

Gymnázium, Praha 6, Arabská 14

Obor programování



ROČNÍKOVÝ PROJEKT

Tobiáš Forejt, Jan Kimr, Vojtěch Přibáň, Jan Richard Výrut

3D tiskárna a plotter

Duben 2020

Prohlašuji, že jsem jediným autorem tohoto projektu, všechny citace jsou řádně označené a všechna použitá literatura a další zdroje jsou v práci uvedené. Tímto dle zákona 121/2000 Sb. (tzv. Autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů uděluji bezúplatně škole Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 oprávnění k výkonu práva na rozmnožování díla (§ 13) a práva na sdělování díla veřejnosti (§ 18) na dobu časově neomezenou a bez omezení územního rozsahu.

V Praze dne

Tobiáš Forejt

Prohlašuji, že jsem jediným autorem tohoto projektu, všechny citace jsou řádně označené a všechna použitá literatura a další zdroje jsou v práci uvedené. Tímto dle zákona 121/2000 Sb. (tzv. Autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů uděluji bezúplatně škole Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 oprávnění k výkonu práva na rozmnožování díla (§ 13) a práva na sdělování díla veřejnosti (§ 18) na dobu časově neomezenou a bez omezení územního rozsahu.

V Praze dne

Jan Kimr

Prohlašuji, že jsem jediným autorem tohoto projektu, všechny citace jsou řádně označené a všechna použitá literatura a další zdroje jsou v práci uvedené. Tímto dle zákona 121/2000 Sb. (tzv. Autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů uděluji bezúplatně škole Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 oprávnění k výkonu práva na rozmnožování díla (§ 13) a práva na sdělování díla veřejnosti (§ 18) na dobu časově neomezenou a bez omezení územního rozsahu.

V Praze dne

Vojtěch Přibáň

Prohlašuji, že jsem jediným autorem tohoto projektu, všechny citace jsou řádně označené a všechna použitá literatura a další zdroje jsou v práci uvedené. Tímto dle zákona 121/2000 Sb. (tzv. Autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů uděluji bezúplatně škole Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 oprávnění k výkonu práva na rozmnožování díla (§ 13) a práva na sdělování díla veřejnosti (§ 18) na dobu časově neomezenou a bez omezení územního rozsahu.

V Praze dne

Jan Richard Výrut

Název práce: 3D tiskárna a plotter

Autoři: Tobiáš Forejt, Jan Kimr, Vojtěch Přibáň, Jan Richard Výrut

Anotace: Cílem této práce bylo sestavit a popsat konstrukci 3D tiskárny tisknoucí metodou FDM. Tuto tiskárnu je zároveň možné využít jako plotter. Plastové díly byly vytištěné na jiné 3D tiskárně. Součástí bylo vytvoření software pro ovládání tiskárny, uživatelské rozhraní pro zadávání tiskových úloh a software pro komunikaci s počítačem přes USB. Cílem, který se však nepodařilo splnit, byly náklady do 1 500 korun.

Fachbezeichnung: 3D Drucker und Plotter

Autoren: Tobiáš Forejt, Jan Kimr, Vojtěch Přibáň, Jan Richard Výrut

Annotation: Das Ziel dieser Arbeit war ein 3D Drucker zu konstruieren und die Konstruktion zu beschreiben. Dieser Drucker benutzt die FDM Methode und kann auch als Plotter benutzt sein. Die Plastbestandteile sind auf den anderen 3D Drucker gedruckt. Nächstes Teil der Arbeit war die Erstellung einer Druckersteuerungssoftware, einer Druckbenutzeroberfläche und einer Software für die Kommunikation mit einem Computer über USB. Das Ziel, welches wir jedoch nicht erreicht haben, waren Kosten von bis zu 1 500 CZK.

Zadání

Zadáním této práce je postavit funkční 3D tiskárnu, která zároveň bude fungovat jako plotter s náklady pod 1500 Kč. Plastové díly rámu budou vytištěné na jiné 3D tiskárně. Tyto díly budou z většiny vlastního návrhu. Dále bude také součástí navrhnout vlastní software pro 3D tiskárnu. V dokumentaci poté vysvětlit princip postavené tiskárny a popsat konstrukci.

Obsah:

1.	Úvod	1
2.	3D tisk.....	2
2.1.	Způsoby 3D tisku	2
2.2.	3D tiskárny dostupné na trhu	3
2.3.	Využití.....	4
2.4.	Stavění 3D tiskáren	4
3.	3D tiskárna	4
3.1.	Vlastnosti a parametry	4
3.2.	Konstrukce	5
3.3.	Elektronika	6
3.4.	Posun po osách	7
3.4.1.	Motory.....	7
3.4.2.	Kalibrace.....	8
3.5.	Extruder.....	9
3.6.	Software	9
3.6.1.	3D tiskárna	9
3.6.2.	Počítačové rozhraní.....	10
3.6.1.	Komunikace s počítačem.....	10
3.7.	Výsledná přesnost	11
4.	Plotter	11
5.	Návod na použití	12
6.	Použitý software	13
7.	Závěr.....	14
8.	Bibliografie	15
9.	Seznam obrázků	16
10.	Přílohy	17

1. Úvod

Tato ročníková práce se zabývá sestavením 3D tiskárny, která bude fungovat také jako plotter, při udržení co nejnižších nákladů. Plastové součásti tiskárny jsou vytištěné na školní 3D tiskárně Original Prusa i3 MK2¹. Při konstrukci tiskárny se vyskytlo mnoho nečekaných problémů a nepřesností. V dokumentaci vysvětlujeme jejich příčiny a ukazujeme, jak jsme tyto problémy vyřešili.

Běžně dostupné 3D tiskárny se prodávají přibližně od 3 500 do 20 000 korun. Naše tiskárna měla být do částky 1 500 korun. Náklady jsme snížili například tímto způsobem: plastové části jsme si vytiskli, čímž se jejich pořizovací cena dostala pod 200 korun; tiskovou plochu jsme použili skleněnou, což znamenalo výdaj pouze ve výši 8 korun; jako zdroj nám postačil zdroj z počítače v ceně 100 korun; použili jsme rovněž vlastní konstrukci extrudéru.

I přes snahu ušetřit na pořizovacích nákladech co nejvíce, cílem naší práce bylo zároveň to, aby tiskárna tiskla co nejpresněji a plotter kreslil v dostatečné kvalitě. Důležité tedy bylo vhodně nastavit poměr ceny a kvality jednotlivých součástí.

Druhou částí ročníkové práce bylo vytvoření vlastního softwaru pro 3D tiskárnu i pro její ovládání z počítače. Řídící jednotkou tiskárny je Arduino, které dostává příkazy přes USB kabel z počítače. U tiskárny uživatel pouze nastaví teplotu filamentu, a poté ji ovládá přes počítačové rozhraní, kde vybere soubor k tisku a může průběh tisku kontrolovat.

Naší motivací ke zpracování této ročníkové práce bylo zkusit něco nového, čemu se ve škole běžně nevěnujeme. Chtěli jsme si sami vyzkoušet dosažitelné možnosti a kvalitu tisku sestavené tiskárny. Cílem bylo vytvořit praktické zařízení, které bude použitelné i v běžném životě, tedy nejen jako ročníková práce.

¹ prusa3d.cz [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné online: <https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3-kit.html#>

2. 3D tisk

3D tisk je způsob výroby trojrozměrných objektů z digitálního souboru. Výsledný objekt je vytvářen pomocí aditivních procesů, jeho opakem je subtraktivní výroba, kde je například kovový nebo plastový materiál odebírán. V procesu je objekt vytvářen umísťováním po sobě jdoucích vrstev materiálu, dokud není objekt vytvořen. Na každou z těchto vrstev lze pohlížet jako na tenký řez vodorovného průřezu konečného objektu. Tato metoda umožňuje vytvářet složité tvary pomocí méně materiálu než tradiční výrobní metody.²

2.1. Způsoby 3D tisku

Existuje několik různých technologií 3D tisku. Rozdíly spočívají ve způsobu vytváření jednotlivých vrstev.

- SLS (Selective Laser Sintering) – tento způsob spočívá v zapékání práškového materiálu laserovým paprskem. Tloušťka jedné vrstvy je přibližně 0,1 mm.³
- SLA (Stereolithography) – stereolitografie je nejstarší technologie používaná od roku 1986. Její princip je podobný technologii SLS. Dochází k vytvrzování tekutého kompozitu laserovým paprskem.⁴
- FFF/FDM (Fused Filament Fabrication/ Fused Deposition Modeling) – tento způsob využívá nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě. Tisk může využívat kromě stavebního materiálu i podpurný, který se po dokončení tisku odstraní. Tloušťka jedné vrstvy je přibližně 0,25 mm. Při vrstvení vzniká minimální odpad. Nevýhodou je velká tloušťka a nerovný povrch vrstvy.⁵

Naše tiskárna používá poslední zmiňovaný způsob 3D tisku, který je technologicky nejjednodušší.

² 3DPrinting.com [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné online: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

³ MATERIALPRO 3D [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné na WWW: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/slm-technologie/>

⁴ MATERIALPRO 3D [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné na WWW: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/slm-technologie/>

⁵ MATERIALPRO 3D [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné na WWW: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/fff-fdm-technologie/>

2.2. 3D tiskárny dostupné na trhu

Dnes je na trhu dostupná široká nabídka 3D tiskáren od celé řady výrobců. Pro orientaci uvádíme několik cenově dostupnějších tiskáren, které bylo možné koupit:

Název	ORIGINAL PRUSA MINI ⁶	Creality ENDER-3 ⁷	3D tiskárna Creality CR-100 Yellow ⁸
Foto			
Cena k 8.3.2020	9 990 Kč	5 999 Kč	4 299 Kč
Tiskový prostor	18×18×18 cm	22×22×25 cm	10×10×8 cm
Výška jedné vrstvy	0.05-0.35 mm	0.1-0.4 mm	0.1-0.4 mm
Podporované materiály	PLA, PETG, ASA, ABS, Flex	PLA, Nylon, HIPS, Wood, TUP, PVA	PLA
Důvod zařazení (8.3.2020)	Nejlevnější tiskárna české firmy Prusa Research	Nejoblíbenější 3D podle serveru Heureka.cz	Nejlevnější podle serveru Heureka.cz

Z tabulky je patrné, že nejlevnější v Česku prodávaná 3D tiskárna se pohybovala nad částkou 4 000 korun. Ze zahraničí bylo možné zakoupit i tiskárny, které cenově vycházely okolo 3 000 korun, ale naším cílem bylo vytvořit tiskárnu za méně než poloviční cenu.

⁶ prusa3d.cz [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné na WWW: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/994-original-prusa-mini.html#>

⁷ 3dpotreby.cz [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné na WWW: <http://www.3dpotreby.cz/3d-tiskarny-c5/3d-tiskarna-creality-ender-3-i5/>

⁸ alza.cz [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné na WWW: <https://www.alza.cz/creality-cr-100?dq=5639983>

2.3. Využití

Využití 3D tisku je velice rozsáhlé: ve zdravotnictví, v průmyslu, v potravinářství i v mnoha dalších oborech. Proces zvaný „Rapid Prototyping“, který se využívá k rychlému a levnému vytváření prototypu výsledného modelu, velice často pracuje právě s 3D tiskárnami.⁹

2.4. Stavění 3D tiskáren

Od vytvoření projektu RepRap (**Re**plicating **Ra**pid-prototyper) v roce 2004 se rozvíjelo domácí stavění 3D tiskáren.¹⁰ Tento nápad se zakládá na tom, že podstatná část dílů je plastových, a tedy je možné je jednoduše vytisknout na jiné 3D tiskárně. Tímto způsobem je možné vytvořit si vlastní tiskárnu s velice nízkými náklady. V současné době je možné najít modely i komerčních tiskáren, které je možné koupit přímo od výrobce jako stavebnici.

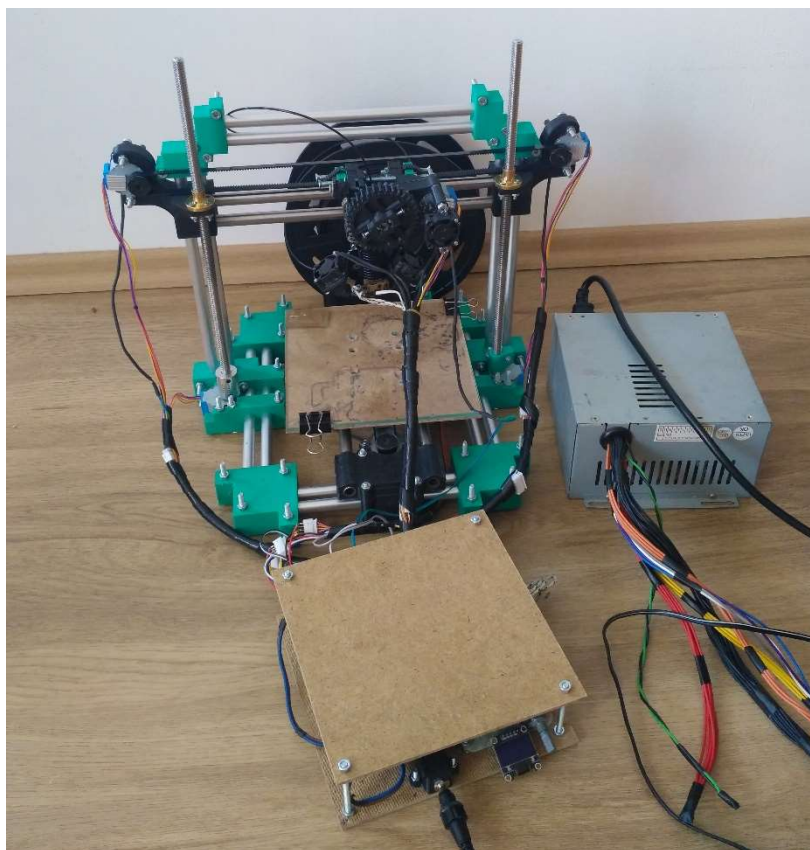
3. 3D tiskárna

3.1. Vlastnosti a parametry

Naše 3D tiskárna tiskne metodou FDM. Plastové díly jsou vytištěné na 3D tiskárně. Tiskárna má tiskový prostor 11×11×8 cm a tisková plocha je skleněná a není nahřívána. Tisknout je možné z PLA. Celá tiskárna má rozměry 45×40×34 cm (samostatná tiskárna bez elektroniky a zdroje 29×40×34 cm). Tabulka všech použitých komponent je uvedena v přílohách.

⁹TWI Ltd [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné na WWW: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-manufacturing-what-is-rapid-prototyping>

¹⁰ RepRap [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné na WWW: <https://reprap.org/wiki/RepRap>



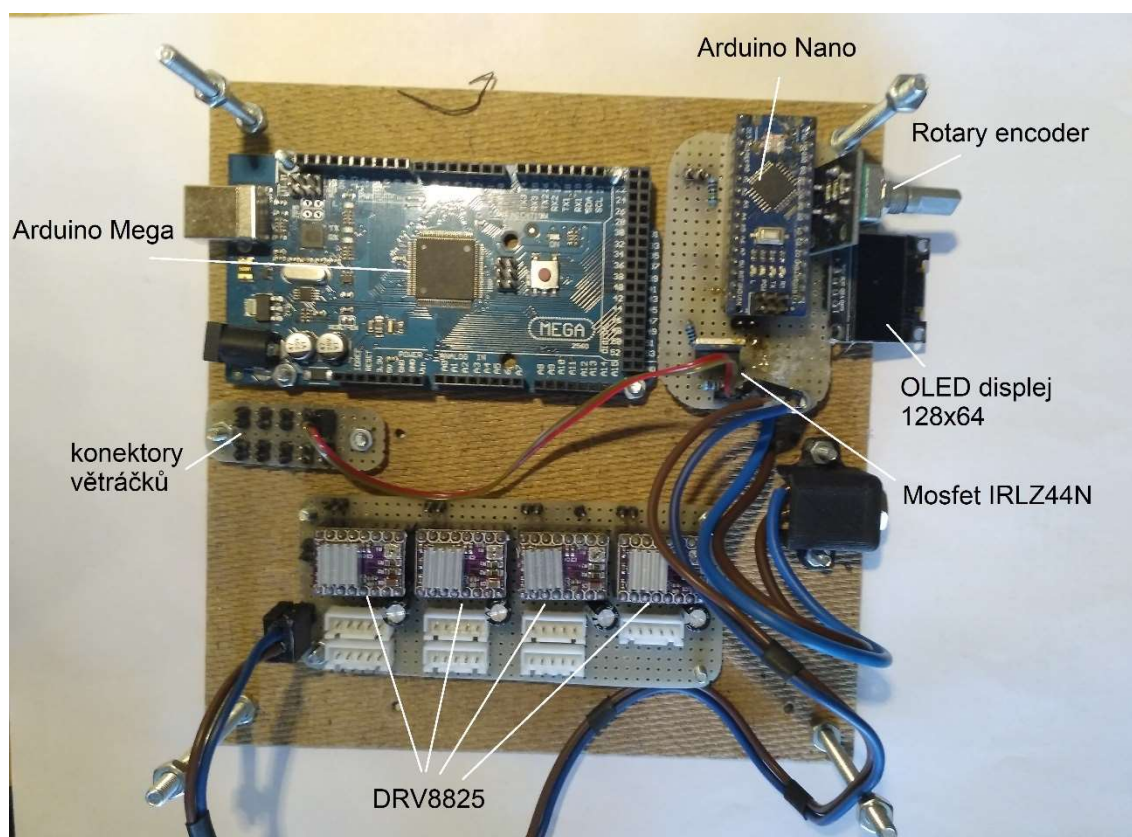
Obrázek 1 Vzhled 3D tiskárny, zdroj je vpravo a elektronika vpředu.

3.2. Konstrukce

Tiskárna ze tří téměř oddělených částí: zdroje, elektroniky a samotné tiskárny. Zdroj je samostatně umístěný a jedná se o upravený počítačový zdroj. Elektronika je umístěna na desce ze sololitu a překryta druhou deskou, aby tak byla chráněna a nedošlo k poškození.

Konstrukce samotné tiskárny je poněkud složitější. Spodní část je tvořena rámem z hliníkových trubek v rozích spojených plastovými modely. Na tomto rámu je připevněna část pohybující s tiskovou plochou tvořenou skleněnou deskou, která je přichycena na sololitové desce. Na dolním rámu je také připevněn vertikální rám zajišťující pohyb extruderu. Na tomto vertikálním rámu jsou svisle dvě nerezové trubky a jedna závitová umožňující pohyb extruderu po ose z. Extruder se po tyčích, na kterých je umístěn, pohybuje pomocí ozubeného pásu.

3.3. Elektronika



Obrázek 2 Zobrazení řídicí elektroniky.

Popis funkce jednotlivých součástek:

- Arduino Mega – ovládá drivery motorů DRV8825 a zařizuje provádění jednotlivých příkazů z počítače.
- Drivery motorů DRV8825 – ovládají motory podle příkazů Arduina Mega.
- Arduino Nano – ovládá teplotu roztaveného filamentu a větráčky, které chladí motory.
- Konektory větráčků – zajišťují napájení větráčků, které chladí motory.
- MOSFET IRLZ44N – tento tranzistor zajišťuje ovládání topného tělesa hotendu.
- Rotary encoder – pomocí tohoto encoderu se nastavuje teplota hotendu.
- OLED displej 128×64 – zobrazuje teplotu hotendu a sílu zahřívání.
- Krokové motory 28BYJ-48 – ovládají pohyb jednotlivých částí. Původně byly unipolární, na základě zapojení za pomoci driverů DRV8825 jsou bipolární.

- Zdroj – jako zdroj jsme použili upravený ATX zdroj pro počítač. Důvodem je, že pro elektroniku tiskárny je potřeba hlavně napájení 12 V, které zdroj pro počítač má. Velkou výhodou je také nízká cena.

3.4. Posun po osách

3.4.1. Motory

Pro pohyb tiskové plochy v ose y a extruderu v ose x a z jsou použity krokové motory. V případě osy x je poháněn ozubený pás, který posunuje extruder. Podobným způsobem je na ose y pohybováno s tiskovou plochou. Na ose z je motorem roztáčena závitová tyč, která posunuje celou část extruderu.

Přesnost pohybu motorů výrazně závisí na napětí. Při nižším napětí dochází ke ztrátám kroků, které výrazně ovlivňují přesnost. Při větším napětí mají motory větší sílu a šance ztratit krok je výrazně menší.



Obrázek 3 Přesnost motorů v závislosti na napětí. Zleva: 8.5 V, 9 V, 9.5 V.

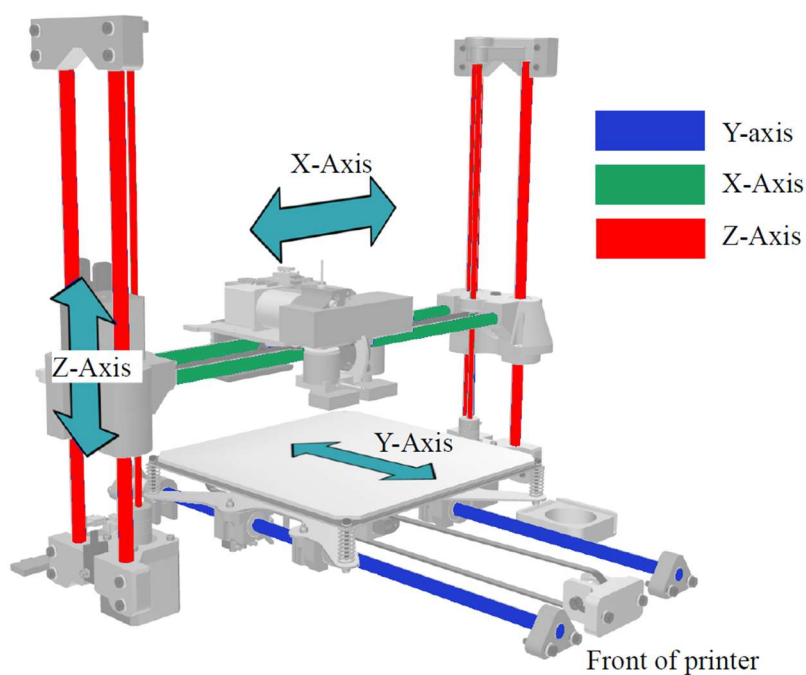
Při použití v praxi se vyskytlo několik potíží:

- Po zastavení motoru a snížení napětí motor povolil a mohlo dojít k malému pootočení a ztrátě nebo získání několika kroků, což vedlo k nepřesnostem při tisku. Tento problém byl způsoben tím, že po každém příkazu motory přestaly na krátkou dobu procházet napětím a po započetí dalšího příkazu byly náchylnější ke ztrátě kroku. Řešení spočívalo v tom, že motory byly pod napětím po celou dobu tisku.

- Při tisku docházelo k přehřívání motorů na osách x a y, jelikož byly stále v pohybu. Jednou z možností bylo po chvíli tisku nechat vždy motory vychladnout. Druhou možností, kterou jsme použili, bylo umístění malých 12V větráčků, které tyto motory kromě osy z po celou dobu tisku chladily. Motor na ose z není potřeba chladit, protože není po celou dobu tisku pod napětím.

3.4.2. Kalibrace

Jedním z důležitých prvků 3D tiskárny je kalibrace motorů na jednotlivých osách. Bez této kalibrace by mohl být tištěný model posunutý buď na osách x a y, což by při malých odchylkách nebyl problém, ale podobná odchylka na ose z by znamenala deformaci nebo nevytištění celého modelu.



Obrázek 4 Zobrazení jednotlivých os 3D tiskárny¹¹.

Naše tiskárna se na osách x a y zkalibruje zajištěním motorů do krajních pozic. Toto řešení není u osy z použitelné, jelikož by extrudér tlačil do podložky, a to není žádoucí. Druhou možností bylo, aby motor vyjel úplně nahoru. To by však trvalo velice dlouho, jelikož motory jsou pomalé. Z tohoto důvodu se osa z kalibruje pomocí indukčního spínače. Na

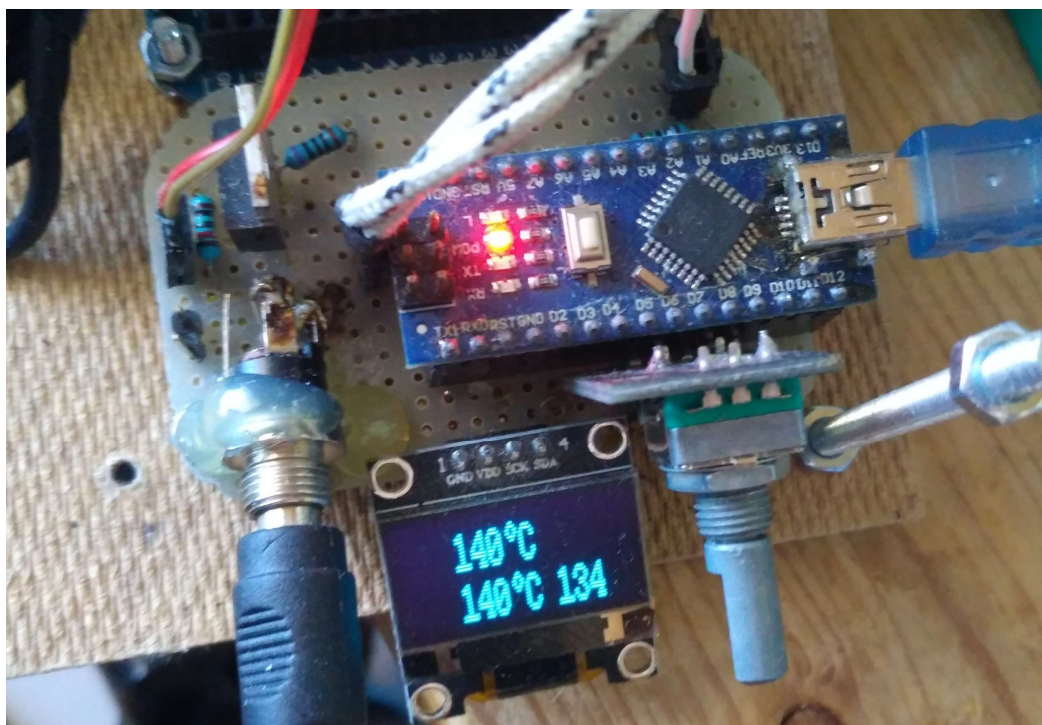
¹¹ diy-3d.net [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://diy-3d.net/2019/05/05/corexy-kinematics-and-why/>

skleněné podložce je nalepený kousek hliníkové fólie a při přiblížení senzoru kovu k této fólii se osa z kalibruje.

3.5. Extruder

Extruder vytlačuje filament na podložku a má na starosti jeho dávkování. Filament prochází nejprve mezi kolečky, která ho posunují do hotendu (hotend – součástka, která zajišťuje roztavení filamentu), kde se roztaví a je vytlačen na podložku. V hotendu je teflonová trubička, která zajišťuje, aby filament předčasně nezměkl a hotend se neucpal. Hotend je zároveň také po celou dobu chlazen 12V větráčkem.

Zahřívání filamentu je řešeno pomocí PD vyvažování. To zajišťuje Arduino Nano; teplota je měřena termistorem a topné tělísko ovládá MOSFET; součástí je OLED displej na který, se zobrazuje aktuální teplota, cílová teplota ve stupních Celsia a síla zahřívání (0 až 250).



Obrázek 5 Zobrazení a ovládání teploty.

3.6. Software

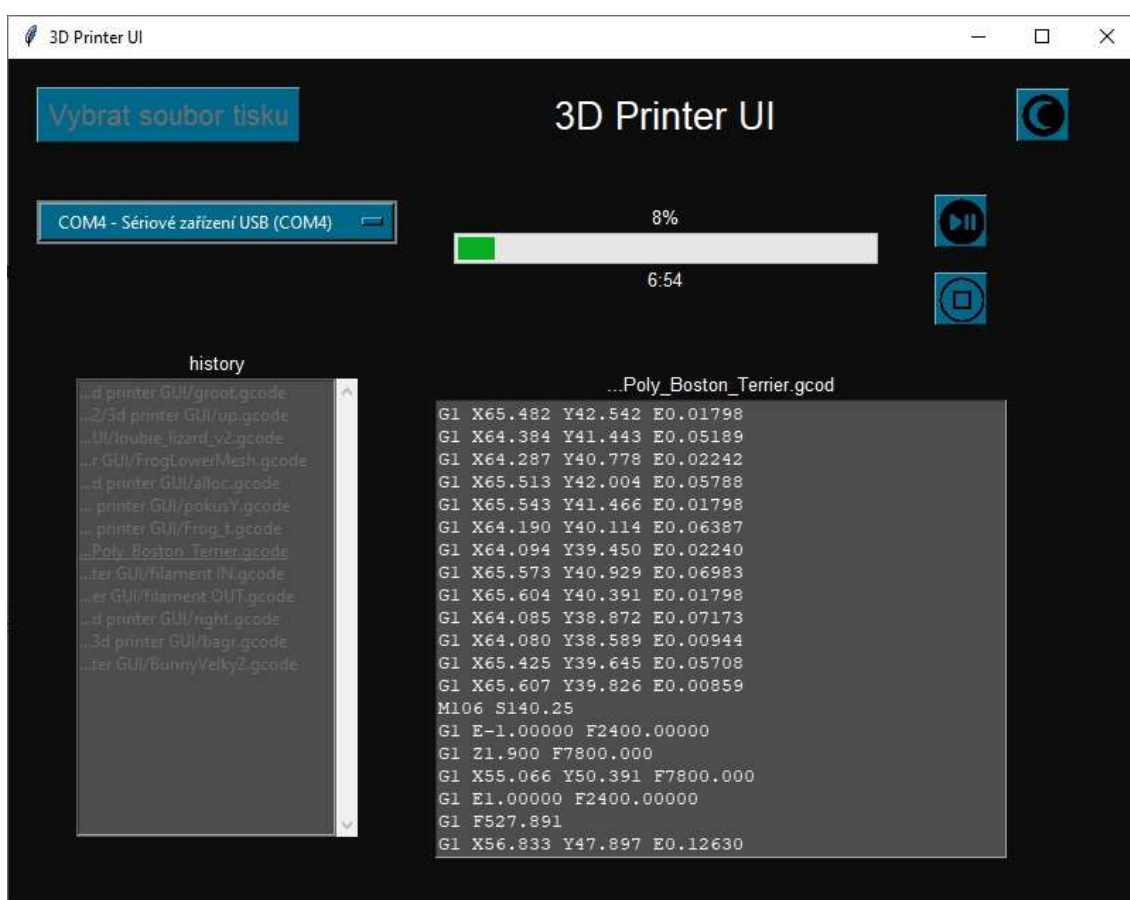
3.6.1. 3D tiskárna

3D tiskárna obsahuje dvě samostatně řízené části řízené Arduinem Mega a Arduinem Nano. Část řízená Arduinem Mega kontroluje motory a provádí příkazy, které přijme

z počítače. Část řízená Arduinem Nano ovládá teplotu roztaveného filamentu na základě vstupu od uživatele.

3.6.2. Počítačové rozhraní

Vytvořené počítačové rozhraní umožňuje jednoduchou komunikaci mezi 3D tiskárnou a počítačem. Rozhraní umožňuje vybrat USB port, přes který je tiskárna připojena, soubor k tisku a tisk pozastavit nebo přerušit. Zobrazuje historii tištěných modelů a provedené příkazy právě tištěného modelu. Rozhraní je možné zobrazit v tmavé nebo světlé variantě.



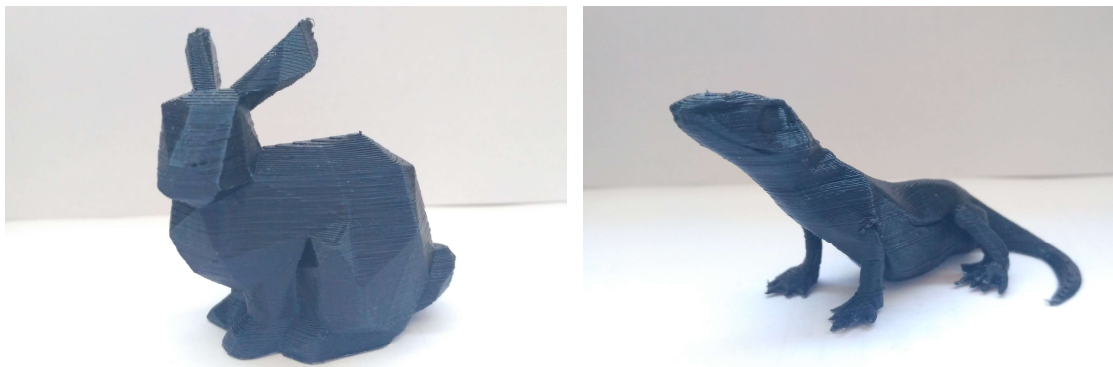
Obrázek 6 Počítačové rozhraní pro ovládání tiskárny.

3.6.3. Komunikace s počítačem

Tiskárna je ovládána pomocí počítače. Ze souboru vybraného k tisku se přes USB odešle do tiskárny vždy jedna řádka kódu tohoto souboru a poté počítač čeká na odpověď tiskárny.

Kód v tiskárně je zpracován v Arduinu program v jazyce C++. Tento program rozdělí řádku na G-příkaz a hodnotu nebo hodnoty. Následně podle toho, o který G-příkaz se jedná a jaké jsou parametry, provede tiskárna proces. Po provedení procesu pošle odpověď do počítače a celý proces se opakuje.

3.7. Výsledná přesnost



Obrázek 7 Ukázky dvou modelů vytištěných na sestavené tiskárně.

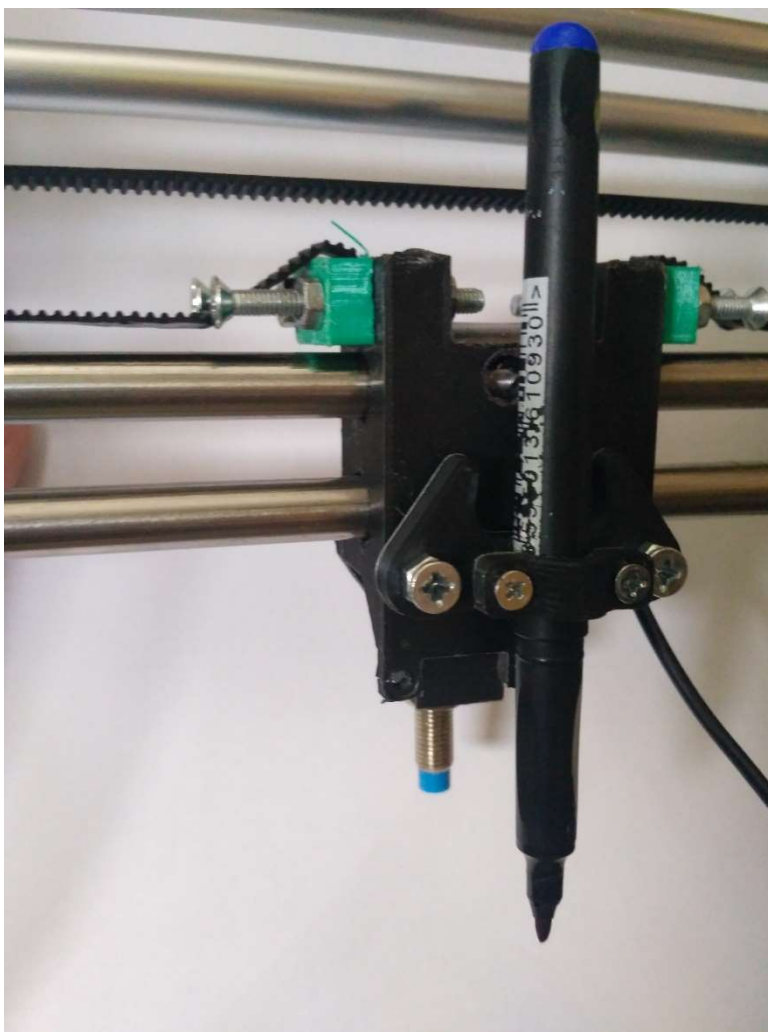
Výsledné modely vytištěné na naší 3D tiskárně vypadají velice dobře, přestože se jedná o velice levně vyrobenou tiskárnu. Bez problémů je možné tisknout i s větším přesahem, jak je možné vidět u zaječích uší nebo krku ještěrky. Jedinou větší nedokonalostí je, že jsou jednotlivé vrstvy od sebe výrazněji odlišitelné než u modelů vytištěných na jiných 3D tiskárnách. To je pravděpodobně způsobeno mírnými nepravidelnostmi tyčí a ložisek. Další obrázky vytištěných modelů jsou v přílohách.

4. Plotter

Naši 3D tiskárnu je možné použít i jako plotter – zařízení podobné tiskárně kreslící vektory a křivky pomocí pera na papír. V našem případě umístíme papír na tiskový plát, což určuje maximální rozměry výsledného výtisku, a pero na extruder. Stejně jako pro 3D tisk jsou vstupní soubory formátu G-code. Ty je možné vygenerovat v Inkscape¹² za pomoci rozšíření „MakerBot Unicorn G-Code Output for Inkscape“¹³ (toto rozšíření je možné použít nejvýše ve verzi Inkscape 0.48.5).

¹² Inkscape [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://inkscape.org/>

¹³ GitHub [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://github.com/martymcguire/inkscape-unicorn>



Obrázek 8 Uchycení fixu pro účely využití tiskárny jako plotteru.

5. Návod na použití

Pro použití tiskárny je zapotřebí program „3D Printer UI“, který umožňuje komunikaci počítače s tiskárnou. Tento program je možné stáhnout z GitHub repositáře naší práce.

Tiskárnu je třeba umístit na rovný podklad, zdroj zapojit do zásuvky a tiskárnu připojit k počítači pomocí USB kabelu. Po spuštění počítačového programu „3D Printer UI“ je se nastaví port, přes který je tiskárna připojena. Následně uživatel provede výběr G-code souboru modelu, který chcete vytisknout, a spustí tisk. V „3D Printer UI“ tisk může zastavit nebo přerušit, a také uvidí, kolik procent je již vytištěno.

V případě využití tiskárny jako plotteru je potřeba sundat extruder a na jeho místo připevnit fix nebo propisku pomocí úchyty k tomu určenému.

6. Použitý software

V průběhu zpracovávání tohoto projektu jsme použili tento software:

1. **Arduino IDE**¹⁴ pro vytváření a ladění programu pro Arduino.
2. **PyCharm**¹⁵ pro vytváření a ladění programů v jazyce Python.
3. **Tinkercad**¹⁶ a **Fusion 360**¹⁷ pro vytváření a úpravu 3D modelů.
4. **MS Word**¹⁸ pro zpracování dokumentace.

Použité knihovny a jejich využití:

1. **Tkinter**¹⁹ pro vytvoření uživatelského rozhraní pro ovládání z počítače.
2. **pySerial**²⁰ pro komunikaci počítače a 3D tiskárny přes USB port.
3. **threading**²¹ pro ovládání více vláken programu najednou. Nezbytné pro uživatelské rozhraní na počítači.
4. **time**²² pro zpracovávání časových hodnot.
5. **cssutils**²³ pro čtení CSS (Cascading Style Sheets) pro uživatelské rozhraní.
6. **Logging**²⁴ pro přesměrování redundantních logů z cssutils.

¹⁴ Arduino [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

¹⁵ JetBrains [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://www.jetbrains.com/pycharm/>

¹⁶ Tinkercad [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://www.tinkercad.com/>

¹⁷ Fusion 360 [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>

¹⁸ MS Word [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://products.office.com/en/word>

¹⁹ docs.python.org [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://docs.python.org/3/library/tk.html>

²⁰ pythonhosted.org [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://pythonhosted.org/pyserial/>

²¹ docs.python.org [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://docs.python.org/2/library/threading.html>

²² docs.python.org [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://docs.python.org/3/library/time.html>

²³ pythonhosted.org [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://pythonhosted.org/cssutils/>

²⁴ docs.python.org [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné na WWW: <https://docs.python.org/3/howto/logging.html>

7. Závěr

Tato práce splnila podle našeho názoru zadání s výjimkou limitu pro pořizovací cenu. Problém překročení cenové hranice byl způsobený spíše než vysokou cenou jednotlivých komponentů jejich množstvím. Cena jednotlivých dílů nebyla vysoká (nejdražší komponenta stála 207 korun), ale jejich velké množství způsobilo, že jsme hranici 1500 korun překročili o necelých 300 korun.

V případě použití ještě levnějších součástek bychom se téměř přesně přiblížili stanovené částce a výsledná suma by vycházela na 1 498 korun. V posledních měsících nicméně nebylo možné tyto součástky nakoupit, a proto se nám nepodařilo náklady snížit. I přes tento nesplněný cíl je takto vytvořená tiskárna výrazně levnější než běžně dostupné 3D tiskárny na našem trhu.

V průběhu stavby tiskárny jsme se setkali s velkým množstvím problémů, které se nám postupně podařilo vyřešit, a proto je kvalita tisku vytvořené tiskárny velice dobrá a v mnohých ohledech překonala naše očekávání. Při zpracovávání této práce jsme si vyzkoušeli něco jiného, než běžně děláme, což pro nás bylo také zajímavé.

8. Bibliografie

3DPrinting.com. What is 3D Printing? *3DPrinting.com*. [Online] 3DPrinting.com. [Citace: 13. Březen 2020.] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>.

alza.cz. Creality CR-100 Yellow. *alza.cz*. [Online] Alza.cz a.s. [Citace: 13. Březen 2020.] <https://www.alza.cz/creality-cr-100?dq=5639983>.

Arduino. Reading Rotary Encoders. *Arduino Playground*. [Online] Arduino. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://playground.arduino.cc/Main/RotaryEncoders/>.

—. SOFTWARE. *Arduino*. [Online] Arduino. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

Autodesk, Inc. Fusion 360. *Autodesk*. [Online] Autodesk, Inc. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>.

—. tinkercad. *tinkercad*. [Online] Autodesk, Inc. [Citace: 13. Duben 2020.] <https://www.tinkercad.com/>.

Circuit Basics. Make an Arduino Temperature Sensor (Thermistor Tutorial). *circuitbasics.com*. [Online] Circuit Basics. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://www.circuitbasics.com/arduino-thermistor-temperature-sensor-tutorial/>.

contributors, RepRap. RepRap. *RepRap*. [Online] RepRap. [Citace: 16. Duben 2020.] <https://reprap.org/wiki/RepRap>.

diy 3d print. 2019. CoreXY kinematics and why. *diy 3d print*. [Online] 5. Květen 2019. [Citace: 20. Duben 2020.] <https://diy-3d.net/2019/05/05/corexy-kinematics-and-why/>.

Guilarte, Carlos a Colonnello, Diego. colonello. *sites.google.com*. [Online] [Citace: 12. Duben 2020.] <https://sites.google.com/site/costycnc/costycnc10/colonello?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>.

Höke, Christof. cssutils. *pythonhosted.org*. [Online] [Citace: 12. Duben 2020.] <https://pythonhosted.org/cssutils/>.

Inkscape's Contributors. Inkscape. *Inkscape*. [Online] Inkscape's Contributors. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://inkscape.org>.

JetBrains s.r.o. jetbrains.com. PyCharm. *PyCharm*. [Online] jetbrains.com. [Citace: 13. Duben 2020.] jetbrains.com.

Liechti, Chris. pySerial. *pythonhosted.org*. [Online] [Citace: 12. Duben 2020.] <https://pythonhosted.org/pyserial/>.

M., Luboš. OLED displej 0,96 palce. *Arduino návody*. [Online] ECLIPSERA s.r.o. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/oled-displej-ssd1306.html>.

McGuire, Marty. MakerBot Unicorn G-Code Output for Inkscape. *github.com/martymcguire/inkscape-unicorn*. [Online] [Citace: 12. Duben 2020.] <https://github.com/martymcguire/inkscape-unicorn>.

Microsoft. Microsoft Word. *Office*. [Online] Microsoft. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://products.office.com/en/word>.

Prusa Research a.s. Original Prusa MINI. *shop.prusa3d.com*. [Online] Prusa Research a.s. [Citace: 13. Březen 2020.] <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/994-original-prusa-mini.html#>.

—, *shop.prusa3d.com*. Original Prusa i3 MK3S kit. [Online] Prusa Research a.s. [Citace: 16. Duben 2020.] <https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3-kit.html#>.

Python Software Foundation. Graphical User Interfaces with Tk. *Docs Python*. [Online] Python Software Foundation. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://docs.python.org/3/library/tk.html>.

—, Logging HOWTO. *Docs Python*. [Online] Python Software Foundation. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://docs.python.org/3/howto/logging.html>.

—, threading. *Docs Python*. [Online] Python Software Foundation. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://docs.python.org/2/library/threading.html>.

—, time. *Docs Python*. [Online] Python Software Foundation. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://docs.python.org/3/library/time.html>.

Solidify 3D, s.r.o. FFF/FDM technologie. *MATERIALPRO 3D*. [Online] Solidify 3D, s.r.o. [Citace: 12. Březen 2020.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/fff-fdm-technologie/>.

—, SLS, SLA, SLM, MLS technologie. *MATERIALPRO 3D*. [Online] Solidify 3D, s.r.o. [Citace: 13. Březen 2020.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/slm-technologie/>.

TWI Ltd. What is Rapid Prototyping? - Definition, Methods and Advantages. *twi-global.com*. [Online] TWI Ltd. [Citace: 15. Duben 2020.] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-manufacturing-what-is-rapid-prototyping>.

Vincent, Damon. DIY Hot End - Arduino PID control. *Damon's Random Ramblings*. [Online] [Citace: 12. Duben 2020.] <http://randomdamon.blogspot.com/2015/12/diy-hot-end-arduino-pid-control.html>.

Wired Developer. Wiring a Metal Detector with NPN Proximity Sensor on Arduino. *14CORE*. [Online] 14CORE. [Citace: 12. Duben 2020.] <https://www.14core.com/wiring-a-metal-detector-sensor-with-npn-proximity-sensor/>.

www.3Dpotreby.cz. 3D tiskárna Creality ENDER-3. *www.3Dpotreby.cz*. [Online] [www.3Dpotreby.cz](http://3dpotreby.cz/3d-tiskarny-c5/3d-tiskarna-creality-ender-3-i5/). [Citace: 13. Březen 2020.] <http://3dpotreby.cz/3d-tiskarny-c5/3d-tiskarna-creality-ender-3-i5/>.

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Vzhled 3D tiskárny, zdroj je vpravo a elektronika vpředu.	5
Obrázek 2 Zobrazení řídicí elektroniky.....	6
Obrázek 3 Přesnost motorů v závislosti na napětí. Zleva: 8.5 V, 9 V, 9.5 V.	7
Obrázek 4 Zobrazení jednotlivých os 3D tiskárny.	8
Obrázek 5 Zobrazení a ovládání teploty.	9
Obrázek 6 Počítačové rozhraní pro ovládání tiskárny.....	10
Obrázek 7 Ukázky dvou modelů vytištěných na sestavené tiskárně.	11
Obrázek 8 Uchycení fixu pro účely využití tiskárny jako plotteru.	12

10. Přílohy

č. 1: Tabulka komponenty

Název	Cena za kus	Počet použitých kusů	Cena celkem
Arduino Mega	207.40 Kč	1	207.40 Kč
Arduino Nano	59.41 Kč	1	59.41 Kč
Chladič	4.97 Kč	3	14.91 Kč
Driver DRV8825	22.87 Kč	4	91.48 Kč
Filament 1 kg PLA	348.00 Kč	0.5	174.00 Kč
Hliníková tyč 10 mm, 1 m	30.00 Kč	4	120.00 Kč
Hotend 12 V	115.98 Kč	1	115.98 Kč
Indukční spínač	42.18 Kč	1	42.18 Kč
Krokový motor 28BYJ-48	22.54 Kč	7	157.78 Kč
Ložisko 5*16*5	6.20 Kč	2	12.39 Kč
Ložisko 8*22*7	10.30 Kč	1	10.30 Kč
MOSFET IRLZ44N	4.96 Kč	1	4.96 Kč
Ocelová tyč 10 mm, 1 m	140.00 Kč	1	140.00 Kč
Ozubené kolečko 40 T	11.30 Kč	1	11.30 Kč
Ozubený pás 2 m	34.01 Kč	1	34.01 Kč
Posuvné ložisko LM10UU	19.57 Kč	4	78.28 Kč
Použitý zdroj ATX, 300 W	100.00 Kč	1	100.00 Kč
Prodlužovací kabel pro motory	3.47 Kč	7	24.29 Kč
Skleněná deska	8.00 Kč	1	8.00 Kč
Sololitová deska	3.00 Kč	3	9.00 Kč
Šrouby	120.00 Kč	1	120.00 Kč
Větráčky 12 V	19.07 Kč	7	133.49 Kč
Závitová tyč 300 mm	62.65 Kč	2	125.30 Kč
			1,794.46 Kč

č. 2: Tabulka komponenty dostupné online

Název	Odkaz
Arduino Mega	https://www.aliexpress.com/item/4000235952850.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7de53368WD71yu&algo_pvid=8f53b1db-72c7-4656-984d-b33cdc4ae3c2&algo_expid=8f53b1db-72c7-4656-984d-b33cdc4ae3c2-49&btsid=49a77311-4e76-45d8-acfc-e618aab4ea2d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_53
Arduino Nano	https://www.aliexpress.com/item/32866959979.html?spm=a2g0o.detail.1000014.9.73112863KSIJW7&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.14976.157518.0&scm_id=1007.14976.157518.0&scm-url=1007.14976.157518.0&pvid=63e5163f-143c-43f3-b8c5-8509c5f31455&t=gps-id:pcDetailBottomMoreOtherSeller,scm-url:1007.14976.157518.0,pvid:63e5163f-143c-43f3-b8c5-8509c5f31455,tpb_buckets:668%230%23131923%231_668%23808%233772%23955_668%23888%233325%2312_4976%230%23157518%230_4976%232711%237538%23777_668%232717%237561%23303

Chladič	https://www.aliexpress.com/item/4000250347911.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.2606636ekl4VtJ&algo_pvid=492f750a-ec02-424d-b0f2-14ff71d09787&algo_expid=492f750a-ec02-424d-b0f2-14ff71d09787-0&btsid=64b35d95-7de3-45ff-a27c-2a3978b5b22c&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_52
Driver DRV8825	https://www.aliexpress.com/item/33042485962.html?spm=a2g0o.detail.1000014.1.3f7359a0qnsSJl&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.13338.146400.0&scm_id=1007.13338.146400.0&scm-url=1007.13338.146400.0&pvid=1331ed7d-b8f5-49c6-b410-226b775aa16a
Filament 1 kg PLA	https://www.na3d.cz/p/2443/pla-filament-175-mm-1kg
Hotend 12 V	https://www.aliexpress.com/item/32973717918.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.28d62f69mtQDrg&s=p&algo_pvid=6a66a832-01b8-422d-854a-f8f00cd20e5e&algo_expid=6a66a832-01b8-422d-854a-f8f00cd20e5e-0&btsid=74707494-7e67-49d6-ba69-8e966d304352&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3%2Csearchweb201603_60
Indukční spínač	https://www.aliexpress.com/item/1175035972.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.9a686eb061xm5l&algo_pvid=f47ee5c6-aabf-413f-a3ca-0be2afbe8ede&algo_expid=f47ee5c6-aabf-413f-a3ca-0be2afbe8ede-0&btsid=730b7ac2-0fc0-48d8-8b90-b33bd8ebfc40&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_53
Krokový motor 28BYJ-48	https://www.aliexpress.com/item/33042485962.html?spm=a2g0o.detail.1000014.1.3f7359a0qnsSJl&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.13338.146400.0&scm_id=1007.13338.146400.0&scm-url=1007.13338.146400.0&pvid=1331ed7d-b8f5-49c6-b410-226b775aa16a
Ložisko 5*16*5	https://www.aliexpress.com/item/32733042443.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.c6d1fc2bVF4OSc&algo_pvid=7430b4b0-8f28-4a12-bb61-ee14dd4232ea&algo_expid=7430b4b0-8f28-4a12-bb61-ee14dd4232ea-2&btsid=4a68d95c-5ac0-40ea-938a-9229d9399689&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_55
Ložisko 8*22*7	https://www.aliexpress.com/item/32733042443.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.c6d1fc2bVF4OSc&algo_pvid=7430b4b0-8f28-4a12-bb61-ee14dd4232ea&algo_expid=7430b4b0-8f28-4a12-bb61-ee14dd4232ea-2&btsid=4a68d95c-5ac0-40ea-938a-9229d9399689&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_55
MOSFET IRLZ44N	https://www.aliexpress.com/item/32714396199.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43257cf1DZb3su&algo_pvid=183f98f1-04a3-48e2-bd54-bb1d84f90b43&algo_expid=183f98f1-04a3-48e2-bd54-bb1d84f90b43-0&btsid=9106b6ea-0dcf-46a4-963f-0869706c12ec&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3,searchweb201603_60
Ocelová tyč 10 mm, 1 m	https://www.aliexpress.com/item/32560455225.html?spm=a2g0o.detail.1000014.13.3fe0508fqAgBvH&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.13338.146400.0&scm_id=1007.13338.146400.0&scm-url=1007.13338.146400.0&pvid=68434323-5902-4f17-94a5-c3804bea525b
Ozubené kolečko 40 T	https://www.aliexpress.com/item/32903294855.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4bb732039SqjJB&algo_pvid=c978863d-dbc4-4da4-be02-caf29a6361a9&algo_expid=c978863d-dbc4-4da4-be02-caf29a6361a9-1&btsid=e6bb6f17-d956-4262-9326-73e99171cf3b&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_53

Ozubený pás 2 m	https://www.aliexpress.com/item/32976027824.html?spm=2114.search0104.3.15.4d6775dd4SkpSe&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3_10065_10068_319_10059_10884_317_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10304_10307_10820_10821_537_10302_536%2Csearchweb201603_60%2CcppcSwitch_0&algo_expid=aec73ea8-93c4-4f53-bda4-eb0f9859e059-2&algo_pvid=aec73ea8-93c4-4f53-bda4-eb0f9859e059&transAbTest=ae803_4
Posuvné ložisko LM10UU	https://www.aliexpress.com/item/32336760242.html?spm=a2q0o.productlist.0.0.792732bcCcb6qn&algo_pvid=0ae0a088-ecba-4444-b6ac-81c1b6f181e9&algo_expid=0ae0a088-ecba-4444-b6ac-81c1b6f181e9-2&btsid=aabec7b0-e402-42d0-bc91-ef8ba5cfab5b&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_10,searchweb201603_55
Prodlužovací kabel pro motory	https://www.aliexpress.com/item/32964549472.html?srcSns=Copy%20to%20Clipboard&tid=white_backgroup_101&tt=sns_Copy&rdtUrl=https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2F32964549472%2F32964549472.html%3FsrcSns%3DCopy%2520to%2520Clipboard%26tid%3Dwhite_backgroup_101&aff_platform=default&cpt=1577645316963&sk=KPPRcyPA&aff_trace_key=d95a5257f28c412eb12e430a06830d00-1577645316963-00739-KPPRcyPA&businessType=ProductDetail&templateId=white_backgroup_101&platform=AE&terminal_id=397e859583a3429c89c65aaf0ad75eeb
Větráčky 12 V	https://www.aliexpress.com/item/32970914615.html?spm=a2q0o.detail.1000014.9.71d06fe4mKpQTs&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.14976.157518.0&scm_id=1007.14976.157518.0&scm-url=1007.14976.157518.0&pvid=393ef523-ff46-45ff-88ad-9be8778ee570&t=gps-id:pcDetailBottomMoreOtherSeller,scm-url:1007.14976.157518.0,pvid:393ef523-ff46-45ff-88ad-9be8778ee570,tpp_buckets:668%230%23131923%238_668%23808%233772%23955_668%23888%233325%2312_4976%230%23157518%230_4976%232711%237538%23777_668%232717%237561%23303
Závitová tyč 300 mm	https://www.aliexpress.com/item/32918910924.html?spm=2114.10010108.1000014.8.73ac413crp7R1i&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.13338.112281.0000000000000000&scm_id=1007.13338.112281.0000000000000000&scm-url=1007.13338.112281.0000000000000000&pvid=dfb3527e-ce88-476e-b13c-812d6c4ab3df

č. 3: Obrázky modelů vytištěných na této 3D tiskárně





