

Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

PROGRAM NA LADĚNÍ 3D TISKÁRNY

Adam Wierzgoń

Střední průmyslová škola, Karviná, příspěvková organizace

Žižkova 1818/1a, Karviná - Hranice

Anotace

Tato práce se zabývá tvorbou programu na ladění 3D tiskáren. Cílem práce je vytvořit program, který ulehčí a urychlí ladění 3D tiskáren. Práce obsahuje popis tvorby webové stránky v prostředí Anvil a tvorbu funkcí ulehčujících ruční psaní g-kódu pro 3D tisk. Zároveň práce obsahuje vysvětlení pojmů a porovnání již existujících zkoušek s novými zkouškami použitými v tomto programu.

Klíčová slova

3D tisk; kalibrace; ladění; FFF; FDM; Python; Anvil

Annotation

This thesis deals with the creation of a program for tuning 3D printers. The aim of this work is to create a program that will make tuning 3D printers easier and faster. The work includes a description of the process used to create a website in the Anvil environment and creating functions to simplify the process of writing g-code for 3D printing. At the same time, the thesis includes an explanation of used terminology and a comparison of existing tests with the new tests used by this program.

Keywords

3D printing, calibration, tuning, FFF, FDM, Python, Anvil

OBSAH

Úvod		4
1 Teor	etická část	5
1.1	Python	5
1.2	Anvil	5
1.2.1	Klientský kód	6
1.2.2	Serverový kód	6
1.2.3	Komponenty	7
1.2.4	Anvil extras	7
1.3	3D tisk	7
1.3.1	FDM 3D tiskárny	7
1.3.2	Akcelerace, rychlost a junction deviation	8
1.3.3	Teplota tisku	9
1.3.4	Extrusion multiplier	10
1.3.5	Retrakce	11
1.3.6	Maximální objemový průtok	12
1.3.7	Linear advance	12
1.3.8	Input shaper	13
Praktická	část	15
1.4	Základní informace	15
1.5	Postup vývoje	15
1.6	Metoda programování	15
1.7	Tvorba webové stránky	15
1.7.1	Ruční tvorba	15
1.7.2	Automatická generace	16
1.7.3	Vstupní komponenty	17
1.7.4	Zobrazení stránky	17
1.7.5	Ukládání nastavení	
1.7.6	Nahrávání nastavení	19
1.8	Pomocné funkce	19
1.8.1	Pozicování	19
1.8.2	Funkce výstupu	19
1.8.3	Funkce pohybu	19

1.8.4	Extrude
1.8.5	Funkce tisku20
1.8.6	Další funkce
1.9 Zl	
1.9.1	Maximální akcelerace
1.9.2	Maximální rychlost
1.9.3	Maximální junction deviation2
1.9.4	Teplota2
1.9.5	Extrusion multiplier
1.9.6	Retrakce
1.9.7	Maximální objemový průtok24
1.9.8	Kvalita a input shaper24
1.9.9	Linear advance
1.9.10	Junction deviation
1.9.11	Problémy s kvalitou27
1.10 V	ýsledek ladění27
Závěr	
Použitá liter	atura
Seznam obr	ázků

ÚVOD

Tématem práce je tvorba programu, který ulehčí a urychlí ladění 3D tiskáren. Aby byl program co nejvíce dostupný, má formu webové stránky a pro ulehčení použití dovoluje uživatelům nahrát nastavení s PrusaSliceru. Program podporuje nejpopulárnější typ tiskáren FDM/FFF s Marlin 2.x firmwarem. Plná podpora je pouze pro kartézské 3D tiskárny.

Práce je rozdělená na dvě hlavní části: teoretickou a praktickou, každá s těchto částí se dále zabývá programováním a 3D tiskem.

Teoretická část se skládá z popisu prostředí Anvil, ve kterém je práce vytvořená, popisu jednotlivých pojmů a nastavení spojených s 3D tiskem na tiskárně s Marlin firmwarem a popisu již existujících postupů a nástrojů pro ladění 3D tiskáren.

Praktická část se zabývá samotnou tvorbou programu, rozdělenou na tvorbu funkcí pro generaci g-kódu a tvorbu webové stránky, použitých postupů při tvorbě a vybraných problémů, které nastaly během tvorby programu. Dále se tato část zabývá tvorbou zkoušek použitých při nastavování tiskáren, ukázkou jejich použití a porovnáním se zkouškami z teoretické části.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Python

Python je jeden z nejpoužívanějších programovacích jazyků, podporuje objektové, ale také i funkcionální programování. Jedná se o interpretovaný jazyk, který umožňuje rychlou tvorbu programů. Syntaxe pythonu je přehledná a srozumitelná, nepoužívá středníky pro ukončení řádku a vbudované funkce mají pochopitelná jména. Python je open-source.¹

1.2 Anvil

Anvil je bezplatný nástroj, vývojové prostředí a zároveň poskytovatel hostingu pro tvorbu webových stránek v Pythonu. Výhodou je ulehčení tvorby webových stránek. Anvil umožnuje jednomu vývojáři se znalostí Pythonu vytvořit a zveřejnit svůj projekt.²

Vývojové prostředí Anvil má formu webové stránky, umožnuje tvorbu stránky, tzn. Form (formulář), přetahováním komponentů z lišty komponentů (Toolbox). Základní nastavení komponentů jde provést z panelu vlastností (Properties panel).³

✓ Basic Components	3				
Тт		ه	Ø		
Label	Button	Text Box	Link		
$\mathbb{T}_{\mathbf{T}}$	abel.	~	۲		
Rich Text	Text Area	Checkbox	Radio Button		
E	曲		[<u>,,,]</u>		
Dropdown	Date Picker	Image	Plot		
1	2				
File Loader	Google Map				
✓ More Components					
0	1	•	ତ		
YouTube Video	Spacer	Canvas	Timer		
✓ Layout Components					
For page structure an	d layout				
⊞	=	::			
Data Grid	Data Row Panel	Column Panel	Flow Panel		
	***	≡			

Obrázek 1 Lišta komponentů

☆ Properties ? -
text Ø
button_1
4
Appearance
visible Ø
More Appedrance Properties
Icon
icon Ø
Select an icon
More Icon Properties >
Interaction
✓ enabled Ø
Layout 🗸
spacing_above 🙋
small 🗸
spacing_below Ø
small 🗸
Text
align 🖉
center 🗸
More Text Properties >
Tooltip >
User Data >
Container >
Events >

Obrázek 2 Panel vlastností

Samotný program se dělí na klientský (client) a serverový (server) kód. V obou případech programátor tvoří kód v modulu nebo v balíku (package). Klientský kód má ještě formulář, který se stará o grafickou stránku programu.⁴

1.2.1 Klientský kód

Klientský kód je psán v Pythonu, tato funkce, jedna z hlavních výhod Anvilu, je umožněná kompilátorem Skulpt, který překládá Python do Javascriptu. Na tuto skutečnost musí programátor dbát důraz, protože ne všechny funkce Pythonu jsou Skulptem podporovány.⁵

1.2.2 Serverový kód

Na rozdíl od klientského kódu se jedná o plnohodnotné prostředí Python, do kterého může programátor importovat různé knihovny. Anvil nabízí několik verzí pythonu, v neplacené verzi nabízí základní Python 3.6 bez možnosti instalace vlastních knihoven a v placené verzi nabízí Python 3.7 nebo 3.10. Pro verzi 3.10 zároveň nabízí několik předem vytvořených prostředí např. pro datovou vědu nebo strojové učení.⁶

1.2.3 Komponenty

Webová stránky vytvořená v Anvilu je skládá z komponentů, komponenty můžeme přidat metodou drag-and-drop (přetahováním z toolboxu) nebo v kódu. K interaktivním komponentům můžeme přidat události (events), které ovlivňují, co se stane např. při zmáčknutí tlačítka nebo změny hodnoty v textovém poli.⁷

Textové pole
Obrázek 3 Textové pole
Tlačítko

Obrázek 4 Tlačítko

1.2.4 Anvil extras

Anvil extras je doplněk pro Anvil, tuto práci zajímá modul anvil_extras.storage, tento modul umožňuje jednoduché ukládání dat, ve formě slovníku, v prohlížeči uživatele. K uložení dat je použit buď local_storage nebo indexed_db, v kódu se tyto uložiště chovají jako slovníky. Indexed_db ještě umožnuje tvorbu vlastního uložiště.⁸

1.3 3D tisk

3D tisk je typ aditivní výroby, který spočívá na výrobě modelu po jednotlivých vrstvách. Nejpoužívanější metodou 3D tisku je FDM (fused deposition modeling),⁹ také se používá termín FFF (fused filament fabrication). Tato metoda spočívá na tisku vrstev, které tvoří čáry (perimeters nebo lines) vytvořené tryskou z roztaveného materiálu. Jako materiál se používá filament, který je nejčastěji vytvořený z PLA, PETG nebo ABS plastu.¹⁰

Celý proces začíná tvorbou 3D modelu v CAD softwaru, nebo naskenováním objektu. Následně je objekt exportován jako soubor STL, který je vložený do sliceru, např. PrusaSlicer nebo Cura. Slicer soubor rozdělí na jednotlivé vrstvy a pro FDM tisk vygeneruje g-kód (g-code), který obsahuje veškeré pohyby tiskárny, včetně nastavení teploty, akcelerace, …¹¹

1.3.1 FDM 3D tiskárny

Základní části FDM 3D tiskárny jsou: hot-end (Roztavuje filament.), tryska (Většinou je přišroubována do hot-endu. Má v sobě vyvrtanou díru, přes kterou je roztavený filament tlačen.), extruder (Tlačí filament do hot-endu.), tisková podložka, základní deska s ovladačem, zdroj, krokové motory, tisková plocha (print bed) a rám.¹²

Vlastnosti 3D tiskárny velmi ovlivňuje samotná konstrukce a kinematika 3D tiskárny. Nejpoužívanější jsou tiskárny s kartézskou kinematikou, u těchto tiskáren jsou osy na sobě nezávislé. Toto řešení je populární díky relativní jednoduchosti ovládaní a levné konstrukci. V posledních létech začaly na popularitě nabírat tiskárny typu CoreXY, hlavně kvůli schopnosti dosáhnout větší rychlosti tisku snížením hmotnosti pohyblivých částí, nevýhodou CoreXY je ale komplikovaný systém řemenic. Existují i jiné řešení kinematiky 3D tiskáren jako jsou delta nebo CoreXZ 3D tiskárny, ale tyto systémy jsou méně používané.¹³

Další důležitou vlastností 3D tiskárny je firmware, který tiskárnu ovládá. Mezi funkce firmwaru se řadí např. překládáni g-kódu na signálu pro ovladače jednotlivých krokových motorů, udržování správné teploty hot-endu a tiskové plochy, … Jako u kinematiky 3D tiskáren existují dvě nejpoužívanější možnosti. Marlin firmware je nejpoužívanější, podporuje velké množství tiskáren, 8 a 32bitové základní desky, ale zároveň podporuje některé novější funkce jako input shaper nebo linear advance. Novější konkurencí Marlin firmwaru je Klipper. Klipper dovoluje rychlejší tisk, díky použití počítače Raspberry Pi, pro zjednodušení práce základní desky 3D tiskárny.¹⁴



Obrázek 5 Tiskárna Sovol SV06

1.3.2 Akcelerace, rychlost a junction deviation

Tyto nastavení ovlivňují samotnou rychlost tisku a závisí na konstrukci 3D tiskárny a požadované kvalitě vytištěného povrchu.

Rychlost je z pravidla uváděna v mm/min a v g-kódu je označovaná písmenem F. Maximální rychlost, které je tiskárna schopna dosáhnout, závisí na maximální akceleraci, velikosti tiskárny a maximálních otáčkách použitých krokových motorů.

Akcelerace je uváděna v mm/s^2. Marlin firmware rozděluje akceleraci na tří druhy, tato práce se zajímá jenom o akceleraci pro tisk a akceleraci pro pohyb. V g-kódu se nastavuje funkcí M204 P(akcelerace pro tiskové pohyby) S(akcelerace pro extruder) T(akcelerace pro pohyb). Maximální akceleraci ovlivňuje síla krokových motorů a hmotnost osy.¹⁵

Junction deviation je méně známe nastavení. Junction deviation ovlivňuje rychlost, jakou se tisková hlava pohybuje v ostrém rohu. Junction deviation je hodnota v mm, většinou mezi 0,01 a 0,1. Pro pochopení stačí vědět, že vyšší junction deviation zrychlí tisk, ale zvýší vibrace. Místo toho, aby tisková hlava v rohu zastavila, tak firmware předpokládá, že je schopna z vypočítané rychlosti zastavit okamžitě.¹⁶ V g-kódu se nastavuje funkcí M205 J(junction deviation).¹⁷

Existující zkoušky na maximální rychlost a akceleraci jsou jednoduché na pochopení, kvůli jednoduchosti těchto nastavení. Nejprve se zjišťuje akcelerace, až následně rychlost. Zkouška spočívá na pomalém navyšování rychlosti a akcelerace, dokud nedojde k přeskočení kroků krokovými motory. Maximální junction deviation není hodnota, které se běžně zkouší.

Maximální hodnoty rychlosti a akcelerace nejsou nejvíce užitečné pro znatelné zrychlení tisku, protože jsou většinou moc vysoké na tiskové pohyby, můžou být použity pro netiskové pohyby. Tyto hodnoty jsou více užitečné pro nalezení možných nedostatku konstrukce 3D tiskárny.¹⁸

1.3.3 Teplota tisku

U 3D tiskáren rozlišujeme dvě různé teploty, teplotu hot-endu a teplotu tiskové plochy. Teploty se udávají v °C a v g-kódu je nastavuje funkcemi M109¹⁹ a M190²⁰, tyto funkce nastaví novou teplotu trysky nebo tiskové plochy a počkají, než je zadané teplota dosažena. Dále existují funkce M104²¹ a M140²², které nastaví novou teplotu, ale nečekají, než je tato teplota dosažena.

Většina nových tiskáren používá pro ovládání systém PID. Je sice potřeba nastavit hodnoty PID pro jeho správnou funkci, ale vzhledem na to, že Marlin firmware má zabudovanou funcki PID autotune, tak se tato práce jimi nebude dále zabývat.²³

Největším faktorem, při hledání správné teploty hot-endu pro 3D tisk je použitý filament. Výrobci udávají doporučený interval teplot, ale pro nejlepší výsledky je zapotřebí najít ideální hodnotu pro každou tiskárnu samostatně. Optimální teplotu může dále ovlivnit vlhkost filamentu, rychlost tisku, nepřesnost použitého teploměru, ...²⁴

Zkouška pro nalezení ideální teploty hot-endu spočívá na vytisknutí věže s několika patry. Každé patro se tiskne jinou teplotou. Výslednou teplotou je teplota, při které patro vypadá nejlépe, většinou hodnotíme kvalitu převisů, bočních stěn, horních ploch, mostů (Části vytisknuté bez podpor mezi dvěma body), stringing (Jemné vlásky filamentu, které vznikají během pohybu), můžeme hodnotit adhezi vrstev a další. Co hodnotíme, záleží na designu použité teplotní věže.²⁵



Obrázek 6 Teplotní věž

Zkouška pro nalezení ideální teploty tiskové plochy se nepoužívá.

1.3.4 Extrusion multiplier

Násobič extruze (extrusion multiplier, flow) má za úkol kompenzovat rozdíl mezi předpokládaný a reálným množstvím vytisknutého plastu. Násobič extruze může ovlivnit použitý extruder, průměr trysky a rychlost tisku. Nejpoužívanější filamenty mají průměr 1,75 \pm 0,05 mm, kvalitnější filamenty mají menší tolerance, ale nejdůležitější je konzistence průměru.

Nastavení hlavně ovlivňuje kvality horních a dolních ploch výtisku, když je moc nízké, vznikají díry a když je moc vysoké, trysko do výtisku tvoří rýhy. V extrémních případech může dojít i k selhání tisku.

Pro zjištění násobiče extruze existují dvě hlavní metody, jedna subjektivní, druhá objektivní. Subjektivní metoda spočívá na vytisknutí několika vzorků a vizuálním porovnání kvality horní vrstvy. Objektivní metoda využívá dutou krychli s jedním perimetrem. Posuvným měřítkem se změří šířka stěny a vypočítá se nový násobič extruze. V tomto případě je subjektivní metoda přesnější, protože přímo odpovídá reálnému využití, zároveň ale tato metoda využívá více filamentu. Objektivní metoda je sice méně přesná, hlavně kvůli rozlišení posuvného měřítka, ale je mnohem rychlejší.²⁶



Obrázek 7 Objektivní metoda

1.3.5 Retrakce

Nastavení retrakce ovlivňuje, jestli během tisku dojde k stringingu. K retrakce dochází před netiskovým pohybem tiskové hlavy, po pohybu dochází k deretrakci. Hlavní nastavení jsou délka a rychlost retrakce.

Správné hodnoty retrakce ovlivňuje konstrukce hot-endu a extruderu, teplota tisku a použitý filament. Vzdálenost retrakce by ideálně měla být co nejkratší, zbytečně dlouhá retrakce plýtvá čas. Ze stejného důvode je žádoucí co největší rychlost retrakce, ta je ale omezená pevností filament, při retrakci chceme vytáhnout filament ze trysky, ne filament roztrhnout.

Všechny zkoušky na retrakci mají stejný princip. Během zkoušky se tisknou dvě nebo více věží, mezi kterými musí tisková hlava cestovat a s rostoucí výškou se mění jedna nebo více hodnot nastavení. Určení správné hodnoty se provádí vizuálně.²⁷



Obrázek 8 Zkouška rektracke vygenerována programem 3D Printer Calibration od Teaching Tech

1.3.6 Maximální objemový průtok

Maximální objemový průtok (maximum volumetric flow/speed) se uvádí v mm^3/s a je to nastavení, které slicer používá, pro určení maximální možné rychlosti tisku. Nastavení ovlivňuje použitý filament, hot-end, tryska a teplota tisku.²⁸

Na zjištění maximálního objemového průtoku existují dvě rozdílné zkoušky. První spočívá na vytisknutí několika hromádek plastu, každá ze stejné délky filamentu, ale tvořená jinou rychlosti. Následně hromádky plastu zvážíme a porovnáme, o kolik hmotnost při zvýšení průtoku klesla. K poklesu hmotnosti dochází, kvůli prokluzu filamentu v extruderu. Tato metoda vyžaduje přesnou váhu, a ne vždy odpovídá realitě.²⁹ Druhá metoda spočívá na tisknutí modelu pomalu rostoucí rychlostí, dokud tisk neselže. Tato metoda vyžaduje méně práce od uživatele a více odpovídá realitě.³⁰



Obrázek 9 Zkouška na objemový průtok, model <u>https://www.printables.com/model/328223-volumetric-flow-test-for-ratrig-v-core3/files</u> od Yathani

1.3.7 Linear advance

Pro extruzi je potřeba udržet tlak v trysce, během zrychlení a zpomalení dochází k rozdílu mezi požadovaným tlakem pro danou rychlost a reálným tlakem. Špatně nastavený linear advance způsobuje nedostačující extruzi (under-extrusion) během zrychlení a přebytečnou extruzi (over-extrusion) při zpomalení. Linear advance záleží na teplotě tisku, akceleraci, filamentu a konstrukci extruderu.

Existují dvě hlavní metody na kalibraci linear advance. Jednodušší metoda spočívá na vytisknutí duté krychle s jedním perimetrem, s rostoucí výškou měníme hodnotu linear advance. Výsledná hodnota je hodnota použitá ve výšce s nejostřejšími rohy. Tato metoda je rychlá, ale může být obtížné najít výslednou hodnotu. Druhá metoda tiskne pro každou zkoušenou hodnotu tvar šipky do rámu, tento tvar je sice obtížnější na vygenerování g-kódu, ale umožňuje jednoduššího odečtení hodnoty. U této metody vybereme šipku s nejostřejším rohem.³¹



Obrázek 10 Zkouška pro linear advance od Andrew Ellise

1.3.8 Input shaper

Rychlé pohyby s vysokou akcelerací způsobují vibrace v konstrukci 3D tiskárny, tyto vibrace jsou viditelné ve výrobku jako vlny, které se objevují za rohy. Nejjednodušší řešení je snížení rychlosti a akcelerace, ale to má nežádoucí vliv na čas tisku. Input shaper se snaží zbavit vibrací pohybem tiskové hlavy proti vibracím.

Input shaper má dvě základní hodnoty pro každou osu, frekvenci a faktor tlumení (damping factor). Frekvence je shodná s vlastní frekvencí osy. Faktor tlumení ovlivňuje amplitudu kompenzačního pohybu, když je moc velký dochází k tvorbě vln na opačnou stranu.

Na nalezení hodnot pro input shaper existují dvě hlavní skupiny zkoušek. Jedny používají akcelerometr přimontovaný k ose, aby změřili vibrace při různých frekvencích a našly faktor tlumení. Marlin firmware tyto metody nepodporuje. Druhá skupina metod tiskne nějaký tvar, vytvořený pro maximalizování vibrací, a z toho uživatel buď odměří frekvenci nebo se frekvence postupně mění a uživatel vybere frekvenci při které jsou vibrace nejmenší. V tomto případě faktor tlumení nejde přímo změřit a je tedy potřeba vyzkoušet několik hodnot.³²



Obrázek 11 Zkouška pro frekvecni input shaperu doporučená v dokumentaci Marlin firmwaru

PRAKTICKÁ ČÁST

Hlavní inspirací, pro tvorbu programu, byl nástroj 3D Printer Calibration od youtubera Teaching Tech.

1.4 Základní informace

Program je vytvořený pomocí prostředí Anvil, protože umožnuje tvorbu celé webové stránky v Pythonu. Forma webové stránky byla zvolena pro zjednodušení sdílení programu. Celý program je tvořený v klientském kódu, pro ušetření za hostování webové stránky.

Práce se zabývá laděním kartézských 3D tiskáren s Marlin firmware, protože jsou nejvíce rozšířené.

Práce používá nastavení s PrusaSlicer a inspiruje se jeho rozložením.

1.5 Postup vývoje

První zkoušky byly z hlavní části psány ručně v g-kódu s pomocnou funkcí extrude a Python byl sloužil ke změně hodnot. Poté co se tyto zkoušky osvědčily, jsem vytvořil pomocné funkce, které se používají v aktuální verzi program. Zároveň došlo ke změně některých zkoušek. Jako poslední se tvořila grafická část.

1.6 Metoda programování

Při tvorbě tohoto programu jsem použil funkcionální programování. Ve většině případů by bylo nejspíše výhodnější objektově orientované programování, ale této metodě moc nerozumím.

1.7 Tvorba webové stránky

1.7.1 Ruční tvorba

Některé části webové stránky byly vytvořené ručně přetahováním komponent na jednotlivé stránky. Tímto způsobem byly tvořené všechny unikátní stránky: úvodní a hlavní stránka, správce předvoleb, okno pro nahrávání nastavení, vedlejší a hlavní skupina a řádek nastavení. Poslední tři zmíněné stránky jsou speciální, protože samy se na stránce neobjevují, jsou vkládány do jiných stránek.

≡	3D Print Tuner				
	Beginner (Advanced Expert	Test preset:	v + / 1	^
		Print	Filament	Printer	
			v	v	v
			generated_panel	1	

Obrázek 12 Hlavní stránka programu

1.7.2 Automatická generace

Při načtení stránky se nejprve vygenerují boční tlačítka, které vedou k jednotlivým zkouškám. Každé boční tlačítko je jedna hodnota ve slovníku bočních tlačítek, která má tyto hodnoty: text na tlačítku (jméno zkoušky), jestli vede k manuálně tvořené nebo generované stránce, jméno stránky, ke které vede a nastavení horní lišty programu.

Z důvodu, že stránky pro nastavení zkoušek, jsou si velmi podobné (Skládají se ze řádku se jménem a komponentem pro nastavení dané hodnoty.) pro ušetření času, jsou tyto stránky zapsány jako slovník v Pythonu a následně vygenerovány.

```
'slow_speed': {
    'main_group': None,
    'sub_group': '',
    'display_name': 'Slow speed:',
    'tooltip': '',
    'input_type': 'number',
    'input_settings': {},
    'range': (0, 1000, False, True, False),
    'unit': 'mm/s',
    'difficulty': 1,
    'visible_at': (False, True, True)
},
```

Obrázek 13 Nastavení pro generaci

Každý řádek odpovídá jednomu nastavení. Každé nastavení má tyto hodnoty: jméno nastavení, hlavní skupinu, podskupinu, zobrazené jméno, popis, typ vstupu, nastavení vstupu, obtížnost, viditelnost a pokud se jedná o číslo interval, do kterého číslo náleží a jestli hodnota musí být celé číslo. Ne všechny hodnoty musí být vyplněné. Samostatný řádek je ručně tvořená stránka, do které se vkládá vstupní komponent.

• Steps:	5
Temperature:	190 °C
Temperature step:	10 °C
	Generate

Obrázek 14 Generované nastavení pro test teploty

1.7.3 Vstupní komponenty

Anvil má předdefinované interaktivní komponenty, ale pro urychlení práce má program předdefinované nastavení, pro generaci těchto komponentů. Nastavení komponentů se skládá z použitého Anvil komponentu, nastavení tohoto komponentu, událostí (jako je ulož, nebo zkontroluj hodnotu), názvu funkce pro nalezení hodnoty při načtení a jestli je tento komponent generován na nový řádek (pro generaci).

```
'number': {
    'object': TextBox,
    'settings': {
        'width': 100,
        'type': 'number'
     },
     'events': [events_dictionary['check_range_save'], events_dictionary['deselect']],
     'inline': True,
     'load': events.load_text
},
```

Obrázek 15 Nastavení vstupního komponentu pro čísla

1.7.4 Zobrazení stránky

Během používání stránky je vždy viditelná hlavní stránka, tato stránka obsahuje boční tlačítka, různá nastavení (záleží na načtené stránce) a samostatnou načtenou stránku.

Při zmáčknutí bočního tlačítka dojde k vyčištění generované části hlavní stránky a následnému vložení nebo generací nové stránky. Pro ručně tvořené stránky je tento proces mnohem jednodušší, do generované části se vloží požadovaná stránka. Pro generované stránky se tato stránka generuje řádek po řádku, nejdříve se umístí hlavní skupina, pak podskupina a až následně řádky s nastavením.



Obrázek 16 Boční tlačítka

1.7.5 Ukládání nastavení

Nastavení se ukládá do slovníku, jména nastavení které se nacházejí v PrusaSlicer jsou s nimi shodná. Pro udržení ukládaných souborů co nejpodobnějších k PrusaSliceru se hodnoty True/False ukládají jako čísla.

Pro udržení nastavení i po zavření webové stránky používá program moduly, rozšíření anvil_extras, local_storage a indexed_db. Program používá local_storage a indexed_db na jiné funkce.

Local_storage je použito na uchovávání dat o aktuální stavu webové stránky jako naposledy načtená stránka, zvolená obtížnost, ... Indexed_db je použito pro ukládání většího množství dat. Nastavení pro každou zkoušku (skupina nastavení) má vlastní indexed_db uložiště. Dále se používá na uložení aktuálně načteného nastavení a naposledy načtených nastavení pro všechny skupiny.

S uložištěm se vyskytl jeden z mnoha problémů, který nastaly při tvorbě tohoto programu. Local_storage ani indexed_db nepodporují editace jednoho elementu zapsanému seznamu nebo slovníku. Z toho důvodu je aktuálně načtené nastavení (active_preset) uložený ve vlastním uložišti. Toto řešení není ideální, protože je relativně náročná na výkon, ale bylo zvoleno kvůli jednoduché implementaci.

Na dlouhodobé uložení nastavení je možnost nastavení stáhnout. Výsledný soubor je podobný souboru config_bundle z PrusaSlicer

1.7.6 Nahrávání nastavení

Program používá nastavení z PrusaSliceru, toto nastavení je nutné před použitím nahrát a program ho musí přeložit do použitelného tvaru. Tento proces je z velké části jednoduchý, protože soubor nastavení je tvořen tak, aby byl jednoduše čitelný počítačem. Program používá regex, aby našel jednotlivá jména nastavení, a pak nastavení převádí na slovník řádek po řádku.

Import config file			
	± Upload		
 Skip existing 			
		Import	Cancel

Obrázek 17 Okno pro nahrávání nastavení

1.8 Pomocné funkce

Protože manuální psaní g-kódu by zabralo zbytečné množství času, jsou v programu pomocné funkce, které tento proces ulehčují.

1.8.1 Pozicování

Tato funkce dovoluje změnu nulového bodu pro programováni. Funkce podporuje tyto typy pozicování: relativní, k rohu a ke středu tiskové plochy.

K funkci pozicování patří i funkce convert_coordinates, která převádí souřadnice programované k programovému nulovému bodu na absolutní souřadnice tiskárny. Tato metoda je použita, aby program mohl kontroloval, jestli se osa nepohne mimo dovolené hodnoty.

1.8.2 Funkce výstupu

Tato funkce se stará o správné formátování výstupních hodnot. Funkce out přijímá hodnotu a její typ a následně tuto hodnotu zaokrouhlí na správný počet desetinných míst.

1.8.3 Funkce pohybu

Funkce move je základní funkcí pro pohyb tiskárny. Přijímá koncové souřadnice os XYZ, a rychlost pohybu. Pomocí funkce convert_coordinates souřadnice převede na souřadnice tiskárny a pomocí funkce out je zaokrouhlí. Pokud je osu zadaná souřadnice, která je shodná s aktuální souřadnicí dané osy, tak tuto souřadnici ignoruje, to stejné platí pro rychlost. Jako poslední funkce uloží nové souřadnice jako aktuální místo, ve kterém se nachází tisková hlava.

1.8.4 Extrude

Funkce extrude převádí délku tisknuté čáry na vzdálenost, o kterou se má posunout filament. Funkce potřebuje délku čáry a z nastavení si funkce najde aktuální výšku vrstvy, šířku čáry, násobič extruze a průměr filament.

1.8.5 Funkce tisku

V programu jsou dvě funkce tisku: print_C a print_L neboli oblouk a rovná čára. Obě tyto funkce vyžadují koncové souřadnice tisku, samy vypočítají délku vytisknuté čáry a pomocí funkce extrude ji převedou na pohyb extruderu.

Funkce tisk oblouku dále potřebuje souřadnice středu, jsou udávány relativně od počátečního bodu. Tato funkce zároveň podporuje převedení obloukového pohybu na sérii lineárních pohybů, protože ne všechny 3D tiskárny podporují obloukový pohyb.

Funkce tisk čáry má v sobě zabudovanou funkci pro zaoblení rohů, zaoblení rohů jde provést pouze mezi dvěma čárami. Jinak je tato funkce obdobná funkci move, jenom s přidanou hodnotou pro extruder.

1.8.6 Další funkce

Print_start a print_end vkládají na začátek a konec g-kódu g-kód z PrusaSliceru.

Retract a deretract se starají o retrakci, včetně zvedání osy z, pokud je v nastavení tato funkce zapnutá.

Replace_retraction je funkce, která je použita při zkoušce teploty. Tato funkce nahrazuje pokyny pro firmwarovou retrakci pohyby pro daný pohyb.

Dále jsou části programu funkce message (zobrazí zprávu na displeji tiskárny), fan (nastaví rychlost chladícího větráku) a set_extruder_position (používaná na nastavení pozice extruderu na nulu)

1.9 Zkoušky

V této části jsou zkoušky uvedené v pořadí, ve kterém by se měly provádět.

Všechny zkoušky mají vlastní hodnoty nastavení, ale hodnoty, které chceme otestovat se zadávají u všech zkoušek stejně: zvolíme počáteční hodnotu, o kolik se má hodnota změnit mezi zkouškami, a kolikrát se má změnit (počet kroků).

Všechny zkoušky byly prováděné na tiskárně Sovol SV06 s vyměněnými ložisky a vlastním Marlin firmwarem. Pro zkoušky byl použit filament eSun PLA+.

U zkoušek, které se vyhodnocují při běhu tiskárny, je na displeji zobrazená aktuální zkoušená hodnota.

Největším problémem při tvorbě zkoušek je spotřeba filamentu, čím měně filamentu se použije, tím bude zkouška levnější, ale zároveň bude výtisk menší, takže odečtení výsledků může být mnohem obtížnější. Při tvorbě zkoušek bylo nutné najít rovnováhu.

1.9.1 Maximální akcelerace

Tato zkouška se principem podobná již existujícím zkouškám. Akcelerace se postupně zvyšuje, dokud nedojde ke ztrátě kroku (úplné maximum) nebo uživatel usoudí, že je tiskárna moc hlasitá (použitelné maximum).

Zkouší se vždy jenom jedna osa. Zkoušená osa se pohybuje o uživatelem určenou vzdálenost dopředu a zpátky, základní hodnoty jsou 10 mm dopředu a 5 mm zpátky, dokud osa nedojeda na svůj konec. Tam se tyto hodnoty vymění a osa se stejným pohybem vrátí na začátek. Pro přesnější výsledky je lepší úplné zastavení mezi pohyby. Pohyb přes celou osu sice zabere více času, ale provádí se pro případ, že tření není po celé délce osy stejné.

Zkoušku je nutné provést jenom jednou pro každou tiskánu nebo v případě, že došlo ke značné modifikaci konstrukce 3D tiskárny.

1.9.2 Maximální rychlost

Tato zkouška je podobná zkoušce akcelerace, hlavní rozdíl je, že místo několika kratších pohybů dochází k pohybu mezi jednou a druhou stranou osy.

Tato zkouška se významně neliší od již existujících zkoušek.

1.9.3 Maximální junction deviation

Zkoušku není nutno provést, ale může ušetřit čas v dalších zkouškách, tím že nebudete zkoušet nemožné hodnoty junction deviation.

Dráha pohybu této zkoušky je čtverec. Dráhu tisková hlava projede nejdříve jedním směrem a následně opačným směrem. Po každém projetí se zvyšuje hodnota junction deviation. Metoda vyhodnocení a kdy se má zkouška provádět jsou obdobné zkoušce akcelerace.

Existující zkoušky na junction deviation hledají ideální hodnotu pro nejlepší kvalitu tisku, ne maximální možnou.

1.9.4 Teplota

Zkouška používá modifikovanou verzi modelu <u>www.thingiverse.com/thing:2729076</u> od uživatele gaaZolee. Použitá verze nemá na straně patra napsanou použitou teplotu.

Kvůli komplikovanému tvaru modelu, není možné u této zkoušky změnit většinu nastavení. Jediné nastavení, které se dají měnit jsou nastavení retrakce, ty byly v PrusaSliceru nahrazeny firmwarovou retrakcí, program použije funkci replace_retraction zmíněnou v sekci pomocných funkcí.

Zkouška používá předem vygenerovaný g-kód, který je rozdělený na první vrstvu a na patro. Během zkoušky program nastaví počáteční teploty, vytiskne první vrstvu a první patro, nastaví novou teplotu a do výsledného g-kódu znovu přidá g-kód patra, dokud nevyzkouší všechny teploty.

Zkouška je identická existujícím zkouškám a měla by se provádět pro každý filament na každé tiskárně.



Obrázek 18 Zkouška teploty vygenerovaná programem

1.9.5 Extrusion multiplier

Původně tato zkouška měly být podobná metodě subjektivní, kvůli zvýšené spotřebě filamentu došlo ke změně. Problém s první metodou byl, že bylo zapotřebí vytisknout vyšší model, aby výsledek neovlivňovaly možné nedostatky první vrstvy.

Tato zkouška se zakládá na objektivní metodě určení násobiče extruze z teoretické části. Největším zdrojem nepřesnosti šířky při tisku jedné stěny je samotná geometrie vytisknuté čáry, nastavujeme šířku a výšku čáry a předpokládáme, že průřezem čáry je obdélník. To je pravda pouze pokud tiskneme čáry vedle sebe, při tisku jedné čáry se totiž strany zaoblují a vznikají z nich půlkruhy.

Metoda použitá při této zkoušce spočívá na porovnání šířky dvou čar vytisknutých vedle sebe s šířkou jedné čáry, mezi čárami se půlkruhy vzájemné vynulují (viz obr. 20). Odečtením šířky jedné čáry od šířky dvou vyjde šířka čáry, pokud by jejím průřezem byl obdélník.



Obrázek 19 Zkouška násobiče extruze



Obrázek 20 Princip zkoušky násobiče extruze

Hlavní nevýhodou zkoušky je její nepřesnost, rozdíly šířek jsou relativně malé na měření posuvným měřítkem. Výsledky této zkoušky jsou ale dostačující pro většinu použití.

Zkouška by se měla provádět pro každý filament na každé tiskárně.

1.9.6 Retrakce

Zkouška je identická k jiným zkouškám. Zkouška používá dvě válcové věže. Zkoušku by se mělo provádět pro každý filament na každé tiskárně.



Obrázek 21 Zkouška retrakce

1.9.7 Maximální objemový průtok

První verze této zkoušky používala válec, protože byl jednoduchý na naprogramování. Válec ale ne vždy dovoloval dostatek času, aby vychladla předchozí vrstva. Tato zkouška je důvod, proč funkce print_L má schopnost zaoblit rohy.

Tato metoda používá obdélníky se zaobleními rohy k zjištění maximálního průtoku. Problém, který může nastat u tohoto druhu zkoušek, je najít dráhu, která umožnuje udržet konstantní rychlost tisku a zároveň tisk jedné vrstvy trvá dostatečně dlouho, aby vrstva stihla vychladnout. Použitě řešení tohoto problému spočívá na tisknutí obdélníku v sobě. Nevýhoda řešení je překřížení dráhy, ale při zkoušení překřížení nezpůsobovalo problémy.

Z výtisku je možné odečíst dvě různé hodnoty průtoku. Maximální hodnota se odečte zjištěním první hodnoty, při které došlo k selhání tisku a od této hodnoty se odebere hodnota připadající na jeden krok. Druhá hodnota je maximální průtok, při kterém je filament plně roztaven, nad touto hodnotou přestává být výtisk lesklý. Tato hodnota je vhodná jako maximální hodnota pro vnější části výtisku, pro zachování rovnoměrného vzhledu.

Zkouška je v principu stejná jako již existující zkoušky, ale v provedení se výrazně liší.

Zkouška by se měla provádět pro každý filament nebo druh filamentu, trysku a hot-end.



Obrázek 22 Tvar zkoušky maximálního objemového průtoku



Obrázek 23 Boční pohlen na zkoušku objemového průtoku

1.9.8 Kvalita a input shaper

Tato zkouška používá dutou krychli s jedním perimetrem pro zkoušení kvality. Tři boční stěny se tiskou plnou rychlostí a čtvrtá se tiskne pomaleji, aby umožnila předchozí vrstvě vychladnout. Pro zkoušku je nejdůležitější minimalizace vibrací v rozích. Zkouška slouží

k nastavení mnoha různých hodnot, mezi ně patří: frekvence a faktory tlumení input shaperu, akcelerace a junction deviation.

Jako výsledná hodnota se bere ta hodnota, při které byla dosažena nejlepší kvalita povrchu.

Jako první se nastavuje input shaper, nejdřív frekvence a následně faktor tlumení. Akcelerace a junction deviation jsou nastavené na hodnoty blízko maximálním.



Obrázek 24 Boční pohled na zkoušku frekvence input shaperu

Následně se nastavuje akcelerace. Junction deviation je nastavena na velmi nízkou hodnotu.

Jako poslední se nastavuje junction deviation. Input shaper a akcelerace jsou nastavené na hodnoty, získané z předchozích zkoušek kvality.

1.9.9 Linear advance

Tato metoda používá sérii šipek k nalezení hodnoty linear advance. Vlastně se jedná o zjednodušenou verzi tvaru použitého v nástroji Ellis' Pressure Advance / Linear advance calibration tool od Andrew Ellise.



Obrázek 25 Zkouška pro linear advance

Zkouška by se ideálně měla provádět pro každý filament, teplotu, trysky a tiskárnu. V praxi je dostačující zkoušku provést jednou pro každou tiskárnu nebo pokud chcete použít filamenty s výrazně rozdílnou elasticitou.

1.9.10 Junction deviation

Tato zkouška je identická zkoušce pro linear advance. Junction deviation se dá také zkoušet pomocí zkoušky kvality

1.9.11 Problémy s kvalitou

Největší problém při hledání nastavení pro dosažení vysoká kvality při rychlém tisku jsou propojená nastavení. Kvalitu ovlivňují tyto nastavení: rychlost, akcelerace, junction deviation, input shaper a linear advance.

Input shaper je ovlivněn pouze konstrukcí tiskárny. Problém způsobují zbývající nastavení. Při větší akceleraci je rychlost v rohu větší při stejné hodnotě junction deviation a je potřeba větší hodnota linear advance. To způsobuje problém při zkoušení, protože tyto hodnoty je prakticky nemožně oddělit do jednotlivých zkoušek.

1.10Výsledek ladění

Po dokončení ladění jsem porovnal nové nastavení se základním nastavení s PrusaSliceru. Pro porovnání výsledků jsem vytiskl model želvy Cutie Baby Turtle (<u>https://www.printables.com/model/504361-cutie-baby-turtle</u>) od uživatele squinn.

Nastavení tisku se zaměřovalo na maximální možnou rychlost, při zachování dostačující kvality. Nastavení nebylo vytvořeno pro maximální kvalitu.

Je důležité zmínit, že velká část zrychlení byla umožněna input shaperem a že tyto výsledky lze dosáhnout i jinými metodami. Nejedná se o porovnání výsledků ladění mezi různými metodami.



Obrázek 26 Želva po ladění – čas tisku 30 minut



Obrázek 27 Želva bez ladění – čas tisku 60 minut

ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit nástroj, který ulehčí a urychlí nastavování 3D tiskáren, tento cíl byl z větší částí splněn. Ve svém aktuálním stavu je program schopný pomoc s nacházením maximální rychlost tisku a provést základní zkoušky pro určení nastavení kvality. Druhou část cíle, urychlit nastavování, program také splňuje, protože v porovnání s ostatními metodami, uživatel nemusí ručně nastavovat každou zkoušku.

Ve svém aktuálním stavu je sice program schopný pomoc, ale zároveň existuje spousta možných vylepšení jako například: zvýšení rychlosti ukládání a načítání nastavení, přidaní uložiště v cloudu, vytvoření uživatelského návodu, vylepšení integrace s PrusaSlicerem a další.

Osobně jsem se během tvorby tohoto programu velmi zlepšil v programování, hlavně co se týče tvorby grafické stránky v Anvilu. Plánuji v projektu pokračovat a někdy možná i projekt stránku zveřejním.

POUŽITÁ LITERATURA

1. **Python software Foundation.** The Python Tutorial — Python 3.12.2 documentation. *3.12.2 Documentation*. [Online] 23. 3 2024. [Citace: 24. 3 2024.] https://docs.python.org/3/tutorial/.

2. **The Tuesday Project Ltd.** Anvil Docs | Overview. *Anvil Docs*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://anvil.works/docs/overview.

3. —. Anvil Docs | The Anvil Editor. *Anvil Docs*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://anvil.works/docs/editor.

4. —. Anvil Docs | Structuring your app. *Anvil Docs*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://anvil.works/docs/app-architecture/structuring-your-app.

5. —. Anvil Docs | Client Code. *Anvil Docs*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://anvil.works/docs/client.

6. —. Anvil Docs | Server Code. *Anvil Docs*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://anvil.works/docs/server.

7. —. Anvil Docs | Anvil Components. *Anvil Docs*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://anvil.works/docs/ui/components.

8. anvilistas. Storage — Anvil Extras documentation. Anvil Extras documentation. [Online]2021.[Citace: 24. 3 2024.]https://anvil-extras.readthedocs.io/en/latest/guides/modules/storage.html.

9. **dk metal prominent s.r.o.** Přehled technologií 3D tisku | dkmp Nový Jičín, Ostrava. *Kovovýroba, 3D tisk, konstrukce, vývoj* | *dkmp Nový Jičín, Ostrava.* [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologii-3dtisku#:~:text=FUSED%20DEPOSITION%20MODELING%20(FDM)&text=FDM%20je%20 v%20dne%C5%A1n%C3%AD%20dob%C4%9B,ve%20form%C4%9B%20struny%20(filam entu)..

10. **Wikipedia Foundation, Inc.** Fused filament fabrication - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia.* [Online] 22. 3 2024. [Citace: 24. 3 2024.] https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication.

11. —. 3D printing - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online] 22. 3 2024. [Citace: 24. 3 2024.] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing.

12. Anderson, Tyler. Anatomy of a 3D Printer: How Does a 3D Printer Work? | MatterHackers. *MatterHackers | 3D Printers & Filament | 3D Printing Guides & More*. [Online] 24. 2 2016. [Citace: 24. 3 2024.] https://www.matterhackers.com/articles/anatomy-of-a-3d-printer.

13. **O'Connell, Jackson.** The Types of FDM 3D Printers: Cartesian, CoreXY & More | All3DP. *All About 3D Printing & Additive Manufacturing | All3DP*. [Online] All3DP, 8. 7 2023. [Citace: 24. 3 2024.] https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/].

14. **Gharge, Pranav.** The Best 3D Printer Firmware | All3DP. *All About 3D Printing & Additive Manufacturing* | *All3DP*. [Online] All3DP, 21. 8 22. [Citace: 24. 3 2024.] https://all3dp.com/2/3d-printer-firmware-which-to-choose-and-how-to-change-it.

15. **MarlinFirmware.** Set Starting Acceleration | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M204.html.

16. Jeon, Sonny. Improving Grbl: Cornering Algorithm | One Hoss Shay.One Hoss Shay.[Online]24.92011.[Citace: 24.32024.]https://onehossshay.wordpress.com/2011/09/24/improving_grbl_cornering_algorithm/.

17. **Ellis, Andrew.** Determining Maximum Speeds and Accelerations | Ellis' Print Tuning Guide. *Ellis' Print Tuning Guide*. [Online] 2023. [Citace: 24. 3 2024.] https://ellis3dp.com/Print-Tuning-Guide/articles/determining_max_speeds_accels.html.

18. **MarlinFirmware.** Set Advance Settings | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M205.html.

19. —. Wait for Hotend Temperature | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M109.html.

20. —. Wait for Bed Temperature | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M190.html.

21. —. Set Hotend Temperature | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M104.html.

22. —. Set Bed Temperature | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M140.html.

23. —. PID autotune | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/gcode/M303.html.

24. **filament2print.** 3D printing temperatures and optimisation. *Filament2Print*. [Online] 12. 4 2023. [Citace: 24. 3 2024.] https://filament2print.com/gb/blog/138_3d-printing-temperatures.html.

25. **TeachingTech.** Teaching Tech 3D Printer Calibration. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://teachingtechyt.github.io/calibration.html#temp.

26. **Ellis, Andrew.** Extrusion Multiplier | Ellis' Print Tuning Guide. *Ellis' Print Tuning Guide.* [Online] 2023. [Citace: 24. 3 2024.] https://ellis3dp.com/Print-Tuning-Guide/articles/extrusion_multiplier.html#rationale--dimensional-accuracy. 27. —. Retraction | Ellis' Print Tuning Guide. *Ellis' Print Tuning Guide*. [Online] 2023. [Citace: 24. 3 2024.] https://ellis3dp.com/Print-Tuning-Guide/articles/retraction.html.

28. **Prusa Research.** Maximální objemová rychlost | Prusa Knowledge Base. *Prusa Knowledge Base.* [Online] 2022. [Citace: 24. 3 2024.] https://help.prusa3d.com/cs/article/maximalni-objemova-rychlost_127176.

29. **Ellis, Andrew.** Determining Maximum Volumetric Flow Rate | Ellis' Print Tuning Guide. *Ellis' Print Tuning Guide*. [Online] 2023. [Citace: 24. 3 2024.] https://ellis3dp.com/Print-Tuning-Guide/articles/determining_max_volumetric_flow_rate.html.

30. **TeachingTech.** Teaching Tech 3D Printer Calibration. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://teachingtechyt.github.io/calibration.html#speed.

31. Ellis, Andrew. Introduction | Ellis' Print Tuning Guide. Ellis' Print Tuning Guide. [Online]2023.[Citace: 24. 3 2024.]Guide/articles/pressure_linear_advance/introduction.html.

32. **MarlinFirmware.** Input Shaping | Marlin Firmware. *Marlin Firmware*. [Online] [Citace: 24. 3 2024.] https://marlinfw.org/docs/features/input_shaping.html.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Lišta komponentů	5
Obrázek 2 Panel vlastností	6
Obrázek 3 Textové pole	7
Obrázek 4 Tlačítko	7
Obrázek 5 Tiskárna Sovol SV06	8
Obrázek 6 Teplotní věž	
Obrázek 7 Objektivní metoda	11
Obrázek 8 Zkouška rektracke vygenerována programem 3D Printer Calibration o	d Teaching
Tech	11
Obrázek 9 Zkouška na objemový průtok, model https://www.printables.com/mod	lel/328223-
volumetric-flow-test-for-ratrig-v-core3/files od Yathani	
Obrázek 10 Zkouška pro linear advance od Andrew Ellise	
Obrázek 11 Zkouška pro frekvecni input shaperu doporučená v dokumentaci Marli	n firmwaru
Obrázek 12 Hlavní stránka programu	16
Obrázek 13 Nastavení pro generaci	16
Obrázek 14 Generované nastavení pro test teploty	17
Obrázek 15 Nastavení vstupního komponentu pro čísla	17
Obrázek 16 Boční tlačítka	
Obrázek 17 Okno pro nahrávání nastavení	19
Obrázek 18 Zkouška teploty vygenerovaná programem	22
Obrázek 19 Zkouška násobiče extruze	23
Obrázek 20 Princip zkoušky násobiče extruze	23
Obrázek 21 Zkouška retrakce	24
Obrázek 22 Tvar zkoušky maximálního objemového průtoku	25
Obrázek 23 Boční pohlen na zkoušku objemového průtoku	25
Obrázek 24 Boční pohled na zkoušku frekvence input shaperu	26
Obrázek 25 Zkouška pro linear advance	27
Obrázek 26 Želva po ladění – čas tisku 30 minut	
Obrázek 27 Želva bez ladění – čas tisku 60 minut	