

GYMNASIUM JANA KEPLERA

Parléřova 2/118, 169 00 Praha 6



Stavba 3D tiskárny

Maturitní práce

Autor: Adam Sedláček

Třída: 4.C

Školní rok: 2022/2023

Předmět: Informatika

Vedoucí práce: Emil Miller

Praha, 2023



GYMNASIUM JANA KEPLERA
Kabinet informatiky

ZADÁNÍ MATURITNÍ PRÁCE

Student: Robot Karel
Třída: 4.Z
Školní rok: 2020/2021
Platnost zadání: 30. 9. 2021
Vedoucí práce: Šimon Schierreich

Název práce: **Název maturitního projektu.**

Pokyny pro vypracování:

Zde popište, čeho se chystáte v práci dosáhnout.

Doporučená literatura:

Zde bude vedoucím práce doplněna doporučená literatura.

URL repozitáře:

<https://gitlab.com/gjk/maturitni-projekt>

vedoucí práce

student

V Praze dne 10. 3. 2021

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 15. března 2023

Adam Sedláček

Poděkování

poděkování.

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

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

Obsah

1	Teoretická část	2
1.1	Princip fungování FDM tiskáren	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	Teorie stavby FDM 3D tiskárny	5
2.1	Hardware	5
2.1.1	Heatbed	5
2.1.2	Extruder	6
2.1.3	Vedení jednotlivých os pohybu	6
2.1.4	Pohon jednotlivých os pohybu	6
2.1.5	Elektronika	6
2.1.6	Krokové motory	6
2.1.7	Firmware	7
2.2	Software	7
2.2.1	Marlin	7
2.2.2	Klipper	7
3	Konstruování tiskárny	8
3.1	Tvorba 3D modelů tištěných dílů	8
3.2	výběr vhodných součástí	8
4	Seznam použitých součástí	9
5	Stavba tiskárny	10
6	Závěr	11
	Závěr	11
	Seznam použité literatury	12
	Internetové zdroje	13
	Seznam obrázků	14
	Seznam tabulek	15

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 Princip fungování FDM tiskáren

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. Teorie stavby FDM 3D tiskárny

V této kapitole se budu věnovat všem základním komponentům, ze kterých se FDM 3D tiskárna skládá. Na konci popíšu i výběr softwaru.

2.1 Hardware

2.1.1 Heatbed

Vyhřívaná podložka je součást, 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 nevyhřívaná tisková plocha je důležitou součástí, protože bez ní by tiskárna nemohla tisknout. Vyhřívaná může být samotná podložka nebo může jít o například silikonovou plochu, která je přichycena k hliníkové podložce, kterou vyhřívá.

Vyhřívané podložky lze rozdělit podle napětí a velikosti. Napětí podložky se odvíjí od napětí použitého zdroje. 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 vyhřívát. 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 nahřívát. 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.

2.1.2 Extruder

endstop na osu Z (BLTouch a pinda) krokový motor tam heatend (heatblock, heatbreak, heatsink) heatbreak titan, allmetal, bimetal, ptfe, teflon, titan titan asi??? nejlepší - titan nižší teplotní vodivost mby E3D originál lepší ??? půl na půl ptfe otravuje ptáčky u vyšších teplot bimetal problém s kvalitou all metal normální nerez/ocel moc vysoká teplotní vodivost

2.1.3 Vedení jednotlivých os pohybu

hlazené tyče lineární vedení

tyče levnější musí se upevnit přes něco dalšího vedení pevnější a přesnější, nevykvrdlá se, dobře se upevní přímo do profilu

profily 2020?

2.1.4 Pohon jednotlivých os pohybu

2.1.5 Elektronika

2.1.6 Krokové motory

nema 17 gut volba jak silné nejrozšířenější

Zdroj

zdroj buď 12/24(napětí), jeho síla jak vypočítat proud 24v nemusí mít tak velký kabely rychleji hřeje ale asi dražší?: (ověřit)

Základní deska

<https://all3dp.com/2/3d-printer-controller-boards/> <https://fixthephoto.com/best-motherboard-for-3d-printer.html> <https://www.drdflo.com/pages/Guides/How-to-Build-a-3D-Printer/Motherboard.html>

Drivery

na desce nějaké rozšířené vlastnosti sensorless homing, atd.

Ovládání

displej přes drát (u klipperu) - musí bvežet na něčem - RPi

2.1.7 Firmware

nejrozšířenější je Marlin a Klipper -> Klipper super na rychlé tisky, protože počítá počítač a ne motherboard

<https://all3dp.com/2/3d-printer-firmware-which-to-choose-and-how-to-change-it/> <https://3dinsider.com/choosing-firmware-3d-printer/>

2.2 Software

2.2.1 Marlin

2.2.2 Klipper

3. Konstruování tiskárny

3.1 Tvorba 3D modelů tištěných dílů

ve fusionu začal jsem pevnými body heatbed postavil nosník hb pak nosník osy 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

-přidat zde co jsem vybral a proč

4. Seznam použitých součástí

přidat pdf? —

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

6. Závěr

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/01> <http://user.mendelu.cz/1mat-web/in-mat-webse21.html> <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-xl-2/>

Seznam obrázků

Seznam tabulek