



**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta pedagogická**

**Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy**

**3D tisk**  
**nové možnosti ve výuce technických předmětů**

**Diplomová práce**

**Bc. Pavel MOC**

Učitelství Informatiky a Technické výchovy na ZŠ

Akademický rok 2014 – 2015

Vedoucí práce: Mgr. Jan Krotký

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

Horní Bříza dne 1. dubna 2015

.....  
vlastnoruční podpis

## Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval především vedoucímu práce panu Mgr. Janu Krotkému za ochotně věnovaný čas, technickou pomoc, mnohé připomínky a komentáře.

Děkuji

# Obsah

<b>1</b>	<b><i>Cíl práce</i></b> .....	<b>1</b>
1.1	Hypotéza řešení .....	1
<b>2</b>	<b><i>Myšlenka 3D tisku</i></b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b><i>Historie</i></b> .....	<b>5</b>
3.1	Historický vývoj .....	5
3.2	Shrnutí vývoje.....	7
<b>4</b>	<b><i>Současné trendy</i></b> .....	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>3D tiskárny na trhu</b> .....	<b>8</b>
4.1.1	Tisková plocha.....	10
4.1.2	Tloušťka tisku .....	10
4.1.3	Průměr trysky.....	10
4.1.4	Rychlost tisku .....	11
4.1.5	Přesnost tisku.....	11
4.1.6	Materiál pro tisk.....	11
4.1.7	Podporované formáty pro tisk .....	12
4.1.8	Ostatní parametry .....	12
4.1.9	Porovnání tiskáren .....	13
<b>4.2</b>	<b>Využití v průmyslu</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3</b>	<b>Vojenské využití</b> .....	<b>16</b>
4.3.1	Náhradní díly.....	16
4.3.2	Ruční palné zbraně z 3D tiskárny .....	17
4.3.3	Technologie MIM .....	20
<b>4.4</b>	<b>Využití ve školství</b> .....	<b>22</b>
4.4.1	Základní škola I. stupeň.....	22
4.4.2	Základní škola II. stupeň.....	23
4.4.3	Gymnázia .....	25
4.4.4	Střední školy.....	26
4.4.5	Vysoké školy.....	27
<b>4.5</b>	<b>Další využití</b> .....	<b>28</b>
<b>4.6</b>	<b>Modely pro 3D tisk</b> .....	<b>29</b>
<b>4.7</b>	<b>Právní aspekty 3D tisku</b> .....	<b>30</b>

<b>5</b>	<b><i>Problematika tisku 3D tiskárny CubeX.....</i></b>	<b>32</b>
5.1	Vznik hypotézy .....	34
5.2	Vliv teploty okolí na kvalitu tisku.....	34
5.3	Řešení .....	36
5.4	Technické provedení vyhřívání .....	37
5.4.1	Výroba vyhřívání podložky .....	37
5.4.2	Nevhodná orientace vyhřívací podložky .....	40
5.4.3	Montáž vyhřívací podložky do tiskárny .....	43
5.4.4	Nové řešení vyhřívací podložky .....	46
5.5	Regulace teploty .....	48
5.5.1	Výroba regulace .....	49
5.5.2	Čidlo měření .....	51
5.5.3	Napájení vyhřívání .....	54
5.6	Finální sestavení a odzkoušení .....	54
5.6.1	Montáž regulace .....	55
5.6.2	Odzkoušení vyhřívání .....	56
<b>6</b>	<b><i>Hypotéza optimální teploty.....</i></b>	<b>60</b>
6.1	Vytvoření zkušebního vzorku pro tisk .....	61
6.1.1	Práce s programem 3D modelování.....	61
6.1.2	CubeX – 3D Systems.....	65
6.2	Ověřování a měření .....	67
6.3	Experiment .....	68
6.3.1	Hypotéza .....	68
6.3.2	Postup při experimentu .....	69
6.3.3	Experiment 1 – 35°C .....	70
6.3.4	Experiment 2 – 40°C .....	74
6.3.5	Experiment 3 – 45°C .....	76
6.3.6	Experiment 4 – 50°C .....	78
6.3.7	Experiment 5 – 55°C .....	80
6.3.8	Experiment 6 – 60°C .....	82
6.3.9	Experiment 7 – 65°C .....	84
6.3.10	Experiment 8 – 70°C.....	86
<b>7</b>	<b><i>Vyhodnocení experimentů.....</i></b>	<b>87</b>
7.1	Vliv teploty na tisk .....	87

7.1.1	Vyhodnocení experimentu 1 – 35°C .....	88
7.1.2	Vyhodnocení experimentu 2 – 40°C .....	88
7.1.3	Vyhodnocení experimentu 3 – 45°C .....	89
7.1.4	Vyhodnocení experimentu 4 – 50°C .....	89
7.1.5	Vyhodnocení experimentu 5 – 55°C .....	89
7.1.6	Vyhodnocení experimentu 6 – 60°C .....	90
7.1.7	Vyhodnocení experimentu 7 – 65°C .....	91
7.1.8	Vyhodnocení experimentu 8 – 70°C .....	91
<b>7.2</b>	<b>Vznik nového problému .....</b>	<b>91</b>
<b>7.3</b>	<b>Shrnutí .....</b>	<b>92</b>
7.3.1	Přesnost tisku .....	92
7.3.2	Zachování rozměrů vzorku .....	93
<b>8</b>	<b><i>Stanovení vhodné teploty .....</i></b>	<b>96</b>
<b>8.1</b>	<b>Doporučení.....</b>	<b>97</b>
8.1.1	Teplota .....	97
8.1.2	Fixace tisknutého vzorku.....	99
8.1.3	Zpětná vazba v tiskárně .....	99
8.1.4	Konstrukce .....	100
<b>8.2</b>	<b>Závěrečný pokus .....</b>	<b>102</b>
<b>9</b>	<b><i>Závěr .....</i></b>	<b>106</b>
<b>10</b>	<b><i>Resumé .....</i></b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b><i>Summary.....</i></b>	<b>110</b>
	<b><i>Použité zdroje informací.....</i></b>	<b>112</b>
	<b><i>Seznam obrázků a tabulek .....</i></b>	<b>114</b>
	<b><i>Evidenční list.....</i></b>	<b>117</b>

# 1 Cíl práce

Při tisku na 3D tiskárně s použitím plastu PLA docházelo v některých případech k mírnému pokroucení materiálu, které se navenek projevovalo prohnutím tisknuté součástky. Toto prohnutí bylo někdy větší a někdy menší. Příčina tohoto jevu je způsobena pnutím materiálu při jeho postupném ochlazování. Při tisku součástí, jejichž tvar je nízký, tedy celkový objem materiálu je menší, lze pozorovat celkové menší pokroucení. V zásadě je při jisté teplotě možno tuto chybu odstranit ručním dorovnáním materiálu. Nutno ale připomenout, že takové dorovnání není přené a nelze jej považovat za profesionální a koncepční řešení.

Způsobem řešení výše popsaného jevu se zabývá tato práce. Při hledání řešení se nabízelo hned několik více či méně „zcestných“ způsobů řešení. Například celkové vyhřívání prostoru tisku nebo umístění celé tiskárny ve vyhříváném prostoru. Bohužel všechny tyto metody přinášejí potřebu ohřívat celou tiskárnu na teplotu v řádech desítek stupňů. Protože vlastní tiskárna obsahuje elektronické součásti, napájecí zdroj atd., je značné riziko, že bude docházet k přehřívání vlastních součástí tiskárny a k jejímu postupnému poškození. To ani nehovořím o neekonomickém vyhřívání velkého prostoru.

## 1.1 Hypotéza řešení

Z předcházejícího je patrné, že cesta pro řešení se nabízí ve vyhřívání tiskárny, ale nikoliv tiskárny jako celek, ale jen vlastní podložky pro tisk. Díky takovému vyhřívání by docházelo k pozvolnějšimu tuhnutí materiálu po jeho vytlačení z tisknoucí trysky. Následkem toho by docházelo k zanedbatelnému pnutí materiálu, které by se navenek neprojevilo ve změně tvaru tisknutého předmětu.

Celou činnost lze rozdělit do tří základních částí, které je zapotřebí postupně vyřešit.

1. Hypotéza řešení – vyhřívání podložky 3D tiskárny.
2. Technické řešení vyhřívání podložky.
3. Regulace teploty se snímáním teploty na podložce.

4. Vytvoření hypotéz vhodných teplot podložky.
5. Praktické ověření hypotéz.
6. Shrnutí hypotéz s praktickým ověřením.
7. Výsledné doporučení.



## 2 Myšlenka 3D tisku

Před mnoha lety neznalo lidstvo ani počítač, natož 3D tiskárnu. Přesto se více či méně dařilo vyrobit mnohé součásti a předměty, které bylo třeba při běžné lidské činnosti.

Jak se postupně vyvíjely technologie zpracování materiálů, docházelo k objevování nových a stále více sofistikovaných způsobů zpracování materiálů. Začaly se objevovat nejen nové technologie opracování materiálů, ale i způsoby jejich vlastní výroby. Přesto lze tvrdit, že lidstvu pořád něco chybí? Všechny známé technologie jsou vázány na výrobní prostory výrobních podniků. Povětšinou se jedná o výrobní stroje větších rozměrů, které jen obtížně použijeme někde doma či ve škole.

Myšlenka dokázat si v domácích podmínkách vyrobit potřebnou součástku se značně složitým tvarem, se již objevovala v myšlenkách lidí dlouho. Teprve vývoj v několika posledních letech dává naději k reálnému ztvárnění takových myšlenek.

3D tisk je záležitost se kterou si lidstvo pohrává delší dobu, ale k jejímu zvládnutí je zapotřebí překonat mnoho technologických překážek. Otázek při řešení bylo mnoho, ale jako nejschůdnější cesta se jevílo pro vlastní tisk použít plastů.

Při pohledu do historie lze snad spatřit s každým vynálezem, který se dal využít doslova v každé domácnosti, jak se z myšlenky stala realita všedního dne. Jistě by se dalo poukázat na cokoliv, například automobil. Zprvu výkřik techniky, který využíval samotný vynálezce a následně jen velmi omezená skupina lidí a dnes? Automobil má takřka každý. Stejně lze poukázat na vývoj počítačů a případně tiskáren. V realitě dnešní doby naprosto samozřejmá záležitost. Ne jinak tomu bude i u 3D tisku. Dnes řešíme základní technické nedostatky, do jisté míry je vývoj 3D tisku spojen s nadšením jednotlivců, popřípadě menších skupin. Některé jsou financovány z vlastních financí, jiné mají podporu větších firem. Již dnes je mnoho firem, jež si uvědomují budoucí potenciál 3D tisku. Začíná se stále více prosazovat vývoj a objevování 3D tisku i na úrovni celosvětového bádání. Již dnes je vidět, že se jedná o nezadržitelný trend a nejen v oblasti tisku plastů, ale stále více se objevují řešení, nikoliv jen myšlenky, s tiskem kovů. Šlo by tak prakticky vyrábět vše potřebné na

místě určení? Asi ano? Představme si například autoservis, kde potřebujeme velké skladové prostory na skladování obrovského množství náhradních dílů. Ani snad nemusím nikomu připomínat, jak jednoduché by bylo potřebný díl prostě vytisknout a následně namontovat. Stejným způsobem by bylo možné postihnout mnohé oblasti lidské činnosti od profesionálního využití až po doslova každou domácnost.

Skutečné možnosti 3D tisku se nám teprve otevírají a je na lidstvu, jak je uchopí a využije.

## 3 Historie

Pohled do historie 3D tisku není nikterak dávný. Jistě je to historie, ale historie, která se vyvíjí několik posledních let. Myšlenka a první spíše nezdařené pokusy je možné nalézt již dříve. Pojdme se podívat na časový pohled vlastního vývoje.

Od vynálezu stereolitografie vynálezcem Charlesem Hullem v roce 1984 už sice uplynulo mnoho let, ale lze ji považovat za jeden z prvních pokusů prostorového tisku. V samé podstatě se jednalo o inkoustový tisk, který se postupným vrstvením měnil v prostorový tisk. Z dnešního pohledu je patrné, že toto byl jeden z prvních pokusů, které však v dnešní době nelze uplatnit. Přesto ukázal směr a především zdůraznil, že myšlenku 3D tisku lze skutečně ztvárnit a nebude se tak pravděpodobně jednat o slepou vývojovou uličku.

Dnešní požadavky jsou značně různorodé a lidstvo postupně klade další a další požadavky co by od 3D tisku očekávalo. K tomu si musíme připomenout, že vlastní vývoj 3D tisku je stále na počátku. Ačkoli se to někomu může zdát, že už je vše podstatné vynalezeno, není tomu tak. Jsme teprve na prahu naprosto nových technologií, které teprve budou hledat to správné uplatnění.

### 3.1 Historický vývoj<sup>1</sup>

**Rok 1984** – Charles Hull zkoumá v inkoustových tiskárnách fotopolymery, podaří se mu objevit určité fyzikální vlastnosti, které dokážou zajistit tuhnutí materiálu při působení UV. Tato metoda by se dala přirovnat k dnešní metodě vyplňování zubů u zubařů a jejich následné vytvrzení UV zářením.

**Rok 1986** – Je to opět Charles Hull, který získává patent na uvedenou metodu tuhnutí inkoustu vystavenému UV zářením. Svoji metodu pojmenovává Stereolitografie.

---

<sup>1</sup> CHLEBO, Martin. *Budoucnost materiálů pro 3D tisk* [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>

**Rok 1988** - 3D Systems (firma založená Charlesem Hullem) přináší veřejnosti první verzi 3D tiskárny s označením SLA 250. Současně jsou představeny světu další technologie založené na podobném principu jako stereolitografie, například spékání kovového prášku pomocí laseru.

**Rok 1992** – 3D tisk poprvé použit při tisku náhradních dílů v automobilovém a leteckém průmyslu. Ačkoliv nelze z technologického pohledu tento tisk považovat za dostačující, přesto se jedná o značný vývojový mezník.

**Rok 1999** – Vytvoření části orgánu, jež jsou potažené pacientovými vlastními buňkami, způsobuje doslova převrat v medicínském průmyslu a otevírá nové možnosti při transplantaci orgánů.

**Rok 2002** – Opět v medicíně, ale tentokrát jde o vytištění první funkční ledviny, která je následně úspěšně použita při transplantaci pro zvíře.

**Rok 2005** – Tento rok lze považovat za jistý mezník od kdy lze tvrdit, že nastala 3D revoluce. Dr. Adrian Bowyer na Univerzitě v Bath zakládá RepRap, open – source iniciativu vyrobit 3D tiskárnu, která je schopna replikovat většinu svých součástí a tím umožní snížit náklady na výrobu a případnou distribuci. Díky tomuto kroku lze vlastní 3D tiskárnu relativně snadno a rychle postavit kdekoli na světě.

**Rok 2008** – Vychází první verze z projektu RepRap, samoreplikační tiskárna Darwin, která je schopná vytisknout většinu vlastních komponentů, vyjma elektronických částí a elektrických pohonů. Lidé, kteří vlastní takovou tiskárnu, jsou následně schopni vytisknout další a dále tak šířit 3D tisk. 3D tisk následně proniká do protetiky. „Vytištění“ komplexní protézy nohy skládající se z několika částí nebo části lebky jsou příklady, jež se stávají realitou. Dále je představen revoluční Connex500<sup>™</sup> rapid prototyping systém – první systém, který umožňuje výrobu 3D dílů pomocí různých druhů materiálů současně!

**Rok 2009** – Pomocí 3D biotiskárny se společností Organovo podaří vytisknout organické cévy použitelné při transplantaci pro lidského pacienta. MakerBot,

OpenSource je společnost, která začíná vyrábět DIY díly, ze kterých si domácí uživatelé mohou sami poskládat 3D tiskárnu.

**Rok 2010** – Společnost Stratasys zavádí novou službu RedEye on Demand, sloužící na tisk větších 3D objektů. Stratasys prezentuje první prototyp automobilu Urbee v životní velikosti. Jeho celá karoserie a všechny externí díly jsou vytištěny.

**Rok 2011** – Vědci na Cornell University oznámí světu počátek vývoje 3D tiskárny na výrobu jídla. Univerzita Brunel ve spolupráci s Univerzitou Exeter vyrábějí první 3D tiskárnu na čokoládu. Technici z Univerzity v Southamptonu sestrojili pomocí 3D tisku první bezpilotní letadlo – drona. Výroba trvala 7 dní. Díky této technologii se podařilo značně snížit celkové náklady na výrobu takového letadla. Vídeňská Technická Univerzita prezentuje nejmenší 3D tiskárnu vážící 1,5 kg.

**Rok 2012** – Lékaři v Nizozemsku si od společnosti LayerWise nechají vytvořit novou spodní čelist pro pacientku, které tuto protetiku následně úspěšně implantují.

### 3.2 Shrnutí vývoje

Po roce 2003 dochází k objevení nové technologie Polyjet, která pracuje s fotopolymerem, který je v tenkých vrstvách nanášen na podložku. Tisknoucí hlavice taví plast, který je dodáván ze zásobníku. Postupně je plast nanášen ve dvou rozměrech a následně po nanesení na celou potřebnou plochu se podložka pohybuje v třetím rozměru, kdy se postupně nanese opět další vrstva. Používané materiály pro tisk se využívají akrylonitrilbutadienstyren (ABS), polylaktid (PLA) či polyethylen (HDPE).

Technologie tisku roztaveným plastem je snadno zvládnutelná lze ji snadno aplikovat na malé tiskárny, které najdou uplatnění jak v domácnostech, tak i ve školách. Příkladem takové domácí tiskárny je RepRap, který je vyvíjen mezinárodní DIY/ Maker komunitou a jeho kompletní návrh je volně k dispozici jako otevřený hardware, který tak může použít kdokoliv.

## 4 Současné trendy

Za posledních několik let jsme svědky obrovského boomu 3D tiskáren. Jak je již uvedeno dříve, vše mělo svůj historický vývoj, ale teprve několik posledních let znamenalo doslova revoluci. Využití 3D tisku se nejen rozvíjí technicky, ale hledají se různé způsoby provedení, velikosti a druhu materiálu použitého pro tisk.

Ptáme se jaké použití je vhodné pro 3D tisk? Na tuto otázku lze jistě dle znalosti dnešních technologií relativně snadno odpovědět, ale tím hledáme věci známé. Skutečnost je trochu jiná. Jistě na počátku byla myšlenka o vytisknutí si jakéhokoliv náhradního dílu, popřípadě celého zařízení.

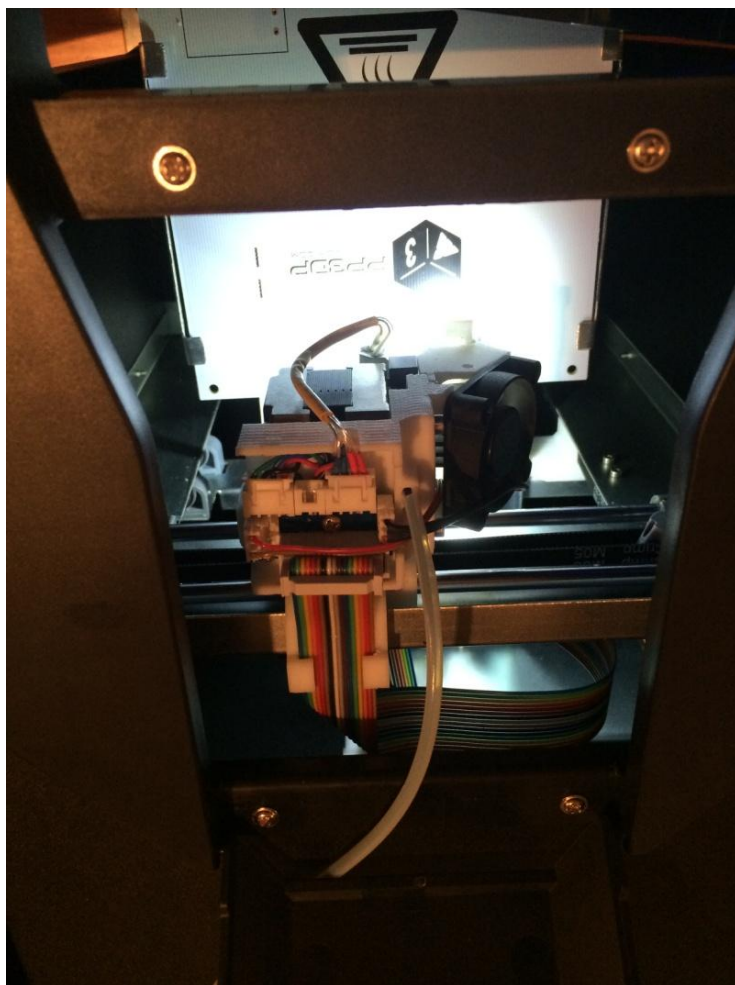
V tomto ohledu lze jít v zásadě dvěma směry. Jeden je celkem logický, vyrobíme příslušné díly a následně je sestavíme. To je to klasické, co napadne mnohé.

Druhý způsob je pro většinu lidí nemyslitelný a zní tak trochu jako z románu Julese Verna. Jedná o možnost tisku celého zařízení najednou. Veškeré díly jsou tak tištěny společně v jednom systému a po vyjmutí z tiskárny jsou funkční. Máte pocit, že to nejde? Jde, viz následující kapitola.

### 4.1 3D tiskárny na trhu

Ještě před několika lety nebyl problém se v nabídce tiskáren lehce zorientovat. Za posledních několik let došlo ke značnému nárůstu této komodity a výrobci se předhánějí, kdo nabídne tiskárnu s lepšími parametry za výhodnější cenu. Situace na dnešním trhu se tak stává značně nepřehlednou, protože je stále více nabídek.

Konstrukce a provedení 3D tiskáren se značně liší, stejně tak se liší jejich schopnosti a výsledná cena. Jedním drobným příkladem je malá domácí tiskárna, která zvládne vytisknout drobnější náhradní díly pro domácnost. Velikost celého zařízení je cca jako stolní PC, který svým designem do jisté míry připomíná. V roce 2014 byla cena této sestavy něco málo přes 25 000,-Kč.



Obrázek 1 3D tiskárna PP3DP

V souvislosti s rozmachem tiskáren na trhu je třeba při jejich výběru vážít mnoho parametrů. Jedná se především o několik základních, které je třeba vážít. V neposledním případě rozhoduje i cena.

Parametry:

- Tisková plocha.
- Tloušťka tisku.
- Průměr trysky.
- Rychlost tisku.
- Přesnost tisku.
- Materiál pro tisk.
- Podporované formáty pro vlastní tisk.
- Ostatní parametry.

### 4.1.1 Tisková plocha

Je velikost, na kterou je schopna tiskárna tisknout. Zpravidla se udává jako plocha v mm x mm a výška v mm. Vzhledem k tomu, že se jedná o 3D tisk, je třeba si uvědomit, že tyto rozměry jsou ve třech rozměrech. Některé tiskárny pracují relativně s malou plochou tisku, a to kolem 100mm ve všech směrech, ale jsou i takové, které dokážou pracovat s rozměry 400 x 400mm a na výšku ještě o něco více okolo 500mm.

Z pohledu uživatele se jedná o jednu ze základních informací při výběru. Zpravidla čím větší prostor pro tisk, tím i vyšší cena. Musíme si dobře rozmyslet, jak velké předměty budeme tisknout.

### 4.1.2 Tloušťka tisku

Jedná se o rozměr v mm. Čím je tato hodnota nižší, tím je výsledný tvar přesnější. Jestliže bude mít tvar tisknutého předmětu značné jemné výstupky, bude jejich tisk přesnější. Jako příklad lze použít příměr, kdy je zapotřebí vytisknout slabou šupinu. Její síla bude minimálně tak slabá, jak je schopna být nejslabší jedna vrstva tisku.

Na vlastní přesnost tisku má vliv ještě jedna záležitost a to přesnost pohonů a konstrukce. Pokud pomineme nekvalitní konstrukci, zbývají pohony. V podstatě krokový motor má jeden krok odpovídající určité výseči z 360° a tomuto kroku odpovídá délka pohybu dle stoupání závitové tyče. V praxi to znamená, že jeden krom motoru odpovídá přesně konkrétní vzdálenosti. Tuto hodnotu pak musíme považovat jako maximální přesnost.

V praxi se nejedná o až tak zásadní údaj, zpravidla tiskneme celé díly, kde jejich detaily zpravidla nejsou menší, jak nejmenší síla tisku.

### 4.1.3 Průměr trysky

Pohybuje se zpravidla od několika desetin mm až po něco málo přesahující rozměr 1mm. Opět se jedná o poměrně zásadní údaj. Čím je tryska menšího průměru, tím dokáže tiskárna pracovat přesněji, i když v přesnosti samozřejmě záleží ještě na několika dalších důležitých aspektech. Přesto bude-li síla trysky například 1mm, nelze



dosáhnout vyšší přesnosti jak 1mm i při sebedokonalejší konstrukci a přesnosti pohonů.

Na stranu druhou čím bude menší průměr trysky, tím bude tiskárna tisknout pomaleji, protože potřebné množství plastu bude protékat pomaleji, tedy menším průměrem. Opět záleží, co chceme a s jakou přesností tisknout. Níže je popsán příklad tisku planetové převodovky, v takovém případě potřebujeme sílu trysky v řádu několika desetin mm.

#### 4.1.4 Rychlost tisku

Aspekt, který může být pro někoho zásadní více a pro jiného méně. Záleží především, co vše budeme chtít tisknout a především v jakém množství. Je třeba mít na paměti, že potřebný čas na tisk roste s třetí mocninou. Tiskneme-li objekt, který má tři rozměry, tak pokud jej zvětšíme, zvětšují se všechny rozměry. Neplatí, že pokud jej zvětšíme jednou tolik, bude tisknout dvakrát takový čas.

Dále na rychlost tisku má vliv přesnost tisku. Obecně platí, že čím větší přesnost, tím tiskneme pomaleji. Je to podobné, jako při tisku fotografie na papír.

#### 4.1.5 Přesnost tisku

V zásadě tato problematika již byla zmíněna, v souvislosti s průměrem trysky. Čím větší přesnost požadujeme, tím bude zapotřebí mít menší průměr trysky a zároveň budeme tisknout pomaleji.

#### 4.1.6 Materiál pro tisk

Materiálů pro tisk je celá řada. Předmětem této práce jsou především tiskárny tisknoucí plastem. Nelze opomíjet i možnosti tisku kovu, ale to je ještě málo probádaná kapitola technologií 3D tisku, především proto, že nejsme schopni zajistit tiskem přesnou strukturu materiálu. Složení není problém, ale struktura materiálu se dosahuje vhodným technologickým zpracováním, ale v tiskárně je problém samotné technologie tisku kovu a možnost volby tepelného průběhu zpracování není v současné době možná.

V porovnání s kovy je použití plastů mnohem dále. Různé plasty mají samozřejmě různé finální vlastnosti. Opět záleží, co od výrobku očekáváme. Asi nejznámějším je PLA A ABS plast, který se snadno taví a v tuhém stavu je značně pružný a pevný. Z těchto důvodů je hojně využití v automobilovém průmyslu, kde se z něho vyrábějí nárazníky, nebo například izraelská firma [Fobus](#) je používá na výrobu pistolových pouzder.

Dnešním trendem v materiálech je plast PLA, takzvaně plastové dřevo. Jedná se o materiál vyrobený z kukuřičného škrobu. Díky tomu je ekologický a pokud jej zahrabeme do země, bude cca během několika měsíců rozložen. Pokud jej použijeme například na hrneček, lze jej bez potíží používat na teplé i studené nápoje.

#### 4.1.7 Podporované formáty pro tisk

Používané formáty zpravidla nepředstavují zásadní problém. Především je zapotřebí, aby program, který budeme používat pro vytváření 3D modelů, byl kompatibilní s naší tiskárnou. Na druhou stranu to není zásadní podmínka. Je možné vzniklý 3D objekt vzít a překonvertovat jej do potřebného formátu.

#### 4.1.8 Ostatní parametry

V tomto případě můžeme řešit mnoho dalších aspektů, které mají jen dílčí význam a pravděpodobně pro nás nebudou zásadní.

Především můžeme řešit finální rozměry tiskárny a její případnou váhu. Tyto parametry nás budou spíše zajímat v případě častého cestování s tiskárnou.

Asi mnohem zásadní, ale nikoliv důležité, může být, jakým způsobem k tiskárně přistupujeme. U některých je možné použít jen výměnou Flash, někde je možné použít WIFI. V případě přístupu skrze počítač bude též důležitá podpora operačních systémů, ale i toto není problém. Většina tiskáren podporuje jak Windows, tak i MAC.

Případné další parametry jsou už natolik specifické, že se bude jednat o naprosto individuální přístup, který lze jen těžko paušalizovat.

#### 4.1.9 Porovnání tiskáren

Na našem trhu se vyskytuje mnoho tiskáren a je značně těžké se zorientovat. Můžeme nalézt hned několik tiskáren, které budou všechny vyhovovat našim potřebám. Mohou se tak lišit kvalitou zpracování, cenou a tedy i životností. Následující tabulka je jen příkladem pro představu, nikoliv vyčerpávajícím materiálem, který pokrývá celkovou současnou nabídku na trhu v ČR.

Tiskárny se tak liší nejen provedením a kvalitou, ale pro mnohé je značně rozhodující i cena. Rozhodně zde neplatí, že vyšší cena = vyšší kvalita. Nelze to úplně opominout, ale přesto nižší cena nemusí rozhodně znamenat snížení kvality. Jistou cestu úspory je též možno nalézt v řešení, kdy si koupíme tiskárnu jen v základní funkční sestavě. Tedy konstrukční základ, pohony a potřebná elektronika. Následně na vlastní tiskárně si dotiskneme další součásti, které rozšíří vlastnosti tiskárny, například kryty a podobně.

Tabulka 1 Základní přehled 3D tiskáren v ČR<sup>2</sup>

Typ tiskárny	tisková plocha	průměr trykty	tloušťka tisku	materiál tisku	cena v Kč
<b>3D Factories</b>	150x150x150	0,3	neudáno	PLA	40310,-
<b>MakerBot mini</b>	100x100x150	0,4	0,2	PLA, ABS	46390,-
<b>MakerBot</b>	305x305x457	0,4	0,1	PLA, ABS	192225,-
<b>be3D DeeGreen</b>	150x150x150	0,4	neudáno	Laywood, PLA	49005,-
<b>MakerBot</b>	246x152x155	0,4	0,1	PLA, ABS	76725,-
<b>3D Factories Profi</b>	400x260x190	0,3	neudáno	PLA, ABS	101301,-

#### 4.2 Využití v průmyslu

Průmyslové využití je v dnešní době druhý největší investor do vývoje a praktického využití 3D tisku. V dnešní době je vývoj 3D tisku stále více zaměřen na tisk různých druhů plastů. Jedná se o relativně jednoduše zvládnutelné technologie, které nejsou příliš náročné na finance.

<sup>2</sup> Alza: 3D tiskárny [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/>

Druhý směr, který lze pozorovat, je tisk s kovy. V tomto ohledu jsou zapotřebí technologie mnohem dražší a nejsou tak dostupné pro mnoho firem a lidí, kteří by se jistě dokázali na vývoji podílet.

Samotné použití se dnes orientuje především do oblasti tisku náhradních dílů, u kterých se neočekávají hraniční mechanické vlastnosti. Myšlenka takového tisku například pro mnohé servisy je o minimální logistice. Například poškozený díl domácího spotřebiče bude v servisu vyměněn za nový, ale nikoliv dovezený, nýbrž vyrobený na 3D tiskárně. I přes dnešní cenu 3D tiskáren a 3D produktů se dlouhodobě nevyplatí skladovat větší množství náhradních dílů již nevyráběných spotřebičů. Stejně tak by mohla 3D tiskárna na kov být využitelná v servisech automobilů. Možností je celá řada a do budoucna tomu tak jistě bude. Jistě touha výrobců je prodávat a nikoliv opravovat, ale to už je jiné téma, mimo tuto práci. Přesto při delší životnosti výrobků a snadnější opravě by jistě mnohem méně trpěla příroda!

Až doposud jsem řešil tisk jednotlivých dílů tak, jak ostatně napadá asi většinu laické veřejnosti. 3D tisk si do jisté míry hledá sám využití, nemusí to za každou cenu být jen pouhá náhrada výroby náhradních dílů, ale co takhle myšlenka, kdy vyrobíme celé funkční zařízení jako jeden kus. Tedy žádné jednotlivé díly, které pak někdo následně bude montovat dohromady. To už zní poněkud jako sci-fi. Přesto je to skutečnost, viz následující obrázek. Náhle se dostáváme do naprosto jiné dimenze použití 3D tisku, ať už se jedná o plast či kov. Nejdražší na výrobě je zpravidla cena lidské práce. Pokud něco vytiskneme, potřebujeme někoho, kdo nám to sestaví a toho je třeba zaplatit. V případě, že vytiskneme celé zařízení již hotové, nabízí se otázka úspor.

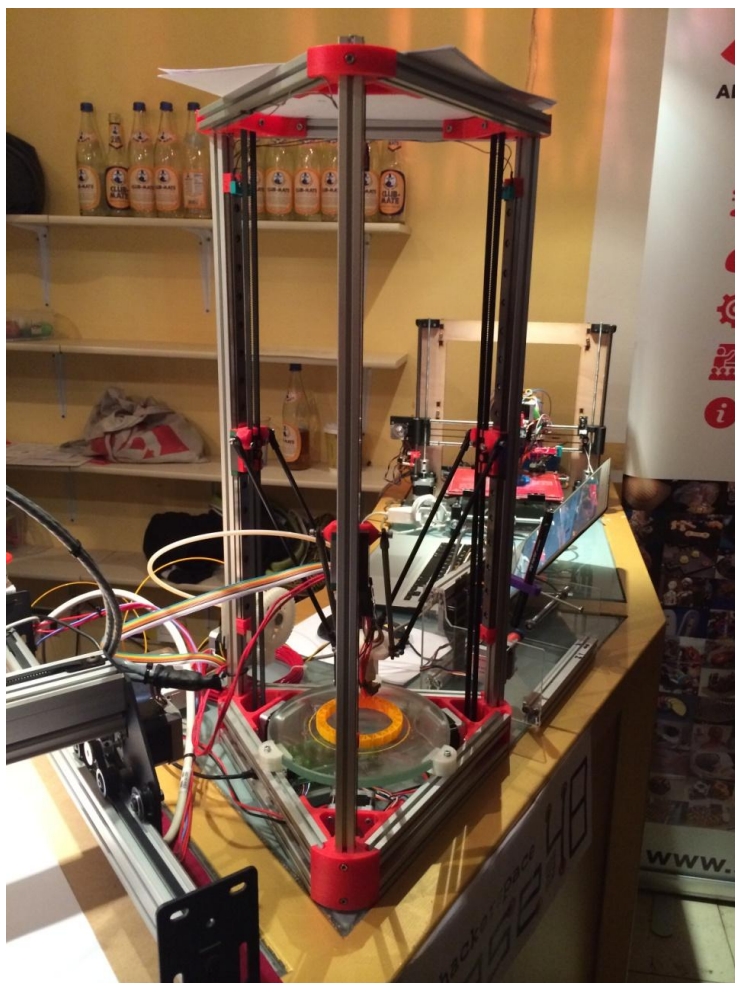


Obrázek 2 Planetová převodovka

Příkladem může být planetová převodovka. Na první pohled nic převratného, klasická konstrukce? Pokud vyrobíte jednotlivé díly, je zapotřebí je do sebe vsadit. Pokud je vše vyrobeno se správnou rozměrovou tolerancí, není problém vše smontovat dohromady. Ať už jsou použité zuby rovné nebo šikmé, je zapotřebí kolečka v sobě zafixovat, aby při otáčení nedocházelo k jejich vysouvání z celého soukolí ven. K tomu je zapotřebí využít vhodné konstrukce dalšího doplňujícího zařízení.

Ovšem v tomto případě je to jinak? Pokud bychom na ozubených kolečkách použili šípové zuby, nemusely by nám kolečka vypadávat a odpadla by boční fixace. Bohužel planetovou převodovku nelze principiálně složit dohromady, respektive poslední ozubené kolo nenasadíme mezi ostatní! Tedy pokud materiál mírně nepovolí a nevytvoří tak potřebnou vůli. Jenže o tu zpravidla nestojíme!

Na obrázku je však planetová převodovka, kde jednotlivá kola mají šikmé zuby! Podstatou je, že celá převodovka byla vyrobena najednou jako celý systém jako jeden kus. Přesnosti tisku dosahuje dostatečné úrovně, aby nedošlo ke spojení jednotlivých kol dohromady. Díky tomu byla celá převodovka po vyjmutí z tiskárny ihned funkční! Pro zajímavost je na následujícím obrázku použita tiskárna.



Obrázek 3 3D tiskárna domácí provedení

## 4.3 vojenské využití

Investice do vývoje a značné naděje lze mnohem více spatřit v případě vojenského využití. Nakonec se stačí poohlédnout do historie, kde za většinou vynálezů a konstrukcí stály armády všech možných zemí světa.

### 4.3.1 Náhradní díly

Ne jinak je tomu i v dnešní době. Jedná se především o pokusy s kovem. Smysl využití 3D tisku, je podobný jako v korporátní sféře. Především se jedná o zjednodušení zásobovací logistiky náhradními díly. Pro běžnou firmu jistě není problém v případě potřeby objednat náhradní díl, ale pokud máte vojenské operace daleko od domova, není rozhodně jednoduché takové jednotky zásobovat náhradními díly.

Myšlenka mnoha vojenských velitelů je, aby si takové vzdálené jednotky potřebné díly vyráběly sami. Bohužel v dnešní době máme dobře zmapované technologie tisku

s plastem a relativně i s kovem. Bohužel největší překážkou v tisku kovu jsou jeho zpravidla odlišné mechanické vlastnosti od požadavků. Není problém vytisknout kovovou součástku potřebného chemického složení, ale problém je dodržet správnou strukturu a ta je značně rozhodující v mechanických vlastnostech. Typickým příkladem může být lopatka turbíny proudového motoru nadzvukového letounu. Díky otáčkám v řádu desítek tisíc za minutu není současná technologie 3D tisku schopná toto zvládnout.

Z pohledu zvládnutí tisku kovu se nejedná o zásadní problém, nejedná se ani o zásadní problém v případě složení kovu, ale ovlivnit dostatečně strukturu ještě neumíme. Zde se do budoucna dá očekávat značný vývoj.

V souvislosti s armádou a informacemi je největší problém jak se k potřebným informacím dostat. Netřeba zdůrazňovat, že firmy a instituce pracující pro armády nám rozhodně nic neřeknou a zpravidla nic nezveřejňují. Informace jsou tak mnohdy kusé a jejich relevance je těžko ověřitelná.

#### 4.3.2 Ruční palné zbraně z 3D tiskárny

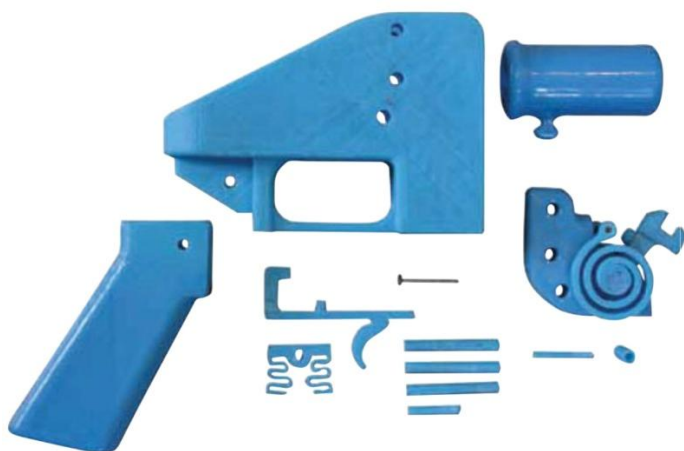
Samostatnou kapitolou vojenství je 3D tisk zbraní. Ačkoliv jsou dnes moderní zbraně vyráběny z větší části z plastu, pořád tu máme základní díly jako závěr a hlavěň, které jsou z kovu a plastem nenahraditelné.

Jisté pokusy se objevily i přes úspěšnou výrobu takové zbraně, zpravidla vše končilo jedním nebo několika výstřely, po kterých došlo k destrukci hlavně. Je třeba si uvědomit, že u nejběžnějšího náboje 9mm Luger dosahují tlaky v hlavní řádů stovek MPa! Ačkoliv se jedná o krátkodobé působení v řádu  $\mu\text{s}$ , plast takové působení prostě nevydrží. Jistě při značném předimenzování síly stěny hlavně a málo výkonné munici, například .22 Long Rifle, lze takovou konstrukci zvládnout. Stále je zde však překážka vývrtu hlavně, který je v takovém případě hladký. Stabilizace střely rotací zde není a celková přesnost střelby omezuje na krátké vzdálenosti v řádu metrů.

Jistou výjimku lze spatřit v nápadu<sup>3</sup> vyvložkovat plastový otvor kovovou vložkou, která by již mohla mít i vývrt. Taková zbraň by jistě splnila požadavky na přesnost a životnost.

Na poli výroby zbraní se plasty uplatňují již mnoho let. Nejznámějším a nejstarším provedením zbraně z plastu je firma [Glock](#), která v roce 1986 uvedla na trh zbraň, která měla plastový rám. Dnes již prakticky všechny zbrojovky světa, včetně domácí [České zbrojovky](#), vyrábějí zbraně se značným podílem plastů. V každém případě se jedná o použití plastů na rám zbraně, zásobníky a některé ovládací prvky. Na díly jako je hlaveň, závěr, pružiny a mnoho dalších dílů se stále používá kov.

Jistou „vlaštovkou“ je brazilská firma [Taurus](#) vyrábějící revolvéry, kde mají „plastovou hlaveň“. Ve skutečnosti se jedná o kovovou tenkostěnnou hlaveň vloženou do plastového pouzdra. Přesto se nejedná ryze o plastovou zbraň, protože je zde mnoho dalších kovových dílů.



Obrázek 4 Jednoranná plastová pistole

Plastová konstrukce samonabíjecí zbraně v ráži .22 Long Rifle:

---

<sup>3</sup> *Střelecká revue: Zbraně tisknuté na 3D tiskárnách.* Přemysl Liška. Praha: Pražská vydavatelská společnost, 2015, roč. 2015, č. 1. ISSN 0322-7650. Dostupné z: [www.streleckarevue.cz](http://www.streleckarevue.cz). Měsíčník.





Obrázek 5 Samonabíjecí malorážková pistole

Pokud se posuneme k tisku kovu, lze takové zbraně jistě tisknout i s relativně odpovídající kvalitou potřebnou k praktickému výstřelu. V USA je firma [Solid Concepts](#) sídlící v Kalifornii. Tato firma se zabývá zakázkovou výrobou zbraní, kdy na základě požadavku zákazníka vyrobí přesný druh zbraně. Jistě je levnější příslušnou zbraň si koupit, ale pokud jde o zbraně již nevyráběné, popřípadě zbraně značně staré, ze kterých není rozhodně bezpečné střílet? Proč této nabídky nevyužít? Co se bohužel nepodařilo s přesností zjistit, zda pro vlastní výrobu zbraně firma používá již hotové hlavně. Vzhledem k jistým specifikům kladeným na takový materiál by tisk hlavně nemusel být v dostatečné kvalitě. Zároveň u některých moderních zbraní lze krom tisku kovových součástí zvolit i levnější tisk z plastu některých vybraných součástí.

V neposlední řadě je třeba připomenout, že firma má na vše potřebná povolení a je tak vše legální. Zbraně mají potřebná označení a lze je tak registrovat a legálně používat. Stránky firmy jsou v anglickém jazyce, ale zajímavý článek o tisku zbraní a uvedené firmě vyšel ve Střelecké revue č. 8 v roce 2014<sup>4</sup>

Příklady některých výrobků firmy:

---

<sup>4</sup> *Střelecká revue*. Přemysl Liška. Praha: Pražská vydavatelská společnost, roč. 2014, č. 8. ISSN 0322-7650.

Dostupné z: [www.streleckarevue.cz](http://www.streleckarevue.cz)



Obrázek 6 Pistole 1911 A1 firmy Solid Concepts



Obrázek 7 Samonabíjecí puška firmy Solid Concepts

K vlastnímu tisku je třeba připomenout i jednu důležitou a netechnickou informaci. Tisk zbraní plastových, popřípadě kovových, je v ČR považováno za výrobu zbraní a v takovém případě se na to vztahují legislativní pravidla. Jednoduše řečeno tisk zbraní bez povolení porušuje Trestní zákon!

### 4.3.3 Technologie MIM

Metal Injection Molding – MIM<sup>5</sup>, česky Plastické vstřikování kovů. Z pohledu 3D tisku lze tuto metodu do jisté míry považovat za určitý způsob 3D tisku. Jen na místo postupného vrstvení jednotlivých vrstev do výsledného tvaru je zapotřebí vždy mít formu v požadovaném tvaru, ve které následně dojde k výrobě požadovaného obrobku. Ačkoliv by si někdo tuto metodu mohl považovat za jistého předchůdce, či jistý způsob 3D tisku, nelze metodu MIM považovat.

<sup>5</sup> Plastické vstřikování kovů. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Plastick%C3%A9\\_vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD\\_kov%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Plastick%C3%A9_vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD_kov%C5%AF)

Jak už zaznělo, na každý druh výrobku je zapotřebí předem vyrobená forma. U 3D tisku nepotřebujeme předem žádnou formu, ale postačí jen 3D model a můžeme tisknout cokoli. Zatím co technologie MIM je omezená na výrobu jen komponentů, na které máme formu. Z pohledu rychlosti a ekonomičnosti výroby je jistě 3D tisk stále pozadu a je pravděpodobné i v budoucnu, že jakákoliv sériová výroba bude vždy levnější jak 3D tisk.

Princip vlastní technologie lze popsat jako spékání kovového prášku. Příslušný kov se roztaví na jemná zrna, doslova na prach. Dle potřeby je možné takto smíchat více různých kovů. Základem je jeden druh kovu, který je následně legován dalšími kovy, jež mají zajistit vylepšení některých mechanických vlastností.

Do uvedené směsi kovů je přidán granulovaný parafín s obsahem polymeru polyolefinu. Následně se celá směs zahřeje na teplotu tání parafínu a dostatečně promíchá. Pod tlakem je následně vstříknuta do připravené formy, kde se za potřebné teploty, tlaku a po určitou dobu dosáhne spečení kovových zrn v jeden celek. Čas, teplota a tlak záleží na druhu kovu a na požadovaných mechanických vlastnostech.

Celý technologický proces by bylo možno rozdělit do několika fází:

1. Návrh formy a její realizace.
2. Příprava materiálu.
3. Vstřikování do formy.
4. Vymývání parafínu.
5. Sinterace – pečení v peci.

#### **Použití:**

Zmiňovaná technologie je v dnešní době kvalitně zvládnuta, používá se po celém světě a v současnosti nahrazuje mnohou výrobu klasickým třískovým obráběním. O značném snížení nákladů na výrobu ve větších sériích nemá smysl hovořit. Kvalita takto vyrobených součástí je vysoká, o čemž hovoří její využívání předními zbrojovkami světa, naši [Českou zbrojovku](#) nevyjímaje. Lze ji použít prakticky na více či méně složité součásti od hmotnosti přibližně 0,4 – 400g. Výhodou samotné

technologie není jen nahrazení třískového obrábění tradičních materiálů, ale i materiálů, u kterých je třískové obrábění takřka nemožné, vzhledem k jejich tvrdosti. Vlastní použití lze kromě zbrojního průmyslu vidět i v jiných technických odvětvích. Přesto použití ve zbrojním průmyslu je jakýmsi ukazatelem kvality a odolnosti. Ono u mixéru rozhodně nepožadujeme stejné kvality materiálu jako u zbraní.

Příklady použití:

1. Výroba střelných zbraní, ale i munice.
2. Automobilová výroba.
3. Výroba lékařských nástrojů.
4. V elektrotechnice výroba kontaktů spínačů.
5. Výroba nářadí, atd.

## 4.4 Využití ve školství

Využití 3D tisku ve školství má diametrální rozměry a nezáleží jen na stupni a druhu školy, ale i na kreativě vyučujících. Možných oblastí je několik a v první řadě vycházejí dle zaměření té které školy. Využití 3D tisku lze rozdělit dle úrovně a typu škol:

1. Základní škola I. stupeň.
2. Základní škola II. stupeň.
3. Gymnázia.
4. Střední školy.
5. Vysoké školy.

### 4.4.1 Základní škola I. stupeň

Značná část odborné veřejnosti a o laické veřejnosti ani nemluvě, mají pocit, že na prvním stupni základní školy nemá 3D tisk prakticky žádné místo. Uplatnění rozhodně není v tak velké míře jako na středních, popřípadě odborných školách.

Přesto 3D tisk může vhodným způsobem u dětí probudit zájem o 3D modelování a následný tisk bude praktickým vyústěním jejich snahy. Rozhodně nemá smysl se snažit žákům vysvětlovat principy a způsoby 3D tisku. Jedná se především o vyústění

jejich snahy, která může být situována do předmětů Výtvarná výchova a Praktické činnosti.

Jakékoliv hlubší využívání tiskárny nemá na prvním stupni smysl, vedl by spíše k nepochopení technologie a ke vzniku pozdějšího odporu k novým technologiím. Naším cílem je žákům tyto technologie přiblížit a naučit je poznání bez obav a strachu.

#### 4.4.2 Základní škola II. stupeň

Oblast možného použití se zde daleko více otevírá v porovnání s prvním stupněm. Kromě možnosti využití ve Výtvarné výchově, se daleko více otevírá možnost jejího použití jak v Technické výchově, tak i ve Výpočetní technice, kde se lze zabývat principy, tak i 3D modelováním, které by však bylo možno zařadit i do výuky Technické výchovy.

#### **Výtvarná výchova**

V tomto předmětu se bude výuka více zaměřovat na případný vznik plastik ve vhodném modelovacím programu. Dalšího hlubšího využití patrně nedosáhneme. Vznik plastik nemusí být vázaný jen na 3D tisk, ale jistě lze použít i další konvenční způsoby. Použití 3D tisku lze v tomto ohledu připodobnit k náplni na prvním stupni, na který může navazovat.

Žáci zde mohou vytvářet napodobeniny uměleckých děl, jako jsou sochy, bysty a podobně. Lze samozřejmě vytvářet i vlastní díla, ale stejně tak je možnost kromě vlastního modelování provádět i 3D skenování.

#### **Technická výchova**

Použití 3D tisku v tomto předmětu může na rozdíl od Výtvarné výchovy být pro technicky nadané žáky rozhodně zajímavější.

Pomocí modelovacího programu, například [SketchUp](#)<sup>6</sup>, který je zdarma a je možno jej stáhnout i [ZDE](#), lze velice jednoduše a intuitivně vytvořit i složitější útvary. Na závěr

---

<sup>6</sup> SketchUp: Trimble SketchUp. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/SketchUp>

Ize tyto výtvořy převést do vhodného formátu, který pak následně nahrajeme do 3D tiskárny a vytiskneme.

Vlastní činnost na tiskárně a případné modelování mohou mít za cíl především výrobu náhradních dílů, které se z jakéhokoliv důvodu mohou poškodit. Jedná se o případy drobných oprav v domácnosti. Stále však je zapotřebí mít na paměti, že tisk náhradních dílů probíhá z platu PLA, popřípadě ABS a tomu odpovídají mechanické vlastnosti.

Samostatnou kapitolou může být náhrada 3D modelování 3D skenováním. Pokud budeme požadovat přesnější díl, bude jistě lépe jej vymodelovat, ale přesto nelze říkat, že 3D skenování je nepřesné a odsuzovat jej. Je však důležité mít na paměti, že jakéhokoliv snímání i s vysokou přesností přináší vznik chyb, kterých se i při sebedokonalejším zařízení nelze na 100% vyhnout. Přesto použití skenování umožní vlastní tisk a případnou výrobu náhradních dílů posunout opět o kousek dál.

Nemusíme se však zabývat jen výrobou náhradních dílů, ale můžeme vymýšlet a konstruovat i nová zařízení. Jistě si každý z nás vybaví stavebnici [Merkur](#), kde za použití vhodných dílů bylo možno sestavit mnohé stroje, auta a podobně. Stejně tak lze postupovat za použití 3D tisku. Nemusíme však tisknout díly s mnoha otvory, tedy univerzální díly, ale můžeme tisknout konkrétní díly dle skutečných požadavků.

Při vlastní výrobě nových zařízení se však nemusíme omezovat jen na výrobu dílů, ze kterých následně budeme sestavovat své dílo, ale můžeme se pustit do tisku celých funkčních systémů, které pak stačí rozhýbat, viz [Obrázek 2 Planetová převodovka](#) se šikmými zuby, která by se nedala v reálu s jednotlivých samostatně vyrobených dílů sestavit.

Jistou částí, která by částečně kolidovala s výukou Informačních technologií je výuka principů funkce 3D tiskárny. Je zde nutné rozlišit, co ještě patří do Technické výchovy a co už do výuky Informačních technologií. Vše samozřejmě značně záleží na domluvě vyučujících a vytvoření potřebného ŠVP. Přesto lze jednoduše říci, že vše co souvisí s technickou a konstrukční částí tisku, patří do Technické výchovy. V podstatě

samotný tisk, tj. tavba plastu a jeho nanášení na podklad, pohyb podkladové plochy, vhodná teplota tisku, tuhnutí plastu atd., je v podstatě náplň výuky Technické výchovy.

### **Informační technologie**

Využití 3D tisku v tomto předmětu by se mělo spíše zaměřovat na princip tiskárny, její ovládání, zpracování signálu a výběr s ovládáním modelovacího programu. Samostatnou kapitolou je pak použití 3D skeneru.

Jak už bylo napsáno v předcházející kapitole, začíná výuka Informačních technologií tam, kde končí výuka technické výchovy. Vlastní pohyb krokových motorků, které zajišťují pohyb podložky pro tisk, posuv materiálu, to vše nám zajišťují pohony. Ale jakým způsobem je ovládáme? Zde už se dostáváme do Informačních technologií. Stejně tak výběr a ovládání vhodných modelovacích programů, o možných licencích takových předmětů ani nehovoře. Výuka se bude spíše zaměřovat na pochopení řízení vlastního tisku, přenosu dat a případné zpracování informací, ať už v modelovacím programu nebo z 3D skeneru. O vlastní tisk možných výtvorů zde až tak nepůjde.

Kdyby snad měl někdo na mysli, že by bylo možno vyučovat 3D tisk a skenování bez příslušného vybavení technikou, je na omylu. Snad už dnes není školy, kde by se Informační technologie vyučovaly pouze teoreticky bez výpočetní techniky. Zkušenosti jasně prokázaly, že to není možné. Stejně tak je to i s výukou 3D tisku, který však můžeme využít v dalších předmětech na ZŠ a nikoliv jen v jednom. V takovém případě i vstupní investice nemůžeme považovat za nadměrné, ale budou vhodně využity celou školou a v rámci několika předmětů.

#### **4.4.3 Gymnázia**

Zaměření tohoto typu škol je poněkud se odlišující od ostatních typů a stupňů škol. Jedná se o nadstavbu na základní školu a zároveň o přípravu všeobecných znalostí žáka pro další studium na VŠ. Tento druh škol se zaměřuje na všeobecné předměty, jakými jsou například výuky jazyků, Matematiky, Biologie, ale i Informační technologie. Technickou výchovu jako na ZŠ zde prakticky nenajdeme. Nabízí se možnost využití 3D tisku a případně 3D skenování při výuce Informačních technologií.

Jistě je možno tuto výuku prohloubit, ale vlastní podstata bude více tíhnout k pochopení funkcí z hlediska ovládání a nikoliv z pohledu vlastního tisku.

#### 4.4.4 Střední školy

Asi nejpočetnější skupina na možné příklady použití. Výuka a použití 3D tisku případně 3D skenování bude značně závislé na jejich oborovém zaměření. Středních škol existuje celá řada a dle jejich zaměření bude možno najít případné využití. Možná v některých případech budeme takové využití hledat jen velmi obtížně.

##### **Humanitárně zaměřené střední školy**

Pravděpodobně školy zaměřené na administrativní a obchodní záležitosti budou uplatnění hledat obtížně. Jako seznámení se tímto fenoménem doby, určitě ano, ale zkusme se racionálně zamyslet nad takovým využitím. Možná nalezneme příklady, ale jedná se o ojedinělé. Je zde otázkou, zda investice do tak finančně náročné techniky má vůbec smysl, zda přínos k výuce bude odpovídat alespoň minimu vynaložených finančních prostředků, o lidském úsilí ani nehovoře.

##### **Technicky zaměřené střední školy**

V případě technicky zaměřených středních škol bude situace poněkud odlišnější. Bude zde patrný značný rozdíl v rozsahu využití takové techniky při vlastní výuce. V každém případě výuka bude navazovat na výuku na ZŠ. Především v oblasti výuky Informačních technologií a techniky.

V případě technického využití bude do značné míry záviset na stylu výuky, zda půjde o výuku teoretickou nebo odborný výcvik. Nabízí se zde činnosti zabývající se opravou a údržbou, kde půjde především o výrobu náhradních dílů. V případě strojních oborů můžeme spatřit využití v oblasti konstrukce strojů a případnou náhradu kovových částí za plastové, vzhledem k dostupnosti technologií 3D tisku z plastů.

Možností použití na středních školách je nepřeberné množství, že se s ním jde zabírat jen obtížně. Bylo by tak zapotřebí vzít v potaz každou jednotlivou školu a věnovat se jednotlivým vyučovaným předmětům a hledat možné způsoby využití. Je však zapotřebí připomenout, že hledání použití za každou cenu může být v samotném



závěru kontraproduktivní. Jsou zkrátka situace, kde lze věci řešit levněji, snadněji a rychleji. Tak jako najdeme spoustu příkladů použití, nalezneme i příklady, kde 3D tisk raději nevyužijeme.

#### 4.4.5 Vysoké školy

Stejně tak jako na středních školách, i zde bude využití značně rozdílné dle zaměření jednotlivých škol. U humanitárních škol bude využití velice malé, snad ještě v oblasti umění a designu. V případě technicky zaměřených škol bude využití nepřeberné.

Na středních školách je využití zaměřeno na výuku jednotlivých řemesel a jejich zvládnutí. 3D tisk je jakým si pomocníkem a případným směrem do budoucna. Na VŠ jde spíše o případný rozvoj myšlení, o hledání nových cest, nových způsobů použití. Náplň tak bude více badatelská, bude více o hledání něčeho nového.

#### **Pedagogické fakulty**

Jistým odklonem od konvencí bude humanitně zaměřená VŠ s pedagogickými obory. Tedy škola, jež připravuje nové učitele do praxe. Jestliže zde zaznělo, že využití 3D tisku a skenování má své nezastupitelné místo na ZŠ, je zapotřebí, aby budoucí učitelé takové technologie ovládali. Navíc od budoucna se bude vše vyvíjet doslova „mílovými kroky“, je zapotřebí budoucí učitele naklonit k těmto technologiím a zajistit tak u nich přirozenou touhu po poznání. Jedině tak zajistíme, aby po ukončení vzdělávání „nezakrněli“ u získaných znalostí.

Vše bude samozřejmě záviset na konkrétní aprobaci a případně na vhodnosti zvolené oborové kombinace. Nechci zde kritizovat jedno či druhé, ale z pohledu využití na základní škole k sobě mají nejbližší Technická výchova a Informační technologie. Samozřejmě i takový učitel například Tělesné výchovy, může mít pozitivní vztah k Informačním technologiím a 3D tisk vyučovat s nadšením.

Vyučující s oborovou kombinací Technická výuka a Informační technologie bude zaujímat příčku, která bude mít nejbližší ve všech směrech k výuce 3D technologií. Na jedné straně bude s žáky vše řešit v rámci přípravy na PC a na straně druhé bude

s žáky tisknout potřebné díly, které následně žáci mohou sestavovat ve funkční celky v Technické výchově.

V každém případě se jedná o jednu z mála vysokých škol s humanitním zaměřením, kde lze vyzkoušet možnosti použití 3D tisku. V případě jiných oborových zaměření, například jazyků budeme využití takových technologií hledat marně a jakékoliv finanční investice by nepřinesly kýžený výsledek.

## 4.5 Další využití

Možností dalšího použití se jistě najde mnoho nejen díky fantazii, ale především s výhledem do budoucna. Způsob uvažování v dnešní době lze jistě označit jako konvenční. Teprve další vývoj ukáže možné směry využití a stejně tak případné „slepé“ směry vývoje. Jedním ze zajímavých témat použití je v oblasti přípravy pokrmů. Zda se jedná o budoucnost nebo právě onu „slepou“ uličku, to asi ukáže čas. Podívejme se na tento trend trochu blíže.

Tato problematika je tak trochu na pokraji zájmu. Ono je to celkem logické, nemá nic společného s technickým řešením výroby náhradních dílů, celkových systému atd. Navíc si pod pojmem 3D tisk jídla představí asi každý něco úplně jiného.

Pokud bychom se dívali na vlastní tisk s podobného pohledu jako je tisk plastů a dnes již i kovů, může být tato myšlenka zajímavá. „Tisk“ jídla ve své podstatě již známe mnoho desítek let.

Vezměme například výrobu obyčejného cukrářského výrobku – dortu. Vrstvíme na sebe jednotlivé vrstvy, které následně zapečeme. Je to podobné jako na 3D tisku s PLA a ABS plastem. Jistě někdo namítne, že to není stejné? Ano pečeme těsto a krémy nanášíme následně bez pečení. Není to ale stejné jako s technickými materiály? U některých se zapéká při vyšší teplotě, jinde zase při nižší.

Pokud bychom posunuli myšlenku 3D tisku jídla dál, dostaneme zařízení, jež bude mít určité zásobníky s vhodným jedlým materiálem a následně dle naší volby, se vytiskne příslušná potravina s daným tvarem a chutí.

S posledním řešením se v dnešní době nejvíce zabývá společnost [Národní úřad pro letectví a kosmonautiku – NASA](#), která vidí v těchto technologiích budoucnost s vylepšeným stravováním astronautů. V samém základu se jedná o těstovinové směsi, které přimícháním vhodných koření a následným zapečením vytvoří potravinu. Následné nanesení „krému“, jehož složení doplněné dalšími ingrediencemi, dotvoří požadovaný chuťový vjem a nutriční hodnotu takto vzniklé potraviny.

Bohužel mám obavu, zda se tento způsob v běžné praxi uchytí, tedy mimo specifické oblasti použití jako je tomu u NASA. Ačkoliv to s touto prací nesouvisí, ale nedokážu zmínit dnešní vývoj v přípravě pokrmů. Ve společnosti se nachází mnoho jídel, jež mají základ v chemii, jedná se o Instantní jídla. Jsou rychlá, snadno připravitelná, celkem i chutná, ale .... Jedná se o náhražky a mnohdy nevalné kvality a hlavně příliš zdraví prospěšné nejsou. Je zde stále větší tlak společnosti na návrat k tradičnímu způsobu přípravy pokrmů a nikoliv zdokonalování Instantních pokrmů.

Přesto nelze nové technologie zavrhnout a patrně si i takové potravinové „zázraky“ najdou své oblasti použití.

## 4.6 Modely pro 3D tisk

Právní řešení našeho počínání na internetu bylo výše již popsáno. Přesto lze najít mnoho serverů, kde najdeme přehledně uspořádané programy 3D modelů pro 3D tiskárny. Můžeme je legálně stáhnout a pro soukromé účely použít. Ve většině případů je nelze použít pro případné výdělečné účely.

Při pohledu na nabízené modely je jasné, že se jedná především o drobné předměty jako jsou různé stojánky, podstavce na svíčky, modely nábytku, automobilů, ale i různé části budoucích stavebnic. Nabídka je skutečně nepřehledná.

Co nenajdeme, jsou především technické části technických zařízení, která nás obklopují. Jde především o případné náhradní díly, například ozubená kolečka domácího mixéru, případně náhradní vrtulky ventilátorů a podobně. Nelze se divit, jestliže si bude chtít vytisknout například stojánek pod svíčku, můžeme nalézt nepřehledné množství designů, ale budeme-li potřebovat náhradní díl konkrétního

zařízení, je třeba brát v úvahu, kolik takových programů by muselo na internetu být? Nelze tvrdit, že na něco takového nenarazíme, ale rozhodně jimi internet neoplývá.

V případě náhradních dílů lze předpokládat, že se v budoucnu bude situace měnit a možná někteří výrobci sami takové databáze svých náhradních dílů poskytnou. Zda a jak, to si musíme počkat, teprve asi budoucnost ukáže.

Příklady serverů, kde je možné stáhnout programy pro 3D modely:

[3DModelFree](#)

[Cinema4D](#)

[Sapho - koupelny](#)

[Rathgeber VÁŠ SPECIALISTA NA ZNAČENÍ](#)

## 4.7 Právní aspekty 3D tisku

Tak jako běžnou tiskárnu lze využít pro rozmnožování a šíření děl jako jsou knihy, časopisy atd. je možno použít i 3D tiskárnu.

V zásadě je vše řešeno na úrovni Autorského zákona<sup>7</sup>, který jasně stanoví, jaká jsou práva a povinnosti všech, jež se svojí činností dotýkají jakýchkoliv děl, ať už se jedná o duševní vlastnictví, popřípadě fyzická díla. Asi každý zná notoricky známý příklad, kdy při vlastnictví CD nosiče s hudbou, je možné si tuto hudbu stáhnout například do PC, popřípadě ji vypálit na další CD pro svou vlastní potřebu! Jistě jakékoliv šíření je v rozporu s Autorským zákonem a je postižitelné dle Trestního zákona<sup>8</sup>.

Podobná situace je i v případě 3D tisku. Není možné, aby si kdokoliv stáhl na internetu vhodnou konstrukci a tu si tiskl, šířil, popřípadě s ní obchodoval, ačkoliv nemá souhlas autora. Jak se říká, na internetu lze sehnat mnohé, ale je třeba se držet zákona. To, že nalezneme vhodnou konstrukci v podobě hotového programu pro 3D tiskárnu, ještě neznamená, že si ji můžeme stáhnout a použít. V každém případě se

---

<sup>7</sup> Zákon č. 121/2000 Sb.,  
o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)  
<sup>8</sup> Zákon č. 40/2009 Sb.,  
trestní zákoník

jedná o porušení Autorského zákona. Je tedy možné nalézt věci, které jsou na internetu uveřejněné jen díky tomu, že je již někdo neoprávněně získal a zveřejnil, ačkoliv autor o takovém jednání neví.

Přesto je možné na internetu najít servery, kde jsou vhodné konstrukce pro 3D tisk naprosto volně ke stažení a jejich použití je tak legální. Je třeba si však dát pozor, zda tyto programy jejich autoři uvolnili pro soukromé použití nebo komerční! V tom je zásadní rozdíl.

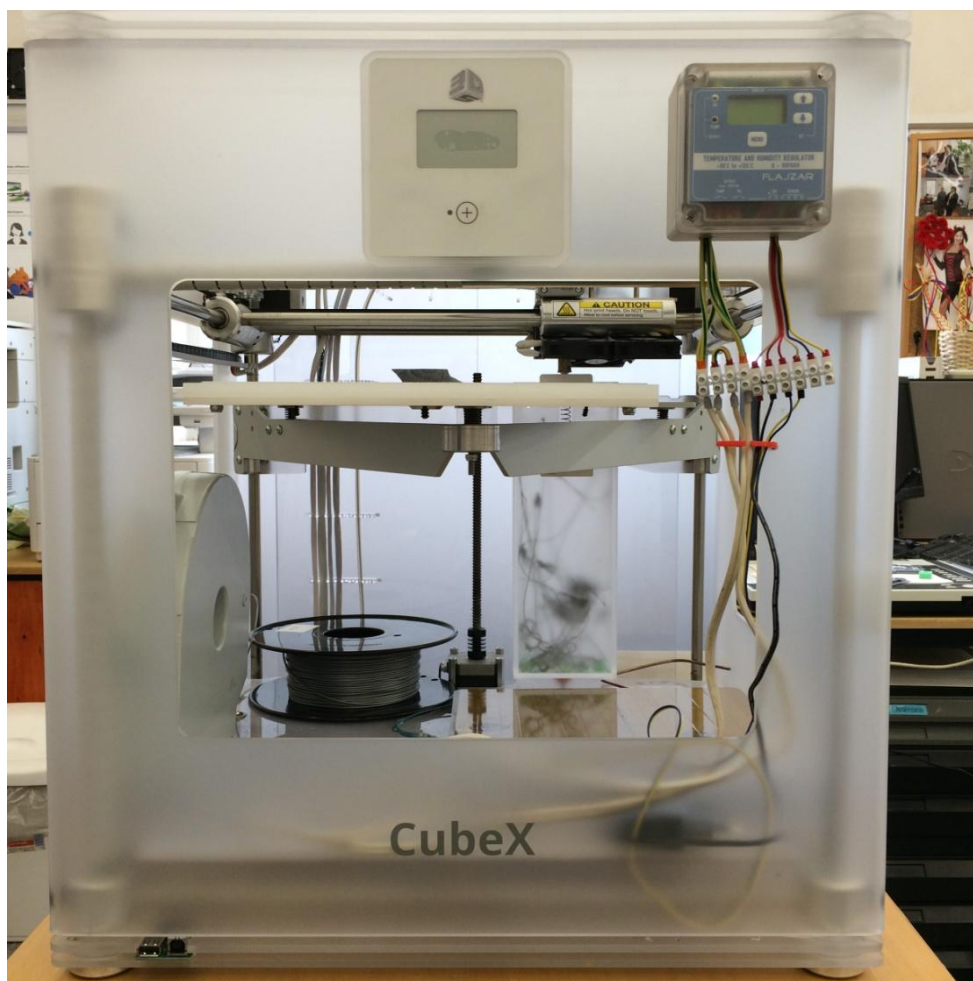
Autorský zákon v zásadě dává autorovi několik možností:

1. Své dílo může dát k naprosto volnému použití kýmkoliv a jakkoliv, tedy i pro výdělečné účely.
2. Své dílo může uvolnit jen pro soukromé účely, tedy nikoliv pro výdělečné činnosti.
3. Za použití svého díla, jak soukromého, tak výdělečného, je zapotřebí autorovi zaplatit.
4. Dále je možné se ještě setkat s určitým omezením vztahujícím se na účely výuky, kde zpravidla nelze dílo použít soukromě ani pro výdělečnou činnost, ale pro pouze výuku na školách lze takové programy použít.

Dle výše uvedených možností je případný uživatel se povinen se tím řídit a nikoliv přistupovat tak, že co najdeme na internetu, je možné volně používat. Bohužel problém spočívá ve způsobu uvažování většiny lidí. Pokud v obchodě odcizíme například rohlík, budeme to považovat skutečně za krádež, protože si fyzicky odneseme jistý předmět. Pokud na internetu něco vyhledáme a stáhneme, máme pocit, že jsme to nikde neodcizili, protože jsme si fyzicky nic neodnesli. Přesto je třeba mít na paměti, že je to krádež!

## 5 Problematika tisku 3D tiskárny CubeX

Ve světě existuje v dnešním okamžiku již nepřeberné množství typů 3D tiskáren. Případný zájemce o tisk se tak musí zorientovat ve značné nabídce dodavatelů a to nejen ve světě, ale už i v ČR.



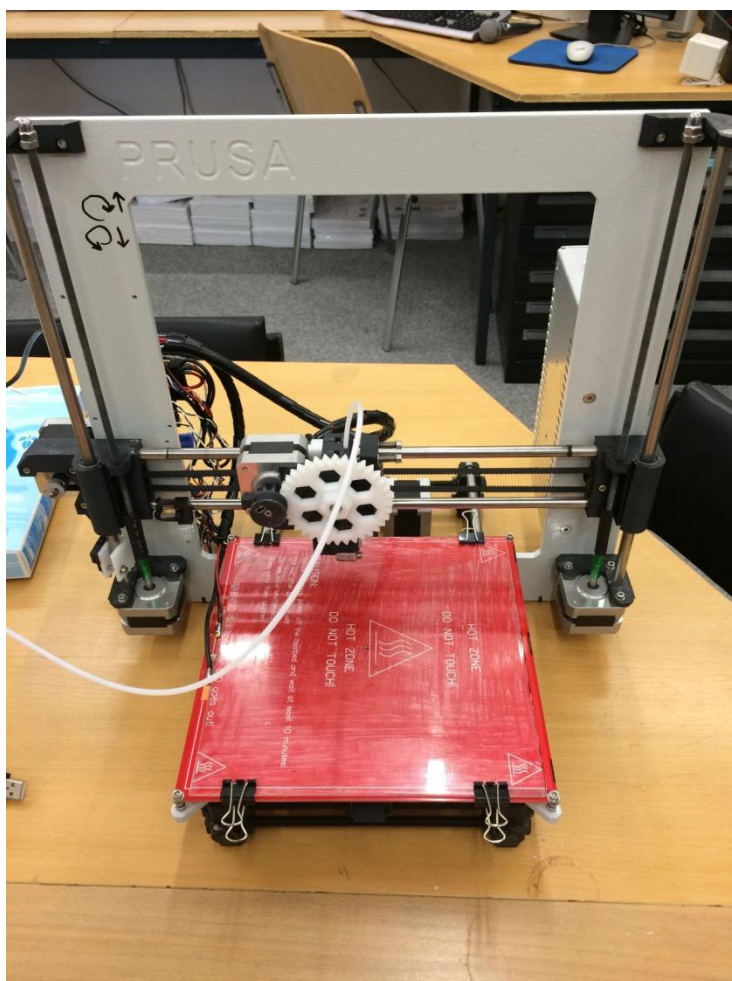
Obrázek 8 3D tiskárna CubeX

Lze si koupit tiskárnu jen se základní elektronickou výbavou a ostatní díly dotisknout u „kamaráda“ na jeho tiskárně, v podstatě replikovat tiskárnu. Stejně tak lze vše koupit již sestavené, stačí jen pustit a tisknout. V této souvislosti je třeba zmínit projekt RepRap<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> RepRap. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RepRap>

Projekt RepRap je ve své podstatě mezinárodní projekt, jež vznikl před šesti lety na University of Bath doktorem Adrianme Bowyerem<sup>10</sup>. Podstatou tohoto projektu je volné šíření hardwaru. Tedy možnost volného stažení konstrukčních dílů na internetu a jejich tištění za účelem replikace další tiskárny. Navíc je možné díly upravovat a dále šířit. Cílem je šíření 3D tím nejlevnějším způsobem. Navíc možnost úpravy přímo uživateli přináší neomezená vylepšení, která by stěžil jeden autor, popřípadě tým, dokázali navrhnout. Jeden takový příklad je možné vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 9 Prusa 3D tiskárna

Při vlastním výběru jsme limitováni především velikostí plochy, na kterou budeme tisknout, možností záměny několika druhů plastů pro tisk a ve finále i pořizovací cenou. Pokud budeme pomýšlet na tisk kovu, budeme mít přeci jen trochu omezenou nabídku typů tiskáren a především se budeme bavit v diametrálně odlišných cenových hladinách.

<sup>10</sup> PRŮŠA, Josef. *3D tisk* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/>



V případě tiskárny CubeX, která byla zakoupena na Fakultu pedagogickou Západočeské univerzity v Plzni, se jedná o jistý kvalitativní střed mezi 3D tiskárnami, tisknoucí nejen ABS, to umí dnes každá, ale i PLA plastem. Ten je z hlediska environmentálního přístupu mnohem lepší. Jeho výroba je ekologická a stejně tak i odbouratelnost v přírodě. Přesné technické detaily zmíněné tiskárny nejsou momentálně podstatné. Problémem je, že tiskárna nemá vyhřívací podložku, na kterou se provádí vlastní tisk. Podložka pro tisk musí zajistit kvalitní přilnutí roztavené hmoty z tisknoucí hlavice, ale zároveň po vystydnutí snadné odlepení od podložky. V neposlední řadě musí odolávat teplotám tisknutého materiálu, který se pohybuje okolo 250°C.

## 5.1 Vznik hypotézy

Vzhledem ke skutečnosti, kdy podložka je tvořena vhodným materiálem, ale není vyhřívána, respektive její teplota odpovídá teplotě okolí, dochází při vlastním tisku k pokroucení materiálu. Jistě na tuto skutečnost má vliv několik okolností:

1. Teplota podložky.
2. Teplota okolí.
3. Tvar tisknutého komponentu.
4. Druh materiálu.

Tvar tisknutého komponentu bohužel nelze ovlivnit, pokud potřebujeme vytisknout případný náhradní díl, asi těžko ustoupíme z tvaru toho, co tiskneme. Platí, že čím je díl delší a vyšší, dochází k jeho pokroucení v podobě prohnutí, přičemž při pokračování tisku, tedy nanášení dalších vrstev plastu, se již kroucení neprojevuje.

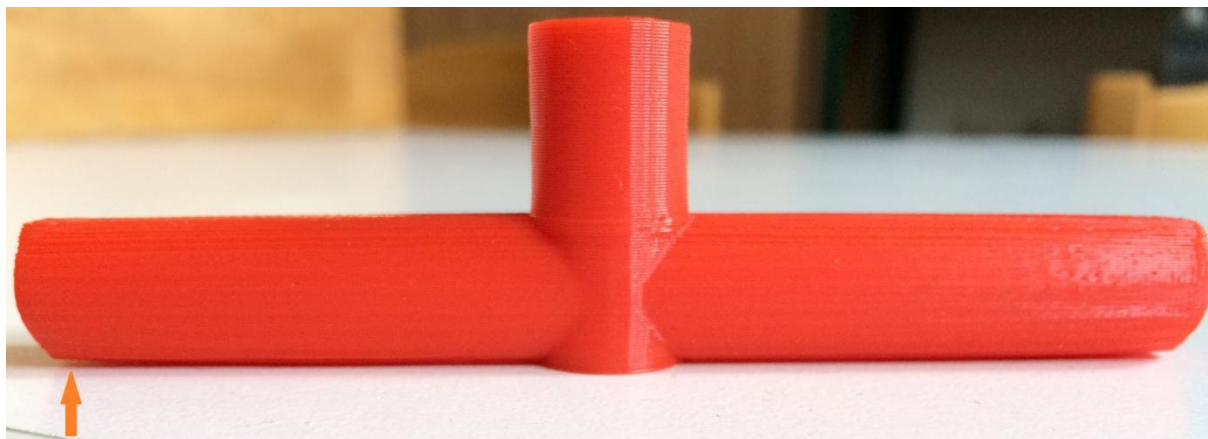
Druh materiálu může jistě hrát více či méně roli, ale podle získaných informací na 3D EXPO se tento problém vyskytuje u všech druhů materiálu a lze jej předpokládat, že se bude vyskytovat i při tisku s kovem.

## 5.2 Vliv teploty okolí na kvalitu tisku

Již od samotného počátku používání 3D tisku s ABS a PLA plastem jsem se potýkal s problematikou, kdy při určitém rozměru a tvaru se výsledný výrobek mírně



pokrucoval – ohýbal. Tento jev je patrný na přiloženém obrázku, kde na levé straně oproti podložce je patrné mírné přizvednutí. Nejedná se o nikterak velké vychýlení, ale při potřebě spasovat některé dílčí díly dohromady, by to mohlo znamenat zásadní problém.



Obrázek 10 Prohnutý díl po tisku

Vše se nejvíce projevovalo v případě chladnějšího okolí. Při tisku za pokojové teploty se tento jev projevovat méně. Při konzultaci tohoto problému s některými odbornými formami na 3D EXPO, ale i při vyslechnutí názorů méně kvalifikovaných majitelů 3D tiskáren, vyplynuly stejné zkušenosti.

Lze uvažovat, že teplota okolí má vliv na rychlost tuhnutí vlastního plastu a vede tak ke vzniku mechanického napětí ve vznikajícím výrobku. Někteří uživatelé, ale i jednotliví uživatelé, se snaží tento problém řešit vyhříváním vlastní podložky. Tuto myšlenku jsem také pojal.

Vlastní technické řešení vyhřívání CubeX tiskárny bude zapotřebí vyřešit samostatně, originálně, jelikož výrobce tuto technologii nedodává. Asi největší problém bude zvolit tu správnou teplotu, při které bude mechanické pnutí v materiálu co nejmenší a nebude docházet k deformacím výrobku. O jakou teplotu půjde, je momentálně spekulace. Bohužel se mi nepodařilo zjistit, jaká teplota by byla nejvhodnější. Již hotové vyhřívací podložky měly v zásadě určitý tepelný výkon bez možnosti jakékoliv regulace. V takovém případě lze předpokládat nejednotnost teploty podložky, která se bude měnit s okolní teplotou.

Pro kvalitu tisku bude zapotřebí dodržet několik zásad:

1. Nalézt vhodnou teplotu podložky.
2. Zajistit vhodné konstrukční řešení.
3. Zajistit konstantní teplotu při jakékoliv pracovní teplotě.
4. Pro zajištění konstantní teploty nalézt vhodnou regulaci.
5. Regulace musí zajistit co nejmenší hysterezi.
6. Nalézt vhodné technické řešení s co nejmenším zásahem do tiskárny CubeX.
7. Zajistit, aby řešení bylo co nejvíce ekonomické.
8. Konstrukčně zajistit, aby bylo možné tisknout jak s vyhříváním, tak i bez vyhřívání.
9. Vyjmutí a opětovné nasazení vyhřívání bude nekomplikované.
10. Nalezení správné teploty!

Tedy jak vše vyřešit? Myšlenka je již jasná. Stačí tiskárnu vybavit vyhřívací podložkou, která zvýšením teploty zvolní vlastní chladnutí tisknutého materiálu, čímž se sníží vnitřní pnutí materiálu a bude tak docházet k minimálním změnám v tvaru materiálu.

Myšlenka vyhřívání nakonec není nic převratného a lze ji vyzkoušet u některých technologických postupů při výrobě a úpravě struktury oceli. Nejde skutečně o nějakou převratnou myšlenku. Jistě stačilo na místě koupit vyhřívání i se zdrojem a vše jen namontovat, maximálně technicky přizpůsobit. Jenže tu pořád visela doslova ve vzduchu ta konkrétní teplota, kterou nikdo neměl vymyšlenou. Vyhřívání bez regulace a podobně. Všechna řešení nesla větší či menší nedostatky, které mě odrazovaly od takového řešení.

Rozhodl jsem se, že mé řešení bude dokonalé a navíc naleznou vhodnou teplotu pro vlastní tisk.

## 5.3 Řešení

Na první pohled mnohem náročnější časově i finančně bude vlastní řešení, nejen technické, ale i v nalezení té správné teploty tisku s použitím teplotní regulace

vyhřívání. Teploty, při které se nebude nic kroutit a bude možno volit teplotu nejen podle tvaru a velikosti, ale i podle druhu použitého materiálu.

Inovativní myšlenka byla konečně na světě a stačí už jen vše vyřešit technicky a následně vytvořit několik hypotéz s materiály a teplotami a vše ověřit prakticky.

Pojďme se podívat, jak celé inovativní dílo vznikalo až po samotné zkompletování a odzkoušení ke stavu, který umožňuje ověření mnoha hypotéz.

## 5.4 Technické provedení vyhřívání

Na samém počátku bylo zapotřebí si stanovit rozsah řešení a obecné části, které bude zapotřebí dořešit. Vše lze shrnout do několika bodů:

1. Navržení plošného spoje – kuprexitu pro vyhřívací podložku.
2. Ověření funkčnosti podložky.
3. Implantování podložky do tiskárny.
4. Hledání vhodného regulátoru.
5. Výroba regulace.
6. Finální sestavení.
7. Zkouška funkce.

### 5.4.1 Výroba vyhřívání podložky

Samotná vyhřívací podložka je vyrobena z kuprexitu a její rozměr byl volen s ohledem na výrobní možnosti laserové frézky a potřebu vlastní tiskárny. Jako nejvhodnější rozměr se jevila velikost odpovídající formátu A4.

Pro návrh provedení bylo jasné, že bude potřeba napájet podložku bezpečným napětím, nejlépe něco kolem 12V DC a potřebná maximální teplota bude někde kolem 70°C. K výpočtu byl použit program s názvem Proudová zátěž, který pro naše jednoduché účely plně postačuje.

#### **Poznámka:**

S ohledem na laboratorní pojetí řešení je možné dle platné legislativy použít jakékoliv napětí. Vzhledem k tomu, že nechci, aby s tiskárnou mohl pracovat jen omezený

počet pracovníků, navíc proškolený z Vyhlášky č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice, považují za vhodné celé zařízení napájet úrovní bezpečného napětí 12V, které je s dostatečnou rezervou pro prostory normální<sup>11</sup>.



Obrázek 11 Laserová frézka

---

<sup>11</sup> ČSN 33 2000 – 4 – 41



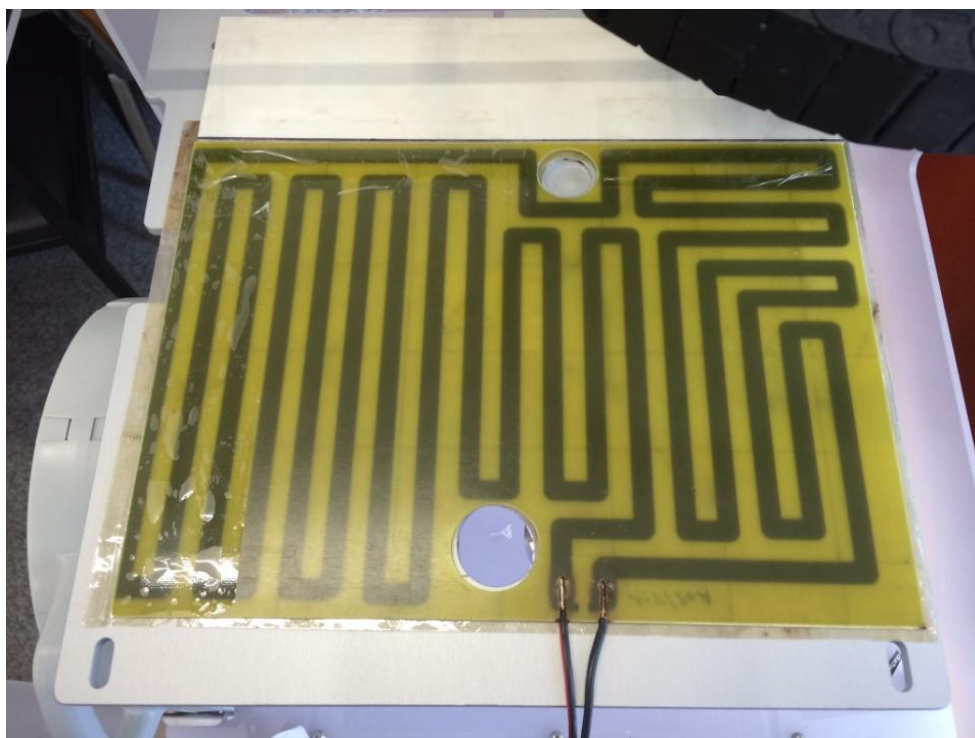
Obrázek 12 Výpočet technických hodnot vyhřívání

Jedinou limitující hodnotou je maximální teplota plošného spoje, při které by došlo k odlepení měděné vrstvičky od podložky. Výrobce je stanovena na 140°C. Následoval návrh vlastního plošného spoje, u kterého bylo zapotřebí vhodně umístit spleť cestičky tak, aby v jednom místě nejen začínaly, ale i končily. To s ohledem na snadnější připojení napájecích vodičů. Samotný návrh byl s ohledem na jednoduchost jednotlivých cestiček na plošném spoji jednoduchý a nekomplikovaný. Nebylo tak zapotřebí hledat vhodný software a stačilo vzít do ruky papír a tužku. Samotný návrh tak na papír formátu A4 vznikl doslova během několika minut. Nejdříve tomu však předcházelo pečlivé měření o umístění otvorů pro kalibrační magnety na 3D tiskárně.

Výsledek plošného spoje po laserovém vyfrézování a následném nanesení izolační slídkové vrstvy je vidět na přiložené fotografii.

Kromě samotného plošného spoje jsou vidět vyvrtané otvory, které slouží k přesnému usazení vyhřívací podložky a následně jsou v otvorech umístěny kalibrační magnety vlastní tiskárny.

Izolační vrstva ze štípané slídy byla zvolena záměrně, protože kromě výborných elektrických vlastností je navíc odolná zvýšené teplotě. U typu Muskovit je teplota až 600°C a u typu Flogopit až 900°C. V obou případech je teplotní hranice dostatečná. Podle vlastní struktury se mi bohužel nepodařilo zjistit, o jaký typ slídy se jedná. Identifikace by neměla činit potíže, ale přesto jsem v určení nebyl úspěšný. Nakonec pro naše účely to není potřeba.



Obrázek 13 Vyhřívací podložka – pokus 1

Jen pro zajímavost slída typu Muskovit je hlinitodraselná průhledná, takřka bezbarvá slída. Druhý typ slídy Flogopit je hlinitohořečnatá jantarově nažloutlá slída.

Pro vlastní izolaci by jistě bylo možné použít jakýkoliv jiný izolační materiál s tepelnou odolností do 100°C. Přesto se použití slídy jevilo jako nejsnadnější, jak z pohledu elektrických, tak i mechanických vlastností.

#### 5.4.2 Nevhodná orientace vyhřívací podložky

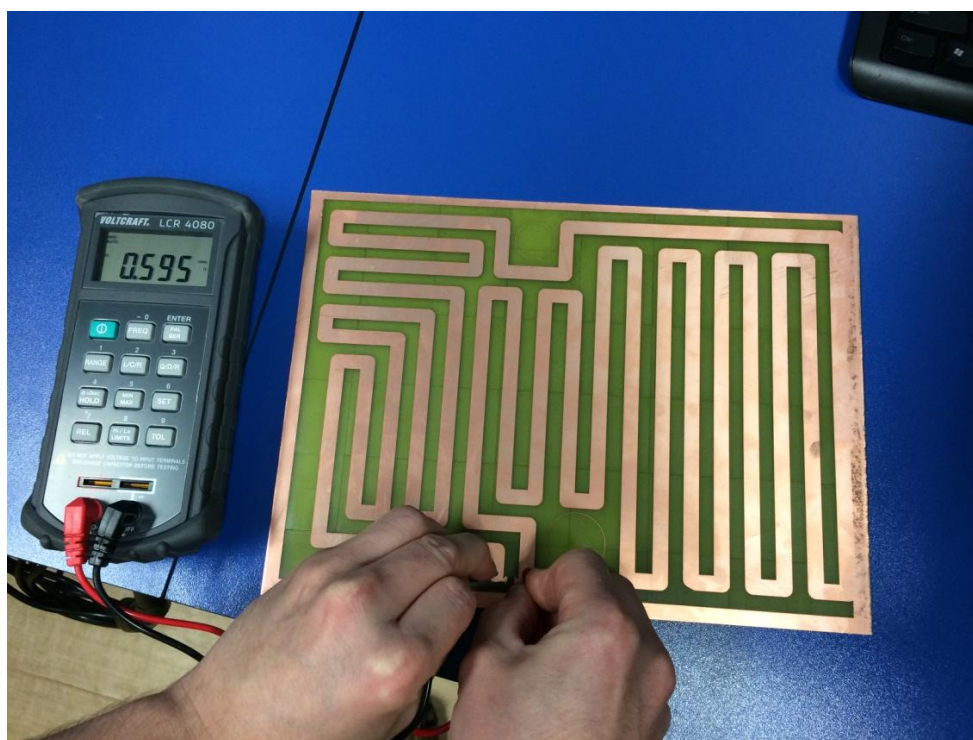
Původní myšlenka vyhřívací podložky byla od začátku celkem jasná a neevokovala jakékoliv případné potíže. Vše proběhlo bez komplikací až do okamžiku, kdy se vyhřívací podložka osadila na základnovou desku 3D tiskárny, připojila se ke zdroji a započalo se s vyhříváním a ověřením její funkčnosti.



Vlastní vyhřívání probíhalo bez potíží a postupně docházelo k nahřívání celé desky. Jak se však postupně ukázalo, základnová deska se postupně zahřívala na teplotu v řádech desítek °C, ale pouze ze spodní strany. Při posazení vlastní skleněné desky pro tisk se její ohřívání příliš nekonalo.

Vysvětlení bylo viditelné ihned na první pohled. Vrstva mědi na plošném spoji se nacházela na spodní straně směrem dolů, tedy na opačnou stranu než byla umístěna deska pro vlastní tisk. Většina tepla tak směřovala opačným směrem. Podkladová deska kuprexitu je elektricky izolační, ale i tepelně, jedná se o materiál sklolaminát. Bylo tak jasně patrné, že tato koncepce nebude funkční. Řešením bylo vyrobení stejného plošného spoje, jen zrcadlově opačně.

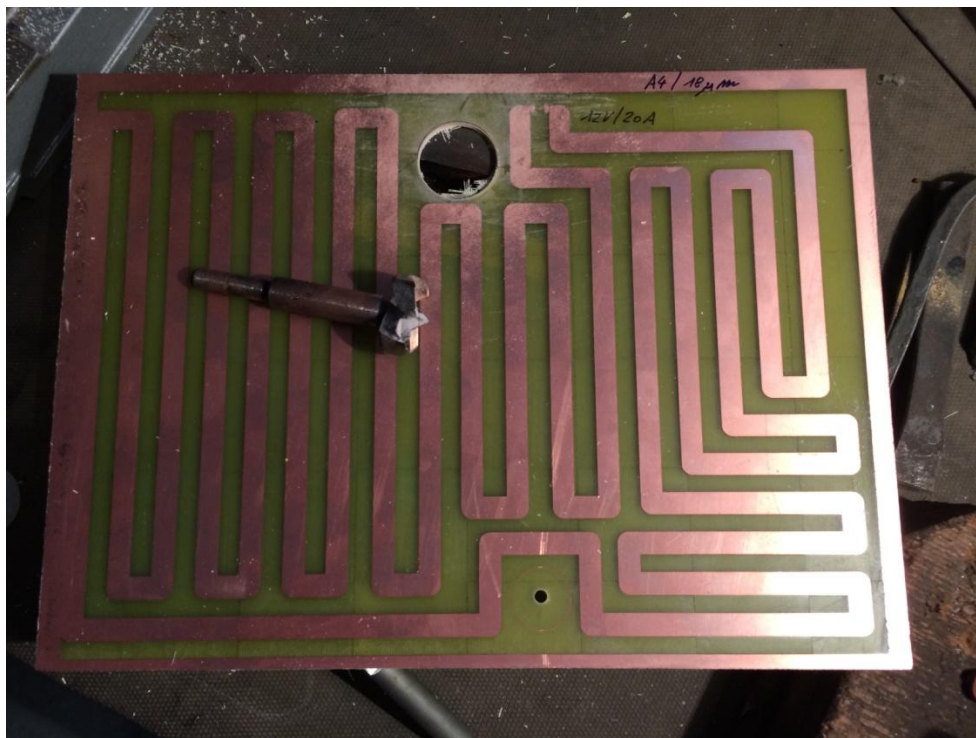
Na následujícím obrázku je vidět finální řešení. Pokud jej srovnáme s předchozí variantou, je jasně patrné, že se jedná pouze o zrcadlové otočení a opětovnou výrobu. Fotografie ukazuje výsledek z laserové tiskárny a měření elektrického odporu pro kontrolu.



Obrázek 14 Vyhřívací podložka - pokus 2

Následně bylo zapotřebí dle původního nákresu vyměřit otvory pro kalibrační magnety. Po té následovalo jejich vyvrtání. Vzhledem k jejich průměru nebylo nutné

provést jejich odvrtání s následným dopilováním, ale bylo použito frézy s odpovídajícím průměrem. Vše proběhlo na stojanové vrtačce. V případě ruční vrtačky by jistě šlo operaci též provést, ale s mnohem nižší přesností a rizikem poškození kuprexitu a případného úrazu.



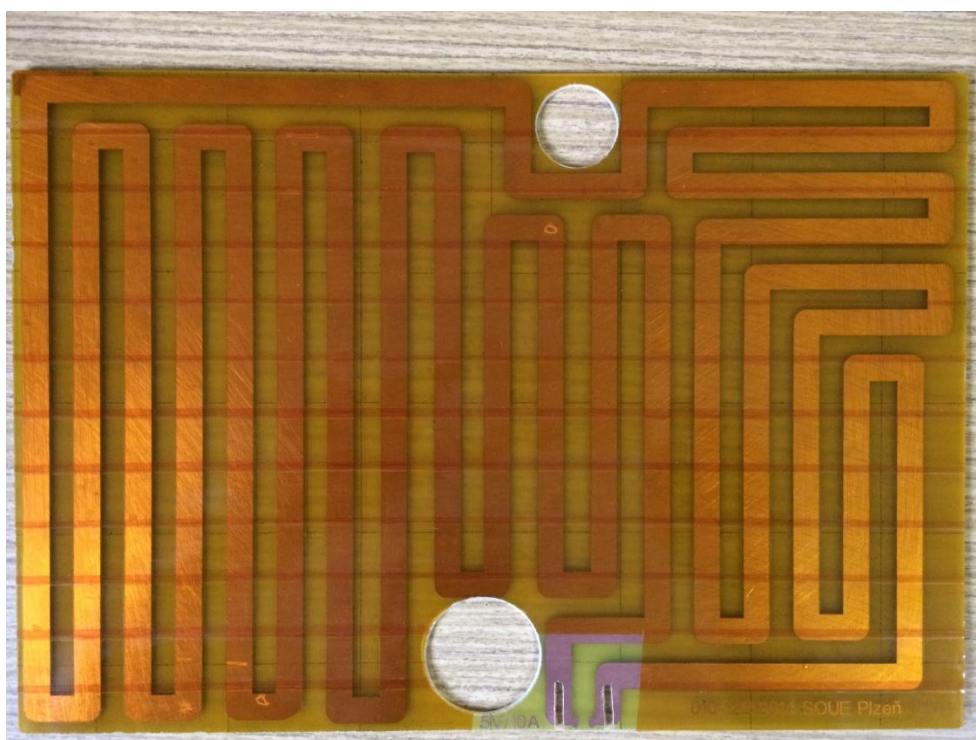
Obrázek 15 Vrtání otvorů pro kalibrační magnety

Po celkovém obrobení vyhřívací desky a zapilování ostrých okrajů bylo zapotřebí proříznout plošný spoj pro zapájení přírodních vodičů. Celá deska bude vložena pod vlastní desku pro tisk a musí tak být naprosto plochá, nesmí nikde vyčnívat, aby nedošlo k jejímu prohnutí. V takovém případě by deska pro tisk neseseděla správně a tisknoucí hlava by se nepohybovala ve stejné výšce nad podložkou. O nekvalitě tisku není třeba spekulovat.

Jako další méně vhodné řešení se ukázala izolace tvořená slídou. Slída sama o sobě není příliš pevný materiál a velice snadno se z ní odštěpují šupinky. Přesto, že se jedná o kvalitní elektrickou izolaci se značnou tepelnou odolností, byla poměrně silná, cca 1mm, čímž se celá konstrukce nejen navýšila, ale zároveň nám tepelně izolovala vyhřívací desku od desky pro tisk.



K finálnímu řešení byla jako izolační vrstva použita samolepící páska s tepelnou odolností 140°C. Pro naše účely naprosto dostačují. Páska má zanedbatelnou tloušťku, přenos teploty jí nedělá problém a na samotné podložce je nalepena, není jí tak zapotřebí dodatečně fixovat. Díky tomu je následné vyjímání celého vyhřívání jednodušší a bez komplikací.



Obrázek 16 Vyhřívací deska - 2 pokus

Konečně je možno přistoupit k vlastní implantaci podložky do tiskárny.

### 5.4.3 Montáž vyhřívací podložky do tiskárny

Podložku nestačilo jen položit a doufat, že vše bude funkční. Bylo nejen třeba na okrajové liště vytvořit otvory pro přívodní vodiče, ale navíc podložku zafixovat k základnové desce.

Okrajová deska nám tvoří opěrnou plochu pro vlastní základnovou desku tisku. Tuto opěrnou lištu použiji pro vlastní stranové vymezení vyhřívací desky. Přívodní vodiče, které vedou na stranu opěrné desky, bude zapotřebí pod lištou protáhnout. Samotná lišta je však přišroubována těsně a žádná vůle pro přívodní vodiče zde není. Bude zapotřebí v samotné liště vytvořit žlábků pro samotné vodiče. Řešení se nabízí

několik, ale všechna jsou více či méně komplikovaná a o řemeslné kvalitě by u některých řešení nemnělo smysl ani hovořit.

Řešení padlo na frézku, pomocí které nebude problém vyfrézovat potřebnou drážku pro jeden a druhý vodič. Žlábký tak budou nejen přesné, ale zároveň svojí hloubkou nezasáhnou příliš do struktury lišty tak, aby nebyla příliš zeslabena její pevnost. Celé řešení je vidět z přiložené fotografie.



Obrázek 17 Frézování lišty



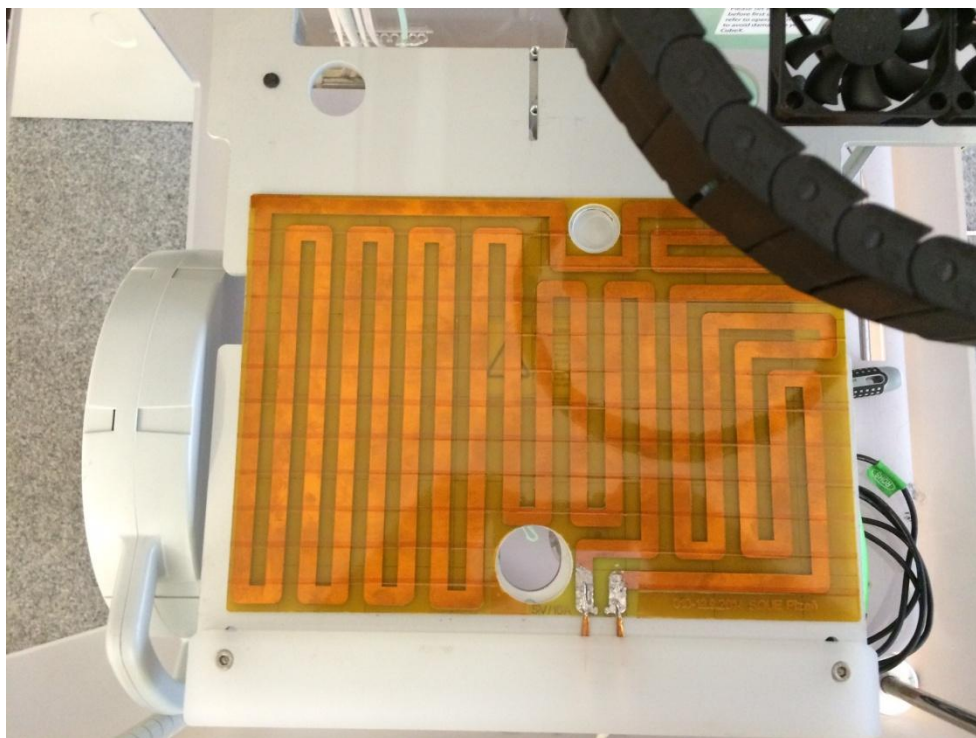
Obrázek 18 Vyfrézované drážky

Vyfrézované žlábký jsou dostatečně široké pro přívodní vodiče. O samotnou lištu se vlastní vyhřívací plocha bude opírat, ale zároveň díky částečné fixaci vodičů bude celkově deska fixována proti posuvu.

Následně proběhla montáž celého zařízení do tiskárny, vše sedělo jak má, otvory pro kalibrační magnety seděly bez problémů. Samotná zkouška kalibrace proběhla bez potíží, spuštěná tiskárna tak dokázala nalézt přesně výšku podložky pro tisk, stačilo jen ručně doladit přesnou výšku tisknouce hlavy nad podložkou.

Jako poslední kontrola byla zvolena výšková kalibrace s celkovým vodorovným ustálením základny tiskárny. Zde bohužel nastal problém v podobě nerovnoměrnosti podložky. Ačkoliv se vše jevilo jako naprosto rovné a připájení napájecích vodičů bylo ploché, zjevně nedostatečně. Vodiče přesahovaly sílu kuprextitu jen zanedbatelně, prakticky šlo tento detail snadno přehlédnout. Jak vše připájet s dostatečnou elektrickou vodivostí a přijatelnou mechanickou pevností? Nakonec bylo zvoleno jednoduchého řešení. Stačilo použít kladiva k nepatrnému zatlačení vyčnívající pájky a vše bylo vyřešeno. Následnou kalibrací na tiskárně bylo ověřeno, že vše sedí jak má a již není podložka nakloněna.

Samotná funkce vyhřívání byla opět ověřena pouhým připojením na napájecí laboratorní zdroj. Regulace teploty zde zatím není, šlo jen o ověření vlastního vytápění. Skleněná deska pro tisk se nahřívala pozvolna, vykazuje tak značnou tepelnou setrvačnost. Pro naše účely to není na škodu, ale z praktického pohledu to prodlužuje dobu pro použití tiskárny.

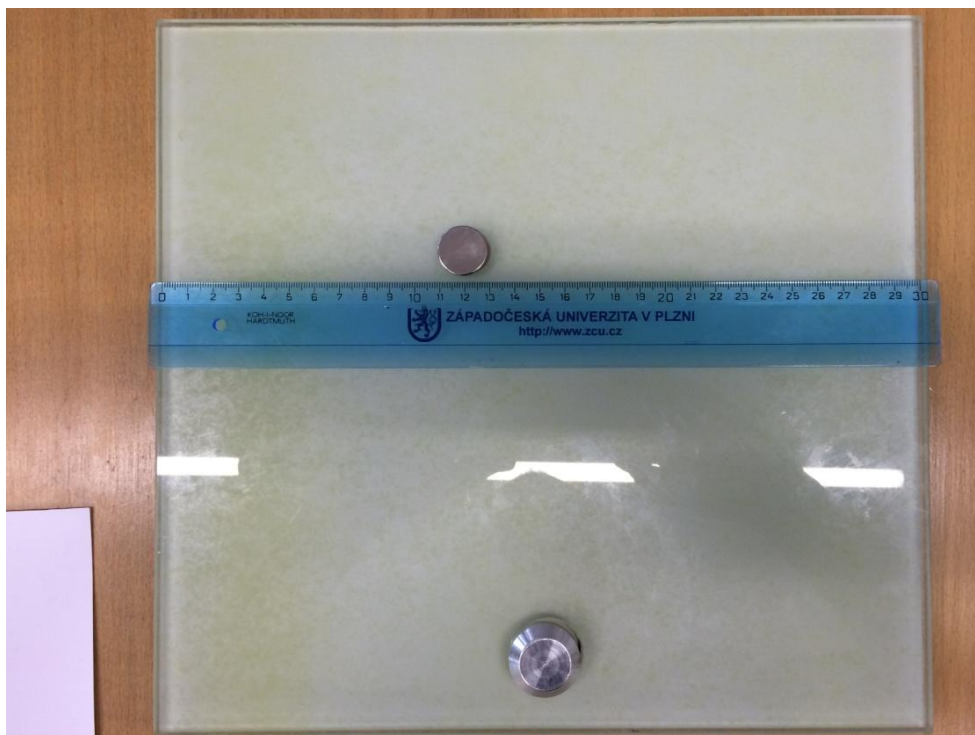


Obrázek 19 Montáž vyhřívání do tiskárny

#### 5.4.4 Nové řešení vyhřívací podložky

Drobné i větší potíže se podařilo vyřešit a osadit dostatečně do roviny. Po zapnutí napájecího zdroje se skleněná podložka začala ohřívat, ale bohužel stále pozvolna a na omezenou teplotu. Měřením bylo zjištěno, že teplota se pohybuje maximálně několik stupňů přes 50°C. Teplota by možná byla dostatečná, ale spíše předpokládám, že nikoliv. Navíc potřebná doba k dosažení této teploty se pohybovala průměrně na 35min. Bylo jasné, že bude potřeba použít výkonnější vyhřívací podložku i se zdrojem. To by znamenalo držet stejné koncepce, ale vše od počátku udělat znovu. Navíc s nejistým výsledkem, protože by možná nastaly jiné nové překážky.



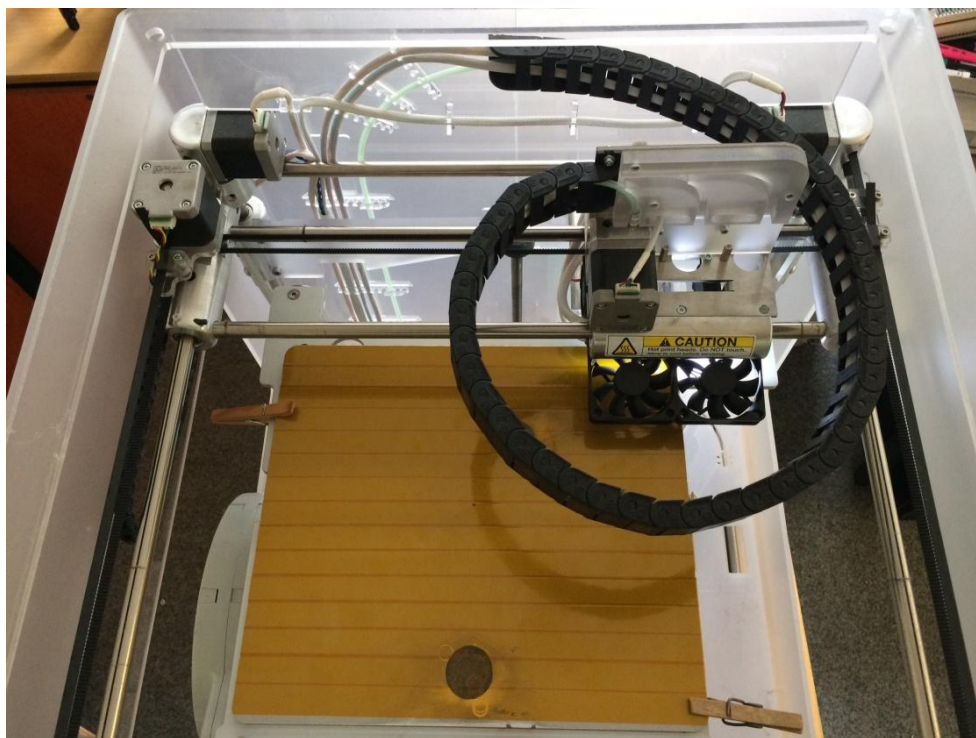


**Obrázek 20** Skleněná podložka pro tiskárnu CubeX

Řešení se podařilo nalézt díky náhradní desce k jiné 3D tiskárně v podobě eloxovaného hliníku. Vlastní podložka je tvořena dvěma hliníkovými plechy o síle 1mm, mezi kterými je vložen vlnitý hliníkový plech, který rychle přenáší teplo z jedné strany na druhou.

Původní skleněná deska měla pod sebou přilepené kalibrační magnety, jistě není problém takové magnety zakoupit a přilepit, ale ačkoliv je hliník diamagnetický materiál, není magnetické pole dostačující pro vlastní snímače na tiskárně. V hliníkové desce tak bylo zapotřebí vyvrtat příslušné otvory a aby bylo možné tisknout na celou plochu, otvory jsem vylil epoxidovým tmele, které průchodu magnetického pole nebrání. Následně na frézce jsem je zarovnal do roviny s celkovou podložkou.

Pro vlastní tisk bylo vhodné vrchní část podložky polepit vhodnou samolepící fólií, na kterou vhodně přilne roztavený plast.



Obrázek 21 Hliníková vyhřívací podložka

Následná montáž již neskýtala žádné překážky. Vlastní vyhřívací kuprexit a hliníková deska byly provizorně fixovány kolíky, ale k dalšímu použití se předpokládá použití vhodných kancelářských skřipců. Zkouškou bylo ověřeno, že teplota dosáhne až 76°C během přibližně 20min při pokojové teplotě. Přestože se nejedná o nikterak rychlé vytápění, lze říci, že na běžné použití je čas přijatelný a teplotní výkon pro další experimenty dostatečný.

## 5.5 Regulace teploty

Regulace teploty byl další krok k finálnímu technickému řešení vyhřívání. Nejprve bylo zapotřebí si stanovit několik kritérií, dle kterých jsem následně hledal řešení:

- Teplotní rozsah regulace od 30 - 100°C.
- Možnost nastavení teplotního intervalu.
- Napájení vlastní regulace 12V (shodné s napájením vyhřívání).
- Samotná regulace bude schopna sepnout maximální proud 10A.

Přes hledání mnoha vhodných řešení jsem se prvně soustředil na klasické pokojové termostaty pro ovládání vytápění v domácnostech. Bohužel většina zařízení končila

s maximální teplotou regulace okolo 40°C. Navíc přesnost byla kolem 1°C. Bylo patrné, že uvedený směr hledání řešení nepřinese výsledek.

Poohlédnul jsem se po vhodném řešení v časopise Amatérské rádio, ale jak se ukázalo, bylo to doslova hledání „jehly v kupce sena“. Nakonec pomohl internetový vyhledávač, kde po několika desítkách minut se podařilo najít regulátor teploty od firmy Flajzar, s. r. o.

Technická data splňovala předem stanovená kritéria a v některých oblastech je i značně převyšovala:

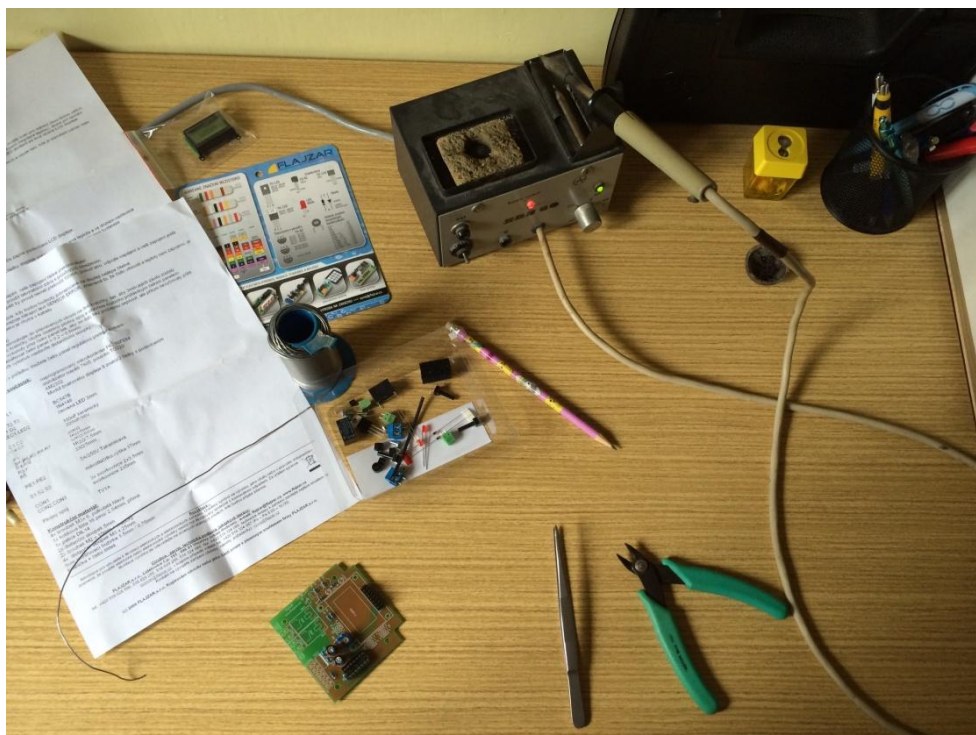
- Napájecí napětí 10 – 14V.
- Maximální spínací zatížení 2 x 5A (v součtu 10A).
- Rozsah regulace -40 - +124°C.
- Přesnost regulace – teplotní interval je nastavitelný, nejnižší krok je 0,1°C.
- Vlastní odběrný proud zařízení je 100mA.

Vlastní regulace je ovládaná několika tlačítky a potřebné údaje lze sledovat na prosvětleném displeji. Jako funkci navíc má regulace možnost ovládat výstupní relé i dle vlhkosti vzduchu. Tato funkce není požadována a nemá jakýkoliv význam pro účely 3d tisku. Přesto ji lze jako zajímavou informaci o vzdušné vlhkosti na displeji ponechat zobrazenou.

Na zmíněnou regulaci nakonec padla volba a byla zakoupena. Drobným překvapením bylo její doručení, nejednalo se o klasický již hotový výrobek, ale bylo zapotřebí si ji vyrobit. Celá regulace byla v podobě elektronické stavebnice.

### 5.5.1 Výroba regulace

Samotná výroba regulace neskýtala zásadní problém. Dle přiloženého schématu se postupně osazoval plošný spoj, který se následně oživil a nastavil na požadovanou funkci. Mnohem náročnější byla vlastní montáž osazeného plošného spoje do přiložené krabičky. Navíc bylo zapotřebí v průhledném víčku odfrézovat vhodný otvor pro vystoupený displej, dvojici signalizačních LED diod a trojici ovládacích tlačítek.



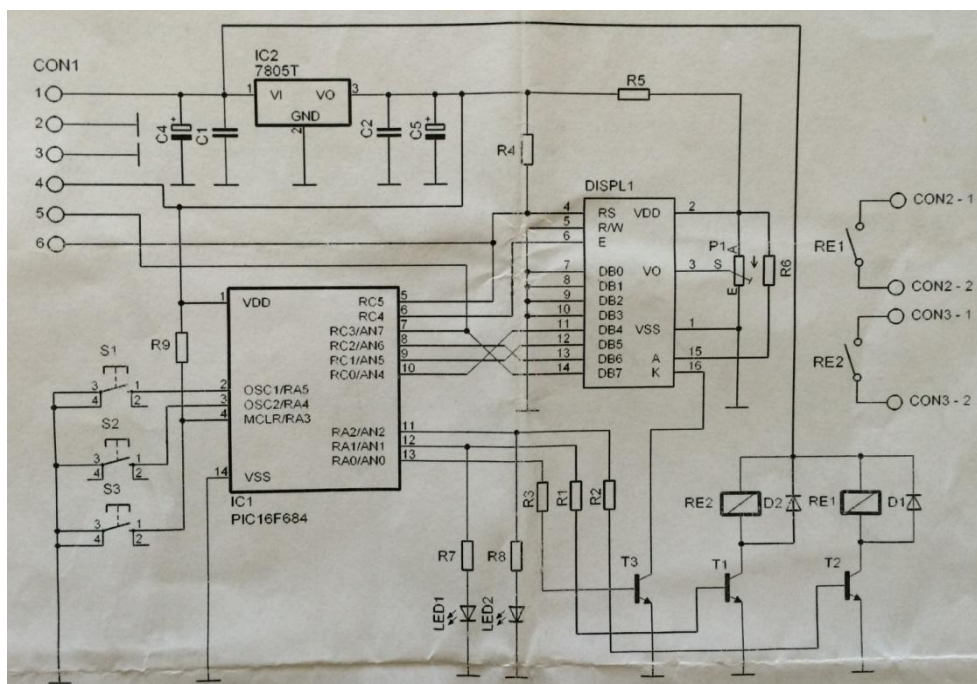
Obrázek 22 Stavebnice regulace Flazar

Do samotné krabičky bylo navíc zapotřebí vhodně umístit svorkovnici pro následující připojení zdroje, čidla teploty a vyhřívací desky.

Samotná spínací relátka zvládnou každé 5A, ale pro spínání vyhřívání je požadováno 10A. Jedno relátko spíná na základě teploty a druhé na základě vlhkosti. Vzhledem k potřebě regulovat teplotu, padlo rozhodnutí, že druhé relátko se vhodně upraví na plošném spoji. Budou tak obě relátka současně spínána tranzistorem, jenž ovládá teplotní výstup. Každé relé má vlastní proud 20mA, bylo zapotřebí zjistit, zda spínací tranzistor bude schopen spínat současně dvě taková relátka, aniž by došlo k jeho poškození. Dle katalogového označení BC 547B jsem na stránkách firmy [GES](#) zjistil, že pro spínací proud je ještě rezerva 10mA.

Samotná realizace takové úpravy proběhla již bez potíží, jen bylo zapotřebí dostatečně identifikovat ty správné vývody, které se bohužel odlišovaly s vlastním schématem, kde výrobce prohodil čísla tranzistorů, jež ovládají relé vlhkosti a teploty.





Obrázek 23 Schéma zapojení regulace



Obrázek 24 Výsledek montáže regulace

### 5.5.2 Čidlo měření

Vlastní čidlo měření bylo dodáno spolu se součástkami a při jeho velikosti a provedení bylo předurčeno pro použití někde volně v prostoru. Můj požadavek byl čidlo umístit co nejblíže vyhřívání. Vzhledem ke konstrukci vyhřívací podložky se nabízela možnost

zasunutí čidla do prostřed desky. Bohužel velikost a konstrukce čidla tuto možnost vylučovala, navíc se jednalo o kombinaci teplotního a vlhkostního čidla.



Obrázek 25 Čidlo vlhkosti a teploty

Nabízela se možnost celé čidlo opatrně rozebrat a pokusit se oddělit teplotní a vlhkostní čidlo. Přičemž by se teplotní čidlo nasunulo do perforované hliníkové desky a vlhkostní čidlo by se ponechalo spolu s elektronikou v montážní krabici.

Vzhledem ke konstrukci takových měřících zařízení jsem předpokládal, že se nebude jednat jen o pouhé dvě samostatné součástky, ale bude zde jistě použit Wheatstonův můstek na vykompenzování elektrického odporu přívodních vodičů.

Po vlastní demontáži tomu dle zjištění skutečně bylo. Můstek byl použit pouze u vlhkostního čidla, ale zároveň propojen jedním vývodem i s teplotním čidlem, nebylo tak možné obě čidla od sebe oddělit. Zmíněný vyrovnávací můstek se nacházel zalitý v montážní hmotě, která nedovoluje provést demontáž bez poškození. Rozhodl jsem se pro ponechání čidla vlhkosti jako celého dílu a čidlo teploty vystříhnout a prodloužit o potřebnou délku přívodním vedením. Vzhledem k tomu, že se jednalo o cca o 400mm délky vodičů, lze předpokládat, že teplota na přesnosti nebude příliš ovlivněna. Rezistivita vodičů je zanedbatelná, ve srovnání s elektrickým odporem čidla.



Obrázek 26 Čidlo

Následně jsem teplotní čidlo v podobě malé černé kuličky odstříhnul a na prodlužovacím vodiči připájel na místo původního umístění a samotné čidlo zasunul a zafixoval uprostřed perforované desky. Díky tomuto řešení bude vznikající teplo na podložce měřeno přesně ve středu a nebude zapotřebí uvažovat o odlišné teplotě.





### 5.5.3 Napájení vyhřívání

Samotné napájení celého zařízení probíhá z napájecí sítě nízkého napětí 3 x 230/400V, v našem případě se jedná o napájení využívající zdroj malého napětí 12V DC, napájení z fázového napětí 230V.

Samotný zdroj 12V je laboratorní regulovaný zdroj, jež umožňuje nastavit napětí v rozsahu 1,5V – 30V a též umožňuje nastavit proudové omezení, které je však pro naše účely nepotřebné. K napájení vlastní elektroniky bylo původně uvažováno použít stejný zdroj, jako pro napájení vyhřívání.

Bohužel při zapínání a vypínání vyhřívací desky dochází k prodlevám v regulaci vlastního laboratorního zdroje, jež napájí vyhřívání. Vždy při zapnutí tepelné regulace došlo k poklesu 12V napájení, tedy k opožděné reakci regulace napájecího laboratorního zdroje a v důsledku toho došlo k vypnutí tepelné regulace a k vypnutí spínacího relátka. Vlivem tohoto stavu došlo k opětovnému naběhnutí napětí na 12V a teplotní regulace započala regulovat, přičemž sepnula ovládací relé pro vyhřívání a laboratorní zdroj byl opět zatížen a došlo tak k opětovnému poklesu napětí.

Jako jednoduché řešení a nejméně náročné, jsem zvolil samostatný oddělený zdroj malého napětí se stabilizací 12V DC. Tento zdroj byl následně zakoupen. Vlastní regulace tak dostala samostatné napájení a stejně tak vyhřívání.

## 5.6 Finální sestavení a odzkoušení

Jednotlivé díly, tak jak postupně vznikaly, stejně tak byly postupně zkoušeny, jednak na vlastní funkci, ale i celkovou mechanickou výdrž.

Celá sestava byla pojata, jako stavebnicový systém, protože jsem nechtěl dělat do vlastní tiskárny nevratné zásahy. Ačkoliv panuje velká naděje na celkové úspěšné vyřešení vhodné teploty pro tisk, je nutné počítat s neúspěchem takového řešení, popřípadě s potřebou jeho konstrukčního a elektrického vylepšení.

Vyhřívací podložka a na ní uložená tisknoucí hliníková deska se lehce vymění za originální skleněnou podložku a vše se zajistí kancelářskými skřipci, které naprosto

elegantně padnou na sílu plochy, tak jako kdyby pro tuto potřeby byly navrženy a vyrobeny.

Potřebné napájecí zdroje se nacházejí mimo vlastní tiskárnu. Zdroj k regulaci je v podobě malého adaptéru, který je v podobě zástrčky zasunut do zásuvky. Zdroj k vyhřívání je dle potřeby mimo tiskárnu. Vzhledem k jeho rozměrům a váze to ani jinak není možné.

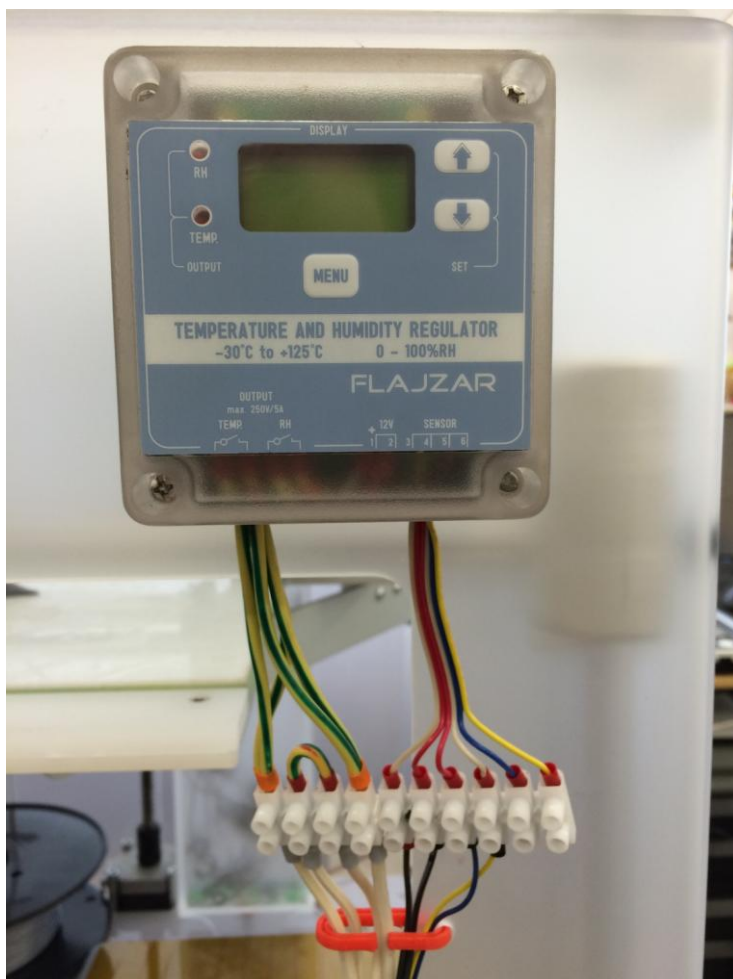
Celý systém zapojení je propojen pomocí šroubovací svorkovnice, kde jsou jednotlivé svorky a vodiče označeny, aby nedošlo k případné záměně. Případné sestavení, vždy provádí osoby, které jsou s problematikou obeznámeny a nehrozí tak poškození zařízení. Jistým směrem k vylepšení by bylo provedení spojení pomocí vhodných konektorů. Jistým úskalím by však byly vysoké proudy vyhřívání.

### 5.6.1 Montáž regulace

Jako poslední montážní operace bylo zapotřebí přichytit vlastní regulaci na tiskárnu CubeX, tak, aby nepřekážela, bylo možno ji přehledně sledovat a popřípadě regulovat teplotu. Celkem logicky jsem se rozhodl regulaci umístit na čelní panel. Jedinou případnou „památkou“ po regulaci, bude-li zapotřebí vše uvést do původního stavu, budou dva montážní otvory po šroubech a jeden otvor po kabelové příchytce.

Přes desítky vynaložených hodin na výrobu, montáž a zkoušení se tento krok jevil jako drobnost v řádu jedné hodiny. Bohužel i v tomto jednoduchém výrobním kroku se vyskytl technický problém. Vlastní krabíčka regulace má ze zadní strany matice, rozhodl jsem jich využít šrouby skrz vlastní konstrukci tiskárny tuto regulaci přišroubovat. Protože byly matice částečně zapuštěny, nešlo je přesně změřit, ale jen omezeně. Dle měření se jednalo o matici M4, vyrobil jsem si z kulatiny dostatečně dlouhé šrouby M4x60 a pokusil se o montáž. K mému překvapení nešlo šrouby do matic našroubovat! Při následné pokusu použít šroub M3x60 se ukázalo, že je závit matice velký. Rázem byl jasný problém, výrobce použil matici M3,5! Jedná se méně standardní rozměr. Řešení bylo jednoduché, stačilo maticovým závitníkem M4 proříznout závit matice M3,5 a použít dříve vyrobené šrouby M4x60.

Na závěr už stačilo vše namontovat a skutečně bez potíží vše sedlo a bylo vše vzájemně propojeno. Nakonec se drobnost s maticí trochu protáhla na několik hodina, ale podstatné je, že vše je na svém místě, bez jakýchkoliv kompromisů a ústupků. Především pozitivní je skutečnost s umístěním vlastního teplotního čidla, s přesností nastavení vlastní teploty a případnou možností vše uvést do původního stavu, v případě nezdaru.



Obrázek 27 Dokončená montáž regulace

### 5.6.2 Odzkoušení vyhřívání

Na samotný závěr jsem vše důkladně zkontroloval a provedl odzkoušení funkce. Až doposud jsem zkoušel vždy jen dílčí části.přesto-že jsem nepředpokládal, že by měl nastat jakýkoliv problém, viděl jsem v závěrečné zkoušce příležitost mít jistotu. Především jsem se obával, aby se spínací tranzistor nepoškodil vlivem častého spínání a celkově došlo na vytopení tisknouce plochy na dostatečnou úroveň, alespoň někde

okolo 70°C. Jaká bude skutečná požadovaná teplota, to momentálně nevím a bude předmětem dalšího experimentu.

Vše jsem ještě jednou zkontroloval a následně spustil vyhřívání. Teplotu jsem na začátku nastavil na 40°C. Teplota byla dosažena za necelých 10min. V regulaci jsem nastavil teplotní interval, tzv. hysterezi na 1°C. Jedná se o rozdíl hodnoty teploty, při které regulátor vypne vyhřívání a při poklesu teploty o 1°C, regulátor opět zapne.

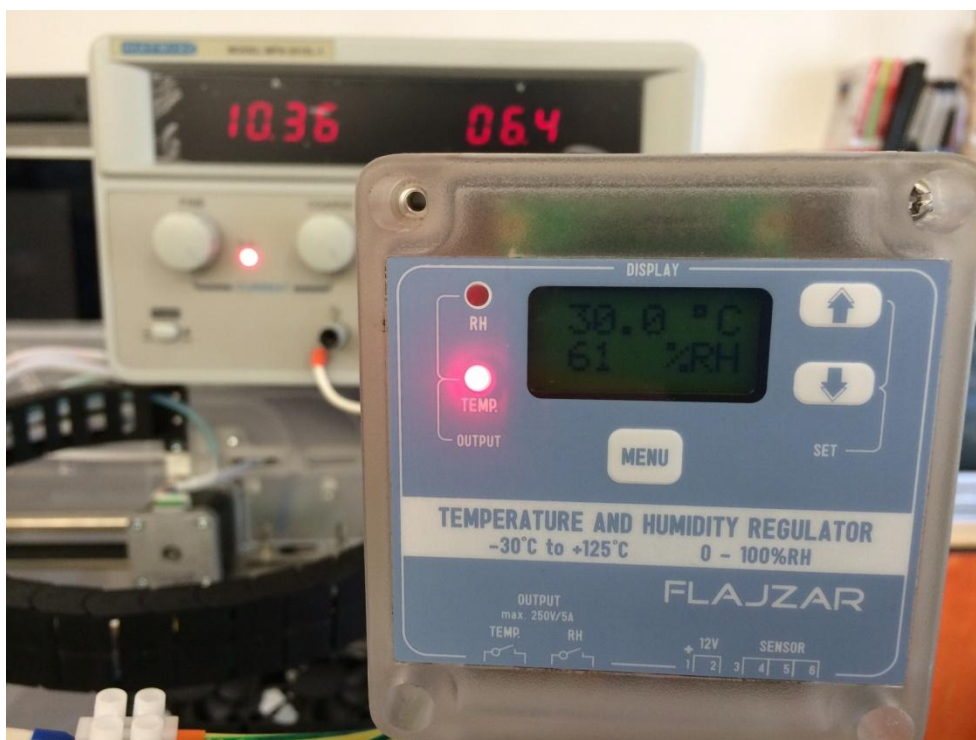
Následně jsem zvýšil teplotu na 50°C. Teploty bylo dosaženo za přibližně 8min. Po dosažení teploty jsem provedl nastavení na 75°C. Ze začátku teplota stoupala rychleji, ale jak se blížila k 70°C, rychlost stoupaní se zvolnila, až se velice pozvolna vyšplhala na 73°C. Dále se již nezvyšovala, ubral jsem na nastavení regulátoru zpět na teplotu 70°C, kde se následně vyhřívání ustálilo. Vždy bylo patrné, že delší dobu dochází k vytápění, zatím co ochlazení plochy nastalo během několika minut.

Následně, cca po 1/2h, jsem snížil teplotu na 65°C a vše ponechal zapnuté po dobu 5h. Celkově zařízení během testu nevykazovalo jakékoliv odchylky od funkce. Regulace pracovala bez sebemenšího problému, jen teplota se ukázala jako limitní 73°C. Vyšší teploty by se jistě dalo docílit, ale bylo by zapotřebí nalézt jiný napájecí zdroj, na místo celkového přestavění vyhřívání a spínacího výkonu regulátoru. Při zachování proudu I 10A, by bylo pro zvýšení výkonu zapotřebí zvýšit napětí. Šlo by tak o jednoduché řešení, bez zásahu do již funkčního vyhřívacího systému.

Během celého ověřovacího experimentu, jsem prováděl kontrolní měření teploty pomocí přístroje METEX M – 3850, který ke svému měření využívá termoelektrického článku. Tento článek je velice malý, v průměru 1mm. Díky tomu má velice malou tepelnou kapacitu, dochází tak rychlé reakci na měnící se teplotu. Přesto je teplota měřena s přesností  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Při ověřování teploty během zkoušky, se teplota na přístroji METEX lišila oproti ukazateli na regulátoru o 1 – 2°C. Teplota okolí byla v době experimentu 21°C. Tlak vzduchu, ani vlhkost nebyly v době experimentu zkoumány. Předpokládám však, že pro účely vyhřívání není vliv atmosférického tlaku a relativní vlhkosti vzduchu zásadní.

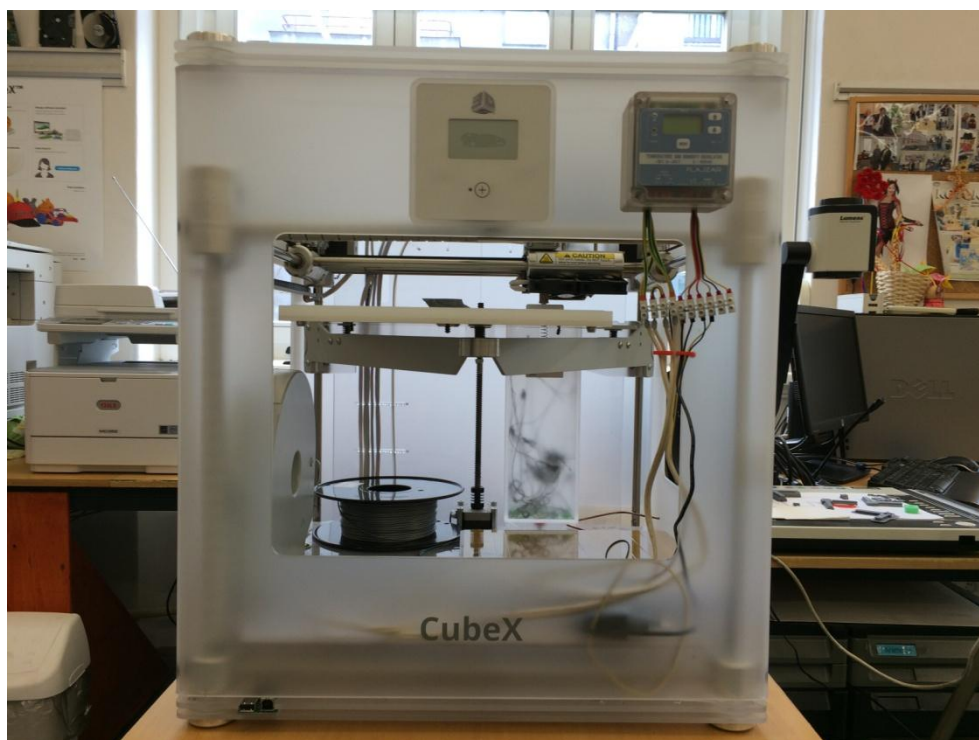


Obrázek 28 Multimetr METEX M – 3850



Obrázek 29 Ověření funkčnosti





Obrázek 30 Celková funkční sestava

## 6 Hypotéza optimální teploty

Jak již bylo uvedeno na začátku práce, lze předpokládat, že teplota podložky má vliv na rychlost chladnutí tisknutého materiálu a tím i k vnitřnímu mechanickému pnutí materiálu.

První myšlenkou je navýšení teploty okolí, pokud bychom předpokládali, že tiskárnu uzavřeme do vhodného vyhřívaného boxu, byla by tato alternativa možná i funkční. Dříve či později by zvyšující se teplota narušila chod vlastní tavné trysky a pravděpodobně i spolehlivou funkci elektroniky, snímačů a krokových motorů.

Myšlenka vyhřívané podložky se nemusí na první pohled zdát jako vhodná, protože vyhříváme jen podložku a tedy jen spodní část tisknutého materiálu. Při bližším pozorování vlastního tisku lze vypozařovat prohýbání materiálu jen z počátku vlastního tisku. Jakmile se vytvoří základní vrstva silná několik mm, pozvolna zatuhne a další vrstvení materiálu již probíhá bez dalšího kroucení. Vytvoří se tak dostatečně tuhý základ, který již nedovolí další kroucení.

Lze předpokládat, že pokud dokážeme zajistit pozvolnější chladnutí několika prvotních mm síly tisku, bude docházet k pozvolnému chladnutí a materiál bude vystaven menšímu mechanickému pnutí a nebude se kroutit nebo tak minimálně, že budeme hovořit o neměřitelných hodnotách. V zásadě lze tvrdit, že případné vyhřívání bude možné vypnout po vytištění několika počátečních vrstev, kdy vytištěný plastový základ je pevnostně dostatečný a nedovolí další kroucení materiálu. Vlastní vyhřívání působí ze spodní části a rozhodně není schopen ohřívát celý blok tisknutého materiálu. Vlastní vyhřívání tak skutečně působí jen na spodní část výrobku.

Vlastní teplota tisku se pohybuje různě dle druhu materiálu, navíc si tiskárna teplotu sama reguluje podle toho, zda začíná s tiskem nebo má vytvořenou základní vrstvu a bude pokračovat dál. Přesto se teplota pohybuje na počátku tisku okolo 260°C a při vlastním tisku přibližně 220°C. Úkolem vyhřívání není vlastní plast tavit, naše teplota bude mnohem nižší. Potřebujeme pouze snížit mechanické pnutí v materiálu, zpomalit chladnutí. Nepotřebujeme ani teplotu, při které lze plast již tvarovat, taková

teplota je u PLA plastu kolem 70°C. Lze předpokládat, že takovou hodnotu nebudeme potřebovat.

Jakou tedy budeme potřebovat teplotu? Bohužel to nevím, je třeba to experimentováním a pečlivým měřením ověřit. Je také možné, že se povede zjistit jistý rozsah teplot a nikoliv jednu konkrétní nejvhodnější teplotu. Také může nastat situace, že od určité mezní teploty bude již další navyšování teploty zbytečné a naopak bude mít záporný vliv na kvalitu vlastního tisku.

Při praktických zkouškách vyhřívání lze tvrdit, že se situace zlepšila, vyhřívání podložky zajišťuje pomalejší a rovnoměrnější tuhnutí materiálu, čímž se sníží pnutí v materiálu a jeho výsledné pokroucení. O řešení a celkovém konstrukčním řešení není potřeba příliš pochybovat, naopak je toto řešení možné považovat za úspěšné, ale jen je zapotřebí nalézt vhodnou teplotu.

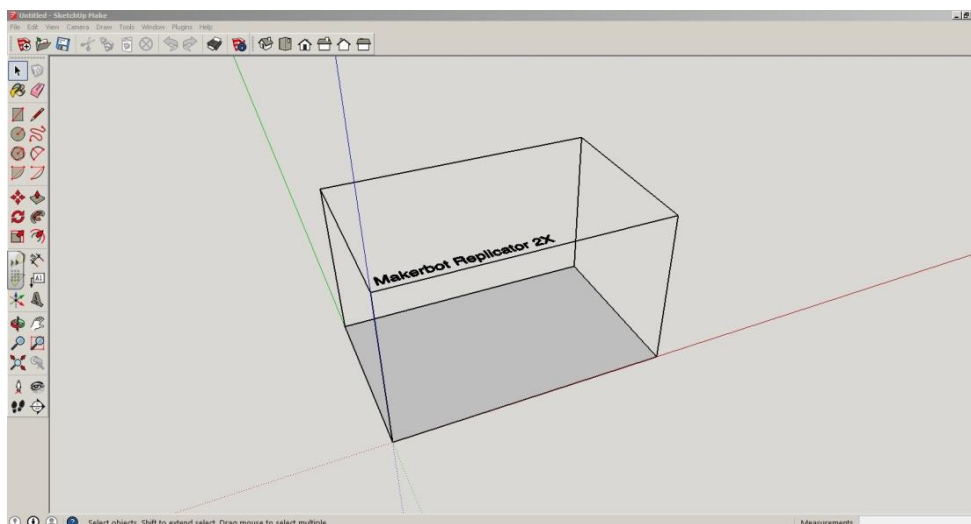
## 6.1 Vytvoření zkušebního vzorku pro tisk

Lze předpokládat, že tato činnost v zásadě neskýtá žádná úskalí. Není zapotřebí vytvářet jakkoliv složité tvary. Vlastní tisk je časově náročný a je značná spotřeba vlastního materiálu pro tisk. Nelze tisknout žádné složité tvary a především žádné součásti, které mají poměr základny blížící se 1:1. K prohýbání dochází spíše u materiálů úzkých a delších.

Volba na tvar vychází ze zkušeností při vlastním tisku, kde se tyto potíže vyskytovaly jen u specifických tvarů. Pro ověření jednotlivých hypotéz byl nakonec zvolen tvar kvádra o rozměrech 5 x 10 x 100mm (š. v. d.). Vlastní orientace tisku bude u vzorku tak, že základna bude široká 5mm a dlouhá 100mm. Rozměr 10mm bude do výšky.

### 6.1.1 Práce s programem 3D modelování

Vlastní 3D vymodelování vzorku může proběhnout prakticky v jakémkoliv vhodném modelovacím programu. V mém případě jsem použil volně stažitelný program SketchUp.



**Obrázek 31** Spuštěný program SketchUp

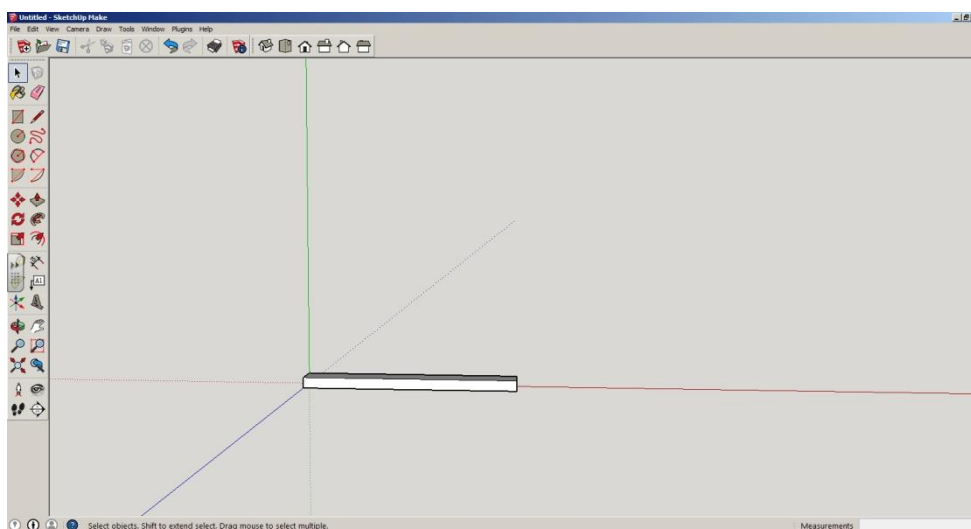
Jak již bylo řečeno, pro vlastní modelování jsem použil program SketchUp. Jedná se o program, který je volně stažitelný a jeho použití neskýtá licenční problémy.

Po jeho spuštění se objeví paleta nástrojů, ze které lze vybírat jednotlivé nástroje. Na první pohled se může jevit program jako složitý, navíc nemusí každému vyhovovat jeho anglická lokalizace. Jistě si většina z nás dokáže představit raději českou verzi, ale ta momentálně není k dispozici. Práce se samotným programem po vyzkoušení není příliš složitá, ale má svá omezení.

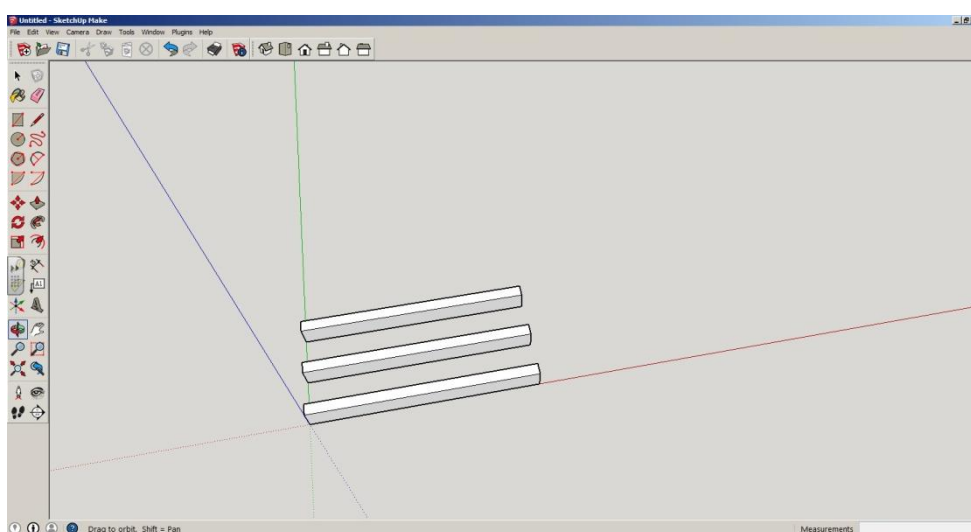
Vlastní návrh proběhl jako jednoduché vytažení obdélníku, tedy rozměru 2D, který se následně vytáhne do výšky, do 3D rozměru. Součástí kresleného objektu je i zobrazení rozměrů v mm. Navíc je možné pomocí funkce metru tyto rozměry zkontrolovat, popřípadě si označit místa, kde budeme například dále kreslit další části. Nemá zde smysl rozebírat jednotlivé nástroje programu SketchUp, ale přesto je třeba alespoň zmínit možnost, kdy po nakreslení vlastního objektu smažeme jednotlivé pomocné osy a zadní šedivou plochu, která je ve skutečnosti půdorysem.

Během kreslení nenastalo žádné úskalí, ale k závěru přípravy vzorku se nakonec ukázal problém, který jsem následně musel vyřešit hned na začátku při vlastním kreslení v SketchUp. Při tvorbě hypotézy budou tisknuty vždy tři vzorky při stejné teplotě. Následně z těchto vzorků vznikne průměr, který bude brán jako naměřená hodnota příslušné hypotézy. Potíž je v tom, že by bylo zapotřebí takto provést tisk 3x

za sebou. Pokud chceme, aby se na ploše tiskárny CubeX tiskly všechny tři vzorky současně, je zapotřebí vzorek již na počátku nakreslit 3x. Vytvořený díl 3D bere tiskárna jako celek, pokud tedy nakreslíme hranolek ve SketchUp 3x, bude jej následně tiskárna vnímat jako jeden.



Obrázek 32 Hranol ve SketchUp



Obrázek 33 Hranol 3x ve SktechUp

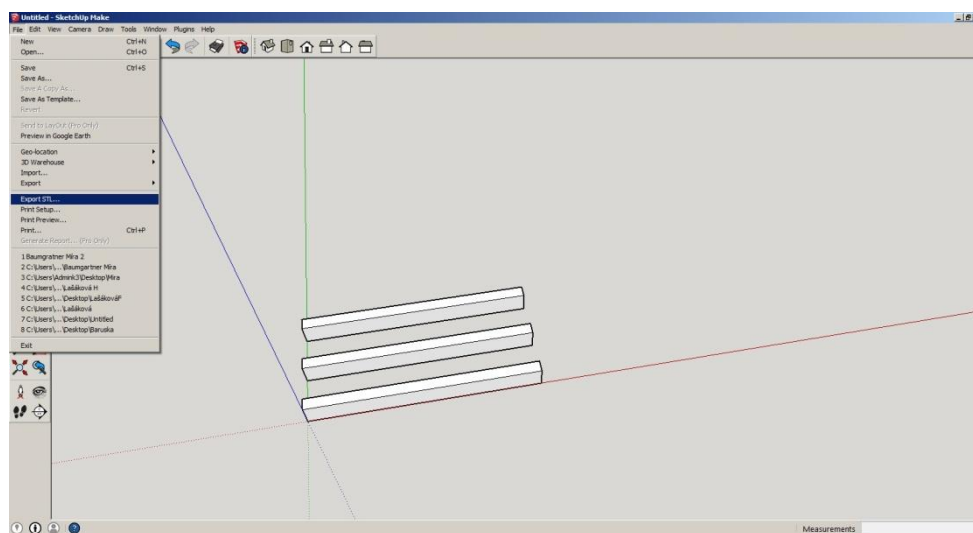
Vytvoření z jednoho vzorku na trojnásobek neskýtá žádný zásadní problém za předpokladu, že dokážeme dostatečně ovládat SketchUp. Nejde o klasický způsob, jaký známe všichni Ctrl+V a Ctrl+V. Je zapotřebí použít speciální funkci kopírování, která se nachází v nabídce v levé nabídkové liště. Následně klikneme na objekt, který chceme kopírovat a stisknutím tlačítka Ctrl se na vybraném objektu ukáže znaménko +, následně při stisknutém tlačítku myši přeneseme objekt nad již vytvořený a

necháme jej připnutý k ose y. Stejným způsobem pokračujeme do požadovaného počtu.

Při vlastní tvorbě je zapotřebí mít stále na paměti, kde je půdorys! Jedná se o zešedlou plochu. Rozměr hranolku je 5 x 10 x 100mm (š. v. d.). Pokud bychom si nedali pozor, můžeme hranolek položit na bok.

Po vlastním vytištění by se hranolek sejmul z plochy a výsledek by byl stále 5 x 10 x 100, ale to je za předpokladu, že potřebujeme hranolek pro další použití. Naším cílem je ověření hypotéz o vlivu teploty na vnitřní mechanické napětí, které ve výsledku vede k probíhání materiálu. V takovém případě je zapotřebí přesná orientace tisku na výšku. Tedy materiál bude délkou 100mm ležet na podložce a to svou užší stranou 5mm a následný tisk bude probíhat do výšky 10mm.

Na závěr vytvořené dílo uložíme a vše je tak uloženo ve formátu programu SketchUp pro další použití a případné úpravy. Pokud potřebujeme vzniklý objekt použít pro 3D tisk, je zapotřebí jej uložit ve vhodném formátu STL.

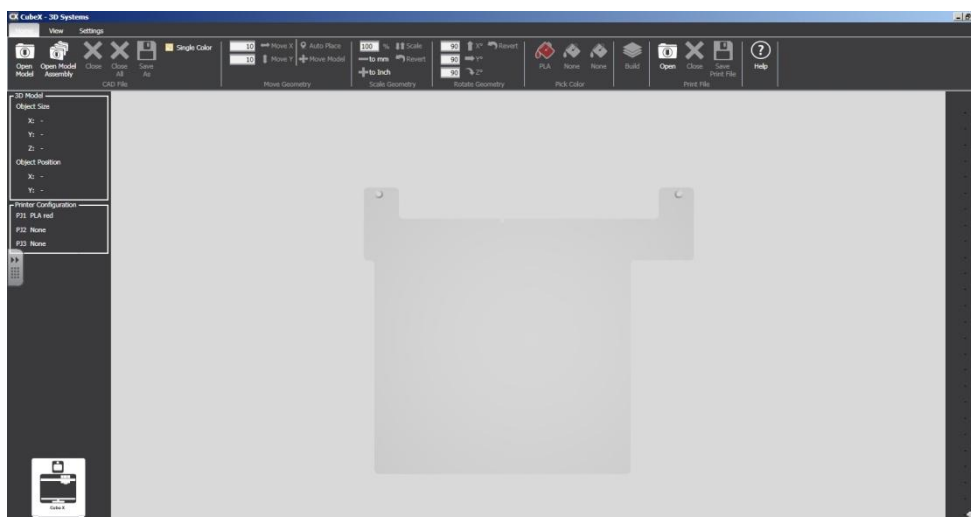


**Obrázek 34** Ukládání vzorku ve SketchUp do formátu STL

Tato možnost není součástí vlastního programu SketchUp, ale je zapotřebí jí do vlastního programu dodatečně instalovat. Zároveň je třeba připomenout, že takto uložený vymodelovaný vzorek ve formátu STL, již není možné ve SketchUp otevřít a případně upravovat. Jedná se o export do formátu pro 3D tisk.

### 6.1.2 CubeX – 3D Systems

Vygenerovaný a připravený vzorek v podobě souboru STL se může tisknout v libovolné 3D tiskárně. Každá tiskárna má však svá určitá specifika, která vyžadují přípravu vzniklého vzorku do vlastních vektorů. Zároveň je to též závislé na způsobu komunikace tiskárny s vnějšími perifériemi. Zmiňovaná tiskárna CubeX komunikuje pomocí paměti USB flash.



Obrázek 35 Program CubeX - 3D Systems

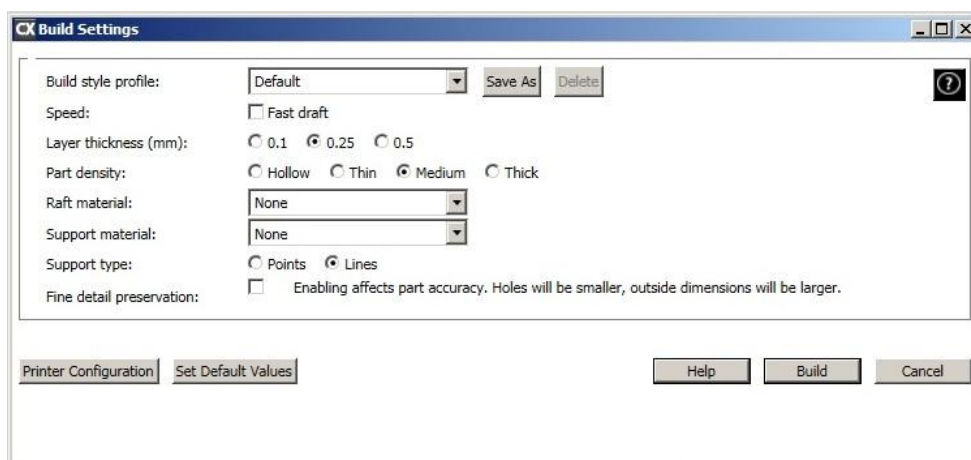
Opět se nejedná o nikterak složitou operaci, exportovaný vzorek v STL se otevře v programu CubeX – 3D Systems, kde je následně exportován do vlastního formátu, kterému rozumí vlastní tiskárna. Zde je případná možnost nastavení drobných atributů tisku.

Jedná se především o možnost změny prostorových rozměrů. Nelze zde upravovat dílčí rozměry, ale je možné vše zvětšovat, popřípadě zmenšovat v rovném poměru. Například náš vzorek je možné zvětšit 2x, to by znamenalo jeho výsledné rozměry 10 x 20 x 200mm. Přesto vlastní program není tvořen primárně pro úpravy, ale především na nastavení atributů vlastního tisku. Složitější úpravy je vždy zapotřebí provádět v modelovacím programu.

Pro vlastní tisk je CubeX – 3D Systems zásadní především v možnosti nastavení kvality tisku. Od teploty vlastní trysky, se kterou se příliš nedoporučuje experimentovat, protože je nastavena výrobcem, až po další možnosti. Především sílu jednotlivých vrstev tisknutého plastu a jeho případného druhu. Každý plast má trochu jiné

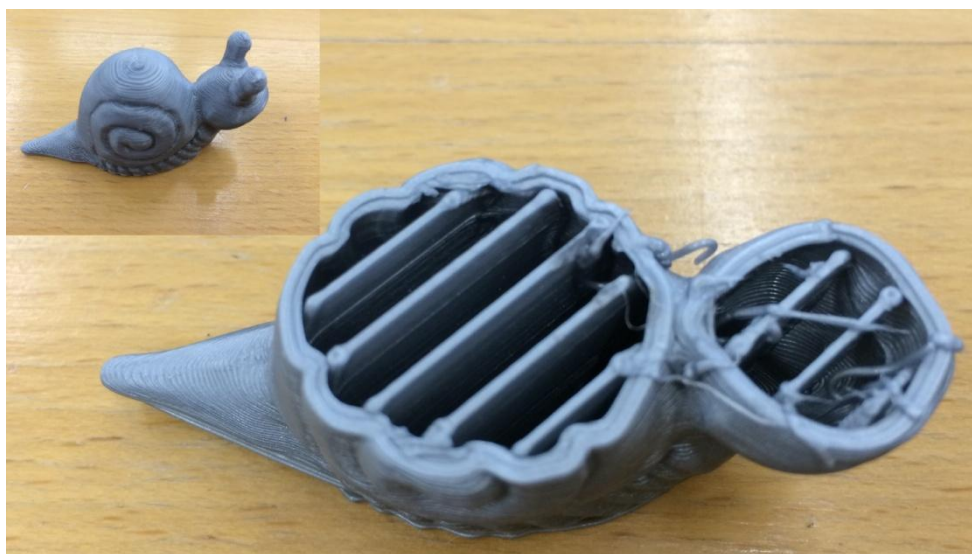


termodynamické vlastnosti a je zapotřebí, aby jeho vrstvení probíhalo odlišně, stejně tak teplota trysky se liší.



Obrázek 36 Nastavení atributů tisku

Z hlediska pevnosti materiálu, jeho spotřebovaného množství a doby tisku se tiskárna snaží vytvořenou konstrukci zjednodušit. Například v mém případě si u kvádrů program vytvořil vnitřní dutiny, které byly vyplněny šikmými přepážkami po 10mm délky. Po vlastním vytištění by se kvádr na první pohled tvářil jako z plného materiálu. Ve skutečnosti by se jednalo o materiál dutý s výstužnými přepážkami. Cílem takového tisku je ušetřit materiál a zkrátit čas tisku, za předpokladu, že nám nižší pevnost nevadí, je to jistě vhodné. Pro účely experimentu, respektive ověření jednotlivých hypotéz, není možné takový tisk využít.



Obrázek 37 Vnitřní uspořádání příček při tisku



Příklad utváření přepážek při vlastním tisku je možné spatřit na následujícím obrázku, kde je patrný výsledný vytištěný objekt a jeho stav v průběhu tisku.

Jako poslední po nastavení atributů tisku stačí vše exportovat pro tiskárnu a uložit. Při kliknutí na export vše proběhne během několika sekund. Program na závěr vypíše předpokládaný čas, který bude zapotřebí pro vlastní tisk. V našem případě u tří kusů vzorků se objevila hláška s časem tisku 1h a 30min. Vše pouze potvrdíme a uložíme, případně uložíme s vlastním názvem. Takto vzniklé soubory lze zálohovat, posílat emailem a podobně. V našem případě si je nahrajeme na USB flash a připojíme k tiskárně. Na displeji tiskárny si v nastavení vybereme požadovaný soubor. Právě pro snadnější orientaci je vhodné si jej pojmenovat dle naší potřeby. Následně potvrdíme a můžeme tisknout.

## 6.2 Ověřování a měření

Pro měření prohnutí materiálu budou použity planžetové kalibry, s měřitelným rozsahem 0,05 – 1mm. Přesnost měření je 0,05mm.



Obrázek 38 Planžetové kalibry

Vlastní měření bude probíhat vždy na 3ks vzorcích. To znamená, že ke každé hypotéze, tj. teplotě se vytisknou 3ks zkušebního vzorku, u kterých se následně provede měření. Následně ze tří získaných rozměrů se zjistí výpočtem aritmetický průměr a ten bude brán v potaz jako výsledný, vždy k jedné teplotě.

Vlastní mechanismus měření proběhne na rovné podložce, kde se jeden konec přitiskne ke stolu. Na konci druhé strany se provede měření mezery mezi podložkou a vytištěným vzorkem. Pokud bude měřený vzorek prohnutý, projeví se to mezerou mezi vzorkem a podložkou.

Čím bude změřená hodnota v mm nižší, bude měřený vzorek považován za rovnější. Naším cílem je dosáhnout stavu, kdy bude vzorek naprosto rovný, respektive nepůjde bez použití síly zasunout měřka mezi podložku a vlastní vzorek.

## 6.3 Experiment

Při vlastním experimentu se bude pohybovat teplota pro jednotlivé hypotézy po 5°C, od výchozí teploty 35 – po 70°C.

Lze předpokládat, že nižší teplota nemá vliv na vylepšení vlastností tisku. Horní hranice teploty 70°C je již taková hodnota, při které plast PLA začíná měknout a lze jej ručně tvarovat.

V případě skokové změny prohnutí vzorku lze mezi dvěma teplotami vložit dodatečnou hypotézu s teplotním krokem 2,5°C.

V případě navyšování teploty a neměnné měřené odchylky vzorku se bude pokračovat v experimentu až po finální teplotu 70°C.

### 6.3.1 Hypotéza

Jendou z očekávaných hypotéz je nalezení přesné teploty pro tisk, při kterém nebude docházet k prohýbání materiálu. Je více pravděpodobné, že se nepodaří najít teplotu s přesností několika málo °C. Naopak je reálnější, že se spíše podaří objevit vhodnou oblast teploty, která bude začínat konkrétní teplotou. Konec vhodné teplotní oblasti bude spíše ohraničen technologií vlastního tisku, že s rostoucí teplotou bude narušována samotná technologie 3D tisku.

Naším cílem je najít přijatelnou teplotu, která nebude při vlastním tisku působit potíže, bude mít dostatečnou rezervu, ale zároveň nebude příliš minimální mez

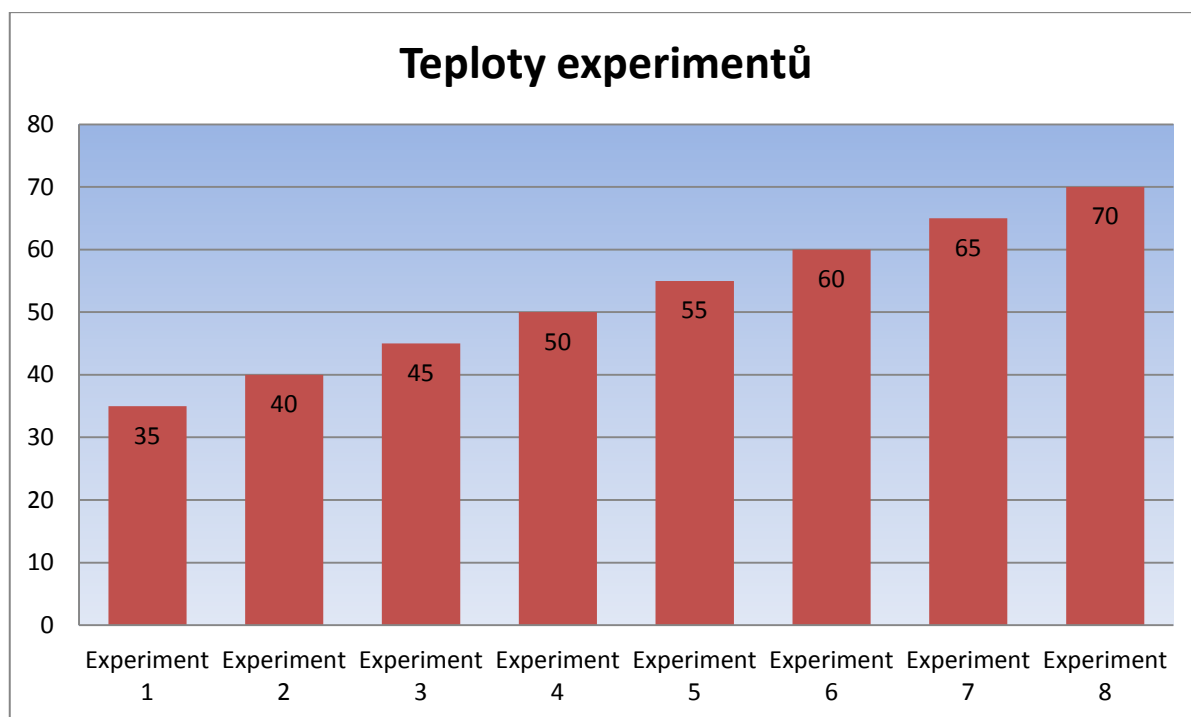
přesahovat. Navyšování teploty by bylo spíše neekonomické a navíc může působit potíže vlastnímu tisku.

### 6.3.2 Postup při experimentu

Vlastní ověřování bude probíhat po zapnutí tiskárny a jejím ohřátí na nastavenou teplotu dle konkrétního experimentu. Následně proběhne vytištění tří kusů vzorků současně. Po ukončení tisku se vyhřívání vypne a nechá se vychladnout na teplotu okolí. Následně se vzorky z tiskárny vyjmou. Teprve po té se zapne vyhřívání a bude se pokračovat dalším experimentem.

Seznam experimentů dle teploty, viz následující tabulka:

Tabulka 2 Teploty experimentů



Každý experiment bude následně zaznamenán hodnotově, tedy zemřené pokroucení materiálu a následně zanesen do grafu, kde bude jeden sloupec zobrazovat teplotu a druhý sloupec naměřenou odchylku. Za účelem lepšího vizuálního porovnání rozměrů v grafu, budou naměřené hodnoty zobrazeny v 0,01mm (příklad: naměřená hodnota 0,5mm, do grafu bude zaneseno číslo 50).

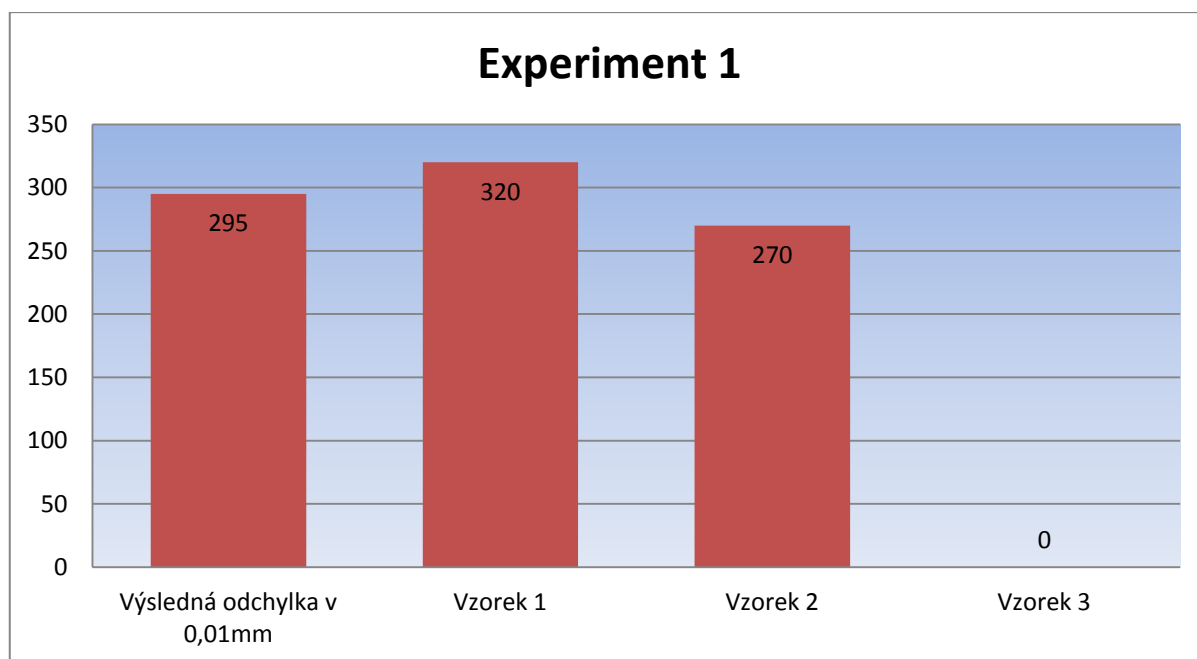
Ke každému grafu budou slovně připsány naměřené hodnoty všech vzorků a vypočtený jejich průměr, který bude brán v potaz jako hodnota do grafu a pro závěrečné vyhodnocení.

### 6.3.3 Experiment 1 – 35°C

Naměřené hodnoty vzorků:

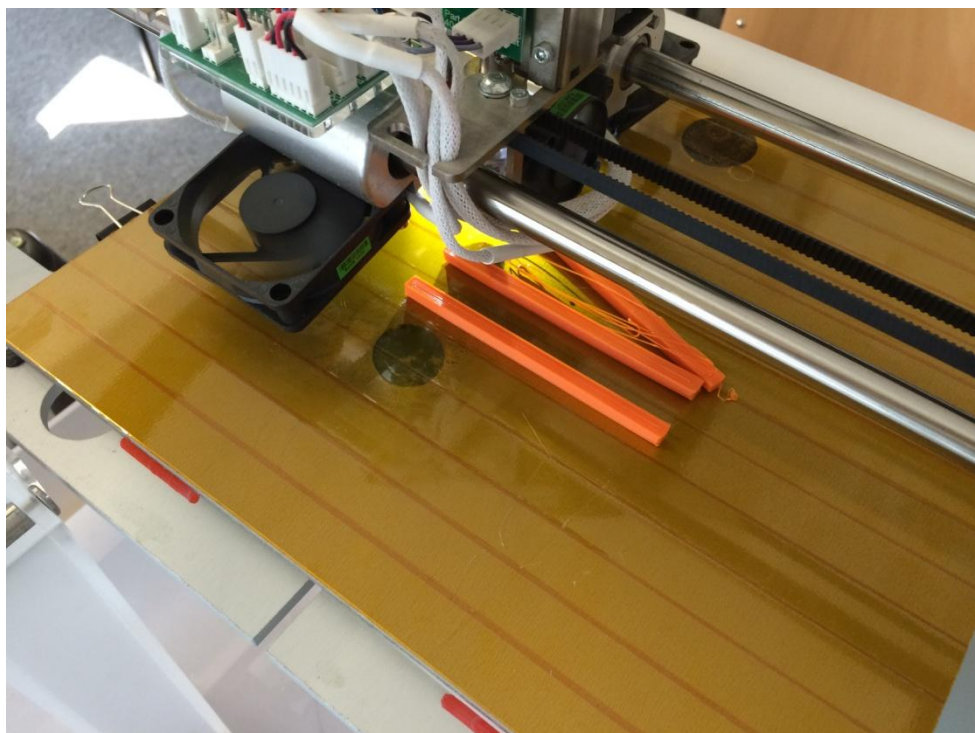
1. Vzorek: 3,2mm
2. Vzorek: 2,7mm
3. Vzorek: --
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 2,95mm

Tabulka 3 Experiment 1 - teplota 35°C



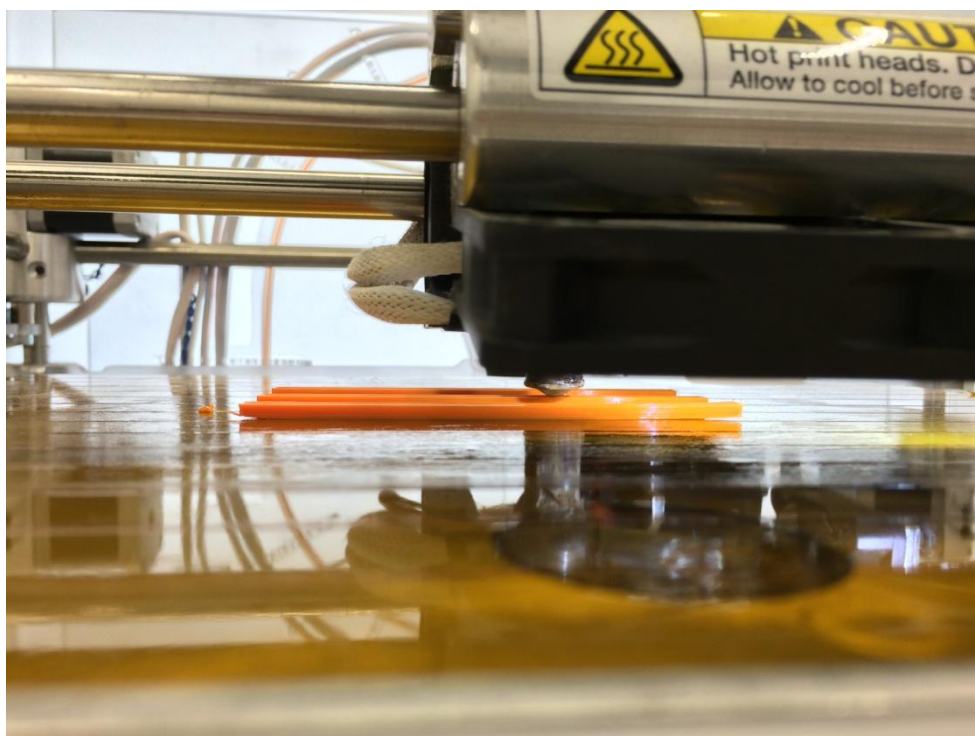
#### Průběh experimentu

Během testování došlo při vlastním tisku k utržení vzorku č. 3. Následně na to byl tisk zastaven a do výsledné průměrné odchylky byly započteny pouze zbývající vzorky č. 1 a 2.



Obrázek 39 Uvolnění vzorku

Během prvního experimentu se již na první ukázalo, že při velmi nízkých teplotách podložky dochází ke značnému mechanickému pnutí v materiálu. Způsobená odchylka je tak patrná pouhým pohledem, viz následující obrázek.



Obrázek 40 Tisk 1. Vzorku



Vlastní měření nebylo možné provést předem stanovenou metodou za pomoci kalibračních planžet, jelikož jejich rozsah je do 1mm. Bylo tak využito náhradního měření za použití posuvného měřítka.



Obrázek 41 Posuvné měřítko

Bohužel tato metoda, při které jsem měřil rozdíl mezi vzorkem a podložkou, nebyla nejpresnější. Vlastní měření proběhlo částí posuvného měřítka určeného pro měření otvorů. Pomocí této části jsem měřil vzdálenost mezi podložkou a vlastním vzorkem. Zároveň k předčasnému ukončení tisku se vzorky částečně prohýbaly a bylo tak obtížné změřit přesně odchylku.

Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.



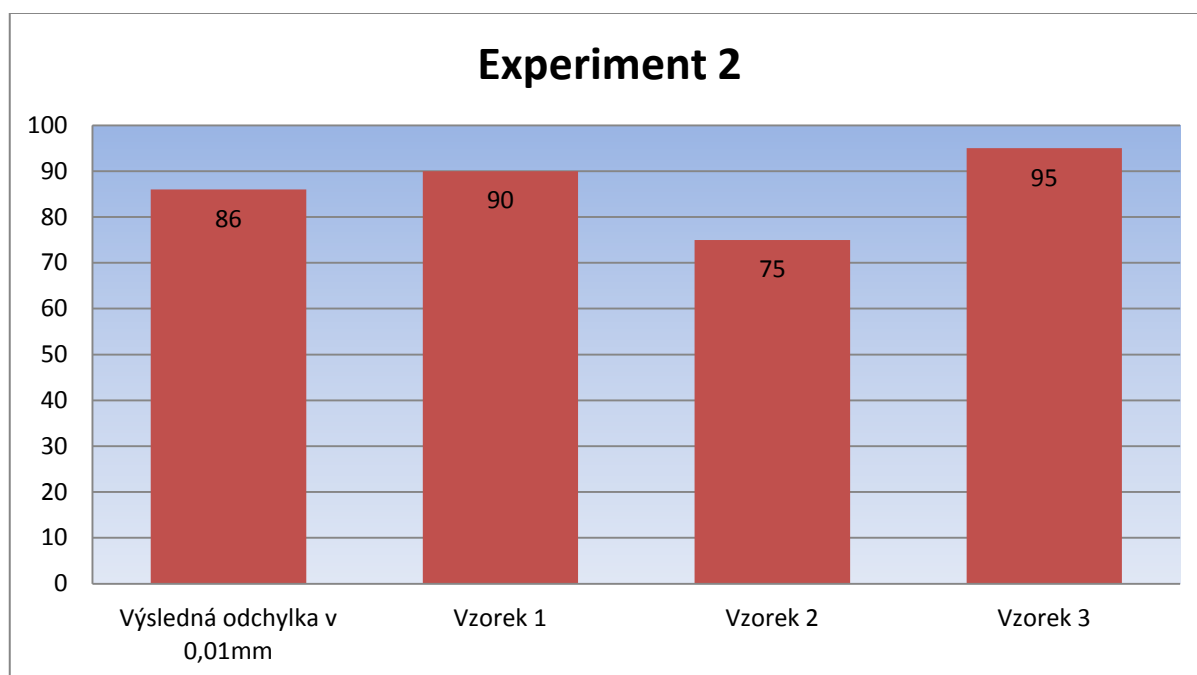
Obrázek 42 Vzorek experimentu 1.

### 6.3.4 Experiment 2 – 40°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: 0,9mm
2. Vzorek: 0,75mm
3. Vzorek: 0,95mm
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 0,86mm

Tabulka 4 Experiment 2 - teplota 40°C



### Průběh experimentu

Průběh vlastního experimentu byl uspokojivý a nedošlo k jakýmkoliv nežádoucím jevům. Vlastní měření proběhlo dle předem stanovených kritérií a postupů za použití planžetových kalibrů. Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.





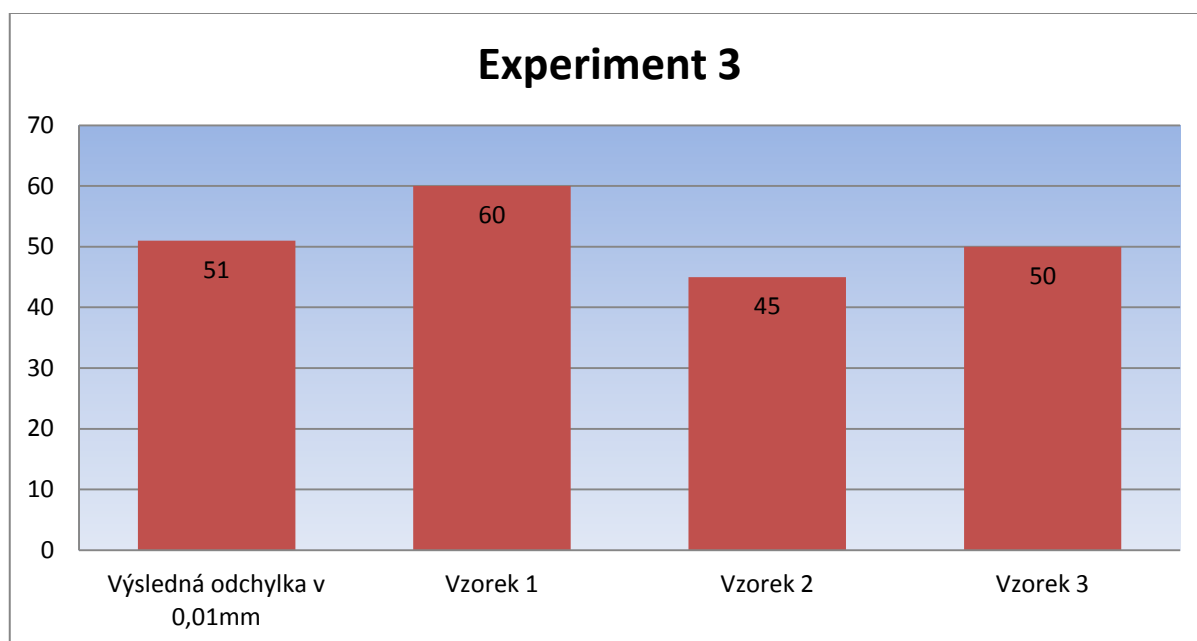
Obrázek 43 Vzorek experimentu 2.

### 6.3.5 Experiment 3 – 45°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: 0,6mm
2. Vzorek: 0,45mm
3. Vzorek: 0,5mm
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 0,51mm

Tabulka 5 Experiment 3 - teplota 45°C



#### Průběh experimentu

Průběh vlastního experimentu byl uspokojivý a nedošlo k jakýmkoliv nežádoucím jevům. Vlastní měření proběhlo dle předem stanovených kritérií a postupů za použití planžetových kalibrů. Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.



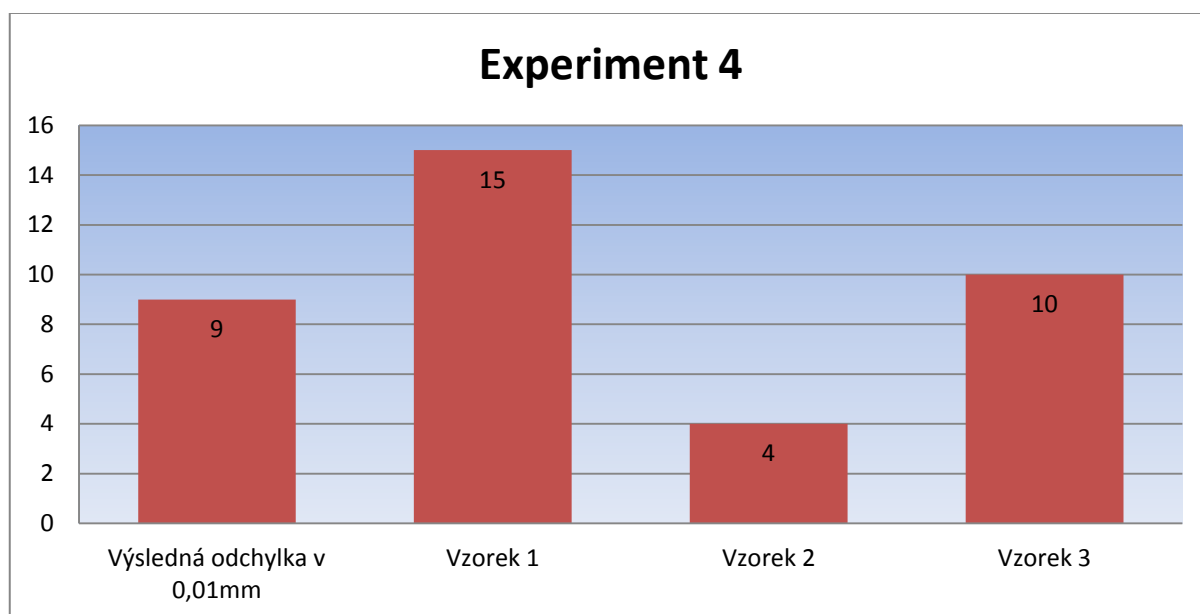
Obrázek 44 Vzorek experimentu 3.

### 6.3.6 Experiment 4 – 50°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: 0,15mm
2. Vzorek: 0,04mm
3. Vzorek: 0,1mm
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 0,09mm

Tabulka 6 Experiment 4 - teplota 50°C



#### Průběh experimentu

Průběh vlastního experimentu byl uspokojivý a nedošlo k jakýmkoliv nežádoucím jevům. Vlastní měření proběhlo dle předem stanovených kritérií a postupů za použití planžetových kalibrů. Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.



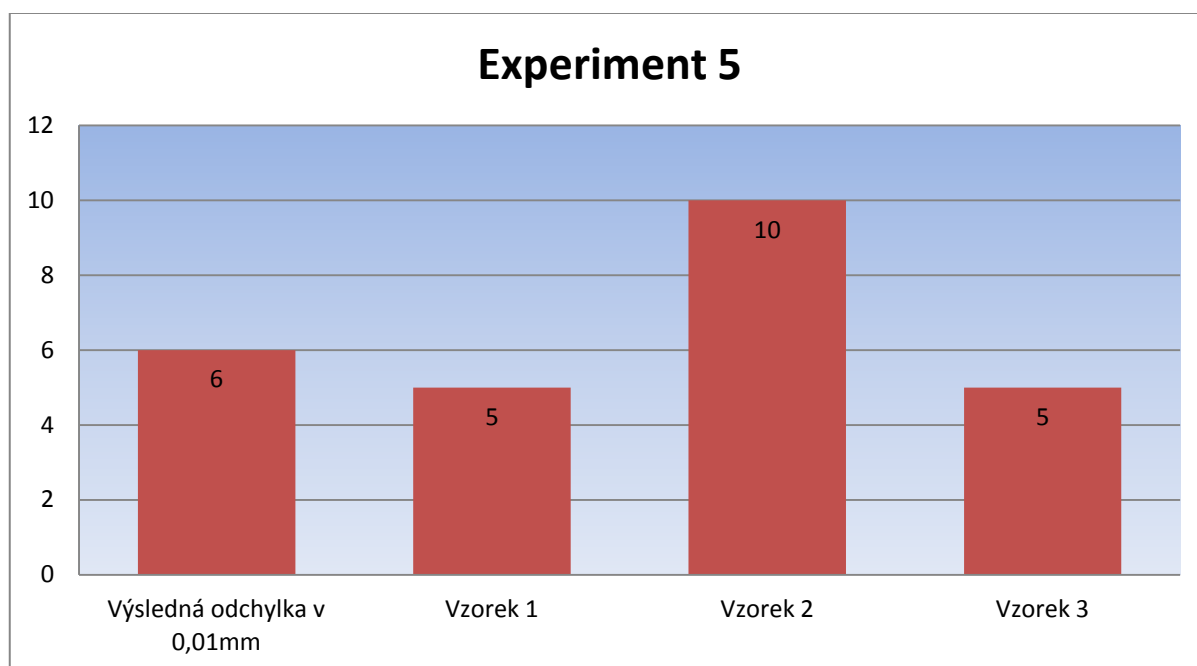
Obrázek 45 Vzorek experimentu 4.

### 6.3.7 Experiment 5 – 55°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: 0,05mm
2. Vzorek: 0,1mm
3. Vzorek: 0,05mm
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 0,06mm

Tabulka 7 Experiment 5 - teplota 55°C



Průběh vlastního experimentu byl uspokojivý a nedošlo k jakýmkoliv nežádoucím jevům. Vlastní měření proběhlo dle předem stanovených kritérií a postupů za použití planžetových kalibrů. Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.



Obrázek 46 Vzorek experimentu 5.

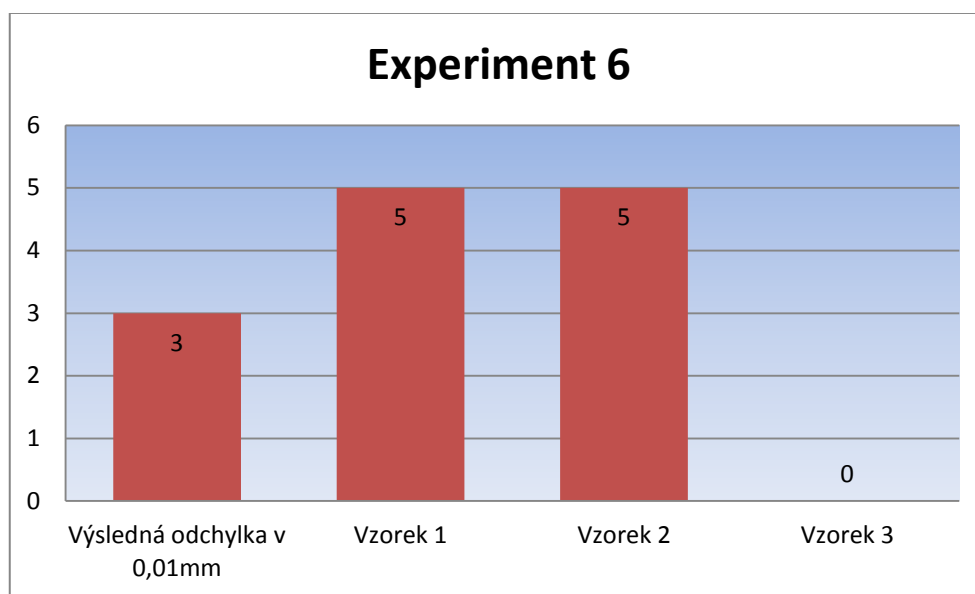


### 6.3.8 Experiment 6 – 60°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: 0,05mm
2. Vzorek: 0,05mm
3. Vzorek: 0,00mm
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 0,03mm

Tabulka 8 Experiment 6 - teplota 60°C



#### Průběh experimentu

Průběh vlastního experimentu byl uspokojivý a nedošlo k jakýmkoliv nežádoucím jevům. Vlastní měření proběhlo dle předem stanovených kritérií a postupů za použití planžetových kalibrů. Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.



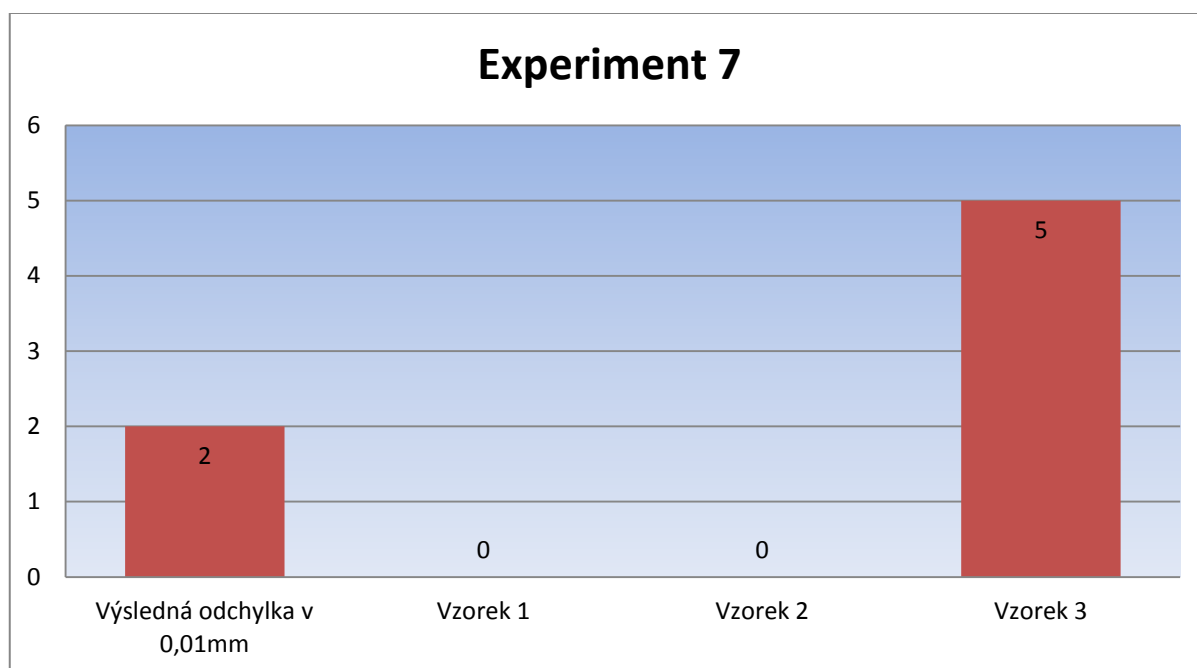
Obrázek 47 Vzorek experimentu 6.

### 6.3.9 Experiment 7 – 65°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: 0,00mm
2. Vzorek: 0,00mm
3. Vzorek: 0,05mm
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: 0,02mm

Tabulka 9 Experiment 7 - teplota 65°C



### Průběh experimentu

Průběh vlastního experimentu byl uspokojivý a nedošlo k jakýmkoliv nežádoucím jevům. Vlastní měření proběhlo dle předem stanovených kritérií a postupů za použití planžetových kalibrů. Vlastní vzorek je vidět na následujícím obrázku, všechna naměřená data jsou zaznamenána a pro přehlednost zanesena do tabulky.



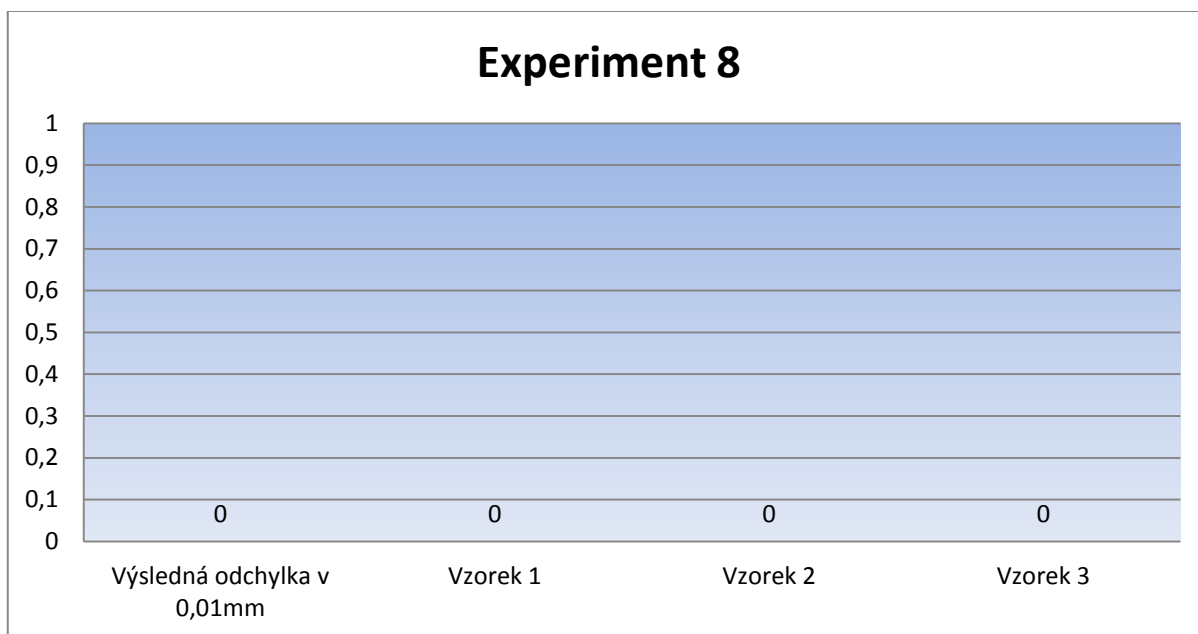
Obrázek 48 Vzorek experimentu 7.

### 6.3.10 Experiment 8 – 70°C

Naměřené hodnoty vzorků:

1. Vzorek: --
2. Vzorek: --
3. Vzorek: --
4. Aritmetický průměr naměřených výsledků: --

Tabulka 10 Experiment 8 - teplota 70°C



### Průběh experimentu

Poslední experiment byl zrušen ze dvou příčin:

1. Výkon vyhřívací podložky již nedokázal uspokojivě dosáhnout požadované teploty. Ačkoliv se při samostatných zkouškách podařilo tuto teplotu dosáhnout, při běhu tiskárny nikoliv. Důvodem je běh ventilátorů tiskárny, které dokáží podložku ochladit a výkon podložky již toto chlazení nepřekoná.
2. Již při teplotě 55°C došlo k natavení prvních vrstev vzorku a výsledný vzorek neměl 10mm výšky, ale méně. Při dalších teplotách tomu bylo stejně a naopak se situace zhoršovala. Lze předpokládat, že i u tohoto experimentu by tomu nebylo jinak.

## 7 Vyhodnocení experimentů

Výsledek experimentů vedl k ověření předpokládaných hypotéz a k nalezení vhodného teplotního rozsahu pro tisk. Zároveň však poukázal na další potíže, které vyvstaly během tisku a o jejich protichůdnosti s rostoucí teplotou.



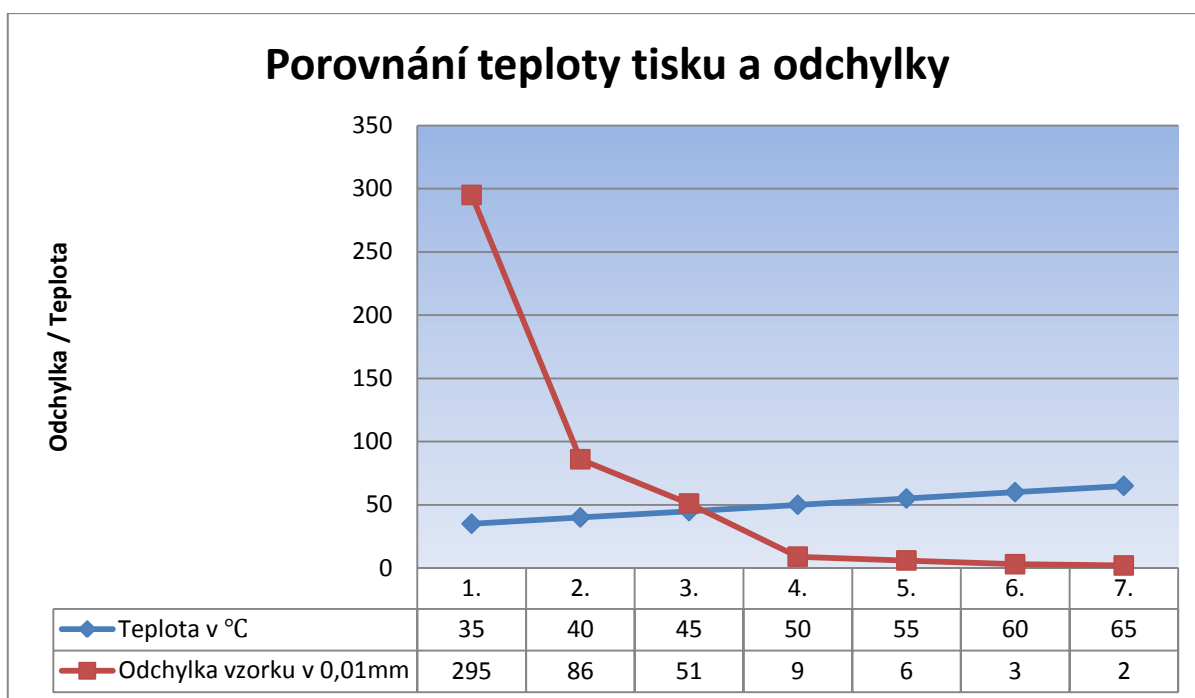
Obrázek 49 Experimentální vzorky

### 7.1 Vliv teploty na tisk

Jak bylo dříve v hypotéze předpokládáno, že se stoupající teplotou bude docházet k nižšímu vnitřnímu mechanickému pnutí v materiálu, se pravdivost této hypotézy ověřila. Nebylo však na začátku patrné, při jaké teplotě bude uspokojivě probíhat vlastní tisk.

Celkový průběh experimentu je nejlépe patrný v následující tabulce. Jedná o porovnání závislosti teploty na naměřených odchylkách vzorků. Z tabulky je patrný prudký pokles pnutí v materiálu a tedy i přesnější vlastní tisk již při teplotách 40°C.

Tabulka 11 Porovnání teploty a naměřené odchylky



### 7.1.1 Vyhodnocení experimentu 1 – 35°C

Během vlastního tisku bylo ověřeno, že uvedená teplota je pro tisk naprosto nevhodná. Pokud budeme tiskárnu využívat bez vyhřívání nebo i s velmi nízkou teplotou vyhřívání, je takové použití nevhodné. Při vlastním tisku docházelo již k prohnutí tisknutého vzorku, což vedlo v dalším vývoji k uvolnění vzorku č. 3, který tak již nemohl být vytisknut. Následně tiskárna pokračovala v tisku, ale pouze na vzorcích 1 a 2. Třetí vzorek se pokoušela tisknout, což se projevilo dalším uvolňováním materiálu na již neexistující vzorek.

Lze konstatovat, že experiment prokázal nevhodnost použití této teploty pro vlastní tisk a značnou nepřesnost tisknutého produktu, která byla v průměru 2,96mm.

### 7.1.2 Vyhodnocení experimentu 2 – 40°C

Dle výše uvedené tabulky je možné pozorovat značný kvalitativní skok, který nastal v přesnosti tisku pouhým posunutím teploty o 5°C výše. Přesnost tisknutého vzorku se z původních 2,96mm posunula rázem pod hranici 1mm, přesněji na průměrných 0,86mm. Ačkoliv se stále nejedná o uspokojivý výsledek, je již kvalita tisku pro méně náročné aplikace použitelná.



S ohledem na stanovené hypotézy lze konstatovat, že předpoklad zvýšení kvality tisku se zvýšením teploty podložky se ukázal jako správný. Tento experiment ještě nepoukazuje na konkrétní teplotu či její rozsah, ale alespoň potvrzuje správný směr postupu v hypotéze ověřený experimenty.

### 7.1.3 Vyhodnocení experimentu 3 – 45°C

Jestliže v předcházejícím experimentu bylo možné pozorovat doslova kvalitativní skok, v tomto případě došlo již k nepatrnému zlepšení kvality o přibližně 0,3mm na průměrných 0,51mm. V předpokládané hypotéze jsem uvažoval o zlepšení tisku s rostoucí teplotou, ale zda bude přesnost lineárně závislá na teplotě, či nikoliv stanovené nebylo.

Použití této experimentální teploty v praxi by již bylo možné, ale stále musíme uvažovat maximálně u méně náročných aplikací. Přesto výsledek poukazuje na zlepšující se trend.

### 7.1.4 Vyhodnocení experimentu 4 – 50°C

Při této teplotě se poprvé naměřená odchylka dostává pod 0,1mm! Stanovit jaká hodnota přesnosti je ta správná úplně nelze. Vždy záleží na konkrétní aplikaci v praxi a použitém materiálu. Průměrná odchylka je 0,09mm.

Výsledkem experimentu je při této teplotě uspokojivá přesnost, navíc s ohledem na použitý materiál – plast. Není podstatný druh plastu, ale s ohledem na mechanické vlastnosti plastů lze dosažení uvedené přesnosti považovat za uspokojivé.

### 7.1.5 Vyhodnocení experimentu 5 – 55°C

Při této teplotě opět došlo k mírnému zlepšení na průměrnou přesnost vzorku 0,06mm. Oproti původní hodnotě došlo ke zlepšení o 0,03mm. Ačkoliv teplota stoupla o 5°C, došlo pouze k mírnému nárůstu kvality.

Původní předpoklad počítal s rostoucí kvalitou tisku při rostoucí teplotě, ale nárůst kvality se značně snižuje a již se objevuje jiný problém, se kterým původní hypotéza vůbec nepočítala. Při této teplotě se sice zlepšila o něco přesnost, ale došlo k nalepení vzorků na podložku. Na jejich uvolnění bylo zapotřebí použít kleště. Rukou

se nepodařilo vytištěný vzorek uvolnit. Zároveň jsem pozoroval jisté natavení materiálu PLA na spodní straně. Po změření výšky vzorku jsem zjistil, že na místo předpokládaných 10mm, je pouze 9,7mm!



Obrázek 50 Natavení tisknutého vzorku

Dalo by se předpokládat, že by tisk mohl být méně kvalitní, ale v případě tiskárny CubeX, která patří v kvalitě k jistému středu mezi 3D tiskárnami, tento argument obtížně ob stojí.

Výsledkem hypotézy je sice nárůst kvality, ale nikterak dramatický. Naopak došlo k nepředvídanému jevu, snížení vlastní výšky vzorku, které je zapříčiněné nárůstem teploty podložky a dlouhým chladnutím materiálu.

#### 7.1.6 Vyhodnocení experimentu 6 – 60°C

Tento experiment se nesl v podobném duchu jako předcházející. Při nárůstu vyhřívací teploty nastalo kvalitativní zlepšení o další 0,03mm na průměrnou hodnotu 0,03mm. Problém s výškou tisknutého vzorku se opakoval a stejně tak problém s uvolněním vytištěného vzorku za použití vhodného nástroje.

Výsledkem experimentu je zlepšení na přesnost 0,03mm, což u plastu je přesnost výborná i s ohledem na jeho mechanické vlastnosti jako je pružnost, pevnost, tvrdost

a teplotní roztažnost. Na opačné kvalitativní straně leží výška vzorku, která je v tomto případě 9,5mm. Na jednu stranu lze hovořit o velice kvalitní přesnosti vytištěného vzorku díky snížení vnitřního mechanického pnutí, ale na straně druhé se snížení zadané výšky posune o 0,5mm! V takovém případě se výsledný výrobek může stát prakticky nepoužitelným.

#### 7.1.7 Vyhodnocení experimentu 7 – 65°C

Původně předpokládaný předposlední experiment se v kvalitě posunul opět o kousek dál, přesto změna již nebyla o 0,03mm jako v předcházejících experimentech, ale pouze o 0,01mm na průměrných 0,2mm. Je třeba připomenout, že přesnost měření je u planžetových kalibrů 0,05mm. Naměřené hodnoty jsou tak značně zkresleny tímto skokem, kdy u vzorků 1 a 2 nebylo možné použít kalibr 0,05mm, ale to neznamena, že nemohla být odchylka menší, ale nemusela být 0,00mm, jak je uvedeno ve vyhodnocovací tabulce dotčeného experimentu.

Výsledkem je zvýšená přesnost, která je velmi obtížně měřitelná, ale zároveň mírně natavený vzorek, který nemá požadovanou výšku. Výška vzorku je opět 9,5mm, tedy nedošlo ke zhoršení, jak by se dle předcházejících experimentů dalo předpokládat.

#### 7.1.8 Vyhodnocení experimentu 8 – 70°C

Uvedený experiment se nekonal, jak již bylo uvedeno výše.

Pokud pomineme problém s nedosažením potřebné teploty, který by se dal jistě vyřešit, je zde spíše otázka předpokládané hypotézy a postupných výsledků experimentů.

V podstatě ani nemělo smysl se o další experiment pokoušet. Přesnost se již dostala u předcházejícího experimentu na malou neměřitelnou hodnotu a kvalita tisku utrpěla snížením kvality v podobě neodpovídající požadované výšky vzorku.

### 7.2 Vznik nového problému

Jak již jsem zmínil v předcházejících hodnoceních jednotlivých experimentů, na základě předem stanovené hypotézy nastal jiný nepředpokládaný problém. Jedná se o snížení přesnosti tisku ve výšce vzorku. Ostatní rozměry jako je šířka a délka jsou

nezměněny od zadaných parametrů. Jediná změna nastala ve výšce a to v závislosti na teplotě.

Ke zjištění změny tohoto parametru došlo zcela náhodou, kdy při pohledu na srovnané jednotlivé vzorky byly na první pohled patrné drobné rozdíly. Při jejich přeměření pomocí posuvného měřítka jsem ověřil, že to co vidím je skutečnost.

Následně po zjištění této skutečnosti jsem změřil všechny vytištěné vzorky a zjistil, že k poklesu výšky nastává již u čtvrtého experimentu. Experimenty 1, 2, 3 jsou beze změn, ale v případě experimentu 4 nastává pokles výšky o 0,3mm a v případě experimentů 5, 6 a 7 nastává pokles o 0,5mm, na reálných 9,5mm výšky. Je zajímavé, že při stoupající teplotě se již výška nemění.

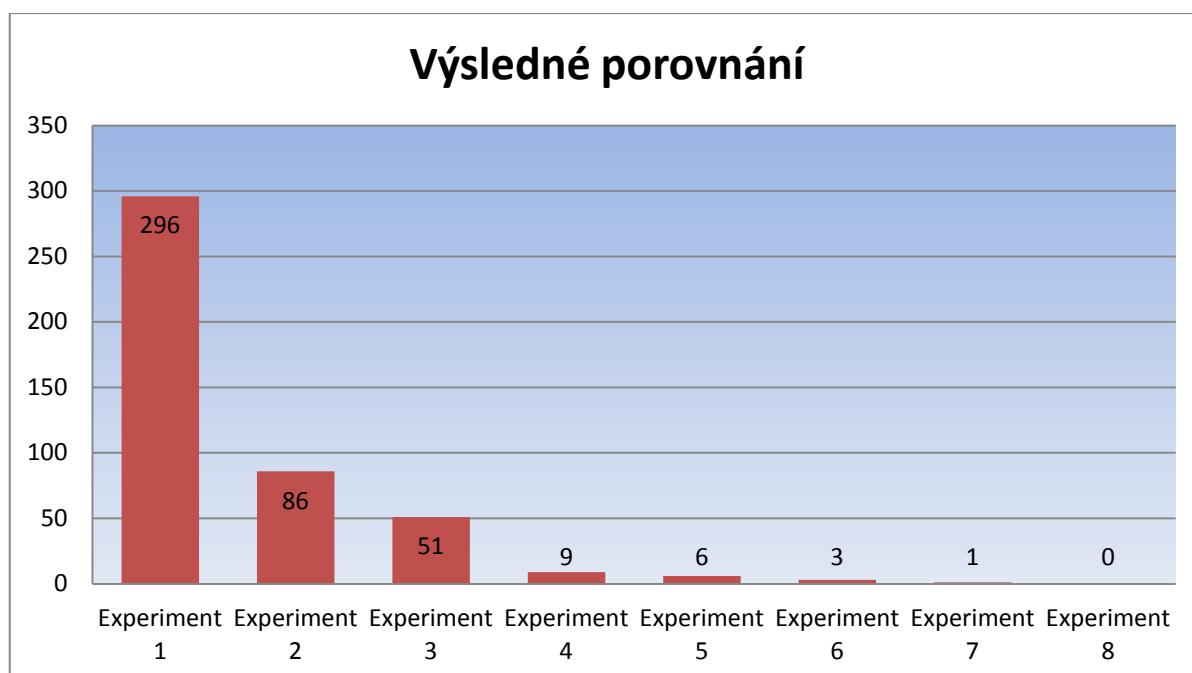
## 7.3 Shrnutí

Při výsledném vyhodnocení se nelze jen dívat na naměřenou přesnost vlastního tisku. Je zapotřebí zároveň respektovat a brát v potaz i problém se změnou výšky tisknutých vzorků. Ačkoli původní hypotéza s touto skutečností nepočítala, přesto při hledání vhodné teploty pro tisk jí budu do výsledku hypotézy počítat.

### 7.3.1 Přesnost tisku

V následující tabulce je znázorněna přesnost jednotlivých vzorků experimentů. Pro vlastní přehlednost nejsou již uvedeny teploty.

Tabulka 12 Porovnání odchylek jednotlivých experimentů



Z tabulky je patrné, že na počátku docházelo doslova ke skokové změně v přesnosti. Za minimální přesnost považuji hodnoty na hranici 0,5mm, ale samozřejmě přesnost pohybující se okolo 0,1mm je mnohem zajímavější.

Při pohledu na tabulku je patrné, že při experimentu 4 se dostává přesnost těsně pod hranici 0,1mm. Při pohledu na další experimenty je nárůst přesnosti pozvolný, ale až na experimentu 6 a následně i 7 se dostáváme pod hranici přesnosti měření pomocí planžetových kalibrů. Jen připomínám, že přesnost je 0,05mm. Reálně měřitelný je tak ještě experiment 6, ale i v tomto případě je jeden vzorek s hodnotou 0,00mm. Realita však taková být nemusí, protože planžeta 0,05mm nešla pod vzorek zasunout, ale to neznamená, že při použití jiné metody měření by se nakonec případná odchylka nenaměřila.

**S ohledem na celkový vývoj a možnosti přesnosti měření lze považovat za uspokojivý výsledek z experimentu 6, kterému odpovídala teplota 60°C.**

### 7.3.2 Zachování rozměrů vzorku

Na základě hypotézy byla zkoumána odchylka tisknutého vzorku od rovinné osy. Během experimentů však došlo k neočekávanému, při navyšování teploty ke změně

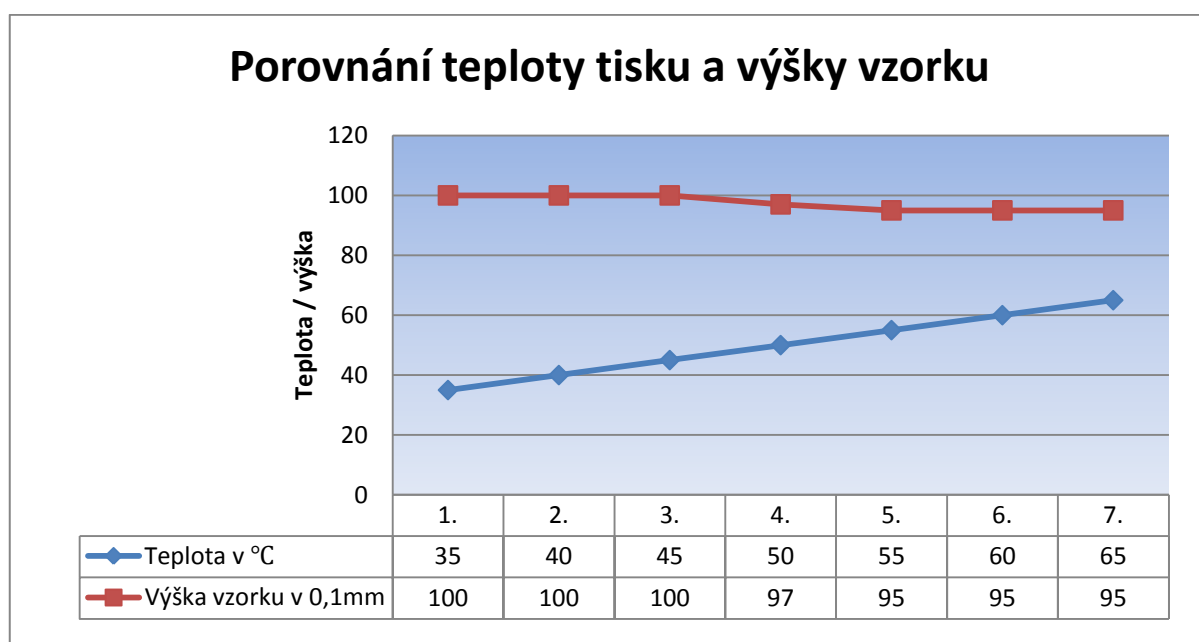
výšky tisknutého vzorku. Jen připomínám, že vzorek měl mít požadovanou výšku 10mm.

Vysvětlení tohoto jevu je celkem jednoduché. Tak jak má stoupající teplota vliv na vnitřní mechanické pnutí materiálu, tak rostoucí teplota zároveň způsobuje pomalé tuhnutí materiálu a tím jeho mírné roztečení do okolí. Vlastní tiskárna neumí zjistit, že vytištěná vrstva má jinou výšku a následně tiskne o něco výš, jak má v programu. Další vrstva však není přesně nanесena na předcházející a dojde tak jejímu částečnému „sklouznutí“ mimo osu tisknoucí trysky. Výsledkem je několik roztečených vrstev a další vyšší vrstvy, které se nanесou mimo osu trysky. Díky tomu je spodní část vzorku „rozjetá“ do strany a následující vrstvy se nanášejí na podklad, který je celkové níž.

Výsledkem je nejen nedosažení požadované výšky, ale jak tryska nanáší materiál z větší výšky, nedochází k dokonalému propojení jednotlivých vrstev a tím i ke snížení celkové pevnosti materiálu.

Celá problematika a závislost teploty na snižování výšky je nejlépe patrná z následující tabulky.

Tabulka 13 Vliv teploty na výšku vzorku



Z uvedené tabulky je patrné, že do teploty 45°C se žádné změny neprojevily. Teprve na experimentu 4, který byl proveden s teplotou 50°C, se projevila mírná odchylka v podobě 0,3mm. Jestliže dle hypotézy byla zkoumána odchylka od rovinné osy a dospěl jsem k závěru, že 0,5mm je hraniční odchylka, tak v tomto případě odchylka 0,3mm je tam maximální, kterou jsem schopen akceptovat.

Další nárůst teploty v jednotlivých experimentech snížil tuto výšku o 0,5mm. Jak je z tabulky parné, snížení výšky se ustálilo na výšce 9,5mm, tedy o 0,5mm nižší. Přesto lze předpokládat, že při růstu teploty by v jistém okamžiku došlo k výraznějšímu natavení materiálu a i ke změně výšky směrem dolů. Pravděpodobně by k dalšímu dramatickému poklesu výšky nedošlo, protože již při vzdálenosti 2mm trysky od vznikajícího vzorku nedojde k jeho dostatečnému spojení. Výsledek by spíše připomínal změť slabých proužků plastu na jedné hromadě.

**Z uvedeného je patrný výsledek, kdy experiment 3 nemá vliv na přesnost výšky, v určité přijatelné přesnosti lze vidět ještě experiment 4.**



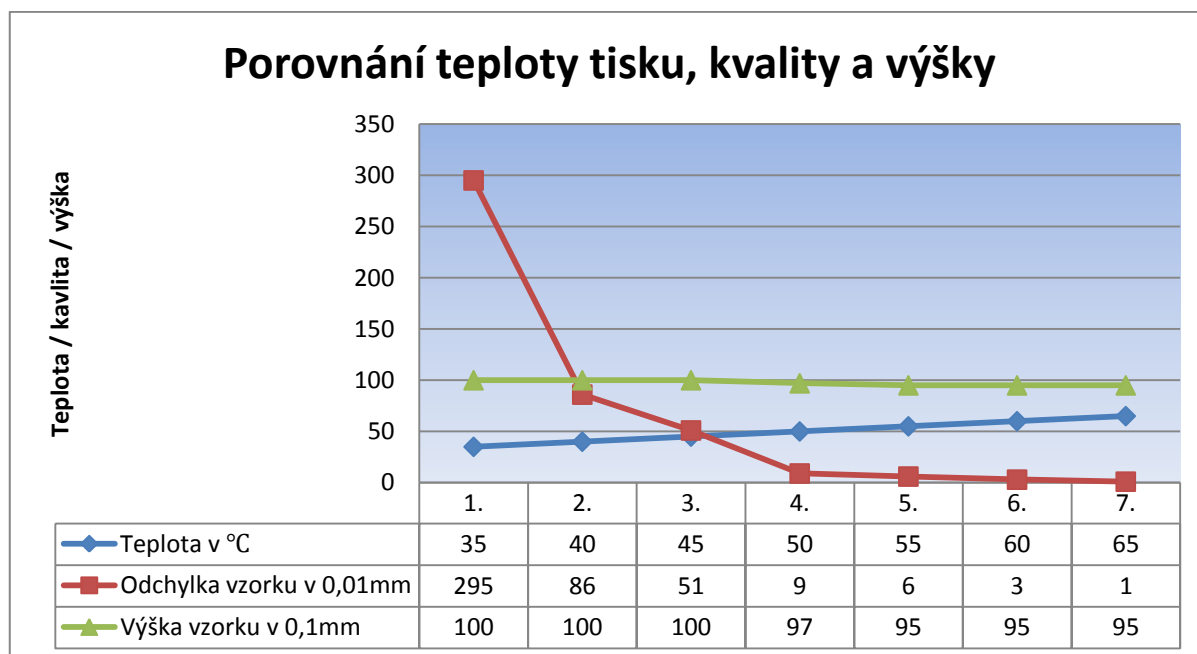
## 8 Stanovení vhodné teploty

Nalezení vhodné teploty není jen ověřením hypotézy pomocí experimentu, ale je třeba vzít v potaz i měnící se výšku materiálu, která byla objevena při samotných experimentech (viz předcházející kapitola).

Na samotné porovnání je nejlépe všechny údaje (teplotu, prohnutí vzorku, výšku vzorku) srovnat v následující tabulce, kde je možné vizuálně porovnat jednotlivé parametry.

Při hledání vhodné teploty pro vlastní tisk je tak zapotřebí porovnávat dvě veličiny. Odchylku vzorku od rovinné osy, která se v zásadě snižuje s rostoucí teplotou a proti tomu jdoucí pokles požadované výšky, který se snižuje s rostoucí teplotou. Výsledek bude jistý kompromis mezi dostačující teplotou pro minimální pnutí materiálu a zároveň teplota, která nezpůsobí, nebo jen v rámci tolerance, pokles výšky vzorku.

Tabulka 14 Porovnání teploty tisku, přesnosti tisku a výšky vzorku



- Z tabulky je patrné, že s rostoucí teplotou je odchylka vzorku od rovinné osy přijatelná a ještě stále měřitelná dle experimentu 5. Odchylka je zde 0,06mm. Teplota 55°C.

- U jednotlivých experimentů se výškový rozměr vzorku začne měnit u experimentu 4. Zde je pokles výšky o 0,3mm (skutečných 9,7mm vzorku). Teplota 50°C.

Shrneme-li výše uvedená zjištění, dojdeme k výsledku, kdy jedno či druhé bude ústupek. V zásadě máme na výběr ze dvou možností:

1. Při teplotě 55°C je vzorek ideálně rovný. Jeho odchylka je oproti rovinné ose na 100mm délky vzorku odchýlena v průměru o 0,06mm. Ústupkem na straně druhé je odchylka oproti původní výšce vzorku o 0,5mm.
2. Při teplotě 50 °C je vzorek již prohnutý oproti rovinné ose o 0,9mm. Výhodou je následně odchylka ve výšce vzorku o mírnější 0,3mm.

Výsledek není ani v jednom případě ideální. V případě první varianty 55°C lze předpokládat, že přesnost není ani v jednom případě větší jak 0,5mm, kterou považují na základě všech experimentů jako nejkrajnější při tisku plastů.

**Uvedenou teplotu 55°C je možné považovat za výsledek experimentů na základě vzniklé hypotézy.**

## 8.1 Doporučení

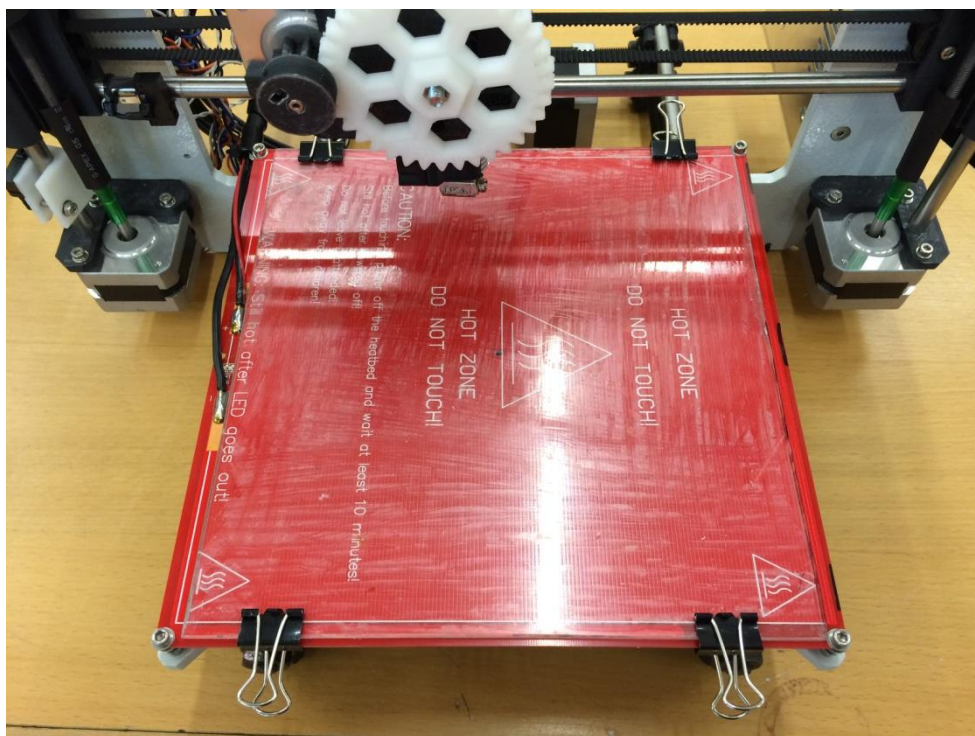
Na základě experimentů, které vznikly na základě hypotézy, nelze jednoznačně stanovit výsledek. Jedná se o kompromis několika faktorů, které bude každý vnímat dle svého pohledu a způsobu použití. Z výsledků je však možné stanovit jistá doporučení, která budou řešit jisté nedostatky, které nastaly během testování.

### 8.1.1 Teplota

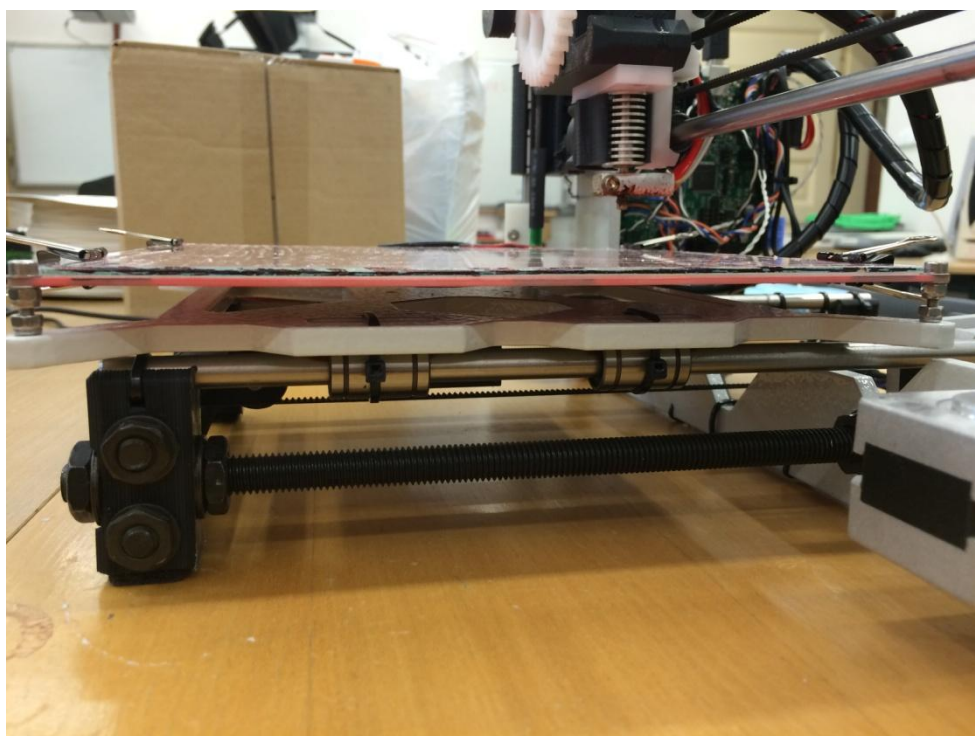
Jak již bylo řečeno, teplota má zásadní vliv na kvalitu tisku. Provedení vlastního vyhřívání bylo nakonec zkonstruováno pomocí vyhřívací podložky z kuprexitu a na této desce byla umístěna vlastní deska pro tisk z eloxovaného hliníku.

Bohužel díky vlastní konstrukční desce tiskárny, která je z duralového materiálu o tloušťce 10mm, dochází ke značným teplotním ztrátám. K dosažení teplot experimentu 8 již nedošlo, ale nakonec to nebylo zapotřebí. Přesto zvýšení účinnosti

vytápění by mohlo přinést snížení nákladů na konstrukci zdroje, jeho výsledné váhy a v neposlední řadě též snížení nákladů na el. energii.



Obrázek 51 Vyhřívání se skleněnou podložkou – horní pohled (RepRap Průša)<sup>12</sup>



Obrázek 52 Vyhřívání se skleněnou podložkou - boční pohled

<sup>12</sup> PRŮŠA, Josef. *Střední škola aplikované kybernetiky Hradec Králové a 3D tisk* [online]. March 26, 2013. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/stredni-skola-aplikovane-kybernetiky-hradec-kralove-a-3d-tisk/>

Jisté vylepšení vyhřívání se neskrývá v použití tepelné izolace mezi kuprextitem a podložkou pro tisk, případně izolace mezi kuprextitem a základní deskou tiskárny. Daleko snadnější řešení jsem viděl u jiné 3D tiskárny, kde vyhřívací plocha byla umístěna jako samostatná podložka a pro zpevnění na její vrchní straně bylo 3mm silné sklo. To sloužilo jako mechanické zpevnění a zároveň jako plocha pro vlastní tisk.

### 8.1.2 Fixace tisknutého vzorku

Jestliže se zamyslíme jak provést fixaci vtisknutého vzorku k podložce, když ještě žádný vzorek není vytištěn, jistě nás napadne co to vlastně je? Při vlastním tisku, kdy vzorek vzniká, není možné jej zafixovat, jediné možné místo je zespodu od podložky. Jak to ale vyřešit? Řešení je celkem jednoduché, použít vhodný druh lepidla, které svojí viskozitou zajistí při teplotách kolem 50°C kvalitní přilnutí tisknutého vzorku k podložce.

Někdo by toto řešení mohl označit za řešení na místo celého složitého systému vyhřívání. To by však byl omyl, protože v materiálu dochází k vnitřnímu mechanickému pnutí, které se nemusí projevit ihned při tisku, ale až po uvolnění vzorku z desky tiskárny.

Na druhou stranu jeho použití společně s vyhříváním by jistě dokázalo vyřešit kompromisní teplotu mezi 50 - 55°C. V případě dalších experimentů by se s ohledem na přesnost spíše jednalo o dosažení nižších teplot a částečné prohýbání materiálu by kompenzovalo lepidlo, které by fixovalo vzorek k podložce. Jistě vnitřní mechanické pnutí je ve vzorku stále, hraje zde hlavní roli teplota podložky, ale jistě by částečně dokázalo alespoň při teplotě 50°C zajistit nižší odchylku jak 0,5mm.

Řešení s kombinací lepidla a vyhřívání by jistě stálo za další případné řešení, další hypotézu a následné experimenty.

### 8.1.3 Zpětná vazba v tiskárně

Jisté doporučení by bylo možné vznést vůči výrobcům. Nejedná se v tomto případě jen o tiskárnu CubeX, na které probíhaly jednotlivé experimenty. Nemohu zde na

100% tvrdit, že ve světě neexistuje tiskárna s funkcí, kterou nyní doporučím, ale nepodařilo se mi objevit jedinou tiskárnu, jež by tuto funkci podporovala.

Každá tiskárna je ve své podstatě rozpohybována pomocí krokových motorů, které otáčejí závitovou tyčí, díky čemuž se pohybují jednotlivé části tiskárny především tryska, která tiskne. Každá otáčka závitové tyče odpovídá určité délce pohybu a tato otáčka příslušnému počtu impulsů v krokovém motoru. Před vlastním tiskem si tiskárna zajede se všemi pohony na okraj a následný pohyb kalibrace neznamena nic jiného, než počítání příslušného počtu impulsů do krokových motorů. Jakýkoliv její další pohyb je jen přičítání nebo odčítání impulsů do krokových motorů.

Jak jsem již nastínil u problému s výškou tisku, není tiskárna sama schopna zjistit, že to co tiskne, neodpovídá skutečné výšce. Samotný tisk není nic jiného než sled povelů, kdy se tryska pohybuje v daných rovinných plochách a následně vždy popojede do výšky na další vrstvu. Počet vrstev tak odpovídá výšce vzorku. Pokud z jakéhokoliv důvodu nastane snížení podložky, vrstvy vlivem teploty atd. nedokáže tiskárna tuto skutečnost zjistit a tiskne dál.

Za předpokladu, že by dokázali výrobci 3D tiskáren implantovat do tiskáren funkci, která je v automatizaci obecně nazývána jako zpětná vazba, bylo by tak možno zajistit přesné odečítání rozměrů vznikajícího vzorku. Tiskárna by pak dokázala reagovat na změnu rozměrů a zajistit, aby tyto rozměry odpovídaly požadovaného programu. V zásadě by tak odpadl problém, který nastal u mnou provedených experimentů, kde v nejhorším případě scházelo 0,5mm výšky vzorku.

Navrhované řešení je spíše pro výrobce a zcela jistě by výslednou cenu tiskárny značně prodražilo. Na druhou stranu by bylo na každém z nás, zda by dal přednost kvalitě nebo ceně.

#### 8.1.4 Konstrukce

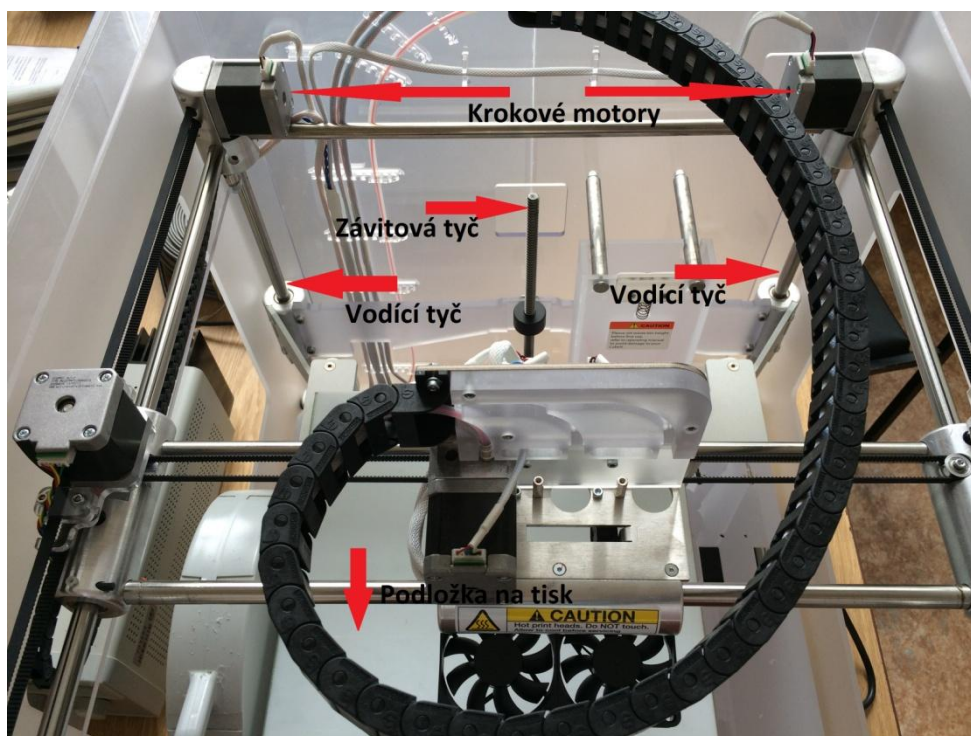
Posledním doporučením a opět spíše na adresu výrobců je provedení konstrukce. Jistě existuje v dnešní době mnoho konstrukčních uspořádání, ale zrovna u tiskárny CubeX není příliš kvalitní.



Samotná základní konstrukce tvoří krychli, která nevykazuje jakékoliv konstrukční nedostatky. Na tuto konstrukci je našroubovaný plastový korpus, který plní funkci krytu a zároveň estetickou.

Bohužel už tak kvalitně není zajištěno uchycení základní desky, která se výškově pohybuje při vlastním tisku. Jak je patrné z obrázku, po stranách jsou dvě vodící tyče, po kterých se pohybují dva válce s kluznými ložisky. Toto uchycení je pouze na jedné straně a na protilehlé nikoliv. Při vlastním tisku není na podložku vyvíjen žádný tlak a váha tisknutého vzorku není nijak velká, v řádu desítky až stovky g.

Přesto při každém spuštění tiskárny je potřeba provést kalibraci výšky desky pro tisk, která se vždy po novém spuštění pohybuje v jiné vzdálenosti vůči trysce. Někoho by mohlo napadnout, zda se nejedná o jistý bezpečnostní prvek výrobce. Jistě by to šlo, aby po každém novém spuštění byla kalibrace výšky požadována, ale ve skutečnosti je tryska vzdálena od podložky pokaždé jinak vysoko a v některých případech dokonce do podložky narazí.



Obrázek 53 Konstrukce CubeX

Důvody pro takové chování mohou být v zásadě dva:

1. Uchycení desky pouze na jedné straně ve vodících tyčích.

2. Přesnost závitové tyče spolu s nedostatečným vymezením poloh jednotlivých kroků v motoru.

Jakékoliv řešení, které výrobce zvolí, přinese nejen nižší potřebu pravidelně kalibrovat výšku, ale zároveň přinese i přesnost pro vlastní tisk. Jestliže jsem řešil výškovou přesnost tisku v závislosti na teplotě, jistou roli může sehrát menší kvalita provedení.

Jakékoliv další zlepšení by jistě mělo v každém případě opět vliv na pořizovací náklady, které mohou pro mnohé být rozhodující.

## 8.2 Závěrečný pokus

Ačkoliv jsem si na začátku celé práce určil předpokládané hypotézy o vlivu teploty na tisk a následně vše experimenty ověřil. Na samém závěru experimentování mě naprosto spontánně napadlo zkusit kromě tisku předem definovaného vzorku, jiný zajímavější tvar. Následně popisovaný pokus nemá nic společného s vytvořenou a následně ověřenou hypotézou, ale je spíše nepřesnou ukázkou pravdivosti výsledků experimentů.

V průběhu roku 2014 jsem se účastnil kontraktační výstavy 3D EXPO. Tato akce krom mnoha zajímavostí v oblasti 3D tisku přinesla ze strany jedné soukromé firmy, možnost se nechat nasnímat 3D skenerem. Jako mnoho ostatních jsem využil této nabídky a nechal si emailem zaslat výsledný produkt. Po ukončení všech experimentů jsem si na závěr práce s 3D tiskárnou vytiskl vlastní bystu. Jistě že jsem mohl použít jakýkoliv jiný tvar či předmět, ale byla možnost, prostě jsem ji jen využil. Není třeba v tom hledat cokoliv dalšího, jak jen obyčejnou spontánnost.

K vlastnímu tisku jsem použil opět plast PLA, ale vlastní konstrukce tisknuté bysty byla odlišná. V jednotlivých experimentech jsem volil tisk vzorku z plného materiálu. Vzhledem k velikosti bysty by to znamenalo velkou spotřebu materiálu a neúměrně dlouhou dobu tisku. Celkově by šlo o značně neekonomické provedení, ačkoliv jsou jistě v praxi případy, kde budeme nuceni provést i rozsáhlý tisk z plného materiálu. Vlastní bysta tyk byla tisknuta jen po povrchu a uvnitř je částečně dutá. Výplň tak tvoří šikmo umístěné přepážky ode dna až po vrchol. Přepážky jsou síly 1mm a jsou



od sebe vzdáleny 5mm. Předpokládaná doba tisku byla dle CubeX softwaru odhadnut na 12h.

Při vlastním pokusu jsem použil teplotu tisku 60°C, která je o něco vyšší než doporučená teplota dle experimentů. V případě výškové přesnosti při tisku bysty jsem nepředpokládal, že to v celkovém vzhledu bude zásadní problém. Vyhřívání podložky jsem v předcházející hypotéze a následných experimentech používal během tisku celého zkušebního vzorku. U tohoto pokusu jsem zvolil změnu!



Obrázek 54 Bysta po dokončení tisku

Podložka byla ohřátá na požadovanou teplotu a vlastní tisk mohl začít. Na samém počátku vše probíhalo bez závad, materiál byl dostatečně přilnutý k podložce. Základní vrstva byla v cca síle 1mm vytištěna po celé ploše půdorysu. Následně se tiskl obvod a zároveň zpevňující příčky uvnitř vznikající dutiny.

Vyhřívání podložky bylo stále zapnuté a vyhřívalo podložku na stanovenou teplotu. Při výšce bysty 130mm jsem se domníval, že není zapotřebí vyhřívání ponechat zapnuté po celou dobu tisku. Předpokládal jsem, že po vytištění několika desítek mm bude základna dostatečně pevná a při vypnutí vytápění nedojde k pokroucení. V okamžiku

kdy po několika hodinách bylo vytištěno cca 20mm výšky, jsem vyhřívání nevypnul, ale pro jistotu teplotu pozvolna snižoval. Snižování probíhalo po 5°C v rozmezí 1/2h, až při dosažení teploty 35°C jsem vyhřívání vypnul úplně.

Již při snižování teploty pod hranici 50°C, se začal projevovat na první pohled odstup základny bysty od podložky. Tak jak docházelo k pozvolnému chladnutí plastu, docházelo stále k procesu tisku. Na okrajích tisknuté bysty bylo patrné nepatrné nahuštění plastu, tak jak se kraje mírně přizvednuli.

Ačkoliv tento pokus nebyl součástí hypotézy a tedy nepatří do několika provedených experimentů, poukazuje na pravdivost hypotézy o vlivu teploty podložky na kvalitu tisku. Vlastní prohnutí na šířce bysty 100mm a délce 170mm je 3,9mm. Tuto hodnotu však nelze porovnávat s předcházejícími experimenty. V jednotlivých experimentech byl rozměr vzorků předem stanoven a tak bylo možné je relevantně porovnávat. Porovnání výsledků bysty a experimentálních vzorků by tak bylo irelevantní.



Obrázek 55 Odchylka bysty

Výsledkem pokusu tak je nejen potvrzení pravdivosti hypotézy, ale sejně tak potřeby vyhřívání podložky během celého tisku. Přesto si dovolím vyřknout další hypotézu pro případné další vědecké bádání. Je potřeba u rozsáhlejších tisknutých objektů mýt skutečně vyhřívání zapnuté po celou dobu tisku? Domnívám se, že ne, ale kdy je vhodné vyhřívání vypnout? To je námět na další práci.



Obrázek 56 Celkový pohled na vytištěnou bystu (autor)

## 9 Závěr

Vlastní využití 3D tiskárny s sebou přináší i jistá úskalí. Nemusí se jednat pouze o průmyslové nasazení, ale především o využití na ZŠ, kde je takové využití možné především spatřit v Technické výchově, ale zcela jistě nalezne uplatnění i v jiných vyučovaných předmětech. Použití v průmyslu s sebou nese určité výhody, které na ZŠ nenalezneme. Především se jedná o mnohem sofistikovanější zařízení, na jejichž funkci se podílí celé teamy lidí. Zatímco při použití 3D tisku na ZŠ je to tak maximálně učitel, který je nucen řešit mnoho dílčích i zásadních problémů. K řešení má zpravidla omezené technické a finanční problémy. Celá práce se tak od samého začátku až do konce zabývá technickým řešením a praktickým ověřením hypotézy o vlivu teploty na kvalitu tisku. Snaží se ukázat zejména uživatelům z řad ZŠ na možné řešení, nejen vlastního technického řešení, ale i nalezením odpovědí na vzniklé hypotézy.

Častým problémem, se kterým se opakovaně setkala několik lidí, bylo pravidelné kroucení materiálu při vlastním tisku. Někomu to možná nevadilo, ale při kladení vyšší kvality na tisk to vadit začne. Zcela jistě nepochybuji, že některé firmy ve světě tuto problematiku již řeší a možná i mají vyřešenou. Bohužel bližší informace nelze nalézt, protože jsou zpravidla předmětem výrobního tajemství. Stejně tak jsem se nedočkal relevantních odpovědí na mé otázky ani na výstavě 3D EXPO, o které jsem již dříve psal.

Na základě několika osobních zkušeností a mnoha potíží, jež avizovali někteří uživatelé 3D tiskáren, se postupně zrodila myšlenka tyto potíže zkusit vyřešit. Následně vzniklou hypotézu bylo třeba nejen ověřit, ale stejně tak vytvořit podmínky pro její technické provedení.

Vše se postupně podařilo vyřešit i s několika technickými detaily. Výsledkem celého řešení je ověření hypotézy několika experimenty. Bohužel při vlastním ověřování vyvstal samostatný problém, který by stál za samostatné ověření. Jednalo se o natavení PLA plastu při vyšších teplotách, přesněji už od teploty 50°C se tento problém pozvolna začal objevovat. Experimenty bylo zjištěno, že vyšší teplota má

skutečně kladný vliv na výsledný produkt, avšak zároveň dochází k nepřesnostem ve vlastních rozměrech produktu.

Výsledkem této práce tak není přesné stanovení teploty, jež by byla nejnižší hranicí, při které by již nedocházelo k pokřivení tisknutého produktu. Ačkoliv původní hypotéza s nalezením takové teploty počítala, nepočítala se vznikem dalšího problému. Jedná se v každém případě o problém při tisku plastu PLA, u plastu ABS je teplota tavení mnohem větší a tento problém by se i při teplotě experimentu 8, tedy 70°C, vůbec nevyskytl.

Předmětem zájmu byl však stále častěji používaný plast PLA, vzhledem k jeho ekologičtějšímu charakteru. Jak již zaznělo, díky nově vzniklému problému nebylo možno přesně stanovit neoptimálnější teplotu. Samotná teplota by se dle uskutečněných experimentů pohybovala minimálně 60°C, ale s jistou rezervou bych raději doporučil 65°C.

Vzniklý problém s natavením několika prvních vrstev způsobil snížení finální výšky tisknutého produktu. Tento stav působil proti filosofii původní hypotézy. Jistě by bylo možné nebrat tento stav v úvahu a držet se jen své hypotézy a experimentů. Takový postup bych však vnímal jako „slepý“ a ačkoliv by došlo ke stanovení ideálně vhodné teploty, v praktickém výsledku by nic nepřinesl.

Výsledná teplota po započtení výsledků experimentů a nově vzniklého problému, byla s přesností odchylky tisku do 0,5mm stanovena na teplotu 55 °C. Spíše než konkrétním výsledkem je tak jistý kompromis.

Závěrem lze spíše doporučit případné další zkoumání v oblasti tisku z plastu PLA. Nejde jen o případnou volbu teploty, to do jisté míry řeší tato práce, ačkoliv to nebylo její primární náplní.

Spíše je třeba se zaměřit, zda na vlastní přesnosti nemá určitý vliv nastavení výšky trysky nad podložkou na začátku tisku?

Nemůže přesnost tisku do jisté míry ovlivnit vlastní teplota trysky?

Otázek, které mohou souviset s přesností tisku je několik a jistě by se další daly nalézt. Výsledkem celé práce je, že původní hypotéza byla ověřena a teplota nalezena. Respektive vnitřní pnutí v materiálu, které způsobuje pokroucení výrobku, se snižuje se zvyšující se teplotou. Hranice byla stanovena, jak bez ohledu na nově objevený problém, tak i s ohledem na vzniklý problém. Lze jen doporučit vhodnost dalšího zkoumání, které by vzalo v potaz případné další otázky a došlo by tak jistě k nalezení optimálního řešení, které neleží jen v rovině použitých teplot podložky, ale i dalších aspektů jako je vlastní nastavení výšky trysky, její teploty a mnoha dalších technických parametrů vlastního 3D tisku.



## 10 Resumé

Použití 3d tiskárny sebou nepřináší jen pozitivní a zábavnou činnost. Zároveň klade na obsluhu mnohé nároky v teoretických znalostech, ale i v mnoha technických dovednostech. Při vlastním použití 3D tiskárny a tisku pomocí plastu PLA nastal problém s vnitřním pnutím v materiálu, který vyústil v jeho finální prohnutí. Takový výrobek bylo obtížné použít, mnohdy to bylo i nemožné. Při hledání řešení v literatuře a osobní konzultaci s dalšími uživateli vznikla hypotéza, která se stala námětem této práce.

Vzniklá hypotéza předpokládá vliv teploty podložky 3D tiskárny na vnitřní pnutí v tisknutém výrobku. Takové pnutí by se s rostoucí teplotou mělo snižovat až na nulovou mez, popřípadě minimálně přijatelnou mez. Výsledkem by měl být výrobek, který se vejde do přijatelných rozměrových tolerancí a jeho základna je rovná.

Pro samotné ověření hypotézy na několika experimentech však bylo nejprve zapotřebí vyřešit technicky vyhřívání samotné tiskárny. Toto řešení bylo zpočátku koncepčně navrženo a prakticky vyřešeno. Bohužel při vlastním technickém řešení došlo k několika drobným úpravám, ale na samotné podstatě řešení se nic zásadního nezměnilo. Výsledkem je vyhřívací podložka, která je umístěna pod vlastní podložkou, kde probíhá tisk. Vše je napájeno elektricky a jako další krok bylo zapotřebí vyřešit teplotní regulaci, díky které bylo možno provést několik experimentů s tiskem při různých teplotách. Vlastní regulační zařízení bylo vyřešeno pomocí PDI regulátoru s reléovým výstupem, jež spíná a vypíná vyhřívací podložku.

Po sérii experimentů na základě hypotézy došlo k nalezení vhodné teploty, ale během experimentů se objevila další komplikace v podobě natavení několika prvních vrstev 3D tisku. Čím byla teplota vyšší, tím bylo pnutí v materiálu výrobku nižší, ale při rostoucí teplotě stoupala nepřesnost tisknutého výrobku. Přesněji zadaná výška výrobku se snižovala, ostatní rozměry zůstaly zachovány.

Výsledkem je tak jistý kompromis ve výsledné teplotě a zároveň několik dalších námětů na případné další zkoumání.



## 11 Summary

Working with 3D printers is not only a funny and positive activity. Their operation requires a lot of theoretical knowledge and technical skills as well. When using the 3D printer with PLA plastic, there was a problem with internal strain in the material that finally caused its buckling. Such product would be almost unusable. When searching for a solution in literature and other reference materials and upon consultations with other users, a hypothesis was proposed that became later the main topic of this thesis.

This hypothesis assumes that the temperature of the 3D printer base plate affects the internal strain in the printed product. As the temperature increases, the internal strain should decrease up to zero, or at least to a minimum acceptable limit. The resulting product should meet the acceptable dimensional tolerances and its base plate should be flat.

To verify the hypothesis by a couple of experiments, it was necessary to find a technical solution for the heating of the printer. A conceptual design of the solution was created and put in practice. A couple of minor alterations of the technical solution were made; however, the basic concept remained unchanged. The resulting product is a heating plate that is placed under the printer's base plate during printing. The device is electrically powered. It was also necessary to find a solution for thermal regulation that would support printing at different temperatures. The resulting temperature control device used a PID controller with a relay output that switched the heating plate on and off.

After a series of experiments based upon the hypothesis, the appropriate temperature was found; however, a couple of initial 3D-printed layers were melting down, i. e. another complication arose. The higher the temperature, the less significant was the internal strain in the printed material; however, high temperatures increased the inaccuracy of the printed products. The specific height of the product was lower and the other dimensions were retained.

The result is a certain compromise regarding resulting temperature and a couple of topics and suggestions to be explored.

## Použité zdroje informací

### Použitá literatura:

- BEČKA, Jan. *Konstruktér a počítač: CAD*. Ostrava: MONTANEX, 1999, 256 s. ISBN 80-722-5029-9
- CHALUPA B. *Tvořivé myšlení*, Brno, 2005
- HONZÍKOVÁ J. *Teorie a praxe tvořivosti v pracovní výchově*, Plzeň, 2000
- HONZÍKOVÁ J., Mach, P., Novotný J., *Alternativní přístupy k technické výchově*, Plzeň, 2007
- KALHOUS, Zdeněk. *Školní didaktika*. Vyd. 1. Praha: Portál, 2002, 447 s. ISBN 80-717-8253-X.
- *Konstruktér: CAD, CAM, PLM, obrábění, 3D tisk, výroba, automatizace*. Praha: Springwinter., 2013-. ISBN 1805-8590
- LOŠKOVÁ, Irena a LOKŠA J. *Tvořivé vyučování*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2003, 208 s. ISBN 80-247-0374-2.
- LOŠKOVÁ I., LOKŠA J. *Pozornost, motivace a tvořivost dětí ve škole*, Praha, 1999
- *Střelecká revue*. Přemysl Liška. Praha: Pražská vydavatelská společnost, roč. 2014, č. 8. ISSN 0322-7650. Dostupné z: [www.streleckarevue.cz](http://www.streleckarevue.cz)
- *Střelecká revue: Zbraně tisknuté na 3D tiskárnách*. Přemysl Liška. Praha: Pražská vydavatelská společnost, 2015, roč. 2015, č. 1. ISSN 0322-7650. Dostupné z: [www.streleckarevue.cz](http://www.streleckarevue.cz). Měsíčník.
- ŠAVEL, Josef a Mojmír SIMERSKÝ. *Elektrotechnologie: materiály, technologie a výroba v elektronice a elektrotechnice*. 4., rozš. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 314 s. ISBN 978-80-7300-190-2.
- TELEČEK, Ivo. *Autorský zákon: komentář*. 1. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2007, xviii, 971 s. Velké komentáře. ISBN 978-80-7179-608-4.

**Internetové zdroje:**

- Alza: 3D tiskárny [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/>
- Česká zbrojovka [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.czub.cz/cz/Default.aspx>
- CHLEBO, Martin. *Budoucnost materiálů pro 3D tisk* [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>
- Glock [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://eu.glock.com/>
- NASA [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.nasa.gov/>
- Plastické vstřikování kovů. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Plastick%C3%A9\\_vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD\\_kov%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Plastick%C3%A9_vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD_kov%C5%AF)
- PRŮŠA, Josef. *3D tisk* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/>
- RepRap. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RepRap>
- SketchUp: Trimble SketchUp. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/SketchUp>

## Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků:

Obrázek 1 3D tiskárna PP3DP.....	9
Obrázek 2 Planetová převodovka .....	15
Obrázek 3 3D tiskárna domácí provedení.....	16
Obrázek 4 Jednoranná plastová pistole .....	18
Obrázek 5 Samonabíjecí malorážková pistole .....	19
Obrázek 6 Pistole 1911 A1 firmy Solid Concepts .....	20
Obrázek 7 Samonabíjecí puška firmy Solid Concepts .....	20
Obrázek 8 3D tiskárna CubeX.....	32
Obrázek 9 Prusa 3D tiskárna .....	33
Obrázek 10 Prohnutý díl po tisku.....	35
Obrázek 11 Laserová frézka .....	38
Obrázek 12 Výpočet technických hodnot vyhřívání .....	39
Obrázek 13 Vyhřívací podložka – pokus 1.....	40
Obrázek 14 Vyhřívací podložka - pokus 2 .....	41
Obrázek 15 Vrtání otvorů pro kalibrační magnety .....	42
Obrázek 16 Vyhřívací deska - 2 pokus.....	43
Obrázek 17 Frézování lišty .....	44
Obrázek 18 Vyfrézované drážky.....	44
Obrázek 19 Montáž vyhřívání do tiskárny .....	46
Obrázek 20 Skleněná podložka pro tiskárnu CubeX .....	47
Obrázek 21 Hliníková vyhřívací podložka.....	48
Obrázek 22 Stavebnice regulace Flajzar .....	50
Obrázek 23 Schéma zapojení regulace .....	51
Obrázek 24 Výsledek montáže regulace .....	51
Obrázek 25 Čidlo vlhkosti a teploty .....	52
Obrázek 26 Čidlo .....	53
Obrázek 27 Dokončená montáž regulace .....	56

Obrázek 28 Multimetr METEX M – 3850 .....	58
Obrázek 29 Ověření funkčnosti .....	58
Obrázek 30 Celková funkční sestava .....	59
Obrázek 31 Spuštěný program SketchUp .....	62
Obrázek 32 Hranol ve SketchUp .....	63
Obrázek 33 Hranol 3x ve SktechUp .....	63
Obrázek 34 Ukládání vzorku ve SketchUp do formátu STL .....	64
Obrázek 35 Program CubeX - 3D Systems .....	65
Obrázek 36 Nastavení atributů tisku .....	66
Obrázek 37 Vnitřní uspořádání příček při tisku .....	66
Obrázek 38 Planžetové kalibry .....	67
Obrázek 39 Uvolnění vzorku .....	71
Obrázek 40 Tisk 1. Vzorku .....	71
Obrázek 41 Posuvné měřítko .....	72
Obrázek 42 Vzorek experimentu 1 .....	73
Obrázek 43 Vzorek experimentu 2 .....	75
Obrázek 44 Vzorek experimentu 3 .....	77
Obrázek 45 Vzorek experimentu 4 .....	79
Obrázek 46 Vzorek experimentu 5 .....	81
Obrázek 47 Vzorek experimentu 6 .....	83
Obrázek 48 Vzorek experimentu 7 .....	85
Obrázek 49 Experimentální vzorky .....	87
Obrázek 50 Natavení tisknutého vzorku .....	90
Obrázek 51 Vyhřívání se skleněnou podložkou – horní pohled (RepRap Průša) .....	98
Obrázek 52 Vyhřívání se skleněnou podložkou - boční pohled .....	98
Obrázek 53 Konstrukce CubeX .....	101
Obrázek 54 Bysta po dokončení tisku .....	103
Obrázek 55 Odchylka bysty .....	104
Obrázek 56 Celkový pohled na vytištěnou bystu (autor) .....	105

**Seznam tabulek:**

Tabulka 1 Základní přehled 3D tiskáren v ČR .....	13
Tabulka 2 Teploty experimentů .....	69
Tabulka 3 Experiment 1 - teplota 35°C .....	70
Tabulka 4 Experiment 2 - teplota 40°C .....	74
Tabulka 5 Experiment 3 - teplota 45°C .....	76
Tabulka 6 Experiment 4 - teplota 50°C .....	78
Tabulka 7 Experiment 5 - teplota 55°C .....	80
Tabulka 8 Experiment 6 - teplota 60°C .....	82
Tabulka 9 Experiment 7 - teplota 65°C .....	84
Tabulka 10 Experiment 8 - teplota 70°C .....	86
Tabulka 11 Porovnání teploty a naměřené odchylky .....	88
Tabulka 12 Porovnání odchylek jednotlivých experimentů.....	93
Tabulka 13 Vliv teploty na výšku vzorku .....	94
Tabulka 14 Porovnání teploty tisku, přesnosti tisku a výšky vzorku .....	96



## Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v  
Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum:

Podpis:

Uživatel stvrzuje svým čitelným podpisem, že tuto diplomovou práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

[illegible]