

# **3D tisk a jeho využití pro návrh a realizaci tištěné klapky ventilátoru**

Bc. Jakub Skrutek

---

Diplomová práce  
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Skrutek**  
Osobní číslo: **A20202**  
Studijní program: **N0613A140022 Informační technologie**  
Specializace: **Softwarové inženýrství**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **3D tisk a jeho využití pro návrh a realizaci tištěné klapky ventilátoru**  
Téma práce anglicky: **3D Printing and its Use for Design and Production of Printed Ventilator Shutter**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární řešení na dané téma.
2. Popište obecné principy 3D tisku.
3. Analyzujte výhody a nevýhody používaných materiálů.
4. Rozeberte dostupné SW nástroje pro modelování 3D objektů.
5. Realizujte vlastní návrh ventilátorové klapky sestavené pomocí 3D tisku.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. HATCH, Mark. The Maker Movement Manifesto. New York: McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 9780071821131.
2. STŘÍTESKÝ, Ondřej. PRŮŠA, Josef. BACH, Martin. Základy 3D tisku s Josefem Průšou [online]. Praha: Prusa Research, 2019. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
3. KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. Začínáme s 3D tiskem. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 9788025148761.
4. HORNE, Richard a HAUSMAN, Kalani Kirk. 3D Printing For Dummies. John Wiley & Sons, 2017. ISBN 9781119386315.
5. DRUMM, Brook a KELLY, James Floyd. 3D Printing Projects. USA: O'Reilly Media, 2015. ISBN 9781457187247.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Sysala, Ph.D.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: **3. prosince 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2022**

**doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 24. ledna 2022

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 10. 5. 2022

Bc. Jakub Skrutek, v.r.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá 3D tiskem a snaží se přiblížit tuto problematiku méně zasvěceným čtenářům. Rozebírá jednotlivé aspekty samotného tisku a ukazuje jeho sílu v praxi, a to především v kombinaci s dalšími technologiemi.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část pojednává o základních principech aditivní výroby a skrze popis jednotlivých principů 3D tisku se přesouvá k používaným materiálům a jejich vlastnostem. Dále je rozebrán software, jehož použití je v tomto odvětví nezbytné. Vysvětluje, jaký markantní dopad má množství parametrů k nastavení na finální kvalitu výrobku.

Praktická část práce se potom zabývá využitelností 3D tisku v praxi, kde při kombinaci s dalšími technologiemi tvoří daný výrobek prvek chytré domácnosti. Popisuje postup při jeho návrhu, tisk jako takový, sestavení, zdrojový kód a ověření funkčnosti celého řešení.

Klíčová slova: 3D tisk, materiál, výroba, princip tisku, vrstva, model, chytrá domácnost, zařízení, zdrojový kód

## **ABSTRACT**

This thesis explores the field of 3D printing and strives to introduce this industry to readers who are perhaps less familiar with the matter. The paper analyses particular aspects of 3D printing and demonstrates its potential in practice, especially in combination with other technologies.

The work is divided into the theoretical and practical parts. The theoretical part summarizes basic principles of additive production and through describing particular principals, it explores the common materials used for 3D printing and their properties. Following chapters contain the analysis of relevant software as its use is indispensable in this industry. The impact of quantity of parameters that can be set up for printing and its correlation with the quality of final product are clearly demonstrated.

The practical part of the thesis focuses on the use of 3D printing in practice where when combined with other technologies the particular product constitutes a part of smart home. The process of the design of the product, the printing process, the final product completion, source code and the verification of the functionality of the solution is comprehensively described.

Keywords: 3D printing, material, production, principle of 3D printing, layer, model, smart home, appliance, source code

Motto: „*Člověk, který nikdy nedělá chyby, je člověk, který nikdy nedělá nic.*“

(Theodore Roosevelt)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Moje velké poděkování za nápady a podmětne připomínky patří vedoucímu této práce panu Ing. Tomáši Sysalovi, Ph.D., dále také všem blízkým, přátelům a pracovním kolegům, kteří mi byli oporou a svojí trpělivostí mi vytvořili podmínky vhodné pro napsání této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 CO JE TO 3D TISK</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE.....	11
1.1.1 RepRap.....	11
1.2 PRINCIP 3D TISKU OBECNĚ.....	12
<b>2 METODY 3D TISKU</b> .....	<b>13</b>
2.1 METODA TISKU FDM.....	13
2.1.1 Kartézská.....	14
2.1.2 Delta.....	15
2.1.3 Polární.....	16
2.1.4 Pásová.....	17
2.2 METODA TISKU SLA.....	17
2.3 METODA TISKU SLS.....	19
<b>3 TISKOVÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>21</b>
3.1 PLA.....	21
3.2 ABS.....	22
3.3 PETG.....	23
3.4 ASA.....	24
3.5 NYLON.....	24
3.6 PVA.....	24
3.7 FLEX.....	25
3.8 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY.....	26
<b>4 NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ 3D OBJEKTŮ</b> .....	<b>27</b>
4.1 AUTODESK FUSION 360.....	28
4.2 TINKERCAD.....	28
4.3 BLENDER.....	29
4.4 3D SKENOVÁNÍ.....	30
4.5 DALŠÍ MOŽNOSTI ZÍSKÁVÁNÍ 3D MODELŮ.....	31
<b>5 SLICOVÁNÍ A PARAMETRY TISKU</b> .....	<b>32</b>
5.1 BĚŽNÉ SLICOVACÍ NÁSTROJE.....	32
5.1.1 Cura.....	32
5.1.2 PrusaSlicer.....	32
5.1.3 Simplify3D.....	33
5.2 PARAMETRY TISKU.....	33
5.2.1 Rychlost tisku.....	33
5.2.2 Výplň objektu.....	33
5.2.3 Výška vrstvy.....	36
5.2.4 Podpěry.....	37
5.2.5 Perimetry a plné vrstvy.....	37



5.3	G-CODE .....	38
5.3.1	Obecné příkazy.....	38
5.3.2	Smíšené příkazy .....	38
<b>6</b>	<b>VYUŽITÍ 3D TISKU.....</b>	<b>39</b>
6.1	VIZE DO BUDOUCNA .....	39
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>REALIZACE VLASTNÍHO NÁVRHU VENTILÁTOROVÉ KLAPKY SESTAVENÉ POMOCÍ 3D TISKU .....</b>	<b>41</b>
7.1	NÁVRH VLASTNÍHO MODELU .....	41
7.1.1	Práce ve 3D modeláři .....	42
7.1.2	Osazené komponenty .....	45
7.1.3	Cena jednotlivých komponent.....	47
7.2	TISK JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ .....	47
7.3	PRINCIP FUNKCE VENTILÁTOROVÉ KLAPKY .....	48
7.3.1	Schéma zapojení.....	49
7.3.2	Ovládání systému .....	49
7.3.3	Programové vybavení.....	51
	Knihovny, konstanty, objekty, proměnné .....	52
7.4	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI VÝSLEDNÉHO ŘEŠENÍ.....	55
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>69</b>

## ÚVOD

Pojem 3D tisk, nebo spíše přesnější termín aditivní výroba, je v dnešní době již celkem dobře známý, ale způsoby jeho využití či snad dokonce princip funkce nikoliv. Široká veřejnost si tuto záležitost představuje poněkud futuristicky. Něco jako černou skříňku, do které se vloží nápad a z druhé strany během okamžiku vypadne hotový produkt. Tato představa není správná, a to dokonce ani ta o futuristickém zařízení. Vždyť 3D tisk je tu s námi již od 80. let minulého století. Stále však platí, že se celkově jedná o technologii poměrně mladou, kde neustále probíhá určitý vývoj. Ten jde kupředu mílovými kroky, a to především díky open source modelu SW tiskáren, kde celosvětová tiskařská komunita může společně pracovat na řešení palčivých problémů s 3D tiskem. A že jich je. I když dnes lze 3D tiskárnu označit také za domácí spotřebič, stejně jako pračku nebo klasickou 2D papírovou tiskárnu, její obsluha není ani zdaleka tak snadná. Procesy probíhající během tisku 3D modelu nejsou všechny plně automatizované a vyžadují spoustu nastavování a ladění – čím je tištěný objekt složitější, tím větší musí být zkušenosti uživatele, aby se výsledek tisku vydařil. Takovéto zkušenosti získává tiskař čtením odborných článků o 3D tisku, radami od tiskařské komunity, ale především vlastní praxí neboli jinak řečeno metodou pokus omyl.

Tato práce v teoretické části pojednává o různých metodách 3D tisku, používaných materiálech pro tisk a o SW, který je pro provoz 3D tiskárny nezbytný. Praktická část se pak více zaměří na tisk metodou FFF, která je v praxi využívána nejčastěji. Dnešním trendem je v podstatě všude používat chytrou elektroniku. Máme chytré telefony, asistenty či chytrou domácnost. Rádi bychom do takové domácnosti zařadili prvek, který bohužel nepokrývá nabídka trhu nebo je jeho implementace příliš nákladná a obtížná. Narážím samozřejmě na možnost využití 3D tisku v řešení takového problému, kdy výrobek může být osazen mikrokontrolerem a jednoduchou elektronikou a splňovat daný úkol jako prvek chytré domácnosti. Takové zařízení bude jedinečné a na míru vyrobené. O řešení podobného úkolu pojednává praktická část práce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 CO JE TO 3D TISK

Jedná se o způsob, jak z předlohy 3D digitálního modelu vytvořit fyzický objekt. K tomu se používá několik metod tisku a řada různých tiskových materiálů. 3D tisk se nenachází pouze v oblasti zájmu různých firem, ale je hojně využíván i běžnými uživateli [1]. Dostupné tiskárny v nejnižší cenové kategorii lze pořizovat za cenu v jednotkách tisíc. Nabídka 3D tiskáren ze střední třídy, kde lze sestavy kupovat za ceny v řádu desítek tisíc pak pro běžného uživatele nabízí již velmi komplexní a výkonné stroje.

### 1.1 Historie

Ačkoliv první koncepty 3D tiskáren začaly přicházet někdy v 80. letech minulého století, samotná myšlenka 3D tisku je mnohem starší. Přišel s ní americký sci-fi spisovatel Murray Leinster ve své povídce Things Pass By již v roce 1945. Čas ovšem ukázal, že to až tak velké sci-fi není. Po objevu první 2D tiskárny v 60. letech se přes různé experimentování s vrstvením roztaveného kovu nebo vosku dopracovalo až do roku 1984, kdy byl poprvé zmíněn termín 3D tisk. Tento rok se také považuje za rok vzniku 3D tisku, protože americký vynálezce Chuck Hull, zakladatel firmy 3D Systems, si nechává patentovat technologii stereolitografie a o 3 roky později vydává na trh první 3D tiskárnu používající tuto techniku. V následujících letech se objevují další 3D tiskové technologie a 3D tisk ukazuje svůj potenciál v mnoha odvětvích. Zájmu široké veřejnosti se mu však nedostávalo. To se mělo změnit roku 2005, kdy se objevuje projekt zvaný RepRap. [2]



Obrázek 1. První 3D tiskárna z roku 1983 [3]

#### 1.1.1 RepRap

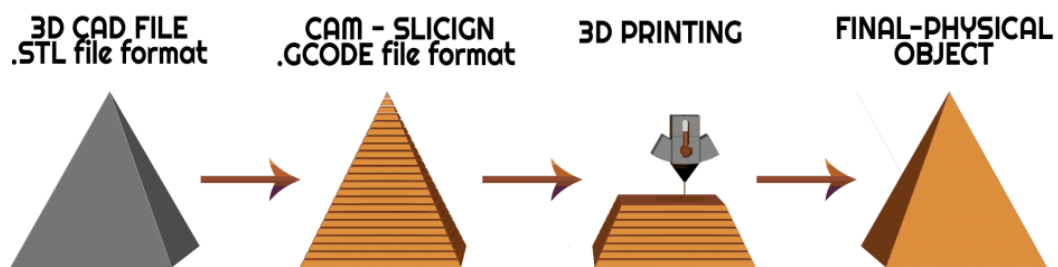
Jedná se o projekt, jehož zakladatelem byl Adrian Bowyer z anglické University of Bath. Celý tento projekt je považován za asi nejvýznamnější mezník v 3D tiskové historii a od

začátku je veden jako open source. Hlavní myšlenkou bylo sestavit 3D tiskárnu tak, aby mohla z co největší části vytisknout další 3D tiskárnu. Tento model vývoje 3D tisku je dnes nejrozšířenější na světě, je do něj zapojena široká komunita vývojářů a hobby uživatelů, kteří svými inovacemi a vývojem posouvají tento projekt stále dál. [1]

## 1.2 Princip 3D tisku obecně

I přes to, že technologií 3D tisku máme hned několik, všechny fungují na stejném principu, tzv. aditivní metodě, kdy fyzický objekt vzniká tak, že se postupně nanáší materiál, a to až do doby, než objekt získá svůj požadovaný tvar. Tato metoda je opačná k metodě subtraktivní, kdy se finální podoba fyzického objektu získává odebráním materiálu z předpřipraveného polotovaru, běžně např. při obrábění kovů. [1]

K tomu, aby tiskárna mohla začít postupně po vrstvách nanášet materiál, potřebuje, aby jí někdo řekl, jakým způsobem to má dělat. Jak se má pohybovat, kolik materiálu nanést a kdy ho má vytlačit, a to všechno tak, aby výsledný objekt byl co nejvěrnější předloze 3D modelu. Takovouto práci zastává speciální SW tzv. slicer, který doslova nakrájí model na jednotlivé tenké vrstvy. Výstupem z tohoto programu je v případě RepRap tiskáren soubor zvaný G-Code, což je posloupnost příkazů obsahujících souřadnice a informace o způsobu tisku, podle kterých se tiskárna chová a pohybuje. [4]



Obrázek 2. Obecný princip 3D tisku pomocí FFF metody [5]

Podle G-Code se nepohybují pouze 3D tiskárny, ale i další stroje, jako jsou třeba CNC frézy. Další parametry, které slicer do tohoto souboru přidává, jsou např. informace o tom, z jakého materiálu se tiskne a kolik ho má tiskárna v danou chvíli vytlačovat, jaké má nastavit provozní teploty a řadu dalších. [4]

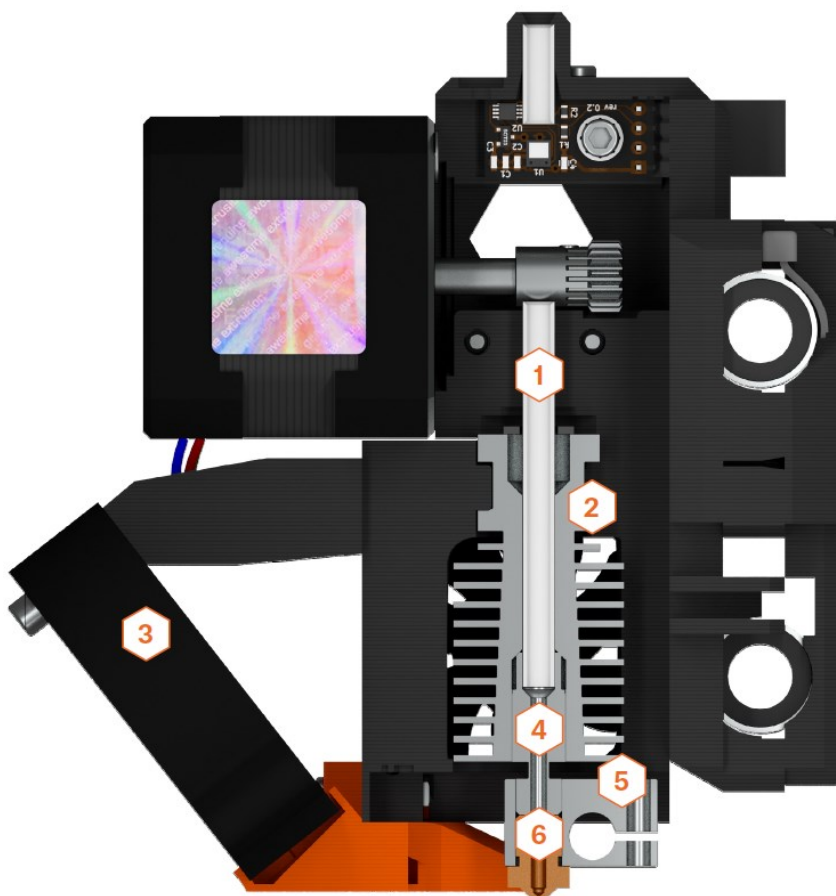
Takový tisk, třeba o velikosti pomeranče, trvá obvykle několik hodin. V případě velkých modelů jsou to řádově i dny nepřetržitého tisku. Po úspěšném vytisknutí objektu lze volitelně aplikovat nějakou z metod postprocesingu, kdy se vyhlazují stěny vytištěného objektu, protože vlivem nanášení tenkých vrstev nelze dosáhnout dokonale hladkého povrchu.

## 2 METODY 3D TISKU

Jak již bylo zmíněno, principů 3D tisku existuje více. V zásadě se rozdělují podle toho, v jaké formě využívají tiskový materiál – zda je v podobě struny, tekutý nebo třeba ve formě prášku. Ty nejpoužívanější metody 3D tisku jsou potom FDM, SLA a SLS. [1]

### 2.1 Metoda tisku FDM

Fused deposition modeling, zcela jistě nejrozšířenější a veřejnosti asi nejznámější metoda 3D tisku, funguje na principu tavení tiskové struny a nanášení roztaveného materiálu. Tisková struna neboli filament, se používá nejčastěji s průměrem 1,75 mm. K vidění je použití i struny o průměru 2,85 mm, ale to jen zřídka. Je podávána skrze teflonovou trubičku pomocí tzv. extruderu (tiskové hlavy), který má za úkol zasouvat nebo vysouvat filament do a ze zahřáté trysky, tavit materiál a nanášet jednotlivé vrstvy na tiskovou podložku. [1]



Obrázek 3. Sestava extruderu [6]

1. **Teflonová trubička** – má na starosti vést tiskovou strunu od cívky s materiálem skrze podavač filamentu do zahřáté trysky, kde trubička musí být schopna odolávat vysokým teplotám.

2. **Chladič** – jeho úkol je chladit oblast tiskové hlavy nad vyhřívaným tělesem. Důvodem použití chladiče je, aby k tavení materiálu docházelo pouze v trysce a nedošlo tak k ucpání tiskové hlavy nataveným materiálem. Často bývá osazen ventilátorem pro aktivní chlazení.
3. **Ventilátor výtisku** – stará se o rychlé ochlazení materiálu vycházejícího z ústí trysky. Intenzita činnosti ventilátoru závisí na dané situaci při tisku.
4. **Izolátor** – je součástí, na kterou doléhá konec teflonové trubičky. Jeho průměr co nejpřesněji odpovídá průměru tiskové struny z důvodu co nejmenšího úniku tepla směrem nad trysku.
5. **Vyhřívaný blok** – obsahuje otvory pro osazení tepelného tělesa k zahřívání bloku a teplotního senzoru pro zpětnou vazbu. Obvykle je vyroben z hliníku, který snadno vede teplo směrem do trysky, která je zašroubovaná do závitů ve vyhřívaném bloku.
6. **Tryska** – je ohřívána na požadovanou teplotu. Na jejím vstupu je otvor o průměru používaného filamentu, v těle trysky se tento průměr zužuje na drobné vyústění pro přesné dávkování roztaveného materiálu. [1]

Tryska, ve které se materiál taví, se také vyrábí s otvorem o různých průměrech, nejčastěji však s průměrem 0,4 mm. Její teplota se obvykle pohybuje v rozmezí 200–270 °C, záleží na zrovna používaném materiálu. První vrstva se nanáší na rozehřátou tiskovou podložku, jejíž teplota se pohybuje někde mezi 50–100 °C, opět záleží na materiálu, který je použit, ale potom také na povrchu tiskové podložky. Ten může být hladký nebo hrubý s texturou, která zůstane obtisknuta na povrchu výtisku. Podložka je vyhřívána z toho důvodu, že materiál je po dobu usazení na vyhřáté podložce nalepen. K jeho oddělení dojde po ukončení tisku a vychlazení tiskové podložky. Jednotlivé vrstvy, které jsou na sebe nanášeny, bývají o výšce 0,05 – 0,3 mm. Čím tenčí vrstva, tím je výsledný model hladší a detailnější, nicméně jeho tisk bude trvat déle. [1][4]

Způsob pohybu tiskové hlavy s tryskou a tím nanášení vrstev je dán použitým typem FDM tiskárny. Nejčastěji je možné setkat se s typy kartézská, delta, polární a pásová.

### 2.1.1 Kartézská

Toto označení je mírně matoucí, protože všechny typy FDM tiskáren, vyjma polární, používají ke svému pohybu kartézský souřadnicový systém. Nicméně zažito je, že kartézské tiskárny představují typy tiskáren pravoúhlých konstrukcí s lineárním pohybem tiskové hlavy a podložky. Tento koncept tiskáren je na trhu v nejširším zastoupení. Kombinace pohybů

není vždy stejná. Jednou z možností může být pohyb tiskové podložky po ose X a pojezd tiskové hlavy v ose Y a Z. Jinou využívanou variantou je pak pohyb vozíku s tiskovou hlavou v osách X, Y a pohybující se podložka v ose Z. Výhody těchto sestav jsou relativně jednoduchá konstrukce, snadná modifikovatelnost a obecně jejich poměrně nízká pořizovací cena. Nevýhodami pak mohou být v některých případech rozměrná a těžká konstrukce a celkem omezený tisk v ose Z. [7]



Obrázek 4. FDM tiskárna Prusa MINI+ [8]

Tyto tiskárny se používají i ve verzích tzv. multi-material. Taková tiskárna obsahuje více tiskových hlav, které dokáže střídavě používat během tisku. Důvod, proč něco takového používat, je tisk z více barev najednou, možnost využití více druhů materiálů, nebo osazení více velikostí trysek, kdy méně detailní části mohou být tištěny větší tryskou, a tedy rychleji. To je velmi dobře využitelné v případě, kdy je nutné z důvodu tisku složitého modelu používat velké množství těžko dostupných podpěr. Ty mohou být tisknuty z materiálu rozpustného ve vodě, čímž lze dosáhnout velmi dobré kvality výsledného tisku. [9]

### 2.1.2 Delta

Pohyb delta tiskáren je řešen pomocí tří nebo více zavěšených ramen, které jsou připevněny k vertikálním pojezdům. Při své vzájemné spolupráci mění umístění tiskové hlavy nad podložkou v ose X, Y a při současném pohybu po vertikální ose mění polohu v ose Z. Výhoda této konstrukce tiskárny je možnost tisku vysokých objektů, ale celkový objem vytištěného tělesa není příliš velký z důvodu omezené užité plochy na osách X a Y. Celková kvalita tisku však dosahuje velmi dobrých výsledků i při poměrně vysokých rychlostech tisku.



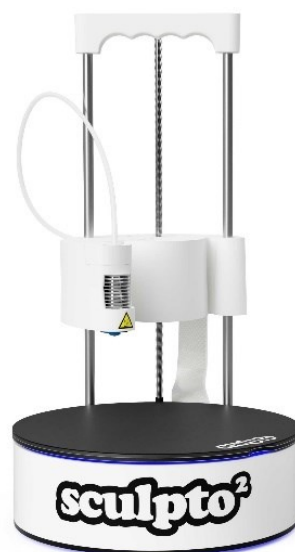
Nevýhodou je pak nízká modifikovatelnost tiskárny a problémový přechod na extruder typu direct drive (extruder umístěný přímo na pojezdu s tryskou). [7]



Obrázek 5. FDM tiskárny typu Delta značky Tractus 3D [10]

### 2.1.3 Polární

Tyto tiskárny používají polární souřadnice na místo kartézských. Tiskovou hlavu s tryskou drží jedno rameno, které vede svůj pohyb po křivce a výtisk se nanáší na otočnou podložku. Výhoda této tiskárny je obvykle menší hlučnost při pohybu ramene, ale tisk je pomalejší a nedosahuje příliš velké kvality. [7]



Obrázek 6. FDM tiskárna typu  
Polar značky Sculpto [11]

### 2.1.4 Pásová

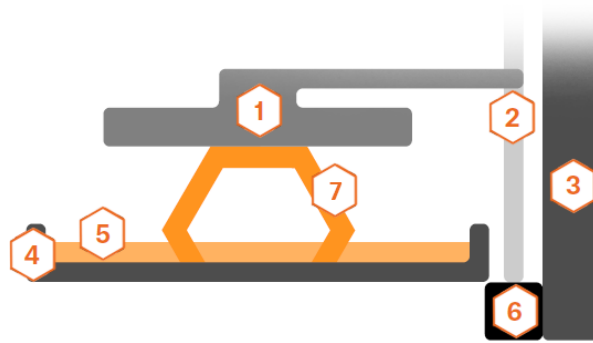
K intenzivnímu vývoji této tiskárny dochází až v posledních letech. Její princip je založen přímo na klasické kartézské FDM tiskárně, ale s tím rozdílem, že podložka, která zastává pohyb v ose Y, je nahrazena pohyblivým pásem. To přináší nekonečnou velikost tiskové plochy v ose Y. Tisková hlava bývá často nakloněna o 45 stupňů a stejně tak jsou nanášeny i vrstvy modelu. Pohyblivý pás, který je zde hlavní předností tiskárny, může zajistit tisk dlouhých předmětů, které není možné na jiné tiskárně vyprodukovat v jednom kuse nebo ho lze využít k tisku velkého množství menších dílů, které budou z pásu odpadávat a hromadit se za ním. Nevýhodou tiskárny je jistě její raný vývoj a zatím celková neodladěnost tohoto systému. Potom také vysoká pořizovací cena. [12]



Obrázek 7. FDM tiskárna typu Belt značky Creality [13]

## 2.2 Metoda tisku SLA

Někdy se lze setkat pouze s pojmem SL, v obou případech jde o zkratku anglického slova stereolithography. Jak již název napovídá, k procesu utváření fyzického modelu bude docházet za využití světla. Konkrétně se jedná o UV záření vytvrzující světlocitlivou pryskyřici. Jde o syntetický materiál velmi podobný plasty [14]. Postup při tisku je takový, že podložka, na kterou se tiskne, je obvykle otočena tiskovou plochou dolů a ponořena v pryskyřici. Na podložku se vysvítí první vrstva tištěného objektu. To probíhá dle konstrukce tiskárny buď laserem, pomocí digitálního projektoru nebo UV LCD displejem. Na vysvícené ploše následně dojde k vytvrzení pryskyřice. Na první vytvrzenou vrstvu se vysvítí další vrstva a tento proces se opakuje, dokud se z pryskyřice nevytvoří celý objekt. [1]



Obrázek 8. Komponenty SLA tiskárny [15]

1. **Tisková podložka** – podložka, na kterou je nanesena první vrstva, je zde oproti FDM tiskárnám otočena o 180°.
2. **Závitová tyč** – zastává pohyb podložky v ose Z.
3. **Osa Z** – tvoří pevnou konstrukci tiskárny.
4. **Nádoba** – slouží jako zásobník materiálu. Obsahuje světlocitlivou pryskyřici, která je osvětlována skrze průhledné dno vaničky.
5. **Světlocitlivá pryskyřice** – vyplňuje obsah vaničky, podložka i výtisk jsou z počátku tisku v pryskyřici zcela ponořeny.
6. **Krokový motor** – dostává povely od řídicí desky k pohybu podložky skrze závitovou tyč v ose Z.
7. **Tištěný objekt** – po nanesení první vrstvy na podložku jsou další vrstvy nanášeny jedna na druhou v šířce vrstvy závislé na kroku pohybu osy Z. [1]



Obrázek 9. Způsoby UV osvitů v SLA tisku [15]

1. **Osvětlování pomocí laserového paprsku** – obrazec vykresluje laserový bod.
2. **Osvětlování projektořem** – promítá celkový obraz.
3. **Osvětlování LCD displejem** – vysvítí pouze určité pixely displeje. [1]

Výhodou tohoto typu tisku objektů je ve velké kvalitě finálního výtisku, co se detailů objektu týče. Jednotlivé vrstvy nejsou příliš viditelné a stěny výtisku jsou téměř hladké. Nevýhodou je potom malá tisková plocha, dlouhá doba tisku, ale především manipulace s tiskem spojené. Světlocitlivá pryskyřice je totiž toxická a při zacházení s ní by nemělo dojít ke kontaktu s lidskou pokožkou. Také je potřeba nosit ochranu dýchacích cest a očí. Když tiskárna dokončí práci, výtisk je stále obalený nevytvrzenou pryskyřicí a musí se očistit, například máčením v izopropylalkoholu. Také je nutné provést dodatečné celkové vytvrzení modelu pod UV světlem. Výsledkem jsou však velmi detailní modely mající své využití i ve šperkařství či medicíně. [1]



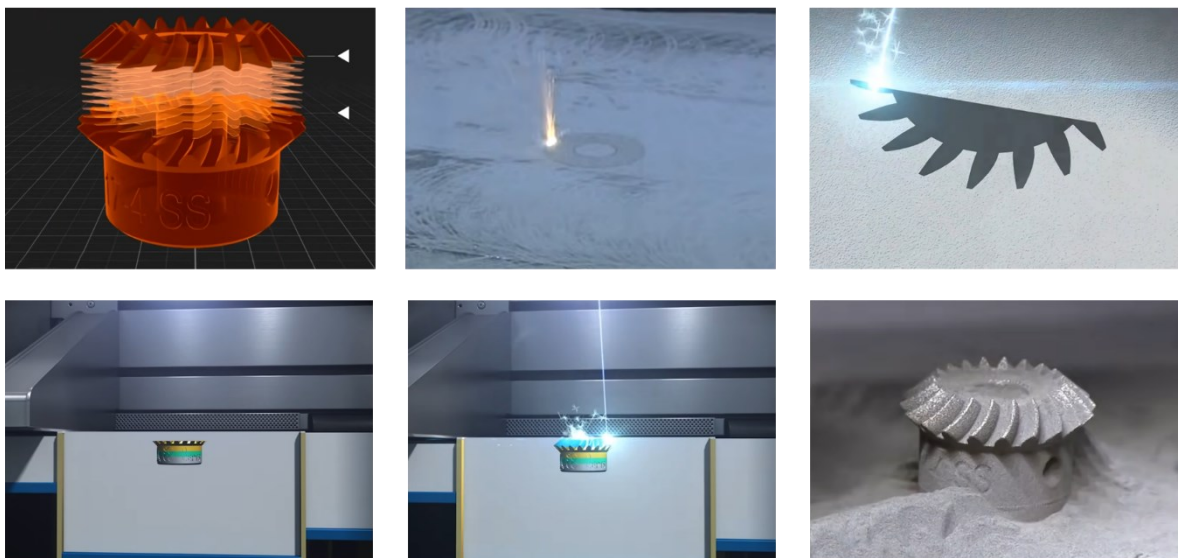
Obrázek 10. SLA tiskárna  
značky Anycubic [16]

### 2.3 Metoda tisku SLS

Tyto tiskárny uplatňují třetí ze zmíněných možností využívání tiskového materiálu, kterým je nanášení a následné spékání jemného prášku. Od tohoto je odvozeno označení tiskáren těchto typů, tedy Selective laser sintering. Tato metoda tisku je stále ještě „v plenkách“, avšak už nyní je pomocí ní dosahováno velmi dobrých výsledků. [17]

Jako ve všech případech 3D tisku, i zde dochází k nanášení materiálu po jednotlivých vrstvách. Ty tvoří jemný prášek, nejčastěji nylon, který je nanášen prostřednictvím válce. Vrstva prášku se vytvrdí pomocí laseru, upraví se výška tiskové plochy a nanese se další tenká vrstva prášku, která je opět vytvrzena. Materiál se tedy pouze spéká a nedochází k jeho

tavení. Tímto způsobem tisku lze dosahovat velmi jemných struktur výsledného objektu téměř bez viditelných vrstev. Výtisk je pevný, tepelně odolný a v případě potřeby může být i flexibilní. Díky těmto vlastnostem je tato metoda tisku vhodná jak k prototypování, tak jako přímá konkurence výroby plastových součástí pomocí odlévání. Při tisku je navíc možné vytvořit vnitřní struktury, kterých se odlévací metodou dosáhnout nedá. Další výhodou spočívá v možnosti tisku na poměrně velkou tiskovou plochu bez použití podpor, což umožňuje vytvářet komplikované celky ve vysoké výstupní kvalitě. Proces tisku končí tak, že výrobek je zasypan práškem, a to i jeho vnitřní část. Je proto vhodné při návrhu modelu myslet na to, aby šlo zbylý prášek z výtisku vysypat. Tento zbytek je znovu použitelný a při tisku se tak nevytváří téměř žádný odpad. Nevýhodou těchto tiskáren je potom jejich cena. Cena nejlevnějších modelů začíná zhruba na 100 000 Kč, a proto tyto tiskárny nejsou běžnou volbou pro domácí použití. [1][17][18]



Obrázek 11. Princip tisku pomocí SLS metody [18]

### 3 TISKOVÉ MATERIÁLY

Tato kapitola se bude věnovat tiskovým materiálům pro tiskárny typu FDM. Jejich použití je v praxi zdaleka nejzastoupenější a na rozdíl od ostatních metod tisku, kde se tiskový materiál nejčastěji liší pouze v barvě, se zde používá široká škála tiskových materiálů.

Volba materiálu pro tisk se odvíjí od toho, k čemu má daný výrobek sloužit. Některé hmoty jsou vhodné pro tisk velkých a objemných objektů, které budou využity pouze jako předmět na výstavu. Jiný materiál se volí, když má být objekt dostatečně pevný, ale přitom i částečně pružný. Další požadované vlastnosti na výtisky mohou být co největší pevnost a tvrdost nebo aby byly naopak pružné vlastnostmi připomínající gumu, jiné mohou vzhledem a dotykem imitovat kov či dřevo nebo dokonce ve tmě svítit. Některé mohou být i ve vodě rozpustné.

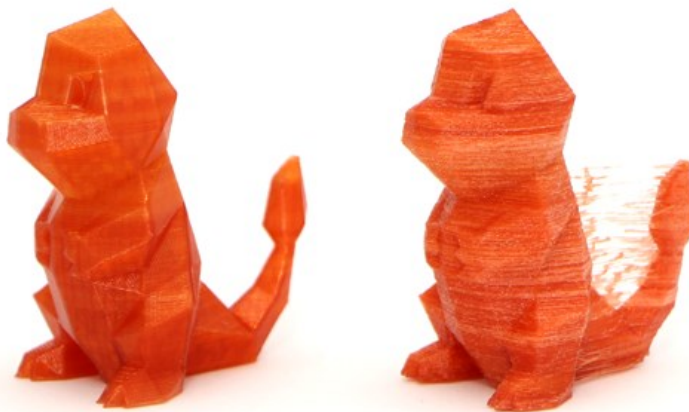
#### 3.1 PLA

Je jistě nejrozšířeněji používaným materiálem v FDM 3D tisku. Zkratka PLA znamená v překladu kyselina polymlečná nebo taky polylaktid. Jako takový nepředstavuje žádné ekologické zatížení, protože se jedná o ekologicky rozložitelný sacharid. [19]

Na většině webových serverech zabývajících se problematikou 3D tisku se lze dočíst, že PLA materiál se dobře tiskne. Už se ale tak často neuvádí, co to vlastně znamená. Jde o kombinaci vlastností, díky kterým zvládne tisk složitějšího předmětu i uživatel s méně zkušenostmi. Na rozdíl od jiných materiálů se PLA tiskne na poměrně malou teplotu a má nízkou tepelnou roztažnost, díky čemuž je možné tisknout i rozměrné objekty bez větších obav z deformace předmětu v průběhu tisku. Výtisk také díky tomu dobře drží na podložce a nemá tendenci se příliš kroutit. Lze snadno tisknout mosty (převisy), kde je při použití jiných materiálů potřeba nanášení podpěr. Povrch tištěného objektu je obvykle hladký, a proto se z PLA tisknou především pohledové věci. Na rozdíl od tisku z ostatních materiálů zde vlivem tavení struny nevzniká typický plastový zápach a je tak možné bez problémů obývat stejnou místnost, kde se nachází tiskárna. Cenově je materiál PLA výrazně dostupnější oproti většině ostatních materiálů a také ho lze vybírat z mnohem širší nabídky co se týče barevnosti nebo dokonce vícebarevnosti filamentu, jeho odstínů, průhlednosti, třpytu či fosforové záře. K dispozici jsou také různé kompozity, které dodávají materiálu dřevěný nebo kovový vzhled. [1]

Někdy se také může stát, že se z filamentu PLA přestane „tisknout dobře“ a začátečníka to obvykle velmi překvapí, protože řadu týdnů při tisku ze stejné cívky s materiálem bylo vše

v pořádku. Často pak takový uživatel začne hledat potíže v samotné tiskárně, která je většinou bez viny. Může za to vysoká náchylnost materiálu na absorpci vlhkosti z okolního vzduchu, což je charakteristické téměř pro všechny tiskové materiály. Navlhlý filament způsobuje, že má výsledný výtisk výrazně vrásčitý povrch, což je způsobeno prskáním filamentu při odpařování vody vlivem tavení materiálu v trysce. Dále tisk samotný trpí na tzv. stringování, kdy při přejezdu trysky nad tištěným objektem dochází k natahování drobných vláken materiálu připomínajících pavučinu. Vlhký materiál není zničený, ale je potřeba jej vysoušet. Buď za použití doma běžně dostupných prostředků jako je trouba na pečení nebo sušička na ovoce či za použití k tomu přímo určených vysoušečů, ze kterých je obvykle možné přímo podávat filament tiskárně a vysoušený materiál tisknout. Dobrá prevence proti navlhání materiálu je skladovat cívky filamentu ve vakuovém obalu. [20]



Obrázek 12. Příklad tisku materiálem suchým (vlevo) a navlhkým (vpravo) [21]

Nevýhody specifické přímo pro materiál PLA potom jsou nízká teplotní odolnost, kdy materiál křehne již při cca 60 °C a jeho celková křehkost, tedy že výrobek je málo odolný vůči fyzickému namáhání, a proto se PLA nehodí pro tisk funkčních celků. [1]

### 3.2 ABS

ABS plast jako ropný materiál je dobře známý i mimo tiskařskou komunitu. Vyrábí se z něj řada denně používaných věcí. Těmi nejčastěji skloňovanými jsou kostičky Lego, ale pokud se člověk doma rozhlédne kolem sebe, uvidí další množství plastových dílců vyráběných právě z materiálu ABS. V komerčním FDM tisku se jedná o první používaný materiál. Není se čemu divit, ABS disponuje vlastnostmi, jako je vysoká pevnost a teplotní odolnost,



poměrně nízká cena a možnost vyhlazování či lepení ABS materiálu pomocí acetonu. Nicméně jak bylo uvedeno v podkapitole o PLA, které se tiskne „dobře“, zde je to přesně naopak. Tisk ABS je podstatně náročnější a začátečníkům není doporučován. Materiál má velkou teplotní roztažnost a při tisku se často deformuje a vlivem toho i odlepuje z tiskové podložky. Někdy i s částmi samotné podložky, která se takto zničí. Pro lepší teplotní stabilitu při tisku ABS plastu je v podstatě nezbytné tisknout jej v uzavřeném boxu. Při tavení plast uvolňuje toxický zápach, a proto je třeba tisk realizovat v neobývané či dobře větrané místnosti. Materiál není UV stabilní a jeho použití se nedoporučuje pro venkovní použití. I přes tyto nevýhody na něj velká část tiskařské komunity nedá dopustit a ABS je tak i dnes jedním z nejpoužívanějších materiálů pro 3D tisk. [1][22]

### 3.3 PETG

Objevil se jako jedna z prvních náhrad pro ABS. PETG je v podstatě stejný, jako tradičně známý materiál PET, je ovšem obohacen o složku s názvem glykol, díky čemuž není tak křehký jako standardní PET a je lépe použitelný při tisku. To ovšem nebrání fajnšmekrům ve výrobě domácího PET filamentu z barevných plastových lahví. Výroba takového domácího stroje na PET filament není nikterak obtížná. V podstatě se jedná o nůž, který udělá z láhve tenký, dlouhý proužek plastu a ten se vlivem tepla průchodem přes zahřátou trysku transformuje do tvaru struny. Poté je proudem vzduchu ochlazen a navinut na cívku. [22][23]

Některé materiály trpí vlastností horšího spojování vrstev. U PETG se jedná o opačný extrém. Při tisku se velký potenciál pro slepování jednotlivých vrstev hodí, ale PETG se stejně dobře lepí i na zahřátou podložku. To opět není nic špatného, jenže při dokončení tisku a postupném ochlazování materiálu na chladnou podložce může vlivem smršťování materiálu dojít k prasknutí a tím zničení vyhřívané podložky. Je proto dobré na povrchu podložky používat separační vrstvu, např. lepicí pásku, lak nebo lepidlo na papír. [24]



Obrázek 13. Defekt podložky od teplotní deformace PETG [24]



Přidanou hodnotou oproti ABS je v případě PETG jeho o něco menší deformace vlivem působení změny teploty a také je odolný vůči povětrnostním podmínkám, tedy vhodný pro venkovní použití. I když je o dost pevnější a pružnější než PLA, je méně pevný než ABS. Také je náchylnější k absorpci vlhkosti než PLA. Je cenově dostupný a jedná se tedy o takový dobrý kompromis, co se všestrannosti tiskového materiálu týče. [25]

### 3.4 ASA

Hovoří se o něm jako o pravém nástupci ABS. Je to velmi pevný materiál, navíc UV stabilní. Vykazuje velmi dobrou teplotní odolnost a silnou přilnavost vrstev. Znamky deformace začne materiál projevovat až při teplotách nad 90 °C, díky tomu ho lze také snadno brousit. Při tisku tolik nezapáchá a za určitých podmínek jej lze tisknout i bez tiskového boxu. Stále se však jedná o materiál, který není příliš vhodný pro začátečníky. Při tisku větších objektů se vlivem změny teploty deformuje, i když méně než ABS. Také trpí zvýšenou náchylností na absorpci okolní vlhkosti a musí se tisknout při vysokých tiskových teplotách. [26]

### 3.5 Nylon

Další z řady velmi pevných a houževnatých materiálů, který má nízký koeficient tření a je velmi pevný a odolný v tahu. Opět se jedná o filament náročný na zvládnutí, co se obtížnosti tisku týče. Běžně se typické FDM tiskárny v bowdenovém provedení pro tisk nylonu nepoužívají, protože tento materiál bývá tisknut na teploty přesahující i 300 °C, což těmto konstrukcím tiskáren příliš nesvědčí. [26]

### 3.6 PVA

Tento syntetický polymer se díky svojí vlastnosti rozpustnosti ve vodě používá při multi-material tisku jako podpurný materiál pro cílový výtisk. Tiskárna během své činnosti v jednotlivých vrstvách střídá tiskový materiál, kde PVA se používá pouze pro podpěry převisů hlavního objektu. Výsledný výtvar se nechá odležet ve vodě a podpěry z PVA se rozpustí. Takto lze tisknout podpěry i na místech, kde by jejich odstranění při čištění objektu bylo jen velmi obtížné nebo i nemožné. Výrobky poté mívají hladký povrch i pod použitými podpěrami. To proto, že je možné vypustit distanční mezeru mezi objektem a podpěrou, která se musí dodržovat při tradičním tisku s jednou tryskou. To z důvodu, aby bylo možné podpěru od výrobku oddělit. Tím vznikne kostrbatý povrch v místě použité podpěry. [1][22]



Obrázek 14. Podpěry z materiálu PVA [27]

### 3.7 FLEX

Jak již název napovídá, v tomto případě se nebude jednat o materiál, kde jde primárně o jeho pevnost. Spíše naopak, od výrobků z něj se očekává, že budou mít vlastnosti podobné gumě. Materiály těchto typů disponují různou tvrdostí a tedy ohebností. Obtížnost tisku se mění se stupněm tvrdosti materiálu. Čím je měkčí, tím těžší je ho tisknout. Měkký materiál se pomocí extruderu hůře podává do trysky, protože má tendenci se různě kroutit a tiskárna musí být pro tisk takového materiálu uzpůsobena. Nejčastěji skloňovaným materiálem pro tisk flexibilních částí bývá pružný plast TPU. Výrobky z FLEX materiálů se používají v modelářství jako kola či silentbloky RC závodních automobilů, lze z něj tisknout kryty mobilních telefonů a kamer, hračky a mnoho dalšího. [1]



Obrázek 15. Preumatika tištěná z materiálu TPU [28]

### 3.8 Kompozitní materiály

V tradičním FDM tisku se používají kvůli vzhledu výsledného objektu, ale existují i možnosti použití, které mnohonásobně zvyšují pevnost výtisku. Toho je obvykle využíváno při prototypování. Používá se dřevěný či kovový prach nebo i karbonové vlákno, které se během tisku jednotlivých vrstev přidává do tištěného tělesa [26]. Při výrobě pohledových objektů z kompozitních materiálů obsahujících dřevěný nebo kovový prach se používá širší tryska, aby nedocházelo k jejímu ucpávání. Aby výtisky získaly hladší povrch, jsou na nich prováděny jisté metody postprocesingu, především broušení. [1]



Obrázek 16. Výtisk z  
bronzového kompozitu [29]

## 4 NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ 3D OBJEKTŮ

Bude-li řeč o 3D tisku, lze SW potřebný pro jeho využití rozdělit na dvě základní skupiny. Pro modelování a SW pro tzv. slicování objektů. Zatím co první z nich lze použít i pro jiné účely, než je 3D tisk, slicovací SW je vyvíjen výhradně pro potřeby 3D tisku (viz další kapitola).

Použití programových nástrojů pro modelování 3D objektů lze nejčastěji pozorovat ve filmovém průmyslu. Potom také pro výrobu subtraktivní metodou ve strojírenství, jako projekce ve stavebnictví nebo obecně ve vývoji. Dostupné SW nástroje pak obvykle mají výstup, který lze dále použít i pro potřeby 3D tisku. Již při modelování objektu je však nutno myslet na to, jakou metodou bude objekt tisknut a jaké jsou limity tiskárny, která bude tento úkon provádět. Pokud bude objekt příliš detailní, mohou se tyto drobné části při tisku „vytratit“ nebo je dokonce zanedbá slicovací SW. Uvědomovat si, že tiskárna má omezený tiskový prostor nebo že příliš malé objekty nemusí být možné vytisknout používanou tryskou o určitém průměru. Vzhledem k tomu, že nanášení materiálu probíhá po vrstvách, je v případě tisku namáhaného dílce dobré přemýšlet, kde na něj budou působit největší síly a tomu přizpůsobit plochu modelu, která bude umístěna na podložce tiskárny nebo do modelu přidat tzv. pevné podpěry vytvořené již ve 3D modeláři. Někdy je také dobré uvažovat o tom, zda není lepší objekt vytisknout na více částí a ty potom slepit. Tento přístup je obvykle lepší, než tisknout model na příliš velkém množství podpěr a zbytečně tak plýtvat materiálem.

Při dokončení modelu ve 3D modeláři následuje jeho export do určitého souboru. Ten ještě není použitelný pro samotnou tiskárnu, ale bude to vstupní soubor pro již zmiňovaný slicer. Výstup z modeláře se pro potřeby 3D tisku obvykle ukládá do jednoho ze dvou nejvíce používaných formátů:

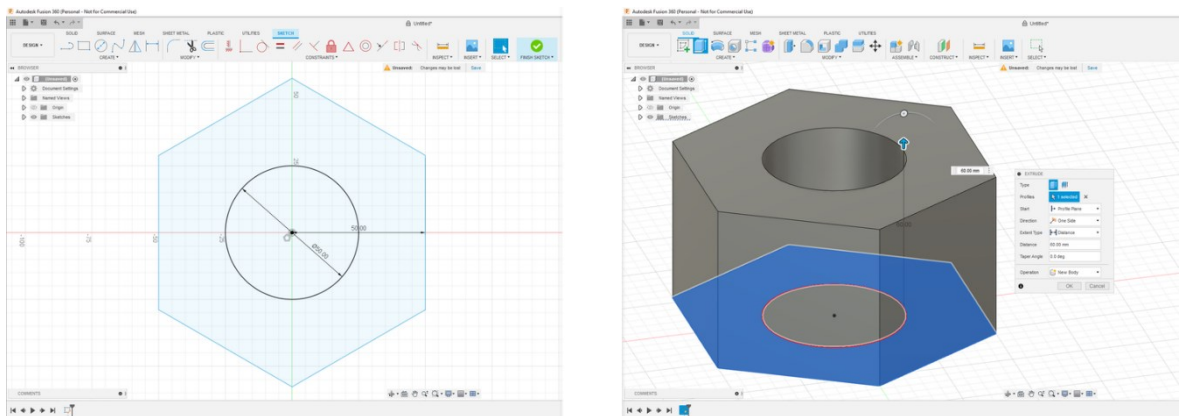
**STL:** Tvůrcem tohoto souboru s příponou .stl je samotný otec 3D tisku Chuck Hull a jeho vznik tedy odpovídá vzniku samotného 3D tisku [2]. Stále se jedná o nejpoužívanější formát pro uchování informací o 3D modelech. Princip popisu povrchu modelu spočívá v rozdělení povrchu na jednotlivé trojúhelníky, kde jsou uchovávány informace o souřadnicích jejich vrcholů a složkách jednotkového normálového vektoru každého trojúhelníku. Takovéto pokrytí povrchu určitým vzorem bez mezer a překrytí se nazývá teselace a při zachování jistých pravidel je tímto způsobem možné popsat libovolný 3D objekt. [20][30]

**3D manufacturing format:** je poměrně nový formát s příponou .3mf na něhož se vztahuje licence open source, a který vznikl především pro potřeby aditivní výroby. Prezentuje se

jako kompletní formát pro uchovávání informací o 3D objektu. Kromě informace o povrchu objektu obsahuje také popis materiálu, barvy i informace o autorovi modelu. Je popsán jednoduchou strukturou podobnou XML čitelnou pro člověka a díky open source licenci roste jeho obliba mezi výrobci HW a SW. [31][32]

#### 4.1 Autodesk Fusion 360

Jedná se o tzv. parametrický 3D modelář. To znamená, že prvním krokem v návrhu 3D objektu je kreslení náčrtu ve 2D za pomoci jednoduchých geometrických tvarů, které mají nějaký konkrétní rozměr a mají na sebe určitou vazbu. Po dokončení náčrtu dojde k vytažení náčrtu ze 2D do prostoru a tím vznikne objemové těleso. Dalším náčrtem na stěnu objemového tělesa se docílí dalšího vytažení a takovýmto způsobem přidávání (nebo i ubírání) materiálu vzniká model požadovaného tvaru.



Obrázek 17. Vytažení objemového tělesa v programu Autodesk Fusion 360

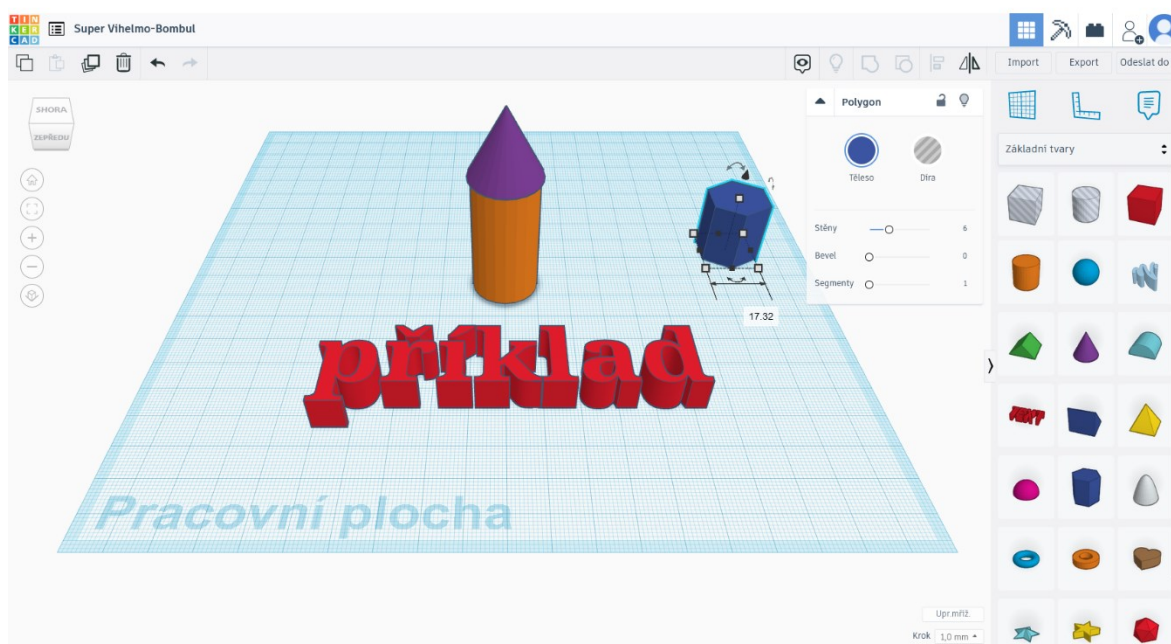
Pro modelování oblých tvarů slouží tzv. volnoplošné modelování, které funguje na principu tvarování či deformování vytaženého tělesa. Z hotových těles je možné kompletovat různé pohyblivé fotorealistické sestavy a vymodelovat tak zařízení se všemi součástmi. Program také umí zanalyzovat a zobrazit nejvíce namáhané oblasti funkčních dílů ve formě „teplotní mapy“. Dále lze využít vygenerování technických výkresů vymodelovaného objektu.

Firma Autodesk nabízí kromě standardní také kutilskou licenci pro nekomerční účely zdarma. Je vydávána na jeden rok a lze ji opakovaně obnovovat. Fusion 360 je cloudová platforma a hotové projekty lze sdílet mezi více zařízeními nebo uživateli. [33]

#### 4.2 Tinkercad

Projekt Tinkercad firmy Autodesk se sloganem „Od nápadu k návrhu během několika minut“ [34] cílí na začátečníky ve 3D modelování a klade si za cíl naučit uživatele základní

práci s 3D objektem, rozvinout jeho myšlení při manipulaci s prostorovými grafickými objekty a připravit jej na případnou budoucí práci s pokročilejšími SW produkty firmy Autodesk. Jedná se o webovou aplikaci, která je po registraci dostupná zdarma. Princip modelování spočívá v používání předdefinovaných tvarů metodou drag and drop. Tvary se vzájemně slučují v jedno těleso, mohou se prolínat nebo pomocí nich lze materiál ubírat. Jedná se o oblíbenou pedagogickou pomůcku a na webu existuje nesčetné množství výukových videí a návodů k tomuto nástroji. Vítanou funkcionalitou je možnost importu 3D objektu ve formátu .stl a jeho následná úprava.



Obrázek 18. Rozhraní nástroje Tinkercad ve webovém prohlížeči [34]

### 4.3 Blender

Je komplexní SW nástroj nejen pro 3D modelování, ale také k animaci vymodelovaných objektů, vytváření celých scén pro potřeby videa nebo počítačových her. Jeho licence je open source a jako multiplatformní SW je dostupný zcela zdarma. Možnosti při modelování objektu jsou omezené v podstatě jen představivostí. Spíše než pro technické modelování se Blender používá hlavně při vytváření objektů znázorňujících postavy či jiné složité tvary. Na webu existuje řada výukových videí a návodů, bez kterých se začátečník takřka nehne vzhledem ke komplexnosti a množství nástrojů, které program nabízí. Po jejich ovládnutí se však z Blenderu stává opravdu mocný nástroj. [35]

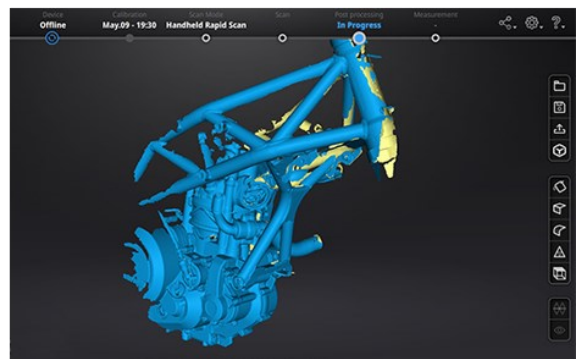
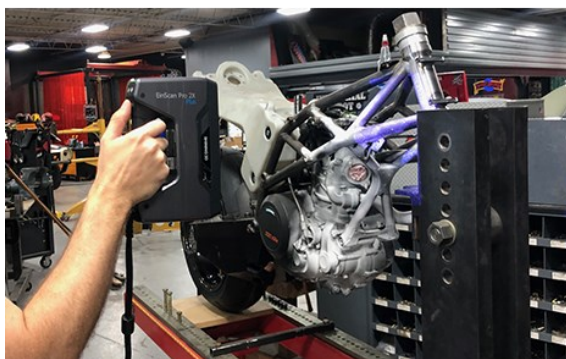




Obrázek 19. Pracovní prostředí programu Blender [35]

#### 4.4 3D skenování

Další možností, jak převést skutečný tvar do SW modelu, je použití tzv. 3D skenerů. O této metodě lze také hovořit jako o reverzním inženýrství, kdy se pomocí elektronického zařízení analyzuje prostředí reálného světa a získávají se informace o jeho tvaru. Tyto informace je možné získávat na základě několika fyzikálních principů, mezi které patří například laserová triangulace, kdy se určuje stupeň deformace laserového paprsku promítaného na objekt, měření doby letu laserového pulzu nebo pomocí fotogrammetrie, což je proces získávání informací o reálném objektu z běžných 2D fotografií pořízených z více úhlů. [36]



Obrázek 20. Práce s 3D skenerem [37]

Proces fotogrammetrie lze používat i za pomoci příslušného SW mobilním telefonem. V tomto případě však nelze očekávat příliš velkou věrnost v zachování tvarů skenovaného

objektu. Zařízení pracující na principu optických jevů dosahují mnohem lepších výsledků, jejich cena se však pohybuje v řádech desítek až stovek tisíc, kdy kvalita výstupu ze zařízení roste s cenou.

#### **4.5 Další možnosti získávání 3D modelů**

Ne vždy je nutné, aby si uživatel vytvářel model pro potřebu tisku objektu úplně sám. Někdy je to dokonce zcela zbytečné. 3D tisk jako takový, hlavně potom ten kutilský, slouží často k výrobě prvků, které byly součástí nějakého celku a které běžně nelze koupit jako náhradní díly a zařízení přitom bez nich nefunguje. Díky celosvětově dnes už velmi rozsáhlé a stále rostoucí komunitě 3D tiskařů existují webové portály s volně dostupnými 3D modely ke stažení, kde uživatel může po registraci kromě zmíněných dílů přispívat libovolnými funkčními či estetickými projekty určenými ke 3D tisku. Tyto weby obsahují zdarma nebo za poplatek miliony stažitelných modelů. Jistě nejoblíbenějším z nich je webový portál Thingiverse [38]. Ten se chlubí databází více než 2,2 miliony volně stažitelnými 3D modely (duben 2022), kde většina z nich obsahuje licenci, kdy modely může uživatel nejen kdykoliv používat, ale také je upravovat a měnit. Sami autoři webu o sobě tvrdí, že jsou největší 3D tiskařskou komunitou na světě.



## 5 SLICOVÁNÍ A PARAMETRY TISKU

Ačkoliv zde bude řeč o slicovacích SW nástrojích pro FDM metodu tisku, stejně jako tomu bylo v kapitole o tiskových materiálech, tak některé slicery umí rozvrstvit model i pro jiné tiskové metody. Vstupním souborem je tedy objekt navržený ve 3D modeláři. Slicer kromě toho, že model nakrájí na vrstvy o požadované výšce, bere v úvahu desítky dalších vstupních parametrů, které výrazně ovlivňují tisk. Možnosti nastavení závisí na výrobci slicovacího programu. Množství parametrů, které lze nastavit bývá i několik set.

### 5.1 Běžné slicovací nástroje

Většina velkých výrobců 3D tiskáren vyvíjí vlastní slicovací SW. Někteří výrobci jej nabízí pouze pro tiskárny vlastní výroby, ale jiní šli odlišnou cestou a do slicovacího SW vyvíjeného jako open source implementovali podporu tiskových profilů konkurenčních tiskáren. To se ukázalo jako krok správným směrem, protože právě tyto slicery jsou dnes nejpoužívanější a obsahově velmi robustní, a to především díky komunitnímu vývoji. Mezi nejoblíbenější z nich patří Cura, český PrusaSlicer a placený Simplify3D.

#### 5.1.1 Cura

SW vyvíjený výrobcem tiskáren Ultimaker s licencí open source. Základní verze programu je pro uživatele zdarma, k širšímu použití je však možné využít profesionální placené verze. Ta obsahuje některé doplňky navíc a především technickou podporu. Výhodou je opravdu široké nastavení parametrů, které čítá přes 200 položek k nastavení, a přitom si zachovává celkovou přehlednost a intuitivitu při práci s objektem. Menu nastavení lze přepínat mezi začátečníkem a pokročilým uživatelem, kde začátečníkovi nejsou nabízeny některé pokročilé funkce. Jediné, co bývá tomuto sliceru vytýkáno, je špatný odhad doby dokončení tisku, který ve skutečnosti trvá déle než program uvádí. [39]

#### 5.1.2 PrusaSlicer

Slicer od českého výrobce Prusa Research se těší velké oblibě především díky množství funkcí a parametrů k nastavení, které nabízí. Je opět zcela zdarma vyvíjený pod licencí open source a také nabízí režim pro začátečníky nebo zkušenější tiskaře. Prostředí je jednoduché a přehledné. Uživatelům nabízí kromě svých také odladěné profily k desítkám tiskáren jiných výrobců. [40]

### 5.1.3 Simplify3D

Jedná se o placený software, který v tomto případě nevyvíjí žádný výrobce tiskárny, ovšem obsahuje stovky tiskových profilů pro tiskárny různých značek. Velkým kladem tohoto programu je realistická simulace pohybu extruderu, kde uživatel může ještě před spuštěním tisku sledovat, kudy bude tisková hlava cestovat. To se hodí v případě, že do výtisku mají být napevno vsazeny a zatisknuty předměty jako jsou matice či podpůrné sloupky a z náhledu programu je ihned možné vyzorovat, zda do takto vsazených předmětů tisková hlava může narazit či nikoliv. Další výhodou spočívá v editaci již vytvořených podpěr objektu či možnost použití jiného nastavení v různých částech modelu. [1][41]

## 5.2 Parametry tisku

I přes rozsáhlá více méně originální nastavení tisku různých výrobců slicovacích programů budou základní parametry vždycky stejné. Obvykle jsou to ty, které samotný tisk nejvíce ovlivňují. Jejich nastavováním dochází ke kompromisu mezi pohledovou kvalitou výtisku, pevností a odolností výsledného objektu a dobou trvání tisku.

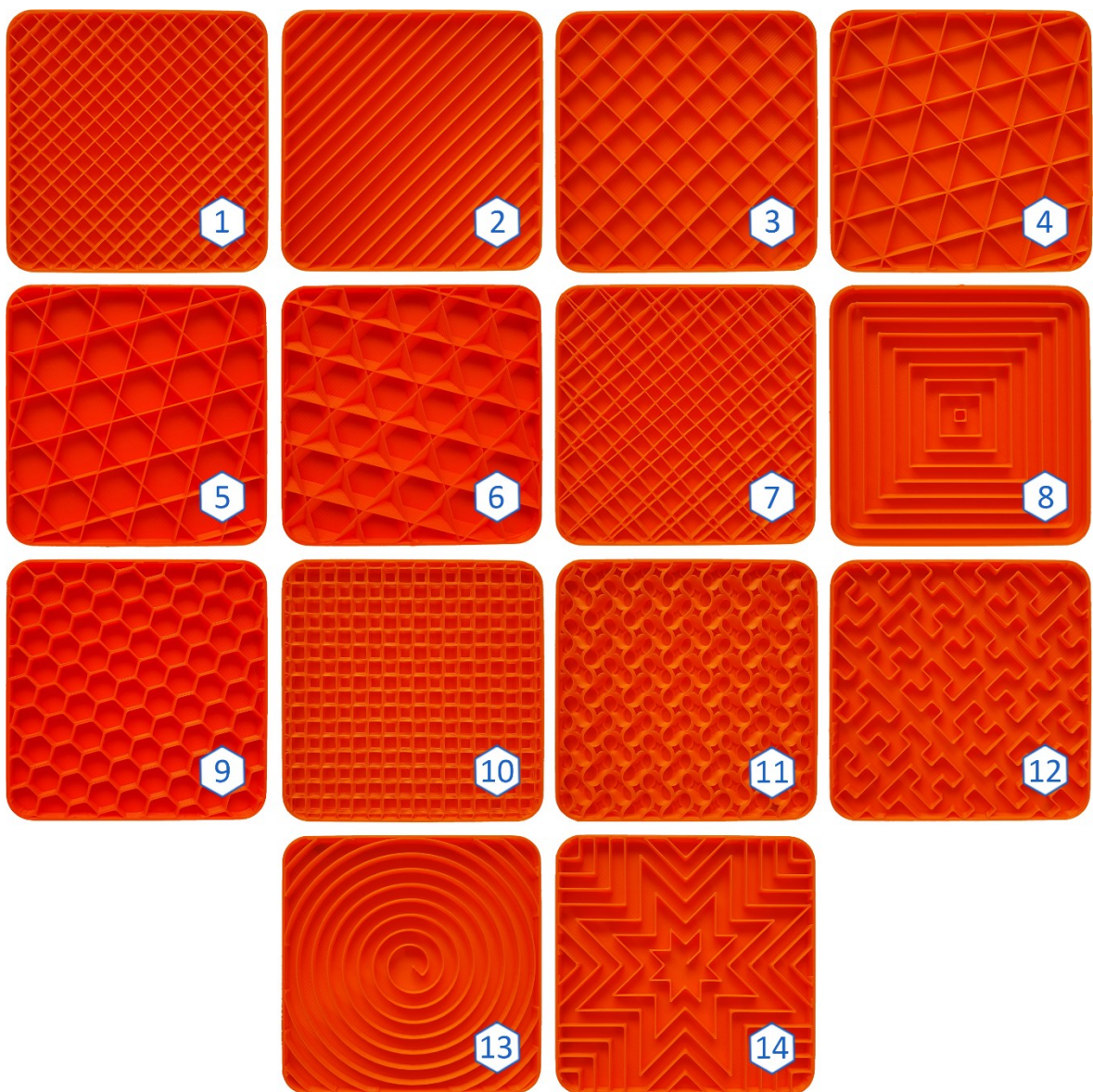
### 5.2.1 Rychlost tisku

Nejedná se o jeden parametr, jak by se na první pohled mohlo zdát, ale jde o řadu různých nastavení pro rychlosti pohybů tiskárny v konkrétních situacích, a tedy rychlosti samotného tisku. Tiskárna si může dovolit pracovat rychleji v případě tisku nepohledových částí jako je třeba výplň objektu. Pokud však bude probíhat tisk finální pohledové vrstvy, je lepší tisknout na polovinu této rychlosti. To samé platí v případě tisku tenkých částí, vnějších perimetrů nebo přemostění. Obecně však záleží na konstrukci tiskárny. Celkově se dá říci, že tiskárna si může dovolit tisknout rychleji v případě, že její tisková hlava není příliš těžká. Další výhodou jsou dvě závitové tyče pro pohyb v ose Z nebo lineární pojezdové tyče namísto vozíku s gumovými kolečky, které používají levnější tiskárny. Doporučené tiskové rychlosti jsou součástí tiskových profilů v dostupných slicerech, obvykle bývá na výběr mezi pomalejším, tedy kvalitnějším, a rychlejším tiskem.

### 5.2.2 Výplň objektu

V případě tisku větších těles se jen zřídka kdy tiskne objekt se 100% hustotou výplně. S ohledem na požadovanou pevnost výrobku se volí jen určité procento hustoty vnitřní výplně za použití některého výplňového vzoru, což vede k úspoře materiálu. Při tisku figurek na

výstavu obvykle stačí volit výplň o hustotě 5–10 %, pro tisk funkční části je potom dobré volit hustotu výplně 30 % a vyšší. Slicery ve svém nastavení nabízejí řadu výplňových vzorů, přičemž každý z nich má větší či menší vliv na celkovou pevnost výrobku, spotřebu materiálu a dobu tisku, která se v případě některých složitějších výplní může zvýšit i na trojnásobek délky tisku oproti výplni jednoduché. Vzorů je možné vymyslet spoustu druhů, ale důležitá vlastnost u tiskových výplní je, aby se vzor výplně v jedné vrstvě nekřížil a nedocházelo ke kupení materiálu v těchto místech. Zde je přehled tištěných vzorků s výplněmi nabízenými ve sliceru PrusaSlicer. Každý vzorek má rozměr 70x70 mm a výplň je nastavena na 20 % celkové hustoty:



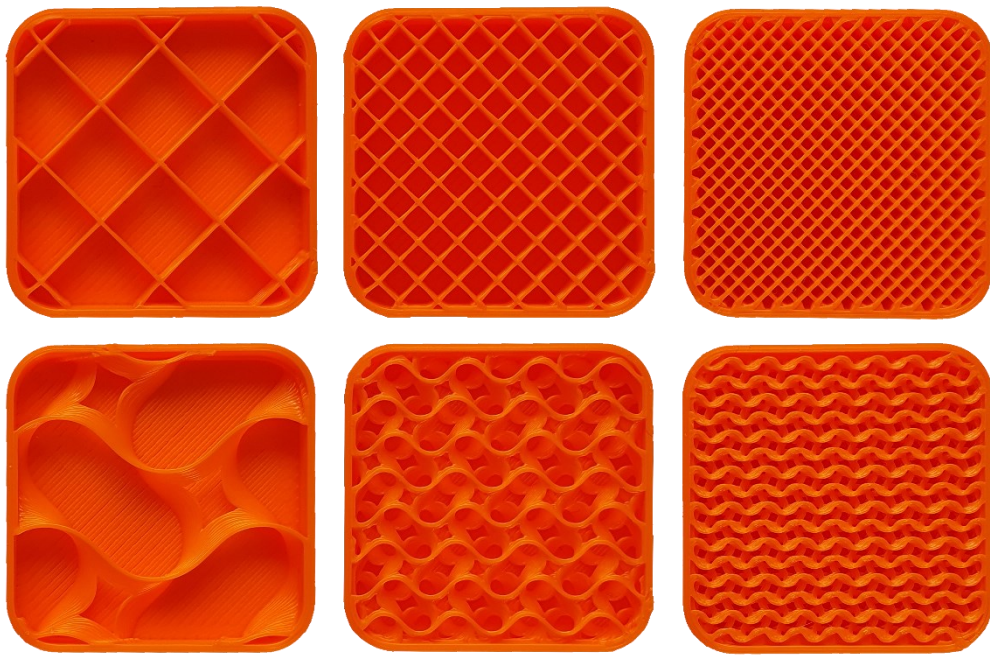
Obrázek 21. Přehled tiskových výplní nabízených programem PrusaSlicer

Tabulka 1. Přehled tiskových výplní a jejich vliv na dobu tisku a spotřebu materiálu

vzorek	výplň	čas tisku [h:min]	spotřeba materiálu [g]
1	přímočará	56:27	1396,77
2	zarovnaná přímočará	56:15	1396,77
3	mřížka	58:54	1397,86
4	trojúhelníky	61:05	1395,38
5	hvězdy	58:09	1388,26
6	kubická	59:54	1392,22
7	čára	55:57	1392,46
8	koncentrická	61:59	1396,6
9	plástev	187:15	1685,98
10	3D plástev	185:14	1509,19
11	gyroid	144:01	1323,91
12	Hilbertova křivka	144:55	1401,82
13	Archimedean chords	59:19	1396,65
14	octagram spiral	69:22	1399,58

Tabulka č. 1 porovnává jednotlivé tiskové výplně v závislosti na době jejich tisku a spotřebě materiálu. Údaje jsou vypočítané hodnoty z programu PrusaSlicer při vstupním .stl souboru, který obsahuje objekt krychle o rozměrech 150x150x150 mm a jeho hustota výplně pro tisk je nastavena na 30 %. Všechny ostatní parametry jsou ponechány jako výchozí v profilu tiskárny Prusa MINI+. Zvolený materiál je PLA o průměru struny 1,75 mm.

Z tabulky je patrné, že u většiny jednoduchých výplní se celkový čas tisku příliš nemění. I zde, v případě poměrně objemného tisku se celková doba pohybuje v rozmezí několika minut, dokonce spotřeba materiálu je téměř neměnná. Výjimkou jsou složitější výplně typu plástev, gyroid a Hilbertova křivka. Díky struktuře těchto výplní bude vytištěné těleso disponovat větší mechanickou odolností, ale za cenu výrazně větší doby tisku i spotřeby materiálu, ovšem kromě výplně gyroid. Ta má i přes čtvrtou nejdelší dobu tisku nejmenší spotřebu materiálu z výplní v tabulce uvedených.

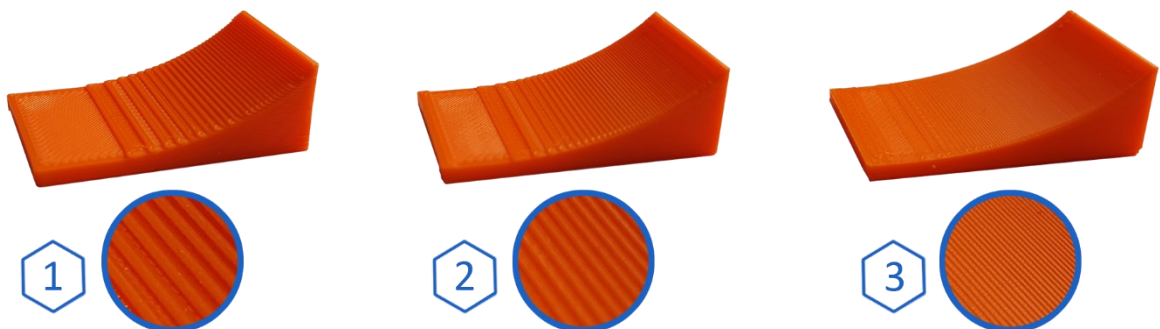


Obrázek 22. Tisk předmětu při různých hustotách výplně

Testovací vzorek z obrázku 22 o ploše 30x30 mm byl vytisknut s přímočarou výplní (nahore) a výplní gyroid (dole) při hustotě (zleva) 5 %, 15 % a 30 %.

### 5.2.3 Výška vrstvy

Častým parametrem, který bude uživatel nastavovat, je výška vrstvy. Toto nastavení se významně projeví jak na době tisku, tak na kvalitě povrchu výtisku. Vše ale záleží na charakteru tištěného objektu. Pokud jím má být jednoduché kvádrové těleso, je možné zvolit vyšší vrstvu (např. 0,25 mm) což nebude mít téměř žádný efekt na výslednou kvalitu výtisku. V případě tisku koule je však výška vrstvy rozhodující pro co nejhladší povrch. Při tisku z materiálu PLA je v takovém případě možné volit výšku vrstvy 0,05 mm, ale je nutné počítat s tím, že tisk bude trvat několikanásobně déle.



Obrázek 23. Tisk předmětu při různých výškách vrstvy



Testovací vzorek z obrázku 19 o podstavě 30 x 20 mm s náběhem v ose Z byl vytisknut při různých výškách vrstvy takto:

1. výška vrstvy 0,25 mm, doba tisku 12 min,
2. výška vrstvy 0,15 mm, doba tisku 18 min,
3. výška vrstvy 0,05 mm, doba tisku 57 min.

Kvalitní slicovací SW řeší problematiku dlouhého tisku strukturovaného modelu pomocí tzv. variabilní výšky vrstvy. To je parametr, který nastavuje tisk méně detailních částí objektu větší výškou vrstvy pro zkrácení celkové doby tisku.

#### 5.2.4 Podpěry

Ne vždy je nutné toto nastavení použít, ale v případě tisků některých objektů je to nevyhnutelné. Vždy je potřeba mít na paměti, že tiskárna vlivem tisku po vrstvách nemůže začít tisknout převis, který by se v daném momentě nacházel ve vzduchu, protože jeho spojení s objektem se nachází až o několik úrovní výš. V takovém případě se již od první vrstvy tiskne pomocná podpěra, na které bude daný převis později ležet. Nastavení, které bude uživatele u podpěr zajímat, je jak daleko se bude podpěra od objektu nacházet. Toto nastavení ovlivní, jak dobře půjde podpěra od již hotového výrobku odlomit. Pokud však bude příliš daleko, část objektu ležící na podpěře začne ztrácet kvalitu. Slicery v dnešní době umožňují buď automatické generování podpěr nebo ruční za pomoci kreslení nebo jiného způsobu jejich přidávání.



Obrázek 24. (zleva) model s podpěrou, výtisk s podpěrou a po odstranění podpěry

#### 5.2.5 Perimetry a plné vrstvy

Perimetry určují, z kolika smyček (tahů) se bude skládat svislá stěna objektu, než se začne tisknout výplň. Výchozím nastavením bývají dva perimetry, ale v případě potřeby větší

pevnosti tělesa se perimetry přidávají. Plné vrstvy zase znamenají, kolik vrstev bude na sebe vytisknuto, než se začne tisknout výplň. Obvyklé nastavení je kolem pěti vrchních i spodních vrstev. Tato dvě nastavení však neurčují pouze pevnost, ale i průsvitnost vytištěného objektu.

### 5.3 G-Code

Výstupem ze slicovacího programu je konečně soubor čitelný pro tiskárnu, tzv. G-Code. Je to formát obsahující kód původně vyvinutý pro potřeby CNC výroby, ale stejně dobře je použitelný i ve 3D tisku. Je strukturovaný jako sada příkazů, kde každý příkaz zaujímá jeden řádek. Příkazy se provádějí od shora dolů jeden za druhým a těchto příkazů bývá v případě tisku rozměrných objektů řádově miliony. Příkazy se obecně dělí na dvě základní skupiny. G příkazy nazývány jako obecné a M smíšené příkazy. [42][43]

#### 5.3.1 Obecné příkazy

Říkají tiskárně, jak se má pohybovat a jak má přidávat materiál. Příkaz se skládá z několika částí. V první části je písmeno G a k tomu číselné označení. Např. G00 je lineární pohyb bez extruze, G01 lineární pohyb s extruzí materiálu, G02 je pohyb ve směru hodinových ručiček a další... Na ostatních pozicích bývá číselný údaj o souřadnici posuvu, kroku extruderu, rychlosti posuvu nebo jiné. Kód také může obsahovat komentáře za znakem středníku. Typický příklad jednoho příkazu v G-Code:

```
G01 X99.936 Y57.868 E.08462 ; komentář
```

Nejčastější označení příkazů písmeny:

- X – posuv po ose X,
- Y – posuv po ose Y,
- Z – posuv po ose Z,
- E – kroky extruderu,
- F – rychlost posuvu,
- T – číslo nástroje. [42][43]

#### 5.3.2 Smíšené příkazy

Slouží k provádění negeometrických úkolů. Jsou na začátku příkazu označeny písmenem M a používají se např. k nastavení teploty vyhřívané podložky, nastavení teploty trysky, otáček ventilátoru atd. Potom mohou obsahovat informace, které potřebuje tiskárna vědět o použitém filamentu jako je materiál a průměr tiskové struny. [42]

## 6 VYUŽITÍ 3D TISKU

Pokud člověk, který sám není uživatelem 3D tiskárny, začne přemýšlet, k čemu je vlastně 3D tisk dobrý a k čemu by se dal využít v praxi, pravděpodobně dojde k závěrům jako možnost tisku nedostupných dílů při domácí opravě různého zařízení, výroba vlastního krytu na telefon, hraček pro děti, figurek na výstavu atp. To vše je samozřejmě pravda, ale při širším pohledu na věc se ukazují i jiné možnosti, např. při malovýrobě. Pokud malá firma potřebuje vyrobit nějaké díly pro jednu sérii svého výrobku, může výrobu spustit na své vlastní mini tiskové farmě, která bude čítat třeba 10 tiskáren. Tímto odpadá potřeba nákladné výroby na zakázku. V případě potřeby změnit nějaký detail stačí pouze upravit model daného dílu a vlastní výroba začne okamžitě tisknout aktualizovaný díl. U větších firem, které potřebují vyrábět díly ve velkém slouží 3D tisk k prototypování, což je vlastně i původní myšlenka při objeovávání 3D tisku jako takového. Skutečnost, že při návrhu nějakého dílce je možné spustit tisk a mít jej během pár hodin připraven k odzkoušení, je dalším příkladem skvělé využitelnosti 3D tisku v praxi. V kombinaci s 3D skenováním se 3D tisk hojně využívá také ve zdravotnictví. Možnost vizualizace architektonického díla na skutečném zmenšeném modelu je jistě také o mnoho lepší než pouhá ukázka na projektoru. Vzhledem ke vlastnostem některých materiálů, co se jejich pevnosti a váhy týče, a možnosti výroby z kompozitů začíná 3D tisk nahrazovat výrobu pevných dílů pomocí odlévání, např. v leteckém průmyslu. 3D tisk je také skvělý způsob, jak u dětí rozvíjet kreativitu a technické myšlení. Řada základních a středních škol v dnešní době zřizuje učebny vybavené 3D tiskárnami a výrobci jim vychází vstříc formou zvýhodněných cen tiskáren a materiálu a také školením pro učitele. [1][17]

### 6.1 Vize do budoucna

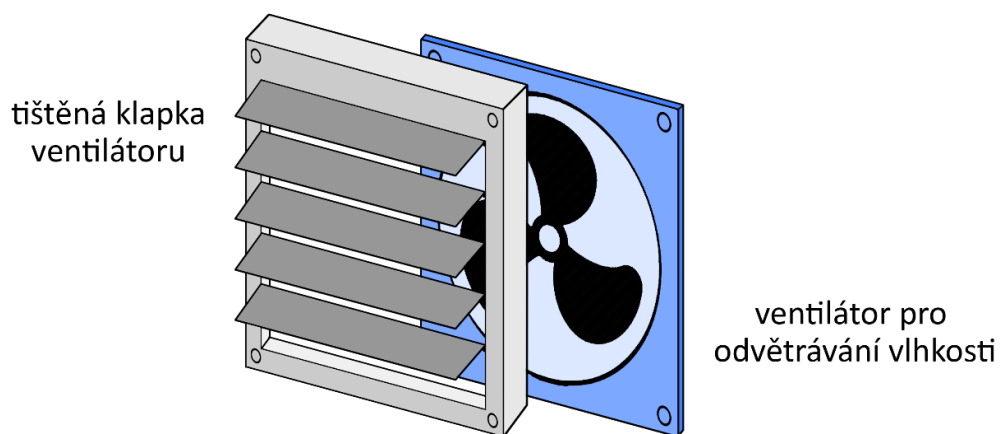
Je více než jasné, že 3D tisk bude využíván stále více nejen v oblasti průmyslu, ale i jako běžný domácí spotřebič. Velkou roli začne hrát 3D tisk ve stavebnictví, protože již dnes jsou k vidění velké tiskárny používající náplň s betonovou směsí, kdy je možné rodinný dům vytisknout za dobu okolo 24 hodin [44]. Výuka 3D tisku se v technických oborech na středních školách stane naprostou samozřejmostí. Stále větší bude zastoupení 3D tisku ve zdravotnictví, kdy 3D tisk bude vedle zdravotnických nástrojů, jako různé dlahy či modely chrupu, tisknout také náhrady kostní tkáně přímo uvnitř těla pacienta [45]. Výrobci různých zařízení budou moci distribuovat náhradní díly mezi zákazníky pomocí 3D modelů, které si uživatel tiskárny doma snadno sám vyrobí. Je zcela zřejmé, že doba tisková právě přichází.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 REALIZACE VLASTNÍHO NÁVRHU VENTILÁTOROVÉ KLAPKY SESTAVENÉ POMOCÍ 3D TISKU

Cílem vyhotovení vlastního 3D tištěného výrobku je zobrazit možnost využití 3D tisku v praxi. K realizaci byl vybrán projekt, kde by běžný domovní ventilátor pro odvětrávání vlhkosti z místnosti byl osazen na míru vyrobenou klapkou, která by v zavřeném stavu zabránila nechtěnému proudění vzduchu.



Obrázek 25. Náhled na řešený problém

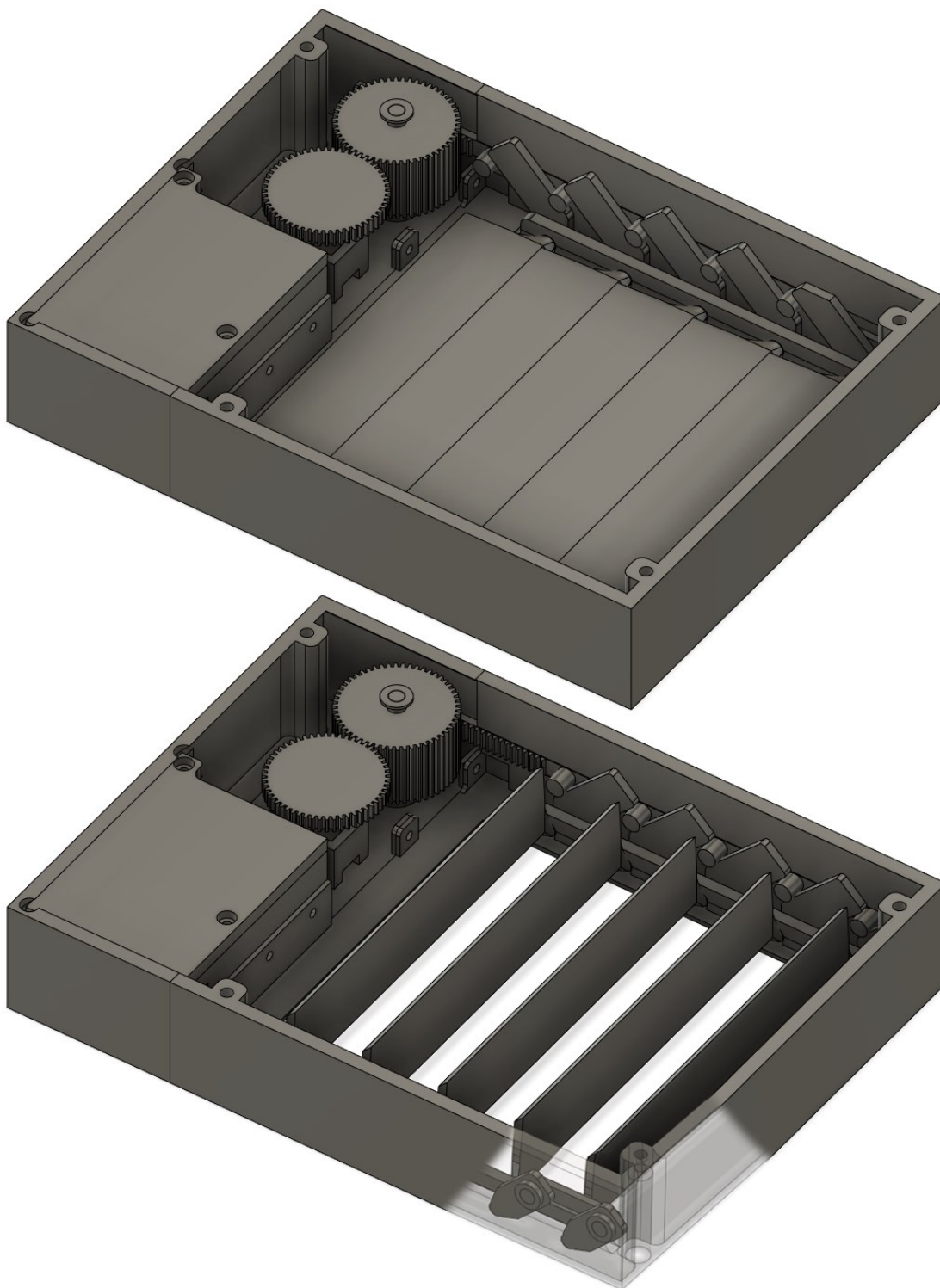
Tištěná ventilátorová klapka by měla být univerzálně použitelná pro většinu na trhu dostupných domovních ventilátorů o průměru odvětrávacího otvoru do 125 mm a ve svých útrokách osazena elektronikou pro spínání ventilátoru a jeho automatické či ruční řízení. Manuální řízení skrze nástěnný spínač, automatické či hlasové řízení za pomoci chytrého asistenta Amazon Alexa [46], spínání od nárůstu vlhkosti a doběh za pomoci integrovaného časovače.

### 7.1 Návrh vlastního modelu

Dříve, než bylo přistoupeno k samotnému návrhu, bylo potřeba provést průzkum v praxi běžně používaných ventilátorů, a to z důvodu pozdějšího univerzálního použití tištěné ventilátorové klapky. Sledovaným parametrem byly rozměry vnějšího pláště osazeného ventilátoru – rozměr mřížky a výška vystouplé části ventilátoru nad povrchem, kde je usazen. Téměř všechny druhy ventilátorů pak umožňují sejmutí krytky nebo mřížky, která kryje osazenou lopatku ventilátoru, čímž dojde k redukci jeho velikosti a klapka tak nemusí být zbytečně rozměrná. Sledováním těchto parametrů bylo dospěno k závěru, že vyhotovená ventilátorová klapka bude použitelná pro ventilátory, jejichž vnější část má rozměry do 150x150 mm velikosti rámečku a 8 mm výška vystouplé části nad povrchem, kde poslední uvedený parametr je možné zvýšit drobnou úpravou 3D modelu před jeho tiskem.

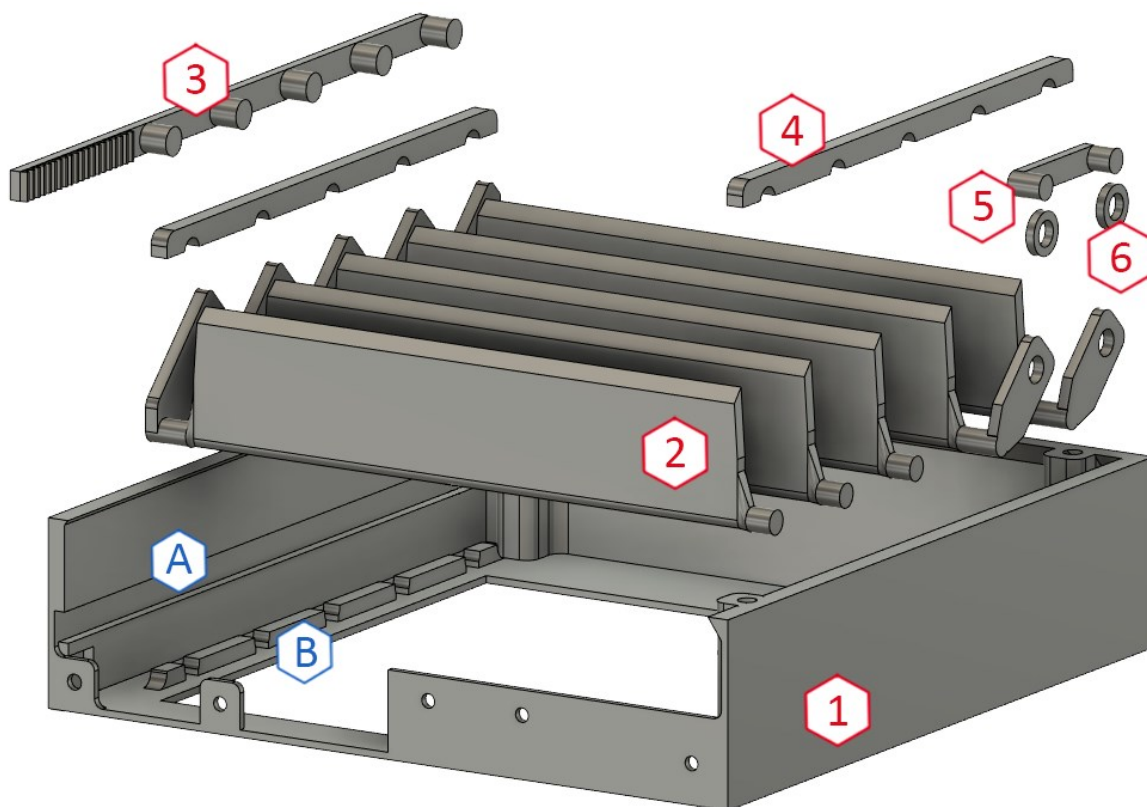
### 7.1.1 Práce ve 3D modeláři

Ke tvorbě samotného modelu byl použit 3D parametrický modelář Fusion 360 od firmy Autodesk. Výsledný model byl navrhnout tak, aby jeho jednotlivé díly bylo možné tisknout i na malých tiskárnách typu PRUSA MINI+.



Obrázek 26. Model klapky v uzavřeném (nahore) a otevřeném stavu (dole)

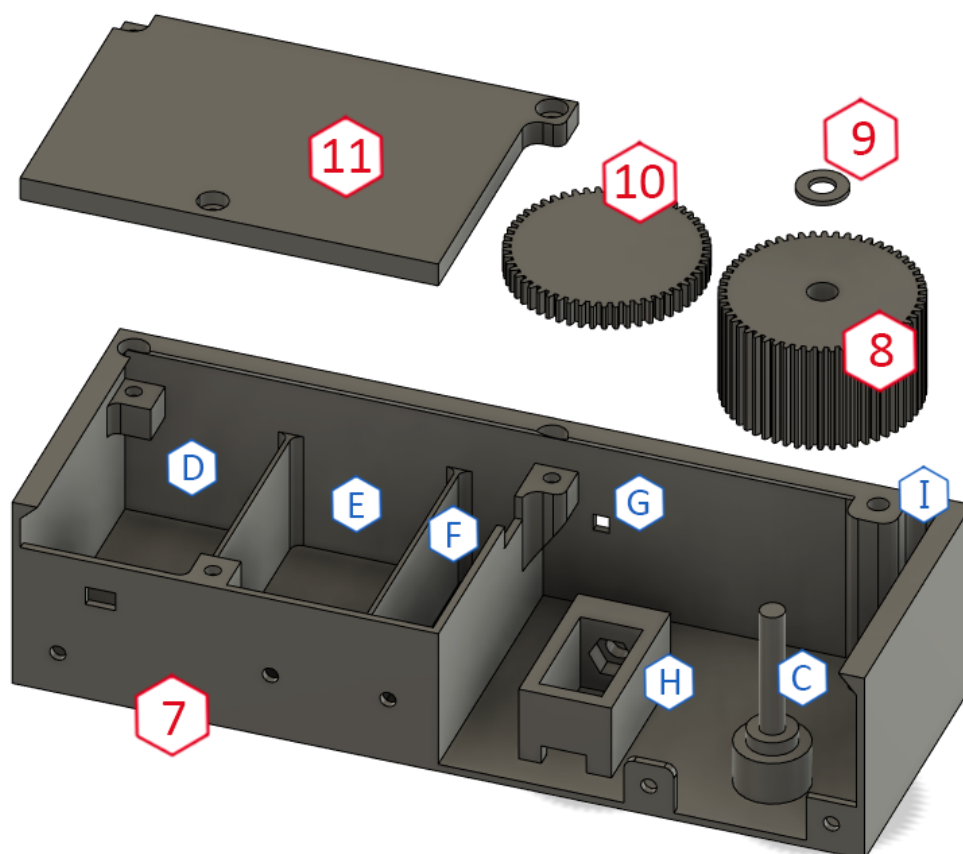
Celá sestava je rozdělena na dva celky, jejíž konstrukce jsou navrženy tak, aby je po vytisknutí bylo možné snadno sloučit pomocí spojovacího materiálu. Po spojení dvou největších dílů je možné začít konstrukci osazovat ostatními prvky. První celek, obsahující větší část konstrukce, slouží jako samotné krytí ventilátoru, před kterým bude docházet k otevírání a zavírání klapek.



Obrázek 27. Díly první části sestavy

Díl (1) z obrázku 27 je celkově největší součástí celého systému a jeho hlavním úkolem je poskytnout konstrukci pro osazení ventilátorových klapek (2), které jsou spojeny s táhlem (3), jehož funkcí je otevírat a zavírat klapky. Táhlo se pohybuje v drážce (A), která je vyhloubena ve stěně dílu (1), a jeho konec je opatřen tzv. hřebenovým ozubením. Klapky jsou v jejich ose otáčení usazeny v západkách (B) vystupujících z konstrukce dílu (1) a na obou stranách zajištěny dílem (4), který zabraňuje jejich případnému nežádoucímu uvolnění. Poslední dvě klapky jsou na rozdíl od prvních tří každá konstrukčně odlišná a na protější straně směrem od táhla jsou opatřeny volnou spojkou (5), která je zajištěna dvojicí pojistek (6).

Druhý celek obsahuje řídicí část systému. Je osazen elektronikou, která se stará o mechanický pohyb volných dílů a zároveň tvoří rozhraní k ovládání sestavy.



Obrázek 28. Díly druhé části sestavy

Základním prvkem druhé části konstrukce je díl (7) z obrázku 28. Ve složeném stavu je připevněn ke konstrukci s díly prvního celku. Pro přenos pohybu na táhlo zde slouží větší z ozubených kol (8), které dosedá na osu (C) vystupující z konstrukce dílu (7). Ozubené kolo je na ose zajištěno pojistkou (9) proti nežádoucímu pohybu. O rotaci většího kola se stará ozubené kolo menší (10), které je ve složeném stavu sestavy připevněno na rotoru servomotoru usazeném v konstrukci. Pro elektrické součástky citlivé na vlhkost je druhá část sestavy opatřena zvláštním boxem, který obsahuje víko (11) s otvory pro jeho přišroubování ke konstrukci. Příhrádka (D) v boxu představuje prostor pro umístění zdroje napájení sestavy. Do vedlejšího šuplíku (E) se umísťuje relé pro spínání samotného ventilátoru, které dostává povely od mikrokontroleru, pro který je vyhrazen prostor v příhradce (F). Volně je v boxu umístěn bzučák pro akustickou odezvu při ovládání systému. Vedle boxu se nachází otvor (G), který slouží jako ústí senzoru vlhkosti směrem na vnější stranu konstrukce. Zmíněný servomotor se zasouvá do připravené ohrádky (H), do které lze nastrčit matici M5 a servomotor tak šroubem z vnější strany ohrádky zajistit proti nežádoucímu pohybu. K připevnění složené sestavy na stěnu k ventilátoru slouží čtveřice otvorů (I) konstruovaných na samořezné šrouby o průměru hlavy 4 mm.

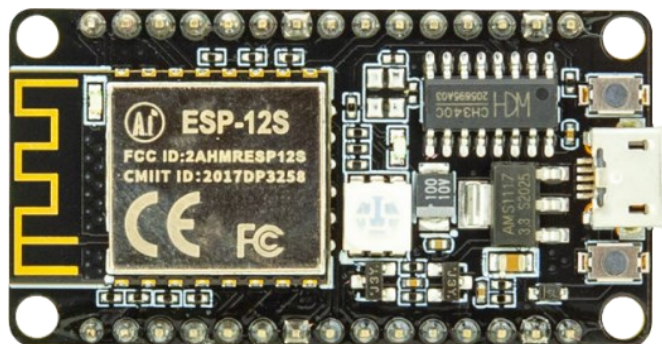
O dvojici dílů č. (4) a pojistkách (6) a (9) se předpokládá, že budou se sestavou spojeny napevno pomocí lepidla. Obě části konstrukce lze spojit pomocí šroubů s válcovou hlavou a maticemi velikosti M3. Box, na který se umísťuje víko (11), je taktéž opatřen vstupem pro šrouby. Tyto vstupy uvnitř obsahují prostor pro matice velikosti M3, které je možné do výrobku napevno vsadit během tisku. Alternativně je možné matice vynechat a použít samořezné šrouby. Box obsahuje vstupní otvory pro kabely. Zbýlý prostor v otvorech je vhodné po osazení konstrukce elektronikou vyplnit tavným lepidlem pro hermetické utěsnění boxu.

### 7.1.2 Osazené komponenty

Použité elektronické komponenty po osazení do vytištěného a zkompletovaného modelu budou navzájem propojeny spojovacím materiálem, který bude na jeho koncích opatřen konektory. To je z důvodu snadné demontáže a výměny elektronické součásti v případě její poruchy.

#### NodeMCU ESP8266

Srdcem celého zařízení je vývojová deska NodeMCU, která je již v základu osazena oblíbeným Wi-Fi modulem ESP8266 pro snadné bezdrátové připojení k domácí síti. Mikrokontroler této platformy je založen na open source modelu a je často používán při vlastních řešeních v chytrých domácnostech. [47]



Obrázek 29. Platforma NodeMCU [48]

#### Zdroj

Jako zdroj napětí je zde použit spínaný síťový adaptér 5V 1A.

#### Bzučák

Pro potřeby akustické odezvy při změně nastavení systému prostřednictvím nástěnného tlačítka je sestava osazena běžným počítačovým pulzním bzučákem.



### Servo SG90 9g

O mechanický pohyb přenášený na klapky se stará pulzně řízený servomotor s 90° pohybovým rozsahem Servo SG90 9g.



Obrázek 30. Servomotor [49]

### Relé

K výkonovému spínání ventilátoru je použit reléový modul s optickým oddělením pro ochranu mikrokontroleru. Modul obsahuje také NPN tranzistor zapojený jako spínač, aby bylo umožněno bezpečné spínání relé pomocí výstupního pinu NodeMCU.



Obrázek 31. Relé [50]

### HTU21D

Pro automatickou činnost systému je součástí sestavy klapky ventilátoru snímač vlhkosti HTU21D. Snímač disponuje velmi přesným měřením, vysokou spolehlivostí a nízkým zkreslením naměřené hodnoty vlivem rosení.



Obrázek 32. Senzor vlhkosti [51]

### 7.1.3 Cena jednotlivých komponent

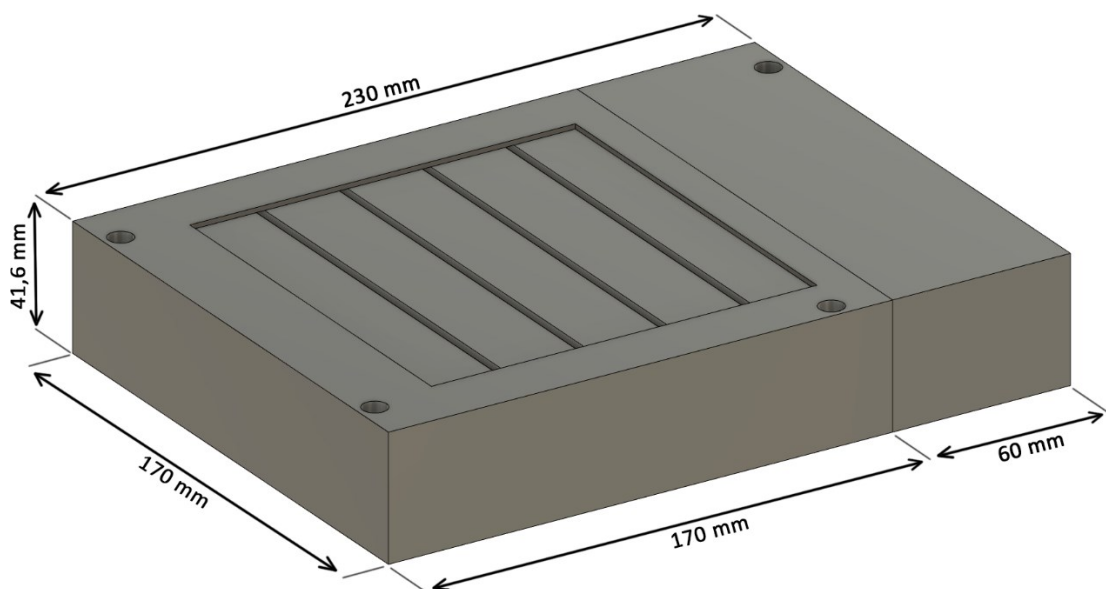
V následující tabulce jsou uvedeny ceny komponent z ledna 2022. Všechny komponenty byly zakoupeny na českých e-shopech. K ceně je připočítána i odhadovaná cena materiálu a spojovacích prvků, aby vypočtená částka odrážela celkovou cenu výrobku.

Tabulka 2. Pořizovací cena komponent systému

POLOŽKA	CENA POLOŽKY
NodeMCU	147 Kč
Zdroj	139 Kč
Bzučák	6 Kč
Servo SG90 9g	63 Kč
Relé	65 Kč
HTU21D	169 Kč
Materiál a spojovací prvky	cca 130 Kč
<b>CELKEM</b>	<b>719 Kč</b>

## 7.2 Tisk jednotlivých dílů

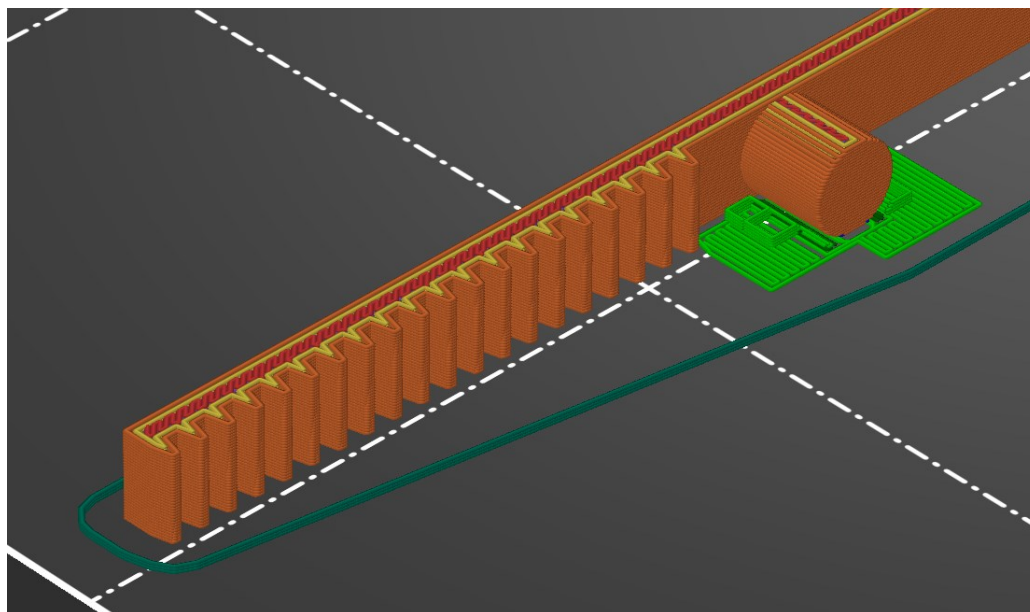
V případě testovacího tisku byly všechny díly tištěny na 3D tiskárně PRUSA MINI+.



Obrázek 33. Rozměry nosných dílů konstrukce



U všech dílů bylo použito výchozí nastavení originálního profilu o výšce vrstvy 0,2 mm s drobnými úpravami pro konkrétní komponenty. Ozubené díly je nejvhodnější tisknout tak, aby zuby byly při tisku orientovány dle obrázku 34. Při tisku táhla je tedy nutné využít podpěr pro kolíky tahající klapky.



Obrázek 34. Správný postup při tisku táhla

Oba kryty konstrukcí obsahují prvky, které je nutné taktěž tisknout za pomoci podpěr. U menšího krytu je v případě volby zatisknutí matic třeba nastavit pozastavení tisku ve správné výšce vrstvy. Posledním dílem vyžadujícím tisk na podpěrách je víko boxu, kde se podpěry umístí do zahloubení pro hlavy šroubů. Zbylé díly lze pohodlně tisknout při výchozím nastavení. Zaoblené části klapky a táhla mohou po vytištění vyžadovat drobné opravení oblých částí.

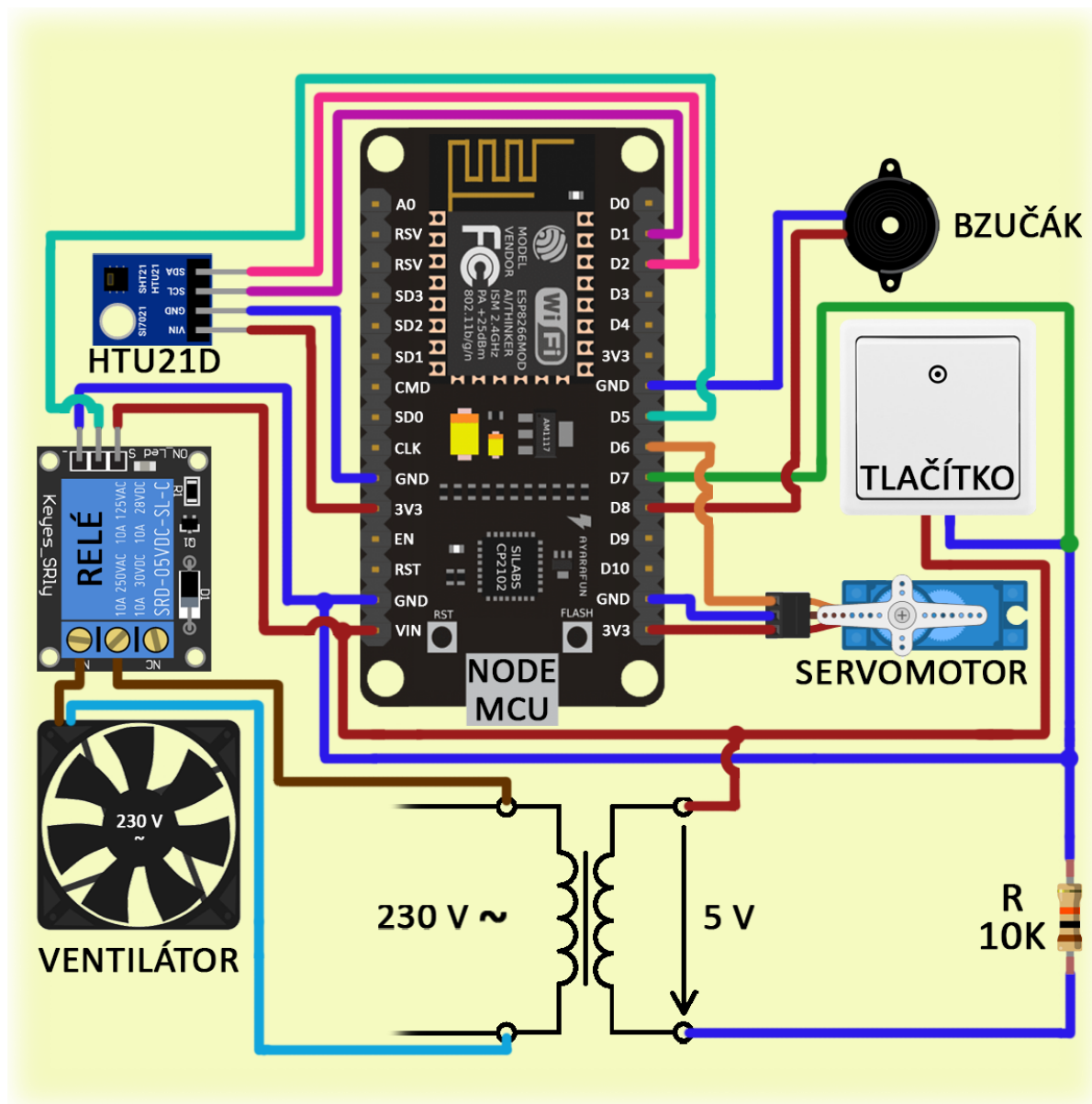
### 7.3 Princip funkce ventilátorové klapky

Ventilátorová klapka je konstruována tak, aby ji bylo možné snadno instalovat na běžný domovní ventilátor pro odvětrávání vlhkosti. Zároveň byl kladen důraz na to, aby celé zařízení byl schopen dle informací v této práci uvedených sestavit i „laik“. Projekt obsahující jednotlivé díly k tisku je součástí přílohy této práce a je možné ho otevřít v programu Autodesk Fusion 360, který je v hobby licenci dostupný zdarma. O rozložení jednotlivých dílů a potřebných elektronických součástkách pojednává podkapitola 7.1 *Návrh vlastního modelu*. Schéma zapojení je součástí podkapitoly 7.3.1 *Schéma zapojení*. Podrobně popsany

zdrojový kód mikrokontroleru spolu s potřebnými knihovnami je také součástí přílohy této práce a jeho jednotlivé funkce rozebírá podkapitola 7.3.3 *Programové vybavení*.

### 7.3.1 Schéma zapojení

Jednotlivé elektrické součásti byly zapojeny pomocí spojovacího materiálu opatřeným konektory dle následujícího schématu zapojení:



Obrázek 35. Schéma zapojení

### 7.3.2 Ovládání systému

Po vytištění, zkompletování všech dílů a nahrání SW do mikrokontroleru je možné začít systém používat v praxi. Program ve výchozím nastavení nabízí několik možností pro

ovládání klapky a ventilátoru. Tyto prvky lze dělit jako automatické ovládání, ruční ovládání nebo jejich kombinace.

### **Automatické či ruční řízení skrze chytrého asistenta Amazon Alexa**

Pro možnost této funkce je nutné ve zdrojovém kódu nastavit položky SSID a heslo k domácí Wi-Fi síti na řádcích 10 a 11. Volitelně pak lze nastavit vlastní název zařízení na řádku 12. Po nahrání takto upraveného zdrojového kódu do mikrokontroleru je možné v aplikaci Alexa bezdrátově prostřednictvím domácí sítě přidat nové zařízení. Tomuto zařízení lze v aplikaci nastavovat různé rutiny, ručně ho zapínat a vypínat nebo také ovládat hlasově buďto skrze aplikaci nebo prostřednictvím hlasového asistenta Amazon Echo Dot [52]. Ve výchozím nastavení lze otevřít klapku a zapnout ventilátor skrze hlasový příkaz „*Alexa, turn on fan.*“. Vypnut a uzavřít potom příkazem „*Alexa, turn off fan.*“.

### **Ruční řízení skrze nástěnné tlačítko**

Manuálně lze sestavu řídit pomocí původního nástěnného zvonkového tlačítka spínajícího ventilátor. Při stisknutí tlačítka v době nečinnosti dojde k aktivaci ventilátoru a otevření klapek. Ventilátor se automaticky vypne a klapka uzavře po uplynutí stanoveného času (viz níže) nebo po opětovném stisku tlačítka.

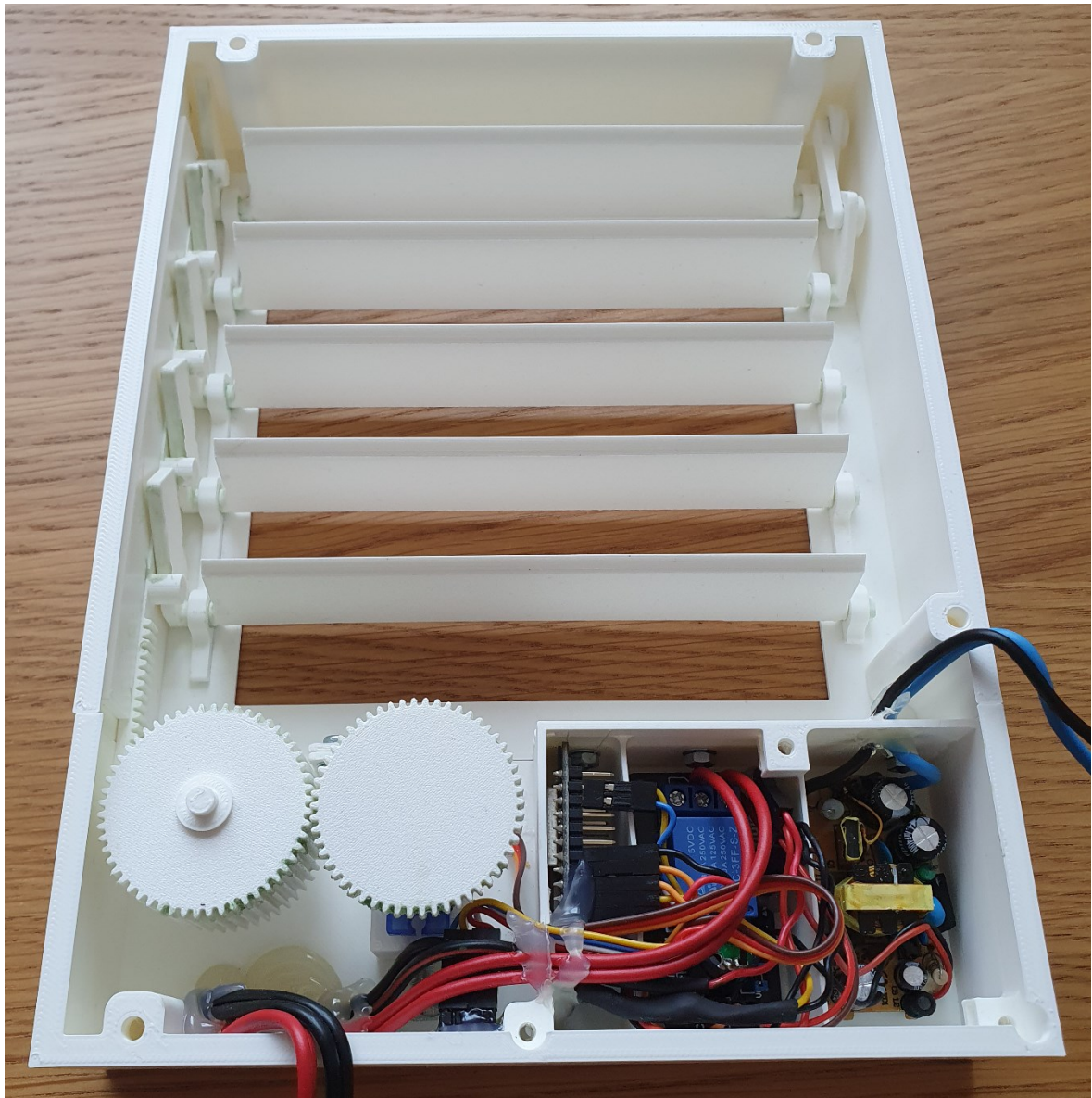
### **Automatické řízení od nárůstu vlhkosti**

Jedná se o funkci, která využívá naměřených hodnot ze senzoru vlhkosti. Při nárůstu vlhkosti nad stanovenou mez dojde k aktivaci ventilátoru a otevření klapky. Chod ventilátoru je opět přerušen a klapka uzavřena po uplynutí stanoveného času. V případě stále zvýšené vlhkosti odvětrávání pokračuje novým odpočtem času. Funkci automatického zapínání od nárůstu vlhkosti lze deaktivovat přidržením nástěnného tlačítka. Po uplynutí 5 sekund od přidržení se z integrovaného bzučáku ozve sada tónů se sestupnou frekvencí indikující deaktivaci této funkce (nemá vliv na standardní funkci tlačítka). Při opětovném přidržení tlačítka na 5 sekund se ze bzučáku ozve sada tónů s narůstající frekvencí, což značí znovu zprovoznění funkce automatické aktivace sestavy od zvýšené vlhkosti.

### **Časovač**

Automatické časování vypnutí ventilátoru a zavření klapek se spustí při každé aktivaci systému, ať už pomocí hlasového asistenta, rutiny, tlačítka nebo automatiky od senzoru vlhkosti. Po uplynutí nastaveného času, který je ve výchozím nastavení 15 minut, dojde

k vypnutí zařízení a uzavření klapek. Po uplynutí času však může stále zvýšená vlhkost automaticky prodloužit, resp. znovu aktivovat časovač.



Obrázek 36. Pohled na sestavené zařízení (bez krytu elektroniky)

### 7.3.3 Programové vybavení

Samotný program pro NodeMCU byl programován a do mikrokontroleru nahrán přes vývojové prostředí Arduino IDE [53]. Kód je rozdělen do několika částí a obsahuje několik knihoven, které nejsou součástí základního vybavení zmíněného vývojového prostředí. Tyto knihovny jsou součástí přílohy práce. Jednotlivé řádky kódu obsahují komentář s krátkým popisem jejich významu.



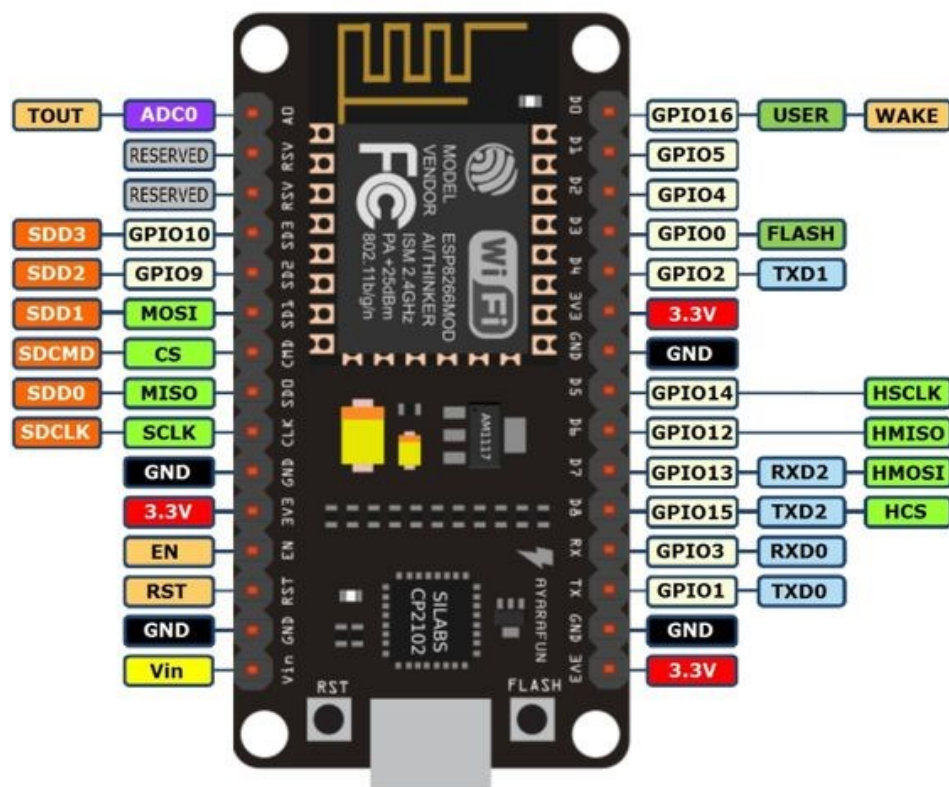
### Knihovny, konstanty, objekty, proměnné

Knihovny pro potřeby správného zkompileování kódu a k obsluze použitých zařízení jsou připojeny v jeho první části.

Pod nimi je obsažen kód pro vytvoření instancí servomotoru a senzoru teploty a vlhkosti, kde se bude využívat pouze zmíněné funkce pro měření vlhkosti.

Další odstavec se zabývá definicí konstant, které obsahují nastavení zařízení. Zde je nutno nastavit SSID a heslo pro přístup k domácí Wi-Fi. Bez nastavení těchto parametrů pochopitelně nebude připojení funkční. Dále lze volitelně nastavit název zařízení zobrazovaný v aplikaci Alexa, dobu činnosti ventilátoru do jeho automatického vypnutí a hodnotu procentuální vlhkosti, od které bude docházet k aktivaci ventilátoru a otevírání klapky.

Konstanty v následujícím odstavci kódu představují číselné definování GPIO pinů mikrokontroleru. Vývojová deska NodeMCU využívá pro své GPIO piny dvojího označení. Buď jako jejich GPIO číselné označení nebo jako alias name viz obrázek níže [54]. Ve zdrojovém kódu je použita první varianta, tedy číselné označení vstupně výstupních pinů.



Obrázek 37. Označení pinů u platformy NodeMCU [54]

Poslední odstavec této části kódu obsahuje deklaraci proměnných pro různé výpočty nebo pomocné uchovávání hodnot. Použité proměnné jsou logické a číselné. Jsou využívány pro:

- zapamatování stavů tlačítka,
- poskytování informace o ON nebo OFF stavu zařízení,
- uchování aktuálního nastavení zařízení,
- uchovávání naměřených hodnot,
- časové operace.

### **setup ()**

Jedná se o funkci, která proběhne pouze jedenkrát při spuštění programu. Slouží pro prvotní nastavení hodnot a funkcí pinů. Jeho první část obsahuje kus volně dostupného kódu ze základního příkladu pro použití knihovny Espalexa.h. Zde je volána funkce pro připojení k Wi-Fi síti. Dále se nachází definice funkcí GPIO pinů, prvotní nastavení servomotoru a relé a zahájení komunikace se senzorem vlhkosti.

### **loop()**

Je hlavní smyčka programu, která od jeho spuštění běží stále cyklicky do nekonečna. V úvodu smyčky se vždy zavolá smyčka Alexy, poté se do pomocné proměnné uloží aktuální čas od spuštění programu, který bude sloužit pro časové operace. Dále se provede čtení aktuálního stavu tlačítka a ten se uloží do příslušné proměnné.

V další části se na základě splnění časové podmínky, tedy jednou za půl sekundy, zavolá funkce pro měření okolní vlhkosti pomocí příslušného senzoru. Další podmínka v každém průběhu programem zjišťuje aktuální stav sepnutí nebo rozepnutí tlačítka. Pokud je tlačítko stisknuto nebo bylo stisknuto v předchozím průběhu programem, zavolá se příslušná funkce obsluhující tuto událost. Poslední podmínka zjišťuje, zda má dojít k zavolání funkce pro spuštění časovače.

### **deviceStatusChange()**

Tato funkce má na starosti dvoustavové ovládání zařízení. Jako první dojde k ověřování podmínky, zda se má zařízení zapnout nebo vypnout. Podle toho se nastaví poloha servomotoru. Poté se do pomocných proměnných uloží aktuální stav zařízení pošle se zpráva po sériové lince o tomto stavu. Po nastavení klapek do požadované polohy dojde k odpojení napájení servomotoru, aby nedocházelo k jeho přetěžování.

### **buttonPressed()**

Zde dochází k obsluze stisknutí tlačítka. Logika několika úrovní podmínek má na starosti vyvolat akci v závislosti na tom, jestli došlo pouze ke krátkodobému stisku tlačítka, a tedy

povelu na zapnutí nebo vypnutí zařízení, či zda bylo tlačítko přidrženo na dobu delší než 5 sekund, což znamená zavolání funkce pro změnu nastavení o automatickém zapínání zařízení od zvýšené okolní vlhkosti. Na konci této funkce dojde k uložení posledního stavu tlačítka do pomocné proměnné. To je z toho důvodu, aby byla tato funkce ze smyčky *loop()* zavolána ještě jedenkrát i po fyzickém uvolnění tlačítka pro korektní reakci na tuto událost.

### **humidityRead()**

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o funkci pro měření okolní vlhkosti a následnou reakci na tuto naměřenou hodnotu. V těle funkce dochází k porovnávání stanovené meze vlhkosti s její naměřenou hodnotou. Pokud má odečet vlhkosti ze senzoru vyšší hodnotu, než je stanovená mez, zavolá se funkce pro aktivaci zařízení, tedy otevření klapky a zapnutí ventilátoru. V praxi však může při čtení ze senzoru dojít k zákmitu vlivem působení různých vlivů. Těmi mohou být například orosení snímače vlhkosti, dočasný proud vzduchu v okolí senzoru nebo chyba komunikace mezi čidlem a mikrokontrolerem. Aby vlivem takovéto anomálie nedocházelo k nežádoucímu spínání zařízení, používá se dvou nebo více snímačů pro měření dané veličiny. Poté dochází k předem stanovenému výběru hodnot. V případě použití dvou snímačů vlhkosti by muselo současně dojít k naměření překročení meze u obou těchto senzorů, aby došlo k aktivaci spínaného zařízení. Při vyšší redundanci a použití např. tří snímačů obvykle dochází k tzv. výběru 2/3. Vzhledem k tomu, že tato práce byla koncipována tak, aby výsledné řešení mělo co nejlepší poměr cena/výkon, a že senzor vlhkosti je nejdražší položkou ze seznamu použitých dílů, bylo přistoupeno k řešení, kdy k naměřenému překročení meze vlhkosti musí dojít alespoň 4krát v řadě. Teprve poté dojde k zavolání funkce pro zapnutí zařízení. Za předpokladu, že je zařízení vypnuto, vede každé jedno naměřené překročení meze vlhkosti ke zvýšení skóre pomocné proměnné o jedničku. Pokud libovolné měření mez nepřekročí, pomocná proměnná se vynuluje. K tomu dojde i při zavolání funkce na zapnutí zařízení, aby byla proměnná připravena pro příští použití. Tato metoda validace překročení meze sice zapříčiní zpožděnou reakci systému, v tomto případě o 2 sekundy, ale vzhledem k povaze řešeného problému nemá toto drobné zpoždění na správnou funkci zařízení vliv. Informace o aktivaci zařízení od překročení meze vlhkosti je zaslána po sériové lince.

### **timer()**

Je to jednoduchá funkce, která je volána při každém průběhu programem v případě, že je zařízení aktivováno. Zjišťuje, zda již uplynul stanovený čas pro automatické vypnutí

zařízení. Pokud ano, zavolá příslušnou funkci pro vypnutí zařízení, pošle tuto informaci po sériové lince a nastaví příslušné pomocné proměnné.

### **autoControll()**

Tato funkce je volána obsluhou stisku tlačítka v případě jeho přidržení na dobu delší než 5 sekund. Pokud je aktivní automatická aktivace zařízení od překročení meze vlhkosti, dojde po zavolání této funkce k vypnutí automatické aktivace. Zároveň se zavolá funkce pro akustickou odezvu o provedené události. Pokud je funkce *autoControll()* zavolána v době, kdy je automatická aktivace vypnutá, dojde k jejímu zapnutí. Informaci o změně stavu posílá funkce po sériové lince.

### **buzzerMessage()**

Jedná se o akustickou odezvu na změnu nastavení systému vyvolanou vlivem přidržení tlačítka. Ta je volána funkcí *autoControll()*. Při aktivaci automatické regulace o překročení meze vlhkosti dojde k vybuzení integrovaného bzučáku sadou tónů o stoupající frekvenci. Při deaktivaci funkcionality se ozve sada tónů se sestupnou frekvencí.

### **connectedWifi()**

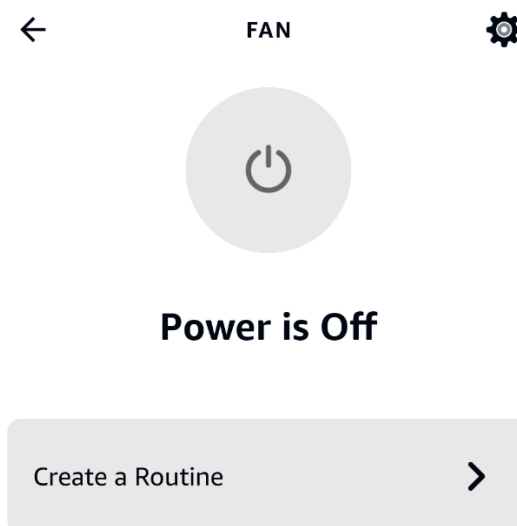
Obsahuje nezměněný kód z příkladu použití volně dostupné knihovny *espalexa.h*. Na základě poskytnutého SSID a hesla má na starosti připojení k domácí Wi-Fi síti. Informaci o úspěšném či neúspěšném připojení posílá po sériové lince.

## **7.4 Ověření funkčnosti výsledného řešení**

Před ostrým nasazením je nutno zařízení řádně otestovat. Vyzkoušet, zda všechny funkcionality pracují správně a pokusit se odhalit, jestli existuje situace, ve které by se zařízení mohlo ocitnout v nějakém neočekávaném stavu. Důležitým prvkem, který je nutno ohlídat, je výchozí pozice kroků servomotoru. V *setup()* části zdrojového kódu je nastavena výchozí poloha serva na  $0^\circ$ . Pokud se motor při ožívování systému bude nacházet v jiné pozici, začne prudkým pohybem nastavovat výchozí polohu, která nebude odpovídat aktuálnímu převodu ozubených kol. Je tedy na místě během prvního spuštění povolit aretační šroub servomotoru, motor vysunout z místa jeho usazení, a tím uvolnit převod ozubených kol. Po prvotním spuštění systému a nastavení správné pozice serva lze motor opět aretovat na své původní místo. Nyní budou kroky motoru odpovídat správné poloze při každé aktivaci sestavy.



Nyní tedy po připojení kontaktů tlačítka, okruhu ventilátoru skrze výstupní svorky relé a napájení spínaného zdroje 5 V dochází k oživení mikrokontroleru. Po krátké časové prodlevě pro připojení NodeMCU k domácí Wi-Fi síti je možné v nastavení aplikace Alexa přidat nové bezdrátové zařízení.



Obrázek 38. Vlastní zařízení v aplikaci Alexa

Po přidání lze sledovat, že zařízení se nachází ve stavu vypnuto. Po klepnutí na symbol tlačítka na obrazovce dochází k aktivaci zařízení. Nejdříve se otevírají klapky ventilátoru a po jejich úplném otevření je slyšet sepnutí kontaktu relé a rozbíhá se připojený ventilátor. Text na obrazovce je změněn na „*Power is On*“. Po opětovném klepnutí na obrazovku nejdříve rozpíná relé, ventilátor se začíná zastavovat a poté je spuštěno zavírání klapek. Vše končí ve stejné pozici, jako tomu bylo před zapnutím a následným vypnutím. Nyní je možné vyzkoušet ovládání skrze hlasového asistenta. Vyslovením klíčové fráze „*Alexa, turn on fan.*“ se opět začíná aktivovat systém. Po úspěšném otevření hlasový asistent potvrzuje provedení operace odpovědí „*Ok.*“. Stejně je tomu i při vypínání zařízení, kdy hlasový asistent po obdržení příkazu „*Alexa, turn off fan*“ také potvrzuje úspěšně dokončenou operaci. Následuje test zapínání a vypínání zařízení kombinací používání symbolu tlačítka na dotykové obrazovce a hlasového asistenta. Vše funguje v pořádku tak, jak má. To značí, že v budoucnu bude možné bezproblémově použít i tlačítko ve spodní části obrazovky s nápisem „*Create a Routine*“, kdy lze nastavovat pravidelné spouštění systému kdykoliv během dne. Posledním testem v této oblasti je dočasné odpojení domácí Wi-Fi. V tuto chvíli aplikace Alexa hlásí na kontextové obrazovce zařízení zprávu „*Device is unresponsive*“ a systém

samozejmě nelze dálkově ovládat. Po připojení k bezdrátové síti dochází k automatickému obnovení spojení mezi zařízením a Alexou a vše opět funguje bez jakéhokoliv dalšího zásahu uživatelem. Stejně se zařízení chová při výpadku a následném obnovení napájení.



Obrázek 39. Celkový pohled na zařízení z vnější strany

Následuje test skrze nástěnné zvonkové tlačítko. Při krátkém stisku dochází k aktivaci systému stejně jako k deaktivaci při stisku dalším. Ovládání pomocí tlačítka lze bez problémů kombinovat s ovládacími prvky v aplikaci Alexa. Při stisku delším než 5 sekund se ozývá integrovaný bzučák, který značí vyřazení automatického zapínání systému od nárůstu

vlhkosti. Při dalším dlouhém podržení tlačítka se funkcionalita opět aktivuje. Tóny se střídají se vzestupnou a sestupnou frekvencí přesně tak, jak mají. Při přidržení tlačítka nedochází v žádné situaci k otevírání nebo zavírání klapek. Systém umí správně rozpoznávat krátký a dlouhý stisk tlačítka.

Správná reakce systému na okolní vlhkost je testována dvěma způsoby. Umístěním nádoby s horkou vodou pod úroveň senzoru a dýcháním na samotný senzor. V obou případech systém během pár sekund reaguje, což značí prodlevu při validaci naměřených dat. Po přidržení tlačítka a vypnutí funkcionality automatické aktivace od vlhkosti nedochází k automatickému spínání. Po dalším přidržení je funkce obnovena.

Posledním testovacím prvkem je automatický časovač. Pro potřeby testu je doba automatického vypnutí ventilátoru a zavření klapek nastavena na jednu minutu. Při aktivaci systému libovolným aktivačním prvkem dochází po uplynutí jedné minuty spolehlivě k jeho vypnutí.

Všechny funkce systému byly odzkoušeny a všechny fungují dle očekávání. Program mikrokontroleru je tedy odladěn dobře. Celý systém je nyní připraven na ostrý provoz.

## ZÁVĚR

Cílem této práce nebylo pouze popsat obecné principy 3D tisku a zkonstruovat zadaný výrobek. Hlavní myšlenka se dokonce nevyskytuje ani v zadání. Musí být předána čtením této práce jako celku. Snaží se zasvětit čtenáře do problematiky 3D tisku. Do toho, jak musí konstruktér přemýšlet, když chystá nějaký komplexní projekt. Poukázat na to, že plánování nezahrnuje pouze modelování a výběr materiálu, ale celou škálu dalších věcí. Naznačit, že omezení a hranice při použití 3D tisku závisí v podstatě jen na představivosti a množství zkušeností, kterými tiskař disponuje. Práce se snaží ukázat, že potenciál aditivní výroby nespočívá pouze v tisku o sobě samém, ale že jeho síla tkví především v propojení s různými technickými nebo dokonce lékařskými obory. Z práce je také patrné, že 3D tisk není zdaleka jen hobby záležitostí, a že hlavní slovo dostává čím dál častěji při použití v průmyslu.

Teoretická část práce byla rozdělena do několika kapitol. Úvodní kapitola měla za úkol zobrazit obecný princip aditivní výroby. V dalších částech bylo postupně rozebráno, jaké principy se ve 3D tisku používají a jaké jsou dostupné materiály. Dále byl představen software, který se dělí na modelovací a slicovací, přičemž druhý zmíněný je charakteristický přímo pro tuto disciplínu. Zvlášť byly rozebrány hlavní parametry, které nejvíce ovlivňují tisk, kde se na základě jejich nastavení odvíjí výsledná kvalita tisku, přičemž takovéto ladění se obvykle provádí metodou pokus omyl.

Praktická část se věnovala propojení užitečnosti 3D tisku s dalšími vývojovými prvky. Jednalo se o návrh systému fungujícího jako zařízení v chytré domácnosti. Pomocí 3D tisku byla zhotovena konstrukce klapky ventilátoru, která byla osazena elektronikou, v jejímž srdci byl umístěn mikrokontroler platformy NodeMCU s populárním ESP modulem pro bezdrátové připojení k domácí síti a možnosti jeho hlasového ovládní skrze chytrého asistenta Amazon Alexa. Zařízení bylo osazeno několika dalšími elektronickými součástkami pro více možností jeho ovládní jako je automatické spínání od překročení stanovené meze vlhkosti.

Pro účely praktické části práce byl navrhnout 3D model v programu Autodesk Fusion 360, jehož projekt je součástí přílohy práce. Dále byl sepsán zdrojový kód pro mikrokontroler NodeMCU, který obsahuje funkcionality pro řízení zhotoveného systému. Zdrojový kód byl podrobně popsán, a to jak v samostatné podkapitole v praktické části práce, tak přímo ve zdrojovém kódu, který je také součástí přílohy.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] STŘÍTESKÝ, Ondřej a et al. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [Online]. Praha: Prusa Research a.s., 2019 [cit. 12.2.2022]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
- [2] TURNEY, Drew. History of 3D Printing: It's Older Than You Think. *Redshift* [Online]. 31.8.2021 [cit. 12.2.2022]. Dostupné z: <https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>
- [3] A Detailed History of 3D Printing. In: *3DInsider* [online]. [cit. 12.2.2022]. Dostupné z: <https://3dinsider.com/3d-printing-history/>
- [4] HAUSMAN, Kalani Kirk a Richard HORNE. *3D printing for dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-66075-1.
- [5] How 3D Printing Works?. In: *My3Dconcepts.com* [online]. [cit. 12.2.2022]. Dostupné z: <http://my3dconcepts.com/explore/how-3d-printing-works/>
- [6] Komponenty FFF tiskárny. In: *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. 2019 [cit. 18.2.2022]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
- [7] O'CONNELL, Jackson. The Types of FDM 3D Printers (Cartesian, CoreXY, & More). *All3DP* [Online]. 4.10.2020 [cit. 18.2.2022]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
- [8] Original Prusa MINI+. In: *Prusa Research* [online]. [cit. 8.2.2022]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/castecne-sestavena-3d-tiskarna-original-prusa-mini-4/>
- [9] KELLY, Rachel. Multi-material 3D Printer: Types & Printing Guide. *All3DP* [Online]. 19.2.2022 [cit. 20.2.2022]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/multi-material-3d-printing-an-overview/>
- [10] Our industrial 3D printers. In: *AMTech* [online]. [cit. 20.2.2022]. Dostupné z: <https://amtech3d.com/tractus3d/>
- [11] PRO2 3D Printer. In: *Sculpto* [online]. [cit. 20.2.2022]. Dostupné z: <https://sculpto.eu/store/>
- [12] 3DWithUs. *Best Conveyor Belt 3D Printers in 2022* [Online]. 8.3.2022 [cit. 11.3.2022]. Dostupné z: <https://3dwithus.com/conveyor-belt-3d-printers>

- [13] Creality CR-30: The 3DPrintMill,Infinite-Z, Belt 3D Printer.  
In: *Creality* [online]. [cit. 8.3.2022]. Dostupné z:  
<https://www.creality3dofficial.com/products/cr-30-infinite-z-belt-3d-printer>
- [14] Resin expert. *What is Resin Made of – Epoxy Resin Compared to Polyester Resin* [Online]. 6.12.2020 [cit. 10.3.2022]. Dostupné z:  
<https://resin-expert.com/en/guide/what-is-resin>
- [15] SLA (Stereolitografie). In: *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online].  
2019 [cit. 10.3.2022]. Dostupné z:  
[https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
- [16] Photon M3. In: *Anycubic* [online]. [cit. 10.3.2022]. Dostupné z:  
<https://www.anycubic.com/collections/3d-printers/products/photon-m3>
- [17] KAUPPILA, Ile. The Best SLS 3D Printers of 2022 – Buyer’s Guide. *All3DP*  
[Online]. 15.3.2022 [cit. 18.3.2022]. Dostupné z:  
<https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/>
- [18] Stratasys Direct Manufacturing. In: *YouTube* [Online]. 22.11.2017  
[cit. 18.3.2022]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=yiUUZxp7bLQ>
- [19] KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*.  
Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.
- [20] KONDO, Hironori. How to Dry Filament: PLA, ABS, & Nylon. *All3DP*  
[Online]. 23.5.2021 [cit. 25.3.2022]. Dostupné z:  
<https://all3dp.com/2/how-to-dry-filament-pla-abs-and-nylon/>
- [21] Wet Material. In: *Pinshape* [online]. 2017 [cit. 25.3.2022]. Dostupné z:  
<https://pinshape.com/blog/how-to-3d-print-with-nylon/>
- [22] ÜBEL, Max von. 3D Printing Materials – The Ultimate Guide. *All3DP*  
[Online]. 4.11.2021 [cit. 25.3.2022]. Dostupné z:  
<https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>
- [23] CONRADIE, Danie. PetBot: Turn PET bottles into filament. *Hackday*  
[Online]. 29.6.2021 [cit. 25.3.2022]. Dostupné z:  
<https://hackaday.com/2021/06/29/petbot-turn-pet-bottles-into-filament/>

- [24] KONDO, Hironori. 3D Printing with PETG: 5 Simple Tips. *All3DP* [Online]. 10.3.2022 [cit. 25.3.2022]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printing-with-petg-how-to-succeed/>
- [25] STŘÍTESKÝ, Ondřej. Prusament ASA je tady. Jak a co tisknout s nástupcem ABS?. *Prusa Research* [Online]. 13.8.2019 [cit. 26.3.2022]. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/cs/prusament-asa-je-tady-jak-a-co-tisknout-s-nastupcem-abs\\_30636/](https://blog.prusa3d.com/cs/prusament-asa-je-tady-jak-a-co-tisknout-s-nastupcem-abs_30636/)
- [26] SANLADERER, Thomas. Carbon Fiber 3D Prints stronger than STEEL - from Anisoprint! In: *YouTube* [Online]. 27.9.2019 [cit. 27.3.2022]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=YI8y7rwSMFk>
- [27] PVA. In: *Simplify3D* [online]. © 2022 [cit. 27.3.2022]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pva/>
- [28] What is the Most Flexible Filament? In: *Pick 3D printer* [Online]. 2022 [cit. 27.3.2022]. Dostupné z: <https://pick3dprinter.com/flexible-3d-printing-material/>
- [29] Kompozitní materiály. In: *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. 2019 [cit. 27.3.2022]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
- [30] ALL3DP. *STL File Format: Everything You Need to Know* [Online]. 28.10.2021 [cit. 30.3.2022]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/stl-file-format-3d-printing/>
- [31] PIRES, Ricardo. 3MF File Format (3D Printing) – Simply Explained. *All3DP* [Online]. 8.10.2018 [cit. 30.3.2022]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3mf-file-format-3d-printing-simply-explained/>
- [32] Specification. *3MF Consortium* [online]. ©2020 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://3mf.io/specification/>
- [33] Autodesk [online]. © 2020 [cit. 8.4.2022]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/fusion-360/>
- [34] Tinkercad [online]. © 2022 [cit. 8.4.2022]. Dostupné z: <https://www.tinkercad.com/>
- [35] Blender [online]. [cit. 8.4.2022]. Dostupné z: <https://www.blender.org/>

- [36] Aniwaa. *3D scanning technologies and the 3D scanning process* [Online]. 5.8.2021 [cit. 9.4.2022]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>
- [37] What would Henry Ford think about 3D scanning a vehicle?. In: *Shinning 3D* [online]. 2020 [cit. 9.4.2022]. Dostupné z: <https://www.einscan.com/applications/designing-a-custom-motorcycle-with-einscan-pro-2x-plus/>
- [38] *Thingiverse* [online]. [cit. 9.4.2022]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/>
- [39] *Ultimaker* [online]. © 2011-2022 [cit. 10.4.2022]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>
- [40] *Prusa Research* [online]. [cit. 10.4.2022]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/>
- [41] *Simplify3D* [online]. © 2022 [cit. 10.4.2022]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/>
- [42] CAROLO, Lucas. 3D Printer G-Code Commands: Full List & Tutorial. *All3DP* [Online]. 7.5.2021 [cit. 12.4.2022]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-g-code-commands-list-tutorial/>
- [43] KARBON, Dan a Tom HERR. What is G-Code? What is M-Code? What Do They Mean in CNC Machining?. *Stecker machine company* [Online]. 13.7.2021 [cit. 12.4.2022]. Dostupné z: <https://www.steckermachine.com/blog/g-code-and-m-code-programming>
- [44] CHERDO, Ludivine. The 13 best construction 3D printers in 2022. *Aniwaa* [Online]. 6.1.2022 [cit. 13.4.2022]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-printers/house-3d-printer-construction/>
- [45] BROOM, Douglas. This ceramic ink can 3D-print bones directly into a patient's body. Here's how. *World economic forum* [Online]. 12.8.2021 [cit. 13.4.2022]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2021/04/3d-printer-bones-surgery-medicine/>
- [46] Alexa features. *Amazon* [online]. © 1996-2022 [cit. 14.4.2022]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=21576558011>
- [47] *NodeMCU* [online]. © 2014-2018 [cit. 16.4.2022]. Dostupné z: <https://www.nodemcu.com/>



- [48] NodeMCU ESP8266 WiFi vývojová deska. *RPishop.cz* [online]. © 2022 [cit. 16.4.2022]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/prototypovaci-desky/1944-nodemcu-esp8266-wifi-vyvojova-deska.html>
- [49] Servo SG90 9g micro motor. *Drátek.cz* [online]. [cit. 16.4.2022]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/897-eses-servo-motor-9g.html>
- [50] Relé modul 1x 10A/250V s optickým oddělením. *RPishop.cz* [online]. © 2022 [cit. 16.4.2022]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/moduly/1640-rele-modul-1x-10a250v-s-optickym-oddelenim.html>
- [51] IIC I2C Senzor Teploty a Vlhkosti HTU21D. *Drátek.cz* [online]. [cit. 16.4.2022]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1487-iic-i2c-senzor-teploty-a-vlhkosti-htu21d.html>
- [52] Echo Dot (3rd Gen, 2018 release) - Smart speaker with Alexa - Charcoal. Amazon [online]. © 1996-2022 [cit. 18.4.2022]. Dostupné z: [https://www.amazon.com/Echo-Dot/dp/B07FZ8S74R/ref=sr\\_1\\_1?crid=3OGA99WGKN0I1&keywords=echo%2Bdot&qid=1650977748&sprefix=echo%2Bdot%2Cspecialty-aps%2C146&sr=8-1&th=1](https://www.amazon.com/Echo-Dot/dp/B07FZ8S74R/ref=sr_1_1?crid=3OGA99WGKN0I1&keywords=echo%2Bdot&qid=1650977748&sprefix=echo%2Bdot%2Cspecialty-aps%2C146&sr=8-1&th=1)
- [53] Arduino IDE. *Arduino* [online]. © 2022 [cit. 20.4.2022]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [54] ESP8266 NodeMcu Pinout. *ESP8266 Shop* [online]. © 2022 [cit. 20.4.2022]. Dostupné z: <https://esp8266-shop.com/esp8266-guide/esp8266-nodemcu-pinout/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	dvoudimenzionální
3D	trojdimenzionální
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
ASA	acrylic styrene acrylonitrile
CNC	computer numerical control
FDM	fused deposition modeling
FFF	fused filament fabrication
GPIO	general-purpose input/output
LCD	liquid crystal display
MCU	microcontroller unit
PLA	polylactic acid
PETG	polyethylene terephthalate glycol
PVA	polyvinyl alcohol
SLA	stereolithography
SLS	selective laser sintering
HW	hardware
SSID	service Set Identifier
STL	stereolitography
SW	software
TPU	thermoplastic polyurethanes
UV	ultraviolet
Wi-Fi	wireless Fidelity
XML	extensible markup language

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1. První 3D tiskárna z roku 1983 [3] .....	11
Obrázek 2. Obecný princip 3D tisku pomocí FFF metody [5] .....	12
Obrázek 3. Sestava extruderu [6].....	13
Obrázek 4. FDM tiskárna Prusa MINI+ [8].....	15
Obrázek 5. FDM tiskárny typu Delta značky Tractus 3D [10].....	16
Obrázek 6. FDM tiskárna typu .....	16
Obrázek 7. FDM tiskárna typu Belt značky Creality [13] .....	17
Obrázek 8. Komponenty SLA tiskárny [15].....	18
Obrázek 9. Způsoby UV osvětlení v SLA tisku [15] .....	18
Obrázek 10. SLA tiskárna.....	19
Obrázek 11. Princip tisku pomocí SLS metody [18] .....	20
Obrázek 12. Příklad tisku materiálem suchým .....	22
Obrázek 13. Defekt podložky od teplotní deformace PETG [24] .....	23
Obrázek 14. Podpěry z materiálu PVA [27] .....	25
Obrázek 15. Preumatika tištěná z materiálu TPU [28] .....	25
Obrázek 16. Výtisk z .....	26
Obrázek 17. Vytažení objemového tělesa v programu Autodesk Fusion 360.....	28
Obrázek 18. Rozhraní nástroje Tinkercad ve webovém prohlížeči [34] .....	29
Obrázek 19. Pracovní prostředí programu Blender [35].....	30
Obrázek 20. Práce s 3D skenerem [37].....	30
Obrázek 21. Přehled tiskových výplní nabízených programem PrusaSlicer .....	34
Obrázek 22. Tisk předmětu při různých hustotách výplně .....	36
Obrázek 23. Tisk předmětu při různých výškách vrstvy .....	36
Obrázek 24. (zleva) model s podpěrou, výtisk s podpěrou a po odstranění podpěry .	37
Obrázek 25. Náhled na řešený problém.....	41
Obrázek 26. Model klapky v uzavřeném (nahore) a otevřeném stavu (dole).....	42
Obrázek 27. Díly první části sestavy .....	43
Obrázek 28. Díly druhé části sestavy.....	44
Obrázek 29. Platforma NodeMCU [48].....	45
Obrázek 30. Servomotor [49] .....	46
Obrázek 31. Relé [50].....	46
Obrázek 32. Senzor vlhkosti [51] .....	46

---

Obrázek 33. Rozměry nosných dílů konstrukce .....	47
Obrázek 34. Správný postup při tisku táhla .....	48
Obrázek 35. Schéma zapojení.....	49
Obrázek 36. Pohled na sestavené zařízení (bez krytu elektroniky) .....	51
Obrázek 37. Označení pinů u platformy NodeMCU [54] .....	52
Obrázek 38. Vlastní zařízení v aplikaci Alexa .....	56
Obrázek 39. Celkový pohled na zařízení z vnější strany .....	57

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Přehled tiskových výplní a jejich vliv na dobu tisku a spotřebu materiálu .....	35
Tabulka 2. Pořizovací cena komponent systému.....	47

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I CD obsahující zdrojový kód s potřebnými knihovnamy a projekt modelu klapky ventilátoru z programu Autodesk Fusion 360