

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačního inženýrství**



## **Diplomová práce**

**Snížení spotřeby elektrické energie při tisku na 3D  
tiskárně Original Prusa i3 MK3S+**

**Bc. Alexander Illéš**

© 2024 ČZU v Praze

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Alexander Illéš

Informatika

Název práce

**Snížení spotřeby elektrické energie při tisku na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+**

Název anglicky

**Reducing electricity consumption on the Original Prusa i3 MK3S+ 3D printer**

## Cíle práce

Diplomová práce je zaměřena na problematiku spotřeby elektrické energie při tisku objektů na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+.

Hlavním cílem práce je vytvořit tiskovou konfiguraci, která umožní snížit spotřebu elektrické energie pro nejčastější typy tiskových materiálů (PLA, ASA, PETG, PC Blend)

Dílní cíle práce jsou:

- Porovnat spotřebu elektrické energie u všech testovaných typů materiálů
- Pomocí snížení teploty vyhřívané podložky najít optimální tiskovou konfiguraci, která umožní tisky efektivně tisknout bez defektů.
- Využít zakrytování 3D tiskárny pro snížení potřeby vyhřívání z důvodu akumulace tepla.

## Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů.

Teoretická část se bude zabývat srovnáním spotřeby elektrické energie 3D tiskáren při tisku různých materiálů, shrnutím dostupných technik, které umožňují snížení spotřeby elektrické energie a vývojem cen elektrické energie v souvislosti s 3D tiskem.

Cílem praktické části je vytvořit funkční tiskovou konfiguraci, která umožní uživateli snížit náklady za elektrickou energii a zároveň zachová kvalitu tištěných objektů ze 4 produkčních materiálů ASA, PLA, PETG, PC Blend.



## Doporučený rozsah práce

50-60

## Klíčová slova

3D tisk, filament, ASA, PC Blend, PLA, PETG, Enclosure, Prusa

---

## Doporučené zdroje informací

FLEISNER, Ing. Miroslav, 2018. Co je 3D tiskárna a jak funguje?. Miroluk.cz [online]. Plzeň: Miroluk [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.miroluk.cz/clanky-co-je3d-tiskarna-a-jak-funguje.htm>

Prusa Research. Prusa3D – 3D Printers from Josef Průša. [Online]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/>

REDWOOD, Ben a Filemon SCHÖFFER, 2017. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. Amsterdam: 3D Hubs (. ISBN 978-9082748505.

3D-TISKNI, 2019. Historie 3D tisku. 3d-tiskni [online]. Zlín: 3d-tiskni [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://3d-tiskni.cz/zkusebni-prispevek-lorem-ipsum-doloramet-sit/>

---

## Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Josef Pavlíček, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 28. 11. 2023

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2024

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Snížení spotřeby elektrické energie při tisku na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024

---

## **Poděkování**

Rád bych vyjádřil své upřímné poděkování panu Ing. Josefovi Pavlíčkovi, Ph.D. za jeho vedení během psaní této diplomové práce a za jeho vynaložený čas. Jeho cenné rady, odborné znalosti a podpora byly neocenitelnými přínosy pro úspěšné dokončení této práce.

# Snížení spotřeby elektrické energie při tisku na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou technologií 3D tisku a jejich vlivem na spotřebu elektrické energie. V úvodu je stanoven cíl práce, kterým je provést podrobné porovnání různých typů 3D tiskáren a jejich materiálů. Dále je prezentována metodika výzkumu a struktura práce.

V první části je provedena historická exkurze do technologie Fused Deposition Modeling (FDM) a jsou představeny klíčové komponenty tiskáren tohoto typu. Dále jsou popsány nejčastější tiskové defekty a dostupné materiály pro FDM tisk.

Následuje přehled dalších technologií 3D tisku, jako je Stereolithography (SLA) nebo práškové tiskárny, a jejich specifika. Věnována je také analýza energeticky významných částí tiskáren a faktorů ovlivňujících spotřebu energie při 3D tisku.

Praktická část práce se zaměřuje na vlastní experimenty s tiskem různých materiálů (PETG, PLA, PC Blend, ASA) a optimalizací tiskových konfigurací pro snížení spotřeby elektrické energie. Výsledky jsou prezentovány graficky a diskutovány.

V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky a stanoveny závěry, které přispívají k pochopení možností snížení spotřeby energie při FDM 3D tisku.

**Klíčová slova:** 3D tisk, filament, ASA, PC Blend, PLA, PETG, Enclosure, Prusa, spotřeba elektrické energie, udržitelný 3D tisk

# **Reduction of electrical energy consumption during printing on the Original Prusa i3 MK3S+ 3D printer.**

## **Abstract**

This thesis delves into the analysis of 3D printing technologies and their impact on electrical energy consumption. The introduction sets out the aim of the thesis, which is to conduct a detailed comparison of different types of 3D printers and their materials. Furthermore, the research methodology and the structure of the thesis are presented.

The first section provides a historical overview of Fused Deposition Modeling (FDM) technology and introduces key components of printers of this type. Additionally, it describes common printing defects and available materials for FDM printing.

Following this, an overview of other 3D printing technologies such as Stereolithography (SLA) or powder-based printers, along with their specifics, is presented. Analysis of energetically significant printer parts and factors affecting energy consumption during 3D printing is also provided.

The practical part of the thesis focuses on experiments with printing various materials (PETG, PLA, PC Blend, ASA) and optimizing printing configurations to reduce electrical energy consumption. Results are presented graphically and discussed.

In the conclusion, the achieved results are summarized, and conclusions are drawn contributing to understanding the possibilities of reducing energy consumption in FDM 3D printing.

**Keywords:** 3D printing, filament, ASA, PC Blend, PLA, PETG, Enclosure, Prusa, electrical energy consumption, sustainable 3D printing.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika .....</b>	<b>12</b>
2.1	Cíl práce .....	12
2.2	Metodika .....	12
<b>3</b>	<b>Technologie 3D tisku .....</b>	<b>13</b>
3.1	Historie FDM .....	13
3.2	FDM Fused Deposition Modeling (FDM) .....	14
3.2.1	Důležité části FDM 3D tiskárny .....	16
3.2.1.1	Extruder.....	16
3.2.1.2	Heater Block .....	17
3.2.1.3	Heatsink .....	17
3.2.1.4	Tryska.....	18
3.2.1.5	Chladicí větráček.....	19
3.2.1.6	Vyhřívaná podložka .....	19
3.2.1.7	Tiskový plát.....	19
3.2.1.8	LCD Display .....	20
3.2.2	Typy FDM 3D tiskáren.....	21
3.2.2.1	I3 .....	21
3.2.2.2	Core XY .....	22
3.2.2.3	Delta .....	23
3.2.2.4	SCARA .....	23
3.2.2.5	Belt .....	24
3.2.2.6	H-Bot.....	24
3.2.3	Nejčastější tiskové defekty .....	25
3.3	Materiály pro FDM 3D tisk.....	28
3.3.1	PLA.....	28
3.3.2	PETG .....	28
3.3.3	PC .....	29
3.3.4	ABS .....	29
3.3.5	ASA .....	29
3.3.6	Flex .....	30
3.4	Další technologie 3D tisku .....	31

3.4.1	SLA.....	31
3.4.2	Microstereolithography ( $\mu$ SLA).....	32
3.4.3	Práškové 3D tiskárny.....	32
3.4.4	3D tiskárny určené pro stavby konstrukcí .....	32
3.5	Energeticky významné části 3D tiskárny.....	34
3.5.1	Historie a aktuální stav výzkumu spotřeby energie při 3D tisku.....	34
3.5.2	Zdroj .....	34
3.5.3	Vyhřívání podložka.....	35
3.5.4	Hot End.....	38
3.5.5	Krokové motory.....	38
3.6	Faktory ovlivňující spotřebu energie při 3D tisku .....	39
3.6.1	Rychlost tisku .....	39
3.6.2	Prostředí.....	39
3.6.3	Materiál.....	39
3.6.4	Pravidelná údržba .....	40
3.6.5	Infill .....	40
3.7	Způsoby snížení elektrické energie při FDM 3D tisku .....	42
3.7.1	Enclosure .....	42
3.7.2	Izolace vyhřívání podložky.....	43
3.7.3	Izolace Hot Endu .....	44
3.7.4	Snížení doby tisku.....	44
3.7.5	Aplikovatelnost technik na Original Prusa i3 MK3S+.....	44
<b>4</b>	<b>Vlastní práce .....</b>	<b>45</b>
4.1	Postup měření a příprava tisků.....	45
4.1.1	Tisknuté objekty .....	45
4.2	Použitý HW a SW .....	46
4.2.1	Prusa Slic3r 2.7.1.....	46
4.2.2	Měřič spotřeby .....	46
4.2.3	Teploměr a vlhkoměr.....	47
4.2.4	Enclosure .....	47
4.3	Tisk PETG.....	48
4.3.1	Defaultní nastavení V0 .....	48
4.3.2	Optimalizovaná tisková konfigurace V1 .....	49
4.3.3	Optimalizovaná tisková konfigurace V2 .....	50
4.3.4	Optimalizovaná tisková konfigurace V3 .....	51
4.3.5	Optimalizovaná tisková konfigurace V4 .....	51
4.4	Tisk PLA .....	52
4.4.1	Defaultní nastavení V0 .....	52
4.4.2	Optimalizovaná tisková konfigurace V1 .....	52

4.4.3	Optimalizovaná tisková konfigurace V2 .....	53
4.4.4	Optimalizovaná tisková konfigurace V3 .....	54
4.5	Tisk ASA.....	55
4.5.1	Defaultní nastavení V0 .....	55
4.5.2	Optimalizovaná tisková konfigurace V1 .....	55
4.5.3	Optimalizovaná tisková konfigurace V2 .....	56
4.5.4	Optimalizovaná tisková konfigurace V3 .....	56
4.5.5	Optimalizovaná tisková konfigurace V4 .....	56
4.6	Tisk PC Blend .....	57
4.6.1	Defaultní nastavení V0 .....	57
4.6.2	Optimalizovaná tisková konfigurace V1 .....	58
4.6.3	Optimalizovaná tisková konfigurace V2 .....	59
4.6.4	Optimalizovaná tisková konfigurace V3 .....	59
4.6.5	Optimalizovaná tisková konfigurace V4 .....	60
4.6.6	Optimalizovaná tisková konfigurace V5 .....	60
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>61</b>
5.1	PETG.....	61
5.1.1	Grafické zobrazení .....	63
5.1.2	Vizuální stav výtisků .....	64
5.2	PLA .....	65
5.2.1	Grafické zobrazení .....	66
5.2.2	Vizuální stav výtisků .....	66
5.3	PC Blend .....	67
5.3.1	Grafické zobrazení .....	68
5.3.2	Vizuální stav výtisků .....	68
5.4	ASA.....	69
5.4.1	Grafické zobrazení.....	71
5.4.2	Vizuální stav výtisků .....	71
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk .....</b>	<b>79</b>
8.1	Seznam obrázků .....	79
8.2	Seznam tabulek .....	80
8.3	Seznam grafů.....	80
8.4	Seznam použitých zkratk.....	81



# 1 Úvod

3D tisk se stal neoddělitelnou součástí moderní výroby, prototypů a modelů. Jeho popularita stále roste díky neustálému pokroku v technologii a dostupnosti tiskáren pro domácí i průmyslové využití. Jedním z klíčových hledisek, které jsou zkoumány v rámci této technologie, je optimalizace spotřeby elektrické energie, což má nejen ekonomické, ale také ekologické důsledky. Tato práce se zaměřuje na analýzu a optimalizaci spotřeby elektrické energie při tisku na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+.

Praktická část představuje úvod do technologie 3D tisku a jeho historie, s důrazem na metody Fused Deposition Modeling (FDM), které tato konkrétní tiskárna využívá. Následující kapitoly se zabývají nejen technickými aspekty tisku, jako jsou důležité části tiskárny a typy materiálů, ale také energetickými hledisky této technologie a faktory ovlivňujícími spotřebu energie při tisku.

V rámci vlastní práce jsou prezentovány konkrétní postupy měření spotřeby elektrické energie při tisku různých materiálů na Original Prusa i3 MK3S+. Pro každý materiál jsou zkoumána defaultní tisková nastavení doporučená výrobcem a následně jsou navrženy a testovány optimalizované konfigurace s cílem snížit spotřebu energie.

Výsledky této práce poskytují důležité informace nejen pro uživatele tiskárny Original Prusa i3 MK3S+, ale také pro fanoušky a vývojáře v oblasti 3D tisku, kteří se zajímají o snižování energetické náročnosti této technologie.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Diplomová práce je zaměřena na problematiku spotřeby elektrické energie při tisku objektů na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+.

Hlavním cílem práce je vytvořit tiskovou konfiguraci, která umožní snížit spotřebu elektrické energie pro nejčastější typy tiskových materiálů (PLA, ASA, PETG, PC Blend)

Dílčí cíle práce jsou:

-Porovnat spotřebu elektrické energie u všech testovaných typů materiálů

-Pomocí snížení teploty vyhřívané podložky najít optimální tiskovou konfiguraci, která umožní tisky efektivně tisknout bez defektů.

-Využít zakrytování 3D tiskárny pro snížení potřeby vyhřívání z důvodu akumulace tepla.

### **2.2 Metodika**

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů.

Teoretická část se bude zabývat srovnáním spotřeby elektrické energie 3D tiskáren při tisku různých materiálů, shrnutím dostupných technik, které umožňují snížení spotřeby elektrické energie a vývojem cen elektrické energie v souvislosti s 3D tiskem.

Cílem praktické části je vytvořit funkční tiskovou konfiguraci, která umožní uživateli snížit náklady za elektrickou energii a zároveň zachová kvalitu tištěných objektů ze 4 produkčních materiálů ASA, PLA, PETG, PC Blend.

## **3 Technologie 3D tisku**

### **3.1 Historie FDM**

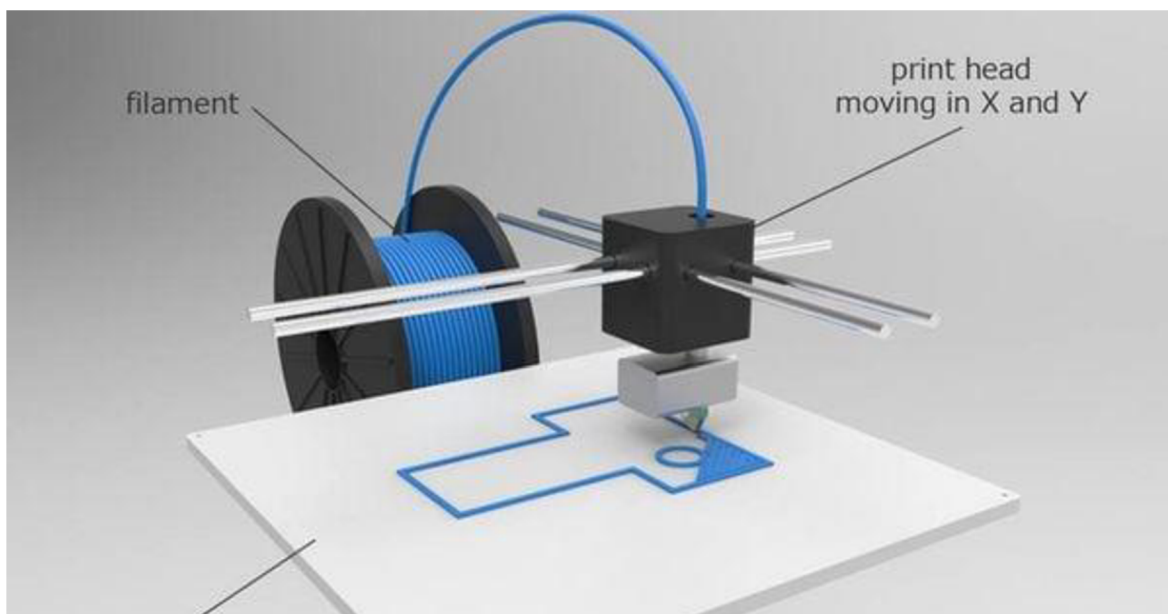
Historie této technologie sahá do druhé poloviny 20. století, kdy byla vyvinuta a patentována v roce 1989 uživatelem Scottem Crumpem, spoluzakladatelem společnosti Stratasys. První komerční FDM tiskárna, nazvaná Stratasys 3D Modeler, byla uvedena na trh v roce 1992. Tento přístroj byl schopen tisknout prototypy a funkční díly z ABS (akrylonitril-butadien-styren) plastu. Během následujících let se technologie FDM rychle rozšířila do průmyslového a komerčního sektoru. Postupem času se FDM tisk stále více vyvíjel a zdokonaloval. Byly vyvinuty nové materiály, které otevíraly cestu dalšímu využití 3D tiskáren a to i v hobby sféře. Tento vývoj umožnil snížení cen 3D tiskáren. (3D-TISKNI, 2019)

Dnes je FDM jednou z nejpoužívanějších technologií 3D tisku díky své spolehlivosti, snadnému použití a široké škále dostupných materiálů. Přispěla k revoluci v oblasti prototypování, výroby dílů a tvorby komplexních designů ve všech odvětvích průmyslu a výzkumu. (UltiMaker, 2022)

## **3.2 FDM Fused Deposition Modeling (FDM)**

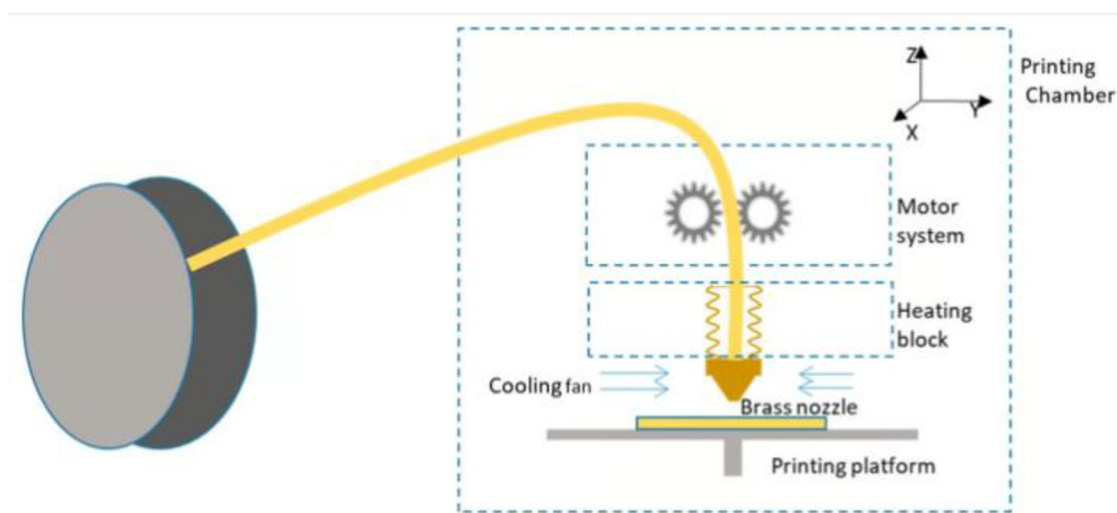
Nejpopulárnější 3D tisková technologie, využívající termoplast (filament), který je zahřát a pomocí trysky s přesným průměrem je nanášen po vrstvách na tiskový plát, tím je tvořen tištěný objekt.

Poprvé byla tato technologie použita v roce 1989 Scottem Crumpem. Ve stejném roce získal na tuto technologii patent. Populární se tato technologie stala až po roce 2005, díky projektu Repap (replicating rapid prototyper). Jedná se o způsob, kdy tiskárna tiskne „sama sebe“. Jedná se o velmi jednoduchý způsob 3D tisku, který je populární právě díky své uživatelské přívětivosti (FLEISNER, 2018)



Obrázek 1 FDM Technologie (Đâu Văn, 2021)

Celý postup extruze filamentu je nutné rozdělit na dvě části. Hot end a Cold end. Hot end je část extruderu, která má za úkol roztavit filament pomocí tepla, a tím ho tvarovat a nanášet do již zmíněných vrstev. Tato část extruderu je poslední část, skrz kterou filament prochází, než se dotkne tiskové podložky. Cold end je naopak studená strana extruderu, která slouží například k tlačení filamentu do extruderu. Nevyužívá teplo a filament v této části zůstává pevný.



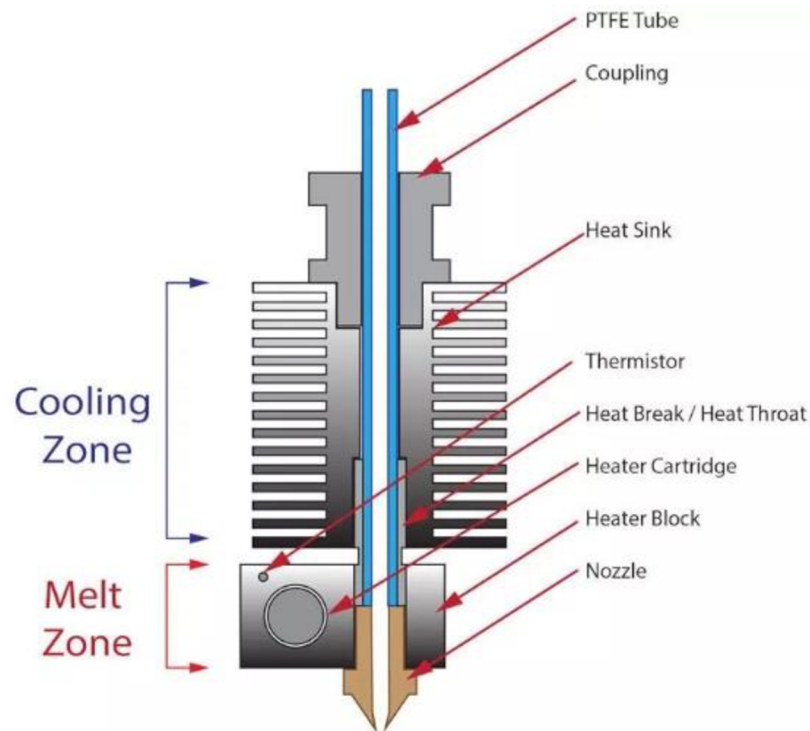
Obrázek 2 Diagram FDM technologie (Carolo, 2023)

### 3.2.1 Důležité části FDM 3D tiskárny

#### 3.2.1.1 Extruder

Jedná se o velmi důležitou část 3D tiskárny. Je rozdělena na 2 části, Hot End a Cold End. Hot End je část, ve které přímo dochází k tavení filamentu díky zahřívání topného tělíska. Následně je tekutý filament dopraven do trysky, která ho vytlačí s daným průměrem na tiskový plát.

- **Cold End** – Jedná se o část extruderu, která není horká, skládá se z podávacího kolečka, korkového motoru, PTFE trubičky a přitlačného šroubu, který slouží pro určování síly přitlačení filamentu k podávacímu kolečku. Některé typy materiálů, které jsou měkké, nesmí být silou přitlačené, jelikož by u nich hrozilo vydření a změna průměru. To by znamenalo horší extruzi a možné technické problémy, jako zaseknutí filamentu v extruderu.
- **Hot End** – V této části extruderu se přímo mění filament z pevného skupenství na tekuté. Skládá se z PTFE trubičky, která taktéž vede přes Cold End, Heatsink, Heater block a trysku. Filament je podáván přes cold end a postupně se pomocí podávacího kolečka dopraví až do trysky, kde je roztaven a nanášen na tiskový plát. (Mensley, 2023)



Obrázek 3 Extruder (Filament2Print, 2022)

### 3.2.1.2 Heater Block

Heater Block je obvykle vyroben z hliníku a zajišťuje přechod filamentu z PTFE trubičky do trysky. Celý blok je zahříván díky topnému tělísku, které zahřívá Heater Block a tím i trysku, která je v něm zapouzdřena.

Další možností místo HeaterBlocku jsou rezistory, které se pomocí odporu zahřívají, tato technologie není v současnosti hojně využívána. V neposlední řadě je nutné zmínit termistor. Jedná se o sensor, který monitoruje teplotu Heater Blocku, základní deska díky těmto informacím koriguje spínání topného tělíska, a tím umožňuje udržovat přesnou teplotu trysky. (Mensley, 2023)

### 3.2.1.3 Heatsink

Heatsink (chladič) je umístěn na horní části extruderu a slouží k odvádění tepla z Hot Endu, kde se filament taví. Hlavním úkolem heatsinku je udržovat teplotu v Hot Endu na

optimální úrovni a zabránit přehřívání. Příliš vysoká teplota v této oblasti může způsobit nežádoucí efekty, jako je deformace filamentu, nebo nestabilita tisku.

Obvykle je osazen žebrováním, které zvyšuje povrch pro odvod tepla. Často je doplněn ventilátorem, který aktivně chladí celý extruder, a tím se zvyšuje účinnost odvodu tepla, tím se udržuje stabilní teplota, což má pozitivní vliv na výsledný tisk. (Mensley, 2023)

#### 3.2.1.4 Tryska

Tryska je klíčovou částí extruderu, která ovlivňuje kvalitu, rychlost a přesnost tisku. FDM tiskárny pracují tak, že nahřátý termoplastický filament je postupně vytlačován z trysky na tiskovou plochu, kde se postupně vrství a tvoří konečný objekt. Trysky mají tyto klíčové vlastnosti:

- **Materiál** – Trysky FDM tiskáren jsou navrženy pro práci s různými materiály. Pro tyto účely se standardně používá mosazná tryška. V případě tisku vysoce abrazivních materiálů, které obsahují skleněná, nebo uhlíková vlákna, je nutné tiskárnu vybavit speciální tvrzenou tryškou z tvrzené oceli tak, aby tisknutý materiál nevydřel její vnitřní část a tím nezvýšil průměr trysky. V případě použití tvrzené trysky je nutné zvýšit teplotu trysky o 5 %, tak, aby se vyrovnala horší tepelná vodivost daného materiálu.
- **Průměr** – Jedná se o důležitý aspekt trysky. Ovlivňuje rychlost a kvalitu tisku. Čím větší je průměr trysky, tím rychleji je možné objekt vytisknout. Vyšší průměr zároveň horší kvalitu a detaily daného výtisku. Standardní průměr trysky, kterou používá tiskárna Original Prusa i3 MK3S+, je 0,4 mm. Další často využívané průměry jsou 0,25 mm, 0,6 mm a 0,8 mm. Při tisku s tryškou, která má větší průměr než 0,8mm není možné tisknout detailní výtisky, bez viditelných defektů.
- **Výměna** – Existuje několik možností výměny trysek na 3D tiskárnách. Tiskárna Original Prusa i3 MK3S+ používá šroubovací mechanismus, kde je tryška osazena závit, které se pomocí šroubování namontují do heater blocku. Mezi další metody patří: Rychloupínací trysky, kde uživatel pomocí odšroubování upnutí trysky



jednoduše vytáhne trysku i s trubičkou, která v těchto případech není z materiálu PTFE, ale z kovu. Další možnost, která není často používaná, je automatická výměna trysek. Tyto tiskárny mají integrované mechanismy, které umožňují uživateli provádět výměnu trysky pomocí přístrojového panelu nebo softwaru. Tato funkce zvyšuje pohodlí a snižuje riziko lidských chyb. (Carolo, 2023)

#### 3.2.1.5 Chladicí větráček

Aktivní chlazení je důležitá vlastnost 3D tiskárny. Jeho hlavní funkcí je regulace teploty hot endu, chlazení různých částí tiskárny a chlazení nanášených vrstev tak, aby co nejdříve ztwardly. Díky tomu se minimalizují deformace a snižuje se riziko nepřesnosti ve velikosti výtisku. Další přínos má aktivní chlazení při tisku převisů, kde se díky chlazení zvyšuje přilnavost mezi jednotlivými vrstvami, takže je 3D tiskárna schopna tisknout i náročné tvary. (Grames, 2019)

#### 3.2.1.6 Vyhřívaná podložka

Jedná se o podložku, na kterou je připevněn tiskový plát. Tato podložka je vybavena elektrickým ohřevem, který umožňuje udržovat specifickou teplotu v průběhu tisku. Zlepšuje adhezi a snižuje deformaci tisku. (Douglas, 2019)

#### 3.2.1.7 Tiskový plát

Tiskový plát je součástí 3D tiskárny, která je odnímatelná. Je to tenký plát, který je u tiskárny Original Prusa i3 MK3S+ potažen vrstvou PEI (Polyetherimide), má skvělé vlastnosti a odolnost vůči teple a opotřebení. Výhody tiskového plátu spočívají v jeho skvělé adhezi a přilnavosti k mnoha typům materiálů, což zajišťuje stabilní a kvalitní tisk. Díky této odolnosti a schopnosti udržovat konstantní teplotu na podložce se minimalizuje deformace tisknutých objektů, zejména u materiálů jako je ABS, ASA a PC Blend. Velkou výhodou je možnost tiskový plát sundat z vyhřívané podložky a díky jeho pružnosti jednoduše „odlepit“ vytištěné objekty. Další výhodou je možnost nanášení lepidel a různých pásek, které zvyšují adhezi. Tiskový plát je poté možné umýt a znovu použít. Existuje mnoho typů tiskových plátů, každý z nich má specifické vlastnosti.

- **Hladký** – Má nejvyšší přilnavost, je ideální pro materiály s menší adhezí k podložce, například PLA, ASA. Zároveň díky jeho hladkému povrchu je spodní část výtisku lesklá.
- **Texturovaný** – Má nižší přilnavost, je vhodný pro materiály, které mají vysokou adhezí vůči podložce, například PC Blend, PETG. Výtisk má díky němu hrubou stranu, na které se tiskl.
- **Saténový** – Jedná se o kompromis mezi již zmíněnými variantami. Saténový povrch je vhodný pro tisk téměř každého materiálu. Má tudíž nejširší spektrum využití. (O'Connell, 2022)

#### 3.2.1.8 LCD Display

Slouží k ovládání 3D tiskárny, zároveň zobrazuje aktuální data o tisku, jako jsou teplota, rychlost a počet minut do konce tisku. Většina moderních 3D tiskáren FDM je vybavena dotykovým displejem, některé typy, jako Original Prusa i3 MK3S+ má pouze zobrazovací display, který je nutné ovládat pomocí ovládacího kolečka. Velká část 3D tiskáren má spolu s displayem umístěnou čtečku USB, nebo SD karet. Kromě zobrazování dat o tisku umožňuje zobrazovat nastavení 3D tiskárny a umožňuje ho měnit přímo při tisku. (Richter, 2018)



*Obrázek 4 LCD Display Prusa MK3s+ (Prusa3D, 2023)*

### 3.2.2 Typy FDM 3D tiskáren

#### 3.2.2.1 I3

Jedná se o nejrozšířenější a cenově nejdostupnější typ 3D tiskárny. Pracuje pomocí pohybu v osách X,Y,Z. Skládá se z robustního rámu a je pro uživatele jednoduchá na ovládání. Vyznačuje se přímým pohybem extruderu ve dvou osách (X,Z). Pohyb v ose Y zajišťuje pohyblivá tisková plocha.



Obrázek 5 3D tiskárna typu i3 (O'Connell, 2023)

### 3.2.2.2 Core XY

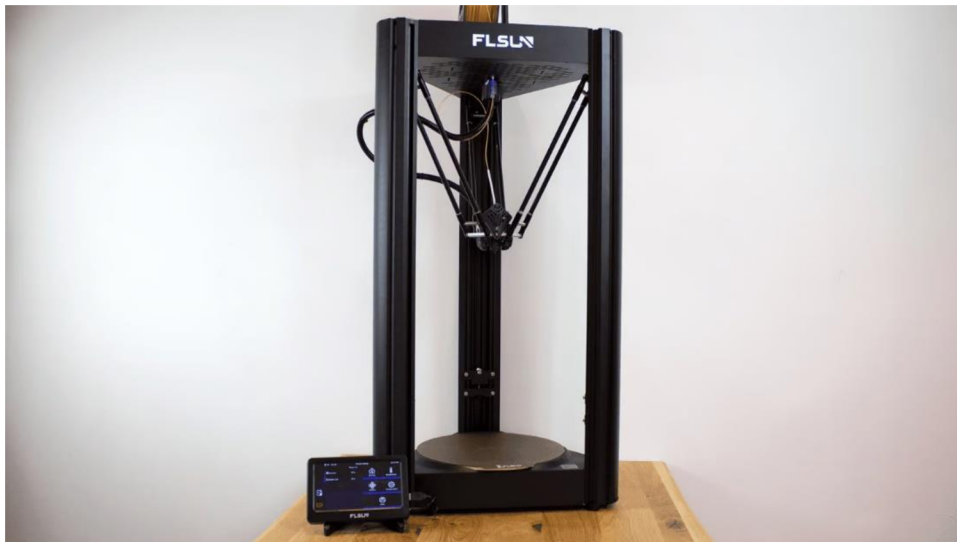
Tento typ 3D tiskáren poskytuje vysokou přesnost a rychlost. Většina poloprůmyslových moderních 3D tiskáren využívá Core XY technologie. Umožňuje nezávislý pohyb motorů v osách X a Y. Díky tomu, že se motor, který pohání extruder, nenachází přímo na jeho konstrukci, je možné využívat vyšší tiskové rychlosti. Tisk je zároveň přesnější, protože extruder je díky absenci krokového motoru odlehčen. V dnešní době je populárním výrobcem těchto tiskáren společnost BambuLab.



Obrázek 6 3D tiskárna typu core XY (O'Connell, 2023)

### 3.2.2.3 Delta

Oproti všem ostatním typům je jejich design unikátní. Extruder je připevněný obvykle k třem ramenům, v některých případech může být počet ramen vyšší. Hlavním rozdílem oproti jiným konstrukcím je fakt, že pohyblivé části tiskárny fungují bez řemenů a jsou ovládány již zmíněnými rameny. Mají vysokou rychlost a velmi dobrou kvalitu tisku. Jejich hlavní nevýhodou je malá tisková plocha, která je vhodná spíše pro tisk do výšky.



*Obrázek 7 3D tiskárna typu delta (O'Connell, 2023)*

### 3.2.2.4 SCARA

Tiskárny typu SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) nejsou mezi uživateli velmi rozšířené. K tisku využívají robotické rameno. Na jeho konci se nachází extruder. Výhodou tiskáren SCARA je možnost pohybu v malých prostorech s vysokou přesností. Často se využívá k tisku složitých tvarů, jako jsou spirály. Nevýhodou je hlavně složitá kalibrace a náchylnost na vibrace a hrubší zacházení. Tiskárny typu SCARA nejsou mezi běžnými uživateli téměř používány.

### 3.2.2.5 Belt

Pásové 3D tiskárny využívají pohybující se pás, na který se nanáší vrstvy filamentu. Hlavní myšlenkou této tiskárny je “nekonečný” cyklus tisku, kde se pás, na který tiskárna nanáší filament, točí, a opět se vrací na začátek. Na stejném principu funguje běžecový pás. Oproti běžecovému pásu se zde může pás pohybovat dvěma směry. V okamžiku, kdy pás dojde do bodu, kde se láme a vrací se zpět, se výtisk pomocí ohnutí sám odlepí od pásu a proces tisknutí je tak automatizovaný. Pás může být částečně vyhříváný, ale díky pohybu a materiálu pásu nemůžou být tiskové teploty vysoké. Tento typ tiskárny je tak limitován pouze na omezené množství tiskových materiálů. Zároveň rychlost tisku je oproti jiným typům velmi pomalá.



Obrázek 8 3D tiskárna typu belt (O'Connell, 2023)

### 3.2.2.6 H-Bot

3D tiskárny typu H-Bot mají tvar krabice. Tiskárna H-bot používá k pohybu tiskové hlavy v rovině XY jeden pás. Tento typ může být vizuálně podobný tiskárnám typu CoreXY, ale díky použití jednoho pásu je odlišný. Ve většině případů je lze při pohledu shora snadno rozlišit podle tvaru jejich pásů. Pásky H-botů tvoří písmeno “H”. Hlavní výhodou je velká tisková plocha, nízké vibrace a bytelná konstrukce. Mezi nevýhody lze zařadit vysokou cenu, velikost celé tiskárny a menší podporu komunity, jelikož se nejedná o nejrozšířenější typ tiskárny. (O'Connell, 2023)





Obrázek 9 H-Bot 3D tiskárna (O'Connell, 2023)

### 3.2.3 Nejčastější tiskové defekty

- **Příliš přitlačená první vrstva** – může vést k tomu, že tiskový materiál bude příliš těsně spojený s podložkou, což znesnadňuje odlepování objektu po dokončení tisku. To může způsobit deformace nebo trhliny v tisknutém objektu, zejména pokud se jedná o objekty s velkým povrchem. Moderní 3D tiskárny umí ladění první vrstvy provádět samy, takže je vždy perfektní a tento problém se minimalizuje.
- **Výtisk nedrží na podložce** – Hlavním důvodem bývá nesprávně nastavená teplota podložky. Pro správnou adhezi tiskového materiálu je důležité, aby teplota podložky byla dostatečně vysoká. Pokud je teplota příliš nízká, může tiskový materiál nedostatečně přilnout na povrch podložky, což může vést k tomu, že se výtisk začne odlepovat. Dalším důvodem může být špatně zvolený tiskový plát.
- **Warping** – termín pro popis nežádoucího zakřivení nebo deformace tiskového objektu během tisku nebo po jeho dokončení. Jedním z hlavních faktorů, které přispívají k warpingu, je nerovnoměrné ochlazování tiskového materiálu. Dalším

faktorem může být nesprávně nastavená teplota podložky tiskárny. Pokud není teplota podložky dostatečně vysoká, může tiskový materiál ochladit příliš rychle, což může způsobit deformace. A jako poslední je nutné mít správně nastavené chladicí větráčky.



*Obrázek 10 Warping (Jennings, 2022)*

- **Mezery ve výplni** – nedostatečná adheze mezi jednotlivými vrstvami tisku. Tisk se pak rozpadá a nemá požadované vlastnosti. Pro zamezení tohoto tiskového defektu je nutné správně nastavit teplotu trysky tak, aby byl materiál ve vrstvách správně spojen.



**Stringing** – termín označující jev, kdy tiskový materiál vytváří nežádoucí tenká vlákna nebo struny mezi jednotlivými částmi tisku nebo při pohybu tiskové hlavy mezi různými částmi objektu. Hlavním důvodem tohoto jevu je navlhnutý materiál, nebo příliš vysoká teplota Hot Endu. (Jennings, 2022)



*Obrázek 11 Stringing (Jennings, 2022)*

### **3.3 Materiály pro FDM 3D tisk**

#### **3.3.1 PLA**

PLA (kyselina polyléččná) je nejrozšířenější druh materiálu pro 3D tisk. Jedná se o teplotně nenáročný materiál, který nepotřebuje vysokou teplotu trysky ani vyhřívání podložky. Teplota trysky se při tisku pohybuje v rozmezí 180-230 °C v závislosti na doporučení výrobce. Vyhřívání podložky není pro tisk materiálu PLA nutná. Pro lepší tiskové vlastnosti je vhodné ji použít. Teplota vyhřívání podložky pro tisk PLA se pohybuje v rozmezí 20-70 °C. Jedná se o bezzápachový materiál. Při tisku nenarušuje prostředí, ve kterém se tiskne. Materiál PLA se dodává v mnoha variantách a je ze všech materiálů nejvíce rozmanitý co se týče barev a dalších vylepšení, jako jsou třpytky. V dnešní době je hojně využíván pro tisk dřeva, kde filament obsahuje část rozdrčeného dřeva a část PLA. Velkou výhodou PLA je šetrnost k životnímu prostředí. Za určitých podmínek se biologicky rozkládá, další výhody jsou nenáročný tisk a nižší cena. Jeho hlavní nevýhody jsou křehkost a nízká teplotní odolnost. Pokud je výtisk vystaven letním slunečním paprskům, bez problému se zdeformuje. Pro tisk je vhodné použít hladký tiskový plát.

#### **3.3.2 PETG**

PET (Polyethylentereftalát) je jedním z nejpoužívanějších plastů na světě. Používá se například pro výrobu plastových nádob na nápoje. Surový PET se pro tisk na 3D tiskárnách hojně nepoužívá. Jeho varianta s písmenem “G” na konci je jedním z nejrozšířenějších materiálů pro 3D tisk vůbec. Písmeno “G” označuje glykol. PETG je velmi houževnatý materiál, který se často využívá v prototypování, ale i k tisku funkčních modelů, které jsou namáhány. Teplota trysky při tisku se pohybuje v rozmezí 220-250 °C. Teplotu vyhřívání podložky je vhodné udržovat v rozmezí 50-75°C. Mezi jeho výhody patří vysoká pružnost a jednoduchost tisku. Hlavní nevýhody jsou nutnost uchovávat v suchu, jelikož jednoduše absorbuje vlhkost, a tím tvoří při tisku defekty, hlavně u vytváření mostů. U tohoto typu materiálu je téměř nutné využívat vyhřívání podložky s texturovaným povrchem, jelikož má PETG vysokou adhezi vůči tiskové podložce.

### 3.3.3 PC

Ze všech zmíněných materiálů je PC (Polykarbonát) nejpevnější a teplotně nejodolnější, zároveň je odolný vůči nárazům a namáhání. Je přirozeně průhledný a má široké využití i v jiných odvětvích jako jsou neprůstřelná skla, masky a tvrzené displaye. Označení PC Blend znamená, že byl materiál PC použit s další složkou tak, aby byly jeho tiskové vlastnosti lepší a vhodnější pro 3D tisk, jelikož klasický polykarbonát je velmi náročný na teplotu a samotný tisk. Doporučené teploty pro tisk jsou podstatně vyšší, než u ostatních zmíněných materiálů. Teplota na trysce je doporučována v rozmezí 270 – 310 °C a teplota podložky 90-110 °C. Tyto teploty jsou limitní pro tisk na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+, kde je udávána maximální stabilní teplota trysky 280 °C a teplota vyhřívané podložky 118°C. Hlavní výhodou je vysoká pevnost, teplotní odolnost a možnost tisku funkčních a namáhaných dílů, které je možné použít i ve strojírenství. Nevýhody jsou naopak vysoká citlivost na prostředí, ve kterém se tiskárna nachází. Pokud bude v dané místnosti průvan, bude téměř nemožné úspěšně dokončit tisk. Další nevýhodou jsou vysoké tiskové teploty, které neumožňují všechny tiskárny. Pro jeho použití je vhodný strukturovaný, nebo saténový tiskový plát.

### 3.3.4 ABS

ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) není tak oblíbený, jako PLA. Z hlediska vlastností je však ABS lepší, ale obtížněji se tiskne. Používá se ve všech odvětvích, kde je zastoupen plast. Od těl zbraní až po kostky LEGO. Je velmi náchylný na deformace a jeho tisk je složitější. Doporučené teploty pro tisk jsou 210–250 °C na trysce a 80-110 °C na tiskové podložce. Oproti PLA má vyšší teplotní odolnost a je pevnější. Hlavní nevýhodou je, že obsahuje styren, který je podle mnoha studií karcinogenní. Při tisku se tak do místnosti můžou uvolňovat nebezpečné látky a mírný zápach. Proto je lepší tisknout ABS v dobře větrané místnosti, nebo v boxu.

### 3.3.5 ASA

ASA (akrylonitril-styren-akrylát). Jedná se o alternativu k materiálu ABS, má podobné vlastnosti, ale pro tisk je jednodušší. Oproti ABS obsahuje menší množství styrenu,

který je karcinogenní. Doporučená teplota pro tisk je 240-265 °C na trysce a 80-105 °C na vyhřívané podložce. Jeho velkou výhodou je UV stabilita. Pokud není výtisk vystaven extrémním podmínkám, vizuálně se nemění. ABS oproti tomu po určité době začne žloutnout a ztrácet svou barvu. Další výhodou je menší deformace při tisku. Hlavní nevýhodou je náchylnost na průvan a zároveň na aktivní chlazení. Pokud chladicí větráček fouká moc silně, může výtisk praskat ve vrstvách a “rozpadat” se.

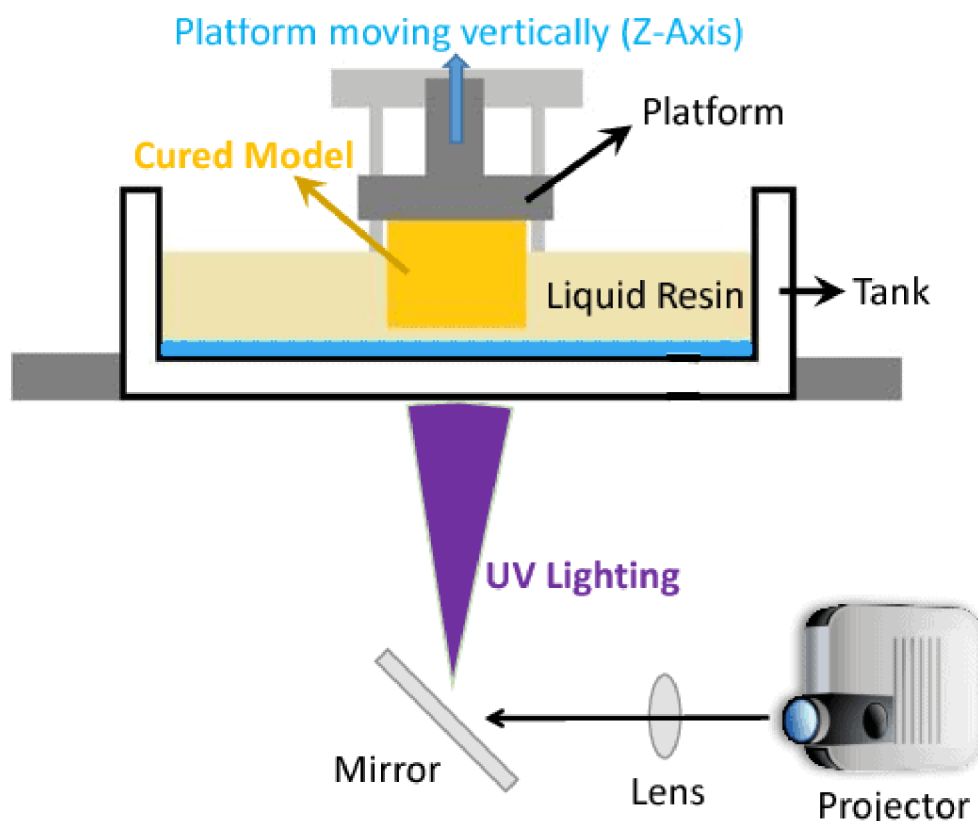
### **3.3.6 Flex**

Jedná se o plasty, které jsou svými vlastnostmi podobné pryži. Jsou velmi pružné a odolné. Často jsou používány ve výrobě automobilových dílů. Mezi hlavní zástupce flexibilních materiálů je možno zařadit TPE (termoplastický elastomer), TPU (termoplastický polyuretan), TPC (termoplastický kopolyester). Doporučené teploty pro tisk jsou 210–230 °C pro trysku a 30-60 °C pro vyhřívanou podložku. Hlavní výhodou je pružnost a měkkost, kterou nelze nahradit žádným jiným ze zmíněných materiálů. Nevýhoda je poměrně obtížný tisk a nutnost nastavení síly přitlačného podávacího kolečka, Pokud by bylo moc utažené měkký filament by se mohl vydřít. (All3DP, 2023)

## 3.4 Další technologie 3D tisku

### 3.4.1 SLA

Jedná se o technologii, která funguje na principu fotopolymerizace, kde je kapalná pryskyřice citlivá na ultrafialové (UV) světlo vytvrzována vrstvu po vrstvě tak, aby vytvořila pevný objekt. Proces začíná digitálním 3D modelem, který je rozdělen na tenké vrstvy, které jsou postupně tisknuty a vytvářejí tak výsledný objekt. Laser, nebo jiný druh UV světla se používá k vytvrzení a zpevnění pryskyřice.



Obrázek 12 Diagram SLA technologie (Xometry Europe, 2021)

Hlavní vlastností SLA je schopnost vytvářet díly s hladkým povrchem, což eliminuje potřebu dodatečného zpracování. Tato schopnost dělá SLA technologii zvláště vhodnou pro odvětví vyžadující vysokou kvalitu nebo přesnost, jako jsou medicína, zubní technika a šperkařství. Stejně jako pro rychlé prototypování v automobilovém a leteckém průmyslu. Technologie je vytyčována pro svou přesnost a schopnost vytvářet složité tvary a vnitřní struktury, které jsou obtížné nebo nemožné dosáhnout tradičními výrobními metodami (Rennd, 2023)

### **3.4.2 Microstereolithography ( $\mu$ SLA)**

$\mu$ SLA technologie je založena na principu stereolitografie (SLA), která využívá světelného záření k postupnému ztvrdování kapalného fotopolymerní vrstvy po vrstvě. Princip fungování Microstereolithography spočívá v použití ultrazvukové technologie k vytvoření extrémně jemného tiskového paprsku, který umožňuje vytvářet objekty s mikroskopickými rozměry a detaily. Když paprsek dopadne na povrch fotopolymerní vrstvy, dochází k jeho polymerizaci, tj. ztuhnutí, na místě dopadu. Tím vytváří pevnou vrstvu materiálu, která postupně tvoří tisknutý objekt. Microstereolithography je využívána v oblastech, kde je vyžadována extrémní přesnost a mikroskopické rozměry, jako jsou mikročipy, nebo biomedicínské modely.

### **3.4.3 Práškové 3D tiskárny**

Tato technologie je založena na postupném svařování nebo slepování tenkých vrstev prášku pomocí světelného, tepelného nebo chemického procesu. Princip fungování práškových 3D tiskáren spočívá v použití tenké vrstvy prášku, která je rovnoměrně rozmístěna na tiskové ploše. Výhodou práškových 3D tiskáren je možnost tisknout objekty z široké škály materiálů, včetně plastů, kovů, keramiky a biologicky rozložitelných materiálů. To umožňuje vytvářet objekty s různými vlastnostmi a aplikacemi v různých odvětvích průmyslu a výzkumu. Nevýhodou je nákladný provoz a složitá údržba.

### **3.4.4 3D tiskárny určené pro stavby konstrukcí**

Představují inovativní technologii v oblasti stavebnictví, která umožňuje vytvářet třírozměrné struktury a stavby přímo z betonu nebo jiných stavebních materiálů. Princip stavebních 3D tiskáren spočívá v tom, že beton nebo jiný stavební materiál je postupně nanášen na staveniště nebo konstrukční podložku pomocí speciální tiskové hlavy. Tato hlava je řízena počítačem a pohybuje se podle digitálního modelu stavby, který určuje tvar a rozměry tisknutého objektu. Postupně jsou tvořeny vrstvy materiálu, které se spojují a vytvářejí pevnou konstrukci. Výhodou je minimalizace odpadu materiálu a zlepšení udržitelnosti stavebního procesu. Tisknuté objekty lze navrhovat tak, aby minimalizovaly ztráty materiálu a optimalizovaly energetickou efektivitu stavby. Dle všech článků a studií se

jedná o přelomovou technologii, která se ve stavebnictví bude využívat častěji. (Schwaar, 2024)



*Obrázek 13 Tiskárna tisknoucí dům (Schwaar, 2024)*

### **3.5 Energeticky významné části 3D tiskárny**

Technologie FDM je energeticky náročnější způsob 3D tisku, jelikož oproti jiným, jako je SLA, spotřebovává velké množství energie na roztavení termoplastu a vyhřívání podložky.

#### **3.5.1 Historie a aktuální stav výzkumu spotřeby energie při 3D tisku**

Starší modely 3D tiskáren měly větší spotřebu elektrické energie. Může za to neustálá inovace technologie 3D tisku a její celkově zefektivnění. Starší 3D tiskárny v některých případech nedisponovaly termostatem, který umožňuje regulované napájení, a tím snižuje spotřebu elektrické energie. Další významná inovace, kterou 3D tisk v dnešní době využívá, je segmentově vyhřívána podložka, která umožňuje vyhřívát jen určitou část tiskové podložky, která je skutečně využívána. Velmi často využívaný je enclosure. Jedná se o zakrytí 3D tiskárny, které akumuluje teplo a díky tomu 3D tiskárna nepotřebuje tak časté spínání termostatu. To poměrně efektivně snižuje spotřebu elektrické energie, jelikož pasivně ohřívá vzduch uvnitř zakrytí. Dále pomáhá k zlepšení kvality tisku. (Bauer, 2023)

#### **3.5.2 Zdroj**

Všechny typy 3D tiskáren mají napájecí zdroj (PSU), který převádí střídavý proud (AC) na jednosměrný nízkonapěťový proud (DC). Každý zdroj má maximální udávaný příkon, který nelze překročit. Jinými slovy se jedná o maximální příkon, který je 3D tiskárna schopna využít.

Ve skutečnosti je však napájecí zdroj vybaven rezervou, která umožní maximální příkon lehce překročit, asi o 10-15 % (Koster, 2023)

3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+ má maximální zatížení zdroje 240 W, je nutné počítat s rezervou daného zdroje. V plném výkonu by se mohla maximální spotřeba této tiskárny pohybovat okolo hodnoty 250 W.



### 3.5.3 Vyhřívání podložka

Jedná se o část 3D tiskárny, která nebyla dostupná u raných verzí 3D tiskáren. Energeticky se jedná o nejnáročnější část celé tiskárny.

Funguje na principu vyhřívání celé tiskové plochy tak, aby podpořila vyšší přilnavost výtisku. Dříve se tato vlastnost kompenzovala nanášením různých přípravků, které byly pro uživatele velmi nepohodlné a v některých případech drahé. Nejčastěji se jednalo o různé lepicí pásky a lepidla, která měla zajistit vyšší přilnavost. Uživatel po každém výtisku musel celý tiskový plát umýt a celý proces nanášení lepidla opakovat.

V dnešní době jsou prakticky všechny 3D tiskárny dodávány s vyhřívanou tiskovou podložkou a na rozdíl od zakrytování se jedná o nutný standard. Stejně, jako mají různé materiály odlišné teploty tání, při kterých je vhodné je tisknout, tak, aby se bez problému dokázaly protlačit přes trysku, mají různé materiály svou vhodnou teplotu vyhřívání podložky. Teplota vyhřívání se nejčastěji přibližuje teplotě skelného přechodu daného materiálu, což zvyšuje jejich adhezi. (Douglas, 2019)



Obrázek 14 Vyhřívání podložka (Douglas, 2019)

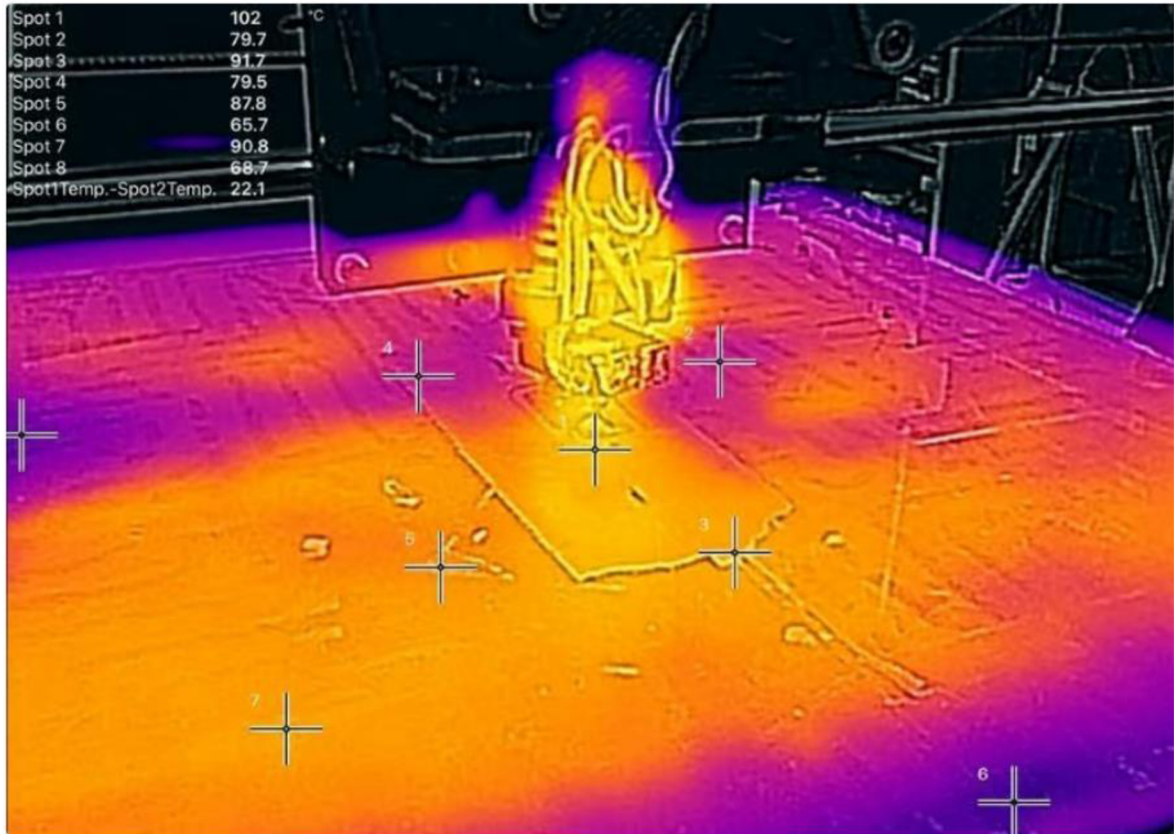
**Výhody vyhřívané podložky:**

- Zvyšuje adhezi tisknutého materiálu k tiskovému plátu, a tím snižuje pravděpodobnost defektu, který by jinak hrozil.
- Umožňuje uživateli tisk materiálů náročnějších na teplotu, jelikož některé materiály potřebují pro bezproblémový tisk teploty vyhřívané podložky i přes 115 °C
- Po dokončení tisku a následném vychladnutí se nejnižší vrstvy výtisku lehce smrští a tím uvolní pnutí na tiskovém plátu. To umožňuje ještě bezproblémovější sundávání výtisků.
- Absence nutnosti lepidel a dalších přípravků pro zajištění lepší adheze na tiskovém plátu.

**Nevýhody vyhřívané podložky:**

- Jedná se o energeticky velmi náročnou část 3D tiskárny, která na tiskárně 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+ může při maximální zátěži a vyhřívání do 120 °C spotřebovat až 120 W/hod.

- Díky prostředí, ve kterém se tiskárna nachází, je nutné počítat s tím, že vyhřívaná podložka nedosahuje všude stejných teplot a na jejích okrajích jsou značné teplotní rozdíly.



Obrázek 15 Nekonzistentní vyhřívání tiskové podložky (Douglas, 2019)

### **3.5.4 Hot End**

Hot end je zodpovědný za tavení materiálu, který 3D tiskárna tiskne. Jedná se o druhou energeticky nejnáročnější část 3D tiskárny. Jde o část extruderu, která je u většiny typů 3D tiskáren pohyblivá. Extruder pomocí podávacího kolečka vsune filament do teflonové trubičky, která vede přímo do Hot Endu. V něm se filament roztaví a přes trysku se nanáší na tiskový plát. (Průša, 2020)

U běžné stolní 3D tiskárny je spotřeba elektrické energie u extruderu okolo 30 W. Jsou však tiskárny, které mají větší topná tělíska, a tím zvyšují i spotřebu, která může být u nejnáročnějších typů extruderů až 300 W. (Koster, 2023)

### **3.5.5 Krokové motory**

Krokové motory spotřebovávají oproti vyhřívané podložce zanedbatelné množství elektrické energie. 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+ používá 4 krokové motory NEMA 17. Každý přitom průměrně spotřebuje 5 W.

## **3.6 Faktory ovlivňující spotřebu energie při 3D tisku**

### **3.6.1 Rychlost tisku**

Rychlost tisku FDM je klíčová vlastnost, která ovlivňuje spotřebu energie. Vyšší rychlost sníží čas tisku, tím se zkrátí délka vyhřívání podložky, která je z celé 3D tiskárny energeticky nejvíce náročná. Vyšší rychlost tisku může negativně ovlivnit vizuální a mechanickou stránku výtisku. Optimalizace rychlosti pro zajištění rovnováhy mezi rychlostí a kvalitou je nezbytná. (Community, 2023), (Koster, 2023)

### **3.6.2 Prostředí**

Prostředí, ve kterém se 3D tiskárna nachází, má významný vliv na spotřebu elektrické energie. Pokud se tiskárna nachází v chladném prostředí, je nutné, aby zvýšila příkon, který se využívá tak, aby vykompenzoval teplotní rozdíly.

Dalším významným faktorem je průvan v místnosti, kde se 3D tiskárna nachází. Paradoxně u materiálu PLA je průvan vítaný. U většiny ostatních materiálů se jedná o faktor, který negativně ovlivňuje výsledný výtisk a zároveň spotřebu energie, jelikož se tiskárna musí dynamicky přizpůsobovat změnám teplot, a tím zvyšuje spotřebu energie.

Vhodný způsob, kterým lze vyřešit problém, v jakém prostředí se tiskárna nachází, může být enclosure (zakrytování). (Koster, 2023).

### **3.6.3 Materiál**

Použitý materiál velmi ovlivňuje spotřebu tiskárny při tisku. Specifické materiály mohou vyžadovat vyšší teploty během procesu tisku, což v konečném důsledku vede k vyšší spotřebě elektrické energie. Vždy je vhodné vybrat správný typ materiálu, který odpovídá požadavkům tisknutého objektu. Správně zvoleným materiálem a tiskovým profilem je možné významně snížit spotřebu elektrické energie. (Community, 2023)

### **3.6.4 Pravidelná údržba**

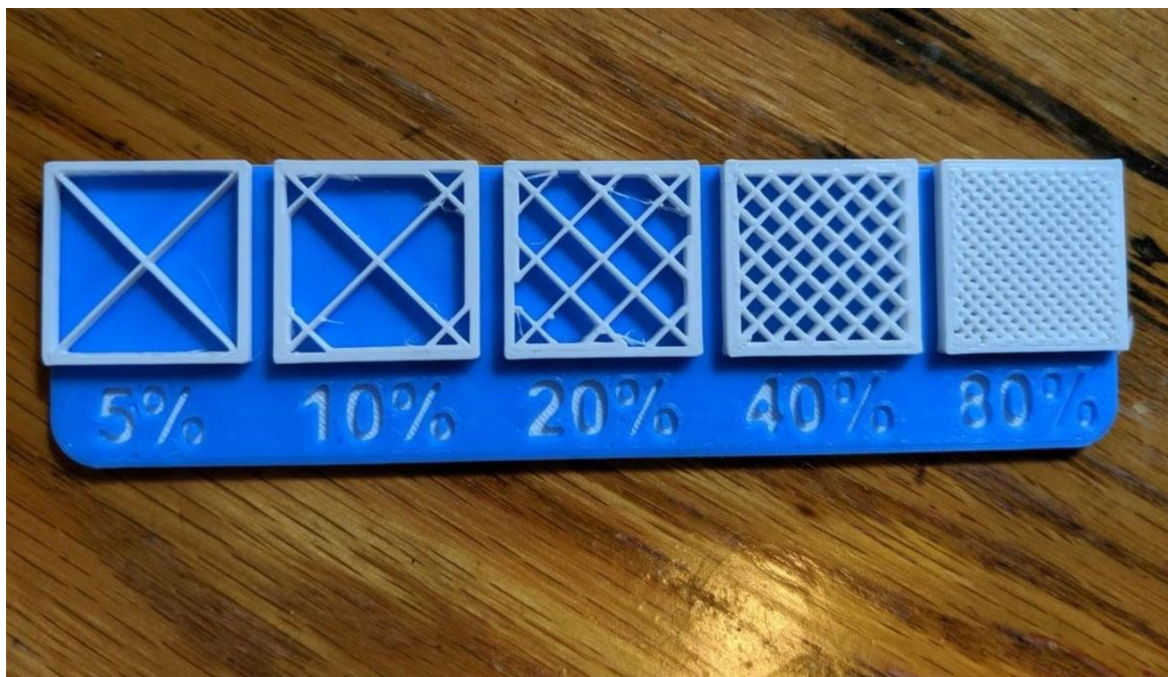
Správná a pravidelná údržba 3D tiskárny dokáže zajistit nižší spotřebu energie. Významný vliv mohou mít například ložiska, která se používají pro pohyb v osách. Jejich vyšší valivý odpor způsobí vyšší spotřebu motorů, tak aby motory tento odpor překonaly. (Use Info, 2023)

### **3.6.5 Infill**

Infill, jinak vnitřní výplň tisknutého objektu, má významný dopad na spotřebu elektrické energie. Způsob, jakým je infill tisknut a jaká je jeho hustota, ovlivňuje, jak čas tisku, tak i energetickou náročnost.

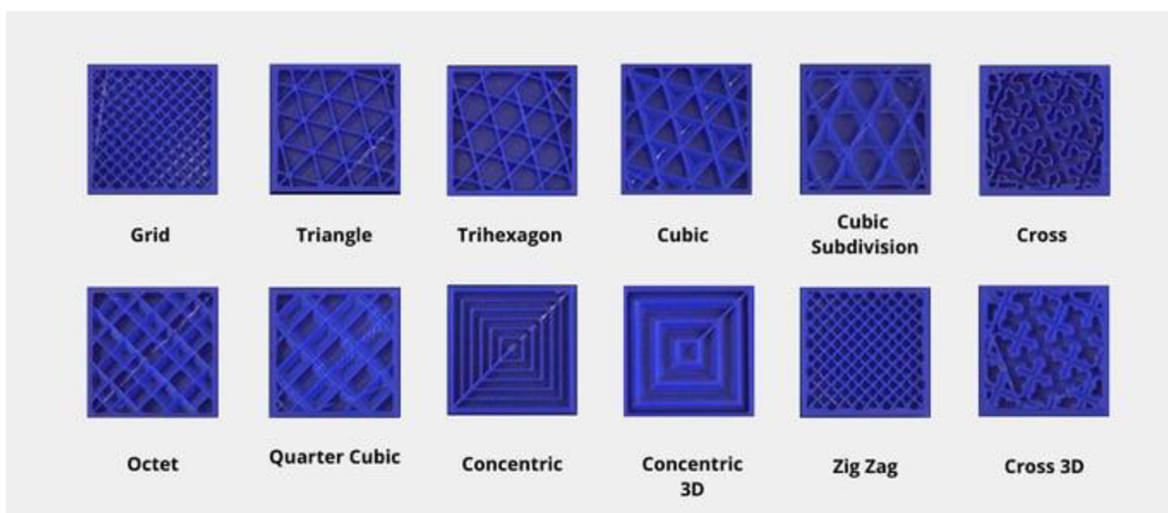
Hustota výplně ovlivňuje hustotu výtisku, čím vyšší je hustota, tím delší je doba tisku, zároveň se výtisk díky tomu stává pevnější. Je důležité, aby si uživatel vybral správný tiskový profil tak, aby měl optimální nastavení pro jeho výtisk. Hustota infillu také ovlivňuje množství pohybů extruderu a jiných částí tiskárny během tisku. Pokud je výplň hustší, tiskárna bude muset vykonat více pohybů pro vyplnění vnitřního prostoru objektu, což může znamenat vyšší spotřebu energie. Různé vzory infillu mohou mít různé dopady na spotřebu energie. Například vyplnění objektu vzorem, který vyžaduje složitější pohyby tiskárny, může zvýšit energetickou náročnost tisku. Hustota výplně u standardních výtisků je doporučována v rozmezí 15-50 %.





Obrázek 16 Různé hustoty výplně (O'Connell, 2023)

Existuje velké množství typů výplní. Nejpoužívanější jsou včelí plástev, 3D včelí plástev, přímočará výplň. (O'Connell, 2023)



Obrázek 17 typy výplní (BCN3D)

## 3.7 Způsoby snížení elektrické energie při FDM 3D tisku

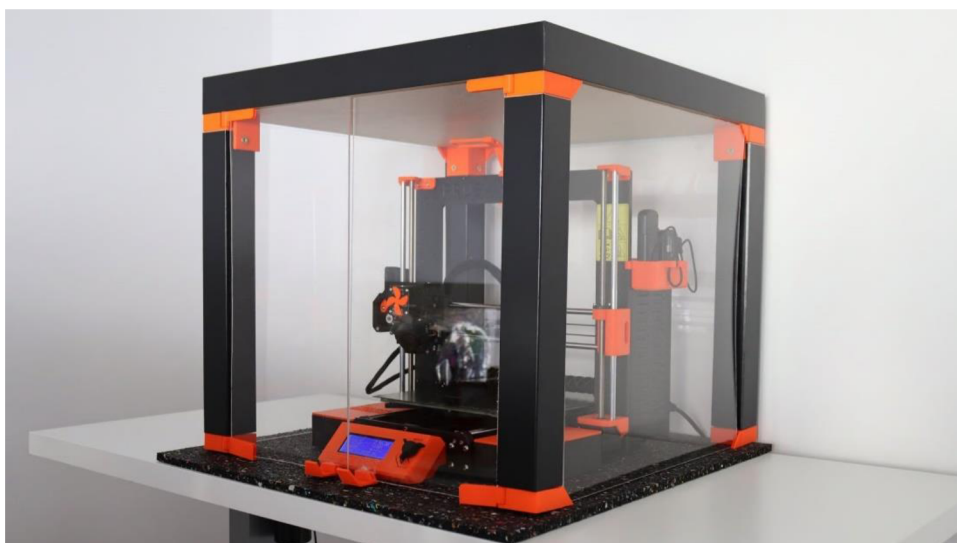
Většina metod a studií zabývajících se snížením spotřeby elektrické energie při tisku se soustředí na udržování co největšího tepla uvnitř 3D tiskárny. Zároveň se snaží o snížení vyhřívání na minimum a tím sníží i náklady potřebné pro provoz. Díky izolaci, snížení teplot a snížení doby tisku lze dosáhnout výrazných úspor.

### 3.7.1 Enclosure

Enclosure je zakrytování 3D tiskárny. Snižuje spotřebu energie tím, že zachycuje teplo uvnitř boxu. Tiskárna tak není tolik ovlivněna okolním prostředím. Enclosure má řadu dalších výhod. Zabraňuje deformaci tisku a zadržuje potenciálně škodlivé částice při tisku rizikových materiálů, jako je ABS.

Existuje mnoho typů zakrytování. Kryty je možné postavit z běžně dostupných materiálů, jako jsou stolky a boxy. Nejjednodušší a nejlevnější metoda je kartonová krabice, tato metoda však není efektivní. Další možností je přestavět noční stoleček a vybavit ho plexisklem, nebo využít foto stan, který dobře izoluje teplo a je jednoduchý na zkonstruování.

Výrobci také nabízí profesionální konstrukce, které jsou často vybaveny nejrůznějšími vylepšeními, jako jsou filtrace, aktivní vyhřívání a protipožární ochrana. Cena takového krytu se může pohybovat v hodnotě 10 tisíc korun českých.



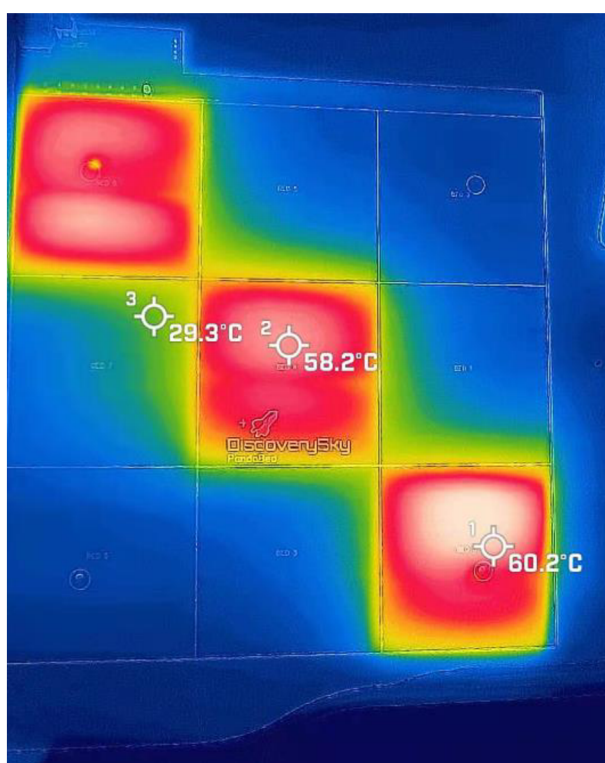
Obrázek 18 Tiskárna vybavena enclosurem (Anna, 2023)



### 3.7.2 Izolace vyhřívané podložky

Jak bylo v textu již zmíněno, vyhřívaná podložka má největší vliv na spotřebu elektrické energie u všech FDM 3D tiskáren. Jeho velká plocha napomáhá úniku tepla. Pomocné chladicí větráčky únik tepla ještě podporují. Nejjednodušším a velmi efektivním způsobem, jak snížit spotřebu elektrické energie, je pokrýt celou spodní stranu izolační folií. Nejlevnější a nejpoužívanější materiál, ze kterého se zmíněné folie vyrábí, je hliník. Přes to, že se jedná a cenově nejdostupnější možnost, jak podložku izolovat, cena takové folie se pohybuje v rozmezí 500–1000 korun českých. Je tedy nutné, aby si uživatel propočítal, zda se mu daná investice vyplatí.

Další velmi účinnou metodou je segmentová vyhřívaná podložka, která je rozdělena do několika paralelně na sobě nezávislých ploch, které umožňují vyhřívát pouze tu část podložky, na které se opravdu tiskne. Toto vylepšení si však uživatel nemůže tak jednoduše zprostředkovat sám, tudíž je potřeba mít tiskárnu vybavenou touto technologií přímo z výroby



Obrázek 19 Vyhřívaná podložka rozdělena do segmentů (HackDay, 2022)

### **3.7.3 Izolace Hot Endu**

Heater Block má i přes jeho menší plochu stejně jako vyhřívaná podložka poměrně vysoké úniky tepla, jelikož je ochlazován okolním prostředím. Nejjednodušší a nejpoužívanější způsob snížení úniku tepla je silikonový návlek. Napomáhá ke snížení spotřeby a udržuje Hot End v čistotě, jelikož se na něm neusazují zbytky extrudovaného plastu.

### **3.7.4 Snížení doby tisku**

Jedná se o nejjednodušší způsob snížení spotřeby energie, jelikož k němu uživatel nepotřebuje žádný přípravek ani nemusí investovat do žádných vylepšení. Oproti ostatním způsobům přináší snížení kvality tisku a zvýšení šance na výskyt defektu. (Koster, 2023)

### **3.7.5 Aplikovatelnost technik na Original Prusa i3 MK3S+**

Téměř všechny zmíněné způsoby je možné použít na HW 3D tiskárny Original Prusa i3 MK3S+. Jediné vylepšení, které není možné využít, je segmentovaná vyhřívaná podložka, kterou 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+ defaultně nemá. (LEVESQUE, 2023)

## **4 Vlastní práce**

Pro tisk vybraných modelů byla zvolena tiskárna Original Prusa i3 MK3S+ v produkční verzi bez přidaných vylepšení. K vyhodnocení snížení spotřeby elektrické energie byly vybrány 4 nejprodávější typy materiálu od společnosti Prusament a to konkrétně PLA, PETG, ASA a PC Blend.

### **4.1 Postup měření a příprava tisků**

Z důvodu možného zkreslení výsledků byly materiály vždy řádně vysušeny po dobu několika hodin tak, aby se zamezilo riziku navlhnutí a zhoršení kvality tisků. Tisková podložka byla před tiskem odmaštěna tak, aby byla využita co nejvyšší možná adheze materiálu vůči dané podložce.

Tiskárna byla před spuštěním ponechána v pokojové teplotě a další tisk byl spuštěn v okamžiku, kdy se teplota trysky i vyhřívané podložky dostala na úroveň teploty v místnosti, jež byla měřena digitálním teploměrem.

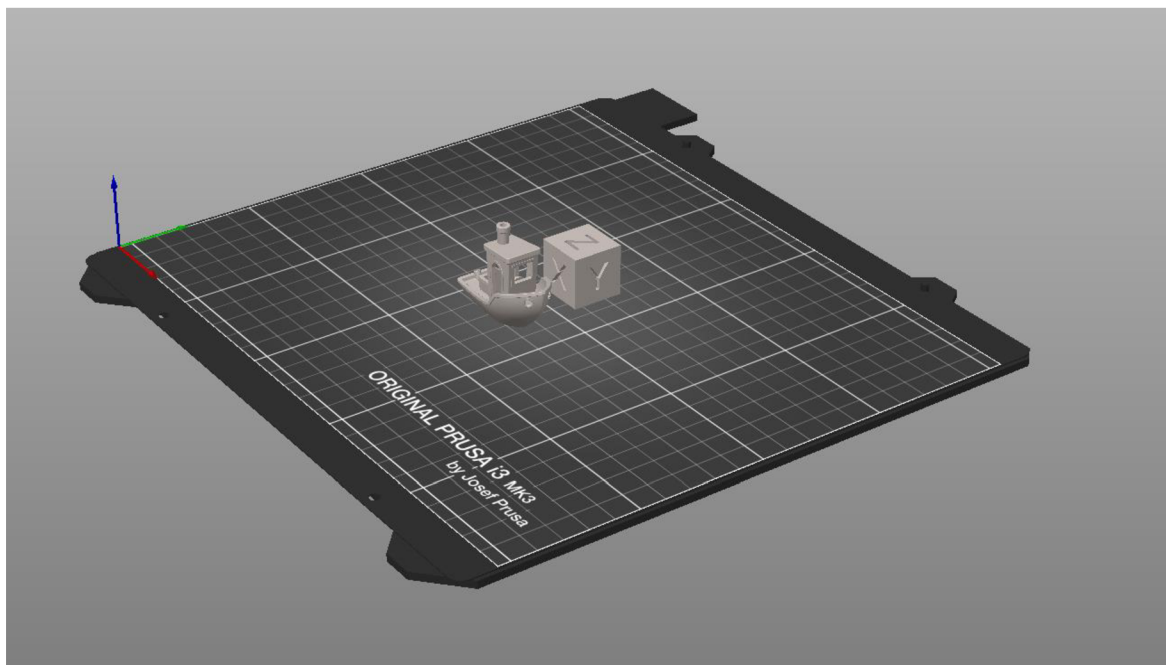
Všechny pohyblivé části tiskárny, které se pohybují díky ložiskům, byly namazány olejem WD-40, aby se snížilo zkreslení výsledku z důvodu vyššího odporu pro krokové motory.

Pro tisk modelů byl pro všechny typy materiálů zvolen tiskový profil „Quality“ s výškou vrstvy 0,2 mm, který byl následně konfigurován tak, aby se snížila spotřeba elektrické energie. Výplň objektů byla zvolena 15 %.

#### **4.1.1 Tisknuté objekty**

Pro tisk byly zvoleny 2 volně dostupné modely. První model byl hojně používaný model lodičky, na kterém lze jednoduše zjistit veškeré tiskové nedostatky, jelikož obsahuje mnoho převisů mostů a detailů. Jako druhý tisk byla zvolena kalibrační kostka o rozměrech

1x1x1 cm. Na všech stranách kostky jsou vyobrazené osy, takže lze pozorovat, jestli se výtisk při tisku nezkroutil a zda má správné rozměry.



Obrázek 20 Tiskové objekty použité k testování

## 4.2 Použitý HW a SW

Pro praktickou část diplomové práce byl zvolen originální HW a SW od společnosti Prusa Research. Dále byl použit měřič spotřeby, digitální teploměr s vlhkoměrem a fotostan, který byl použit, jako zakrytování 3D tiskárny

### 4.2.1 Prusa Slic3r 2.7.1

Jedná se o program, který dokáže převést jednotlivé digitální objekty do podoby, která je čitelná pro 3D tiskárnu. Program objekt rozdělí to jednotlivých vrstev, které následně převede do G-codu, ten slouží jako návod pro 3D tiskárnu. Jsou v něm obsažena data o pohybu částí 3D tiskárny a o její konfiguraci. (Iliopoulos, 2019)

### 4.2.2 Měřič spotřeby

Pro měření spotřeby elektrické energie byl použit přístroj Solight DT26, který umožňuje ukládat data o celkové spotřebě za dané měření. Po každém měření byl přístroj

vynulován tak, aby bylo možné další měření. Přístroj pracuje s odchylkou  $\pm 1,5 \%$  při 230V/16 A, 50Hz. Měřicí rozpětí přístroje je 2–3680 W.

#### 4.2.3 Teploměr a vlhkoměr

Pro měření teploty v místnosti a v zakrytovaném boxu byl zvolen digitální teploměr a vlhkoměr „TFA Digitální teploměr s vlhkoměrem TFA30.5055.01“.



Obrázek 21 Použitý měřič teploty (Alza)

#### 4.2.4 Enclosure

Pro zakrytování 3D tiskárny byl zvolen fotostan „Neewer fotostan 60x60x60cm“, který díky svým rozměrům umožnil uzavřít celou tiskárnu a díky zavíracímu krytu omezil přístup okolního vzduchu. Zároveň se jedná pro uživatele přívětivou variantu, jelikož není nutnost žádné montáže. Stan je vyroben z nylonu a je odolný vůči větru, to zajistilo ideální podmínky pro testování spotřeby v uzavřeném prostředí.

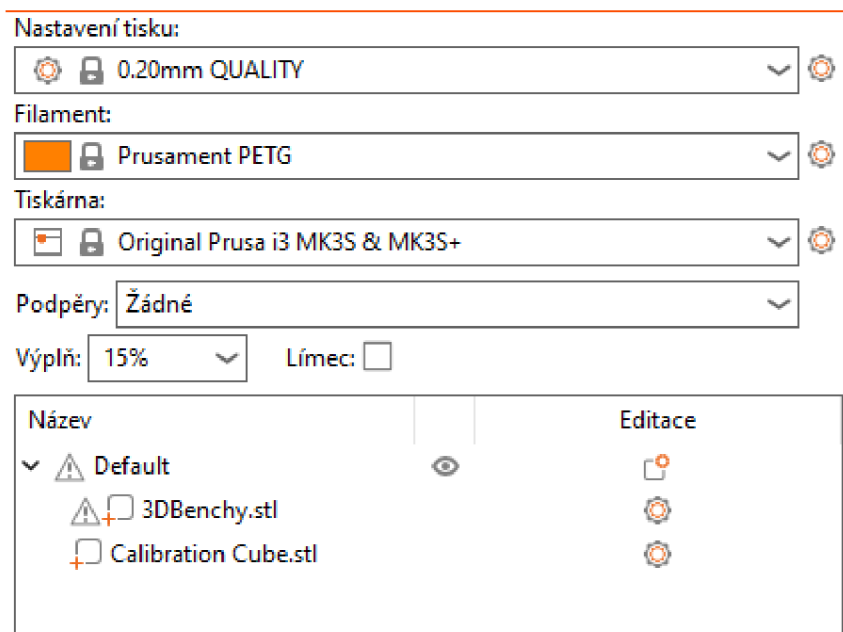


*Obrázek 22 Zakrytování 3D tiskárny*

## **4.3 Tisk PETG**

### **4.3.1 Defaultní nastavení V0**

Jako výchozí byl zvolen defaultní tiskový profil, který je udáván výrobcem. Jedná se o tiskový profil, který je přednastaven v programu s výškou vrstvy 0,2mm a označením „Quality“ a 15 % výplní.

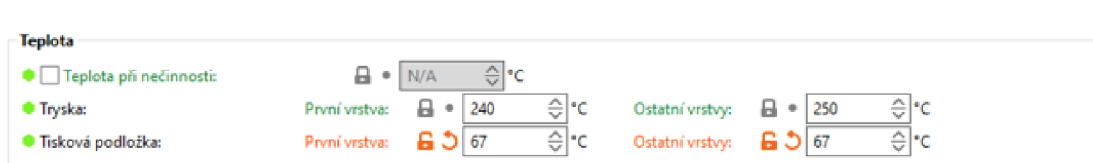


Obrázek 23 Defaultní nastavení PETG

### 4.3.2 Optimalizovaná tisková konfigurace V1

V první optimalizované verzi byla změněna teplota vyhřívané podložky na 75 % defaultní teploty, z 90 °C na 67 °C. Teplota na trysce zůstala z důvodu minimální úspory a vysokého rizika tiskového defektu ponechána defaultně.

Zároveň byl k výtisku přidán brim. Jedná se o pomocný výtisk, který zvýší adhezi objektu vůči tiskové podložce tak, že kolem objektů udělá 5 mm širokou vrstvu, díky které výtisk drží pevněji a kompenzuje tak ztrátu adheze kvůli úbytku tepla na tiskové podložce. (Fuentes, 2024)






















Obrázek 24 PETG konfigurace V1

### 4.3.3 Optimalizovaná tisková konfigurace V2

V druhé optimalizované verzi byla ponechána defaultní teplota, ale tisk byl zrychlen o 25 %.

#### Rychlosti pohybů tiskárny

● Perimetry:	 	<input type="text" value="56"/>	mm/s
● Malé perimetry:	 	<input type="text" value="31"/>	mm/s nebo %
● Vnější perimetry:	 	<input type="text" value="31"/>	mm/s nebo %
● Výplň:	 	<input type="text" value="100"/>	mm/s
● Plná výplň:	 	<input type="text" value="100"/>	mm/s nebo %
● Vrchní plné výplně:	 	<input type="text" value="50"/>	mm/s nebo %
● Podpěry:	 	<input type="text" value="62"/>	mm/s
● Kontaktní vrstvy podpěr:	 •	<input type="text" value="80%"/>	mm/s nebo %
● Mosty:	 	<input type="text" value="31"/>	mm/s
● Výplň tenkých stěn:	 •	<input type="text" value="50"/>	mm/s
● Ironing:	 •	<input type="text" value="15"/>	mm/s




















Obrázek 25 Zrychlení 3D tiskárny o 25%



#### 4.3.4 Optimalizovaná tisková konfigurace V3

V třetí optimalizované verzi byla ponechána defaultní teplota, ale tisk byl zrychlen o 50 %.

**Rychlosti pohybů tiskárny**




















● Perimetry:	 	<input type="text" value="57"/>	mm/s
● Malé perimetry:	 	<input type="text" value="37"/>	mm/s nebo %
● Vnější perimetry:	 	<input type="text" value="37"/>	mm/s nebo %
● Výplň:	 	<input type="text" value="120"/>	mm/s
● Plná výplň:	 	<input type="text" value="120"/>	mm/s nebo %
● Vrchní plné výplně:	 	<input type="text" value="60"/>	mm/s nebo %
● Podpěry:	 	<input type="text" value="75"/>	mm/s
● Kontaktní vrstvy podpěr:	 •	<input type="text" value="80%"/>	mm/s nebo %
● Mosty:	 	<input type="text" value="37,5"/>	mm/s
● Výplň tenkých stěn:	 •	<input type="text" value="60"/>	mm/s
● Ironing:	 •	<input type="text" value="15"/>	mm/s

Obrázek 26 Zrychlení 3D tiskárny o 50%








#### 4.3.5 Optimalizovaná tisková konfigurace V4

Ve čtvrté optimalizované verzi byla zvolena 75% teplota vyhřívané podložky spolu se zrychlením o 50 % viz. Obrázek 25. Tato konfigurace obsahovala poslední funkční nastavení, u další verze s nižší teplotou se již nepovedl výtisk dokončit.

**Rychlosti pohybů tiskárny**

● Perimetry:	 	<input type="text" value="57"/>	mm/s
● Malé perimetry:	 	<input type="text" value="37"/>	mm/s nebo %
● Vnější perimetry:	 	<input type="text" value="37"/>	mm/s nebo %
● Výplň:	 	<input type="text" value="120"/>	mm/s
● Plná výplň:	 	<input type="text" value="120"/>	mm/s nebo %
● Vrchní plné výplně:	 	<input type="text" value="60"/>	mm/s nebo %
● Podpěry:	 	<input type="text" value="75"/>	mm/s
● Kontaktní vrstvy podpěr:	 •	<input type="text" value="80%"/>	mm/s nebo %
● Mosty:	 	<input type="text" value="37,5"/>	mm/s
● Výplň tenkých stěn:	 •	<input type="text" value="60"/>	mm/s
● Ironing:	 •	<input type="text" value="15"/>	mm/s

**Teplota**

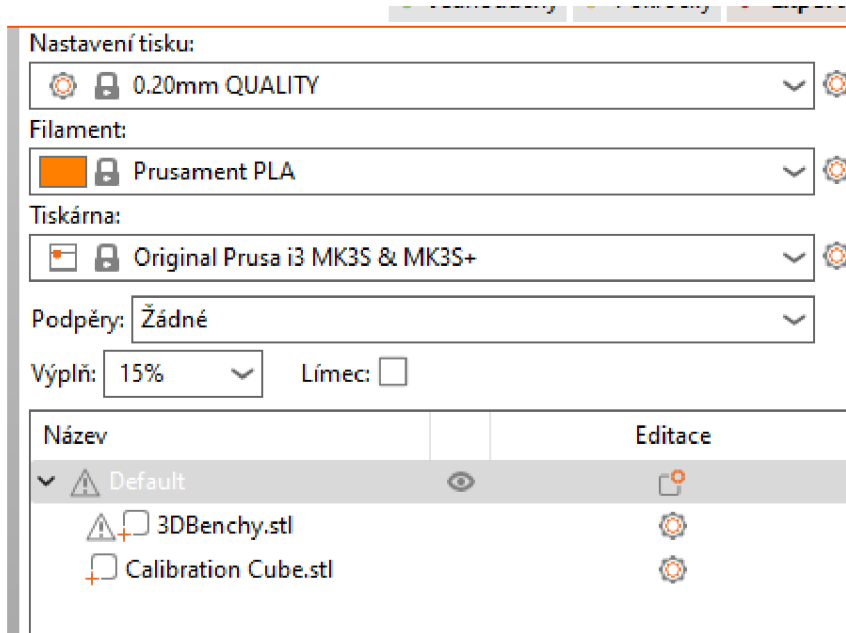
<input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	 •	<input type="text" value="N/A"/>	°C	
● Tryska:	První vrstva:	 •	<input type="text" value="240"/>	°C
● Tisková podložka:	První vrstva:	 	<input type="text" value="67"/>	°C
	Ostatní vrstvy:	 •	<input type="text" value="250"/>	°C
	Ostatní vrstvy:	 	<input type="text" value="67"/>	°C

Obrázek 27 Tisková konfigurace V4

## 4.4 Tisk PLA

### 4.4.1 Defaultní nastavení V0

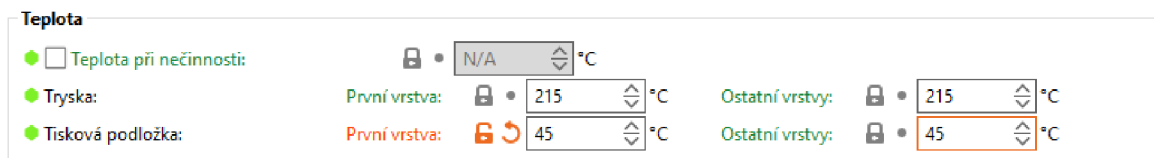
Jako výchozí byl zvolen defaultní tiskový profil, který je udáván výrobcem. Jedná se o tiskový profil, který je přednastaven v programu s výškou vrstvy 0,2mm a označením „Quality“ a 15% výplně



Obrázek 28 Defaultní tisková konfigurace PLA

### 4.4.2 Optimalizovaná tisková konfigurace V1

V první optimalizované verzi byla snížena teplota na 75 % defaultního nastavení a byl přidán brim pro zajištění vyšší adheze. Teplota vyhřívané podložky byla 45 °C a stejně jako u materiálu PETG byla ponechána defaultní teplota trysky z důvodu minimální úspory a vysokého rizika tiskového defektu.



Obrázek 29 Tisková konfigurace V1 PLA

### 4.4.3 Optimalizovaná tisková konfigurace V2

Pro druhou optimalizovanou konfiguraci bylo zvoleno 80 % defaultní teploty vyhřívané podložky spolu se zvýšením rychlosti o 25 %. Z důvodu několika neúspěšných tisků musela být zvýšena teplota vyhřívané podložky na již zmíněných 80 % z 75 %, jelikož výtisk neměl dostatečnou adhezi díky vyšší rychlosti a po určitém čase se uvolnil v průběhu tisku z tiskové plochy.

**Rychlosti pohybů tiskárny**

● Perimetry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="56"/>	mm/s
● Malé perimetry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="31"/>	mm/s nebo %
● Vnější perimetry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="31"/>	mm/s nebo %
● Výplň:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="100"/>	mm/s
● Plná výplň:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="100"/>	mm/s nebo %
● Vrchní plné výplně:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="50"/>	mm/s nebo %
● Podpěry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="62"/>	mm/s
● Kontaktní vrstvy podpěr:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="80%"/>	mm/s nebo %
● Mosty:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="31"/>	mm/s
● Výplň tenkých stěn:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="50"/>	mm/s
● Ironing:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="15"/>	mm/s

**Teplota**

● <input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="N/A"/>	°C
● Tryska:	První vrstva: <input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="215"/>	°C
	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="215"/>	°C
● Tisková podložka:	První vrstva: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="48"/>	°C
	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="48"/>	°C

Obrázek 30 Tisková konfigurace verze 2 PLA

#### 4.4.4 Optimalizovaná tisková konfigurace V3

Jako třetí optimalizovaná konfigurace byla zvolena téměř identická nastavení, jako u verze 2. Jediný rozdíl byla vyšší tisková rychlost. 80 % defaultní teploty vyhřívané podložky spolu se zvýšením rychlosti o 50 %.

Rychlosti pohybů tiskárny			
● Perimetry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="67"/>	mm/s
● Malé perimetry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="37"/>	mm/s nebo %
● Vnější perimetry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="37"/>	mm/s nebo %
● Výplň:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="120"/>	mm/s
● Plná výplň:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="120"/>	mm/s nebo %
● Vrchní plně výplně:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="60"/>	mm/s nebo %
● Podpěry:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="75"/>	mm/s
● Kontaktní vrstvy podpěr:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="80%"/>	mm/s nebo %
● Mosty:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="37"/>	mm/s
● Výplň tenkých stěn:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="60"/>	mm/s
● Ironing:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="15"/>	mm/s

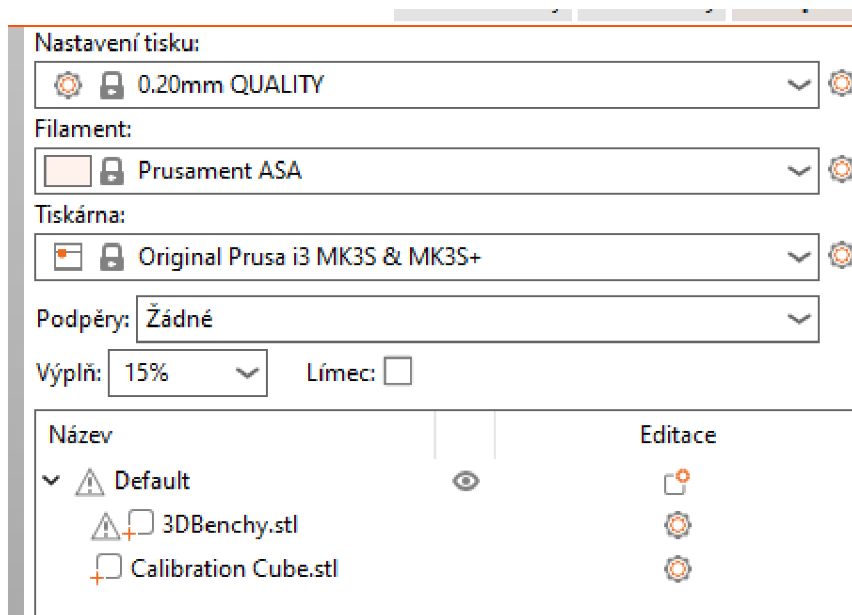
Teplota			
● <input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	<input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="N/A"/>	°C
● Tryska:	První vrstva: <input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="215"/>	°C
	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> •	<input type="text" value="215"/>	°C
● Tisková podložka:	První vrstva: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="48"/>	°C
	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="text" value="48"/>	°C

Obrázek 31 Tisková konfigurace verze 3 PLA

## 4.5 Tisk ASA

### 4.5.1 Defaultní nastavení V0

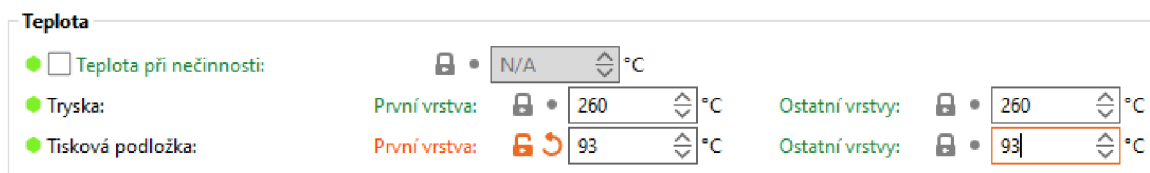
Pro defaultní konfiguraci byl zvolen tiskový profil doporučený výrobcem, kde je vyhřívána podložka vyhřáta na teplotu 110 °C a teplota trysky je 260 °C. Výška vrstvy byla stejně jako u všech ostatních materiálů 0,2 mm „Quality“ s 15 % výplní.



Obrázek 32 Defaultní nastavení ASA

### 4.5.2 Optimalizovaná tisková konfigurace V1

Jako první optimalizovaná konfigurace pro materiál ASA byl zvolen tiskový profil, který měl 85 % teploty vyhřívané podložky vůči defaultnímu nastavení. Teplota na trysce byla z důvodu minimální úspory ponechána stejně, jako u doporučeného nastavení výrobcem. Výtisk byl opatřen brimem.



Obrázek 33 Tisková konfigurace verze 1 ASA

### 4.5.3 Optimalizovaná tisková konfigurace V2

Pro tiskovou konfiguraci verze 2 byla zvolena 75 % teplota vyhřívání podložky oproti konfiguraci udávané výrobcem, teplota trysky zůstala stejná, jako u nastavení výrobcem. Výtisk byl opatřen brimem.

Parametr	První vrstva	Ostatní vrstvy
Teplota při nečinnosti	N/A °C	N/A °C
Tryska	260 °C	260 °C
Tisková podložka	82 °C	82 °C

Obrázek 34 Tisková konfigurace verze 2 ASA

### 4.5.4 Optimalizovaná tisková konfigurace V3

Jedná se o nejnižší teplotu, kterou bylo možné na vyhřívání podložce využít tak, aby nedošlo k tiskové chybě. Vyhřívání podložka měla 50 % teplotu oproti defaultnímu nastavení. Výtisk byl opatřen brimem. Všechny nižší teploty nebylo možné využít z důvodu četných tiskových defektů.




















Parametr	První vrstva	Ostatní vrstvy
Teplota při nečinnosti	N/A °C	N/A °C
Tryska	260 °C	260 °C
Tisková podložka	55 °C	55 °C

Obrázek 35 Tisková konfigurace verze 3 ASA

### 4.5.5 Optimalizovaná tisková konfigurace V4








Poslední tisková konfigurace má stejné atributy jako verze 3, Jediný rozdíl byl zrychlení o 50 %. Výtisk byl jako u všech předešlých konfiguracích vybaven brimem.

**Rychlosti pohybů tiskárny**

● Perimetry:	 	<input type="text" value="67"/>	mm/s
● Malé perimetry:	 	<input type="text" value="37,5"/>	mm/s nebo %
● Vnější perimetry:	 	<input type="text" value="37,5"/>	mm/s nebo %
● Výplň:	 	<input type="text" value="120"/>	mm/s
● Plná výplň:	 	<input type="text" value="120"/>	mm/s nebo %
● Vrchní plně výplně:	 	<input type="text" value="60"/>	mm/s nebo %
● Podpěry:	 	<input type="text" value="75"/>	mm/s
● Kontaktní vrstvy podpěr:	 •	<input type="text" value="80%"/>	mm/s nebo %
● Mosty:	 	<input type="text" value="37"/>	mm/s
● Výplň tenkých stěn:	 •	<input type="text" value="60"/>	mm/s
● Ironing:	 •	<input type="text" value="15"/>	mm/s

---

**Teplota**

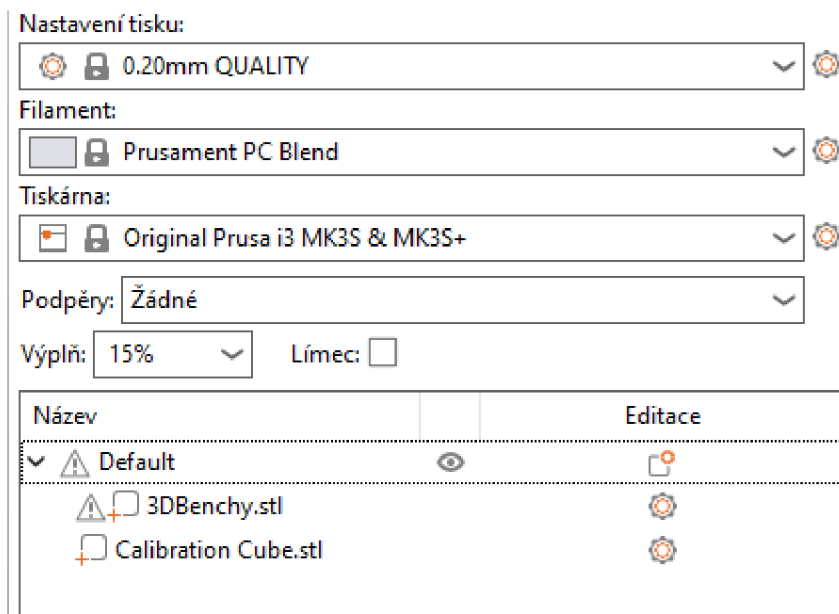
● <input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	 •	<input type="text" value="N/A"/>	°C
● Tryska:	První vrstva:  •	<input type="text" value="260"/>	°C
	Ostatní vrstvy:  •	<input type="text" value="260"/>	°C
● Tisková podložka:	První vrstva:  	<input type="text" value="55"/>	°C
	Ostatní vrstvy:  	<input type="text" value="55"/>	°C

Obrázek 36 Tisková konfigurace verze 4 ASA

## 4.6 Tisk PC Blend

### 4.6.1 Defaultní nastavení V0

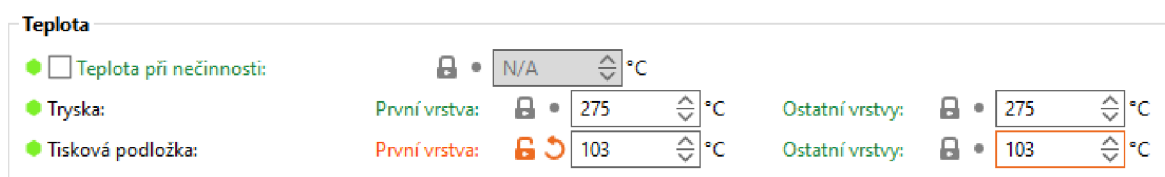
Pro další porovnání byla zvolena defaultní konfigurace doporučovaná výrobcem. S výškou vrstvy 0,2 mm a označením „Quality“. Konkrétně se jednalo o 275 °C na trysce a 115 °C na vyhřívané podložce.



Obrázek 37 Defaultní tisková konfigurace PC Blend

#### 4.6.2 Optimalizovaná tisková konfigurace V1

Jako první optimalizovaná konfigurace byla zvolena verze, která měla oproti defaultnímu nastavení 90 % teploty vyhřívané podložky, tryska byla stejně jako u předchozích materiálů ponechána na defaultní teplotě a výtisku byl přidán brim. Jelikož se jedná o teplotně nejnáročnější materiál ze všech testovaných materiálů, bylo nutné snižovat teplotu vyhřívané podložky postupně.



Obrázek 38 Tisková konfigurace verze 1 PC Blend



### 4.6.3 Optimalizovaná tisková konfigurace V2

Pro druhou optimalizovanou tiskovou konfiguraci byla snížena teplota vyhřívání podložky o dalších 5 %. Tiskárna tedy měla na vyhřívání podložky 85 % teplotu oproti doporučenému nastavení výrobcem. Výtisk byl stejně, jako u předchozí verze opatřen brimem.

Teplota			
<input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	<input type="checkbox"/> N/A °C		
<input checked="" type="checkbox"/> Tryska:	První vrstva: <input type="checkbox"/> 275 °C	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> 275 °C	
<input checked="" type="checkbox"/> Tisková podložka:	První vrstva: <input checked="" type="checkbox"/> 92 °C	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> 92 °C	

Obrázek 39 Tisková konfigurace verze 2 PC Blend

### 4.6.4 Optimalizovaná tisková konfigurace V3

Ve třetí optimalizované konfiguraci byla snížena teplota vyhřívání podložky na 75 % oproti defaultnímu nastavení. Výtisk byl opatřen brimem.

Teplota			
<input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	<input type="checkbox"/> N/A °C		
<input checked="" type="checkbox"/> Tryska:	První vrstva: <input type="checkbox"/> 275 °C	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> 275 °C	
<input checked="" type="checkbox"/> Tisková podložka:	První vrstva: <input checked="" type="checkbox"/> 80 °C	Ostatní vrstvy: <input checked="" type="checkbox"/> 80 °C	

Obrázek 40 Tisková konfigurace verze 3 PC Blend

#### 4.6.5 Optimalizovaná tisková konfigurace V4

Jako předposlední testovací konfigurace byla zvolena verze 4, kde se snížila teplota tiskové podložky na 60 % oproti defaultnímu nastavení. Zároveň se jednalo o poslední funkční konfiguraci, která s danou teplotou tiskla bez defektu.

**Teplota**

<input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	<input type="checkbox"/> N/A °C	
<input checked="" type="checkbox"/> Tryska:	První vrstva: <input type="checkbox"/> 275 °C	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> 275 °C
<input checked="" type="checkbox"/> Tisková podložka:	První vrstva: <input checked="" type="checkbox"/> 69 °C	Ostatní vrstvy: <input checked="" type="checkbox"/> 69 °C

Obrázek 41 Tisková konfigurace verze 4 PC Blend

#### 4.6.6 Optimalizovaná tisková konfigurace V5

Poslední tisková konfigurace se od konfigurace V4 lišila pouze zvýšenou rychlostí o 50 %.

**Rychlosti pohybů tiskárny**

<input checked="" type="checkbox"/> Perimetry:	<input checked="" type="checkbox"/> 67 mm/s
<input checked="" type="checkbox"/> Malé perimetry:	<input checked="" type="checkbox"/> 37 mm/s nebo %
<input checked="" type="checkbox"/> Vnější perimetry:	<input checked="" type="checkbox"/> 37 mm/s nebo %
<input checked="" type="checkbox"/> Výplň:	<input checked="" type="checkbox"/> 120 mm/s
<input checked="" type="checkbox"/> Plná výplň:	<input checked="" type="checkbox"/> 120 mm/s nebo %
<input checked="" type="checkbox"/> Vrchní plné výplně:	<input checked="" type="checkbox"/> 60 mm/s nebo %
<input checked="" type="checkbox"/> Podpěry:	<input checked="" type="checkbox"/> 75 mm/s
<input checked="" type="checkbox"/> Kontaktní vrstvy podpěr:	<input type="checkbox"/> 80% mm/s nebo %
<input checked="" type="checkbox"/> Mosty:	<input checked="" type="checkbox"/> 37 mm/s
<input checked="" type="checkbox"/> Výplň tenkých stěn:	<input type="checkbox"/> 60 mm/s
<input checked="" type="checkbox"/> Ironing:	<input type="checkbox"/> 15 mm/s

**Teplota**

<input type="checkbox"/> Teplota při nečinnosti:	<input type="checkbox"/> N/A °C	
<input checked="" type="checkbox"/> Tryska:	První vrstva: <input type="checkbox"/> 275 °C	Ostatní vrstvy: <input type="checkbox"/> 275 °C
<input checked="" type="checkbox"/> Tisková podložka:	První vrstva: <input checked="" type="checkbox"/> 69 °C	Ostatní vrstvy: <input checked="" type="checkbox"/> 69 °C

Obrázek 42 Tisková konfigurace verze 5 PC Blend

## **5 Výsledky**

Výtisky všech tiskových konfigurací byly ponechány a porovnány s nastavením doporučeným výrobcem.

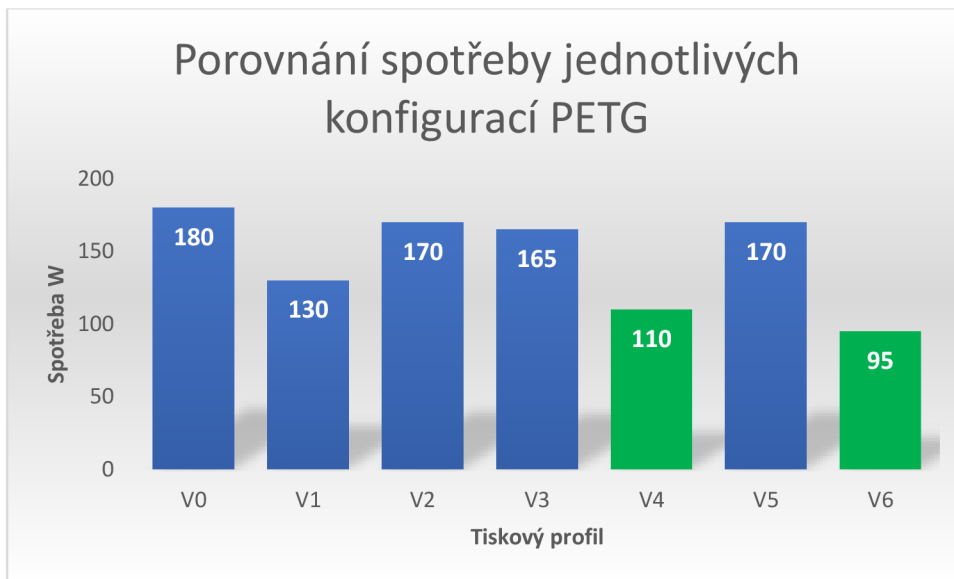
### **5.1 PETG**

Dle naměřených hodnot bylo zjištěno, že za pomoci dostupných způsobů snížení spotřeby elektrické energie lze u již zmíněných modelů lodičky a kostky snížit spotřebu téměř o polovinu za předpokladu využití zakrytování 3D tiskárny. V případě využití samotné tiskárny bez dalšího vylepšení lze snížit spotřebu elektrické energie na 60 % oproti doporučené verzi výrobcem.

<b>Tisková konfigurace</b>	<b>Spotřeba W</b>	<b>Lodička</b>	<b>Kostka</b>	<b>Verze</b>
Defaultní nastavení	180	ok	ok	V0
75% teplota bed+Brim	130	ok	ok	V1
Defaultní nastavení+25% rychlost	170	ok	ok	V2
Defaultní nastavení+50% rychlost	165	ok	ok	V3
75% teplota bed+Brim+50% rychlost	<b>110</b>	<b>ok</b>	<b>ok</b>	<b>V4</b>
Defaultní nastavení + zakrytování	170	ok	ok	V5
75% teplota bed+Brim+50% rychlost+ Zakrytování	<b>95</b>	<b>ok</b>	<b>ok</b>	<b>V6</b>

*Tabulka 1 Porovnání tiskových profilů pro PETG*

### 5.1.1 Grafické zobrazení

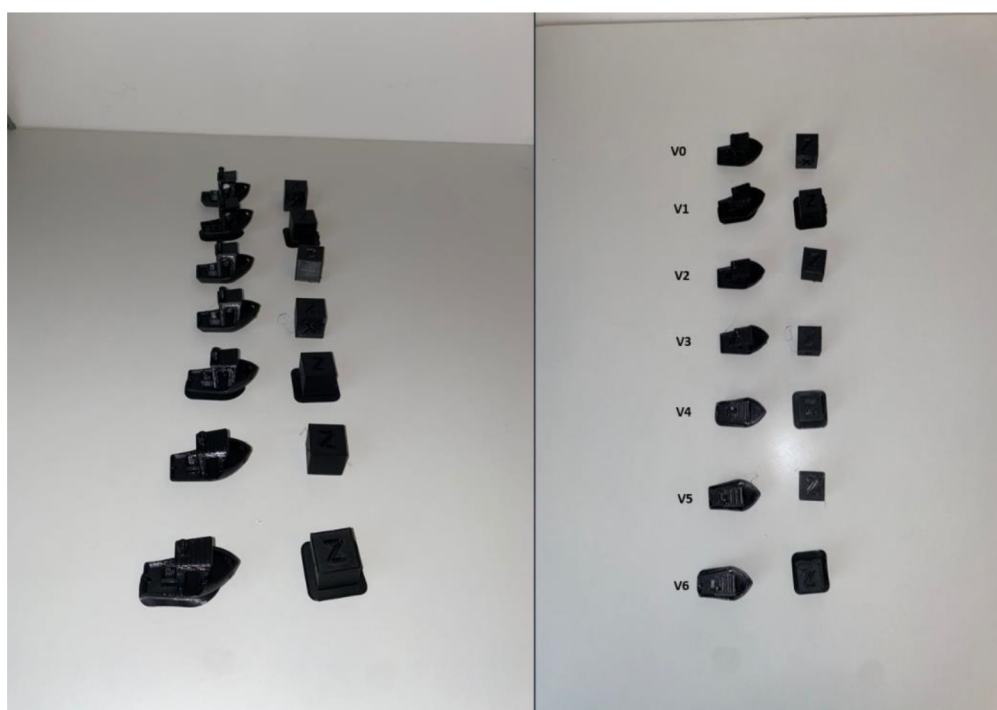


Graf 1 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací PETG

Z grafu je patrné, že zakrytování 3D tiskárny má význam. V5 má oproti V0 nižší spotřebu při stejném tiskovém nastavení. To samé lze říci o V4 a V6. Nejvyšší spotřebu elektrické energie má profil doporučený výrobcem. Je nutné zmínit, že profil výrobce je určen na všechny druhy objektů a to i těch, které jsou přes celý tiskový plát. Optimalizovaná konfigurace byla zkoumána pouze pro zmíněné modely.

### 5.1.2 Vizuální stav výtisků

Žádný z vytištěných objektů neměl vizuální ani rozměrové defekty, to znamená, že je pro uživatele výhodné využít optimalizovanou tiskovou konfiguraci z důvodu úspory elektrické energie.



Obrázek 43 Porovnání vytištěných modelů PETG

## 5.2 PLA

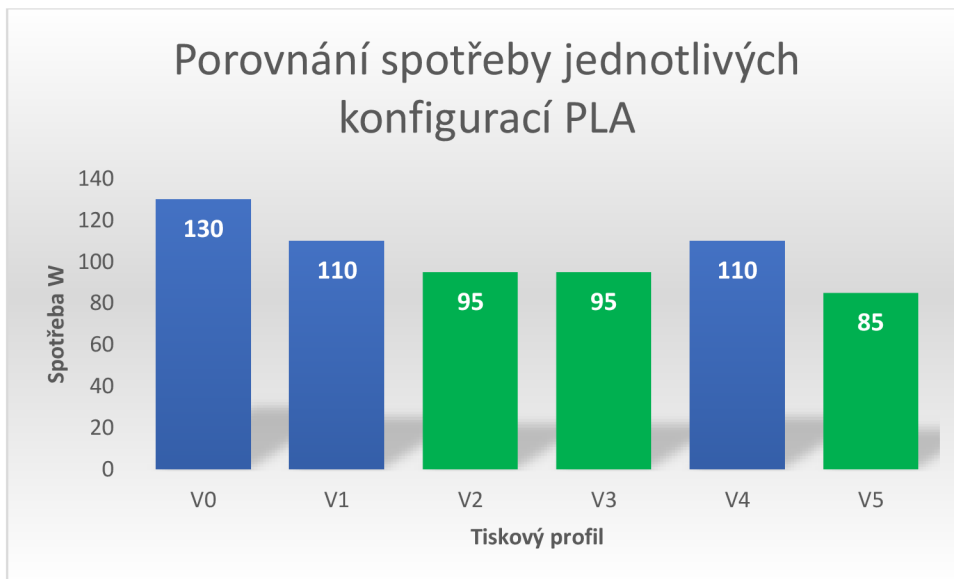
Naměřené hodnoty naznačily, že využitím dostupných metod úspory elektrické energie je možné snížit spotřebu u modelů lodičky a kostky o 65 % za předpokladu využití zakrytování 3D tiskárny. V případě využití samotné tiskárny bez dalšího vylepšení lze snížit spotřebu elektrické energie o 24 % oproti doporučenému nastavení udávaném výrobcem.

Tisková konfigurace	Spotřeba W	Lodička	Kostka	Verze
Defaultní nastavení	130	ok	ok	V0
75% teplota bed+ brim	110	ok	ok	V1
80% teplota bed+ brim+ 25% rychlost	95	ok	ok	V2
80% teplota bed+ brim+ 50% rychlost	95	ok	ok	V3
Defaultní nastavení + zakrytované	110	ok	ok	V4
80% teplota bed+ brim+ 25% rychlost+ zakrytování	85	ok	ok	V5

Tabulka 2 Porovnání tiskových profilů pro PLA

Z tabulky je patrné, že V2 a V3 mají identickou spotřebu energie. Z důvodu vyšší rychlosti tisku u V3 je z důvodu téměř identické spotřeby vhodné vybrat tiskový profil V2 a snížit tak riziko tiskového defektu způsobeného vyšší tiskovou rychlostí.

### 5.2.1 Grafické zobrazení

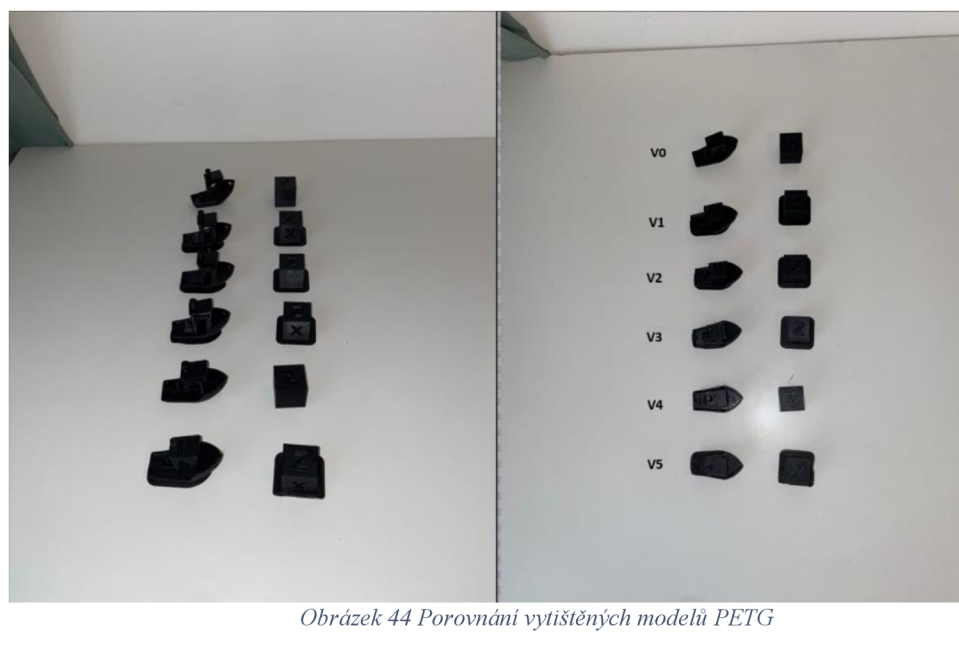


Graf 2 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací PLA

Dle grafu lze říci, že pro uživatele je nejvhodnější tiskový profil V5, kde je nutné využít zakrytování 3D tiskárny.

### 5.2.2 Vizuální stav výtisků

Žádný z provedených výtisků neměl tiskovou ani rozměrovou vadu. Pokud by uživatel tiskl modely podobné velikosti, je pro něj vylepšená tisková konfigurace vhodná.



Obrázek 44 Porovnání vytištěných modelů PETG



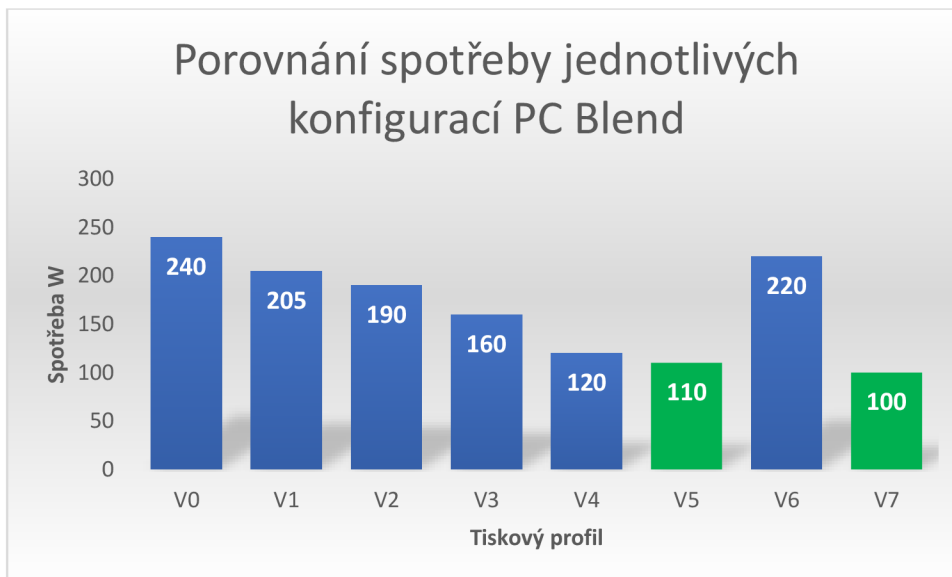
### 5.3 PC Blend

Z naměřených hodnot lze říci, že při použití optimalizovaného tiskového nastavení s využitím zakrytování je možné snížit spotřebu elektrické energie na 41 % z původní spotřeby tiskového nastavení, které doporučuje výrobcem. Pokud by uživatel nevyužil zakrytování, byla by spotřeba elektrické energie o 55 % nižší než u nastavení, které doporučuje výrobce.

Tisková konfigurace	Spotřeba W	Lodička	Kostka	Verze
Defaultní nastavení	240	ok	oko	V0
90% teplota bed+brim	205	oko	ok	V1
85% teplota bed+ brim	190	ok	ok	V2
75% teplota bed+ brim	160	ok	ok	V3
60% teplota bed + brim	120	ok	ok	V4
60% teplota bed + brim +50% rychlost	<b>110</b>	<b>ok</b>	<b>ok</b>	<b>V5</b>
Defaultní nastavení	220	ok	ok	V6
60% teplota bed + brim +50% rychlost	<b>100</b>	<b>ok</b>	<b>ok</b>	<b>V7</b>

Tabulka 3 Porovnání tiskových profilů pro PC Blend

### 5.3.1 Grafické zobrazení



Graf 3 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací PC Blend

Z grafu je patrný velký rozdíl mezi optimalizovanými tiskovými nastaveními oproti nastavení, které doporučuje výrobce. PC Blend je teplotně a energeticky nejnáročnější materiál pro tisk, tudíž je úspora energie podstatně zlatelnější, než například u PLA.

### 5.3.2 Vizuální stav výtisků



Obrázek 45 Porovnání vytištěných modelů PC Blend

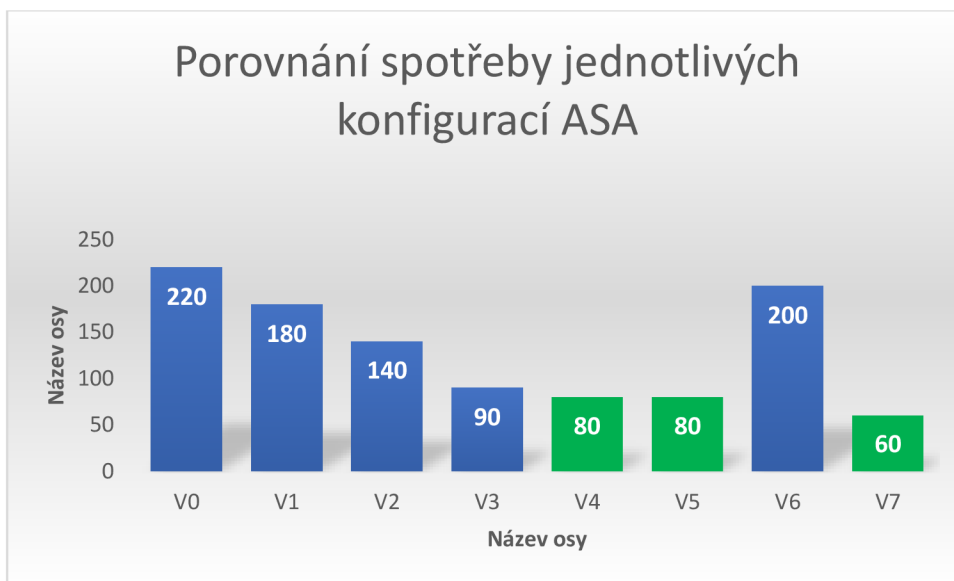
## 5.4 ASA

Dle naměřených údajů lze říci, že při použití zakrytované tiskárny spolu s optimalizovaným tiskovým nastavením může uživatel ušetřit 73 % elektrické energie. V případě nepoužití zakrytování se jedná o úsporu 64 %. Tisková konfigurace V7 měla defekt na modelu lodičky z důvodu větrání v místnosti. Kalibrační kostka se dotiskla bez defektu. Z důvodu finanční náročnosti nebyla tisková konfigurace opakována a konfigurace V7 byla shledána úspěšnou.

<b>Tisková konfigurace</b>	<b>Spotřeba W</b>	<b>Lodička</b>	<b>Kostka</b>	<b>Verze</b>
Defaultní nastavení	220	ok	ok	V0
85% teplota bed+ brim	180	ok	ok	V1
75% teplota bed+ brim	140	ok	ok	V2
50% teplota bed+ brim	90	ok	ok	V3
50% teplota bed+ brim + 25% rychlost	<b>80</b>	<b>ok</b>	<b>ok</b>	<b>V4</b>
50% teplota bed+ brim + 50% rychlost	<b>80</b>	<b>ok</b>	<b>ok</b>	<b>V5</b>
Defaultní nastavení+ zakrytování	200	ok	ok	V6
50% teplota bed+ brim + 50% rychlost + zakrytování	<b>60</b>	<b>Nok</b>	<b>ok</b>	<b>V7</b>

Tabulka 4 Porovnání tiskových profilů pro ASA

### 5.4.1 Grafické zobrazení

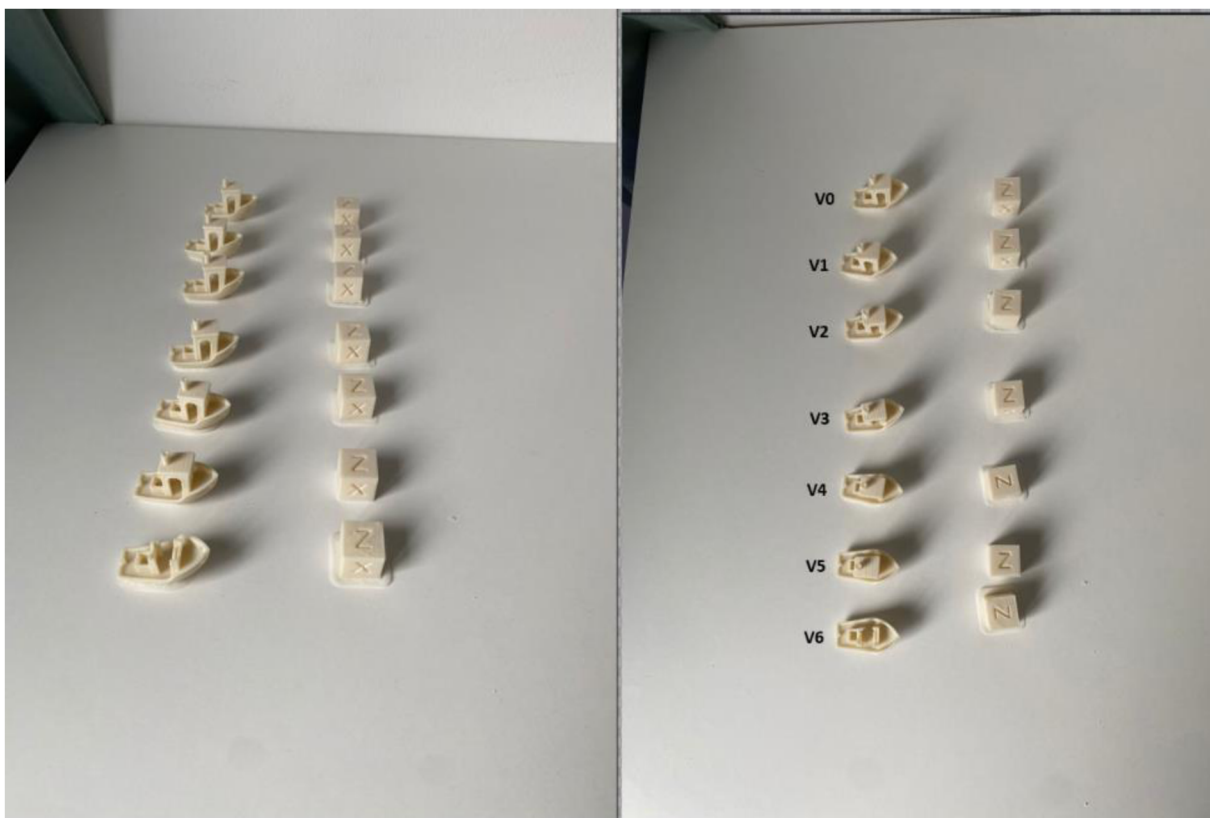


Graf 4 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací ASA

Jak je z grafu viditelné tisková konfigurace V4 a V5 má stejnou spotřebu elektrické energie. Z důvodu vyšší pravděpodobnosti tiskového defektu je vhodnější zvolit konfiguraci V4, jelikož má pomalejší rychlost tisku.

### 5.4.2 Vizuální stav výtisků

Žádná z tiskových konfigurací kromě konfigurace V6 neměla žádný tiskový defekt. Model lodičky u konfigurace V6 se nedotiskl úspěšně a jeho horní část chybí. I přes to, že byla tiskárna v zakrytovaném boxu, průvan ovlivnil výtisk natolik, že nebyl úspěšný. Pro potřeby měření energie jsou data validní, jelikož se jednalo jen o několik posledních procent tisku a tiskárna dokončila všechny pohyby, jen s ucpanou tryskou.



Obrázek 46 Porovnání vytištěných modelů ASA

## 6 Závěr

V rámci testování všech tiskových konfigurací bylo zjištěno, že u některých materiálů lze výrazně snížit spotřebu elektrické energie, a to o vyšší desítky procent. Tato zjištění představují zásadní krok směrem k udržitelnějšímu provozu 3D tiskových zařízení a k ekonomickým úsporám pro uživatele. Nejúčinnější snížení spotřeby elektrické energie bylo dosaženo při zakrytování 3D tiskárny u tiskových konfigurací materiálů PC Blend a ASA. U materiálu PC Blend bylo možné dosáhnout úspory až poloviny spotřeby defaultního nastavení, zatímco u materiálu ASA se podařilo snížit spotřebu téměř o tři čtvrtiny, aniž by došlo k jakýmkoli vizuálním nebo rozměrovým defektům.

Je nutno zdůraznit, že i bez použití přídavného vybavení lze dosáhnout významných úspor elektrické energie i se sériově vyráběnou tiskárnou Original Prusa i3 MK3S+. Konkrétně bylo možné u materiálu PETG dosáhnout úspory až 60 %, u PLA 24 %, u PC Blend 55 % a u ASA dokonce 64 %. Tyto výsledky naznačují, že upravené konfigurace tiskového nastavení nejenže umožňují významnou úsporu elektrické energie, ale zároveň zachovávají kvalitu tisku bez významných tiskových defektů. Stav výtisků s použitím upravených konfigurací je totožný se stavem při tisku na defaultní nastavení, což potvrzuje jejich spolehlivost a praktičnost.

Výsledky této diplomové práce představují úspornost a funkčnost experimentálních tiskových konfigurací, které umožňují snížení spotřeby elektrické energie bez nutnosti použití dalších nástrojů či hardwaru. Tím se otevírají nové možnosti pro uživatele 3D tiskových zařízení, kteří hledají efektivní způsoby, jak minimalizovat své náklady a zároveň přispět k ochraně životního prostředí prostřednictvím úspory energie.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- 1) KOSTER, Tim, 2023. How Much Power Does a 3D Printer Use? CLEVERCREATIONS. *Clevercreations.org* [online]. 31.5.2023 [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <https://clevercreations.org/how-much-electricity-3d-printer-power-usage/>
- 2) BAUER, Alexander, 2023. Fact check: Do 3D printers consume a lot of electricity? AB3D. *AB3D.au* [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://www.ab3d.at/en/fact-check-do-3d-printers-consume-a-lot-of-electricity/>
- 3) All3DP, 2023. The 7 Main Types of 3D Printing Technology. , All3DP. *ALL3DP*. *All3DP* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>
- 4) ĐẬU VÃN, Huân, 2021. Vinnotek. VINNOTEK. *Vinnotek.com* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://vinnotek.com/blogs/danh-muc-blog-tieng-anh/3d-printing-technology-by-fdm-method>
- 5) CAROLO, Lucas, 2023. What Is FDM 3D Printing? – Simply Explained. *ALL3DP*. *All3DP* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>
- 6) RENND, 2023. Guide To Stereolithography (SLA) 3D Printing. *Rennd* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.rennd.com/blog/what-is-stereolithography/>
- 7) XOMETRY EUROPE, 2021. Stereolithography (SLA) 3D printing: Technology overview. *Xeometry* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://xometry.eu/en/stereolithography-sla-3d-printing-technology-overview/>



- 8) COMMUNITY, James, 2023. The Energy Consumption Of 3D Printers. J.A.M.E.S. *J-ames.com/* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://j-ames.com/news/the-energy-consumption-of-3d-printers>
- 9) USE INFO, Electricity, 2023. 3D Printer Power Consumption. *Electricity Use Info* [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://electricityuseinfo.com/>
- 10) DOUGLAS, Ken, 2019. 3D Printer Heated Bed – The Advantages. *All3DP* [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-heated-bed-advantages/>
- 11) PRŮŠA, Josef, 2020. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. 1. Praha [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/ped/jaro2021/TI9009/111101390/zaklady-3d-tisku.pdf>
- 12) FILAMENT2PRINT, 2022. Basic hotend maintenance. *Filament2Print* [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: [https://filament2print.com/gb/blog/135\\_basic-hotend-maintenance.html](https://filament2print.com/gb/blog/135_basic-hotend-maintenance.html)
- 13) MENSLEY, Matthew a Jackson O'CONNELL, 2023. *3D Printer Extruder – All You Need to Know* [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-extruder-guide/>
- 14) CAROLO, Lucas a Opie CAIN, 2023. Best 3D Printer Nozzle: Types, Sizes & Materials. *All3DP* [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-nozzle-size-material-what-to-know-which-to-buy/>
- 15) GRAMES, Emmett, 2019. 3D Printer Fan – Do I Really Need One? *All3DP* [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-fans-do-i-really-need-one/>

- 16) O'CONNELL, Jackson, 2022. 3D Printer Bed: How to Choose Your Build Plate/Surface. *All3DP* [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-bed-how-to-choose-the-right-build-plate/>
- 17) RICHTER, Alec, 2018. The Anatomy of a 3D Printer: Screens. *MatterHackers* [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/articles/3d-printer-anatomy-screens>
- 18) O'CONNELL, Jackson, 2023. *The Types of FDM 3D Printers: Cartesian, CoreXY & More* [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
- 19) ALL3DP, Jackson, 2023. The Main 3D Printer Filament Types of 2023. *All3Dp* [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>
- 20) ANNA, Nicholas, 2023. Ikea Lack 3D Printer Enclosure: How to Make Your Own. *All3Dp* [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/ikea-3d-printer-enclosure-tutorial/>
- 21) PRUSA3D, 2023. *LCD menu (Original Prusa i3)* [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/lcd-menu-original-prusa-i3\\_142322](https://help.prusa3d.com/cs/article/lcd-menu-original-prusa-i3_142322)
- 22) HACKDAY, 2022. Segmented Heatbed for 3D printer. *HackDay* [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/183842-segmented-heatbed-for-3d-printer>
- 23) O'CONNELL, Jackson, 2024. 3D Printing Infill: The Basics for Perfect Results. *All3DP* [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/infill-3d-printing-what-it-means-and-how-to-use-it/>

- 24) BCN3D. Understanding the Infill - BCN3D Stratos. *BCN3D* [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://support.bcn3d.com/knowledge/infill>
- 25) LEVESQUE, ROBERT, 2023. How To Save Energy When Using FDM Technology. *Stratasys* [online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/resources/blog/how-to-save-energy-when-using-fdm-technology/>
- 26) ULTIMAKER, 2022. The complete history of 3D printing. *UltiMaker* [online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/learn/the-complete-history-of-3d-printing/>
- 27) SCHWAAR, Carolyn, 2024. The 7 Main Types of 3D Printing Technology. *All3Dp* [online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>
- 28) JENNINGS, Alastair, 2022. 3D Printing Troubleshooting: All Problems & Solutions. *All3DP* [online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues/>
- 29) ILIOPOULOS, Andreas, 2019. What Is Slic3r? – Simply Explained. *All3DP* [online]. 2019 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-slic3r-simply-explained/>
- 30) ALZA. *TFA Digitální teploměr s vlhkoměrem TFA30.5055.01, černý* [online]. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/tfa-digitalni-teplomer-s-vlhkomerem-tfa30-5055-01-cerny-d7456180.htm>
- 31) FUENTES, Lauren, 2024. *3D Printing Brim: When Should You Use It* [online]. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printing-brim-when-should-you-use-it/>

- 32) FLEISNER, Ing. Miroslav, 2018. Co je 3D tiskárna a jak funguje?. Miroluk.cz [online]. Plzeň: Miroluk [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.miroluk.cz/clanky-co-je3d-tiskarna-a-jak-funguje.htm>
- 33) REDWOOD, Ben a Filemon SCHÖFFER, 2017. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. Amsterdam: 3D Hubs (. ISBN 978-9082748505.
- 34) D-TISKNI, 2019. Historie 3D tisku. 3d-tiskni [online]. Zlín: 3d-tiskni [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://3d-tiskni.cz/zkusebni-prispevek-lorem-ipsum-doloramet-sit/>

## 8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 FDM Technologie (Đâu Vãn, 2021) .....	15
Obrázek 2 Diagram FDM technologie (Carolo, 2023) .....	15
Obrázek 3 Extruder (Filament2Print, 2022) .....	17
Obrázek 4 LCD Display Prusa MK3s+ (Prusa3D, 2023) .....	21
Obrázek 5 3D tiskárna typu i3 (O'Connell, 2023) .....	22
Obrázek 6 3D tiskárna typu core XY (O'Connell, 2023).....	22
Obrázek 7 3D tiskárna typu delta (O'Connell, 2023).....	23
Obrázek 8 3D tiskárna typu belt (O'Connell, 2023).....	24
Obrázek 9 H-Bot 3D tiskárna (O'Connell, 2023).....	25
Obrázek 10 Warping (Jennings, 2022) .....	26
Obrázek 11 Stringing (Jennings, 2022).....	27
Obrázek 12 Diagram SLA technologie (Xometry Europe, 2021) .....	31
Obrázek 13 Tiskárna tisknoucí dům (Schwaar, 2024).....	33
Obrázek 14 Vyhřívání podložka (Douglas, 2019).....	35
Obrázek 15 Nekonzistentní vyhřívání tiskové podložky (Douglas, 2019).....	37
Obrázek 16 Různé hustoty výplně (O'Connell, 2023) .....	41
Obrázek 17 typy výplní (BCN3D) .....	41
Obrázek 18 Tiskárna vybavena enclosurem (Anna, 2023) .....	42
Obrázek 19 Vyhřívání podložka rozdělena do segmentů (HackDay, 2022).....	43
Obrázek 20 Tiskové objekty použité k testování .....	46
Obrázek 21 Použitý měřič teploty (Alza) .....	47
Obrázek 22 Zakrytování 3D tiskárny .....	48
Obrázek 23 Defaultní nastavení PETG.....	49
Obrázek 24 PETG konfigurace V1 .....	49
Obrázek 25 Zrychlení 3D tiskárny o 25% .....	50
Obrázek 26 Zrychlení 3D tiskárny o 50% .....	51
Obrázek 27 Tisková konfigurace V4 .....	51
Obrázek 28 Defaultní tisková konfigurace PLA.....	52

Obrázek 29 Tisková konfigurace V1 PLA.....	52
Obrázek 30 Tisková konfigurace verze 2 PLA.....	53
Obrázek 31 Tisková konfigurace verze 3 PLA.....	54
Obrázek 32 Defaultní nastavení ASA.....	55
Obrázek 33 Tisková konfigurace verze 1 ASA.....	55
Obrázek 34 Tisková konfigurace verze 2 ASA.....	56
Obrázek 35 Tisková konfigurace verze 3 ASA.....	56
Obrázek 36 Tisková konfigurace verze 4 ASA.....	57
Obrázek 37 Defaultní tisková konfigurace PC Blend.....	58
Obrázek 38 Tisková konfigurace verze 1 PC Blend.....	58
Obrázek 39 Tisková konfigurace verze 2 PC Blend.....	59
Obrázek 40 Tisková konfigurace verze 3 PC Blend.....	59
Obrázek 41 Tisková konfigurace verze 4 PC Blend.....	60
Obrázek 42 Tisková konfigurace verze 5 PC Blend.....	60
Obrázek 43 Porovnání vytištěných modelů PETG.....	64
Obrázek 44 Porovnání vytištěných modelů PETG.....	66
Obrázek 45 Porovnání vytištěných modelů PC Blend.....	68
Obrázek 46 Porovnání vytištěných modelů ASA.....	72

## 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání tiskových profilů pro PETG.....	62
Tabulka 2 Porovnání tiskových profilů pro PLA.....	65
Tabulka 3 Porovnání tiskových profilů pro PC Blend.....	67
Tabulka 4 Porovnání tiskových profilů pro ASA.....	70

## 8.3 Seznam grafů

Graf 1 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací PETG.....	63
Graf 2 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací PLA.....	66
Graf 3 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací PC Blend.....	68
Graf 4 Porovnání spotřeby jednotlivých konfigurací ASA.....	71

## 8.4 Seznam použitých zkratek

FDM – FDM Fused Deposition Modeling

PLA – kyselina polyléčná

ASA – akrylonitril-styren-akrylát).

ABS – akrylonitrilbutadienstyren

PC – polykarbonát

PSU – napájecí zdroj

AC – střídavý elektrický proud

DC – stejnosměrný elektrický proud