

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

KATEDRA VÝPOČETNÍ A DIDAKTICKÉ TECHNIKY

**TISK 3D OBJEKTŮ S OHLEDEM NA RŮZNÉ DRUHY  
MATERIÁLU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Tomáš Vajskebr**

*Informatika se zaměřením na vzdělávání a technická výchova*

Vedoucí práce: Mgr. Filip Frank

**Plzeň 2022**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně  
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 10. června 2022

.....  
vlastnoruční podpis

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval Mgr. Filipu Frankovi za odborné vedení, cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultaci a vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl vyjádřit poděkování své rodině za poskytnutí prostoru pro tvorbu mé práce.

## **ABSTRAKT**

### TISK 3D OBJEKTŮ S OHLEDEM NA RŮZNÉ DRUHY MATERIÁLU

Bakalářská práce se zaměřuje na vybrané materiály v podobě tiskových strun, které se využívají pro 3D tisk metodou FDM. Pomocí navržené metodiky pro testování nejlepší teploty tisku vybraných materiálů byla vybrána jedna, která vede k nejlepším výsledkům. Určené teploty jsou dále využity pro tisk navrhovaných modelů, které využívají specifické vlastnosti vybraných materiálů.

### **Klíčová slova**

Tisk, 3D tisk, tiskárna, 3D tiskárna, materiál, teplota, termoplast, PLA, PETG, ABS, TPE, PP, FDM, FFF, SLA.

## **ABSTRACT**

### PRINTING 3D OBJECTS WITH REGARD TO DIFFERENT TYPES OF MATERIAL

This bachelor's thesis focuses on selected materials in shape of printing filament which are used for 3D printing by Fused Fabrication Method. Using the proposed methodology for testing the ideal printing temperature of selected materials, the one that leads to the best results was selected. The selected temperature is also used to print the proposed models, which use specific properties of selected materials.

### **Keywords**

Printing, 3D printing, printer, 3D printer, material, temperature, thermoplastic, PLA, PETG, ABS, TPE, PP, FDM, FFF, SLA.

# OBSAH

OBSAH .....	1
SEZNAM ZKRATEK .....	4
ÚVOD .....	5
I. TEORETICKÁ ČÁST .....	6
1 HISTORIE 3D TISKU .....	6
2 3D TISK A SOFTWARE .....	7
3 FDM/FFF A SLA METODA TISKU .....	9
3.1 FDM/FFF METODA TISKU .....	9
3.1.1 Princip funkce tiskáren využívajících metodu FDM .....	10
3.1.2 Konstrukční díly FDM tiskáren .....	11
3.1.3 Výhody a nevýhody FDM metody .....	13
3.1.4 Využití metody FDM .....	13
3.2 SLA METODA TISKU .....	13
3.2.1 Princip funkce tiskáren využívajících metodu SLA .....	14
3.2.2 Konstrukční díly SLA tiskáren .....	17
3.2.3 Výhody a nevýhody SLA metody .....	18
3.2.4 Využití metody SLA .....	18
4 MATERIÁLY PRO 3D TISK METODOU FDM/FFF .....	19
4.1 VÝROBA TISKOVÉ STRUNY .....	20
4.2 PLA – KYSELINA POLYMLÉČNÁ .....	23
4.2.1 Popis materiálu .....	23
4.2.2 Tisková plocha .....	23
4.2.3 Výhody .....	24
4.2.4 Nevýhody .....	24
4.2.5 Využití .....	24
4.3 PETG – POLYETHYLENTEREFTALÁT + GLYKOL .....	25
4.3.1 Popis materiálu .....	25
4.3.2 Tisková plocha .....	25
4.3.3 Výhody .....	26
4.3.4 Nevýhody .....	26
4.3.5 Využití .....	26
4.4 ABS – AKRYLONITRILBUTADIENSTYREN .....	27
4.4.1 Popis materiálu .....	27
4.4.2 Tisková plocha .....	27
4.4.3 Výhody .....	28
4.4.4 Nevýhody .....	28
4.4.5 Využití .....	28
4.5 ASA – AKRYLONITRIL–STYREN–AKRYLÁT .....	29
4.5.1 Popis .....	29
4.5.2 Tisková plocha .....	29
4.5.3 Výhody .....	29
4.5.4 Nevýhody .....	29
4.5.5 Využití .....	30
4.6 TPE – TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER .....	31
4.6.1 Popis materiálu .....	31

4.6.2	Tisková plocha .....	31
4.6.3	Výhody .....	31
4.6.4	Nevýhody .....	32
4.6.5	Využití .....	32
4.7	PP – POLYPROPYLEN .....	33
4.7.1	Tisková plocha .....	33
4.7.2	Výhody .....	33
4.7.3	Nevýhody .....	34
4.7.4	Využití .....	34
II.	PRAKTICKÁ ČÁST .....	35
1	ÚVOD .....	35
2	TISKOVÁ SOUSTAVA A PŘÍPRAVA MATERIÁLU .....	35
2.1	TISKOVÝ BOX .....	35
2.2	POUŽITÉ TISKÁRNY A JEJICH NASTAVENÍ .....	36
2.3	PŘÍPRAVA MATERIÁLU PRO TISK .....	36
5	PLA – KYSELINA POLYMLÉČNÁ .....	39
5.1	VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE .....	39
5.2	PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE .....	39
5.2.1	Problémy .....	39
5.2.2	Použitá tisková plocha a adheze .....	39
5.3	VÝSLEDEK TEPLTNÍ VĚŽE .....	40
5.4	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY .....	41
5.5	NAVRHOVANÉ MODELY .....	42
6	PETG – POLYETHYLENTEREFTALÁT + GLYKOL .....	44
6.1	VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE .....	44
6.2	PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE .....	44
6.2.1	Problémy .....	44
6.2.2	Použitá tisková plocha a adheze .....	44
6.3	VÝSLEDEK TEPLTNÍ VĚŽE .....	45
6.4	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY .....	46
6.5	NAVRHOVANÉ MODELY .....	47
7	ABS – AKRYLONITRILBUTADIENSTYREN .....	50
7.1	VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE .....	50
7.2	PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE .....	50
7.2.1	Problémy .....	50
7.2.2	Použitá tisková plocha a adheze .....	50
7.3	VÝSLEDEK TEPLTNÍ VĚŽE .....	52
7.4	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY .....	53
7.5	NAVRHOVANÉ MODELY .....	54
8	ASA – AKRYLONITRIL-STYREN-AKRYLÁT .....	56
8.1	VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE .....	56
8.2	PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE .....	56
8.2.1	Problémy .....	56
8.2.2	Použitá tisková plocha a adheze .....	56
8.3	VÝSLEDEK TEPLTNÍ VĚŽE .....	57
8.4	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY .....	58
8.5	NAVRHOVANÉ MODELY .....	59
9	TPE – TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER .....	61

---

9.1	VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE .....	61
9.2	PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE .....	61
9.2.1	Problémy.....	61
9.2.2	Použitá tisková plocha a adheze.....	61
9.3	VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE .....	62
9.4	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY .....	63
9.5	NAVRHOVANÉ MODELY.....	64
10	PP – POLYPROPYLEN.....	66
10.1	VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE .....	66
10.2	PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE .....	66
10.2.1	Problémy.....	66
10.2.2	Použitá tisková plocha a adheze.....	67
10.3	VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE .....	67
10.4	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY .....	68
10.5	NAVRHOVANÉ MODELY.....	69
11	SROVNÁNÍ MATERIÁLŮ .....	70
	ZÁVĚR.....	71
	RESUMÉ .....	72
	SEZNAM LITERATURY .....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ .....	76
	PŘÍLOHY .....	I

**SEZNAM ZKRATEK**

FDM – Fused Deposition Modeling – Modelování spojováním naneseného materiálu

FFF – Fused Filament Fabrication – Modelování spojením vlákna

SLA – Stereolithography – Sterolitografie

DLP – Digital Light Processing – Digitální zpracování světla

LCD – Liquid crystal display – Displej na bázi tekutých krystalů

PEI – Polyetherimide – Polyetherimidová vlákna

PLA – Polylactic acid – Kyselina polymléčná

PETG – Polyethylene terephthalate + Glycol – Polyethylentereftalát + Glykol

PET – Polyethylene terephthalate – Polyethylentereftalát

ABS – Acrylonitrile butadiene styrene – Akrylonitrilbutadienstyren

ASA – Acrylonitrile styrene acrylate – Akrylonitril-styren-akrylát

TPE – Thermoplastic elastomers – Termoplastický elastomer

PP – Polypropylene – Polypropylen



## ÚVOD

Bakalářská práce, s názvem Tisk 3D objektů s ohledem na různé druhy materiálu se zabývá zkoumáním termoplastických tiskových strun, které využívá stroj fungující na principu natavování a nanášení plastu v tenkých vrstvách pro vytvoření 3D objektu. Tyto materiály budeme v teoretické části zkoumat z pohledu výroby, využití a vlastností. V praktické části využijeme získané informace z teoretické části pro tisk testovacích modelů a navrheme objekty, jež využívají specifické vlastnosti vybraných materiálů.

V teoretické části se zaměříme na historii 3D tisku. Dotkneme se důležitých dat v průběhu vyvíjení 3D tisku a zmíníme nejvýznamnější jména v této oblasti. Dále vysvětlíme a popíšeme jednotlivé počítačové programy, které jsou potřebné pro správné nastavení a tvorbu strojového kódu potřebného pro úspěšné vytisknutí modelu. V této části se také pokusíme popsat nejpoužívanější tiskové metody a konstrukční části jednotlivých 3D tiskáren, které je využívají. Nejobsáhlejší kapitolou bude kapitola Materiály pro 3D tisk metodou FDM/FFF. V této kapitole popíšeme nejpoužívanější termoplastické materiály, které se zde využívají. U jednotlivých materiálů bude uveden jejich popis, vlastnosti, výhody, nevýhody a doporučení pro úpravu tiskové plochy.

V praktické části se zaměříme na vybrané termoplastické materiály. Po vytisknutí vybraných testovacích modelů určíme nejlepší teplotu tiskové trysky a popíšeme vlastnosti, kterých materiál dosahuje. V této části bude navrženo, jakou tiskovou plochu a s jakou úpravou je vhodné pro daný materiál použít. Podle testovacích modelů vybereme a vytiskneme modely, jež nejlépe využijí a zachytí vlastnosti materiálu.

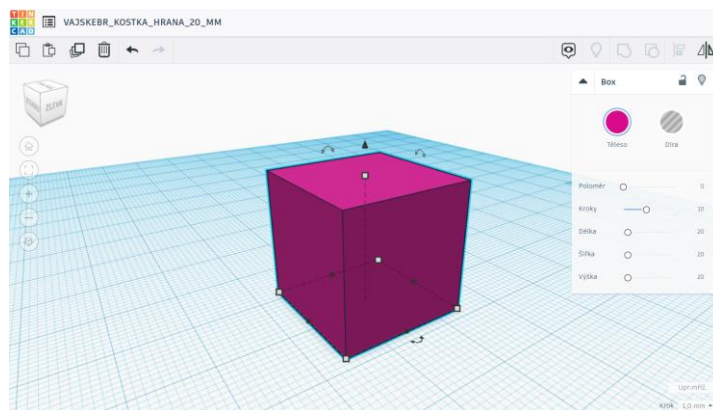
# I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 HISTORIE 3D TISKU

Metoda 3D tisku není tak nová, jak se může jevit. Již v roce 1964 jistý Artur C. Clarke popsal základy aditivní výroby a funkci jednoduchých 3D tiskáren. Za přelomový se považuje rok 1986. V tomto roce si americký inženýr Chuck Hull, přezdívaný také jako „otec 3D tisku“, patentoval zcela přelomovou aditivní technologii výroby modelů. Tento proces výroby dostal jméno stereolitografie (cotu, 2022). Metoda stereolitografie se zakládá na principu vytvrzování pomocí ultrafialového záření, kdy se za pomoci laseru ostřeluje tekutý fotopolymer. Pokud dojde k ozáření určitého místa tiskové plochy, nastane vytvrzení a tím vytvoření jedné vrstvy modelu. Výrobek se tedy staví postupně, vrstvu po vrstvě (dkmp, 2018). Na tomto principu vznikl koncem 90. let také jeden z prvních přístrojů, který tuto metodu využíval. Tento přístroj byl určen i pro veřejnost, ale kvůli jeho ceně nebyl příliš rozšířen (ASME, 2016). Nemůžeme říci, že se jedná o 3D tiskárnu, jelikož tento pojem je poměrně nový a v té době se ještě nepoužíval. Metody a styly 3D tisku se neustále vyvíjí, a i když počátky 3D tisku datujeme do druhé poloviny 19. století, je tento obor stále na počátku.

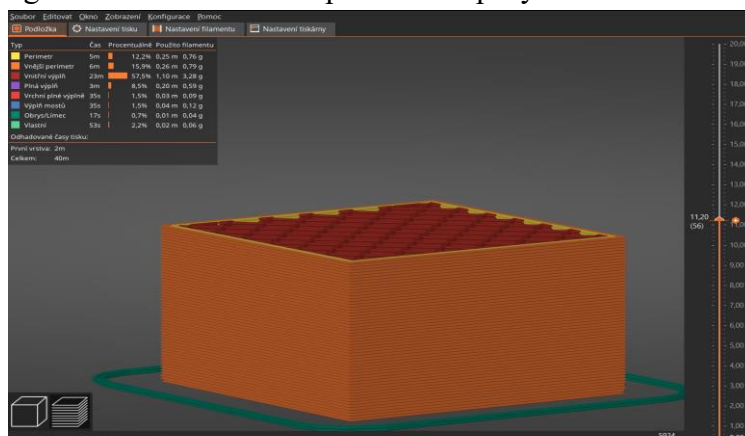
## 2 3D TISK A SOFTWARE

Nejprve je vhodné vysvětlit, co 3D tisk znamená. „3D tisk je tzv. aditivní proces, při kterém se z digitální předlohy (3D modelu) vytváří fyzický model“ (Krebs, Kolařík, & Bryksí Stunová, 2020, str. 54). Podle této definice můžeme říci, že 3D tisk je proces výroby, při kterém se materiál přidává, na rozdíl od klasického procesu výroby, kdy se materiál odebírá z monolitického kusu. Pro vytisknutí výrobku na 3D tiskárně potřebujeme model výrobku v elektronické podobě. Toho docílíme tak, že výrobek vymodelujeme pomocí 3D modelovacího programu, jako je například AutoCAD, SketchUp, SolidWorks nebo volně dostupný Thincercad.



Obrázek 1:Thincercad – kostka

Takto vytvořený model nemůžeme přímo nahrát do 3D tiskárny a očekávat, že nám její tiskárna vyrobí. Musíme nejdříve použít slicer, což je specializovaný druh softwaru pro tvorbu G-kódu, který se používá nejen pro řízení 3D tiskáren. Slicer elektronický 3D model v podstatě rozřeže do předem definovaných vrstev. Tyto vrstvy dostanou vektorovou mapu v podobě takzvaného G-kódu. Jako příklady volně dostupných programů na vytváření G-kódu můžeme uvést programy PrusaSlicer, Slic3r nebo základní verze programu Cura. Z placených programů lze dále uvést například Simplify3D.



Obrázek 2: PrusaSlicer-2.4.0 - rozřezaná kostka  
(Zdroj: Vlastní)

V G-kódu jsou zapsány pozice, kterými musí 3D tiskárna projít, aby vytvořila fyzický výrobek. Mimo pozice jsou v kódu i části, jež jsou potřebné ke komunikaci s tiskárnou. Tento kód již umí 3D tiskárna přečíst a vytvořit fyzickou kopii elektronického modelu. Jako příklad G-kódu uvádíme prvních několik řádek samotného kódu potřebného pro vytvoření kostky o hraně 20 milimetrů.

```
...  
G1 X154.173 Y158.242 E.04262  
G1 X153.638 Y158.242 E.01679  
G1 X155.132 Y159.736 E.06636  
G1 X155.132 Y160.27 E.01679  
...
```

G-kód se skládá v zásadě ze dvou částí. První část (zelená) udává typ pohybu 3D tiskárny. V našem případě G1 znamená lineární pohyb. Můžeme mít i značení kruhu, kterému odpovídá G2. Druhá část (žlutá) udává hodnoty pozice na osách X, Y a počet kroků extruderu E. V G-kódu se nachází také hodnota Z, která uvádí, o jakou výšku se má tisková hlava posunout pro vytisknutí jedné vrstvy výrobku. 3D tisk je tedy vytvoření fyzického objektu z digitální předlohy pomocí určitého typu kódu, který získáme za použití speciálních programů.

### 3 FDM/FFF A SLA METODA TISKU

Pod zkratkami FDM/FFF a SLA je pro neznalé velmi složité si představit určitou definici. Jedná se však o nejdůležitější metody, jež se využívají ve 3D tisku. V této části se je tedy pokusíme vysvětlit a přiblížit. U každé metody uvedeme jejich stručnou historii, princip, využití, výhody a nevýhody se kterými se můžeme u jednotlivých metod setkat.

#### 3.1 FDM/FFF METODA TISKU

Nejprve se podíváme na zkratky FDM a FFF. Pod těmito dvěma zkratkami se skrývají dva názvy. Pod zkratkou FDM se skrývá anglický název Fused Deposition Modeling a pod zkratkou FFF název Fused Filament Fabrication. Tyto dvě zkratky existují kvůli patentu, jehož vznik datujeme do roku 1989. Byl založen na stroji, který dokázal pomocí pohyblivé hlavy vytlačovat roztavený plastový materiál v ose X, Y a Z. Roztavený materiál postupně chladl a přecházel do pevného skupenství. O patent si zažádal americký technik Steven Scott Crump, který se svou manželkou Lisou Crump založil společnost Stratasys. Firma Stratasys se zabývá výrobou 3D tiskáren, které využívají technologii FDM. Stroje pod názvem 3D Modeler byly představeny v roce 1992 právě pod záštitou firmy Stratasys. Z důvodu definice a fungování patentu se vývoj FDM strojů zabrzdil. Paralelně s touto metodou vznikaly další technologie. V roce 2009 vypršel patent firmy Stratasys. Začaly se objevovat firmy, jež se specializovaly na výrobu 3D tiskáren. Vznikla firma MakerBot, která v roce 2009 přišla na trh s tiskárnou MakerBot Cupcake. O dva roky později, tedy v roce 2011, vznikla firma Ultimaker a rok poté byla založena i česká firma na výrobu 3D tiskáren Prusa Research, která dostala jméno po svém zakladateli Josefu Průšovi. Díky vypršení patentu bylo možné i zredukování ceny těchto zařízení, ze statisíců na řádově tisíce. V roce 2009, brzy po vypršení patentu firmy Stratasys, se podařilo projektu RepRap (Replicating Rapid Prototyper) vytvořit první 3D tiskárnu, která se dokázala klonovat. To znamená, že je jedna tiskárna schopna vytvořit svou kopii. Projekt RepRap založil v roce 2004 britský inženýr a matematik Adrian Bowyer. S projektem RepRap se začala používat zkratka FFF. Tato zkratka vznikla kvůli tomu, aby bylo možné vyrábět tiskárny, jež využívaly technologii FDM, bez obav o porušení patentu.

### 3.1.1 PRINCIP FUNKCE TISKÁREN VYUŽÍVAJÍCÍCH METODU FDM

Metoda FDM využívá principu natavování termoplastického materiálu, který je navinutý ve formě struny. Právě ta je navinuta na cívce, která je vytvořena z plastu (Zeman, 2018, str. 138). Z pohledu ekologie se však mnoho výrobců klaní spíše k využití recyklovaného kartonu pro výrobu celých cívek či jejich částí. Příkladem mohou být cívky od výrobce Polymaker nebo českého výrobce Prusa, který využívá kartonové středy cívek. Struna je přiváděná do tiskové hlavy za pomoci krokového motoru. Tomuto motoru se říká extrudér. V tiskové hlavě je odporovým tělesem zahřívána tryska, kde se materiál taví na teplotu, při níž je schopen vytékat ven. Materiál je poté vytlačován skrz trysku na vyhřívanou tiskovou podložku. Tisková hlava se pohybuje v rovině osy X a Y. V této rovině zůstává do doby, než je vytištěna jedna celá vrstva výrobku. Po dokončení vrstvy tiskárna načte již dříve zmiňovaný G-kód, který vyvolá změnu v posunu osy Z o předem danou hodnotu. Po posunu osy Z může tiskárna pokračovat v tisku další vrstvy.

### 3.1.2 KONSTRUKČNÍ DÍLY FDM TISKÁREN

3D tiskárny typu FDM využívají součásti robotiky (servomotory, lineární vedení, krokové motory), (Krebs, Kolařík, & Bryksí Stunová, 2020).

#### 1. Rám tiskárny

Rám tiskárny zajišťuje stabilitu a pevnost v osách. V minulosti se pro první 3D tiskárny využívaly například závitové tyče nebo hliníkové trubky. Novým, velmi rozšířeným trendem je využití extrudovaných hliníkových profilů. Tyto profily disponují vysokou pevností a tuhostí. Další výhodou je, že se dají využít jako vodící kolejnice pro kolečka, která zajišťují pohyb tiskové plochy nebo hlavy.

#### 2. Elektrický zdroj

Ve 3D tiskárnách se využívá nejčastěji 12 či 24 V stejnosměrných. Proto je do konstrukce zabudován zdroj, který zajišťuje převod 220 V střídavých na stejnosměrné napětí.

#### 3. Tisková podložka

Tisková podložka se vyrábí převážně z hliníku. Tisková plocha je nejčastěji osazena o odporovou tepelnou podušku, která zajišťuje vyhřívání desky. Vyhřívána tisková podložka je výhodná pro tisk materiálů, jež mají výraznější tepelnou roztažnost. Na tiskovou podložku se mohou přidat tiskové pláty z oceli, skleněné texturované pláty, PEI lesklé a texturované pláty, nebo zrcadlo.

#### 4. Tisková hlava a extruder

Tisková hlava je složena z více částí. Hlavní částí tiskové hlavy je odporové těleso a tryska, která nahřívá materiál a následně jej taví. Další částí tiskové hlavy jsou ventilátory. Jeden je použit pro ochlazování chladiče, druhý je využit pro chlazení vytištěného materiálu a napomáhá tak zatuhnutí tekutého materiálu. Další částí je motor, který posouvá tiskovou strunu. Tomuto stylu konstrukce, kdy je motor podávající materiál přímo na tiskové hlavě, se přezdívá „direct drive“, nebo „přímý extruder“. Existuje i konstrukce, kdy je motor posouvající materiál ke trysce umístěn mimo tiskovou hlavu. Materiál je veden pomocí PTFE trubičky přímo ke trysce. Tomuto uspořádání se přezdívá bovdenový systém. Jednotlivé metody mají své výhody a nevýhody. Nespornou výhodou přímého extruderu je fakt, že můžeme tisknout flexibilní materiály. Nevýhodou je však to, že při akceleraci a zpomalování dochází k otřesům a ty se na modelu negativně projevují. Při použití bovdenového extruderu vznikají problémy s flexibilními materiály. Materiál se v trubičce

zasekává a dochází k jeho zamotání na posuvná kolečka extruderu. Výhodou je zde to, že samotný pohyb tiskové hlavy může být rychlejší než při použití přímého extruderu (Horvath & Cameron, 2014).

## 5. Řídící deska

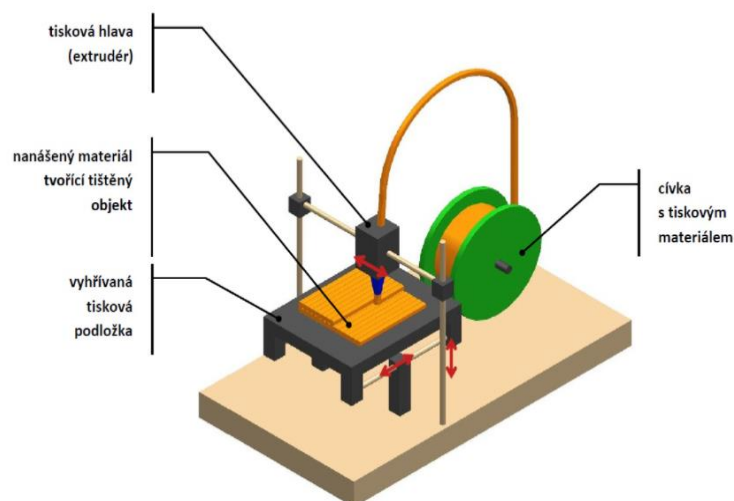
Řídící deska tiskárny čte a zpracovává G-kód a celkově ovládá tiskárnu. V minulosti se používaly osmibitové řídicí desky. V současné době se využívá 32bitových desek, které jsou schopny přesnějšího řízení a celkového ovládní 3D tiskárny. Tyto desky podporují i grafické displeje a nejen řádkové displeje.

## 6. Displej

Displej je připojen přímo na řídicí desku. Displej 3D tiskárny se používá primárně k ovládní tiskárny mimo G-kód. Nejčastěji je osazen otočný dekodér, kterým se pohybuje po řádkovém displeji. V moderních tiskárnách se začínají využívat dotykové barevné LCD displeje, které jsou více uživatelsky přívětivé.

## 7. Krokové motory, řemeny a trapézové tyče

Krokové motory zajišťují přesné posuny v jednotlivých osách. Tyto motory mají na svých osách osazena ozubená kola, která za pomoci ozubených řemenů převádí otáčivý moment v lineární a posouvají tak jednotlivé části 3D tiskárny v osách X a Y. Pro osu Z se nejčastěji používají trapézové závitové tyče. Závitové tyče zajišťují větší pevnost a přesnější posun o malé vzdálenosti.



Obrázek 3: FDM/FFF tisk

(Zdroj: [www.dkmp.cz](http://www.dkmp.cz). 09.01.2018. dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>)



### 3.1.3 VÝHODY A NEVÝHODY FDM METODY

#### Výhody:

- Nejjednodušší a nejlevnější metoda 3D tisku;
- Vznik minimálního odpadu;
- Čistý tisk;
- Velký sortiment materiálů pro tisk.

#### Nevýhody:

- V porovnání s jinými metodami tisku nedosahuje takové míry detailu;
- Povrch výtisku není hladký (nerovnosti způsobené jednotlivými vrstvami);
- Tloušťka vrstvy (nejnižší vrstva, kterou doporučuje slicer Cura, je 0,16 mm).

### 3.1.4 VYUŽITÍ METODY FDM

Tato metoda je velmi vhodná pro rychlé prototypování. Vytvořený 3D model se vytiskne a může se okamžitě používat. Není nutný zdlouhavý posprocessing. Výtisky dosahují velké pevnosti v ose mimo vrstvy. Pokud budeme namáhat výrobek z osy vrstev, může se stát, že se jednotlivé vrstvy od sebe oddělí. Díky široké škále materiálů může výsledný výtisk nabývat různých vlastností, například pružnost, odolnost vůči ultrafialovému záření apod.

## 3.2 SLA METODA TISKU

Technologie SLA se začala vyvíjet již v 80. letech 20. století. Stroje, které využívaly tuto metodu, se objevily na trhu v roce 1987. Z důvodu jejich ceny byly určeny výhradně pro průmyslové využití. V následujících letech se tato technologie stala dostupnější i pro domácí potřebu a tím se dostala do povědomí společnosti. „3D objekt vzniká postupným vytvrzováním tekutého fotopolymeru, který je citlivý na světlo“ (Kratochvílová, 2015, str. 14). To znamená, že tiskárna pracuje s tekutinou, ze které vytváří fyzický objekt.

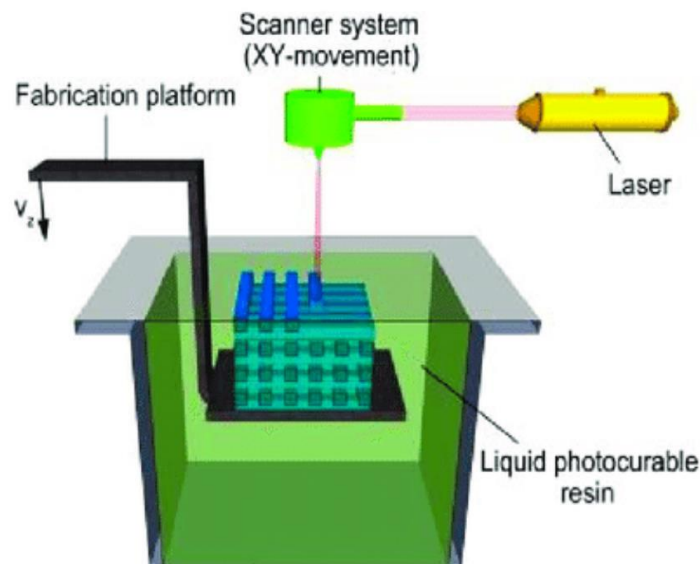
### 3.2.1 PRINCIP FUNKCE TISKÁREN VYUŽÍVAJÍCÍCH METODU SLA

#### 1. Tiskárny využívající princip TOP-DOWN

Základem tisku je hluboká nádoba, která je naplněna fotopolymerem. Do této nádoby se postupně potápí tisková plocha, vždy jen o výšku vrstvy. Na ponořenou plochu působí laser shora. Laser vytvrdí fotopolymer na místech, které jsou potřebné pro vytvoření modelu. Laser prochází od zdroje laseru přes odrazové zrcadlo a zaostřovací čočku. Po vytvrzení jedné vrstvy klesne tisková plocha o výšku vrstvy a proces se opakuje.

Výhoda top-down metody je, že laserový paprsek působí na fotopolymer napřímo. Tímto způsobem může dosahovat velkých detailů. Další výhodou je velikost výtisku, který je možné na tomto typu tiskárny vytvořit.

Nevýhoda top-down metody je, že na začátku tisku je potřeba velké množství fotopolymeru. Při tisku se musí celá tisková plocha a již vytištěný model celý ponořit do nádoby s fotopolymerem. Další nevýhodou je to, že se v průběhu tisku musí neustále kontrolovat hladina polymeru. Největší problém je v tom, že po dokončení tisku se musí počkat, než odteče přebytečný fotopolymer z výtisku. Při použití této metody také vzniká velké množství odpadu ve formě nevyužitého fotopolymeru, který je omyt v omývací lázni (Toit, 2020), (Runsom).



Obrázek 4: TOP-DOWN SLA tisk

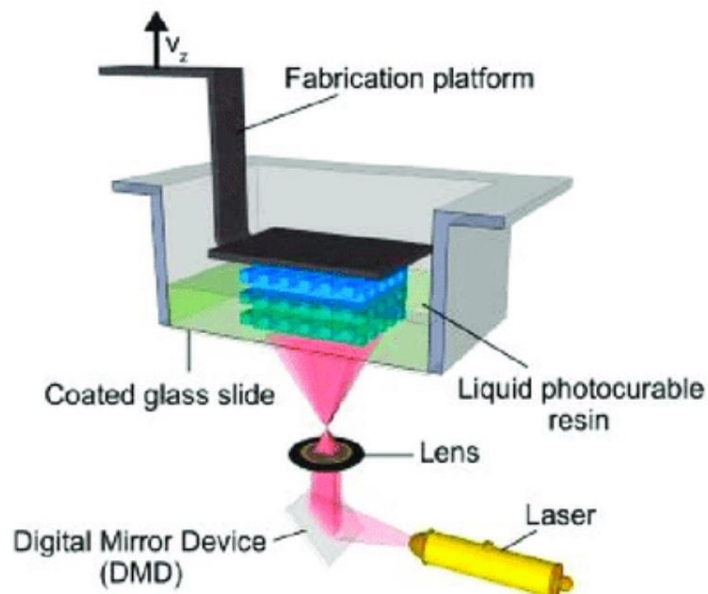
(Zdroj: [www.researchgate.net](https://www.researchgate.net). Prosinec 2018. dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-two-kinds-of-SLA-approaches-a-Bottom-up-setup-In-the-top-down-setup-b\\_fig1\\_322014553](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-two-kinds-of-SLA-approaches-a-Bottom-up-setup-In-the-top-down-setup-b_fig1_322014553) )

## 2. Tiskárny využívající princip BOTTOM-UP

Princip této metody je podobný předchozí s rozdílem, že se zde tisková plocha z nádoby s fotopolymerem vynořuje. Nádoba na fotopolymer má průhledné dno, aby bylo možné osvítit části potřebné pro vytvoření modelu. Tisková plocha se před tiskem ponoří do nádoby až na dno. Po dotyku se dnem se plocha zvedne o výšku jedné vrstvy a laserem se vytvrdí částí modelu. Laser se od zdroje odráží přes odrazovou plochu, kde se upravuje jeho směr a je přiváděn na tiskovou plochu. Po vytvrzení jedné vrstvy se tisková plocha zvedne, aby se polymer dostal mezi dno a výtisk. Po natečení polymeru tisková plocha opět klesne na výšku jedné vrstvy. Laser znovu vytvrdí fotopolymer a tyto akce se neustále opakují až do doby vytvoření celého modelu. Model se postupně vytahuje z tiskové nádoby.

Výhoda bottom-up metody spočívá v tom, že tisková nádoba je mělká a není potřeba tolik fotopolymeru pro vytvoření celého výtisku. Další z výhod je i to, že v průběhu tisku můžeme kontrolovat jeho kvalitu. Po vytažení modelu z nádoby může přebytečný fotopolymer odtékat zpět do tiskové nádoby a tím se polymer šetří.

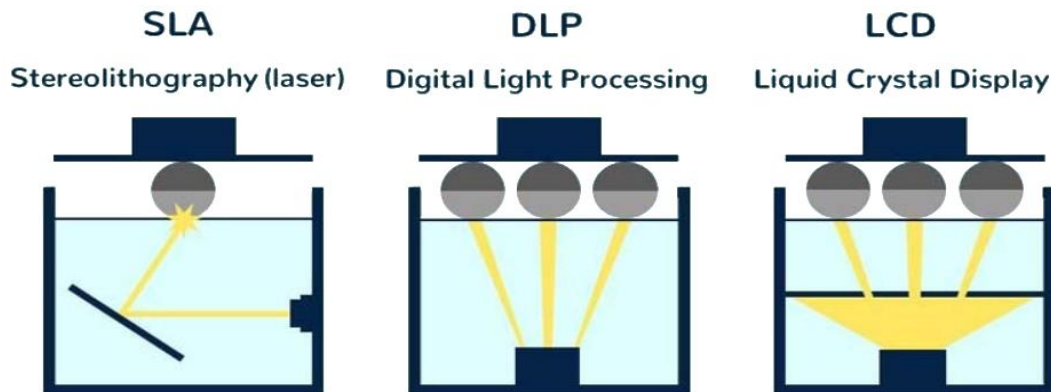
Nevýhodou je, že pokud chceme dosáhnout dobrých výsledků, musíme vhodně umístit podpěry, které chrání výtisk před možnými chybami, nebo dokonce před neúplným vytisknutím. Podpěry se musí následně zdlouhavě odstraňovat a na výtisku po nich zůstávají stopy, jež se musí složitě opravovat (Runsom), (All3DP, 2019).



Obrázek 5: BOTTOM-UP SLA tisk

(Zdroj: [www.researchgate.net](https://www.researchgate.net). Prosinec 2018. dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-two-kinds-of-SLA-approaches-a-Bottom-up-setup-In-the-top-down-setup-b\\_fig1\\_322014553](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-two-kinds-of-SLA-approaches-a-Bottom-up-setup-In-the-top-down-setup-b_fig1_322014553))

Metodě SLA jsou velmi podobné metody DLP a metody využívající LCD displeje. Tyto metody využívají princip bottom-up. Na rozdíl od laseru však fotopolymer osvětluje digitální projektor (v metodě DLP), nebo se osvětluje displejem s vysokým rozlišením. Displeje pro tyto tiskárny se používají monochromatické s různým rozlišením. Nevýhodou těchto stylů tiskáren je to, že z důvodu velikosti displejů mají při zachování rozlišení malý tiskový prostor. Nejrozšířenější velikost tiskového prostoru je 145×145×175 mm (All3DP, 2019).



Obrázek 6: SLA, DLP, LCD metoda tisku

(Zdroj: [www.creality.com](https://www.creality.com). metoda tisku. 23.06.2020. dostupné z: <https://www.creality.com/blog-detail/the-basic-introductory-guide-of-resin-3d-printers>)

### 3.2.2 KONSTRUKČNÍ DÍLY SLA TISKÁREN

Hlavními konstrukčními součástmi 3D tiskárny, které využívají principu stereolitografie, jsou:

#### 1. Tělo tiskárny

Tělo tiskárny zajišťuje pozici všech součástí 3D tiskárny. Udržuje na místě lineární ložisko, na kterém se posouvá tisková plocha. Drží zdroj UV záření a celkově zajišťuje pevnost tiskárny.

#### 2. Kryt z plexiskla

Kryt tiskárny se nejčastěji vyrábí z barevného plexiskla. Barva plexiskla pomáhá snižovat UV záření, které se do tiskárny dostává z okolí, a jež by mohlo vytvrdit hladinu polymeru. Nejčastěji se používají červená, oranžová, žlutá a zelená plexiskla.

#### 3. Filtrace vzduchu

Pro filtrování vzduchu se využívají filtry s aktivním uhlím, které eliminují zápach, jenž vytváří fotopolymer.

#### 4. Osa Z

Nejčastěji se pro osu Z využívá extrudovaný hliníkový profil a lineární ložisko. Tato kombinace zajišťuje pevnost a odolnost vůči krutu a vibracím. Lineární ložisko také zajišťuje přesné vedení tiskové plochy. Pro posun se využívá trapézová závitová tyč a krokový motor. Jedná se o jediný motor v celé tiskárně.

#### 5. Tisková plocha

Tisková plocha je u tohoto typu tiskárny zavěšena na vozíku lineárního ložiska. Právě tato plocha je texturovaná, aby se zvýšila adheze. Tímto pojmem označujeme schopnost materiálu přilnout na tiskovou plochu.

#### 6. Vanička

Vanička se používá jako zásobník fotopolymeru. U tiskáren, kde je fotopolymer osvětlován zespodu, má vanička průhledné dno, aby bylo možné fotopolymer osvětlit.

### 3.2.3 VÝHODY A NEVÝHODY SLA METODY

#### Výhody

- Tato metoda dosahuje velké přesnosti v osách X a Y v řádech jednotek mikrometrů;
- Detailnost – díky přesnosti a velkému rozlišení dosahuje stereolitografie vysokých detailů.

#### Nevýhody

- Výtisk potřebuje po dokončení úpravu, tedy odstranění přebytečného fotopolymery, dále nastává nutnost vytvrzení výtisku;
- Materiály pro tento styl tisku jsou ve větší míře křehké => v případě pádu se mohou roztrhnout.

### 3.2.4 VYUŽITÍ METODY SLA

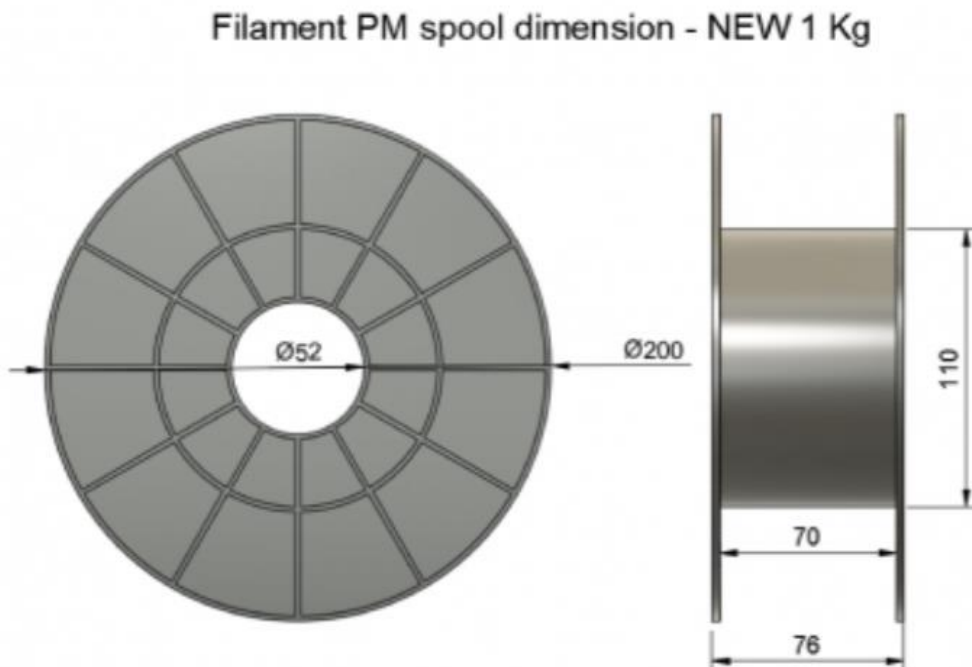
Tato metoda nachází praktické využití při výrobě integrovaných obvodů, prototypování před sériovou výrobou, nebo při výrobě forem pro lití či vstřikování. Díky tomu, že tato metoda dosahuje vysoké přesnosti, může se využívat i pro výrobu protetik, které lze využívat v lidském těle. Tato metoda 3D tisku může nahradit chrupavky v lidském těle při použití speciálních vhodných materiálů, které jsou pro toto použití vhodné. (3dprint, 2014).



Obrázek 7: 3D vytisknutý meniskus  
 (Zdroj: [www.3dprint.com](http://www.3dprint.com). 11.12.2014. dostupné z:  
<https://3dprint.com/30205/3d-printed-meniscus-knee/>)

#### 4 MATERIÁLY PRO 3D TISK METODOU FDM/FFF

Materiály pro 3D tisk lze rozdělit na dvě skupiny. První jsou pryskyřice, které se využívají v resinových 3D tiskárnách. Druhou a pro nás podstatnou skupinou jsou tiskové struny, které se využívají pro metodu FDM. V této práci se budeme soustředit právě na materiály, jež se dodávají ve formě struny. Existuje velké spektrum materiálů, které lze pro 3D tisk využít, ale mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější materiály patří PLA, PETG, ASA, ABS, TPEa PP (Josef Průša, 2019, str. 45). Zaměření práce na tyto materiály je podloženo právě rozšířeností těchto materiálů a jejich dostupností na trhu. Při jejich výběru se můžeme rozhodovat mezi několika výrobci, kteří tyto materiály pro 3D tisk prodávají. V této práci budeme zkoumat pouze materiály, které vyrobila česká firma zabývající se výrobou filamentu **Plasty Mladeč**.



Obrázek 8: Plasty Mladeč cívka  
(Zdroj: <https://www.filament-pm.cz/>, dostupné z <https://www.filament-pm.cz/pla-zelena-1-75-mm-1-kg/p74>)

#### 4.1 VÝROBA TISKOVÉ STRUNY

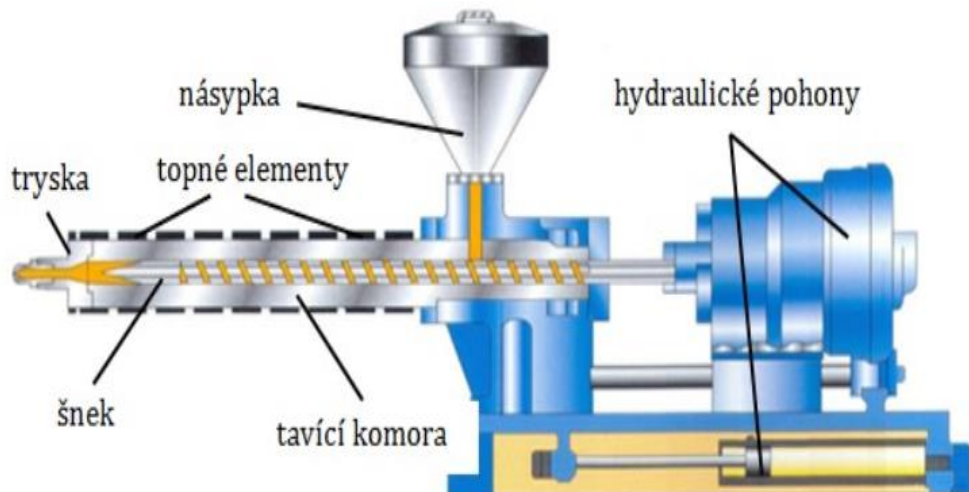
Výrobu tiskové struny, která je potřebná pro 3D tisk, lze rozdělit do pěti různých kroků, kde se upravují vlastnosti a tvar výsledné tiskové struny.

Prvním krokem je při výrobě tiskové struny, vyrobení základního stavebního bloku, tedy plastu. Ten se nejčastěji vyrábí z ropy. Surová ropa je procesem rafinace upravovaná až do doby, kdy vznikne takzvaná solventní nafta. Jedná se o směs aromatických uhlovodíků. Složitá směs uhlovodíku získaná destilací produktů z hydrogenace ropné frakce v přítomnosti katalyzátoru (Evropský parlament; Rada Evropské unie, 1997). Mezi aromatické uhlovodíky patří například benzen, methybenzen, vinylbenzen a isopropylbenzen (Břížd'ala). Solventní nafta, katalyzátory a jiné chemické složky jsou chemicky spojeny v polymerizačním reaktoru. Produkty z polymerizované solventní nafty jsou spojeny a zpracovány. Výsledný produkt je rozemlet na malé kousky, kterým se říká granulát. Nejčastěji má tento materiál mléčně bílou barvu (O'Connell, How Is 3D Printer Filament Made?, 2020).

Druhým krokem při výrobě tiskové struny je příprava granulátu na další zpracování. Granulát je vsypán do násypky, do níž jsou přidána barviva, která budou určovat výslednou barvu materiálu. Do násypky jsou vloženy i další přísady, které zlepšují vlastnosti materiálu. Podle druhu materiálu je možné do násypky vložit i příměsi, jako je dřevo, kov nebo různá vlákna. Celá násypka je přesunuta k mixéru, kde se pelety a aditiva míchají. Po promíchání je nutné materiál vysušit. Granulát je hygroskopický, což znamená, že pohlcuje vzdušnou vlhkost. Před dalším krokem je proto potřeba materiál vysušit a tím odstranit nasátou vodu. Sušení se provádí na sítěch, kde je materiál rozprostřen v co nejtenčí vrstvě. Granulát je udržován v rozmezí teplot 60 až 80 °C po několik hodin. Teploty a čas si každý výrobce určuje sám, pro dosažení jimi požadovaných hodnot (O'Connell, How Is 3D Printer Filament Made?, 2020).



Třetím krokem při výrobě tiskové struny je tvarování do podoby vlákna. V tomto kroku je materiál nahřát, vytlačen přes formu a poté ochlazen a zafixován. Pelety jsou vloženy do násypky. Násypka vede materiál ke šneku, který jej odebírá a posouvá přes přehřátý válec. Granulát je posouván šnekem a teplo jej tavi. Tavenina prochází tryskou o předem určeném průměru a z trysky vychází již vytvořená tisková struna.



Obrázek 9: Vstřikovací jednotka

(Zdroj: <https://publi.cz>, 2016. dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>)

Po vytlačení je potřeba materiál zchladit. K tomu se využívá soustava tří až čtyř vodních lázní. Struna je zavedena do první vodní lázně, která je naplněna vodou o teplotě blízké se bodu varu. Voda je v první lázni takto teplá kvůli snížení teplotních šoků a namáhání. Materiál projde do druhé lázně, kde je teplota vody nižší. Tímto způsobem prochází až do poslední vodní nádrže, která je naplněna vodou o pokojové teplotě. Tento postupný proces chladnutí je důležitý pro zamezení tvorby zmíněných teplotních šoků. Materiál je těmito lázněmi protahován rychlostí, která odpovídá průměru výslednému produktu. Čím rychleji se bude protahovat, tím bude struna tečnít a naopak.

Jelikož se průměr materiálu může měnit, když prostupuje chladícími lázněmi, je za každou z nich optický senzor průměru. Senzor sleduje odchylku od požadovaného průměru a zpětnou vazbou mění rychlost posunu materiálu. Tímto se docílí požadované tloušťky, která může být 2,85 mm, nebo více rozšířeným průměrem 1,75 mm (O'Connell, How Is 3D Printer Filament Made?, 2020). Na konci celého soustrojí se nachází gumová stěrka a ventilátor. Tyto prvky pomáhají osušit materiál, aby při dalším kroku nedocházelo k hromadění vody na cívce.

Čtvrtým krokem je návin materiálu na cívku. Tisková struna je pomocí krokového motoru navíjena konstantní rychlostí na plastovou cívku. Návin je neustále kontrolován, aby se zabránilo možným defektům a křížení tiskové struny na cívce. Po naplnění kotouče je materiál odříznut a návin pokračuje na další cívce. Tento proces se opakuje až do doby vyprázdnění násypky.

Pátým a posledním krokem je balení tiskové struny do přepravního boxu. Pro zaručení suchosti materiálu jsou navinuté cívky vysušeny v rozmezí teplot 60 až 80 °C. Takto vysušený materiál je připraven pro balení. Cívky se vloží do plastového pytle a přidá se k nim vysoušecí silikagel, který pohltí zbylou vlhkost. Z pytle je dále odsát vzduch a otevřený konec pytle je zataven pro udržení podtlaku. Takto zabalené cívky jsou vloženy do krabic, na které je umístěn štítek výrobce, typ materiálu, šarže a popřípadě doporučené tiskové teploty, které výrobce doporučuje. (O'Connell, How Is 3D Printer Filament Made?, 2020), (tutocad.com). Krabice s cívkou je poté uložena do přepravních boxů, které jsou expedovány prodejcem.

## 4.2 PLA – KYSELINA POLYMLÉČNÁ

### 4.2.1 POPIS MATERIÁLU

Jako první materiál jsme vybraly PLA. Zkratka PLA v anglickém jazyce označuje Polylactic acid. Tento pojem lze přeložit jako „kyselina polymléčná“. Laktid, který se používá pro výrobu PLA, se nejčastěji získává z rostlinného škrobu, obvykle z kukuřice, cukrové třtiny nebo řepy. Jakožto jeden z ekologicky šetrných plastů se PLA stala jedním z nejpoužívanějších materiálů pro 3D tisk. Do PLA se velmi často přimíchávají další částice pro dosažení lepších vlastností, než má čisté PLA. Lepší vlastnosti znamenají, že po vytištění je možné výtisk brousit či leštit. Obvykle se přidává dřevěný či bronzový prach. Tyto aditiva zlepšují vlastnosti vytištěných modelů. Nepřemožitelnou výhodou PLA je jednoduchost tisku. Bod tání se pohybuje okolo 175 °C. Tisková teplota se však pohybuje od 180 do 230 °C. Výtisky dosahují vysoké přesnosti a mají velmi dobrý povrch. Jednoduchost tisku snižuje fakt, že výtisky mají menší pevnost v porovnání s jinými filamenti. Další nevýhodou výtisků je jejich poměrně nízká tepelná odolnost. To znamená, že se vytištěný objekt může snadno deformovat při působení negativních vlivů, například dlouhodobé působení slunečního svitu a povětrnostních podmínek. Proto se modely z PLA nedoporučuje využívat pro venkovní použití (Flynt, 3D Printer Settings for PLA Filament – A Beginner’s Guide, 2020), (Hagen, 2015).

### 4.2.2 TISKOVÁ PLOCHA

Roztavené PLA má velmi dobrou adhezi (přilnavost) a po vytisknutí nepodléhá tepelné deformaci. Z tohoto důvodu nemusíme používat pro tisk vyhřívanou podložku. Bez použití vyhřívané podložky se však doporučuje zvýšit adhezi. Toho docílíme použitím maskovací malířské pásky. Páska na tiskové desce vytvoří texturovaný povrch, na který se materiál lépe přichytí. Pro ještě lepší adhezi se doporučuje použít speciální lak na tiskové plochy. Například lze uvést 3DLAC, který zdrsňuje povrch desky a tím docílíme vyšší adheze. Tento lak je možné nahradit například lakem na vlasy. Tisk na nahřátou tiskovou plochu je nejjednodušší. Teplota tiskové plochy by se měla pohybovat v rozmezí 50–70 °C. Pokud se pro tisk využije sklo, dosahují výtisky vysokého lesku na ploše doteku modelu a tiskové plochy. Opět zde platí fakt, že pokud chceme zvýšit adhezi, můžeme použít 3DLACK (Flynt, 3D Printer Settings for PLA Filament – A Beginner’s Guide, 2020), (Kondo, all3dp.com, 2019).

### **4.2.3 VÝHODY**

Výhodou PLA je jednoduchost tisku a nízké nároky. Není potřeba používat vyhřívanou podložku. Teplota tisku se pohybuje od 180 do 230 °C. Další výhodou je vysoká kvalita výtisků a jejich pevnost. PLA je i velmi cenově dostupné. Kilo PLA tiskové struny lze pořídit přibližně za 400 Kč. PLA je biologicky rozložitelné. Pokud se PLA nechá ve správných podmínkách, tak eroduje až do doby, kdy se rozpadne. PLA je dostupné v širokém spektru barev a existuje velká škála materiálu obohaceného o různé příměsi, jako je dřevo, uhlíkové vlákno nebo kov (Kondo, all3dp.com, 2019).

### **4.2.4 NEVÝHODY**

PLA je velmi houževnatý materiál, ale jeho nevýhodou je, že má velmi nízkou tepelnou odolnost. Výtisky měknou již při teplotách okolo 50 °C, proto se nedoporučují využívat pro venkovní aplikace. S tímto souvisí i fakt, že PLA je biologicky odbouratelné za určitých podmínek, které mohou nastat při venkovním užití. Nejsou také vhodné pro užití u ohně či jiných zdrojů tepla (Kondo, all3dp.com, 2019), (Rogers, 2015).

### **4.2.5 VYUŽITÍ**

PLA se díky svým vlastnostem často využívá pro velké výtisky. Díky minimální tepelné roztažnosti nepodléhá tepelné deformaci. Výhodou je i vysoká adheze, která napomáhá pevnosti mezi vrstvami. PLA se využívá pro dekorativní prvky do interiérů nebo jako materiál pro výrobu šperků, v tomto případě se využívají materiály s příměsí kovu, který propůjčuje výtisku po mechanickém opracování lesk.

## 4.3 PETG – POLYETHYLENTEREFTALÁT + GLYKOL

### 4.3.1 POPIS MATERIÁLU

PETG je vyrobeno z nejvíce produkovaného plastu na světě – polyethylenftalátu, jinak známého jako PET. Tento materiál je nejvíce používaný plastem na světě. Vyrábí se z něj například láhve na vodu nebo obaly potravin. Materiál PETG se vyrábí smícháním PET a glykolu. Glykol se do PET mísí při výrobě. Výsledkem je materiál, který má podobné vlastnosti jako PET, ale je průzračnější, méně křehký a lépe tisknutelný než samotný PET. Přidáním glykolu však dochází ke zhoršení možnosti recyklace. PETG se, stejně jako PLA, vyrábí v mnoha barvách a provedení. Díky své průzračnosti se mimo barevné matné struny vyrábí i průhledné, které po vytisknutí činí model transparentní. Ať se použije jakákoliv struna, výsledný výtisk má velmi dobrý povrch bez vad. Tento materiál je vhodné tisknout na vyšší teploty než například PLA. Pro PETG se doporučují tiskové teploty 220 až 250 °C. PETG dosahuje výborné adheze na tiskovou podložku a díky tepelné odolnosti se po vystavení vyšším teplotám nedeformuje. Proto je tento materiál používán pro tisk mechanických dílů, držáků nebo svěráků. PETG je vhodný pro začátečníky díky snadnému tisku a kvalitě výsledného modelu. V porovnání s PLA je PETG pevnější v tlaku i v tahu mezi vrstvami (Prusa3D, 2022), (Frey & Locker, 2021).

### 4.3.2 TISKOVÁ PLOCHA

Pro tisk PETG je důležité používat vyhřívanou tiskovou plochu. Pokud by se horký materiál dotkl studené podložky, neměl by dostatek času k tomu se uchytit. Materiál by prodělal velký teplotní šok a neuchytil by se. Proto se doporučuje nastavit teplotu tiskové desky mezi 70 a 90 °C. Pro zvýšení přilnavosti se doporučuje použít výše zmiňovaný 3DLAC či náhradu v podobě laku na vlasy. V závislosti na modelu je však použití laku kontraproduktivní. Modely s velkou dotykovou plochou mohou ulpět na tiskové podložce až příliš dobře a při následném sundávání se mohou poškodit.

### 4.3.3 VÝHODY

Mezi výhody PETG patří především jeho tuhost a odolnost. Při tisku se velmi málo kroučí, což vyplývá i z toho, že má vysokou tepelnou odolnost. Vytisknuté modely jsou často vodotěsné právě z důvodu vysoké adheze mezi vrstvami. Jednou z vlastností, která je na tomto materiálu vyhledávaná, jsou transparentní struny. Toho můžeme využít například při vytisknutí difusoru na světelné zdroje typu LED.

### 4.3.4 NEVÝHODY

PETG není vhodný pro tisk přemostění a převisů, protože teplota trysky je natolik vysoká, že materiál není schopen zatuhnout i při výkonném chlazení. Také může materiál přilnout k tiskovému povrchu až moc dobře. Při sundávání výtisku tak může dojít k jeho poničení či k poničení tiskové plochy. Další nevýhodou je, že při použití podpěr se velmi špatně odstraňují, což má za následek špatnou povrchovou kvalitu. Výtisky mají horší povrchové vlastnosti než u PLA (Prusa3D, 2022).

### 4.3.5 VYUŽITÍ

PETG nachází velké využití pro tisk mechanických dílů. Díky odolnosti povětrnostním podmínkám je vhodný pro použití venku, slouží například jako držáky zavlažovacích hadic nebo podpěry hadic u bazénů. Kvůli tepelné odolnosti se PETG používá na tisk vylepšení tiskových hlav. Dále se může použít pro tisk elektronických dílů, protože se jedná o velmi dobrý izolant (Prusa3D, 2022), (O'Connell, Best Cura PETG Settings / Profile, 2021).

## 4.4 ABS – AKRYLONITRILBUTADIENSTYREN

### 4.4.1 POPIS MATERIÁLU

Stejně jako předešlé materiály, ABS je termoplast, který se často používá pro 3D tisk. ABS je směs akrylonitrilu, butadienu a styrenu. Každá složka tohoto materiálu specifickým způsobem napomáhá získat určité charakteristické vlastnosti. Chemickou a tepelnou odolnost zajišťuje akrylonitril. Pro zvýšení pevnosti a odolnosti vůči nárazu se používá butadien a pro vysoký povrchový lesk výsledného modelu se používá styren. Jednotlivé složky se míchají v různých poměrech. Pravidlem je, že ve výsledném produktu se nachází 15–35 % akrylonitrilu, 40–60 % styrenu a 5–30 % butadienu. Měnicími se poměry základních materiálů získáváme látky, které lze využít pro různé aplikace (Flynt, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): A Tough and Diverse Plastic, 2017). ABS je velice odolný materiál, který lze použít za všech podmínek. Vytisknuté modely lze využít pro venkovní účely, protože velmi dobře odolávají UV záření. Dalším použitím mohou být hračky, které jsou bezpečné pro děti. Je nezávadný a také odolává silnému mechanickému namáhání. Právě z tohoto důvodu firma LEGO vybrala ABS pro výrobu svých světoznámých kostek. „*Většina LEGO® dílků je vyrobena z vysoce kvalitního plastu ABS (Akrylonitrilbutadienstyren). Ten splňuje dlouhý seznam bezpečnostních norem a kvalitativních pravidel a používáme ho od roku 1963.*“ (LEGO®) Tisk ABS je složitější než u PLA, proto se nedoporučuje začátečníkům (Plasty Mladeč). Tento fakt podkládá i teplota tisku, která se pohybuje od 230 až 250 °C na trysce a teplota tiskové plochy se nastavuje od 100 do 110 °C. Při tisku se z filamentu odpařuje nepříjemný zápach, proto se doporučuje tisknout jej v uzavřeném tiskovém boxu (Plasty Mladeč).

### 4.4.2 TISKOVÁ PLOCHA

Pro tisk ABS je podstatné použití vyhřívané tiskové desky ohřáté na 100 až 110 °C. Opět zde platí fakt, že pokud by se použila klasická nevyhřívaná deska, materiál by utrpěl velký teplotní šok, který by měl za následek odtržení modelu od tiskové desky. Pro zvýšení přilnavosti ABS při tisku na skleněnou podložku se doporučuje použití „ABS šťávy“. Jedná se o typ tekutiny, která zvyšuje adhezi ABS na tiskovou plochu. Pro výrobu této tekutiny je potřeba smíchat jeden ABS materiál (nová struna, nepodařené výtisky, odstraněné podpěry atd.) a 10 ml acetonu. Tekutina připravená tímto způsobem se nechá osm hodin odstát a po uplynutí uvedené doby se může v tenké vrstvě nanést na sklo.

Tato tekutina napomáhá materiálu přilnout na tiskovou plochu a zamezuje tak zkřivení tisknutého modelu. Takto vyrobené lepidlo lze nahradit komerčně vyráběnými lepidly na ABS. Příkladem může být Tangit ABS, který se používá pro lepení plastových dílů u bazénu (skimmery, trysky světla atd.), (Kondo, ABS Juice, Glue, & Slurry: What Is It & How to Make It?, 2021), (bazenonline.cz).

#### 4.4.3 VÝHODY

Mezi hlavní výhody ABS patří pevnost v tahu, což znamená, že je materiál velice odolný rozbití při působení tažné síly. Další výhodou je odolnost vůči nárazu. Toho využívají například cyklistické helmy, jejichž skořepiny jsou vyrobeny právě z materiálu ABS (ski-max.cz). Pravděpodobně nejdůležitější vlastností tohoto materiálu je jeho odolnost vůči teplu. Vytisknutý model má velmi často vyšší teplotní odolnost než struna, ze které je vytištěn. Pozitivem je, že se ABS řadí mezi filamenty, které můžeme plně recyklovat.

#### 4.4.4 NEVÝHODY

Jedna z největších nevýhod ABS je, že se při tisku jednotlivé vrstvy mohou odlepovat. To by mohlo vést ke zničení modelu, neúplnému tisku nebo k destrukci tiskárny. Další nevýhodou je teplota tisku, která na trysce může dosahovat až 260 °C a na tiskové podložce až 110 °C. Tyto teploty nejsou pro některé tiskárny dosažitelné. Narozdíl od PLA není ABS biologicky odbouratelné, což znamená, že pokud bude tento materiál ponechán v přírodě, jeho rozklad bude trvat stovky let (Griffin, 2019).

#### 4.4.5 VYUŽITÍ

Materiál nachází využití v různých odvětvích. Největší použití najdeme v automobilovém průmyslu pro výrobu palubních desek, konzolí a plastových doplňků pro automobilové interiéry. Zde ABS nejvíce uplatňuje své vlastnosti tepelné odolnosti. Dále je využíván pro výrobu levných dechových nástrojů (jako flétny a klarinety) i plastových zavazadel, či předmětů pro domácnost. Jakožto zdravotně nezávadný plast se využívá ve zdravotnictví, například pro nádoby na jídlo či podnosy (koplast.cz) (renovablesverdes.com).



## 4.5 ASA – AKRYLONITRIL–STYREN–AKRYLÁT

### 4.5.1 POPIS

Tento materiál byl vyvinut jako náhrada zmiňovaného ABS. ASA má oproti ABS místo butadienu ve své molekule akryl. Kvůli této změně dokáže ASA lépe odolávat povětrnostním podmínkám, jako jsou vysoké teploty nebo ultrafialové záření. Díky příměsi akrylu ASA na slunečním světle nežloutne a zachovává si pevnost. Kvůli tomu, že tento materiál obsahuje styren, je náročnější na tisk. Tisková teplota trysky by měla být v rozmezí 250 až 260 °C a teplota podložky by neměla klesnout pod 90 °C. U větších výtisků může dojít k deformaci. Jelikož je materiál náchylný na změnu teploty při tisku, je doporučováno tisknout jej v tiskovém boxu, který udržuje ideální teplotu. Kryt na 3D tiskárnu napomáhá eliminovat zápach a výpary při tisku (Materiál pro 3D). Platí, že ASA má vyšší tuhost než ABS, a proto je vhodným materiálem pro mechanicky namáhané součásti.

### 4.5.2 TISKOVÁ PLOCHA

Protože je materiál velmi náchylný na změnu teploty, je potřeba použít vyhřívanou podložku se speciálním PEI povrchem, který může být hladký, nebo texturovaný. Díky vlastnostem PEI fólie se ASA výborně přichytí a nedochází k odlepování výtisku od tiskové plochy. Při použití skleněné podložky se doporučuje aplikovat 3DLACK nebo lak na vlasy, popřípadě lepicí tyčinku, aby se model dobře přichytil a v průběhu tisku se neodlepil (Carlo, 2020).

### 4.5.3 VÝHODY

Jednou z hlavních výhod použití ASA je jeho rezistivita vůči ultrafialovému záření. Proto se často uplatňuje pro venkovní užití. Materiál je taky velice pevný a po vytištění odolává vysokým teplotám. Je také odolný vůči nárazům a chemikáliím. Po vytisknutí má výsledný produkt rovný a matný povrch.

### 4.5.4 NEVÝHODY

Nevýhoda tohoto materiálu je, že při tisku potřebuje vyšší teploty na trysce. Ty dosahují až 260°C. Další nevýhodou je, že při tisku se materiál kroučí a je náchylný na praskání. Na tisk je také důležitý tiskový box, protože při tisku by se materiál neměl vystavovat

prodění vzduchu. Důležitým prvkem pro tisk, je také využití určitého nastavení, které při tisku vytvoří štít, jež zabraňuje poryvům studeného vzduchu. Velkou nevýhodou je však značné ubývání tiskového materiálu při jeho použití (Carlo, 2020).

#### **4.5.5 VYUŽITÍ**

ASA se velmi často využívá pro vysoce namáhané díly, které vyžadují odolnost vůči teplotám a vodě. Využívají se tedy pro výrobu exteriérových dílů automobilů, plastových součástí lodí a karavanů. Další využití nachází tento materiál v elektroinstalaci, protože je velmi dobrým izolantem. Využívá se pro zahradní díly, jako jsou kolíky pro přichycení zavlažovacích hadic nebo lopatky na sázení květin (JuggerBot3D), (O'Connell, ASA Filament: The Best Brands of 2021, 2021).

## 4.6 TPE – TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER

### 4.6.1 POPIS MATERIÁLU

TPE je termoplastický elastomer, který lze zpracovávat pomocí termoplastických technologií, jako je vstřikování nebo vytlačování. Termoplastické elastomery jsou směsí tvrdých termoplastů a elastomerů. Od termoplastů si tyto směsi vypůjčují vlastnosti jako je jednoduchost zpracování či recyklovatelnost a ohebnost nebo elasticita mají od elastomerů. V těchto materiálech se používají termoplasty, jako je polypropylen, polybutylentereftalát nebo polyamid ve směsích s gumovými materiály, jež obsahují oleje nebo plniva. TPE tedy nemůžeme definovat jako jeden jediný materiál, ale tvoří následující skupiny: TPE-O, TPE-S, TPE-V, TPE-E, TPE-U a TPE-A. U všech kombinací platí, že se odlišují tepelnou odolností, chemickou odolností, pružností a flexibilitou. Ve 3D tisku se nejčastěji používají materiály TPE-O a TPE-U. Pro jednoduchost určení materiálu se často vypouští písmeno „E“. Proto najdeme označení termoplastických elastomerů v podobě TPO nebo TPU. Z důvodu jejich složitosti k tisku se nedoporučují začátečníkům. Při tisku tohoto materiálu je výhodou přímý extruder. Bowdenové extrudery mají problém s protlačením materiálu skrz PTFE hadičku (Resinex), (Chen, 2020), (Plasty Mladeč, 2022), (Ing. Lubos Běhálek, 2016).

### 4.6.2 TISKOVÁ PLOCHA

Pro tisk TPE není potřeba používat nahřívanou tiskovou plochu. Při jejím užití je doporučeno nastavit teplotu nejvýše 10 °C nad pokojovou teplotu. Pro zvýšení adheze je možné použít polypropylenovou lepicí pásku nebo speciální 3DLAC (Plasty Mladeč, 2022).

### 4.6.3 VÝHODY

Výhodou z pohledu 3D tiskáren je jednoduchost tisku tohoto materiálu. Není zapotřebí tisknout na extrémně vysoké teploty. Další výhodou je odolnost proti nárazu a proti roztržení. TPE je velmi lehké a také odolné vůči ohni. Velmi dobře také tlumí vibrace. Je velmi odolný vůči organickým rozpouštědlům a disponuje odolností vůči ultrafialovému záření (Star Thermoplastics).

#### **4.6.4 NEVÝHODY**

Nevýhodou tohoto materiálu z pohledu 3D tiskáren je fakt, že pro tisk je potřeba použít tiskárnu, která má osazený přímý extruder. Při použití bowdenového extruderu je vyšší pravděpodobnost vyklouznutí materiálu z podavače, čímž dojde k přerušení dodávání materiálu do trysky a tiskárna tak tiskne do prázdna.

#### **4.6.5 VYUŽITÍ**

TPE nachází využití například v měkkých dotykových částí nástrojů, per, zubních kartáčků, holicích strojků a krytů elektronických zařízení. V automobilovém průmyslu se využívá pro těsnění oken automobilů, rohožky, kryty airbagů a kryty přístrojových desek či panelů. Další využití najdeme například ve sportovním odvětví, kde se z tohoto materiálu vyrábí madla řídicích nebo ochrany rámu jízdních kol (Resinex).

## 4.7 PP – POLYPROPYLEN

Polypropylen je po PET druhý nejrozšířenější plast na světě. Tento materiál je polymer, který se vyrábí z monomeru propylenu. O tomto materiálu se často mluví jako o oceli plastů. Polypropylen může být upravován a modifikován, aby jeho vlastnosti vyhovovaly různým aplikacím. Mohou se do něj přidávat různé příměsi, které zlepšují požadované vlastnosti. Využitelnost nachází v mnohých aplikacích, kde je potřeba odolnost, pevnost a houževnatost. Jedná se o termoplast, který lze zpracovávat různými metodami, jako je vstřikování, vytlačování nebo obrábění na NC a CNC strojích. Další technologií jsou lité fólie a vyfukování tubulárních fólií (Flynt, All About Polypropylene Plastic, 2018), (Kondo, 3D Printing Polypropylene: How to 3D Print with PP, 2020), (VM Plast s.r.o.).

### 4.7.1 TISKOVÁ PLOCHA

Pro tisk tohoto materiálu je nutné použít vyhřívanou podložku. Teplota by měla být nastavena v rozmezí 100 až 110 °C. Kvůli tomu, že polypropylen nemá dostatečně vysokou adhezi, doporučuje se pro její zvýšení lepidlo. Tyto speciální lepidla jsou například 3DLACK nebo MAGIGOO PP, který je speciálně vytvořen pro materiál PP. Tyto lepidla lze nahradit například polypropylenovou páskou, která zajišťuje stejné adhezivní vlastnosti. Polypropylenová páska se používá z toho důvodu, že polypropylen se dobře lepí sám na sebe. Pro zvýšení adheze se také doporučuje použít nastavení „brim“, jež zvětší plochu základny modelu a tím zamezí odlepení výtisku (Filament PM).

### 4.7.2 VÝHODY

Jednou z výhod je pevnost v tahu. Polypropylen je také velmi odolný proti zatížení. Další nespornou výhodou je elasticita a houževnatost. Může se deformovat bez porušení a disponuje i flexibilitou, která pomáhá s tvarováním. Použití polypropylenu zajišťuje voděodolnost, proto se používá například jako materiál pro výrobu těl vodovodních pump. Je zdravotně nezávadný a díky tomu se může používat jako materiál pro výrobu nádobí a náradí do laboratoří. Toto využití je možné díky chemické odolnosti, která napomáhá materiálu odolávat nejrůznějším látkám, které by jiné materiály zničily.

#### **4.7.3 NEVÝHODY**

Polypropylen je vysoce hořlavý. Materiál se při vyšších teplotách taví a při překročení teploty 260 °C začíná hořet. Protože neodolává vysokým teplotám, nedoporučuje se používat tam, kde může podléhat tepelnému namáhání. Na polypropylenu můžeme sledovat známky stárnutí, hlavně při vystavení UV záření. Proto se nedoporučuje používat materiál tam, kde by byl vystaven dennímu světlu (Gutierrez, 2019).

#### **4.7.4 VYUŽITÍ**

Polypropylen se užívá ve všech technologických odvětvích, například v automobilovém průmyslu jej můžeme aplikovat pro výrobu nárazníků, obalů baterií nebo obložení. Využívá se jako obalový materiál, kdy se vyrábí ve formě tenkých fólií, které se mohou natahovat a odolávají tak namáhání. V módním a sportovním průmyslu propůjčuje látkám voděodolnost a odolnost proti roztržení.

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 1 ÚVOD

Součástí této práce je i praktická část, kde se budeme zajímat o to, jak pracovat s jednotlivými materiály při jejich tisku. Pomocí testovacích modelů se pokusíme určit ideální tiskovou teplotu trysky. Určíme také to, jaká tisková plocha je nejlepší pro tisk jednotlivých materiálů a navrhne jejich úpravy za pomoci adheziv, které zlepšují přilnavosti. Díky výše uvedeným vlastnostem, které jsme vysvětlili v teoretické části, navrhne a vytiskne 3D objekty, jež využívají určité vlastnosti konkrétního materiálu.

### 2 TISKOVÁ SOUSTAVA A PŘÍPRAVA MATERIÁLU

#### 2.1 TISKOVÝ BOX

Pro zajištění konstantních podmínek při tisku všech modelů byla použita tisková skříň. V této konstrukci se udržovala při tisku stálá teplota, která byla průběžně kontrolována digitálním teploměrem. Teploty uvnitř boxu se pohybovaly v rozmezí 36 až 38 °C. V případě překročení horní meze byl sepnut ventilátor v horní části tiskové komory. Teplý vzduch byl odsán, aby se zamezilo průvanu u tisknutého modelu. V případě poklesu pod 36 °C byla sepnuta přídavná vyhřívaná deska (jiná než tisková), která zvýšila teplotu tiskového prostoru. Pro zajištění co nejstabilnější vlhkosti v tiskovém boxu byl přidán vlhkoměr a krabička s obsahem silikagelu. Místnost, ve které byla tiskárna umístěna, měla uzavřená okna a byl omezen i její provoz.



Obrázek 10: Tiskový box s tiskárnou Ender 3 V2  
(Zdroj: Vlastní)

## 2.2 POUŽITÉ TISKÁRNY A JEJICH NASTAVENÍ

Pro tisk materiálů byla použita primárně tiskárna Creality Ender 3 V2 v základní konfiguraci. Od základního modelu tiskárny se použitá tiskárna odlišuje pouze v tiskové hlavě. Základní hlava by si nebyla schopna poradit s vyššími teplotami tisku, které jsou pro určité materiály důležité. Pro vylepšení tiskové hlavy byl použit celokovový hotend od firmy Micro Swiss. Tato tiskárna je ve svém základním sestavení konstruována s bowdenovým extruderem. Tato konstrukce jak už víme nedovoluje tisk flexibilních materiálů. Pro jejich tisk byla použita tiskárna Prusa i3 MK3. Tato tiskárna disponuje přímým extruderem, který dovoluje tisk flexibilních materiálů. Při použití této tiskárny byla tiskárna Ender 3 V2 vyjmuta z tiskového boxu a byla zde vložena Prusa i3 MK3. Pro každý tisk bylo použito stejné nastavení tisku. Zejména rychlost byla nastavena na 30 mm/s a výška vrstvy na 0,20 mm. Každý model byl vytisknut s novou tryskou o průměru 0,4 mm. Jediné proměnné byly teplota trysky a teplota tiskové podložky.

## 2.3 PŘÍPRAVA MATERIÁLU PRO TISK

Pro zajištění suchosti materiálu byla každá cívka uložena na 7 hodin před tiskem do horkovzdušné trouby. Teplota byla nastavena na 50 °C a byl zapnut ventilátor. Dvířka byla pootevřená a zajištěná před zavřením. Materiál byl po uplynutí 7 hodin vložen do vakuového sáčku, ze kterého byl odčerpán vzduch. V tomto sáčku se nechal materiál ochladit na pokojovou teplotu a poté byl zaveden do 3D tiskárny. Jako první byl tisknut model pro testování teploty, poté model pro zjištění vlastností materiálu. Po vytištění těchto dvou objektů a zjištění potřebných dat byly vytisknuty vybrané modely.



### 3 METODA TESTOVÁNÍ TEPLoty

Pro testování teploty trysky byl použit model teplotní věže, který je dostupný v programu Cura jako jeho součást, rozšíření s názvem Part for calibration. Tento model je složen z jednotlivých bloků, jež se při správné modifikaci G-kódu tisknou různou teplotou trysky. Mezi jednotlivými bloky jsme se rozhodli pro 5°C dekrement. Tato hodnota byla odvozena od konstrukčních vlastností tiskárny a její tiskové hlavy. Nastavená teplota není při tisku stálá a konstantní. Teplota trysky kolísá kolem nastavené teploty přibližně o  $\pm 1$  °C. Pro zajištění rozlišení dvou nastavených teplot bylo určeno, že právě 5 °C zajistí jasné oddělení. Po vytisknutí modelu byla podle kvality tisku, dobré adheze mezi vrstvami a podle absence chyb vybrána nejlepší teplota. Zvolená teplota byla nastavena pro modely, které využívají vlastnosti jednotlivých materiálů.



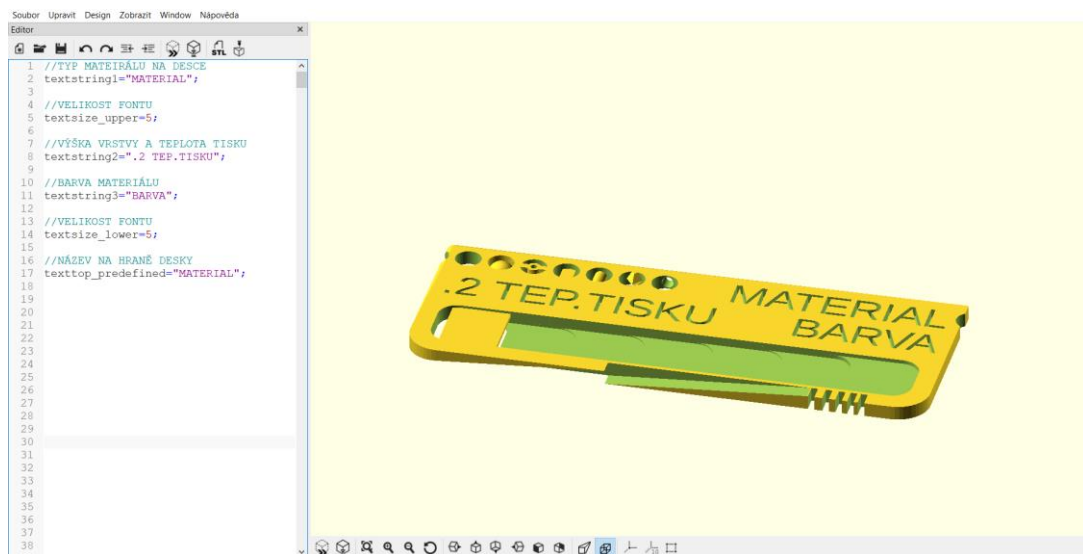
Obrázek 11: Model teplotní věže  
(Zdroj: Vlastní)

## 4 METODA TESTOVÁNÍ MATERIÁLU

Pro testování materiálu jsme přebírali jednoduchý model z webu thingiverse.com od uživatele @makkuro. Tento model má podobu destičky, která zachytává vlastnosti materiálu různými způsoby. Model byl upraven pomocí OpenSCAD tak, aby na něm vždy byl uveden typ materiálu, barva a tisková teplota trysky a výška vrstvy.

Vlastnosti a testy, které můžeme pozorovat na modelu:

- test převisu;
- test přemostění;
- vlastnosti při různých vrstvách;
- různé tvary (zachycení detailů);
- test tloušťky tisknutých zdí a vlastnosti sčítání vrstev;
- test kruhového tvaru.



Obrázek 12: Testovací destička v programu OpenSCAD  
(Zdroj: Vlastní)

Na tomto modelu jsme sledovali jednotlivé klady a zápory materiálu. Vlastnosti zjištěné z testovacího modelu a z teplotní věže jsme poté použili pro výběr tisknutých modelů pro jednotlivé materiály.

## 5 PLA – KYSELINA POLYMLÉČNÁ

### 5.1 VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE

Z teoretické části víme o PLA, že se jedná o materiál, který je jednoduchý pro tisk, který se vyrábí převážně z rostlinného škrobu. Používá se pro tisk velkých objektů díky jeho malé tepelné roztažnosti. Nevýhodou je, že je velmi náchylný na UV záření. Proto se nedoporučuje pro venkovní použití a využívá se jako interiérový materiál pro dekorace a jiný ozdobný materiál.

Dle technického listu jsme se dozvěděli, že by tryska při tisku měla dosahovat teplot v rozmezí 200 až 230 °C a teplota tiskové podložky by se měla pohybovat od 20 do 60°C.

V bezpečnostním listu jsme našli, že tisková struna je < 100 % hmotnosti kyselina polymléčná. Vzniklá odchylka je způsobena pigmentem a dalšími příměsemi. Ty mohou být například tvrdidla nebo stabilizátory. V našem případě se jedná o tmavě zelený pigment s lesklými šupinkami.

### 5.2 PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

#### 5.2.1 PROBLÉMY

PLA bylo tisknuto na Creality Ender 3 V2. Při jeho tisku se nevyskytovaly významné problémy. Malým problémem bylo nastavení přítlaku extruderu. Při prvním tisku byl přítlak příliš vysoký a docházelo k drcení filamentu na posuvných kolečkách. Po povolení přítlaku byl filament posouván dobře, bez jakéhokoliv problému.

#### 5.2.2 POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

Pro tisk PLA byla použita po předchozích zkušenostech od výrobce dodávaná skleněná podložka. Pro zajištění přilnutí první vrstvy byl v programu pro vytváření G-kódu zapnut mód skirt. Toto nastavení vytvoří okolo modelu perimetr, který zajistí správný tlak v trysce. Tím se zaručí správná přilnavost první vrstvy modelu. Teplota tiskové plochy byla nastavena na prostřední hodnotu z rozsahu udávaného od výrobce, tedy na 40 °C. Další zvyšování adheze nebylo potřeba. Pro tisk tohoto materiálu můžeme doporučit skleněnou podložku. Tento povrch nevyžaduje umělé zvýšení adheze a poskytuje velmi dobrý základ pro celý model.

### 5.3 VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE

Výrobce udává v bezpečnostním listu tiskovou teplotu trysky v rozmezí od 200 do 230 °C. Proto jsme nastavili teplotní věž od teploty 230 °C s dekrementem 5 °C do teploty 190 °C. Tisk začínal na nejvyšší teplotě a postupně se teplota snižovala. Nakonec se podařilo vytisknout sedm pater teplotní věže. Při teplotě 200 °C již docházelo k přeskokování extruderu z důvodu nízké teploty trysky. Při teplotě 195 °C se materiál nedokázal protlačit hotendem a proto byl tisk předčasně ukončen.

Po zchlazení tiskové desky byl model sejmut a pozorováním kvality tisku byla určena nejlepší teplota trysky jako 205 °C. Posuzována byla zejména kvalita tisku a přemostění, dále také adheze mezi vrstvami a případné chyby v modelu.



Obrázek 13: PLA – teplotní věž  
(Zdroj: Vlastní)

## 5.4 VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY

Po určení teploty 205 °C jako ideální teploty tisku byla vytištěna testovací destička. Na tomto modelu můžeme pozorovat, že tento materiál je velmi dobrý pro tisk detailů a dokáže si dobře poradit s přemostěním. Materiál je po vytištění matný. PLA také dobře odolává ohybu. Po pokusu desku ohnout se vrátila zpět do původní podoby a zůstala na ní drobná deformace v podobě zbledání v místě ohybu. Z modelu je také zřejmé, že PLA zvládá velmi dobře tenké zdi, protože po přeměření měly jednotlivé části přesnou šířku. Rozměry desky byly přesné s odchylkou do 0,5 %. Materiál tedy splnil očekávání.

Extrémní převisy tento materiál nezvládá příliš dobře, protože poslední dvě vrstvy se již deformovaly. Jak si můžeme na obrázku 14 povšimnout v pravé části modelu je vidět vlákno, které vzniklo tažením materiálu. Tato vlákna vznikají například lepením materiálu na trysku. To se může stát fatální při tisku modelů s vyššími detaily, jelikož tato vlákna způsobují deformace modelů.



Obrázek 14: PLA – testovací deska  
(Zdroj: Vlastní)

## 5.5 NAVRHOVANÉ MODELKY

Pro navrhované modely jsme vybrali tři příklady. Jako první byla dekorace v podobě stromu od autora @idig3d z webu thingiverse.com. Tento model ukazuje, že můžeme tisknout velké modely bez deformací a bez teplotního namáhání



Obrázek 15: PLA – strom  
(Zdroj: Vlastní)

Druhým modelem byla vykrajovátka na sušenky od autora @MaakMijnldee z webu thingiverse.com. Tyto modely využívají vlastností kvality šířky vrstvy. Vykrajovátka mají zkosenou čepel. Toto zkosení je po bližší inspekci velmi ostré a přesné. Využíváme zde i to, že materiál je odolný vůči olejům a dlouhodobému mechanickému namáhání.



Obrázek 16: PLA – vykrajovátka na sušenky  
(Zdroj: Vlastní)

Poslední model je jednoduchý ale funkční. Jedná se o zarážky na knihy od @xyzaxis z webu thingiverse.com. Využíváme zde pevnosti materiálu a odolnost vůči dlouhodobému tlakovému namáhání. Výška zarážek je přibližně 10 cm. Jedná se o dekorativní a funkční model.



Obrázek 17: PLA – Zarážky na knihy  
(Zdroj: Vlastní)

## 6 PETG – POLYETHYLENTEREFTALÁT + GLYKOL

### 6.1 VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE

PETG je modifikace jednoho z nejvíce produkovaného materiálu na světě, tedy PET. Modifikace probíhá přidáním glykolu do samotného polyethylenftalátu. Pro jeho velmi dobrou stálost při expozici UV záření je tento materiál vhodný i pro venkovní využití. Jelikož materiál dosahuje i vysoké teplotní odolnosti, můžeme jej využít na místech, kde je model dlouhodobě tepelně namáhán. Jako příklad můžeme uvést konstrukci tiskové hlavy u námi využívané 3D tiskárny Prusa i3 MK3. Další využití materiál nachází tam, kde je potřeba vysoké odolnosti v tlaku či tahu.

Dle technického listu, který byl výrobcem poskytnut na webových stránkách, jsme vyčetli, že by tisková teplota trysky měla být v rozsahu 230 až 250 °C. Další důležitou informací je, že by teplota tiskové podložky měla být od 60 do 80 °C.

Po nahlédnutí do bezpečnostního listu jsme se dozvěděli, že tisková struna je konstruována < 100 % z glykolem modifikovaného polyethylenftalátu. Opět zde platí, že odchylka od 100 % je způsobena příměsí barev, stabilizátorů nebo tvrdidel. Námi použitá struna obsahuje malé množství tmavě modrého pigmentu.

### 6.2 PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

#### 6.2.1 PROBLÉMY

PETG bylo tisknuto na tiskárně Creality Ender 3 V2. Při tisku nastal problém při tisknutí teplotní věže. Primární tisková plocha, která byla zvolena pro tisk PETG, byla špatně odmaštěna. Z toho důvodu došlo k odlepení první vrstvy modelu, což vedlo k přerušení tisku.

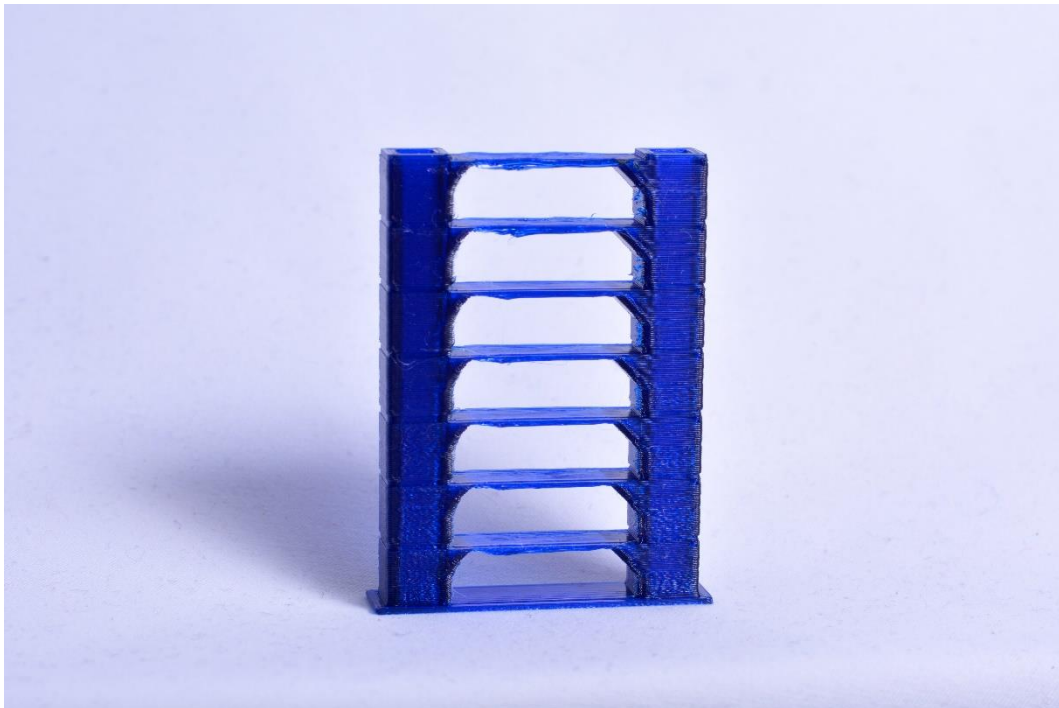
#### 6.2.2 POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

Stejně jako u PLA byl pro zajištění přilnutí první vrstvy v programu pro vytváření G-kódu zapnut mód skirt. Jako primární tisková plocha byla použita skleněná podložka. Při prvním tisku došlo k odlepení modelu. Proto bylo po odstranění mastnoty aplikováno sprejové lepidlo pro 3D tiskárny 3DLAC. Tento produkt způsobil zlepšení adheze a materiál se při tisku dobře přichytil na tiskovou plochu. Můžeme tedy říci, že pro tento materiál je vhodné použít skleněnou podložku s povrchovou úpravou za pomoci 3DLACK.



### 6.3 VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE

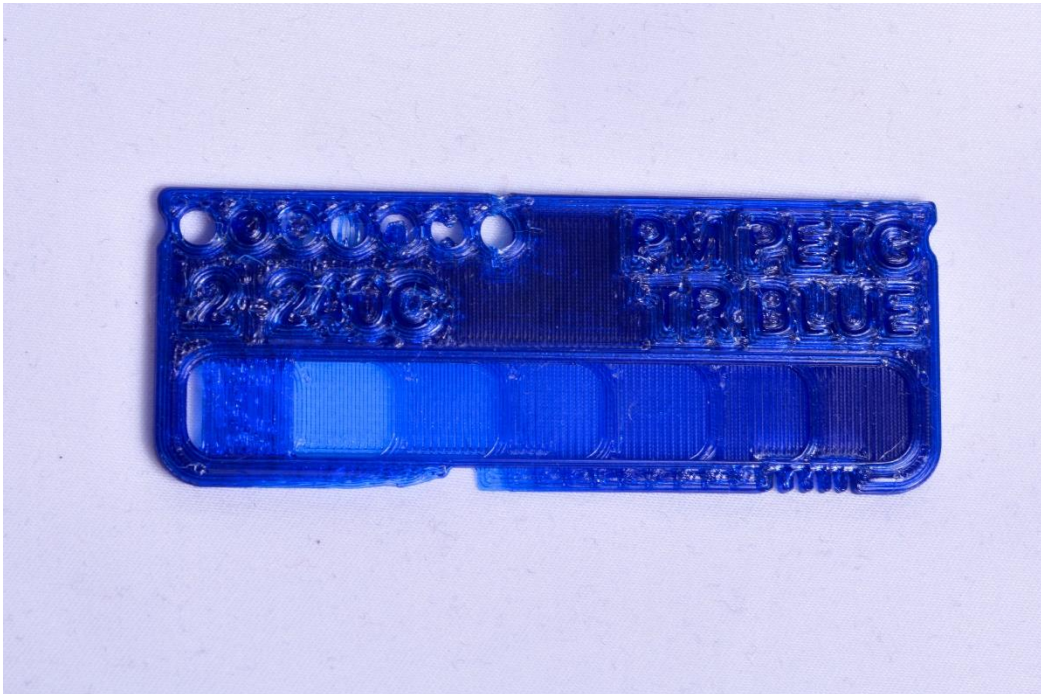
Teplotní věž pro PETG byla tisknuta v rozmezí teplot 225 až 255°C. Na rozdíl od výrobcem udávaného spektra se naše zvětšilo na každou hranici o 5 °C. Mezi jednotlivými bloky teplotní věže byl nastaven dekrement 5 °C. Tisk začal na teplotě 255 °C. Na této teplotě je vidět, že byla pro materiál příliš vysoká. Dochází zde k tečení materiálu z vnějších perimetrů a na materiálu je vidět i přehřívání. Na rozdíl teplota 225 °C je až příliš nízká. Dochází k předčasnému chladnutí materiálu za tryskou a tím k viditelným chybám na modelu. Po bližším prozkoumání, započítání chyb a posouzení kvality přemostění modelu jsme určili, že teplota 240 °C je pro tento materiál ideální. Blok s touto teplotou byl vytištěn nejlépe. Měl rohy s nejméně chybami a na vnějších perimetrech byl model velmi kvalitní, rovný a čistý.



Obrázek 18: PETG – teplotní věž  
(Zdroj: Vlastní)

## 6.4 VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY

Po stanovení, že teplota 240 °C poskytuje nejlepší výsledky tisku, jsme při této teplotě vytiskli testovací desku. Na testovací desce jsme potvrdili, že materiál dokáže velmi kvalitně tvořit přemostění. Testovací deska nám v části vrstvení na prvním kroku potvrzuje, že tento materiál se může vyrábět i v transparentním provedení. Po prozkoumání modelu můžeme určit i to, že velmi dobře zvládá tepelnou roztažnost, jelikož rozměry testu tenkých stěn vyšly přesně jako na modelu v OpenSCAD. Tento materiál odolává velmi dobře vyšším teplotám, proto test převisů vyšel velmi dobře. Vlastnost pevnosti materiálu jsme otestovali ohnutím desky. Po uvolnění tlaku se deska okamžitě vrátila do původní podoby. Byla velmi rovná. Takto jsme ověřili, že materiál dobře zvládá tlakové namáhání.



Obrázek 19: PETG – testovací deska  
(Zdroj: Vlastní)

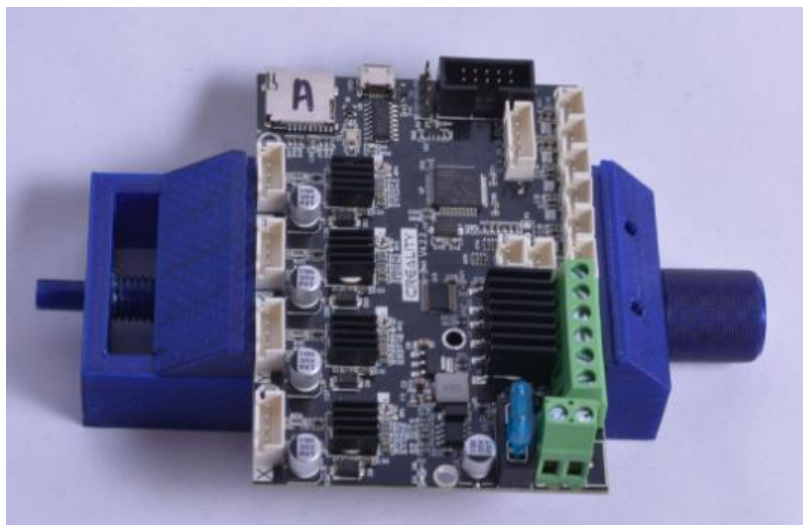
## 6.5 NAVRHOVANÉ MODELY

Jako první model, který využívá vlastnosti tepelné odolnosti, jsme vybrali placený model od @brissmoto ze stránky Cults3D.com s názvem FANG. Tento model je náhrada krytu tiskové hlavy, která obsahuje ventilátor pro chlazení výtisku a samotné tiskové hlavy. Z důvodu konstantního vystavení modelu vysokým teplotám je tento materiál zvolen dobře, protože se teplotně nedeformuje.

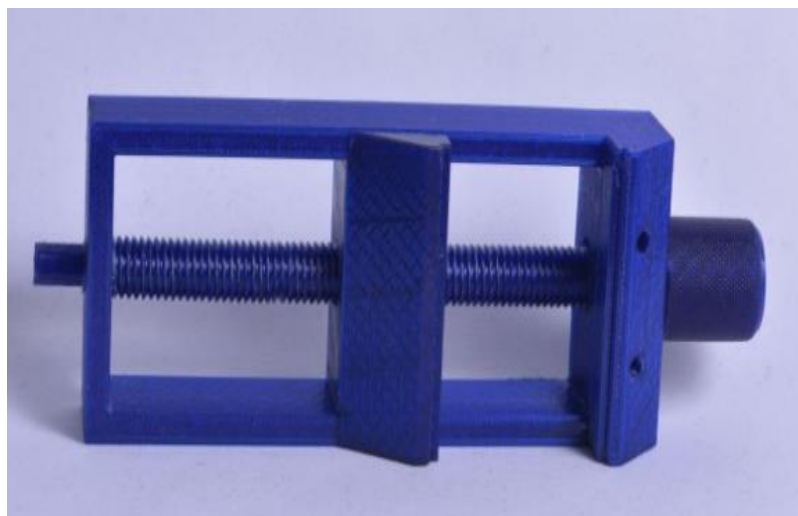


Obrázek 20: PETG –chladičí systém FANG  
(Zdroj: Vlastní)

Jako další model jsme vybrali svěrák, který využívá převážně odolnosti v tlaku, ale také odolnost proti vyšším teplotám. Jedná se o model svěráku pro pájení od autora @Sigurour z webu thingiverse.com.



Obrázek 21: PETG – svěrák s deskou  
(Zdroj: Vlastní)



Obrázek 22: PETG – svěrák  
(Zdroj: Vlastní)

Jako poslední jsme vybrali model autora @johann517 z webu thingiverse.com. Tento model využívá odolnosti vůči UV záření a také odolnosti vůči tlaku. Výtisk je možné použít jako svorku na ubrus pro venkovní stůl.



Obrázek 23: PETG – G svorka  
(Zdroj: Vlastní)

## 7 ABS – AKRYLONITRILBUTADIENSTYREN

### 7.1 VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE

V teoretické části jsme se dozvěděli, že ABS je hojně využívaný materiál a jeho hlavními přednostmi jsou vysoká odolnost vůči UV záření, mechanická a chemická stálost a zdravotní nezávadnost. Z toho důvodu se může využívat například pro výrobu hraček pro batolata i pro výrobu světoznámých kostek LEGO. Nezávadnost potvrzuje i bezpečnostní list, který výrobce nabízí ke stažení na jeho webových stránkách. Je zde uvedeno, že: „*Směs se nepovažuje za nebezpečnou pro zdraví člověka. Při obvyklém použití se neočekávají žádné nežádoucí zdravotní účinky.*“ (PharmDr. Vladimír Végh, 2018). V tomto dokumentu jsme také našli informaci o tom, že tento materiál je < 100 % hm. polymer akrylonitrilbutadienstyren. Vzniklá odchylka je opět způsobena pigmenty a dalšími přísadami.

Dle technického listu byly získány informace o teplotě tiskové trysky a teplotě tiskové podložky. Hodnoty by měly být v rozsahu 240–250 °C a 100–110 °C.

### 7.2 PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

#### 7.2.1 PROBLÉMY

ABS bylo tisknuto na tiskárně Creality Ender 3 V2. Při tisku tohoto materiálu vznikalo mnoho problémů. Prvním bylo, že se materiál špatně přichytával na tiskovou plochu, což bylo eliminováno použitím adheziva. Dalším problémem bylo, že materiál má velmi vysokou tepelnou roztažnost. Tento fakt se projevil odlepováním materiálu od podložky v průběhu tisku i za použití adheziva. V průběhu tisku se materiál uvnitř modelu ochlazoval a tím v konstrukci vznikalo pnutí, které působilo na spodní vrstvu a tak ji odtrhávalo od podložky.

#### 7.2.2 POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

Jako první byla použita tisková plocha v podobě skleněného plátu. Na tento plát bylo aplikováno adhezivum v podobě „ABS šťávy“. Roztok byl připraven rozpuštěním 1 gramu ABS materiálu v 10 ml čistého acetonu. Takto vzniklá tekutina se v tenké vrstvě rozetřela pomocí štětce na studenou tiskovou podložku a použitý aceton se nechal odpařit.

Na tiskové ploše se vytvořila tenká vrstva ABS, ke které se materiál vytlačený z trysky velmi dobře přichytil. Tekutina byla aplikována pod většinu výtisků.

Pro tisk vybraných modelů jsme použili texturovaný PEI ocelový plát. Na tuto tiskovou plochu nebylo potřeba použít adheziva pro zvýšení přilnavosti materiálu. PEI plát se před tiskem lehce otre 100% izopropylalkoholem. Při použití PEI plátu je potřeba snížit odsazení trysky od tiskové plochy. Tato úprava slouží k tomu, aby se materiál vtlačil do textury tiskového plátu. Při použití obou tiskových podkladů byla nastavena teplota podložky na 105 °C. Tato teplota byla zvolena kvůli tomu, že je ve středu rozsahu teplot, jež udává výrobce. Pro tisk materiálu tedy můžeme použít dva podklady – první je skleněná podložka s použitím „ABS šťávy“, druhý je ocelový plát s PEI texturovaným povrchem.

### 7.3 VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE

Teplotní věž se tiskla od teploty 255 do 215 °C s dekrementem 5 °C. Tisk začal na teplotě 255 °C. Tato teplota byla však příliš vysoká. Na bloku bylo vidět to, že materiál vytéká z perimetrů a dochází tak k deformaci modelu. Při snižování teploty se kvalita vysoce zvyšovala. Posupným snižováním jsme se dostali do oblasti, kde vytlačený materiál podléhal tepelné roztažnosti. Při chladnutí se vytvářelo pnutí a tím se model deformoval až do doby, kdy se začaly odlepovat jednotlivé vrstvy. Po vytisknutí jsme určili 245 °C jako nejlepší tiskovou teplotu. Při této teplotě se na modelu nevyskytují problémová místa.



Obrázek 24: ABS – teplotní věž  
(Zdroj: Vlastní)



## 7.4 VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY

Po rozhodnutí, že teplota 245 °C poskytuje nejlepší výsledky tisku, jsme za této teploty vytiskli testovací desku. Model ukázal, že materiál je schopný vytvořit kvalitní přemostění, ale že nedokáže zachytit mnoho detailů. O absenci detailů svědčí nápis na jejím povrchu. Materiál se v písmenech roztekl do míst, kde by neměl být a způsobil obtížné čtení. Zjistili jsme také to, že převisy materiál zvládá poměrně dobře, ale v extréměch si s nimi již neporadí. Na desce lze pozorovat, že teplotní roztažnost materiálu při jeho chladnutí může způsobit deformace v podobě ohnutí desky od středu ke krajům. Po pokusu narovnat vzniklý ohyb se deska vrátila zpět do původní polohy a tím prokázala, že je tento materiál velmi pevný.



Obrázek 25: ABS – testovací deska  
(Zdroj: Vlastní)

## 7.5 NAVRHOVANÉ MODELY

Mezi navrhované modely jsme vybrali lahvičku na pití od autora @CreativeTools z webu thingiverse.com. Tento model po naplnění vodou a zašroubování víka zadržuje tekutinu. Lahvička byla následně předána malému dítěti, které z ní dokázalo pít a využívá ji každý den. Model potvrzuje také pevnost materiálu v místě závitu, kde při dotažení materiál zůstává celistvý.



Obrázek 26: ABS – lahev s víkem  
(Zdroj: Vlastní)



Obrázek 27: ABS – lahev bez víka  
(Zdroj: Vlastní)

Dalším modelem je dětské chrastítko od autora @schraitle z webu thingiverse.com. Využívá se zde fakt, že materiál je nezávadný pro děti, a také jeho pevnost, jelikož je vystaven vysokému mechanickému namáhání.



Obrázek 28: ABS – hračka pro děti  
(Zdroj: Vlastní)

## 8 ASA – AKRYLONITRIL-STYREN-AKRYLÁT

### 8.1 VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE

ASA je materiál, který je teplotně stálý, pevný a odolný. Velmi dobře odolává ultrafialovému záření a nadprůměrně zvládá povětrnostní podmínky. Díky těmto vlastnostem je materiál hojně využíván ve venkovních aplikacích a na místech, kde je delší dobu vystavován slunečnímu záření.

Dle bezpečnostního listu, který výrobce poskytuje na webových stránkách u námi vybrané struny, je použita struna < 100 % hm. akrylonitrilstyren akrylátový polymer. I u této struny je vzniklá odchylka zapříčiněna příměsemi.

Pro zjištění teploty trysky jsme se museli obrátit na technický list materiálu. V něm jsme vyčetli, že pro trysku a pro námi použitý průměr struny, by měl být použit rozsah od 240 do 260 °C. V tomto dokumentu jsme našli i informaci o teplotě tiskové desky. Tato teplota byla od výrobce určena na 100 °C.

### 8.2 PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

#### 8.2.1 PROBLÉMY

Pro tisk ASA materiálu byla použita tiskárna Creality Ender 3 V2. Při spuštění prvního tisku vznikl problém v drcení materiálu v posuvných kolech extruderu. Po povolení přítlaku extruderu se struna přestala ničit a mohli jsme pokračovat v tisku. Největší problém bylo, že při tisku posledních částí teplotní věže došlo k ucpání trysky. To vedlo k tomu, že jsme museli celou tiskovou hlavu rozebrat a vyčistit za pomoci acetonu.

#### 8.2.2 POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

Při prvním tisku byl použit jako tisková plocha skleněný plát. Teplota byla nastavena na výrobcem doporučených 100 °C. Při startu tisku se však materiál velmi jednoduše odtrhl a to vedlo ke zničení výtisku. Po odstranění tohoto nepovedeného výtisku jsme se pokusili o zvýšení adheze modifikací G-kódu. Ve sliceru jsme aktivovali nastavení brim. Takto upravený G-kód jsme opět zkusili tisknout na skleněnou podložku. Při začátku tisku se materiál odlepoval jen na okraji brimu. Samotný model se přichytil velmi dobře. Po vytisknutí prvních dvou částí teplotní věže se však materiál odlepil od skla a to vedlo k zastavení tisku. Dalším pokusem bylo to, že jsme vyměnili sklo za PEI texturovaný tiskový plát. Použili jsme modifikovaný G-kód se zapnutým brimem. Model se na tuto tiskovou plochu přichytil. Touto metodou jsme poté tiskli veškeré modely z materiálu ASA.

### 8.3 VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE

Pro tisk teplotní věže byl použit rozsah, který uvádí výrobce. Tisk začal od teploty 260 °C a probíhal s 5°C dekrementem. Při teplotě 260 °C je na modelu vidět, že materiál má pro tisk příliš vysokou teplotu. Na tomto bloku nejsou zachovány detaily a materiál se na vnějších perimetrech vytlačuje ven z modelu. S klesající teplotou se kvalita tisku zlepšovala. Při teplotě 245 °C však docházelo k oddělování vrstev a dalším snižováním teploty docházelo k postupnému ucpávání trysky. To se na modelu projevilo tím, že na modelu zůstávají pozůstatky po zmařených retrakcích. Po vytisknutí byla určena teplota 255 °C jako ideální. Tato teplota poskytuje nejvíce detailů a nejkvalitnější povrch.



Obrázek 29: ASA – teplotní věž  
(Zdroj: Vlastní)

## 8.4 VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY

Po vytisknutí teplotní věže a stanovení teploty 255 °C jsme vytiskli testovací desku. Na této desce můžeme pozorovat, že materiál podléhá teplotní deformaci. Celá deska byla po vytisknutí ohnuta do tvaru písmene U. Při chladnutí se vně materiálu vytváří pnutí, které jej deformuje. ASA je však velmi dobrá pro zachycení detailů. V testovacích otvorech můžeme jednoznačně určit, o jaký tvar se jedná. Tento fakt můžeme potvrdit i na části, která se stará o tenké stěny. Po přeměření všech rozměrů můžeme potvrdit, že si materiál zachoval správnou velikost a při malých detailech nedochází ke ztrátě kvality tisku. Materiál má velmi dobré schopnosti při vytváření přemostění. Most na desce je rovný a vrstvy jsou mezi sebou dobře spojeny. Tento materiál dobře zvládá většinu nižších převisů, ale v extréměch si můžeme všimnout, že zde dochází k trhání a nevyplnění celé vrstvy. To může být zapříčiněno pnutím uvnitř modelu.



Obrázek 30: ASA – testovací deska  
(Zdroj: Vlastní)

## 8.5 NAVRHOVANÉ MODELY

Jako první jsme použili model od autora @mikeymakesit z webové stránky thingiverse.com. Jedná se model krmítka pro včely, které slouží k jejich dokrmení přes zimní měsíce. Na tomto modelu poukazujeme na kvalitu tisku, jelikož model potřebuje mít správné tolerance pro zasunutí nádoby s cukerným roztokem. Dále zde poukazujeme na stálost materiálu v prostředí s proměnlivou teplotou. Další vlastností, kterou model využívá, je odolnost vůči UV záření. Tento model může být použit i v letních měsících vně včelího úlu.



Obrázek 32: ASA – krmítko pro včely s nádobou  
(Zdroj: Vlastní)



Obrázek 31: ASA – krmítko pro včely  
(Zdroj: Vlastní)

Další model využívá odolnost materiálu proti ultrafialovému záření a odolnosti vůči chemikáliím v podobě hnojiv. Jedná se o květináč od autora @cgpena z webu thingiverse.com. Tento model demonstruje také vlastnost materiálu vytvořit vysoké detaily.



Obrázek 33: ASA – květináč  
(Zdroj: Vlastní)



## 9 TPE – TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER

### 9.1 VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE

Jedná se o flexibilní materiál, který má podobné vlastnosti a vzhled jako guma. Využívá se v měkkých dotykových částech nástrojů nebo jako kryty na elektroniky.

Dle bezpečnostního listu je použita struna z  $< 100$  % hm. požadovaný termoplastický elastomer. V technickém listu je uvedeno, že pro námi použitý materiál TPE 32 pro průměr struny 1,75 mm je teplota trysky nastavována v rozmezí 210–240 °C. Teplota tiskové podložky by neměla přesahovat 10 °C nad pokojovou teplotu.

### 9.2 PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

#### 9.2.1 PROBLÉMY

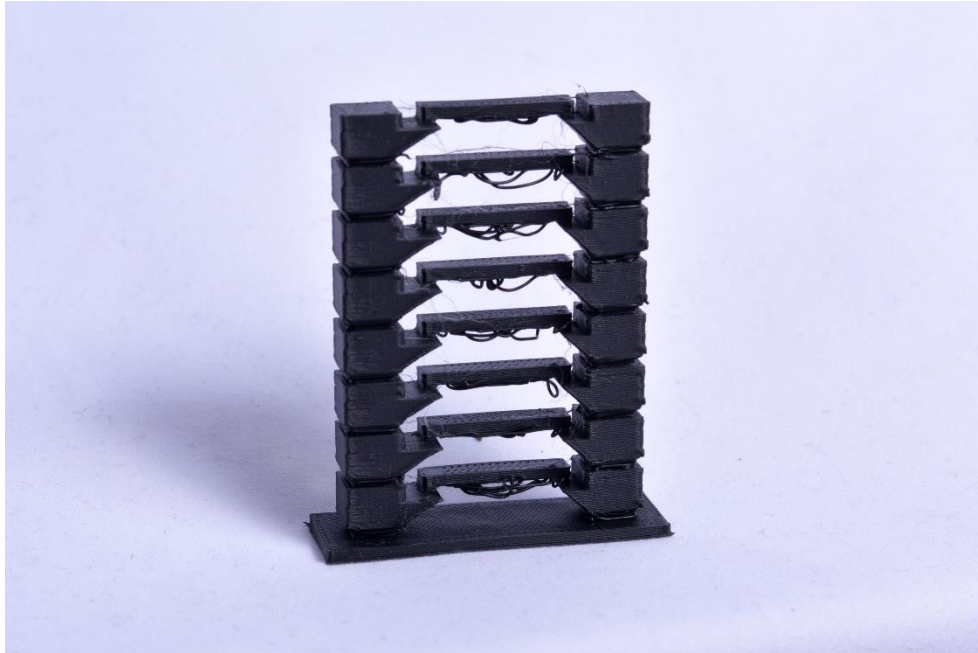
První pokus tisknout tento materiál byl realizován na tiskárně Creality Ender 3 V2. Při jejím použití jsme však narazili na problém při protlačování tiskové struny PTFE trubičkou bowdenového extruderu. Díky flexibilitě materiálu docházelo k jeho zkroucení a namotání struny na posuvná kola extruderu a tím k vytlačení materiálu mimo PTFE trubičku. To vedlo k posouvání tiskové hlavy bez vytlačování materiálu skrz trysku a tím k nevytisknutí modelu. Eliminace tohoto problému by vyžadovala přestavění celé tiskárny Creality Ender 3 V2 s použitím přímého extruderu. Proto jsme se rozhodli použít tiskárnu s přímým extruderem Prusa i3 MK3. Celá tiskárna byla vložena do tiskového boxu pro zajištění konstantních podmínek pro tisk. Tiskárna Prusa i3 MK3 byla v tisku tohoto materiálu po správném nastavení přítlaku extruderu úspěšná. Při tisku se však od texturovaného PEI plátu materiál velmi často odděloval a proto jsme museli modifikovat G-kód zapnutím nastavení brim.

#### 9.2.2 POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

Prusa i3 MK3 je osazena jediným tiskovým podkladem v podobě texturovaného PEI plátu. I přes použití modifikace G-kódu o brim se materiál velmi lehce odtrhával. Pro zvýšení adheze jsme aplikovali na tiskový plát kancelářskou polypropylenovou pásku. Po jejím použití se materiál přichytával velmi dobře a mohli jsme pokračovat v tisku. Ve sliceru jsme vypnuli ohřev tiskové plochy, podle doporučení výrobce z technického listu.

### 9.3 VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE

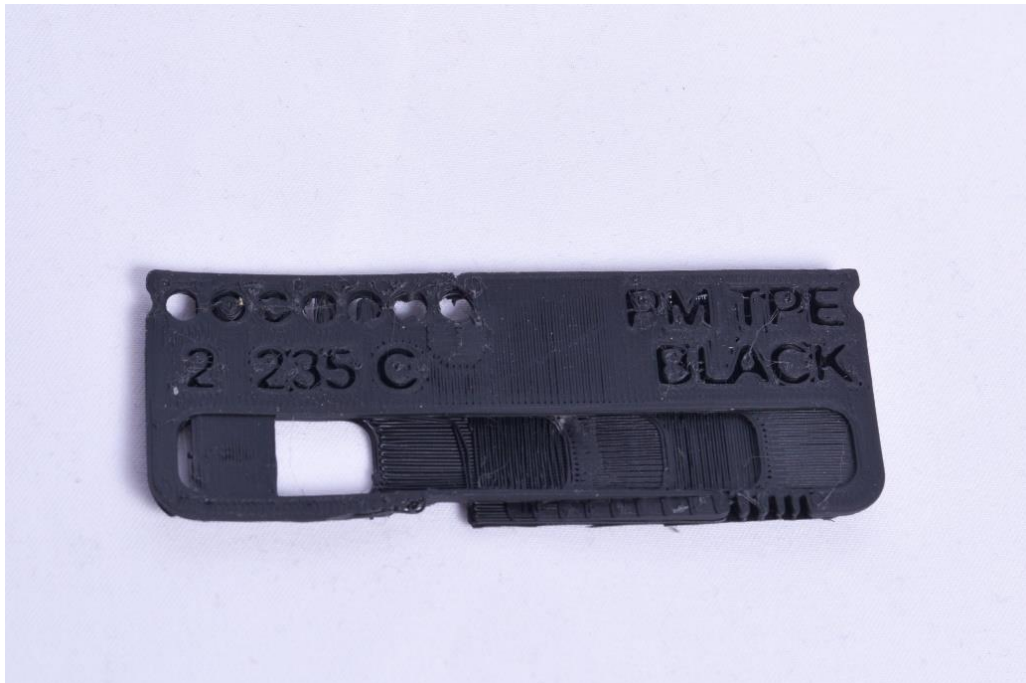
Teplotní věž jsme tiskli v rozsahu od 240 do 205 °C s 5°C dekrementem. Při teplotě 240 °C jsme pozorovali vysokou teplotu v přemostění. O jeden krok teploty níže jsme určili nejlepší teplotu tisku 235 °C. Další snižování teploty působilo na model negativně. Materiál se začal deformovat. Vnější perimetry teplotní věže začaly vykazovat chyby v podobě děr ve vnějších perimetrech modelu.



Obrázek 34: TPE – teplotní věž  
(Zdroj: Vlastní)

#### 9.4 VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY

Testovací deska se nepovedla kvalitně vytisknout z důvodu jejích vysokých detailů. Z desky můžeme usoudit, že tento materiál nezvládá tisk previsů. Můžeme pozorovat, že povrch materiálu je velmi rovný a vysoce odolný vůči otěru. Testovací otvory na desce nejsou dobře rozpoznatelné a proto můžeme konstatovat, že tento materiál nezvládá tisk vysokých detailů. Celá testovací deska byla po sejmutí z tiskárny zohýbaná. Materiál zvládá tvarovou přesnost, jelikož při přiložení testovací desky k dalším byly její rozměry stejné. Hlavní předností tohoto materiálu je to, že je velice houževnatý a ohebný. Testovací desku je možné zmačkat a natahovat a ta se díky flexibilitě materiálu vrátí zpět do původní podoby.



Obrázek 35: TPE – testovací deska  
(Zdroj: Vlastní)

## 9.5 NAVRHOVANÉ MODELY

Jako navrhované modely jsme vybíraly ty, kde se uplatňují vlastnosti jako flexibilita a odolnost proti oděru. Jako první jsme vybrali obal na iPhone SE (2020). Tento model jsme přebrali od uživatele @TerraNosOlhos z webu thingiverse.com. Obal byl po vytisknutí umístěn na mobilní telefon a používán dva týdny. Po dvou týdnech byl sejmут a nebyla na něm pozorována žádná deformace tvaru či oddělování vrstev.



Obrázek 37: TPE – obal na telefon + telefon  
(Zdroj: Vlastní)



Obrázek 36: TPE – obal na telefon  
(Zdroj: Vlastní)

Dalším byl model od uživatele @Povhill z webu thingiverse.com. Jedná se o model gripů na jízdní kolo. Z důvodu časového vytížení tiskárny byl vytisknut pouze jeden vzorek. V budoucnu plánujeme dotisknout i druhý do páru a použít je na dětské horské jízdní kolo.



Obrázek 38: TPE – grip na kolo  
(Zdroj: Vlastní)

## 10 PP – POLYPROPYLEN

### 10.1 VLASTNOSTI A INFORMACE OD VÝROBCE

Polypropylen je jeden z nejrozšířenějších plastových materiálů na světě. Je to velmi odolný materiál, který dokáže odolávat mechanickému namáhání a velmi dobře odolává i namáhání chemickému. Je také odolný vůči ultrafialovému záření a odolává i většině rozpouštědel. Dobře zvládá i nárazy a otřesy.

Dle bezpečnostního listu který výrobce uvádí na svých webových stránkách se můžeme dočíst, že použitá struna vyrobena pouze z polypropylenu. Nami zvolená struna má barvu, kterou má surový materiál a to mléčně bílou nenachází žádné příměsi v podobě barviv. Jsou zde pouze stabilizátory a měkčidla. Dle technického listu by se měl materiál používat při teplotě trysky 210–230 °C. Při této teplotě by se měl materiál tisknout nejlépe. Teplota tiskové desky by se měla pohybovat v rozmezí 80 až 100 °C.

### 10.2 PROBLÉMY PŘI TISKU, POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

#### 10.2.1 PROBLÉMY

Materiál jsme se nejprve pokoušeli tisknout pomocí tiskárny Creality Ender 3 V2. Při tisku však nastaly obdobné problémy jako u předešlého materiálu. Tisková struna se namotávala na posuvná kola extruderu, protože její flexibilita zabraňovala posouvání materiálu skrze PTFE trubičku. Z tohoto důvodu byla použita opět tiskárna Prusa i3 MK3. Díky jejímu přímému extruderu bylo možné tento materiál tisknout, protože zde nevznikal problém v posouvání materiálu skrze PTFE trubičku. Problém, který nastal při použití této tiskárny, byl špatně nastavený přítlak extruderu. Po seřízení přítlaku byl materiál velmi jednoduše posouván přes tiskovou hlavu a bylo možné tisknout. Další komplikací bylo odlepování materiálu od tiskové plochy. Tento problém byl z části eliminován použitím modifikace G-kódu s názvem brim.



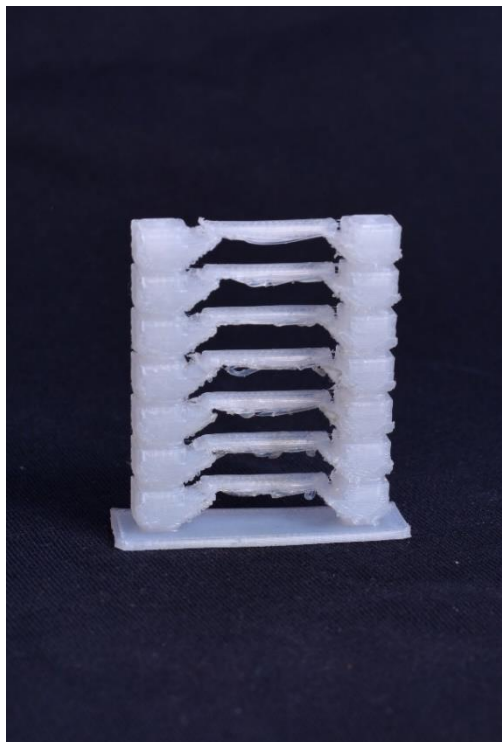
Obrázek 39: PP – zmařené teplotní věže  
(Zdroj: Vlastní)

### 10.2.2 POUŽITÁ TISKOVÁ PLOCHA A ADHEZE

Stejně, jako u předešlého materiálu, jsme byli nuceni použít texturovaný PEI ocelový plát. Teplota tiskového plátu byla nastavena na 90 °C. Pro zvýšení adheze jsme použili brim a lepidlo MAGIGOO PP. Toto lepidlo je speciálně vyvinuto pro 3D tiskárny a pro tisk polypropyleny. Pro jeho odstranění z tiskové plochy byla použita pouze teplá voda, která lepidlo vyzvedne z tiskové plochy a odstraní jej. Další možností pro zvýšení adheze je možnost použít kancelářskou pásku. Při jejím použití se však riskuje zničení tiskového plátu. Lepidlo na jejím povrchu se při vystavení vyšším teplotám může příliš roztavit. Při sundávání zbytků pásky z PEI plátu může dojít k odtržení speciální vrstvy z ocelového plátu.

### 10.3 VÝSLEDEK TEPLOTNÍ VĚŽE

Teplotní věž byla tisknuta od teploty 235 do 205 °C s 5°C dekrementem. Při nejvyšší teplotě se materiál při tisku vytlačoval z vnějších perimetrů a postupné snižování teplot vedlo k deformaci jednotlivých bloků teplotní věže. Po vytisknutí věže jsme odstranili brim a určili jsme hodnotu 230 °C jako nejlepší teplotu pro tisk. Při této teplotě se na povrchu modelu vyskytuje nejméně chyb a pohledovým posouzením vypadá nejlépe.

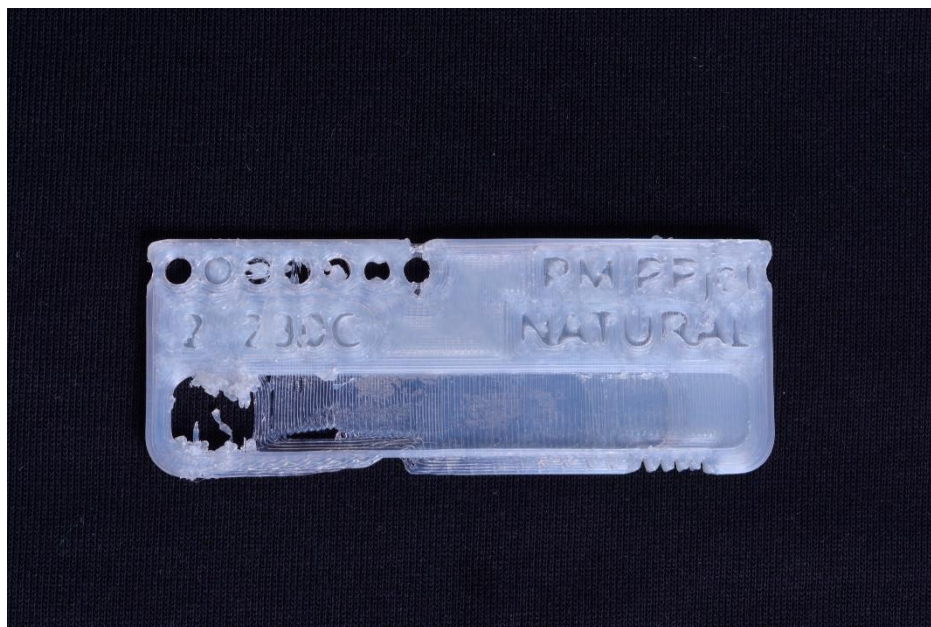


Obrázek 40: PP – teplotní věž  
(Zdroj: Vlastní)



### 10.4 VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY

Z testovací desky je vidět, že tento materiál je pro tisk velmi složitý. Obrys, který se dotýkal brému, je pěkný, ale místa, kam se tryska posunula na první vrstvě, se nevytiskla správně. Z této desky lze poznat, že materiál špatně vytváří přemostění a není příliš vhodný pro zachycení detailů.



Obrázek 41: PP – testovací deska  
(Zdroj: Vlastní)



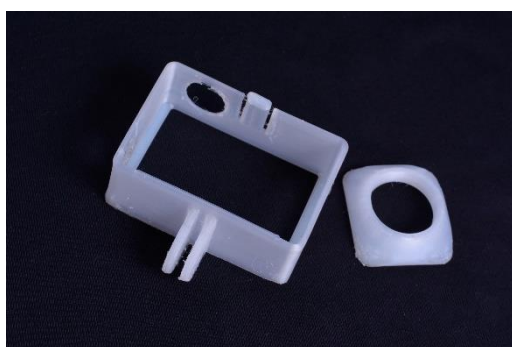
## 10.5 NAVRHOVANÉ MODELY

Jako první navrhovaný model jsme vybrali odměrný válec od autora @threonin z webu thingiverse.com. Tento odměrný válec využívá vlastnost odolnosti vůči rozpouštědlům a voděodolnost mezi vrstvami.



Obrázek 42: PP – odměrný válec  
(Zdroj: Vlastní)

Druhým a třetím modelem je příslušenství pro akční kameru GoPro. První model je obal na tuto kameru autora @mmera a druhý je kryt na čočku od autora @billsprototypestudio. Oba modely demonstrují odolnosti vůči nárazům a otřesům.



Obrázek 44: PP – ochrana kamery  
(Zdroj: Vlastní)



Obrázek 43: PP – použitá ochrana kamery  
(Zdroj: Vlastní)

## 11 SROVNÁNÍ MATERIÁLŮ

Z tabulky 1 a zjištěných poznatků z celé práce, můžeme určit, že pro každodenní tisk, rychlé testovací modely a interiérové aplikace je vhodné použít PLA nebo ABS. Pokud budeme potřebovat od materiálu vyšší pevnost, nebo jej budeme chtít použít venku, je vhodné použít PETG či ASA. Jestliže budeme potřebovat, aby byl model poddajný, nebo aby pohlcoval vibrace, můžeme použít TPE nebo PP.

Tabulka 1: Srovnání materiálů

MATERIÁL	TEPLOTA TRYSKY [°C]	VÝSLEDKY TESTOVACÍ DESKY					
		PŘESNOST ROZMĚRŮ	PŘEVISY	PŘEMOSTĚNÍ	DETAILY	KRUH	TENKÉ ZDI
PLA	205	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PRTG	240	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ABS	245	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ASA	255	✓	✗	✓	✓	✓	✓
TPE	235	✓	✗	✗	✗	✗	✓
PP	230	✓	✗	✗	✗	✗	✓

## ZÁVĚR

Bakalářská práce TISK 3D OBJEKTŮ S OHLEDEM NA RŮZNÉ DRUHY MATERIÁLU měla stanoveny následující cíle: seznámit čtenáře s vybranými materiály pro 3D tisk metodou FDM, otestovat tisk těchto materiálů a navrhnout jejich ideální využití s ohledem na jejich vlastnosti. Tyto cíle bakalářská práce splňuje a autora obohatila o nové informace, které nadále využívá.

V teoretické části jsme vysvětlili historii 3D tisku. V části, která pojednává o historii 3D tisku, jsme se dozvěděli, že technologie 3D tisku sahá již do roku 1964. V tento rok Artur C. Clarke popsal základy aditivní výroby a funkci jednoduchých 3D tiskáren. Dále jsme definovali potřebné počítačové programy, které jsou neodmyslitelnou součástí tisku. Vysvětlili jsme, že potřebujeme program pro tvorbu modelů, který může být například volně dostupný Thincercad nebo placený AutoCAD. Další software potřebný pro přípravu modelu je slicer, který rozřeže model na jednotlivé vrstvy a vygeneruje tak strojový kód, tzv. G-kód. V dalších kapitolách jsme uvedli funkci jednotlivých metod a popsali jsme konstrukční části strojů, které je využívají. Popsali jsme proces výroby tiskové struny, neboli filamentu. Dozvěděli jsme se například to, že všechny filamenty vznikají z granulátu, který se přidáním malého množství barevných pelet upravuje do nejrůznějších barev. Dalším bodem bylo seznámení se s vybranými materiály, které se využívají pro 3D tisk nejčastěji.

V praktické části jsme navrhli metodu zkoumání nejlepší teploty trysky při tisku a přebrali jsme testovací model, na kterém jsme popsali vlastnosti materiálu. Tyto modely jsme dále vytiskli za pomoci jednotlivých materiálů. Po prozkoumání modelů jsme pro materiály PLA, PETG, ABS, ASA, TPE a PP určili nejlepší tiskovou teplotu trysky. Tyto teploty jsou: 205 °C pro PLA, 240 °C pro PETG, 245 °C pro ABS, 255°C pro ASA, 235 °C pro TPE a 230 °C pro polypropylen. Doporučili jsme také nejlepší tiskovou plochu a její úpravu pro docílení nejlepších vlastností. V poslední části jsme navrhli modely, jež využívají jednotlivé vlastnosti vybraných materiálů.

## RESUMÉ

This bachelor's thesis had several goals which we determined. One of the goals was to define properties of the chosen 3D printing materials. Next goal what we had was to define the best printing temperatures, the most suitable printing surface and choose 3D models which are using the properties of the chosen thermoplastic materials

This bachelor's thesis is focused on chosen 3D printing materials in form of filament, which are used in Fused Deposition Modelling 3D printing. The core of the theoretical part is based around properties of chosen thermoplastic materials. Inseparable part of the thesis is also history of 3D printing which is based around the year 1964. We also mentioned that 3D printing is never-ending evolving additive manufacturing process.

In the practical section of the bachelor's thesis, we were focused on determining the best printing temperature of the nozzle. We also found and tested the optimal 3D printing surface which yields the best adhesion of the particular thermoplastic material. We also identified the best additional adhesive which are used with particular materials. In one of the sub parts of the practical section we proposed 3D printable objects which utilising the properties of the materials. All the knowledge learned is the great addition in deepening skills of 3D printing.

**SEZNAM LITERATURY**

- 3dprint. (11. prosinec 2014). *Doctors Create a 3D Printed Knee Meniscus at Columbia University Medical Center*. Načteno z 3Dprint.com: <https://3dprint.com/30205/3d-printed-meniscus-knee/>
- All3DP. (1. srpen 2019). *Stereolithography / SLA 3D Printing – Simply Explained*. Načteno z All3DP: <https://all3dp.com/2/stereolithography-3d-printing-simply-explained/>
- ASME. (květen 2016). *Stereolithography - The First 3D Printing Technology*. New York City, USA, USA: ASME. Načteno z <https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/engineering%20history/landmarks/261-stereolithography.pdf>
- bazenonline.cz. (nedatováno). *Tangit ABS 650 g - speciální lepidlo na ABS plasty*. Získáno 23. březen 2022, z bezanyonline.cz: <https://www.bazenonline.cz/tangit-abs-650-g-lepidlo-na-abs-plasty>
- Břížďala, R. J. (nedatováno). *e-chembook.eu*. Získáno 4. únor 2022, z Aromatické uhlovocíky: <https://www.e-chembook.eu/>
- Carlo, L. (11. březen 2020). *3D Printing ASA: Best Practices for Optimal Prints*. Získáno 23. březen 2022, z all3dp.com: <https://all3dp.com/2/3d-printing-asa/>
- cotu. (2022). *3D tisk fotopolymerizací*. Získáno 27. leden 2022, z cotu.cz: <https://www.cotu.cz/en/blog/151/3d-tisk-fotopolymerizaci>
- dkmp. (9. leden 2018). *Přehled technologií 3D tisku*. Získáno prosinec 2021, z dk metal prominent: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>
- Evropský parlament; Rada Evropské unie. (20. říjen 1997). *esipa.cz*. Načteno z 97/56/ES: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31997L0056>
- Filament PM. (nedatováno). *PPJet (polypropylen) - natur (1,75 mm; 0,5 kg)*. Získáno 25. březen 2022, z Filament PM: <https://www.filament-pm.cz/ppjet-polypropylen-natur-1-75-mm-0-5-kg/p98>
- Flynt, J. (10. listopad 2017). *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): A Tough and Diverse Plastic*. Získáno 22. březen 2022, z 3dinsider.com: <https://3dinsider.com/what-is-abs/>
- Flynt, J. (14. srpen 2018). *All About Polypropylene Plastic*. Získáno 25. březen 2022, z 3DINSIDER: <https://3dinsider.com/polypropylene/>
- Flynt, J. (10. únor 2020). *3D Printer Settings for PLA Filament – A Beginner's Guide*. Získáno únor 2022, z 3DINSIDER: <https://3dinsider.com/pla-filament/>
- Frey, S., & Locker, A. (21. říjen 2021). *PETG Filament: Everything you Need to Know*. Získáno 22. březen 2022, z all3dp.com: <https://all3dp.com/1/petg-3d-printer-filament-all-you-need-to-know/>
- Griffin, M. (4. srpen 2019). *ABS Pro Filament - What Is It?* Získáno 23. březen 2022, z all3dp.com: <https://all3dp.com/2/abs-pro-filament-what-is-it/>

- Gutierrez, R. J. (květen. 21 2019). *What id Polypropylene (PP)? - All You Need to Know*. Získáno 25. březem 2022, z All3Dp: <https://all3dp.com/1/polypropylene-pp-all-you-need-to-know/>
- Hagen, R. (30. listopad 2015). *PLA (Polylactic Acid)*. Načteno z sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818015307#!>
- Horvath, J., & Cameron, R. (2014). *Mastering 3D Pringing: a guide to modeling, printing, and protoyping*. Pasadena, California, USA: Technology in action.
- Chen, Y. (19. květen 2020). *TPE vs TPU Flexible Filament: The Differences*. Získáno 24. březem 2022, z All3dp: <https://all3dp.com/2/tpe-vs-tpu-flexible-filament-the-differences/>
- Ing. Lubos Běhálek, P. (2016). *Polymery*. Svitavy, Pardubický kraj, Česká republika: Podpora přírodovědného a technického vzdělávání v Pardubickém kraji. Získáno 25. březem 2022, z <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- Josef Průša, M. B. (2019). *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Praha: Prusha Research a.s.
- JuggerBot3D. (nedatováno). *ACRYLONITRILE STYRENE ACRYLATE (ASA) FILAMENT REVIEW*. Získáno 23. březem 2022, z JuggerBot3D: <https://juggerbot3d.com/materials/asa-filament-review/>
- Kondo, H. (1. květen 2019). *all3dp.com*. Získáno 24. březem 2022, z What is PLA? - 3D Printing Materials Simply explained: <https://all3dp.com/2/what-is-pla-3d-printing-materials-simply-explained/>
- Kondo, H. (9. únor 2020). *3D Printing Polypropylene: How to 3D Print with PP*. Získáno 25. březem 2022, z All3Dp: <https://all3dp.com/2/3d-printing-polypropylene-how-to-3d-print-with-pp/>
- Kondo, H. (17. březem 2021). *ABS Juice, Glue, & Slurry: What Is It & How to Make It?* Získáno 23. březem 2022, z all3dp.com: <https://all3dp.com/2/abs-glue-slurry-juice-tutorial/>
- koplast.cz. (nedatováno). *ABS – Akrylonitrilbutadienstyren*. Získáno 23. březem 2022, z KOPLAST: <https://www.koplast.cz/abs/>
- Kratochvílová, J. (2015). *3D tisk*. Ústí nad Labem : Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.
- Krebs, S., Kolařík, L., & Bryksí Stunová, B. (2020). *Technologie zpracování plastů a kompozitů*. Praha: České vysoké učení technické v Praze.
- LEGO®. (nedatováno). *LEGO® a DUPLO® hračky a bezpečnost dětí*. Získáno 22. březem 2022, z lego.com: <https://www.lego.com/cs-cz/service/help/fun-for-fans/behind-the-scenes/brick-facts/toy-safety-general-bltea263a24fdbea7a0>
- Materiál pro 3D. (nedatováno). *ASA*. Získáno 23. březem 2022, z materialpro3D.cz: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/asa/>
- O'Connell, J. (4. říjen 2020). *How Is 3D Printer Filament Made?* Získáno 12. březem 2022, z all3dp.com: <https://all3dp.com/2/how-3d-printer-filament-made/>
- O'Connell, J. (11. leden 2021). *ASA Filament: The Best Brands of 2021*. Získáno 23. březem 2022, z All3DP: <https://all3dp.com/2/asa-filament-explained-and-compared/>
- O'Connell, J. (8. duben 2021). *Best Cura PETG Settings / Profile*. Získáno 22. březem 2022, z All3DP: <https://all3dp.com/2/cura-petg-settings-profile/>

- PharmDr. Vladimír Végh. (10. prosinec 2018). Bezpečnostní list. *ABS NOT DEAD filament*, 10. Žatec, Ústecký kraj, Česká republika: pharmis.cz. Získáno 10. květen 2022, z Filament PM: <https://www.filament-pm.cz/abs-zluta-1-75-mm-1-kg/p7>
- Plasty Mladeč. (24. březen 2022). *TPE 32 RubberJet Flex - černá (1,75 mm; 0,5 kg)*. Načteno z Filament PM: <https://www.filament-pm.cz/tpe-32-rubberjet-flex-cerna-1-75-mm-0-5-kg/p90>
- Plasty Mladeč. (nedatováno). *ABS - žlutá (1,75 mm; 1 kg)*. Získáno 22. březen 2022, z filament-pm.cz: <https://www.filament-pm.cz/abs-zluta-1-75-mm-1-kg/p7>
- Prusa3D. (únor 2022). *PETG*. Získáno 22. březen 2022, z prusa3d.com: [https://help.prusa3d.com/cs/article/petg\\_2059](https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_2059)
- renovablesverdes.com. (nedatováno). *ABS plasty*. Získáno 23. březen 2022, z Zelené obnovitelné zdroje: [https://www.renovablesverdes.com/cs/plasticos-abs/#Usos\\_de\\_los\\_plasticos\\_ABS](https://www.renovablesverdes.com/cs/plasticos-abs/#Usos_de_los_plasticos_ABS)
- Resinex. (nedatováno). *TPE - Termoplastický elastomer*. Získáno březen. 23 2022, z Resinex: <https://www.resinex.cz/polymerove-typy/tpe.html>
- Rogers, T. (7. říjen 2015). *Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA)*. Získáno 22. březen 2022, z [www.creativemechanisms.com](http://www.creativemechanisms.com): <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>
- Runsom. (nedatováno). *SLA Introduction*. Načteno z [Runsom.com](http://Runsom.com): <https://www.runsom.com/technology/sla-introduction/>
- ski-max.cz. (nedatováno). *ABS Materiál*. Získáno 23. březne 2022, z SKIMAX: <https://www.ski-max.cz/slovník/abs-material>
- Star Thermoplastics. (nedatováno). *What is TPE?* Získáno 26. březen 2022, z Star Thermoplastics: <https://www.starthermoplastics.com/products/what-is-tpe/>
- Toit, M. f. (28. červenec 2020). *The Differences Between Bottom-up Resin 3D Printers and Top-down Resin 3D Printers*. Načteno z GIZMNO 3D PRINTERS: <https://www.gizmo3dprinters.com.au/post/the-differences-between-bottom-up-resin-3d-printers-and-top-down-resin-3d-printers>
- tutocad.com. (nedatováno). *How is 3d printer filament made?* Získáno 12. březen 2022, z tutocad.com: [https://www.tutocad.com/3d-printing/how-is-3d-printer-filament-made/#How\\_do\\_you\\_manufacture\\_a\\_3D\\_printer\\_filament](https://www.tutocad.com/3d-printing/how-is-3d-printer-filament-made/#How_do_you_manufacture_a_3D_printer_filament)
- VM Plast s.r.o. (nedatováno). *Polypropylen - PP*. Získáno 25. březen 2022, z VM Plast s.r.o.: <https://www.vmplast.cz/sortiment/polypropylen>
- Zeman, L. (2018). *Vstřikování plastů teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, a. s.

**SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ**

OBRÁZEK 1: THINCERCAD – KOSTKA .....	7
OBRÁZEK 2: PRUSASLICER-2.4.0 - ROZŘEZANÁ KOSTKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	7
OBRÁZEK 3: FDM/FFF TISK (ZDROJ: WWW.DKMP.CZ. 09.01.2018. DOSTUPNÉ Z: HTTP://WWW.DKMP.CZ/O-NAS/DETAIL/PREHLED-TECHNOLOGII-3D-TISKU) .....	12
OBRÁZEK 4: TOP-DOWN SLA TISK (ZDROJ: WWW.RESEARCHGATE.NET. PROSINEC 2018. DOSTUPNÉ Z: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/FIGURE/SCHEMATIC-OF-TWO- KINDS-OF-SLA-APPROACHES-A-BOTTOM-UP-SETUP-IN-THE-TOP-DOWN-SETUP- B_FIG1_322014553 ) .....	14
OBRÁZEK 5: BOTTOM-UP SLA TISK (ZDROJ: WWW.RESEARCHGATE.NET. PROSINEC 2018. DOSTUPNÉ Z: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/FIGURE/SCHEMATIC-OF-TWO- KINDS-OF-SLA-APPROACHES-A-BOTTOM-UP-SETUP-IN-THE-TOP-DOWN-SETUP- B_FIG1_322014553) .....	15
OBRÁZEK 6: SLA, DLP, LCD METODA TISKU (ZDROJ: WWW.CREALITY.COM. METODA TISKU. 23.06.2020. DOSTUPNÉ Z: HTTPS://WWW.CREALITY.COM/BLOG-DETAIL/THE- BASIC-INTRODUCTORY-GUIDE-OF-RESIN-3D-PRINTERS) .....	16
OBRÁZEK 7: 3D VYTISKNUTÝ MENISKUS (ZDROJ: WWW.3DPRINT.COM. 11.12.2014. DOSTUPNÉ Z: HTTPS://3DPRINT.COM/30205/3D-PRINTED-MENISCUS-KNEE/) .....	18
OBRÁZEK 8: PLASTY MLADEČ CÍVKA (ZDROJ: HTTPS://WWW.FILAMENT-PM.CZ/, DOSTUPNÉ Z HTTPS://WWW.FILAMENT-PM.CZ/PLA-ZELENA-1-75-MM-1-KG/P74) .	19
OBRÁZEK 9: VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA (ZDROJ: HTTPS://PUBLI.CZ, 2016. DOSTUPNÉ Z: HTTPS://PUBLI.CZ/BOOKS/181/03.HTML) .....	21
OBRÁZEK 10: TISKOVÝ BOX S TISKÁRNOU ENDER 3 V2 (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	35
OBRÁZEK 11: MODEL TEPLTNÍ VĚŽE (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	37
OBRÁZEK 12: TESTOVACÍ DESTIČKA V PROGRAMU OPENSCAD (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	38
OBRÁZEK 13: PLA – TEPLTNÍ VĚŽ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	40
OBRÁZEK 14: PLA – TESTOVACÍ DESKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	41
OBRÁZEK 15: PLA – STROM (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	42
OBRÁZEK 16: PLA – VYKRAJOVÁTKA NA SUŠENKY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	42
OBRÁZEK 17: PLA – ZARÁŽKY NA KNIHY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	43
OBRÁZEK 18: PETG – TEPLTNÍ VĚŽ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	45
OBRÁZEK 19: PETG – TESTOVACÍ DESKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	46
OBRÁZEK 20: PETG – CHLADICÍ SYSTÉM FANG (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	47
OBRÁZEK 21: PETG – SVĚRÁK S DESKOU (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	48
OBRÁZEK 22: PETG – SVĚRÁK (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	48
OBRÁZEK 23: PETG – G SVORKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	49
OBRÁZEK 24: ABS – TEPLTNÍ VĚŽ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	52
OBRÁZEK 25: ABS – TESTOVACÍ DESKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	53
OBRÁZEK 26: ABS – LAHEV S VÍKEM (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	54
OBRÁZEK 27: ABS – LAHEV BEZ VÍKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	54
OBRÁZEK 28: ABS – HRAČKA PRO DĚTI (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	55
OBRÁZEK 29: ASA – TEPLTNÍ VĚŽ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	57
OBRÁZEK 30: ASA – TESTOVACÍ DESKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	58
OBRÁZEK 31: ASA – KRMÍTKO PRO VČELY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	59
OBRÁZEK 32: ASA – KRMÍTKO PRO VČELY S NÁDOBOU (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	59
OBRÁZEK 33: ASA – KVĚTINÁČ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	60



OBRÁZEK 34: TPE – TEPLTNÍ VĚŽ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	62
OBRÁZEK 35: TPE – TESTOVACÍ DESKA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	63
OBRÁZEK 36: TPE – OBAL NA TELEFON (ZDROJ: VLASTNÍ).....	64
OBRÁZEK 37: TPE – OBAL NA TELEFON + TELEFON (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	64
OBRÁZEK 38: TPE – GRIP NA KOLO (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	65
OBRÁZEK 39: PP – ZMAŘENÉ TEPLTNÍ VĚŽE (ZDROJ: VLASTNÍ).....	66
OBRÁZEK 40: PP – TEPLTNÍ VĚŽ (ZDROJ: VLASTNÍ).....	67
OBRÁZEK 41: PP - TESTOVACÍ DESKA (ZDROJ: VLASTNÍ).....	68
OBRÁZEK 42: PP – ODMĚRNÝ VÁLEC (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	69
OBRÁZEK 44: PP – POUŽITÁ OCHRANA KAMERY (ZDROJ: VLASTNÍ).....	69
OBRÁZEK 43: PP – OCHRANA KAMERY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	69
TABULKA 1: SROVNÁNÍ MATERIÁLŮ .....	70

## **PŘÍLOHY**

Veškeré pořízené fotografie jsou k dispozici na CD na zadních deskách práce.