

GYMNÁZIUM JANA KEPLERA

Parléřova 2/118, 169 00 Praha 6



Stavba CoreXY FDM 3D tiskárny

Maturitní práce

Autor: Adam Sedláček

Třída: 4.C

Školní rok: 2022/2023

Předmět: Informatika

Vedoucí práce: Emil Miler

Praha, 2023



GYMNASIUM JANA KEPLERA
Kabinet informatiky

ZADÁNÍ MATURITNÍ PRÁCE

Student: Adam Sedláček
Třída: 4. C
Školní rok: 2022/2023
Vedoucí práce: Emil Miler

Název práce: Stavba CoreXY FDM 3D tiskárny

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout a vytvořit funkční prototyp 3D FDM tiskárny určené pro domácí sestavení z běžně dostupných dílů. Součástí práce je přehled dostupných technologií, návrh prototypu, díly k vytištění, seznam spojovacího materiálu, návod pro sestavení tiskárny a samotný prototyp.

Doporučená literatura:

[1] REDWOOD, Ben, Filemon SCHÖFFER a Brian GARRET. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. Amsterdam: 3D Hubs, [2017]. ISBN 978-9082748505.

URL repozitáře:

<https://github.com/AdamSedla/FDM-3D-tiskarna>

student

vedoucí práce

V Praze dne 29. 9. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů. Nemám žádné námitky proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 22. března 2023

Adam Sedláček

Poděkování

poděkování. Bc. Emil Miler Honza Rohla a Šimon Smětal

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a sestavením funkčního prototypu FDM 3D tiskárny, určené pro domácí sestavení z běžně dostupných dílů. Součástí je přehled dostupných technologií, návrh prototypu, seznam dílů potřebných k úspěšné stavbě tiskárny, včetně spojovacího materiálu, 3D modely dílů k vytištění na 3D tiskárně, návod pro sestavení tiskárny a prototyp samotný.

Klíčová slova

3D tisk, FDM, XYZ, CoreXY

Abstract

The thesis deals with the design and assembly of a functional prototype of a 3D FDM printer designed for home assembly from commonly available parts. It includes an overview of available technologies, a prototype design, a list of parts needed to successfully assemble the printer including fasteners, 3D models of the parts for printing on the 3D printer, instructions for assembling the printer and the prototype itself.

Keywords

3D printer, FDM, XYZ, CoreXY

Obsah

1	Teoretická část	2
1.1	FDM 3D tiskárna	2
1.2	Typy FDM 3D tiskáren	2
1.2.1	Cartesian	2
1.2.2	Delta	4
1.2.3	SCARA	4
1.2.4	Polar	4
2	Základní komponenty FDM 3D tiskárny	5
2.1	Hardware	5
2.1.1	Rám	5
2.1.2	Vedení jednotlivých os pohybu	5
2.1.3	Pohon jednotlivých os pohybu	5
2.1.4	Extruder	6
2.1.5	Heatbed	8
2.1.6	Krokové motory	9
2.1.7	Drivery	10
2.1.8	Základní deska	10
2.1.9	Ovládání	11
2.1.10	Zdroj	11
2.2	Firmware	12
2.2.1	Marlin	12
2.2.2	Klipper	12
3	Konstruování tiskárny	14
3.1	Tvorba 3D modelů tištěných dílů	14
3.2	výběr vhodných součástí	14
3.3	použití tiskárny	14
4	Seznam použitých součástí	15
5	Stavba tiskárny	16
6	testování	17
7	Závěr	18
	Závěr	18
	Seznam použité literatury	19
	Internetové zdroje	20
	Seznam obrázků	21
	Seznam tabulek	22

1. Teoretická část

V této části se budu zabývat teorií stavby 3D tiskárny. Popíšu zde základy funkčnosti 3D tiskárny, typy FDM tiskáren a jednotlivé díly tiskárny. Pro terminologii používanou v následující části je důležité ujasnit si osy. Osou Z je myšlena osa svislá. Osa X je ze strany na stranu. Osa Y je dopředu, dozadu.

1.1 FDM 3D tiskárna

3D tiskárna na principu FDM (fused deposition modeling) Za pomocí jednotlivých součástek Extruderu (tiskové hlavy) vytlačuje roztavený plast na předem určené místo na vyhřívané podložce. Plast je posouván podávacími kolečky, umístěnými na krokovém motoru, který udává množství plastu, které je posouváno dále do extruderu. Plast je taven na samém konci tiskové hlavy v hotendu. Extrudovaný materiál je poté ochlazen pomocí přídavného ventilátoru. V případě Polar a XYZ principu je extruder a heatbed posouván po osách pomocí krokových motorů, které jsou s posouvanou součástí tiskárny propojeny nejčastěji pomocí řemene nebo trapézové tyče. V případě SCARA a Delta principu je pohybováno pouze extruderem a vyhřívaná podložka se nepohybuje. Teploty a pohyby součástí jsou řízeny pomocí základní desky. Ovládání funkcí základní desky je řízeno pomocí připojeného počítače nebo pomocí integrovaného displeje. Napájení elektrickou energií všech součástí tiskárny je zařízeno zdrojem elektrického napájení, ze kterého jde proud do základní desky, kde je požadovaná energie dodávána do jednotlivých součástek.

1.2 Typy FDM 3D tiskáren

FDM 3D tiskárny lze rozdělit do 4 základních kategorií, dle principu pohybu tiskové hlavy, vzhledem ke vyhřívané podložce.

1.2.1 Cartesian

První a v současné době nejrozšířenější variantou je Cartesian. Jeho název je odvozen od Kartézské soustavy souřadnic, kdy bod v prostoru je zapsán pomocí souřadnic XYZ, které znázorňují bod na osách, které jsou vzájemně kolmé. Tyto tiskárny pohybují tiskovou hlavou a obdélníkovou vyhřívanou podložkou v osách, stejných jako jsou souřadnice bodu v Kartézské soustavě. Tyto tiskárny se vyznačují jednoduchostí, díky které jsou i relativně levné. Tiskárna je vhodná nejen pro začátečníky v 3D tisku, kteří se na tomto způsobu mohou naučit základy 3D tisku, ale také pro pokročilé tiskaře, kteří plně využívají potenciálu těchto tiskáren. Také jsou přesné, ale oproti jiným druhům 3D tiskáren nejsou tolik rychlé, vzhledem k nutnosti pohybů po osách. Kvůli nutnosti pevného rámu jsou také poměrně těžké.

CoreXY

CoreXY systém má hlavu pohybující se po osách X a Y. Tisková podložka je osou Z. Výhoda je větší rychlost, vzhledem k lehkosti tiskové hlavy oproti podložce. Také zabírá méně místa, protože nejrozměrnější součást, kterou je tisková podložka, se pohybuje po ose Z. Nevýhodou je potřeba komplexnější konstrukce, která ale může být zároveň i výhodou, protože nabízí vyšší pevnost rámu. Typicky je zde využita kombinace 2 motorů pro pohyb po ose XY. Proto při pohybu podél osy X/Y je potřeba kooperace obou motorů. Osu Z obstarává minimálně jeden motor. Motory pro osu X a Y (tzv. motor A a B) může být umístěn a být připevněn k rámu. Nemusí se tedy pohybovat při pohybu celou osou. To je další možnost vyšší rychlosti. Zamezení pohybu tisknutého objektu ze strany na stranu, jako je to nutné například u CoreXZ, zvyšuje kvalitu tisku.

H-bot

H-bot je svým principem prakticky identický s CoreXY. Jediným rozdílem je využití pouze jednoho řemenu pro pohon celé osy XY. Toto na jednu stranu může zajistit jehce jednodušší konstrukci. Nevýhody jsou ale menší přesnost a rychlost, vzhledem k nutnosti využití pouze jednoho řemenu.

Crossed

Dalším principem, který je téměř identický s CoreXY je Crossed. Zde jsou pro osu X a Y využity 3 vedení na každou. Řemen je veden okolo a nezasahuje do prostoru tisku. Výhodou je vyšší přesnost, nevýhodou vyšší váha a tím pádem i rychlost.

CoreXZ

Zde se hlava pohybuje v ose X a Z. Tisková podložka je osou Y. Výhoda je zdánlivě menší prostorová náročnost a menší nároky na komplexní rám. Také je zde lepší přístup k tiskové hlavě v případě servisu. Nevýhodou je potřeba prostoru pro pohyb tiskové podložky, proto ve výsledku zabírá více prostoru. Pohybování tiskovou podložkou, která je poměrně těžká po ose Y, kde je vyžadován rychlejší pohyb, než na ose Z, ukazuje další nevýhodu tohoto systému. Podložku je totiž potřeba rozpohybovat a také brzdit. Zde se projeví váha navíc, se kterou musíme hýbat. Každá osa zde může mít vlastní motor. Na ose Z je použit jeden nebo dva motory, záleží dle potřeby. Využití separátních motorů pro jednotlivé osy znamená, že kupříkladu motor pro osu X je potřeba zvedat společně s celkem po ose Z. Toto je opět nechtěná váha navíc. Vzhledem k pohybu tiskové plochy po relativně dlouhých vzdálenostech, může docházet ke zhoršení kvality tisknutého objektu, vzhledem k jeho otřesům.

Belt

Osa Y je zde nekonečně dlouhá, díky využití pásu, na který je tisknuto typicky pod úhlem 45° . Tisková hlava se pohybuje po ose X a Z. Ve zkratce jde o COREXZ, pouze s rozdílem pásové tiskové plochy a úhlem 45° mezi osou Z a Y.

1.2.2 Delta

FDM 3D tiskárny typu Delta lze také řadit pod Cartesian tiskárny, ale vzhledem k jejich rozdílnosti jsem se rozhodl je zařadit mimo. Tisková hlava je napojená na 3 spojovací tyče, které jsou spojeny každá s jedním posuvným bodem, který je posouván na svislých osách. Při pohybu jedné osy se tisková hlava pohybuje směrem k posouvané ose, ale zároveň nahoru. Synchronizovaným pohybem všech 3 os docílíme schopnosti tisku v osách XYZ. Vyhřívaná podložka je kruhová a nepohyblivá. Hlavní výhodou Delta tiskárny je její rychlost. Hlavní nevýhodou je prostorová náročnost, vzhledem k nutnosti prostoru pro spojovací tyče nad nejvyšším bodem, kterého je tisková hlava dosáhnout. Tiskový prostor je omezen i co se týče podložky, kvůli nutnosti kruhové vyhřívané podložky.

1.2.3 SCARA

Tiskárny SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) sice také používají Kartézskou soustavu souřadnic, ale jsou opět natolik rozdílné, že je lze řadit do vlastní kategorie. Vyhřívaná podložka je zde opět kruhová a nejčastěji statická. Tisková hlava je umístěna na jednom nebo dvou ramenech, každé má dva klouby. Ohybem těchto míst docílíme pohybu po celé oblasti os XY. Pohyb po ose Z může být vykonáván buď pomocí pohybu celého ramena nebo pouze pomocí tiskové podložky. SCARA princip je běžnější u robotických ramen, než u 3D tiskáren, proto se s ním nelze setkat příliš často, ve formě 3D tiskárny. Hlavní výhodou je rychlost, vzhledem k možnosti pohybu mimo kolmé osy. Druhou velkou výhodou je prostorová nenáročnost, díky které je to vhodný princip pro 3D tiskárny uzpůsobené pro velkoformátové tisky z industriálních materiálů, jako je třeba beton. Tiskárna je tímto také jednoduchá na přenos z jednoho místa na druhé. Hlavní nevýhodou je nepřesnost tiskárny a nutnost vyvážení tiskového ramena, které je umístěno na kraji tiskové plochy.

1.2.4 Polar

Kategorie 3D tiskáren Polar jako jediný způsob ze seznamu nevyužívá Kartézskou soustavu souřadnic. Místo toho, jak už název napovídá, využívá Polární zápis souřadnic. Na rozdíl od Kartézské soustavy, je zde pro zápis umístění bodu v prostoru využít i úhel. Tisková hlava se zde pohybuje buď pouze svisle nebo se může i naklápět, od středu tiskové podložky po její kraj. Tisková podložka je zde kruhová a otočná nebo i Pohyblivá, nahrazující pohyb tiskové hlavy od středu ke kraji podložky. Hlavní výhodou je nízká cena a nenáročnost na konstrukci. Hlavní nevýhodou je nízká kvalita, rychlost tisku a z důvodu nerozšířenosti tohoto způsobu i špatně dostupná komunitní podpora.

2. Základní komponenty FDM 3D tiskárny

V této kapitole se budu věnovat všem základním komponentům, ze kterých se FDM 3D tiskárna skládá.

2.1 Hardware

2.1.1 Rám

Nosný rám je možné sestavit téměř z čehokoliv, co bude mít dostatečnou nosnost. Ale obecně platí, že čím pevnější je rám, tím lépe bude poté tiskárna fungovat. Nejběžněji používaným materiálem je hliník, konkrétně profily z něj vyrobené, které mají v sobě zabudované drážky, do kterých je možné upevnit cokoliv, co má požadovaný tvar.

foto profilu?

2.1.2 Vedení jednotlivých os pohybu

Vedení os pohybu je nosný díl os, který se skládá ze dvou částí, pevné a pohyblivé. Osa, se kterou je pohybováno je nejčastěji umístěna na pohyblivé části. Opačné využití, kdy by se osa uchytila na část pevnou nemá žádné hlavní výhody.

U většiny FDM 3d tiskáren se můžeme setkat s variantou jednoho ze tří nejčastějších druhů vedení. Prvním druhem je hlazená tyč, po které jezdí kluzné ložisko. Druhé je lineární pojezd s vozíkem. Hlazená tyč je několikanásobně levnější. Tím ale její výhody končí. Na druhou stranu je méně přesná, z důvodu větších vůlí. Také je mnohem více náchylná na špatnou údržbu. Při vynechání pravidelného mazání hlazené tyče může dojít k jejímu nenávratnému poškození vydržením drážek. Je také náročnější její uchycení, protože Lineární vedení má v sobě montážní body, díky kterým je jednoduché spojení s konstrukčním prvkem. U samotného vedení jde o otvory pro M3 šrouby, pomocí kterých je možné upevnění přímo do 2020 profilu pouze pomocí odpovídajících kamenů. Vozík lineárního vedení má integrované závity pro M3 šrouby. Oproti tomu hlazenou tyč a její ložisko je nutné upevnit pomocí dalšího konstrukčního prvku. Třetí variantou je vozík, jezdící po 2020 profilu, takzvaný *V-slot*. Výhodou je možnost pojezdu přímo po 2020 profilu. To může ušetřit mnoho místa. Nevýhodou je nutnost časté výměny ložisek na vozíku. Přesnost může být ze začátku podobná, jako u lineárního vedení, ale časem dochází k opotřebení ložisek a snížení přesnosti. Cenově může tento vozík pro 2020 profil vycházet velmi podobně, jako lineární vedení.

2.1.3 Pohon jednotlivých os pohybu

FDM 3D tiskárna by nemohla fungovat bez pohybu tiskové podložky a tiskové hlavy. K zajištění pohybu je nutné nejenom vedení os, ale také jejich pohon. Respektive převedení otáček motoru na

skutečný pohyb osy.

K tomu jsou využity 2 hlavní druhy pohonu, každý vhodný pro jiné využití. Pohon řemenem je vhodný nejčastěji pro osy X a Y, kde je potřeba vyšší rychlost i za cenu nižší přesnosti. K jeho využití je nutné mít po ose umístěné řemenice a vzhledem k jeho natahování při dlouhodobém napnutí je vhodné mít zde umístěnou napínací kladku nebo řemenici s variabilní pozicí, aby bylo dosaženo správného napnutí, protože příliš povolený nebo napnutý řemen může způsobovat vady tisku nebo poškození součástek. Druhou variantou je trapézová tyč. Jde o závitovou tyč se závity ve tvaru rovnoramenného lichoběžníku. Oproti řemenu jde o přesnější, ale pomalejší způsob. Uchycení je jednodušší, protože zde není nutnost více konstrukčních prvků. Trapézová tyč může držet pouze v motoru a její druhý konec je možné nechat volně. Stejně jako řemen je náchylný na špatné napnutí, trapézová tyč je náchylná na křivost. Deformovaná tyč může při příliš volném vedení osy, například při použití hlazené tyče způsobovat posun vrstvy a nedokonalost tisku.

přidat obrázek Z banding/Z woble

2.1.4 Extruder

Extruder, neboli tisková hlava je nejdůležitější součást celé FDM 3D tiskárny a jde o komplexní součást, sestavenou z vícero součástek. Skládá se z: hotendu, krokového motoru, hotend větráku, ofuku vytisku.

Hotend

Hotend samotný se vyskytuje v různých variantách od různých výrobců. Zde budu popisovat asi nejrozšířenější variantu, V6 od výrobce E3D. Jde o spojení tří součástek. Heatblocku, heatbreaku a heatsinku.

Heatblock je kovový kvádr, která má otvory pro výhřevné tělísko, termistor, trysku a heatbreak. Nejčastěji je vyroben z hliníku, který je lehký, levný a dobře vede teplo. Druhou možností, se kterou je možné se setkat je měď, která je těžší a dražší, ale lépe vede teplo. Dobrá vodivost tepla je nutný požadavek při tisku na vysoké rychlosti, protože je nutné rychle převádět teplo z topného tělíska na filament.

V heatblocku je umístěná mimo jiné i tryska. Ta může mít různé průměry otvoru, kterým vytéká filament. Nejběžněji používaným je průměr 0.4mm. Obecně ale platí, že čím větší průměr, tím menší detaily a vyšší rychlost a s menším průměrem opačně. Trysky lze rozdělit také na základě materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Těchto materiálů mnoho, proto zde uvedu dva nejběžnější materiály. Nejčastější variantou je mosaz. Tryska z mosazi je levná a dobře vodí teplo, ale rychle se opotřebuje při tisku z tvrdších materiálů. Tryska z nerezové oceli je méně náchylná na opotřebení, ale zároveň je horším vodičem tepla. Výměna trysky je pro mnoho lidí proces, který neradi provádějí, ale je to proces nutný při změně průměru trysky. Tento zdoluhavý proces se rozhodl vyřešit český výrobce Protoprint, se svým výrobkem Raptor. Jde o celý hotend, u kterého je možné trysku vyměnit pomocí šroubování rukou za studena.

Součástí heatblocku je také termistor, který snímá teplotu heatblocku a tuto informaci předává řídicí desce, která na základě toho vyhřívá topné tělísko v heatblocku tak, aby zde byla požadovaná teplota.

Topné tělísko se rozlišuje na základě jeho velikosti a parametrů. Napětí je určeno dle zdroje tak, aby tělísko mělo stejné napětí, jako zdroj. Výkon tělíska by neměl být příliš malý, aby bylo rychle

dosaženo požadované teploty a aby teplota trysky příliš nekolísala, například při zapnutí ofuku tisku, které kromě výtisku neúmyslně chladí částečně i trysku. Zároveň každá základní deska má určen maximální výkon tělíska, který je podporován. Je nutné dbát na výběr kvalitního výrobce topného tělíska, protože při koupi nekvalitního, může být skutečný výkon nižší, než je deklarovaný výrobcem a může docházet k samovolnému ukončení chodu tiskárny, z důvodu příliš nízké teploty trysky.

V heatblocku je dále umístěn heatbreak, který slouží jako uchycení heatblocku a zároveň vede filament. Opět existuje více variant, jak a z jakého materiálu může být vyroben, kdy každý má své výhody a nevýhody. Z tohoto důvodu je výběr heatbreaku nutné udělat na základě využití tiskárny, především co se používáných filamentů týče. Obecně ale platí, že je nežádoucí přenos tepla heatbreakem do výše umístěného heatsinku. Nejběžněji používána je varianta, kdy uvnitř kovového těla heatbreaku je umístěna PTFE trubička. Toto je vhodné pro tisk materiálů s nižší teplotou tavení, jako je PLA. Při nutnosti nahřátí trysky na vyšší teploty může docházet k nežádoucímu tavení této trubičky, protože je to také pouze plast. Již při teplotě 202°C může docházet k uvolňování malého množství nebezpečných toxinů. Toto množství by nemělo být škodlivé pro zdravého dospělého jedince, ale například pro malé ptáky může být nebezpečné, protože jejich kardiovaskulární systém vstřebává mnohem více toxinů, než ten lidský. Při tisku při teplotě 275°C již může docházet k úmrtí těchto malých ptáků. Tisk při teplotách vyšších, než 300°C s PTFE trubičkou by měl být prováděn pouze v dobře větraných prostorách, jinak mohou výpary ohrožovat zdraví i dospělých osob. Při vyšší teplotě tisku také dochází k deformaci PTFE trubičky, která ztrácí svou pevnost a může se zdeformovat. I při tisku o nižší teplotě by se PTFE trubička měla pravidelně měnit. Možným řešením je celokovový heatbreak, vyrobený z nerez. To řeší problém při tisku z materiálů s vyšší teplotou tavení, ale při tisku při nižší teplotě může docházet k tavení filamentu příliš brzy, což může způsobit ucpání heatbreaku. K tomu dochází, protože nerezový heatbreak je dobrý vodič tepla. Problém s příliš vysokou teplotní vodivostí se snaží vyřešit bi-metal heatbreak, který je složený z vícero kovů, které jsou slisovány dohromady. Zde je redukováno riziko příliš vysoké teplotní vodivosti, ale takovýto heatbreak je náchylný na kvalitu výroby a při špatném zpracování při výrobě může časem dojít k oddělení těchto dílčích součástí. Bi-metal heatbreak je složen z měděné části a ocelové části. Ocelová část, umístěna v heatblocku, je špatný vodič tepla, proto nedochází k přenosu příliš velkého množství tepla. Oproti tomu měděná část, umístěná v heatsinku je dobrý vodič tepla a dochází zde k dobrému rozptýlení přenesené teploty do heatsinku. jako další možné řešení se nabízí celokovový heatbreak, který je ale vyroben z titanu. Titan totiž má nízkou tepelnou vodivost. I zde je ale nutné vybrat kvalitního výrobce, protože může docházet k použití méně kvalitního materiálu.

Poslední součástí hotendu, která je zde, aby chladila heatbreak, je heatsink. Jde o hliníkový chladič, pomocí kterého je zároveň celý hotend připevněn ke zbytku extruderu. Upevnění pomocí heatsinku je vhodné, protože heatsink pokud pracuje správně by měl být na dotek chladný, tudíž při spojení s plastovým dílem nedojde k deformaci tohoto dílu.

Krokový motor

Aby docházelo k tisku, musí být filament podáván dále do hotendu. K tomu slouží krokový motor extruderu. Může být umístěn přímo na samotném těle extruderu nebo je možné ho umístit stranou a k extruderu vést bowden pomocí PTFE trubičky, která vede přímo do heatbreaku. Při umístění na extruder jde o Direct drive. Varianta, při které je motor umístěný mimo extruder se nazývá Bowden. Pokud je motor umístěný na extruderu, jde o přebytečnou váhu navíc, se kterou je také nutné pohybovat. Na druhou stranu motor umístěný mimo extruder může přinášet problémy, především při tisku z flexibilních filamentů, protože dochází k napínání filamentu v bowdenovém vedení a je

zde určitá vůle. Proto je nutné počítat s tím, že jakmile se motor extruderu uvede do pohybu, začne se filament v hotendu pohybovat až s malým zpožděním.

Ventilátory extruderu

Pro svou správnou funkčnost potřebuje extruder dva ventilátory. Prvním je axiální ventilátor, který je určený k chlazení heatsinku. Druhý ventilátor je radiální a říká se mu také ofuk. Je nutné, aby vzduch, který z něj vychází mířil přímo na trysku, aby vytlačený filament co nejdříve ztuhl. Při nepoužití nebo nedostatečném ofuku může docházet k přehřívání výtisku, což může mít za následek deformace.

Volitelné součásti

Existují i další součásti extruderu, které zde nemusí být, ale jejich přítomnost zlepšuje uživatelskou přívětivost a jednoduchost ovládání.

Tím nejčastějším je senzor filamentu, který má za úkol určit, jestli filament je stále dodáván do hotendu nebo tisková struna došla ke svému konci a tiskárna by se pohybovala, aniž by vytlačovala materiál. V základu jde o velmi jednoduchý princip senzoru, který pouze zjišťuje, jestli extruderem prochází struna. Pokročilé typy těchto senzorů jsou schopné zjistit i zaseklý filament, který se nepohybuje. Senzor musí být umístěn před motor extruderu, protože pokud by byl mezi motorem a hotendem, filament by po svém konci již nebyl podáván dále, ale senzor by ho stále zaznamenával. Dalším velmi užitečným zlepšením je senzor, který je schopný na základě změření výšky několika bodů na heatbedu, určit křivost heatbedu a případně ho kompenzovat pohybem osy Z v průběhu tisku tak, aby byla první osa vždy perfektně rovná. Nejčastěji jde o senzor mechanický nebo indukční. K funkci indukčního je potřeba, aby měřená podložka byla z kovu. Na druhou stranu indukční senzor je přesnější. Tento senzor může také sloužit jako endstop osy Z, ale nedoporučuje se to, protože při selhání senzoru může dojít k nenávratnému poškození tiskové podložky, nebo i dalších součástí tiskárny.

V poslední době se na extruderech začíná objevovat i led osvětlení. Buď může být osvětlení namířeno přímo na výtisk, aby osoba obsluhující tiskárnu měla přehled o tom, co se děje na výtisku a jestli se vše tiskne tak, jak má. Druhá varianta je signalizační rgb led osvětlení, které je na viditelném místě a ve výsledku nemusí vůbec být umístěna na extruderu. Jde o programovatelné světlo, které může dávat člověku informace například o stavu tisku, podle vyzařované barvy.

přidat fotky deformovaného tisku!!! celkově dodat fotky k hotendu přidat fotku hotendu v řezu

2.1.5 Heatbed

Vyhřívání podložky je součástí, která není nezbytná pro funkci tiskárny, ale tisk bez ní je obtížnější. Díky nahřátí podložky na teplotu, při které tisknutý plast začíná ztrácet svou pevnost zajistí, že se lépe uchytí první vrstva na tiskové podložce. I nevyhřívání tiskové plochy je důležitou součástí, protože bez ní by tiskárna nemohla tisknout. Vyhřívání může být samotná podložka nebo může jít o například silikonovou plochu, která je přichycena k hliníkové podložce, kterou vyhřívá.

Vyhřívání podložky lze rozdělit podle napětí a velikosti. Napětí podložky se odvíjí od napětí použitého zdroje. Většinou je používána varianta podporující 12V, 24V nebo obojí. Druhým důležitým

faktorem při výběru tiskové podložky je její velikost. Při použití příliš malé podložky není možné tisknout rozměrné objekty a je nutné je rozdělit na menší součásti. Výběr příliš velké tiskové plochy vyústí ve zbytečně velkou spotřebu elektrické energie, vzhledem k velké tiskové ploše, kterou je nutno vyhřívat. Tuto nevýhodu se pokouší vyřešit nově uvedená 3D tiskárna Prusa XL. Tato tiskárna má vyhřívanou plochu rozdělenou na více menších segmentů, které je možné separátně nahřívat. Druhou nevýhodou je větší hmotnost, se kterou je nutné pohybovat. To je omezující pro rychlost tiskárny. Větší tisková plocha je také náročnější na uchycení a pohon u typů tiskáren, které s vyhřívanou podložkou pohybují po ose Z. Nejběžnějším rozměrem, se kterým se můžeme setkat u většiny FDM 3d tiskáren nabízených na trhu v dnešní době je okolo 200x200mm. V případě typu Belt je tiskovou podložkou pás, který tímto vytvoří možnost tisku neomezeně dlouhého objektu. Tiskový pás zde také může být vyhříváný.

Tisk přímo na vyhřívanou podložku by ji mohl poškodit používáním nebo především při odstraňování hotového výtisku z plochy. Při tisku přímo na podložku může také docházet ke špatnému uchycení první vrstvy. To je možné eliminovat pokrytím plochy kaptonovou páskou. Oba výše zmíněné problémy ale řeší na heatbedu umístěna dodatečná tisková podložka, na kterou je tištěno a která je často odnímatelná. Rozšířené je použití malého kusu zrcadla/skla nebo PEI tiskového plátu. Zrcadlo/sklo je výhodnější z hlediska rovnosti povrchu. Nevýhodou je nemožnost ohybu, proto je nutné nanést vrstvu například tyčinkového lepidla nebo speciální chemie na to určené. Bez tohoto kroku je téměř nemožné odstranit výtisk z této podložky. PEI tiskový plát lze koupit v mnoha variantách. Nejčastější je hladký a zrnitý. Nespornou výhodou je možnost ohybu, díky čemuž výtisk prakticky sám odskočí od podložky. Nevýhodou je nerovnost plochy. Tuto vlastnost lze odstranit pomocí *mesh bed levelling*, které před tiskem zjistí výšku několika bodů a poté v průběhu tisku upravuje výšku osy Z, aby vyrovnal tuto nerovnost. Vyrovnávání probíhá v rámci setin milimetru, tudíž nedochází k deformaci výtisku.

Součástí heatbedu musí být i termistor, pomocí kterého řídící deska určí, jestli je ještě nutné vytápět heatbed nebo již dosáhl požadované teploty. Jediný rozdíl od termistoru použitého u hotendu může být jeho tvar, kdy zde se používá malý termistor tvaru kapky. termistor je nejčastěji přichycen na spodní část heatbedu pomocí kaptonové pásky.

2.1.6 Krokové motory

U krokového motoru je důležitými parametry při výběru jeho velikost a síla.

Velikost je standardně udávána v kombinaci dvou parametrů. První je šířka jeho těla. Tato velikost je psána jako NEMA a za tím odpovídající hodnota. NEMA (National Electrical Manufacturers Association) je obchodní sdružení výrobců elektrických zařízení v USA. Hodnota šířky je udávána v palcích. Nejčastěji se vyskytuje varianta NEMA 17. V případě potřeby malých motorů je často využíváno NEMA 14. Naopak při potřebě velké síly se využívá NEMA 23. Druhou podstatnou hodnotou je délka motoru. V případě NEMA 17 je nejčastěji využívána délka 40 mm nebo 48mm. Pro malé prostory, typicky na pohonu osy Z lze také využít tzv. pancake motor. V tomto případě může být tloušťka i pouhých 20mm.

Druhým parametrem je kroutící moment krokového motoru. NEMA 17 motor má většinou kroutící moment v intervalu 0.2 Nm - 1 Nm. Obecně platí, že čím větší je motor, tím větší je jeho kroutící moment. Pro pohyb těžké součástky je vhodný krokový motor s velkým kroutícím momentem, ale na druhou stranu má vyšší spotřebu elektrické energie. Proto je nutné vybírat krokový motor v odpovídající velikosti. Maximální možné otáčky motoru jsou u všech velikostí většinou stejné, ale vyšší kroutící moment je vhodný pro možnost vyšší akcelerace osy.

Krokový motor může mít také různý úhel kroku. Nejčastější variantou je 0.9° a 1.8°. Krokový motor

ve variantě 0.9° musí vykonat 400 kroků na jednu otáčku. Varianta 1.8° polovinu. To znamená, že menší úhel znamená vyšší přesnost tisku, ale zároveň menší rychlost. Zhoršená kvalita tisku u varianty s 1.9° je dnes vyřešena schopností driverů dělat tzv. *micro stepping*, kdy motor umí udělat pohyb o méně, než jeden celý krok. Detailnost tisku, dosažené při micro-steppingu varianty 0.9° je pro běžného uživatele většinou zbytečná a znamená pro něj menší rychlost tisku.

2.1.7 Drivery

Pro ovládání krokových motorů jsou na základní desce umístěné tzv. drivery. Driver vytváří impulsy pro krokové motory v požadovaných intervalech.

Drivery mohou mít i další funkce, jako například detekce přetížení. Tato funkce může být využita pro tzv. homing, kdy se tiskárna snaží najít body $[0,0,0]$. K tomuto se využívají fyzické spínače na začátku, respektive konci každé osy. Druhou možností je využít tzv. *sensorless homing*, kdy se tento počáteční bod u každé osy nalezne pomocí nárazu pojízdné části osy do zarážky. Driver v tu chvíli zjistí zvýšené napětí a tuto informaci řídící deska využije pro určení bodu 0. Druhou možností využití této detekce je funkce, při které tiskárna detekuje náraz do překážky a pokusí se to vyřešit. Drivery běžně vydávají během svého chodu zvuk. To lze vyřešit využitím tichých driverů.

Aby nebylo nutné pohybovat krokovým motorem o celé kroky, je zde možnost *micro steppingu*. Při té driver umí vyvolat pohyb motoru pouze o zlomek celého kroku. *Micro stepping* funguje na principu plynulého přechodu mezi jednotlivými kroky. Driver tedy nikdy neposílá do jednoho okruhu plný proud a do druhého žádný, ale vždy je v každém okruhu odpovídající část proudu. Běžně je možné zakoupit driver s *micro steppingem* $1/256$.

Driver může být napevno integrovaný do základní desky nebo může být v základní desce měnitelný.

2.1.8 Základní deska

Základní deska je řídicí počítač, který určuje a řídí každý úkon tiskárny.

Hlavní vlastností, která různé desky rozlišuje je jejich procesor. Typ procesoru je dělen na 8-bit a 32-bit. 32-bit základní deska je schopna vykonat 4x více výpočtů za stejnou dobu, než 8-bit. Tiskárna je tedy nejenom rychlejší, ale také dělá přesnější pohyby a je tišší. 32-bit deska má menší problémy s výpočty komplexních tvarů, kdy musí v g-code zpracovávat mnoho příkazů za krátkou dobu. Tiskárna je díky tomu také schopna fungovat s vyššími akceleracemi. Další výhodou 32-bit je, vzhledem k zvyšující se popularitě těchto základních desek, lepší podpora. Oproti tomu 8-bit základní deska je levnější a spotřebovává méně elektrické energie. Problém s nedostatkem výpočetního výkonu u 8-bit desek je v dnešní době kompenzován ve sliceru nebo firmwaru.

Důležitou vlastností, na kterou bychom se při výběru základní desky měli dívat, je jestli podporuje námi zvolené napětí systému. Běžně používané je napětí 12V a 24V.

Drivery pro ovládání krokových motorů mohou být pevně integrované do desky. V takovém případě není možná jeho výměna, či změna. Druhou možností jsou konektory na desce, do kterých jsou drivery zapojeny. Drivery na základní desce ovlivňují také počet krokových motorů, které lze zapojit. Většina základních desek má konektor pro jeden motor osy X, jeden pro osu Y, jeden pro motor extruder a dva konektory pro osu Z. Množství konektorů je možné zvětšit, ale v tu chvíli je oběma motory pohybováno stejně.

Většina základních desek je stavěna na konstrukci s jedním extruderem, dvěma motory pro osy X a Y a maximálně dvěma motory pro osu Z. S tím souvisí nejenom výše zmiňované konektory pro krokové motory, ale také konektory pro ventilátory a místa pro připojení termistoru a výhřevného

tělíska. V případě potřeby připojení více prvků, je možné vytvořit spojení dvou a více základních desek, které spolu komunikují.

Některé základní desky mohou podporovat i bezdrátové připojení WI-FI. Takto lze tiskárnu dálkově ovládat a řídit, bez nutnosti externího zařízení.

2.1.9 Ovládání

Možnosti ovládání tiskárny se dělí primárně na ovládání přímo na tiskárně a na vzdálenou správu tiskárny. K ovládání tiskárny přímo se využívá displej, který může a nemusí být dotykový. V displeji bývá často integrovaná i čtečka SD karet. Na tuto SD kartu je nahrán G-code s tiskovým souborem. Druhou možností je vzdálený přístup. To lze uskutečnit buď přímo přes základní desku, pokud má možnost připojení k jinému zařízení. To lze provést buď přímo přes USB kabel nebo pomocí připojení k síti. V tomto případě je tisk zadáván přímo pomocí počítače. Výhodou je, že není potřeba externí přenosné úložiště. Nevýhodou je nutnost stálého připojení tiskárny k počítači. Tuto nevýhodu lze vyřešit pomocí externího malého počítače typu Raspberry Pi. Takovéto zařízení je připojeno k tiskárně permanentně a dovoluje její vzdálenou správu. U firmwaru Klipper je toto ovládání přímo integrované, protože pro funkci Klipperu je nutný externí počítač typu RPi. Octoprint je možné využít i pro Klipper, ale je to nevhodné, protože Octoprint je vytvořen a optimalizován pro Marlin. Nejpoužívanějšími systémy pro práci s Klipperem jsou v dnešní době Mainsail a Fluidd. Nevýhodou takto permanentně připojeného zařízení je jeho vyšší cena, která navíc v dnešních dnech je kvůli nedostatku čipů i několikanásobně vyšší, než byla před touto situací. V případě používání vícero 3D tiskáren, je možné tento počítač využít pro ovládání více tiskáren. Tato možnost funguje v systému Klipper i Marlin.

2.1.10 Zdroj

Výběr správného zdroje je závislý na dvou podstatných parametrech. jeho napětí a výkon.

Zdroje jsou běžně dostupné ve variantě 12V nebo 24V. Napětí zdroje by mělo souhlasit s napětím podporovaným základní deskou, napětím heatbedu, topnému tělísku hotendu a ventilátoru. V případě nutnosti napájení součástky jiným napětím je možné využít konvertor. Nicméně jde o další součástku, kde dochází ke ztrátám energie a může dojít k poruše, proto je nejlepší se jim vyhnout. Například pro napájení Raspberry Pi je nutné napájení o napětí 5V. V takovouto chvíli je tedy nutné použít konvertor. Výhoda 12V zdroje je nižší cena. Oproti tomu výhodou 24V zdroje je především vyšší výkon, díky platnosti Ohmova zákona. Jeho znění je $I = \frac{U}{R}$. I je zde elektrický proud (jednotka A). U je zde elektrické napětí (jednotka V). R je zde elektrický odpor (jednotka Ω). Zkráceně znamená, že pokud je ve stejném vodiči vyšší elektrické napětí, je i vyšší elektrický proud. Tím pádem při použití 24V může stejně velkými kabely procházet větší proud. To znamená, že kupříkladu stejně velké topné tělísko je schopné vyššího výkonu. Druhou výhodou je, že lze použít menší průměr vodičů, než by byl potřeba u 24V. Díky tomu menšímu průměru je ve vodičích menší odpor a dochází k menším ztrátám energie. Při použití stejných vodičů, jako je nutné u 12V varianty zde dochází k menšímu zahřívání a je tedy vyšší úroveň bezpečnosti. U 24V systému také pracují krokové motory rychleji, než u 12V.

Druhou hodnotou, na kterou je třeba se dívat při výběru zdroje, je výkon. Při použití příliš slabého může docházet k nedostatku elektrické energie, což se může projevat výpadky tiskárny. Při použití příliš silného zdroje je spotřeba elektrické energie zbytečně vysoká. Přibližný potřebný výkon lze spočítat. Nejprve je potřeba sečíst odběr elektrické energie všech zařízení, které bude zdroj na-

pájet. Typicky jde o heatbed, topné tělísko hotendu, základní deska, krokové motory a případný druhý řídicí počítač. Odběr ventilátorů je zanedbatelný. Vzhledem k tomu, že zdroj funguje nejlépe při vytížení přibližně 70%, dopočítáme požadovaný přibližný výkon zdroje. Nakonec zbývá si vybrat z možností, které jsou běžně dostupné na trhu. Obecně je lepší vybírat ze zavedených a ověřených výrobců. Zdroj je poté sice dražší, ale měl by vydržet déle. Typickým příkladem zavedeného výrobce je Meanwell.

2.2 Firmware

Firmware je software nahraný na základní desku tiskárny, pomocí které je celá tiskárna ovládána. Volně dostupných možností Firmware je dnes celá řada. Zde se ale budu věnovat dvěma nejznámějším, Marlinu a Klipperu. Jejich nespornou výhodou je velká komunita. Tudíž v případě jakéhokoliv problému není problém se zeptat na jednom z mnoha diskuzních míst.

2.2.1 Marlin

V dnešní době je nejrozšířenějším firmwarem Marlin. Jde o systém vydaný k opensource použití v roce 2011 a je dodnes vyvíjen. Je napsán v jazyce C++ a běží přímo na základní desce. Je jednodušší na konfiguraci, než Klipper. Na druhou stranu při každé úpravě nastavení je třeba systém znovu kompilovat a nahrát na základní desku. Oproti Klipperu je pomalejší, protože veškeré výpočty a práce musí probíhat na použité základní desce.

Ke své funkci potřebuje připojení k počítači nebo displeji. Pomocí tohoto připojeného zařízení je tiskárna ovládána a jsou jí zadávány soubory k tisku. Je zde podpora 8-bit i 32-bit základních desek. Bývá také často využíván i pro jiné domácí CNC stroje, jako například obráběcí stroje. Výhodou Marlinu je jeho podpora jednoduchých, ale účinných příkazů v G-codu. Jde o krátký příkaz, který při načtení vyvolá požadovanou akci. Například příkaz `G29` vyvolá *mesh bed levelling*. Marlin je vhodný pro začátečníky, kvůli nenáročnosti nastavení. Zároveň má nižší náklady na hardware, protože systém může běžet na základní desce. Při požadavku na dálkovou správu tiskárny, lze využít systém Octoprint, mimo možnost dálkového ovládání tiskárny dále dovoluje například živé sledování tisku pomocí kamery, automatická detekce chyby v tisku pomocí kamery nebo ovládání pomocí mobilní aplikace. Při využití Octoprintu je nutné připojení tiskárny k počítači typu Raspberry Pi. V takovém případě se ale již může více vyplatit využít jako firmware systém Klipper.

2.2.2 Klipper

Klipper je mladší systém, vydaný v roce 2016 k opensource použití a stále vycházejí nové verze. Samotný firmware pro tiskárnu je napsán v C. Software, který musí běžet na připojeném RPi, zvaný Klippy je napsán v Pythonu. Klipper byl původně vyvíjen pro funkci s Octoprintem. Později pro něj vznikly systémy nahrazující Octoprint, přímo pro Klipper optimalizované. Nejneužívanějšími jsou Mainsail a Fluidd. Záměrem vývoje jiného firmwaru pro Octoprint bylo vytvořit systém, který by výpočty prováděné na základní desce přesunul na externí počítač a základní deska by zde sloužila pouze pro práci s hardwarem tiskárny. Z tohoto důvodu má Klipper dostupné funkce stejné, jako jsou dostupné v Octoprintu. Díky výše zmiňovanému externímu počítači pro výpočty je tiskárna se systémem Klipper rychlejší a zároveň přesnější při tisku, díky vyššímu počtu kroků

krokového motoru za vteřinu. Při správném nastavení a naladění tiskárny může být tisk i několika-násobně rychlejší. Tiskárna je ovládána buď přes připojený displej nebo přes rozhraní, spustitelné ve webovém prohlížeči, které běží na připojeném RPi. Přes toto rozhraní lze také provádět rychlé změny v nastavení tiskárny. Po provedení změny stačí konfigurační soubor uložit a tiskárnu restartovat. Jde o nespornou výhodu oproti Marlinu, protože u něj je potřeba znovu kompilovat celý firmware. Na druhou stranu prvotní nastavení firmwaru je u Klipperu náročné, především protože je nutné správně nastavit Základní desku, i RPi. Klipper podporuje 8-bit i 32-bit základní desky. Při dostatečném výpočetním výkonu RPi je možné zapojit více tiskáren na jeden počítač. Klipper postrádá možnost specializovaných příkazů v g-codu, kterou nabízí Marlin. Jako náhradu toho zde lze tvořit makra. Jde o definovaný postup práce tiskárny, ke které dojde při spuštění daného makra. Velkou výhodou systému Klipper je možnost tzv. *input-shaping*. Při správném nastavení této funkce, tiskárna na základě informací z akcelerometru umístěného na extruderu je schopna vyrušit nežádoucí vibrace tiskárny. Takovéto vibrace by měly negativní dopad na kvalitu tisku.

3. Konstruování tiskárny

3.1 Tvorba 3D modelů tištěných dílů

ve fusionu začal jsem pevnými body heatbed postavil nosník hb pak nosník osy Z osa Z pak pokračoval osou X (kvůli Voron SB) (linear 250mm) osa Y rám okolo sebe napínák nosník motorů elektronika a její součástky

3.2 výběr vhodných součástí

Hardware rám vedení jednotlivých os pohybu pohon jednotlivých os pohybu extruder hotend heatblock heatbreak heatsink tryska topné tělísko krokový motor heatbed krokové motory drivery základní deska ovládání zdroj

Software

-přidat zde co jsem vybral a proč

zdroj jeho síla jak vypočítat proud (uvést příklad u mé tiskárny: heatbed, hotend, motherboard, RPi, rezerva. (zdroj nejlépe funguje při 70

3.3 použití tiskárny

přidat screenshot mainsailu

4. Seznam použitých součástí

přidat pdf? —

přidat co kolikrát vytisknout!!!

dát na git printer.cfg!

5. Stavba tiskárny

hardware gut stavělo se jednoduše a rychle rám nejdřív křivý, ale sám se pak srovnal software jsem postupoval podle návodu k Mainsail a video návodu ve finále nebyl problém

budoucí úpravy:

chybějící zadní dvířka elektroniky celý enclosure nápad se šuplíky otvor pro zapojení ethernet kabelu/přímo zásuvka někde zrychlení celého systému časem odlehčení osy Y? zprovoznění mesh bed levelling přidat madla pro přenášení přidat displej měděný heatblock

při použití printer.cfg je nutné si sám nastavit hodnotu endstopů a pid kalibrace a prostě celkově zkalibrovat

6. testování

ze začátku problémy s napětím krokových motorů vyřešeno i upravením proudění filamentu

nastavování podle jedné stránky - přidat odkaz (bude na discordu)

??? ucpává se heatbreak!!! otázka, čím problém musel jsem měnit ventilátor, protože moc hlučný, navíc jsem ho poškodil xd vidím, že heatbed se občas prohýbá, možná by bylo třeba podpěry i vpředu prohýbá pouze při působení trysky

7. Závěr

zabralo hodně času spokojen s výsledkem běhá dobře prostor pro zlepšení doufal jsem v menší, ale bohužel to tak vyšlo

Závěr obsahuje shrnutí práce a vyjadřuje se k míře splnění jejího zadání. Dále by se zde mělo objevit sebehodnocení studenta a informace o tom, co nového se naučil a jak vnímal svou práci na projektu.

Seznam použité literatury

- [Ein05] Albert Einstein. “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”. In: *Annalen der Physik* 322.10 (1905), s. 891–921. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004>.
- [GMS93] Michel Goossens, Frank Mittelbach a Alexander Samarin. *The L^AT_EX Companion*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1993.
- [Knu] Donald Knuth. *Knuth: Computers and Typesetting*. URL: <http://www-cs-faculty.stanford.edu/%5C~%7B%7Duno/abcde.html>.

Seznam obrázků

<https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/> <https://all3dp.com/2/linear-rail-3d-printer-really-better-or-just-a-hype/> <https://the3dprinterbee.com/corexy-vs-hbot/> <https://www.3dsourced.com/printers/types-of-fdm-3d-printer-cartesian-delta/> <http://www.realisticky.cz/ucebnice/01http://user.mendelu.cz/1mat-web/in-mat-webse21.html> <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-xl-2/> <https://www.kywool.com/3d-printer-news/v-slot-wheels-vs-linear-rails> <https://all3dp.com/2/3d-printer-nozzle-size-material-what-to-know-which-to-buy/> <https://www.captubes.com/safety.html> <https://eshop.sharplayers.cz/p/bi-metal-heatbreak-kratsi> <https://sj.news/svetovy-lidr-vsadil-vsechno-na-svou-novou-produktovou-radu-hot-endu-k-3d-tiskarnam-porusuji-nas-patent-tvrdi-cesky-startup-a-mobilizuje-pravniky/> <https://www.surpluscenter.com/https://www.zikodrive.com/uFAQs/nema-motor-frame-sizes-mean/> <https://all3dp.com/2/best-stepper-motor-driver/> <https://www.motioncontrolltips.com/faq-what-are-stepper-drives-and-how-do-they-work/> <https://www.drdflo.com/pages/Guides/How-to-Build-a-3D-Printer/Motherboard.html> <https://www.gadgetmagazine.com/8-bit-vs-32-bit-3d-printer> <https://printingit3d.com/8-bit-vs-32-bit-control-board-in-3d-printing-which-is-better/> <https://3dprintingspace.com/t/8-bit-vs-32-bit-control-boards-whats-the-advantage/1082> <https://dyzedesign.com/2019/04/differences-12v-24v-3d-printer/> <https://all3dp.com/2/3d-printer-firmware-which-to-choose-and-how-to-change-it/> <https://3dinsider.com/choosing-firmware-3d-printer/> <https://all3dp.com/2/klipper-vs-marlin-difference/> https://reprap.org/wiki/List_of_FirmwareMarlin <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html> <https://github.com/jschuh/klipper-macros> <https://cs.wiki>

předělat zdroje na citace - viz K.

Seznam obrázků

Seznam tabulek