, nylon, ABS, PET atd.
SLM	nerezová ocel, měď, hliník, kobalt, chrom, titan, platina, wolfram
EBM	kovový drát, nebo prášek (ocel, měď, hliník, kobalt, chrom, titan, platina, wolfram)
MJF	PA 12, PA 12 GB
3D tisk budov	speciální směs rychleschnoucího betonu
3D biotisk	hydrogely (např. PEG)
3D tisk potravin	prášek vyrobený z hmyzu, mléka, řas, minerálů a vitamínů, čokoláda, bramborová kaše atd.

1.4.1 PET/PET-G

PET (polyethylentereftalát) materiál jako takový se pro 3D tisk nepoužívá příliš často, je to zapříčiněno tím, že se tiskne poměrně těžce. Mnohem oblíbenější je PET-G, to je původní PET pouze obohacený o glykol, který se do materiálu přidává během polymerace. PET-G má oproti samotnému PET naopak mnohem vhodnější vlastnosti pro tisk, a dokonce se jedná o jeden z nejsnáze tisknutelných materiálů viz obr. 1.13.



Obrázek 1.13: Graf pevnosti jednotlivých materiálů (help.prusa3d.com, 2019)

Materiál PETG kombinuje vlastnosti materiálů ABS a PLA, což znamená, že materiál je pevný, má dobrou odolnost vůči teplotám a působení chemických látek, ale zároveň se z něj snadno tiskne. Materiál je také možné tepelně upravovat a je dobře tvarovatelný viz tab. 11. Adheze mezi jednotlivými vrstvami materiálu během tisku je velmi dobrá a ke kroucení či smrštění materiálu dochází jen zřídka. Další výhodou PETG spočívá v možnosti recyklace. PETG se vyrábí v mnoha variantách barev, a dokonce i v transparentní verzi. (materialpro3d.cz, 2023; trilab3d.com, 2023)

Tabulka 11: Základní parametry materiálu PET-G (3dtisk-online.cz, 2023)

Pevnost v tahu [Mpa]	42
Maximální teplota použitelnosti [°C]	70
Koeficient teplotní roztažnosti [$\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$]	60
Houževnatost [na stupnici od 1 do 10]	5
Odolnost [na stupnici od 1 do 10]	8
Tisknutelnost [na stupnici od 1 do 10]	8

1.4.2 PLA

PLA (polylactic acid) je jeden z nejčastěji využívaných materiálů pro 3D tisk. Tento materiál je vhodný pro malé a detailní výtisky. Je snadno tisknutelný a má poměrně nízkou teplotu tisku, navíc pro jeho tisk není potřebná vyhřívaná tisková podložka viz tab. 12. PLA se vyrábí z kukuřičného či bramborového škrobu, nebo z cukrové třtiny, což znamená, že je plně biologicky rozložitelný. Tento materiál má dobrou chemickou odolnost, je pevný, ale zároveň křehký. Výhodou je také možnost úpravy vlastností materiálu přidáním aditiv. (trilab3d.com, 2023; Stříteský et al., 2019; Lee et al., 2017)

Tabulka 12: Základní parametry materiálu PLA (3dtisk-online.cz, 2023)

Pevnost v tahu [Mpa]	45
Maximální teplota použitelnosti [°C]	50
Koeficient teplotní roztažnosti [$\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}$]	68
Houževnatost [na stupnici od 1 do 10]	7
Odolnost [na stupnici od 1 do 10]	4
Tisknutelnost [na stupnici od 1 do 10]	9

1.4.3 ABS

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) je stále často používaný materiál, postupně se od něj ale upouští. Tento materiál má skvělou tepelnou odolnost, je pevný a houževnatý viz tab. 13. Nevýhoda tohoto materiálu spočívá v jeho velké tepelně roztažnosti, která způsobuje, že se materiál během tisku kroucí a odlepuje z podložky. Tato nevýhoda se dá zlepšit pomocí vyhřívané podložky. Tento materiál je vhodný pro povrchové úpravy jako je například broušení nebo chemické vyhlazování. (trilab3d.com, 2023; Stříteský et al., 2019; Lee et al., 2017)

Tabulka 13: Základní parametry materiálu ABS (3dtisk-online.cz, 2023)

Pevnost v tahu [Mpa]	30
Maximální teplota použitelnosti [°C]	90
Koeficient teplotní roztažnosti [$\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}$]	90
Houževnatost [na stupnici od 1 do 10]	6
Odolnost [na stupnici od 1 do 10]	8
Tisknutelnost [na stupnici od 1 do 10]	7

1.4.4 FLEX

Jedná se o kategorii materiálů, které jsou zajímavé svou částečnou ohebností. Tento materiál se vyrábí z termoplastických elastomerů a měkkých gumových materiálů, které obsahují další přísady. Tyto materiály jsou měkké a pružné, a proto dokáží odolávat vysokému namáhání, viz tab. 14. Vyrábí se v několika různých stupních tvrdosti a své využití si najdou například při výrobě kol na modely aut, obalů na telefony, nebo třeba silentbloků. (trilab3d.com, 2023; Stříteský et al., 2019; Lee et al., 2017)

Tabulka 14: Základní parametry materiálu FLEX (3dtisk-online.cz, 2023)

Pevnost v tahu [Mpa]	10
Maximální teplota použitelnosti [°C]	60
Koeficient teplotní roztažnosti [$\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}$]	157
Houževnatost [na stupnici od 1 do 10]	1
Odolnost [na stupnici od 1 do 10]	9
Tisknutelnost [na stupnici od 1 do 10]	6

1.4.5 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály se skládají ze dvou a více různých materiálů. Základním materiálem je plast a k němu se přidává sekundární materiál ve formě prášku, nejčastěji se používá kovový a dřevěný, nebo vlákna například z kevlaru, skla či uhlíku. Mezi materiály vniklé tímto způsobem patří například woodfill, copperfill, bronzefill, karbonové materiály atd. Mezi základní materiály můžeme zařadit PLA, ABS, PET-G, PC, nylon a další. Hlavním důvodem pro použití kompozitních materiálů je estetický vzhled, ale disponují také dobrými mechanickými vlastnostmi. Kompozitní materiály mohou být také využity za účelem snížení hmotnosti výrobku. Tyto materiály jsou abrazivní, a proto se při dlouhodobějším tisku doporučuje použití tvrzené trysky. (trilab3d.com, 2023; Stříteský et al., 2019; Lee et al., 2017)

1.4.6 Pryskyřice/Fotopolymery/Resiny

Jedná se o skupinu kapalných fotocitlivých materiálů vyráběných z pryskyřice. Skládají se ze tří hlavních složek, kterými jsou fotoiniciátory, jádro pryskyřice a přísady. Jádro pryskyřice obsahuje monomery a oligomery, fotoiniciátory potom obsahují molekuly, které reagují při dopadu UV záření a tím iniciují vytvrzování. Přísady bývají většinou látky, které mění vzhled a vlastnosti, nejčastěji to bývají pigmenty a barviva. 3D tisk těchto materiálů probíhá pomocí technologie vytvrzování UV světlem. 3D tisk

resinů je znatelně nákladnější než při použití běžného filamentu. Výrobky z tohoto materiálu jsou poměrně křehké a díky své struktuře se nelámou po vrstvách, ale spíše praskají podobně jako sklo. Na rozdíl od filamentů se resiny nerozlišují podle materiálu, ale spíše podle jejich použití. Všechny resiny mají stejný základ a dále se pomocí přísad upravují pro potřebnou tvrdost a houževnatost. (trilab3d.com, 2023; Stříteský et al., 2019; Lee et al., 2017)

1.4.7 Kovy

Všechny kovy, které se používají pro 3D tisk musí být ve formě prášku, může se jednat jak o samotné kovy, tak i o jejich sloučeniny. Použít tak můžeme například měď, hliník, ocel, kobalt, chrom, titan, platinu, wolfram, nebo i nikl. Před použitím musí být kovy pečlivě rozemlety na jemný prášek, aby se dali dobře nanášet a následně spékat. Tisk z těchto materiálů je poměrně nákladný nejen kvůli vysoké ceně tiskárny, ale i samotných kovových prášků. (3dtech.cz, 2016; Kumar et al., 2019; cotu.cz, 2023)

1.5 Využití

Technologie 3D tisku byla zpočátku vynalezena a využívána za účelem rychlé a levné výroby prototypů. S nástupem nových technologií a dostupností materiálů se rozšířili možnosti využití 3D tisku v nejrůznějších odvětvích průmyslu ale i pro osobní účely. V této práci jsou popsány hlavní možnosti využití této technologie.

1.5.1 Strojní průmysl

Co se týká tohoto odvětví je 3D tisk nejvíce oblíbený především v leteckém, ale také v automobilovém průmyslu, a to především díky možnosti znatelného zkrácení doby mezi návrhem a vytvořením prototypu výrobku. Další skvělou výhodou je možnost tisku vlastních náhradních dílů bez závislosti na výrobci či dodavateli viz obr. 1.14. Dnes již máme technologie na 3D tisk za použití nejrůznějších materiálů včetně kovů, tento fakt je velmi užitečný právě pro odvětví strojího průmysl, umožňuje firmám vyrábět si vlastní náhradní díly, ale dokonce i nástroje, jako například vrtáky, nebo frézy. (tonerpartner.cz, 2020; cdr.cz, 2014; estav.cz, 2017)



Obrázek 1.14: Písty pro Porsche 911 GT2 RS vytištěné na 3D tiskárně technologií SLM (auto-mania.cz, 2020)

V leteckém průmyslu je 3D tisk využíván především pro výrobu palivových součástek a dalších leteckých komponentů. Zvýšené pozornosti se v poslední době 3D tisku dostává také v oblasti kosmonautiky pro výrobu součástek pro raketoplány, ale i například pro průzkumná vozítka. Několik výzkumů se dokonce momentálně zaměřuje na otázku, jak by mohla aditivní technologie napomoci k trvalému osídlení Marsu. Nedávnou novinkou je také 3D tiskárna, která nese název Made in Space, tato tiskárna je výjimečná tím, že je konstruována pro výrobu náhradních součástek přímo ve vesmíru. (tonerpartner.cz, 2020; cdr.cz, 2014; estav.cz, 2017)

1.5.2 Architektura a stavební průmysl

V architektuře lze 3D tisk využít především k výrobě zmenšených modelů požadovaných budov, mostů, soch či jiných objektů. Toto lze uplatnit například uplatnit při složitém designu dané konstrukce. Ve stavebním průmyslu lze 3D tisk uplatnit především ke stavbě obytných budov, ale například i mostů. Stavební 3D tiskárny mohou být řešeny dvěma způsoby. První způsob je konstrukce robotické paže, která je umístěna ve středu stavěného objektu viz obr. 1.15. (Alvarado et al., 2021; Hager et al., 2016; Yashar et al., 2019)



Obrázek 1.15: Stavebí 3D tiskárna řešená jako robotická paže (ceskestavby.cz, 2020)

Druhým způsobem je takzvaná portálová konstrukce. Tisková hlava se pohybuje v osách y a z a je umístěna na portálu, který se pohybuje v ose x viz obr. 1.16.



Obrázek 1.16: Dům postavený pomocí české 3D tiskárny, která je řešena jako portál (fs.cvut.cz, 2022b)

V současnosti se jako stavební materiál používá primárně speciální rychleschnoucí beton s velikostí zrn do 4 mm. NASA (National Aeronautics and Space Administration) v současnosti provádí několik výzkumů této technologie, které mají za cíl uzpůsobit stavební 3D tiskárny tak, aby byly schopny tisknout budovy na cizích planetách, především potom na Marsu, pouze z místních materiálů. To by v budoucnosti mohlo umožnit trvalé osídlení jiných planet. (Alvarado et al., 2021; Hager et al., 2016; Yashar et al., 2019)

1.5.3 Lékařský průmysl

V lékařském průmyslu se 3D tisk využívá již delší dobu, nicméně byl dříve využíván spíše pro tisk protéz. S vývinem technologií a objevením biotisku se však otevřela obrovská škála možností k jeho využití. V lékařském průmyslu má 3D tisk dvě možnosti

použití, a to buď pro výrobu protéz a dalších lékařských pomůcek z běžných materiálů anebo pro biotisk tkání. První způsob využití se v praxi používá již delší dobu. Na 3D tiskárnách lze vyrobit téměř jakékoliv protézy na míru. Nejčastěji nahrazovanou částí těla je končetina, ať už jde o chodidla, nohy, zápěstí či celou paži. 3D tisk lze ovšem použít i na výrobu zubů a zubních protéz, naslouchátek anebo očních protéz. Technologie 3D tisku má v tomto ohledu velkou výhodu, kterou je možnost využití 3D skeneru na požadovanou část těla a tím i vytvoření přesné kopie. S objevením biotisku se vyskytla i druhá možnost využití, a to v podobě výroby živých tkání. Pomocí biotisku lze vyrobit například ucho, nos či části lidské kůže. Dnes už je možné vyrobit i některé orgány, které mohou být po transplantaci plně funkční viz obr. 1.17. (Vermulen et al., 2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021)



Obrázek 1.17: První miniatura plně funkčního srdce vytištěného za použití 3D biotisku (ceskatelevize.cz, 2019)

Zajímavou novinkou je také tiskárna, která by měla být schopna tisknout živou tkáň přímo uvnitř těla, nicméně tato technologie je stále v počátcích. Výhodou této technologie je fakt, že se jeví jako ideální řešení pro nedostatek vhodných orgánů k transplantaci, a navíc by se eliminovalo riziko spojené s ní. Problém se může objevit nejen v právním ohledu, ale i etickém. Projednávají se otázky etiky využívání živých materiálů pro biotisk, jejich skladování a také otázky právní regulace ohledně vypěstovaných živých buněk. Problém také může nastat v otázkách ohledně kmenových buněk, protože jejich využití pro vědecké účely je v mnoha státech stále zakázáno. (Vermulen et al., 2017; Zengmin et al., 2018; García et al., 2021; technickytydenik.cz, 2014)

1.5.4 Potravinářský průmysl

Technologie 3D tisku potravin je na úplném začátku, nejhojněji se v potravinářském průmyslu využívá 3D tisk pro výrobu soch a jiných složitých tvarů z čokolády a jiných

tekutých či rozdrčených potravin. Nicméně se v tomto případě nejedná o výrobu potravin, ale spíše jen o změnu jejich tvaru a struktury viz obr. 1.18. Čokoláda je pro tisk ideálním materiálem, jelikož se snadno zahřeje na teplotu tání a poměrně rychle opět tuhne. (Galdeano, 2015; Liu et al., 2017)



Obrázek 1.18: Čokoládová dekorace vytištěná na 3D tiskárně

Existují ovšem i další způsoby, jak 3D tisk potravin využít. V současnosti se mnoho výzkumů zaměřuje na využití této technologie pro NASA či armádu. Existují tiskárny, které jako výrobní používají různé prášky či směsi vyrobené například z hmyzu, řas či mléka, které obsahují potřebné živiny. Účelem těchto tiskáren je replikovat vlastnosti potravin a nikoli vytvořit potraviny samotné. Jedná se tedy o možnost výroby jedlých produktů s dostatečným obsahem živin na místech s nepříznivými podmínkami. (Galdeano, 2015; Liu et al., 2017)

1.5.5 Osobní účely

3D tiskárny už dávno nejsou určeny pouze pro velké korporace a firmy, dnes jsou 3D tiskárny snadno dostupné a finančně nenáročné, tudíž si svou vlastní tiskárnu může pořídit téměř každý. Toto se ovšem týká pouze tiskáren, které využívají nejběžnější technologie výrob, mezi nejčastější tedy patří tiskárny využívající technologii FDM. Lidé využívají domácí 3D tiskárny například na výrobu vlastních hraček, akčních figurek, různých držáků, ale i například na výrobu náhradních součástí pro domácí spotřebiče a nábytek. Využití 3D tiskárny v domácnosti je téměř neomezené a často se jedná o levnější variantu, než si konkrétní díly a výrobky kupovat již hotové. Zároveň lze domácí tiskárnou vyřešit problematiku nedostupných výrobků.

2 Cíl práce

Cílem této práce je porovnat mechanické vlastnosti a kvalitu povrchu výtisků z 3D tiskáren od odlišných výrobců a určit vhodnost využití jednotlivých tiskáren pro konkrétní účely. Přičemž bude hodnocena i doba tisku a spotřeba materiálu jednotlivými tiskárnami.

3 Metodika

Pro svou bakalářskou práci jsem zvolil tři rozdílné modely 3D tiskáren, všechny používají technologii FDM/FFF. První dvě tiskárny pocházejí z externího zdroje, třetí použitá tiskárna se nachází na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity. První použitou tiskárnou je tiskárna Creality Ender-3 V2. Tiskárna, která se nachází na JU, je od značky PRUSA a jedná se o model i3 MK2S. Třetí použitou tiskárnou je Tevo Tarantula, která má vyměněné některé komponenty.

Pro všechny tiskárny bude použita tryska o průměru 0,4 mm. Jako výstupní materiál pro všechny tři 3D tiskárny byl použit PETG černé barvy. Černou barvu filamentu jsem si vybral z toho důvodu, že pigment má vliv na pevnost a jiné vlastnosti materiálu, a proto je nutné použít na všechny vzorky stejný materiál. Vliv pigmentu je sice minimální, ale i přesto by mohl způsobit nesrovnalosti ve výsledcích během zkoušek na vzorcích.

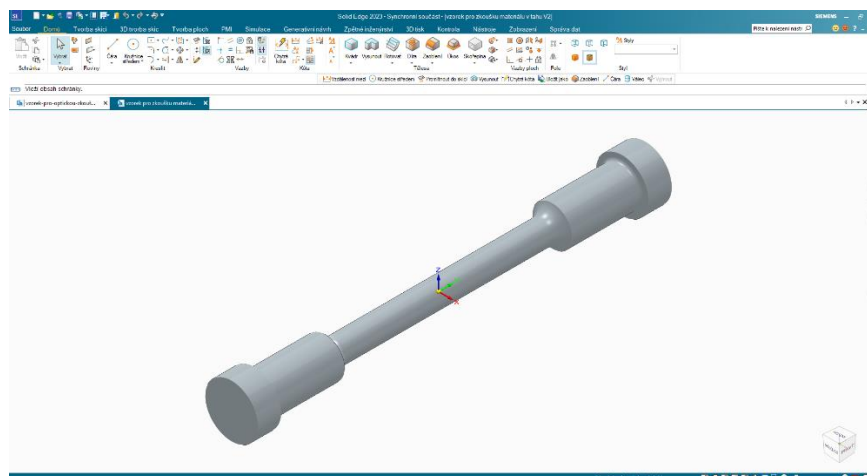
Na všech tiskárnách byly vytištěny tři odlišné vzorky po pěti kusech od každého s výjimkou vzorků pro optickou zkoušku, zde byly vytištěny pouze tři kusy. Vzorky na zkoušku materiálu v tahu a zkoušku vrubové houževnatosti jsem vymodeloval v programu Solid Edge 2023 od firmy SIEMENS (siemens.com, 2023). Vzorek pro optickou zkoušku povrchu byl stažen z knihovny 3D modelů (3dmag.org, 2016). Všechny součásti byly tištěny v ležící poloze s výplní ze 20 %. Na součástech byly prováděny zkoušky ke zjištění vlastností materiálu a následně byly porovnávány. V této práci byly zjišťovány a porovnávány především základní vlastnosti výrobků z PETG a těmi jsou pevnost materiálu v tahu, vrubová houževnatost, kvalita povrchu a doba tisku. Pro zkoušky materiálu byly použity přístroje dostupné na Zemědělské fakultě a Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity. Pro zjištění pevnosti materiálu v tahu byl použit universální zkušební stroj. Na zkoušku vrubové houževnatosti bylo použito Charpyho kladivo a kvalita povrchu byla porovnávána opticky.

3.1 Tvorba a příprava 3D modelů

Vzorky pro zkoušku materiálu v tahu a zkoušku vrubové houževnatosti byly vymodelovány v programu SolidEdge23 dle normovaných rozměrů (siemens.com, 2023). Vzorek pro optickou zkoušku kvality povrchu byl stažen z internetové knihovny 3D modelů. (3dmag.org, 2016)

3.1.1 Vzorek pro zkoušku materiálu v tahu

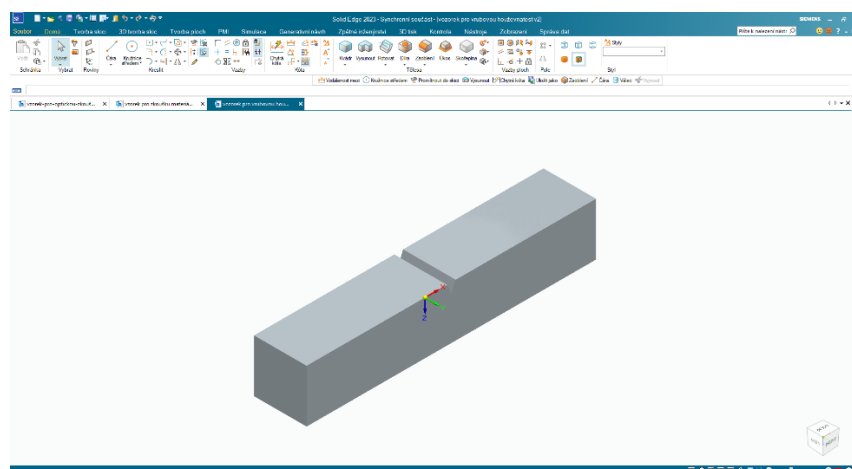
Pro zkoušku materiálu v tahu byla v CAD programu vytvořena zkušební tyčka s kruhovým průřezem. Její rozměry jsou odpovídající poskytnutému modelu viz obr. 3.1.



Obrázek 3.1: Model vzorku pro zkoušku materiálu v tahu

3.1.2 Vzorek pro zkoušku vrubové houževnatosti

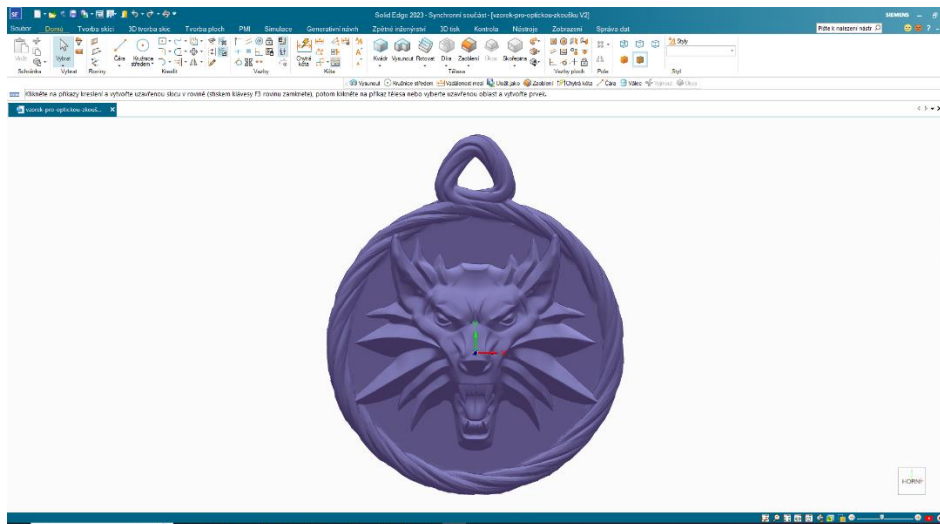
Vzorek pro zkoušku vrubové houževnatosti byl taktéž vytvořen v programu SolidEdge23 viz obr. 3.2. Jeho rozměry jsou 10x10x50 mm a jsou dány normou.



Obrázek 3.2: Model vzorku pro zkoušku vrubové houževnatosti

3.1.3 Vzorek pro optickou zkoušku

Vzorek pro optickou zkoušku kvality povrchu byl stažen z již zmíněné knihovny 3D modelů. Jeho rozměry nejsou dány normou, nicméně rozměry modelu i skutečného výtisku jsou pro tuto zkoušku irelevantní viz obr. 3.3.



Obrázek 3.3: Model vzorku pro optickou zkoušku kvality povrchu

3.2 Úprava vytištěných vzorků

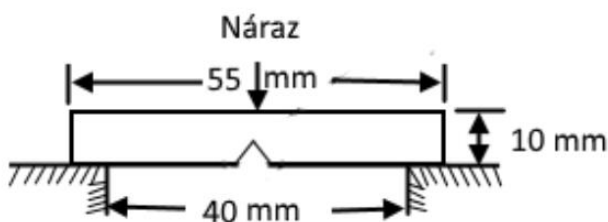
Po vytištění byli vzorky odejmuty z pracovní desky 3D tiskárny, po vyjmutí byly vzorky zbaveny podpěr za použití modelářských kleští. Žádný vzorek nebyl zabrušován ani jinak obroben. Mechanický zásah by mohl narušit strukturu vytištěného vzorku a tím i ovlivnit výsledky zkoušek na nich prováděných. Po odstranění podpěr byly vzorky označeny počátečním písmenem tiskárny, na které byly vyrobeny a každý kus byl označen číslem. Všechny vzorky byly uchovávány až do následné zkoušky v papírové krabici při průměrné teplotě přibližně 21 °C a průměrné vlhkosti 38 %.

3.3 Metodika experimentálních zkoušek

Pro porovnání mechanických vlastností jednotlivých vzorků a kvality tisku jednotlivých tiskáren byly provedeny tři základní zkoušky, pro jednotlivé zkoušky budou využity zkušební stroje dostupné na JU. Na základě výsledků vyplívajících z provedených zkoušek byly následně porovnávány a hodnoceny jednotlivé 3D tiskárny. Při porovnávání jednotlivých 3D tiskáren byla brána v potaz i některá další data, jako například doba tisku, nebo také teploty během tisku.

3.3.1 Zkouška vrubové houževnatosti

Tato zkouška je dána normou ČSN ISO 148-1. Jedná se o nejdéle používanou dynamickou zkoušku používanou pro zjištění mechanických vlastností materiálu proti křehkému lomu. Principem této zkoušky je přeražení zkušební vzorku, kterým je tyčinka s vrubem viz obr. 3.4. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)



Obrázek 3.4: Rozměry vzorku pro zkoušku vrubové houževnatosti (Raszková, 2018)

Vrub se nachází ve středu zkušební tyčinky a má buď tvar V nebo U. Když má vrub tvar V jeho úhel je 45° , hloubka 2 mm a poloměr kořene 0,25 mm. Pokud je vrub ve tvaru U má hloubku 5 mm a poloměr kořene 1 mm. Vrub ve tvaru V se používá především u tvářených ocelí, ocelí na odlitky a tvárných litin. Vrub ve tvaru U se používá pro perlitické a legované oceli. Přeražení je provedeno jedním úderem kyvadlového kladívka viz obr. 3.5. Samotná zkouška probíhá tak, že se vzorek vloží mezi opěrkám, kladívko se natáhne do horní pozice a následně je spuštěno. Pokud je zkouška provedena správně mělo by dojít k úplnému přelomení zkušební tyčky. Výsledek měření je vyjádřen v Joulech. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)



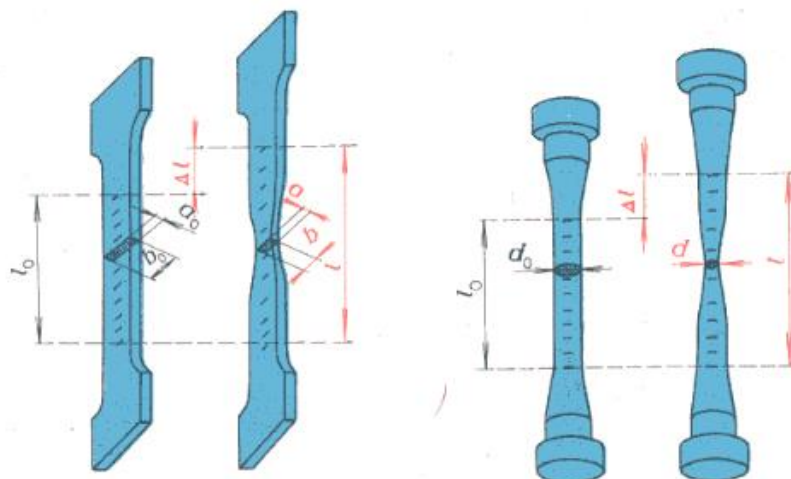
Obrázek 3.5: Sharpyho kyvadlové kladivo použité pro zkoušku vrubové houževnatosti

Charakteristikou, která byla pro tuto bakalářskou práci získávána se nazývá vrubová houževnatost. Její definicí je podíl nárazové práce k ploše průřezu pod vrubem a vyjadřuje se v jednotkách $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$. Houževnatost tedy lze definovat jako schopnost materiálu pohlcovat mechanickou energii. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)

Pro tuto bakalářskou práci byly použity vzorky o rozměrech 10x10x55 mm a vrubem ve tvaru V. Každý vzorek byl na obou stranách označen počátečním písmenem tiskárny, na které byl vytištěn a pořadovým číslem od 1 do 5.

3.3.2 Zkouška materiálu v tahu

Tato zkouška je dána normou ČSN EN ISO 6892-1 a jedná se o jednu z nejběžněji používaných statických zkoušek. Je možné z ní zjistit mnoho užitečných mechanických vlastností materiálu, jako například modul pružnosti, mez kluzu, mez pevnosti, tažnost atd. Zkouška se provádí na takzvaném trhacím přístroji. Tato zkouška funguje na principu deformace zkoušeného materiálu. Materiál se většinou deformuje až do bodu lomu. Zkušební vzorky mívají různé tvary podle toho, z jakého materiálu je vzorek vyroben. Rozměry vzorku jsou též dány normou. Vzorky mohou mít profil kruhový, čtvercový, obdélníkový, prstencový a ve speciálních případech mohou být i jiné viz obr. 3.6. Vzorky mohou vzniknout různými způsoby, například obráběním, odléváním, nebo i 3D tiskem. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)

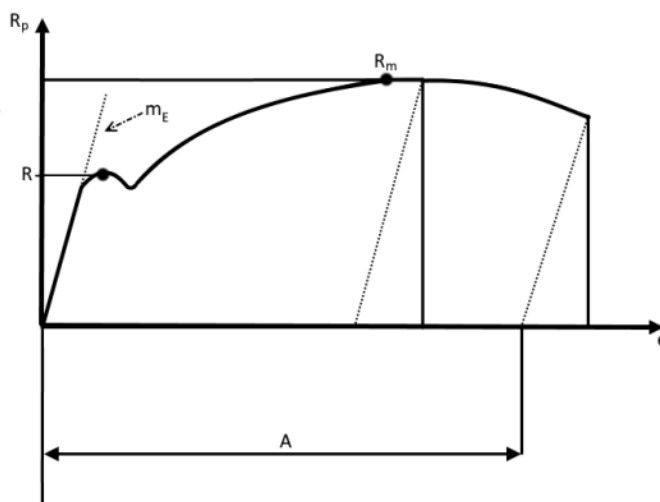


Obrázek 3.6: Vzorky pro tahovou zkoušku materiálu (Driml, 2017)

Vztah mezi počáteční délkou vzorku L_0 a počátečním průřezem plochy S_0 je dán rovnicí 1. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (3.1)$$

Kde k je součinitel proporcionality. Pokud je zkušební těleso delší než 15 mm je tento součinitel roven $k=5,65$. Výsledkem tahové zkoušky je takzvaný tahový diagram viz obr. 3.7. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)



Obrázek 3.7: Tahový diagram pro zkoušku materiálu v tahu (Raszková, 2018)

Modul pružnosti zkoušeného materiálu lze vypočítat více způsoby, jednou z možností je podle rovnice 2. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)

$$R_p = \frac{E \cdot e}{100\%} + b \quad (3.2)$$

kde R_p je napětí, E je modul pružnosti, e je prodloužení v procentech měřené průtahoměrem a b je předepsaný úsek napětí. Všechny hodnoty kromě prodloužení jsou počítány v MPa. (Mičkal, 2008; Chlumský a Šimonovský, 1984; Driml, 2017)

Vzorky pro mou bakalářskou práci měli kruhový průřez a byly zkoušeny na univerzálním trhačím přístroji dostupném na ZF JU viz obr. 3.8. Trhačí přístroj měl nastaven limity při jejichž překročení by se probíhající test automaticky přerušil. Maximální nastavenou silou bylo 50000 N a maximální posun byl 100 mm. Tyto přednastavené limity byli dostačující, a proto nedošlo k přerušení testu u žádného z použitých vzorků. Samotná rychlost posunu během testu byla nastavena na $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obrázek 3.8: Univerzální trhačí přístroj použitý v této bakalářské práci

Každý zkušební vzorek byl označen písmenem tiskárny, na které byl vytištěn a pořadovým číslem od 1 do 5. Vzorky byli zkoušeny postupně a výsledky zkoušky byly zaznamenávány do počítače. Každý vzorek byl upnut ručně do kleštin trhačího přístroje, který byl po upnutí vzorku přepnut do automatického režimu viz obr. 3.9. Po dokončení měření byl vzorek vyjmut, kleštiny vyčištěny a proces byl opakován. Měření všech vzorků probíhalo při teplotě $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a trvalo cca 90 minut.



Obrázek 3.9: Upnutí vzorku do kleštin trhacího přístroje

3.3.3 Optická zkouška kvality povrchu

Pro optickou zkoušku kvality povrchu byly jako vzorky použity medailony známé z her, či seriálu Zaklínač. Tento medailon jsem si vybral jako vzorek proto, že má optimální velikost, tvar, na kterém snadno porovnat kvalitu tisku a detaily u kterých rovněž velmi dobře porovnat jejich kvalitu viz obr. 3.10.



Obrázek 3.10: Vzorek použitý pro optickou zkoušku kvality povrchu

Kvalita povrchu jednotlivých vzorků byla porovnávána a hodnocena pouze za pomoci očí a digitálních fotografií. Fotografie byly pořízeny na mobilní telefon Realme 9 pro

plus, jež disponuje třemi fotoaparáty s rozlišeními 50 + 8 + 2 Mpx a softwarem zajišťujícím stabilitu fotoaparátu a kompenzaci šumu v šeru viz tab. 8. Porovnána byla celková kvalita povrchu, kvalita a případné deformace jednotlivých vrstev a kvalita konkrétních detailů na tištěném vzorku. (mobilenet.cz, 2022; smartmania.cz, 2022)

Tabulka 15: Parametry fotoaparátu u telefonu Realme 9 Pro plus (mobilenet.cz, 2022)

Realme 9 Pro plus	Hlavní fotoaparát	Ultraširokoúhlý fotoaparát	Makro fotoaparát
Rozlišení	50 Mpx	8 Mpx	2 Mpx
Velikost senzoru	1/1,56“	1/4,0“	-
Světelnost	f/1,8	f/2,2	f/2,4
OIS	ano	ne	ne

4 Výsledky a diskuse

4.1 Časy a teploty během tisku

Časy a teploty při kterých byly vzorky tištěny na vybraných tiskárnách jsou uvedeny v tab. 16 a tab.17.

Tabulka 16: Tabulka časů tisku jednotlivých zkušebních vzorků

Tiskárna	Vzorek	Číslo	Čas [min]	Celkový čas [min]
Creality Ender-3 V2	Pro zkoušku vrubové houževnatosti	1	19	812
		2	19	
		3	20	
		4	19	
		5	20	
	Pro zkoušku materiálu v tahu	1	84	
		2	84	
		3	83	
		4	84	
		5	83	
	Pro optickou zkoušku	1	63	
		2	66	
		3	63	
Tevo Tarantula	Pro zkoušku vrubové houževnatosti	1	20	665
		2	20	
		3	19	
		4	20	
		5	20	
	Pro zkoušku materiálu v tahu	1	73	
		2	73	
		3	73	
		4	74	
		5	73	
	Pro optickou zkoušku	1	67	
		2	66	

		3	67	
PRUSA i3 MK3	Pro zkoušku vrubové houževnatosti	1	25	796
		2	26	
		3	24	
		4	24	
		5	24	
	Pro zkoušku materiálu v tahu	1	83	
		2	83	
		3	83	
		4	84	
		5	84	
	Pro optickou zkoušku	1	85	
		2	85	
		3	86	

Tabulka 17: Tabulka teplot při tisku jednotlivých zkušebních vzorků

Tiskárna	Vzorek	Číslo	Teplota tiskové hlavy [°C]	Teplota podložky [°C]
Creality Ender-3 V2	Pro zkoušku vrubové houževnatosti	1	240	70
		2	240	70
		3	240	70
		4	240	70
		5	240	70
	Pro zkoušku materiálu v tahu	1	240	70
		2	240	70
		3	240	70
		4	240	70
		5	240	70
	Pro optickou zkoušku	1	240	70
		2	240	70
		3	240	70
Tevo Tarantula		1	250	60

	Pro zkoušku vrubové houževnatosti	2	250	60
		3	250	60
		4	250	60
		5	250	60
	Pro zkoušku materiálu v tahu	1	250	60
		2	250	60
		3	250	60
		4	250	60
		5	250	60
	Pro optickou zkoušku	1	250	60
		2	250	60
		3	250	60
PRUSA i3 MK3	Pro zkoušku vrubové houževnatosti	1	200	63
		2	220	65
		3	126	59
		4	126	59
		5	225	64
	Pro zkoušku materiálu v tahu	1	220	65
		2	220	65
		3	205	62
		4	205	62
		5	101	48
	Pro optickou zkoušku	1	230	67
		2	230	67
		3	232	66

4.2 Zkouška vrubové houževnatosti

V první řadě je nutné říci, že rozměry skutečného výtisku se mírně liší od rozměrů digitálního modelu, což může mít určitý vliv na výsledky měření. Tato odchylka rozměrů na skutečném vzorku oproti digitálnímu modelu je nejvíce znatelná v místě vrubu na vzorku, konkrétně v jeho rádiu a tím se mění i hloubka celého vrubu. Tato odchylka je zapříčiněna tryskou použitou pro tisk, která má průměr 0,4 mm, a tudíž

není možné dosáhnout rozměrů shodných s modelem. Také je nutné říci, že 3D tiskárna PRUSA i3 MK3 během tisku vzorků při prvním přejezdu ucpávala trysku, tento fakt mohl mít možný vliv při zkoušení vzorků. Tato zkouška probíhala 29.3.2023 na Charpyho kladivu umístěném na Pedagogické fakultě JU. Charpyho kladivo měří v jednotce zvané kpm cm⁻² (kilopond metr), nicméně vrubová houževnatost se udává v J·cm⁻² a tudíž bylo nutné učinit převod těchto jednotek. Jednotky byly převáděny podle přepočtu 1 kpm=9,81 J.

4.2.1 Vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2

Pro tuto zkoušku bylo na tiskárně Creality Ender-3 V2 vytištěno pět vzorků, byly vytištěny 4.3.2023. Teplota v místnosti během tisku těchto vzorků byla 21 °C a vlhkost 34,6 %. Na této tiskárně probíhal tisk vzorků nejrychleji, tisk jednoho vzorku trval průměrně 19 minut, a tudíž tisk vzorků pro tuto zkoušku zabral cca 95 minut. Teplota tiskové hlavy byla 240 °C a teplota podložky 70 °C. Na výrobu vzorků byl použitý materiál PET-G. Průměrná hodnota vrubové houževnatosti pro vzorky vytištěné na této tiskárně byla 0,8777 J·cm⁻².

Tabulka 18: Tabulka naměřených hodnot pro vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2

Vzorek číslo	Naměřená hodnota [J·cm ⁻²]
1	0,8829
2	0,8756
3	0,8849
4	0,8657
5	0,8794

4.2.2 Vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3

Pro tuto zkoušku bylo 13.3.2023 na tiskárně PRUSA i3 MK3 vytištěno pět vzorků. Při tisku těchto vzorků nastal problém s ucpáváním trysky při tištění první vrstvy, což mohlo mít vliv na vzorek číslo 4 viz tab. 19. Tyto vzorky byly tištěny v místnosti s teplotou 23 °C a vlhkostí 32,7 %. Tisk jednoho vzorku trval v průměru 25 minut a tisk všech pěti vzorků tedy zabral cca 125 minut, což je nejdelší čas tisku ze všech tří tiskáren. Teplota tiskové hlavy během tisku byla přibližně 220 °C a teplota podložky 65 °C. Použitým materiálem byl rovněž PET-G. Průměrná hodnota vrubové houževnatosti pro vzorky vytištěné na této tiskárně byla 1,0883 J·cm⁻².

Tabulka 19: Tabulka naměřených hodnot pro vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3

Vzorek číslo	Naměřená hodnota [$\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$]
1	1,2265
2	0,9862
3	1,1869
4	1,2035
5	0,8385

4.2.3 Vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula

Na této tiskárně bylo vytištěno rovněž pět vzorků pro zkoušku vrubové houževnatosti a byly vytištěny 21.2.2023. Tyto vzorky byly tištěny v místnosti s teplotou 22,3 °C a vlhkostí 38 %. Rychlost tisku těchto vzorků je srovnatelná s rychlostí tiskárny Creality Ender-3 V2, tisk jednoho vzorku trval průměrně pouze o minutu déle. Na této tiskárně byly vzorky tištěny při nejvyšší teplotě, teplota tiskové hlavy byla 250 °C a podložka měla teplotu 60 °C. Použitým materiálem bylo rovněž PET-G. Průměrná hodnota vrubové houževnatosti pro vzorky vytištěné na této tiskárně byla 0,8372 $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Tabulka 20: Tabulka naměřených hodnot pro vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula

Vzorek číslo	Naměřená hodnota [$\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$]
1	0,8244
2	0,8338
3	0,8276
4	0,8574
5	0,8429

4.2.4 Porovnání zkoušek vrubové houževnatosti

Teplota a vlhkost v místnosti byla u všech tří tiskáren srovnatelná, a tudíž lze říci, že na odlišnost naměřených hodnot mezi jednotlivými vzorky měli zanedbatelný vliv. Tisk vzorků trval nejdéle na tiskárně PRUSA i3 MK3 a zároveň na ní byly vzorky tištěny při nejnižší teplotě tiskové hlavy. Nejvyšší teplota tiskové hlavy během tisku byla u tiskárny Tevo Tarantula. Z uvedených tabulek lze vypožorovat, že nejvyšší průměrné hodnoty vrubové houževnatosti dosáhly vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3, které znatelně převyšovaly hodnoty naměřené na vzorcích z tiskáren Creality Ender-3 V2 a Tevo Tarantula. Hodnoty naměřené na vzorcích vytištěných na těchto

dvou tiskárnách byly srovnatelné a rozdíl mezi nimi byl minimální, nicméně vzorky z tiskárny Creality Ender-3 V2 dosáhly o trochu lepších výsledků.

4.3 Zkouška materiálu v tahu

Tato zkouška probíhala 29.3.2023 na trhacím přístroji umístěném na Zemědělské fakultě JU. Teplota v místnosti během zkoušky byla 22,6 °C a vlhkost byla 32,4 %. Zkoušené vzorky byly vytištěny z materiálu PET-G. Rozměry vzorků byly převzaty z poskytnutého modelu. Tato zkouška trvala přibližně 90 minut. Jeden ze zkoušených vzorků byl zničen při upínání do stroje, a tudíž musel být vyřazen, u dalšího ze vzorků došlo k hrubé chybě měření, a proto musel být tento vzorek rovněž vyřazen. Každé měření je zatíženo chybou a ke skutečné hodnotě se pouze přibližuje, nicméně o hrubé chybě měření mluvíme tehdy, když se naměřená hodnota zásadně liší od ostatních naměřených hodnot. Tato chyba může být zapříčiněna výjimečnou příčinou, chybným zapsáním hodnot, náhlým selháním měřicího přístroje, nebo nesprávným nastavením podmínek pro měření.

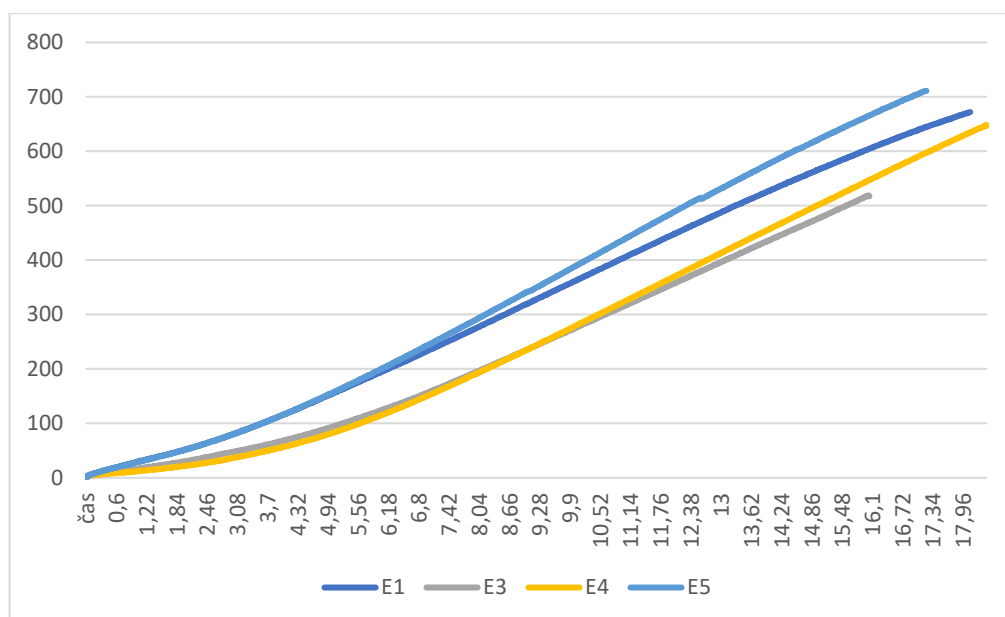
4.3.1 Vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2

Tyto vzorky byly vytištěny 5.3.2023. Během tisku byla v místnosti teplota 21 °C a vlhkost 34,6 %. Na výrobu vzorků byl použit materiál PET-G. Teplota tiskové hlavy byla 240 °C a teplota podložky 70 °C. Tisk jednoho vzorku trval průměrně 84 minut a tisk všech pěti vzorků trval zhruba 420 minut. U vzorku číslo 2 došlo k hrubé chybě měření, a tudíž musel být tento vzorek vyřazen viz tab. 21.

Tabulka 21: Tabulka hodnot naměřených na vzorcích vytištěných na tiskárně Creality Ender-3 V2

Vzorek číslo	Prodloužení [mm]	Síla [N]	Průměrné prodloužení [mm]	Průměrná síla [N]
1	2,88329	672,1	2,7	636,8
2	-	-		
3	2,60991	517		
4	2,47160	646,9		
5	2,83520	711,2		

Průměrné prodloužení u těchto vzorků bylo 2,7 mm a průměrná síla, při které došlo k přetržení vzorku byla 636,8 N. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafu viz obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Graf naměřených hodnot na vzorcích vytištěných na tiskárně Creality Ender-3 V2

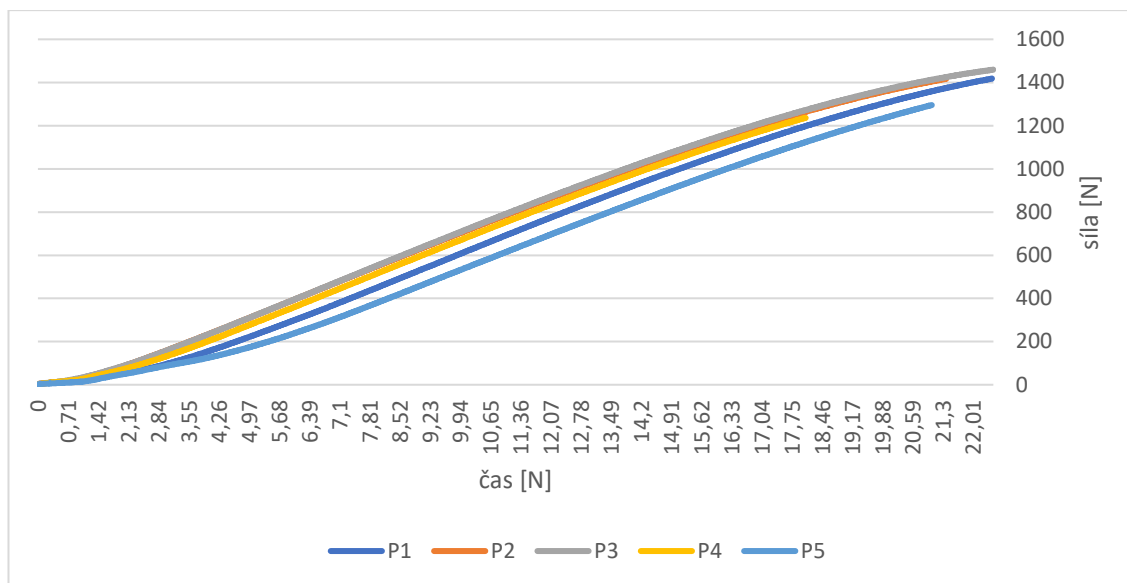
4.3.2 Vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3

Tyto vzorky byly vytištěny 9.3.2023. Výrobním materiálem byl PET-G a vzorky byly vytištěny v místnosti s teplotou 23 °C a vlhkostí 32,7 %. Doba tisku je srovnatelná jako u tiskárny Creality Ender-3 V2, jeden vzorek se tiskl průměrně 83 minut. Teplota tiskové hlavy dosahovala teploty 210 °C a podložka teploty 60 %.

Tabulka 22: Tabulka hodnot naměřených na vzorcích vytištěných na tiskárně PRUSA i3 MK3

Vzorek číslo	Prodloužení [mm]	Síla [N]	Průměrné prodloužení [mm]	Průměrná síla [N]
1	3,72217	1419	3,0688	1385,7
2	2,68510	1417,3		
3	3,44670	1460,1		
4	2,32333	1235,9		
5	3,16668	1396,2		

Průměrné prodloužení u těchto vzorků bylo 3,0688 mm a průměrná síla, při které došlo k přetržení vzorku byla 1385,7 N, tyto hodnoty jsou nejvyšší ze všech tiskáren. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafu viz obr. 4.2.



Obrázek 4.2: Graf naměřených hodnot na vzorcích vytištěných na tiskárně PRUSA i3 MK3

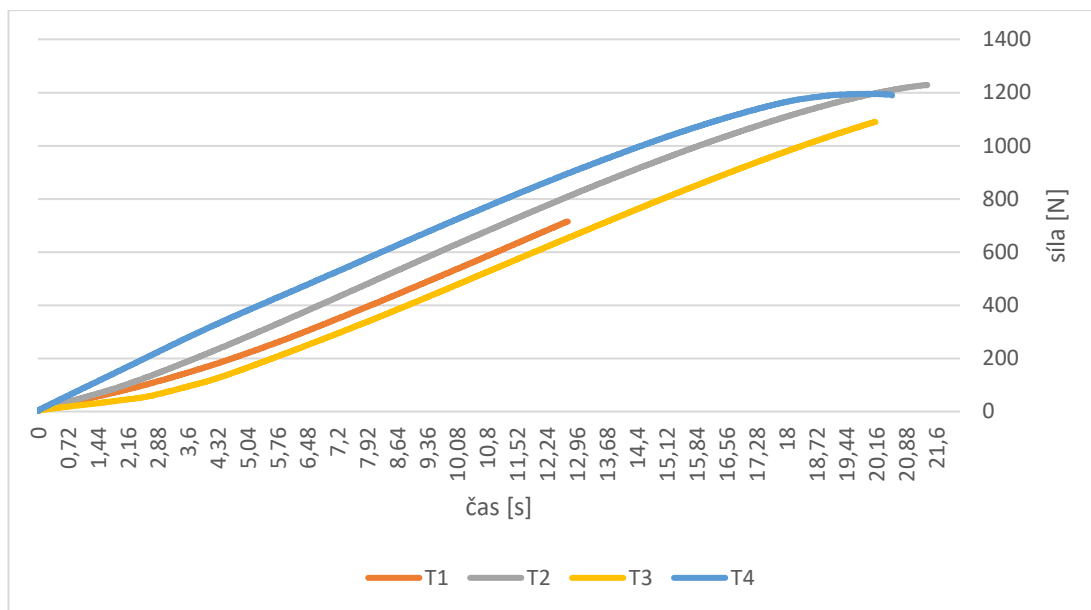
4.3.3 Vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula

Tisk těchto vzorků proběhl 21.2.2023. Teplota v místnosti, ve které byly vzorky tištěny byla 22,3 °C a vlhkost dosahovala 38 %. Tisková hlava při tisku těchto vzorků dosahovala nejvyšší teploty ze všech tiskáren a tou bylo 250 °C, podložka dosahovala teploty 60 °C. Pro výrobu vzorků byl použit materiál PET-G. Tisk jednoho vzorku trval cca 73 minut, to je nejkratší doba tisku, ze všech použitých tiskáren. Vzorek číslo 5 byl poškozen během upínání do trhacího stroje, a proto musel být z měření vyřazen.

Tabulka 23: Tabulka hodnot naměřených na vzorcích vytištěných na tiskárně Tevo Tarantula

Vzorek číslo	Prodloužení [mm]	Síla [N]	Průměrné prodloužení [mm]	Průměrná síla [N]
1	2,12343	714,7	3,05483	1055,3
2	3,54162	1228,4		
3	3,13664	1089,2		
4	3,41766	1188,7		
5	-	-		

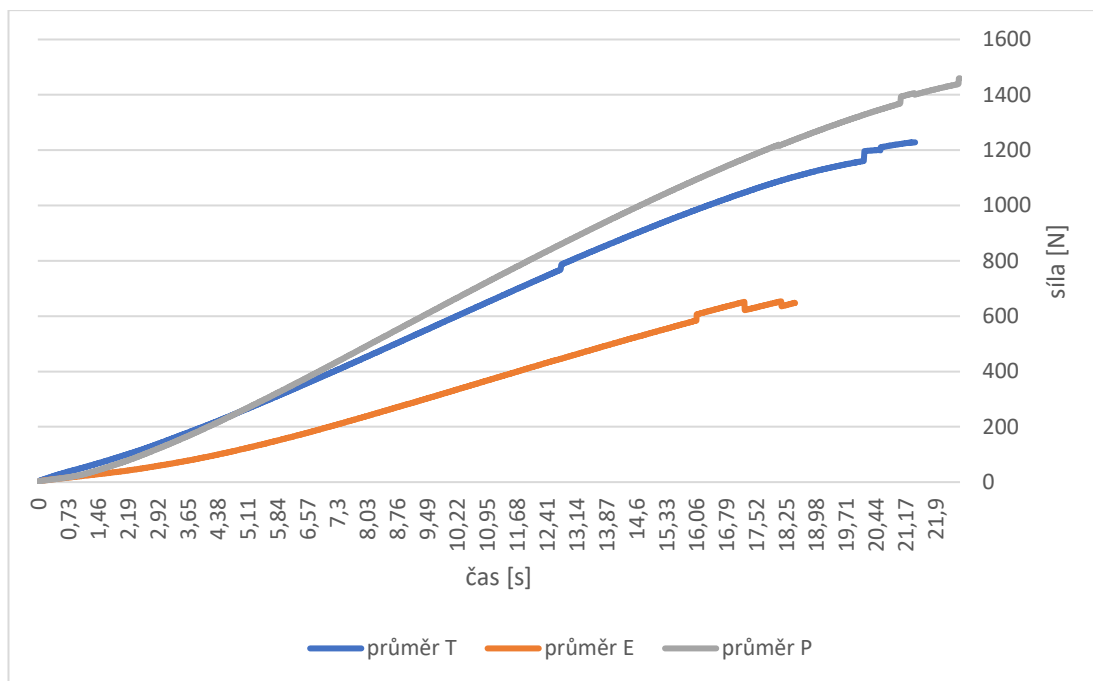
Průměrné prodloužení u těchto vzorků bylo 3,05483 mm a průměrná síla, při které došlo k přetržení vzorku byla 1055,3 N, tyto hodnoty jsou podobné jako u tiskárny PRUSA i3 MK3. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafu viz obr. 4.3.



Obrázek 4.3: Graf naměřených hodnot na vzorcích vytištěných na tiskárně Tevo Tarantula

4.3.4 Porovnání zkoušek materiálu v tahu

Teplota a vlhkost v místnosti byla u všech tří tiskáren srovnatelná, a tudíž lze říci, že na odlišnost naměřených hodnot mezi jednotlivými vzorky měli zanedbatelný vliv. Tisk vzorků trval nejdéle na tiskárně PRUSA i3 MK3 a zároveň na ní byly vzorky tištěny při nejnižší teplotě tiskové hlavy. Z uvedených tabulek a grafů lze vypozorovat, že nejlepších hodnot dosáhly vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3, průměrná síla, při které se vzorek přetrhl byla srovnatelná s tiskárnou Tevo Tarantula, nicméně průměrné prodloužení bylo znatelně větší než u zbylých tiskáren. Je nutné říci, že u tiskárny Tevo Tarantula byl vzorek číslo 5 poškozen během upínání do trhacího stroje a dále při měření vzorku číslo 2 vytištěného na tiskárně Creality Ender-3 V2 došlo k hrubé chybě měření. Tento fakt mohl ovlivnit konečné výsledky měření. Na následujícím grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty naměřené na všech vzorcích viz obr. 4.4.



Obrázek 4.4: Porovnání průměrných hodnot naměřených na vzorcích pro zkoušku materiálu v tahu

4.4 Optická zkouška kvality povrchu

Tato zkouška probíhala 7.4.2023. Pro detailnější pohled byly použity fotografie pořízené na mobilní telefon Realme 9 pro plus. Největší odlišnosti vzorků z jednotlivých tiskáren spočívaly ve kvalitě jednotlivých vrstev a detailů kterými byly především ústa a zuby vlka vyobrazeného na medailonu. Při této zkoušce byla porovnávána pouze vrchní strana již zmíněného medailonu.

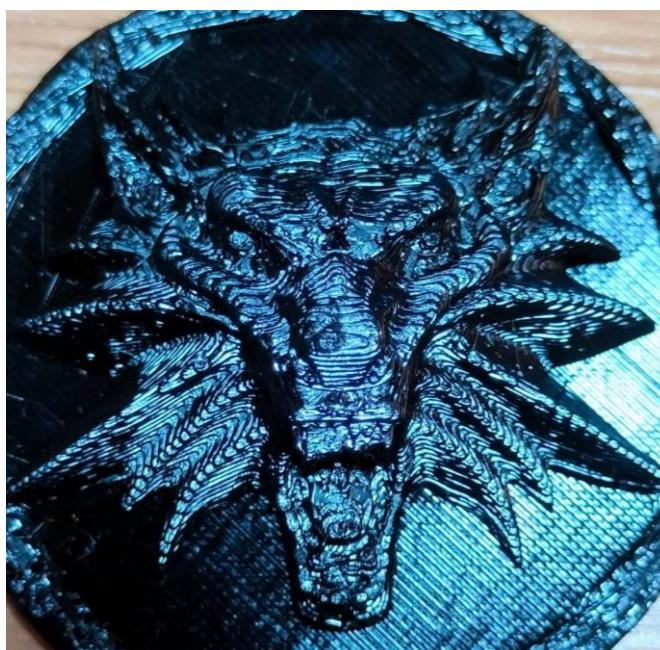
4.4.1 Vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2

Vzorky vytištěné na této tiskárně byly vizuálně nejhorší jak kvalitou jednotlivých vrstev, tak i kvalitou detailů. Samotný rovný povrch medailonu byl velmi hrubý a byly zde znatelné jednotlivé přejezdy tiskové hlavy během tisku viz obr. 4.5. Vzorky se tiskly v místnosti s teplotou 21 °C a vlhkost 34,6 %. Použitým materiálem je PET-G. Vzorky byly vytištěny 5.3.2023. Teplota tiskové hlavy byla 240 °C a teplota podložky 70 °C. Doba tisku jednoho vzorku je průměrně 64 minut.



Obrázek 4.5: Povrch vzorku vytištěného na tiskárně Creality Ender-3 V2

Kvalita detailů u těchto vzorků byla rovněž špatná, to bylo nejvíce vidět na ústech vlka, a především na jeho zubech, které nebyly rozeznatelné a byly slité v jeden kus viz obr. 4.6. Na obr. 4.6. lze rovněž vidět kvalitu jednotlivých vrstev, které jsou velmi znatelné a tvoří tak hrubý povrch.



Obrázek 4.6: Kvalita detailů a jednotlivých vrstev

4.4.2 Vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3

Tyto vzorky byly vytištěny 13.3.2023 a doba tisku jednoho vzorku byla cca 85 minut. Vzorky byly tištěny v místnosti s teplotou 23 °C a vlhkostí 32,7 %. Teplota tiskové hlavy v průběhu tisku byla 230 °C a teplota podložky 66 °C. Použitým materiálem je

PET-G. Vzorky vytištěné na této tiskárně byly svou kvalitou povrchu zdaleka nejlepší ze všech. Povrch rovné části medailonu byl o poznání kvalitnější než u ostatních vzorků viz obr. 4.7.



Obrázek 4.7: Povrch vzorku vytištěného na tiskárně PRUSA i3 MK3

Ústa vlka měla rovněž o poznání lepší kvalitu než u zbylých vzorků. Jednotlivé zuby od sebe byly rozeznatelné a jednotlivé vrstvy tvořící vlka byly od pohledu jemnější viz obr. 4.8.



Obrázek 4.8: Kvalita zubů a jednotlivých vrstev

4.4.3 Vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula

Tyto vzorky byly vytištěny 21.2.2023. Použitým materiálem je rovněž PET-G. Teplota tiskové hlavy během tisku byla 250 °C. Vnitřní teplota během tisku byla 22,3 °C a

vlhkost dosahovala 38 %. Doba tisku jednoho vzorku byla cca 66 minut, což je srovnatelné s tiskárnou Creality Ender-3 V2, nicméně kvalitou byly tyto vzorky o poznání lepší. Kvalita rovné plochy a zubů byla podobná jako u tiskárny PRUSA i3 MK3, nicméně kvalita jednotlivých vrstev byla o něco horší viz obr. 4.9.



Obrázek 4.9: Kvalita úst a jednotlivých vrstev vzorku vytištěném na tiskárně Tevo Tarantula

4.4.4 Porovnání optické zkoušky kvality povrchu

Teplota a vlhkost v místnosti byla u všech tří tiskáren srovnatelná, a tudíž lze říci, že na odlišné kvality povrchu mezi jednotlivými vzorky měli zanedbatelný vliv. Jednoznačně nejlepší kvalitu povrchu i detailů měli vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3, ale také jeho tisk trval nejdelší dobu. Vzorky z tiskáren Tevo Tarantula a Creality Ender-3 V2 se tiskly téměř stejně dlouho ale i přesto byla jejich kvalita velmi odlišná. Kvalita detailů u vzorků vytištěných na tiskárně Tevo Tarantula byla poměrně dobrá, zuby v ústech vlka byly rozeznatelné, ale občas se někde materiál slil a vytvořil vadu. Nejhorší povrch měly vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2.

Závěr

3D tisk je v současnosti nedílnou součástí téměř všech výrobních odvětví a jeví se jako velmi perspektivní i do budoucnosti. V některých odvětvích záleží na přesnosti tisku a mechanických vlastnostech výtisků více a v některých méně. Tento fakt samozřejmě v první řadě závisí na použité technologii a také na použitém materiálu, nicméně jak lze vypožorovat z provedených zkoušek, každá tiskárna jeví odlišné vlastnosti během tisku a jednotlivé výtisky jsou poměrně odlišné jak svým vzhledem, tak i mechanickými vlastnostmi, a to i za předpokladu, že je k tisku použit totožný materiál, shodné nastavení tiskáren a jsou použity i totožné výchozí modely. Z této bakalářské práce tedy vyplívá, že nezáleží pouze na samotných parametrech 3D tiskárny ale i na mechanických vlastnostech jednotlivých výtisků, a proto by bylo vhodné, aby byli u jednotlivých prodejců 3D tiskáren dostupné i hodnoty naměřené během mechanických zkoušek výtisků z těchto tiskáren. Mechanické vlastnosti výtisků mohou někdy vypovědět o 3D více, než pouze samotná cena tiskárny a její parametry. Zároveň lze z dostupných výsledků lze vypožorovat, že čím vyšší cena použité tiskárny, tím je tisk kvalitnější téměř ve všech směrech.

Seznam použité literatury

3djake.com (2023). *3d-printer-filaments* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.3djake.com/3d-printer-filaments/nylon-filament>

3dmag.org (2016). 2945 [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://3dmag.org/en/market/item/2945/>

3dtech.cz (2016). *technology* [online]. [cit. 28. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.3dtech.cz/technology>

3dtisk-online.cz (2023). *3d-tisk-brno-prehled-materialu-pro-3d* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.3dtisk-online.cz/3d-tisk-brno-prehled-materialu-pro-3d/>

all3dp.com (2022). *3d-printed-house-3d-printed-building* [online]. [cit. 1. 4. 2023]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printed-house-3d-printed-building/>

Alvarado, R. G. et al. (2021). Architectural Evaluation of 3D-Printed Buildings. *Department of Architecture Design and Theory*, 11: 254. DOI 10.3390/buildings11060254

auto-mania.cz (2020). *pisty-z-3d-tiskarny-pro-porsche-911-gt2-rs-dokazi-pridat-az-30-koni* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/pisty-z-3d-tiskarny-pro-porsche-911-gt2-rs-dokazi-pridat-az-30-koni/>

cdr.cz (2014). *3d-tiskarna-made-space-na-iss-vytiskla-prvni-3d-predmet* [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://cdr.cz/clanek/3d-tiskarna-made-space-na-iss-vytiskla-prvni-3d-predmet>

ceskatelevize.cz (2019). *na-univerzite-v-tel-avivu-poprve-vyrobili-srdce-i-s-cevnim-systemem-na-3d-tiskarne* [online]. [cit. 2. 4. 2023]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2788640-na-univerzite-v-tel-avivu-poprve-vyrobili-srdce-i-s-cevnim-systemem-na-3d-tiskarne>

ceskestavby.cz (2020). *clanky* [online]. [cit. 2. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/video-rodinny-dum-vytiskla-3d-tiskarna-primo-z-mistni-hliny-a-ryze-28606.html>

cotu.cz (2023). *blog* [online]. [cit. 26. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/en/blog>

vlabs.ac.in (2023). *simulation-of-polar-machine* [online]. [cit. 28. 3. 2023]. Dostupné z: <https://3dp-dei.vlabs.ac.in/exp/simulation-of-polar-machine/>

crealitystore.cz (2023). *creality-ender-3v2* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.crealitystore.cz/produkt/creality-ender-3v2-neo/>

Driml, B. (2017). *ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ*. Interní učební text, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

estav.cz (2017). *3d-tiskarny-budou-stavet-budovy-na-zemi-i-na-marsu* [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/4461.3d-tiskarny-budou-stavet-budovy-na-zemi-i-na-marsu>

fs.cvut.cz (a) (2022). *Historie 3D tisku* [online], [cit. 24. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/historie-3d-tisk/>

fs.cvut.cz (b) (2022). *3D tisk a jeho možnosti* [online], [cit. 25. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/>

futlab.cc (2023). *3d-tisk-nastaveni-materialy* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://futlab.cc/3d-tisk-nastaveni-materialy/>

Galdeano, J.A.L. (2015). *3D PRINTING FOOD: THE SUSTAINABLE FUTURE*. Diplomová práce. Kaunas University of Technology, Institute of environmental engineering

García-Villén, F. et al. (2021). Clay Minerals as Bioink Ingredients for 3D Printing and 3D Bioprinting: Application in Tissue Engineering and Regenerative Medicine. *Pharmaceutics*. 13(11):1806. DOI 10.3390/pharmaceutics13111806

Hager, I. et al. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering*. 151: 292-299. DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.357

Hanzlíček, M. (2019). *Stavba 3D tiskárny*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

help.prusa3d.com (2023). cs [online]. [cit. 25. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/stavebnice-3d-tiskarny-original-prusa-i3-mk3s-3/#Specs>

heureka.cz (2023). *prusa-i3-mk3* [online]. [cit. 16. 2. 2023]. Dostupné z: <https://3d-tiskarny.heureka.cz/prusa-i3-mk3/#specifikace/>

Chlumský, M a Šimonovský, M. (1984) *Síla a mechanické zkoušky materiálu*. 5. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha

Chua, Ch. K. et al. (2017). *Lasers In 3d Printing And Manufacturing*. 2. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. ISBN 978-981-4656-44-3

konstrukter.cz (2015). *3d-tisk-pro-kazdeho-konstruktera* [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/3d-tisk-pro-kazdeho-konstruktera/>

Kumar, L. et al. (2019) *3D Printing and Additive Manufacturing Technologies*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. ISBN 978-981-13-4382-7

Lee, J. Y. et al. (2017). Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied Materials Today*, 7: 120-133. DOI 10.1016/j.apmt.2017.02.004

letemsvetemapplem.eu (2018). *3d-tiskarnu-tevo-tarantula-si-sestavite-sami-doma* [online]. [cit. 16. 2. 2023]. Dostupné z: <https://www.letemsvetemapplem.eu/2018/06/14/3d-tiskarnu-tevo-tarantula-si-sestavite-sami-doma/>

Liu, Z. et al. (2017) 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*. 69: 1-190. DOI 10.1016/j.tifs.2017.08.018

matca.cz (2023). *aditivni-technologie* [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://matca.cz/technologie/aditivni-technologie/>

materialpro3d.cz (2023). *PET, PET-G* [online]. [cit. 9. 2. 2023]. Dostupné z: [https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pet-g/#:~:text=PET%2DG%20je%20upraven%C3%A1%20verze,n%C3%A1razu%20na%20rozd%C3%AD%20od%20PET\).](https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pet-g/#:~:text=PET%2DG%20je%20upraven%C3%A1%20verze,n%C3%A1razu%20na%20rozd%C3%AD%20od%20PET).)

Mičkal, K. (2008). *Technická mechanika I*. 4. Informatorium, spol. s.r.o., Praha. ISBN 978-80-7333-063-7

Protocast s.r.o. (2023). *Katalog materiálů*. Praha

Stříteský, O. et al. (2019). *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. 1. Prusa Research a.s., Praha

Raszková, L. (2018). *Korelace vrubové houževnatosti a mikrotvrdosti*. Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky

siemens.com (2023). *solutions* [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://solidedge.siemens.com/en/solutions/users/students/>

smartmania.cz (2022). *realme-9-pro-plus* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://smartmania.cz/katalog/realme-9-pro-plus/>

svethardware.cz (2016). *biotiskarna-itop-uz-zvkladne-vyrobu-tkani-pro-transplantaci* [online]. [cit. 2. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/biotiskarna-itop-uz-zvkladne-vyrobu-tkani-pro-transplantaci/41904>

technickytydenik.cz (2014). *biotisk-v-lekarstvi-na-vzestupu_25955* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-medicinska-technika/biotisk-v-lekarstvi-na-vzestupu_25955.html

tonerpartner.cz (2020). *prumysl-astronautika-i-lekarstvi-k-cemu-se-3d-tisk-vyuziva* [online]. [cit. 17. 2. 2023]. Dostupné z: <https://www.tonerpartner.cz/clanky/prumysl-astronautika-i-lekarstvi-k-cemu-se-3d-tisk-vyuziva-25297cz39332/>

Torta, S. (2019), *3D Printing. Mercury learning & information*. Mercury Learning and Information. ISBN 978-1683922094.

trilab3d.com (2023). *materialy-pro-3d-tisk* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://trilab3d.com/cs/magazin/materialy-pro-3d-tisk/>

ultimaker.com (2022). *history-of-3d-printing* [online]. [cit. 19. 3. 2023]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/learn/history-of-3d-printing>

Vermulen, N. et al. (2017). 3D bioprint me: a socioethical view of bioprinting human organs and tissues. *Journal of Medical Ethics*. 43:618-624. DOI 10.1136/medethics-2015-103347

vlastra.ru (2021). *shokoladnyi-3d-printer-d-pechat-azhurnyh-ukrashenii-dlya-konditerskih-izdelii* [online]. [cit. 3. 4. 2023]. Dostupné z: <https://vlastra.ru/cs/pancakes/shokoladnyi-3d-printer-d-pechat-azhurnyh-ukrashenii-dlya-konditerskih-izdelii.html>

mobilenet.cz (2022). *recenze-realme-9-pro-vykon-na-prvnim-miste-45559* [online]. [cit. 4. 4. 2023]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/recenze-realme-9-pro-vykon-na-prvnim-miste-45559>

vseumel.cz (2023). *3d tiskarny recenze* [online]. [cit. 7. 2. 2023]. Dostupné z: <https://www.vseumel.cz/3d-tiskarny-recenze/>

Yashar, M. et al. (2019) Robotic construction & Prototyping of a 3D-printed Mars surface habitat. In: *International Astronautical Congress*, IAC, Washington

Zengmin, X. e al. (2018). Tissue and Organ 3D Bioprinting. *SLAS Technology*, 23: 301-314. DOI 10.1177/2472630318760515

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: První SLA 3D tiskárna Apparatus (fs.cvut.cz, 2022).....	9
Obrázek 1.2: 3D tiskárna Creality Ender-3 V2.....	10
Obrázek 1.3: 3D tiskárna PRUSA i3 MK3	12
Obrázek 1.4: 3D tiskárna Tevo Tarantula s vyměněnými komponenty.....	14
Obrázek 1.5: Rozdělení technologií používajících plast jako vstupní materiál (matca.cz, 2023).....	15
Obrázek 1.6: Rozdělení technologií používajících kov jako vstupní materiál (matca.cz, 2023)	15
Obrázek 1.7: Osy pohybu kartézské tiskárny (Stříteský et al., 2019).....	17
Obrázek 1.8: Osy pohybu delta tiskárny (Stříteský et al., 2019)	17
Obrázek 1.9: Osy pohybu polar tiskárny (vlabs.ac.in, 2023).....	18
Obrázek 1.10: Jednotlivé části FDM tiskárny (help.prusa3d.com, 2023).....	18
Obrázek 1.11: 3D tisk rodinného domu (all3dp.com, 2022)	23
Obrázek 1.12: Ucho z živé tkáně vyrobené pomocí 3D biotisku (svethardware.cz, 2016)	24
Obrázek 1.13: Graf pevnosti jednotlivých materiálů (help.prusa3d.com, 2019).....	26
Obrázek 1.14: Písty pro Porsche 911 GT2 RS vytištěné na 3D tiskárně technologií SLM (auto-mania.cz, 2020)	30
Obrázek 1.15: Stavebí 3D tiskárna řešená jako robotická paže (ceskestavby.cz, 2020)	31
Obrázek 1.16:Dům postavený pomocí české 3D tiskárny, která je řešena jako portál (fs.cvut.cz, 2022b).....	31
Obrázek 1.17: První miniatura plně funkčního srdce vytištěného za použití 3D biotisku (ceskatelevize.cz, 2019)	32
Obrázek 1.18: Čokoládová dekorace vytištěná na 3D tiskárně.....	33
Obrázek 3.1: Model vzorku pro zkoušku materiálu v tahu.....	36
Obrázek 3.2: Model vzorku pro zkoušku vrubové houževnatosti.....	36
Obrázek 3.3: Model vzorku pro optickou zkoušku kvality povrchu.....	37
Obrázek 3.4: Rozměry vzorku pro zkoušku vrubové houževnatosti (Raszková, 2018)	38
Obrázek 3.5: Sharphyho kyvadlové kladivo použité pro zkoušku vrubové houževnatosti.....	39

Obrázek 3.6: Vzorky pro tahovou zkoušku materiálu (Driml, 2017)	40
Obrázek 3.7: Tahový diagram pro zkoušku materiálu v tahu (Raszková, 2018).....	40
Obrázek 3.8: Univerzální trhací přístroj použitý v této bakalářské práci	41
Obrázek 3.9: Upnutí vzorku do kleštin trhacího přístroje.....	42
Obrázek 3.10: Vzorek použitý pro optickou zkoušku kvality povrchu	42
Obrázek 4.1: Graf naměřených hodnot na vzorcích vytičtšných na tiskárně Creality Ender-3 V2.....	50
Obrázek 4.2: Graf naměřených hodnot na vzorcích vytičtšných na tiskárně PRUSA i3 MK3	51
Obrázek 4.3: Graf naměřených hodnot na vzorcích vytičtšných na tiskárně Tevo Tarantula	52
Obrázek 4.4: Porovnání průměrných hodnot naměřených na vzorcích pro zkoušku materiálu v tahu.....	53
Obrázek 4.5: Povrch vzorku vytištěného na tiskárně Creality Ender-3 V2	54
Obrázek 4.6: Kvalita detailů a jednotlivých vrstev	54
Obrázek 4.7: Povrch vzorku vytištěného na tiskárně PRUSA i3 MK3	55
Obrázek 4.8: Kvalita zubů a jednotlivých vrstev	55
Obrázek 4.9: Kvalita úst a jednotlivých vrstev vzorku vytištěném na tiskárně Tevo Tarantula	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické parametry 3D tiskárny Creality Ender-3 V2 (crealitystore.cz, 2023)	11
Tabulka 2: Technické parametry 3D tiskárny PRUSA i3 MK3 (help.prusa3d.com, 2023)	13
Tabulka 3: Orientační ceny nejčastěji používaných materiálů (3djake.com, 2023) ..	16
Tabulka 4: Doporučené teploty přehřátí pro různé materiály (futlab.cc, 2023).....	19
Tabulka 5: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie SLS (cotu.cz, 2019)	20
Tabulka 6: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie SLA (fs.cvut.cz (b), 2022)	21
Tabulka 7: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie SLM (3dtech.cz, 2016)	21
Tabulka 8: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie EBM (cotu.cz, 2019)	22
Tabulka 9: Porovnání výhod a nevýhod při použití technologie MJF (cotu.cz, 2019)	22
Tabulka 10: Materiály používané pro jednotlivé technologie (Protocast s.r.o., 2023)	25
Tabulka 11: Základní parametry materiálu PET-G (3dtisk-online.cz, 2023)	26
Tabulka 12: Základní parametry materiálu PLA (3dtisk-online.cz, 2023)	27
Tabulka 13: Základní parametry materiálu ABS (3dtisk-online.cz, 2023).....	27
Tabulka 14: Základní parametry materiálu FLEX (3dtisk-online.cz, 2023).....	28
Tabulka 15: Parametry fotoaparátu u telefonu Realme 9 Pro plus (mobilenet.cz, 2022)	43
Tabulka 16: Tabulka časů tisku jednotlivých zkušebních vzorků	44
Tabulka 17: Tabulka teplot při tisku jednotlivých zkušebních vzorků	45
Tabulka 18: Tabulka naměřených hodnot pro vzorky vytištěné na tiskárně Creality Ender-3 V2.....	47
Tabulka 19: Tabulka naměřených hodnot pro vzorky vytištěné na tiskárně PRUSA i3 MK3	48
Tabulka 20: Tabulka naměřených hodnot pro vzorky vytištěné na tiskárně Tevo Tarantula	48

Tabulka 21: Tabulka hodnot naměřených na vzorcích vytištěných na tiskárně Creality Ender-3 V2	49
Tabulka 22: Tabulka hodnot naměřených na vzorcích vytištěných na tiskárně PRUSA i3 MK3	50
Tabulka 23: Tabulka hodnot naměřených na vzorcích vytištěných na tiskárně Tevo Tarantula	51